

REPUBLIQUE DU SENEGAL
UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP



Cm. 4051

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

Centre de Thiès

Département Génie Electromécanique

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de Conception

**ETUDE DE L'UTILISATION DU DIESEL OIL DANS
LES MOTEURS DIESEL TURBOCOMPRESSEUR
AUX ICS PLATE-FORME DAROU**

Auteur

Papa CISS

Directeur interne

M.Paul DEMBA

Co-Directeurs externes

M.Magaye GUEYE

M.Fallou DIAGNE

Année Académique : 2002 – 2003

DEDICACES

Je dédie ce présent travail à

✓ Mon père

Toute mon affection et ma gratitude vous sont dûment exprimées

✓ Ma mère

Mère, trouve dans ce modeste travail, mon amour sans cesse grandissante et ma ferme volonté de vous rendre heureuse

✓ Ma femme à qui j'exprime toute mon affection

✓ Ma famille et mes amis pour leurs soutiens sans faille tout au long de mes études

✓ L'ensemble de mes camarades de promotion que j'encourage dans le persévérance

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier et à exprimer toute ma reconnaissance à :

✓ **Monsieur Paul DEMBA**, professeur à l'ESP Thiès, mon directeur de projet qui n'a ménagé aucun effort pour me soutenir, m'orienter et me conseiller durant ce projet ; et surtout qui a fait preuve d'une disponibilité inestimable à mon égard.

✓ **Monsieur Alexandre NGOM**, Directeur sites acides plate forme de Darou

✓ **Monsieur Momath BA**, Chef de département maintenance

✓ **Madame DRAME**, responsable de la formation

✓ L'ensemble du personnel de l'atelier matériel roulant et surtout à **Monsieur Tidiane CAMARA**, pour leur disponibilité et leur sens de participation à la réussite de mon projet

J'accorde une mention spéciale à mes directeurs de projet externes, **Messieurs Magaye GUEYE**, Chef du bureau technique et entretien et **Fallou DIAGNE**, Chef de l'atelier matériel roulant, qui n'ont ménagé aucun effort dans la réussite de mon projet et mon intégration au sein du département maintenance.

✓ **Monsieur Malick SAMB**, Ingénieur Grands comptes de la Société TOTALFINAELF

✓ **Monsieur LINDOR**, Responsable du département technique à la SAUDEQUIP

✓ Tout ceux, qui de près ou de loin, ont participé à la réussite de ce projet

SOMMAIRE

Les combustibles liquides sont des produits dont la combustion en présence d'air permet d'obtenir une production d'énergie thermique dans les brûleurs, les foyers, fours ou chaudières. Ils présentent des spécifications moins sévères que le gasoil notamment en terme de teneur de soufre, d'impuretés et d'indice de cétane entre autres. Ils sont souvent utilisés dans les moteurs diesel comme carburant mais ceci nécessite des moteurs dont le fonctionnement est moins sensible à la qualité du carburant. A cet effet, les ICS qui utilisent le combustible diesel oil comme carburant, misent sur les engins CATERPILLAR et KOMAT'SU équipés de moteurs diesel turbo chargés. Ces derniers présentent des propriétés intrinsèques liées à la suralimentation et aux conditions de travail auxquelles ils sont soumises, dont l'analyse permet de déterminer le degré de fiabilité en terme d'aptitude à réagir favorablement face entre autres au taux de soufre élevé, des impuretés et à la valeur relativement basse de l'indice de cétane du diesel oil. Après quoi, l'analyse des défaillances que connaissent les moteurs CATERPILLAR et KOMAT'SU à l'aide des informations reçues de la part des techniciens des ICS, de la SAUDEQUIP et des résultats de l'analyse de l'huile moteur, permet de déterminer la part de responsabilité de l'utilisation du diesel oil. Partant de cette situation, les facteurs primordiaux dans l'avènement des dysfonctionnements feront l'objet d'une tentative de solution en fonction des spécificités qu'ils présentent dans le but d'augmenter la disponibilité des engins et de réduire les dépenses de maintenance liées à ces défaillances. L'évaluation financière du gain réalisé sur le prix du diesel oil qui est moins cher que le gasoil, comparée au coût de maintenance induite par la part d'implication du diesel oil sur les défaillances, offre une appréciation de l'ordre de grandeur des dépenses effectuées à cet effet.

LISTE DES TABLEAUX.....	VI
LISTE DES ANNEXES.....	VII
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I.....	3
GENERALITES SUR LA COMBUSTION DANS LE MOTEUR DIESEL	3
1 – 1 SITUATION DANS LE MOTEUR DIESEL.....	3
1 – 2 PROCESSUS DE LA COMBUSTION AU SEIN DU MOTEUR DIESEL.....	4
1 – 2.1 Le délai d'inflammation	4
1 – 2.1.1 Le délai physique	4
1 – 2.1.2 Le délai chimique.....	5
1 – 2.2 La phase de combustion détonante.....	8
1 – 2.4 La phase de combustion par diffusion	11
CHAPITRE II : LES CARBURANTS ET LES COMBUSTIBLES.....	13
2 – 1 LES CARBURANTS	13
2 – 1.1 Différents types de carburants.....	14
2 – 2 LES COMBUSTIBLES	14
2 – 3 MECANISMES DE FIXATION DES SPECIFICATIONS.....	16
2 – 4 CARBURANTS POUR MOTEURS DIESEL.....	17
2 – 4.1 Processus d'obtention	18
2 – 4.2 Le gazole.....	19
2 – 4.2.1 Formulation du gazole	19
2 – 4.2.2 Propriétés physiques	21
2 – 4.2.3 Propriétés chimiques	24
2 – 4.2.3.1 Indice de cétane.....	24
2 – 4.2.3.2 Pouvoir calorifique.....	24
2 – 4.2.4 Sécurité d'emploi. Stabilité au stockage.....	25
2 – 4.2.5 Traitements complémentaires du gazole.....	26
2 – 4.3 Fuel domestique ou Diesel oil	26
2 – 4.3.1 Schémas de formulation.....	26
2 – 4.3.2 Principales spécifications.....	28
2 – 4.3.3 Propriétés chimiques	30
2 – 4.3.3.1 Indice de cétane.....	30
2 – 4.3.3.2 Pouvoir calorifique.....	31
2 – 4.3.4 Coloration et traçage.....	31
CHAPITRE III : MOTEUR DIESEL TURBOCOMPRESSEUR.....	32
2 – 1 PRESENTATION.....	32
CHAPITRE IV : COMPORTEMENT DU MOTEUR DIESEL TURBO-	34
COMPRESSEUR FONCTIONNANT AVEC DU DIESEL OIL.....	34
4 – 1 SITUATION DES MOTEURS CATERPILLAR et KOMAT'SU.....	34
4 – 1.1 La suralimentation	34
4 – 1.1.1 Effet de l'élévation de la température et de la pression	34
4 – 1.1.2 Effet du rendement global élevé	35
4 – 1.1.3 Effet de l'excès d'air dans le cylindre.....	35

4 – 1.2	Le régime moyen du moteur	36
4 – 1.3	Effet de la pression élevée d'injection	36
4 – 2.	LES CONSEQUENCES DE L'UTILISATION DU DIESEL OIL	37
4 – 2.1	Usure avancée de la pompe d'injection	37
4 – 2.1.1	La pompe d'alimentation	38
4 – 2.1.2	Les filtres	38
4 – 2.1.3	La pompe d'injection	38
4 – 2.2	Manque de puissance fréquent	39
4 – 2.2.1	Colmatage du filtre à air	39
4 – 2.2.2	Encrassement des injecteurs	40
4 – 2.3	La surchauffe	41
4 – 2.3.1	Encrassement du radiateur	42
4 – 2.3.2	Mise au ralenti brutale du moteur	42
4 – 3	USURE DES CYLINDRES ET POLLUTION DE L'HUILE	43
4 – 3.1	Usure des cylindres	43
4 – 3.1.1	Effet des gaz de soufflage	43
4 – 3.1.2	Effet des températures élevées	43
4 – 3.2	Pollution de l'huile moteur	44
4 – 3.2.1	Effet des conditions atmosphériques	44
4 – 3.2.2	Effet des mauvaises combustions	44
	CHAPITRE V : EVALUATION ECONOMIQUE	46
5 – 1	CALCUL DES COUTS DE DEFAILLANCES RELATIFS	46
5 – 1.1	Encrassement des filtres	46
5 – 1.1.1	Calcul de perte d'amortissement	46
5 – 1.1.1.1	taux d'amortissement	46
5 – 1.1.1.2	taux d'amortissement horaire	47
5 – 1.1.2	Coût de main-d'œuvre	47
5 – 1.1.3	Coût de rechange	48
5 – 1.1.4	Coût d'arrêt de production	49
5 – 1.2	Encrassement des injecteurs	49
5 – 1.2.1	Calcul de perte d'amortissement	49
5 – 1.2.2	Coût de main-d'œuvre	50
5 – 1.2.3	Coût de rechange	51
5 – 1.2.4	Coût d'arrêt de production	52
5 – 2	CALCUL DU GAIN SUR LE COUT DU DIESEL OIL	53
	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	56
	BIBLIOGRAPHIE	58
	ANNEXES 1	59
	ANNEXES 2	60
	ANNEXES 3	61

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau 2.1 : Caractéristiques générales des différents types de carburants	16
Tableau 2.2 : Caractéristiques de quelques bases utilisables pour la formulation du gazole	20
Tableau 2.3 : Spécifications européennes du gazole	22
Tableau 2.4 : Pouvoirs calorifiques massique et volumique de différents types de carburants (valeurs moyennes)	25
Tableau 2.5 Exemples de caractéristiques de coupes moyennes (LCO) issues du craquage catalytique	28
Tableau 2.6 : Spécifications du fuel domestique ou diesel oil	30
Tableau 5.1 : Consommation normale et réelle en litres	47
Tableau 5.2 : Valeurs moyennes d'un filtre de 1996 à 2003	48
Tableau 5.3 : Consommations normales et réelles en injecteurs	50
Tableau 5.4 : Valeur moyenne d'un filtre de 1996 à 2003	51
Tableau 5.5 : Volume de carburant consommé et prix correspondant	53
Tableau 5.6 : Volume de carburant consommé et prix correspondant	54
Tableau 5.7 : Volume de carburant consommé et prix correspondant	54

LISTE DES ANNEXES

Annexes 1 : Spécifications des moteurs KOMAT'SU

Annexes 2 : Spécifications du fuel, de l'huile moteur et les intervalles de rechanges

Annexes 3 : Les résultats de l'analyse des huiles moteur

INTRODUCTION

Les ICS occupent une place de choix dans le concert des grandes entreprises. Elles utilisent deux matières premières principales à savoir le phosphate exploité à taïba et le soufre importé pour produire en continu à la fin d'un processus chimique de fabrication, de l'acide phosphorique vendue à l'extérieur et du gypse. Ce dernier, il y'a quelques années, servait de matière première pour la fabrication d'une variété de ciment plâtre. Au fil des temps, la capacité de l'usine a augmenté et la quantité énorme de gypse s'amassant à la sortie de la chaîne de production risque à tout moment de bloquer la fabrication de l'acide phosphorique. Par conséquent les engins de type KOMAT'SU et CATERPILLAR travaillant dans un environnement hostile de par la nature de l'usine et presque à toutes les heures, assurent l'évacuation de la production continue de gypse. Les engins sont équipés de moteurs diesel turbo chargés très puissants consommant une quantité importante de carburant pour satisfaire le taux de charge horaire imposé par le rythme de l'entreprise.

Les ICS utilisent à la place du carburant, un combustible nommé diesel oil à bon prix mais de qualité inférieure à celle du gasoil recommandé par les constructeurs. D'où l'apparition de plusieurs défaillances altérant la disponibilité des engins.

Pour remédier à cette situation, une méthode d'amélioration de la qualité du diesel oil du point de vue de l'élimination des impuretés qu'il contient, s'impose. Pour ce faire, le temps nécessaire à la décantation statique complète du combustible sera alloué à chacune des trois cuves de stockage qui seront utilisées à tour de rôle.

Dans le sens d'une bonne maîtrise des matériels d'exploitation, le chef du BTE en collaboration avec celui de l'atelier matériel roulant, ont lancé une étude qui porte sur l'analyse du degré de fiabilité des moteurs KOMAT'SU et CATERPILLAR utilisant le diesel oil. Après quoi, une évaluation financière des défaillances qui en découlent, permet d'avoir une appréciation de l'apport réel de l'option concernant l'utilisation du diesel oil à la place du gasoil.

L'analyse des informations reçues des techniciens des ICS, de la SAUDEQUIP et de l'interprétation des résultats de l'analyse des huiles moteurs avec l'aide de l'ingénieur produit de la société TOTALFINAELF, contribueront à l'appréciation de la part de responsabilité du diesel oil dans les défaillances que connaissent les moteurs CATERPILLAR et KOMAT'SU.

Ce rapport commence par présenter dans un premier temps une généralité sur la combustion des moteurs diesel avant d'ouvrir une présentation sur les carburants, les combustibles et les

moteurs diesel turbocompresseurs, ensuite l'exploitation des informations concernant le comportement des moteurs CATERPILLAR et KOMAT'SU de par une analyse des défaillances qui altèrent le fonctionnement des moteurs et enfin une évaluation financière de cette option des ICS.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA COMBUSTION DANS LE MOTEUR DIESEL

1 – 1 SITUATION DANS LE MOTEUR DIESEL

Dans le cas du gasoil et du moteur diesel, il faut que le combustible, du fait qu'il n'est pas volatil, soit introduit mécaniquement dans l'air en cours de compression en un instant du cycle tel que , compte tenu :

- ✓ d'une part, du gradient élevé d'échauffement du combustible par unité de temps
- ✓ d'autre part, du gradient élevé d'accroissement de la température et de la pression de l'air par unité de temps

L'auto-inflammation du gasoil se produise :

- 1) pour une position convenable du piston, c'est à dire très peu avant le PMH.

En fin de compression , l'air de la cylindrée se trouve à une température nettement supérieure à la température statique d'auto-inflammation (et même à la température de vaporisation complète du gasoil). Il a donc eu le temps de transférer aux fractions légères qui se sont évaporées les premières – rappelons que le gasoil n'est pas de composition homogène - une énergie suffisante pour assurer leur inflammation, laquelle du fait du régime détonnant de la combustion, se propage en un temps de l'ordre de la microseconde à tout le combustible.

- 2) Dans les combustions telles que le régime détonnant né de l'auto inflammation ne soit pas destructif pour la structure du moteur. Ceci implique que la quantité de combustible présente dans le cylindre au moment de cette auto-inflammation soit une fraction aussi faible que possible de la quantité globale de combustible qu'il faut introduire par cycle pour obtenir le couple requis, étant entendu que, pour recueillir le travail cyclique maximal, la combustion doit s'effectuer dans le temps le plus réduit possible.

1 – 2 PROCESSUS DE LA COMBUSTION AU SEIN DU MOTEUR DIESEL

1 – 2.1 Le délai d'inflammation

Immédiatement après le début de l'injection l'oxygène est abondant, la température non excessive, l'évaporation pas trop rapide, la pénétration des jets bonne.

Le combustible injecté durant cette période sera bien brûlé et cette combustion provoquera des remous qui, renouvelant l'oxygène, favoriseront les combustions suivantes.

Le délai d'auto-inflammation est la conséquence de deux phénomènes distincts :

- ✓ d'abord un délai physique, temps nécessaire à la formation d'un brouillard et à son échauffement
- ✓ Ensuite un délai chimique, temps nécessaire au démarrage d'une combustion vive : les protoxydes instables qui sont présents dans les vapeurs diffusées dans de l'oxygène de l'air chaud et sous pression du cylindre ne peuvent exister longtemps et se décomposent en peroxyde par réactions chimiques exothermiques provoquant l'inflammation des molécules voisines.

On constate, d'ailleurs, que le taux de peroxydes et aldéhydes croît jusqu'au moment du départ de la montée brutale en pression ; donc, le délai prend fin lorsque ce taux atteint la concentration critique.

Ces deux composants physique et chimique se conjuguent, sans additionner leur durée respective, pour donner le délai global, fonction :

- types du moteur et de son utilisation
- type de combustible

1 – 2.1.1 Le délai physique

Il débute par la désintégration du jet de combustible en gouttelettes (supposées sphériques). Le gradient d'échauffement , donc d'évaporation de ces gouttelettes dépend :

- ✓ de la dimension des gouttelettes à l'instant considéré, dimension elle-même fonction des caractéristiques physiques du combustible (viscosité, volatilité)

- ✓ de la pression et de la température de l'air en cours de compression dans le cylindre
- ✓ de la vitesse relative de la gouttelette par rapport à l'air qui, sous l'effet de la turbulence que l'on s'est évertué à lui conférer, se déplace à grande vitesse.

Tandis que, dans le dard central du jet de combustible injecté, sont rassemblées les plus grosses gouttes, les fines gouttelettes, situées en bordure, se dispersent dans le courant d'air, leur vitesse relative par rapport à celui-ci étant très faible. Au bout d'un temps qui est de l'ordre de 0,1 milliseconde, un mélange (d'air + combustible) commence à se former autour des gouttelettes, mélange qui pourra prendre feu spontanément lorsqu'il se trouvera au voisinage de la concentration stœchiométrique puisque c'est pour ce taux que la vitesse de combustion est la plus élevée. Le délai chimique commence alors.

Le délai physique se termine lorsque s'est achevée l'évaporation complète des hydrocarbures les plus lourds contenus dans chaque gouttelette ; il est en réalité très court et ne représente qu'une faible partie du délai global.

1 – 2.1.2 Le délai chimique

L'adjonction de 2 % (par exemple) de nitrate d'amyle à du gasoil ne peut modifier sérieusement la pulvérisation du jet, ni le taux d'échauffement des gouttes, ni leur vaporisation, ni leur diffusion. Or cette introduction réduit le délai d'environ 30 %. Cette réduction est donc due à la modification des réactions chimiques.

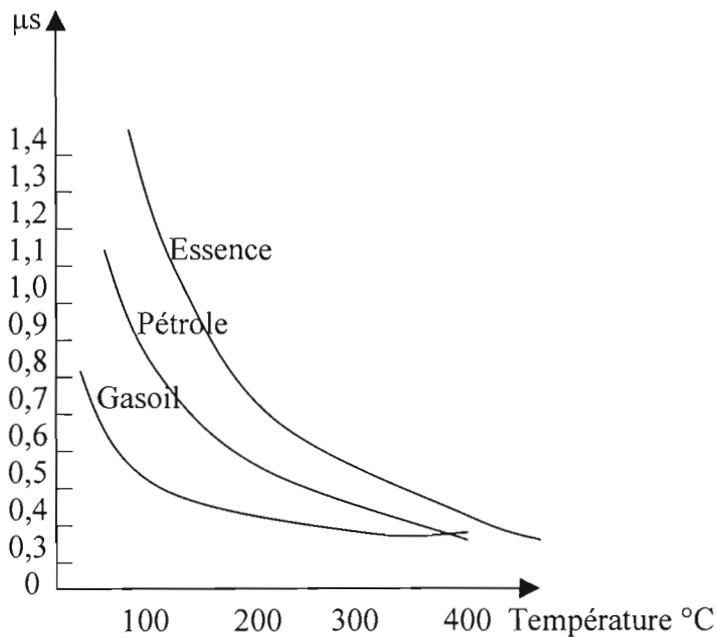


Fig III. 9. Influence de la température sur le délai global d'auto-inflammation de divers combustibles.

Le délai chimique contrôle, en fait, tout le processus d'auto-inflammation ; ceci explique que le délai global d'auto-inflammation (qui, rappelons – le, n'est pas égal à la somme des délais physique et chimique) d'un combustible volatil peu réactif soit plus élevé que celui de combustibles lourds dont, à un niveau de température donné sous une pression maintenue constante, les vitesses de réaction sont plus élevées.

Etant donné qu'on ne connaît pratiquement rien des conditions d'auto-inflammation d'un combustible aussi simple que le méthane, on conçoit qu'à fortiori le déroulement des réactions chimiques présidant à l'auto-inflammation des mélanges d'hydrocarbures lourds soit inconnu. Tout au plus sait-on que les vitesses des réactions de chaque type de combustible croissent exponentiellement avec la température absolue ; ceci motive le rassemblement des points figuratifs du graphe III 9 (quand la température est élevée, tous les délais deviennent égaux) et explique que, pour une avance à l'injection constante et une même température d'air ambiante, le délai global diminue lorsque la vitesse de rotation du moteur croît.

Au total, les concentrations et températures des couches gazeuses en contact avec la masse liquide (les couches péri adsorbées) évoluent en s'enrichissant progressivement dans le temps en fraction d'hydrocarbures de plus en plus lourds. A chaque instant, une couche dont la concentration correspond au mélange combustible – air à proportion stœchiométrique pour la fraction d'hydrocarbure intéressée existe à une certaine distance de la goutte ; cette couche, née à un instant t_0 au contact de la goutte, s'éloigne progressivement de celle-ci, au fur et à mesure de la poursuite des échanges thermiques, en même temps que sa température croît.

Il arrive donc **fatalement** (sous réserve que la température due à la compression soit suffisante) un instant t où l'une de ces couches à concentration stœchiométrique atteint la température d'auto-inflammation : ainsi l'inflammation prend naissance dans la phase gazeuse en une des couronnes sphériques en cours d'extension qui entoure la goutte en cours d'hydroxylation. Comme mentionné antérieurement, à cette auto-inflammation, se forment des peroxydes et aldéhydes dont la concentration va croissant durant le déroulement du délai, leur taux étant d'autant plus important que l'indice de cétane du combustible est plus élevé. En conséquence, la phase chimique se subdivise en deux étapes de durées respectives, σ_1 et σ_2 ; durant la première étape des réactions relativement lentes provoquent la formation de peroxydes ; si une concentration critique est atteinte, et seulement lorsqu'elle est atteinte, des réactions violentes surgissent qui, constituant la deuxième étape, contrôlent tout le processus des réactions ultérieures. Toute augmentation de pression provoque une diminution tant de σ_1 que de σ_2 ; par contre, toute augmentation de température provoque une diminution de σ_1 et une augmentation de σ_2 . L'étape σ_1 est donc prédominante à basse température et l'étape σ_2 à haute température ; il s'ensuit que, au-dessus d'un certain seuil de température, le délai global croît avec la température. Ainsi une avance à l'injection très faible peut provoquer, surtout à grande vitesse de rotation (entraînant une élévation des températures en fin de compression), un accroissement de délai.

Mais rappelons que le délai d'inflammation est d'autant plus nocif qu'il est plus long.

Par surcroît, un délai qui se prolonge risque de permettre que le jet de combustible atteigne les parois et, si celles-ci sont froides, y coule et aille polluer l'huile de graissage, si celles-ci sont chaudes, y dépose des produits de combustion incomplète.

Au total, un délai long :

- ✓ dégrade mécaniquement le moteur
- ✓ augmente indûment les températures des parois
- ✓ diminue le rendement thermique
- ✓ dégrade l'état général du moteur.

1 – 2.2 La phase de combustion détonante

A la fin du délai d'inflammation, la combustion vive se déclenche, la pression croît avec une vitesse que, une fois le phénomène amorcé, on ne peut plus contrôler.

Mais on peut modifier la valeur de cette vitesse par action sur les paramètres de départ. Ceux ci peuvent se classer en trois catégories :

1. Paramètres dépendants du moteur :

- ✓ Courbe de distillation du combustible
- ✓ Indice de cétane du combustible.

2. Paramètre dépendant de l'utilisateur :

- ✓ Avance à l'injection (en fonction de son action sur le délai)
- ✓ Débit du combustible par degré de rotation du vilebrequin
- ✓ Débit du combustible par unité de temps
- ✓ Type d'injecteur : répartition du combustible
- ✓ Type de chambre de combustion : répartition de la turbulence, donc des températures

3. Paramètres dépendant de l'utilisateur du moteur :

- ✓ Température de l'air
- ✓ Température de l'eau

- ✓ Vitesse de rotation
- ✓ Etat d'entretien du moteur : segmentation, soupapes.

Comme toujours lorsqu'il y a tant de paramètres on ne peut, en fait aboutir qu'à un compromis ; dans le cas présent, en pratique, le compromis est empiriquement déterminé par des essais au banc durant lesquels on s'évertue à concilier les imperfections et les risques entre consommation spécifique et combustion complète d'une part, douceur de marche, dilution, facilité de départ à froid.

Finalement, un type de chambre de combustion et un rapport de compression volumique ayant été choisis, il convient de trouver un ensemble d'injection (pompe + tuyauterie + injecteur) concevable et de déterminer une avance à l'injection dans le cylindre (donc une avance au refoulement à la pompe) telle que, la combustion totale étant correcte, le délai d'inflammation soit suffisamment court que, compte tenu de la qualité du combustible et sa loi d'injection, l'inflammation du combustible présent dans le cylindre permette un gradient $\Delta P / \Delta \alpha$ aussi faible que possible, eu égard à la vitesse de rotation, et un rapport :

$$\frac{P_{3,4}}{P_2} < 2$$

Certes des valeurs $\Delta P / \Delta \alpha$ un peu élevées ne conduisent pas forcément à des rapports $\frac{P_{3,4}}{P_2} > 2$ et à des effets directement nuisibles au comportement à long terme des structures et des assemblages précontraints (tels que bloc moteur + goujon + culasse), mais ces valeurs élevées sont éminemment dangereuses pour les assemblages montés avec jeu du fait du choc qu'elles produisent.

1 – 2.3 La phase de combustion contrôlée.

L'auto-allumage étant assuré, il s'agit maintenant d'obtenir une combustion qui soit correcte au point de vue qualitatif, complète au point de vue quantitatif.

Les gouttes de combustible sont introduites dans une atmosphère très chaude et sous forte pression ; elles s'enflamment donc pratiquement sans délai et le taux de libération d'énergie est proportionnel au débit injecté par unité de temps : il est donc contrôlable. Cette combustion se déroule pratiquement à pression constante du fait du déplacement du piston ; elle a pour conséquence majeure d'accroître la température de la masse gazeuse.

Mais cette phase ne se déroule correctement que si le combustible est mis rapidement en présence d'oxygène dans des conditions telles qu'il puisse brûler en laissant le moins possible de résidus non gazeux.

Pour ce, il est nécessaire de remplir deux conditions :

✓ **Condition de macrostructure.** – Le combustible étant maintenant rapidement évaporé, les jets en sont encore plus rapidement détruits et la pénétration dans l'air devient insuffisante pour assurer leur répartition. Il faut donc, pour obtenir cette répartition, avoir recours à l'air et pour cela communiquer à celui-ci (ou plutôt à la masse de vapeurs) des mouvements qui soient à la fois dirigés en tant que courant, turbulents en tant que régime.

✓ **Condition de microstructure.** – La pulvérisation doit être assez fine pour que l'évaporation de la particule de liquide soit complète avant qu'il y ait destruction de la molécule. Mais là encore on se heurte rapidement à un compromis si l'on ne veut pas obérer la condition de macrostructure pour suffisante pénétration des jets et bonne répartition des particules.

La formation mécanique du mélange se développant très lentement par rapport à la vitesse élevée des réactions chimiques, il est possible d'étouffer la réaction à vitesse élevée et d'éviter toute poursuite du cognement, mais la réduction de cette vitesse d'oxydation ne devrait pas atteindre un stade tel que l'on risque de ne disposer que de la réaction la plus lente, celle du carbone. La présence massive de suie indique qu'une pulvérisation et une pénétration insuffisantes ont permis un surchauffage trop importante du combustible.

Une bonne combustion exigera donc que :

1. Le plus possible de l'oxygène disponible soit amené au contact du combustible avant que celui-ci soit :
 - ou surchauffé par l'air
 - ou refroidi par les parois

Etant entendu que :

2. Chaque particule de ce combustible est suffisamment pulvérisée pour entrer convenablement en réaction.

1 – 2 . 4 La phase de combustion par diffusion

Durant cette phase, brûlent les fractions non encore atteintes par la combustion, l'injection étant terminée. C'est une phase qui peut être relativement longue, durant laquelle la température des gaz reste sensiblement constante et durant laquelle il importe de brûler dans toute la mesure du possible les résidus solides des fractions brûlées antérieurement.

Des photographies de la combustion effectuées à l'ultra cinéma à travers un paroi transparente de la culasse ont montré qu'une partie importante du combustible brûle au début avec une flamme trop peu lumineuse pour impressionner les pellicules. Puis le taux de luminescence et de chaleur dégagée tendent à croître beaucoup plus vite que le taux de pression ; on atteint en quelques degrés de vilebrequin une flamme brillante de combustion de carbone libre avec une température maximale de l'ordre de 2500°. Cette flamme brillante persiste jusqu'à 90° après le PMH puis s'évanouit en rougissant.

Le contrôle de la combustion implique, au total, que l'on ait su accélérer convenablement les réactions chimiques précédant l'auto-inflammation.

Pour cela, on peut mettre en œuvre deux techniques :

1. Système à chambre ouverte. On s'évertue à posséder une zone extrêmement chaude dans laquelle ou au voisinage de laquelle les particules de combustible subissent une transformation physique et une réaction chimique, l'évaporation et l'auto-allumage du combustible s'étendant progressivement, et plus ou moins brutalement en fonction de la turbulence, vers les zones plus froides.

2. Système à chambre séparée. On associe dans une préchambre la présence d'une température élevée et celle d'une quantité limitée d'air comburant ; par surcroît, un étranglement peut freiner la vitesse d'expulsion des gaz produits.

La tâche d'obtenir une bonne combustion appartient donc, au total :

- à la chambre de combustion
- à l'injecteur.

Mais la combustion se poursuit, après la fin de l'injection, et ce dans des conditions de plus en plus imparfaites au fur et à mesure que l'excès d'oxygène diminue. Il en résulte une perte de rendement, perte qui va en croissant tandis que se déroule le cycle, puisque le rapport de détente diminue. Par surcroît, toute calorie dégagée qui ne se transforme pas en travail se transmet soit aux gaz brûlés et à l'azote, soit aux structures de moteur, et augmente nocivement leurs températures.[1]

CHAPITRE II : LES CARBURANTS ET LES COMBUSTIBLES

2 – 1 LES CARBURANTS

Les carburants sont des produits dont la combustion en présence d'air permet le fonctionnement des moteurs thermiques à pistons (de type essence ou diesel) ou à flux continu (réacteurs d'avion, turbines à gaz).

Dans leur immense majorité, les carburants sont des liquides, ce qui permet d'obtenir un excellent compromis entre la compacité, la facilité et la sécurité de mise en œuvre. Les carburants gazeux [gaz naturel, gaz de pétrole liquéfié (GPL)] se développent actuellement pour des usages spéciaux (circulation urbaine), en raison de leur caractère peu polluant. Quant aux carburants solides (charbon, bois) leur contribution qui fut parfois importante en période de pénurie énergétique ne revêt plus maintenant qu'un intérêt historique. Les carburants proviennent essentiellement du pétrole qui, lui-même, assure encore, une part importante de la consommation d'énergie primaire dans toutes les régions du monde. Dans le bilan pétrolier, la production de carburants obtenue grâce à un raffinage de plus en plus sophistiqué, constitue souvent le débouché principal, notamment dans les zones fortement industrialisées où le transport sous toutes ses formes est extrêmement développé (États-Unis, Japon, Europe occidentale, Afrique). En dehors du pétrole, deux autres filières permettent d'obtenir des carburants liquides, mais elles sont, l'une et l'autre, très marginales, tout au moins en termes de débouchés. La première concerne les biocarburants provenant, comme leur nom l'indique, de la biomasse. Il s'agit plus précisément d'éthanol issu de la fermentation de céréales (maïs, blé) ou de plantes sucrières (betteraves), d'éthyltertiobutyléther obtenu par action de l'éthanol sur l'isobutène, et enfin de dérivés d'huiles végétales (colza, tournesol...). Actuellement et pour longtemps encore, l'accès aux biocarburants n'est pas compétitif sur le plan économique ; ceux-ci ne sont donc utilisés que pour résorber des excédents agricoles et, dans certains cas, pour faire face à des problèmes spécifiques de pollution atmosphérique. Le gaz naturel peut également être transformé, via le gaz de synthèse ($\text{CO} + \text{H}_2$), puis éventuellement le méthanol, en carburants liquides. Cette filière, très intéressante d'un point de vue technique, demeure toutefois coûteuse sur le plan aussi bien énergétique qu'économique et ne pourrait, semble-t-il, se développer qu'en cas de renchérissement notable du pétrole brut.

2 – 1.1 Différents types de carburants

Les carburants se répartissent en classes bien distinctes selon les types de moteurs qu'ils alimentent. Leurs caractéristiques ne sont pas rigoureusement constantes d'un échantillon à l'autre, mais restent à l'intérieur d'un domaine borné par des spécifications officielles.

Celles-ci sont établies afin d'obtenir à la fois des performances satisfaisantes des moteurs et des faibles émissions de polluants.

On définit trois grandes classes de carburants :

- ✓ les **essences alimentant les moteurs d'automobiles** dits « à explosion » ou à allumage commandé par étincelle. À cette catégorie se rattachent le gaz de pétrole liquéfié utilisé comme carburant (GPL-C) et des produits à usages spéciaux (motocycles, avions à moteurs à pistons, voitures de compétition...);
- ✓ le **gazole** constituant la source d'énergie des véhicules diesel routiers (voitures particulières, camionnettes, camions). On peut associer au gazole d'autres produits également utilisés dans des moteurs diesel. Ce sont le fuel domestique (FOD) qui est l'équivalent du diesel oil, dans ses usages « carburant » (tracteurs agricoles, engins de travaux publics) et les différents types de carburants « marine » (bateaux de pêche, navires de toute taille);
- ✓ le **carburéacteur** alimentant les avions à réaction pour tous les transports aériens domestiques et internationaux. Il existe, à côté du carburéacteur classique (Jet A1), plusieurs sortes de carburants spéciaux réservés, le plus souvent, à des usages militaires.[3]

2 – 2 LES COMBUSTIBLES

Les combustibles liquides sont des produits dont la combustion en présence d'air dans les brûleurs, foyers, fours ou chaudières fournit de l'énergie thermique. Celle-ci est utilisée dans le secteur domestique et commercial (chauffage, cuisine, parfois éclairage), dans l'industrie (apport de chaleur dans les réactions chimiques endothermiques, production de vapeur et d'électricité), ou encore dans l'agriculture (séchage des récoltes).

Les combustibles se répartissent en trois grandes catégories selon leur état physique habituel.

On distingue ainsi :

- ✓ les combustibles solides (charbon, bois, paille...);
- ✓ les produits liquides (GPL, FOD, fuel lourd et produits assimilés), tous issus du pétrole brut et parfois, pour une très faible part, de la biomasse (dérivés d'huiles végétales);

La dénomination GPL recouvre elle-même deux produits : le propane commercial et le butane commercial. Le premier, constitué majoritairement d'hydrocarbures en C3, est stocké à l'état liquide sous une pression de 8 bars, à température ambiante. Le second, riche en fraction C4, est également conservé sous forme liquide, sous une pression de 2 bars. Les GPL sont utilisés en tant que combustibles dans le secteur domestique et commercial, l'industrie et l'agriculture, mais aussi comme carburants pour l'alimentation de véhicules peu polluants, et comme intermédiaires en raffinage et pétrochimie (réactions d'alkylation, d'éthérification, d'oligomérisation). Cependant, les usages de types combustibles restent, partout dans le monde, largement majoritaires.

Le fuel domestique est un produit pétrolier, assez proche par ses caractéristiques et sa composition, du gazole utilisé comme carburant dans les véhicules diesel. L'un et l'autre rentrent dans la catégorie des distillats moyens constitués d'hydrocarbures de C10 à C30, dont l'intervalle de distillation s'étend, à pression atmosphérique, entre 150 °C et 400 °C. Comme son nom l'indique, le fuel domestique est principalement utilisé pour le chauffage des maisons individuelles et des appartements en habitat collectif. Il sert aussi comme carburant diesel dans les tracteurs et machines agricoles, ainsi que dans les engins de travaux publics. Ces derniers usages ne représentent en fait que 20 % des ventes de FOD, en France.

Les fuels lourds constituent, dans le bilan pétrolier, le « fond du baril ». Parfois solides ou pâteux à température ambiante, ils doivent être réchauffés pour être mis en œuvre commodément et brûlés de façon efficace. Leur composition chimique est mal connue ; leurs constituants – hydrocarbures lourds, composés complexes sulfurés, azotés, organométalliques – ne peuvent distiller, sans craquage, que sous pression réduite. Les fuels lourds sont essentiellement utilisés comme combustibles dans de grosses installations industrielles (métallurgie, verrerie, cimenterie, fonderie, pétrochimie...). Ils sont proches, par leurs caractéristiques, des carburants marins utilisés dans les moteurs diesel de très forte puissance servant à la traction des navires. Cependant, dans les statistiques pétrolières, les deux types de produits sont classés et répertoriés de façon distincte. Le tableau 1 présente la composition élémentaire moyenne des différents types de combustibles liquides. La teneur en carbone croît régulièrement lorsqu'on passe des plus légers (GPL) aux plus lourds (fuels). Ces derniers sont également les plus riches en soufre (entre 1 et 4% selon la catégorie) et en azote (teneur typique : 0,4%).

✓ le gaz naturel qui constitue, à lui seul, une source d'énergie primaire importante.

En somme les principaux types de carburants peuvent se distinguer au moyen de caractéristiques simples telles que la masse volumique, l'intervalle de distillation, le nombre

d'atomes de carbone de leurs constituants. Le tableau 2.1 fournit quelques indications à ce sujet. Le GPL-C ne contient que des hydrocarbures en C3 et C4, (8 au maximum) qui sont gazeux à pression atmosphérique et au-dessus de 0°C. Les essences distillent entre environ 30°C (point initial) et 180°C (point final) ; elles contiennent des hydrocarbures de C4 à C10 ; le nombre de constituants individuels est compris entre 120 et 150. Le gazole est un produit beaucoup moins volatil que les essences, puisque sa distillation s'étage entre 160°C et 380°C environ. Il renferme probablement plus de 1 000 hydrocarbures différents, contenant chacun de 10 à 20 atomes de carbone par molécule. Globalement, le carburacteur est une coupe pétrolière intermédiaire entre les essences et le gazole, avec des constituants communs à ces deux produits. Enfin, les fuels lourds se caractérisent par une masse volumique élevée (supérieure à 950 kg/m³) et la présence de composants hydrocarbures très lourds dont la plupart ne sont pas distillables sans craquage à pression atmosphérique.[4]

Produit	Masse volumique à 15 °C (kg/m ³)	Intervalle de distillation		Nombre d'atomes de carbone des constituants hydrocarbonés	Autres constituants organiques possibles
		Point initial (°C)	Point final (°C)		
GPL-C.....	510 à 580	< 0	≅ 0	3 et 4	
Essences.....	725 à 780	30 à 35	170 à 215	4 à 10	Alcools, éthers
Carburacteur	775 à 840	140 à 150	250 à 280	9 à 13	
Gasoil et FOD	820 à 860	160 à 180	340 à 380	10 à 20	Dérivés d'huile
Fuels lourds (carburants marine).....	950 à 1050	180 à 200	450	>13	végétales

Tableau 2. 1 : Caractéristiques générales des différents types de carburants

2 – 3 MECANISMES DE FIXATION DES SPECIFICATIONS

Les spécifications des carburants, comme celles de tous les produits pétroliers, sont des réglementations de caractéristiques et de composition des produits assurant un compromis entre trois types de critères :

- ✓ performances satisfaisantes du véhicule (rendement, puissance, comportement en endurance) ;

- ✓ faibles émissions de polluants, conformément aux législations mises en place dans ce domaine et devenant d'ailleurs de plus en plus sévères, au cours du temps ;
- ✓ possibilité de fourniture des produits en quantités nécessaires et à un coût abordable.

Actuellement, l'établissement des spécifications s'effectue, non plus localement, mais par grandes zones d'utilisation : Union européenne, États-Unis, Japon. Les autres pays tendent d'ailleurs à se rattacher, en matière de spécifications, à ces zones d'influence. De façon générale, ce sont désormais les objectifs de protection de l'environnement qui engendrent les plus fortes contraintes de qualité des produits (volatilité, composition).

Le fait que certains produits moins taxés que le gazole peuvent être utilisés à la fois comme combustibles et carburants a conduit beaucoup d'entreprises dont la consommation en carburant est importante à faire fonctionner leurs moteurs Diesel avec du diesel oil qui l'équivalent du fuel domestique. C'est dans ce cadre que les ICS décident de mener une étude sur le comportement du moteur Diesel fonctionnant avec un carburant de type diesel oil et les conséquences qui en découlent. Par conséquent une très large fenêtre sera ouverte sur les carburants pour moteurs diesel.[3]

2 – 4 CARBURANTS POUR MOTEURS DIESEL

Dans cette catégorie se classent :

- ✓ le gazole utilisé sur route, dans les voitures particulières diesel, les véhicules utilitaires de toute taille, depuis la camionnette jusqu'au camion gros porteur ;
- ✓ des produits proches du gazole (fuel domestique ou diesel oil, gazole pêche, diesel marine léger), mais réservés à des usages spéciaux (tracteurs et machines agricoles, engins de travaux publics, bateaux de faible tonnage...);
- ✓ les carburants « marine », qui sont, en réalité, de différentes variétés de fuels lourds, alimentant les très gros moteurs diesel installés sur les navires.

2 – 4.2 Le gazole

2 – 4.2.1 Formulation du gazole

Dans le schéma de raffinage le plus ancien et le plus simple possible, le gazole provient de la coupe moyenne (180 à 360°C) de distillation directe du pétrole brut. Cette voie demeure, évidemment, dans les raffineries modernes, mais elle s'accompagne d'autres flux, afin de faire face à la demande du marché en matière de quantité et de qualité. Les deux spécifications les plus contraignantes sont l'indice de cétane et le comportement à froid exprimé par le point de trouble. Le tableau 2.2 montre l'ordre de grandeur de ces deux caractéristiques pour différentes bases concourant à la formulation du gazole. En ce qui concerne les produits de distillation directe, les propriétés dépendent essentiellement de la nature du pétrole brut d'origine et de l'intervalle de distillation choisi ; ainsi, les bruts paraffiniques fournissent des coupes d'indice de cétane satisfaisant, mais de caractéristiques à froid médiocres ; l'inverse sera observé avec des bruts naphthéniques. La demande croissante en gazole pourrait inciter le raffineur à augmenter le point final de distillation, mais il en résulterait une détérioration du point de trouble. Ainsi, on admet généralement qu'un gain de rendement sur brut de 0,5 % en masse entraînerait une dégradation du point de trouble de 1 K ; le compromis entre quantité et qualité apparaît donc ici particulièrement étroit.

Les unités de conversion des fractions lourdes (distillat et résidu sous vide) fournissent des effluents susceptibles d'entrer dans la composition du pool gazole, bien que certains d'entre eux présentent des caractéristiques médiocres. Ainsi, la coupe moyenne issue du craquage catalytique, appelée Light Cycle Oil (LCO) se caractérise par un indice de cétane très faible. Son incorporation dans le pool devra donc être contrôlée et limitée. Les gazoles de viscoréduction et de cokéfaction présentent des indices de cétane meilleurs que le LCO, mais ils sont très instables et doivent recevoir un traitement à l'hydrogène avant tout usage commercial. L'hydrocraquage fournit, quant à lui, des gazoles de qualité, aussi bien en matière d'indice de cétane que de comportement à froid, mais le procédé est coûteux et encore peu développé. Sur la plupart des coupes issues du raffinage classique, sauf sur l'hydrocraquage déjà excellent, on pratique le plus souvent des traitements à l'hydrogène sous pression et en présence de catalyseurs spécifiques (hydrodésulfuration, hydrotraitement) afin d'abaisser à un niveau très bas la teneur en soufre et, également, de réduire la concentration en aromatiques pour obtenir des gaz d'échappement moins polluants.

Charge	Procédé	Intervalle de distillation	Indice de cétane	Point de trouble
Brut paraffinique	Distillation directe	170 à 370	50	-5
		180 à 375	51	-2
		170 à 400	54	+1
Brut naphténiq	Distillation directe	180 à 350	54	-10
		170 à 370	43	-20
Distillat sous vide	Craquage catalytique (LCO)	170 à 370	24	-5
	Hydrocraquage	220 à 370	64	-17
Résidu sous vide	Viscoréduction Cokéfaction	170 à 370	40	-4
		170 à 370	28	-8
Résidu atmosphérique désasphalté	hydrocraquage	260 à 380	70	-13
Gazole de distillation directe + LCO	hydrotraitement	212 à 347	60	-10
Oléfines légers	Oligomérisation	156 à 342	35	-48
Gaz naturel	synthèse	205 à 270	83	-9
Huile de colza + méthanol	Transestérification	320 à 350	49	-3

Tableau 2. 2 : Caractéristiques de quelques bases utilisables pour la formulation du gazole

La figure 2.2 montre comment se situent, à ce sujet, différentes bases. Les plus intéressantes sont évidemment celles qui ne contiennent ni soufre, ni aromatiques. Dans cette catégorie rentrent trois types de produits :

- ✓ le gazole d'oligomérisation d'oléfines légères (propène), qui présente malheureusement des indices de cétane faibles ;
- ✓ le gazole de synthèse Fischer Tropsch provenant du gaz naturel via le mélange CO + H₂. Il s'agit d'un produit présentant toutes les qualités possibles, mais son coût d'accès est très élevé, ce qui bloque le développement de cette filière, tant que le cours du pétrole brut restera à un niveau raisonnable (inférieur, par exemple, à 25 dollars par baril).
- ✓ les esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV) obtenus par action de ces huiles - de colza principalement - sur le méthanol. Ces produits dont le coût d'accès est élevé, mais qui font l'objet d'une fiscalité favorable, peuvent être incorporés, de façon banalisée,

dans le pool gazole, jusqu'à hauteur de 5 % (vol.). En outre, certaines flottes de véhicules urbains utilisent des mélanges gazole - EMHV plus riches en constituants d'origine végétale (30 %, voire 50 %). L'ensemble des carburants à base d'EMHV sont souvent désignés par « diester » (diesel-ester).

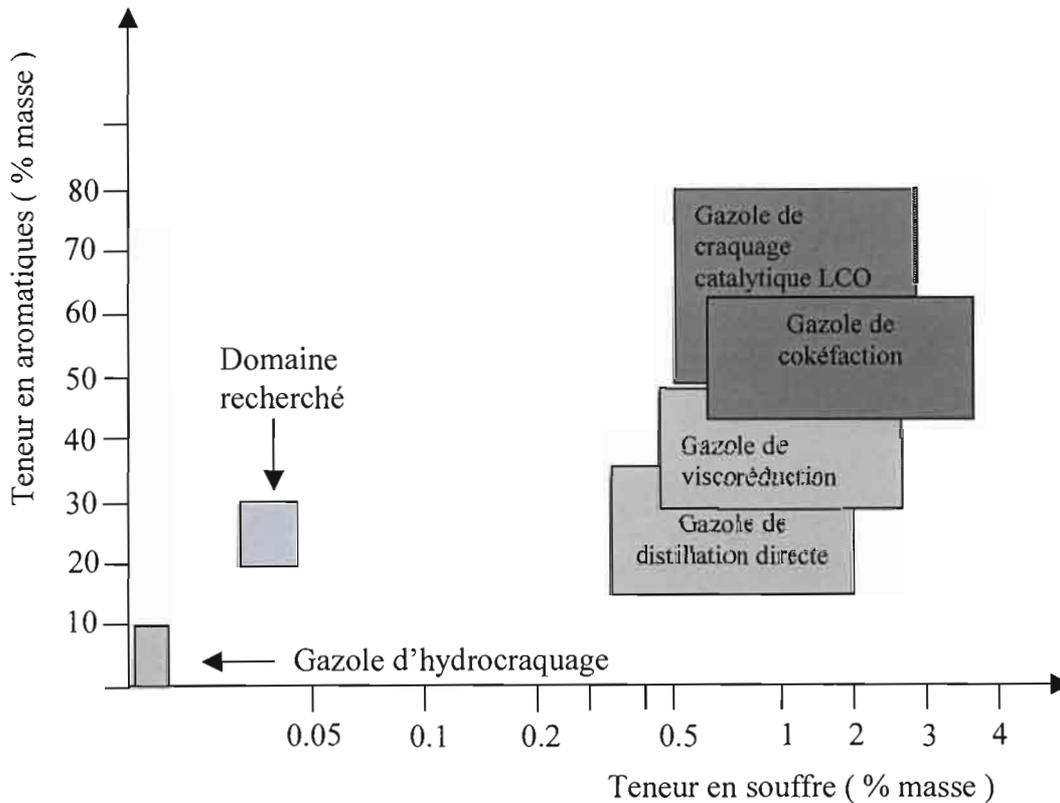


Figure 2.2 Situation de différentes bases en matière de teneur de soufre et en aromatique

2 – 4.2.2 Propriétés physiques

Toutes les propriétés demandées au gazole se justifient par les caractéristiques du cycle diesel, en particulier :

- ✓ le mode d'introduction du carburant par injection sous haute pression ;
- ✓ le déclenchement de la combustion grâce à une auto-inflammation en milieu hétérogène ;
- ✓ le réglage de la puissance par modification du débit de gazole introduit dans une même quantité d'air.

Par ailleurs, les critères de qualité requis pour le gazole sont largement tributaires des conditions climatiques d'où le tableau 2.3 pour les zones à climat tempéré.

Caractéristiques	Valeur limite	
	Mini	Maxi
Masse volumique à 15 ° C.....(kg/L)	0.820	0.86
Viscosité à 40 °C.....(mm ² /s)	2	4.5
Courbe de distillation		
E250.....(%vol)		65
E350.....(%vol)	85	
E370.....(%vol)	95	
Température limite de filtrabilité (°C)		
Classe A.....		+5
Classe B.....		0
Classe C.....		-5
Classe D.....		-10
Classe E.....		-15
Classe F.....		-20
Indice de cétane		
Mesuré.....	49	
Calculé	46	

Tableau 2.3 : Spécification européennes du gazole

La masse volumique, la volatilité, la viscosité et le comportement à basse température constituent les caractéristiques physiques essentielles du gazole, à prendre en compte pour obtenir un fonctionnement satisfaisant du moteur.

La masse volumique du gazole à 15°C doit être comprise entre 0,820 et 0,860 kg/L dans les pays tempérés. La fixation d'une valeur minimale de masse volumique se justifie par le souci d'obtenir une puissance maximale suffisante pour le moteur, au moyen d'une pompe d'injection dont le réglage de débit s'effectue en volume ; plus la masse volumique du gazole est élevée, plus la quantité d'énergie délivrée à pleine charge est importante. Par ailleurs, on impose une limite maximale à la masse volumique, afin de réduire les émissions de certains polluants et d'éviter la formation de fumées noires, à pleine charge.

La nécessité de réaliser une injection sous haute pression et une pulvérisation de fines gouttelettes au moyen d'un injecteur, impose, pour le gazole, des caractéristiques de volatilité

bien précises. Ainsi, la norme européenne EN 590 stipule que dans les pays à climat tempéré, la fraction distillée à 250°C doit être inférieure à 65 % (vol.) et les fractions distillées à 350°C et 370°C supérieures respectivement à 85 % et 95 % (volume) ;

La viscosité doit être, elle aussi, comprise entre des limites précises. En effet, un carburant trop visqueux augmenterait les pertes de charge dans la pompe et les injecteurs, ce qui tendrait à réduire la pression d'injection, à détériorer la finesse de pulvérisation et finalement à affecter le processus de combustion. À l'inverse, une viscosité insuffisante pourrait provoquer le grippage de la pompe d'injection. Dans les pays d'Europe à climat tempéré, la viscosité du gazole, mesurée à 40°C, doit être comprise entre 2,00 et 4,50 mm²/s.

Le gazole doit traverser un filtre à mailles très fines (quelques micromètres), avant de pénétrer dans la pompe d'injection, car celle-ci constitue un organe d'une très grande précision mécanique dont le fonctionnement risquerait d'être perturbé par des impuretés et des particules en suspension dans le liquide. Or, certains hydrocarbures paraffiniques présents dans le gazole peuvent cristalliser partiellement à basse température et colmater le filtre disposé sur le circuit d'alimentation, ce qui risque d'entraîner une immobilisation complète du véhicule. Ces considérations justifient la nécessité d'adopter des spécifications très strictes en matière de comportement à froid du gazole, même si certains dispositifs technologiques (réchauffage des filtres sur les véhicules récents) contribuent à atténuer les risques d'incidents en service. Les caractéristiques du gazole prises en compte dans ce domaine sont : le point de trouble, le point d'écoulement et la température limite de filtrabilité. Le point de trouble, souvent compris entre 0 et - 10°C, mais descendant parfois jusqu'à - 20 ou - 30°C, est déterminé visuellement ; c'est la température à laquelle les cristaux de paraffine, normalement dissous dans la solution constituée par l'ensemble des autres composants, commencent à apparaître et à affecter la limpidité du produit. À température plus basse, les cristaux augmentent de taille, s'organisent en réseaux qui emprisonnent le liquide et l'empêchent de s'écouler ; on atteint alors le point d'écoulement inférieur au point de trouble de 5 à 15°C, selon les cas. La température limite de filtrabilité (TLF) est la température minimale pour laquelle un volume déterminé de gazole traverse en un temps limite un appareil de filtration bien défini (normes NFM 07-042 et EN 116). La TLF est généralement comprise entre les points de trouble et d'écoulement. Les spécifications européennes de comportement à froid du gazole portent soit uniquement sur la TLF, soit à la fois sur le point de trouble et la TLF.

2 – 4.2.3 Propriétés chimiques

2 – 4.2.3.1 Indice de cétane

Dans le moteur diesel, il est nécessaire que le gazole présente une structure chimique favorable à l'auto-inflammation. Cette qualité s'exprime par l'indice de cétane IC. Les spécifications européennes imposent, pour les zones à climat tempéré, un indice de cétane minimal de 49 ; les valeurs observées en station-service se situent le plus souvent entre 49 et 55. L'indice de cétane ne joue pas le même rôle essentiel que l'indice d'octane dans l'optimisation moteur-carburant ; en particulier, il n'exerce pas d'incidence directe sur le rendement du moteur. Cependant, un indice de cétane élevé contribue à améliorer de nombreuses qualités d'utilisation : démarrage aisé, bruit moins intense, notamment au ralenti à froid, émissions moins élevées de fumées noires. Par ailleurs, l'accroissement d'indice de cétane permet de réduire les rejets de polluants à l'échappement. Il est parfois difficile d'obtenir l'indice de cétane minimal requis par simple mélange des bases disponibles en raffinerie. Aussi, utilise-t-on, de plus en plus fréquemment, des additifs appelés procétane.

Ce sont des produits oxydants, particulièrement labiles, dont la décomposition génère des radicaux libres et favorisent ainsi l'auto-inflammation. Deux familles de composés organiques ont été expérimentées : les peroxydes et les nitrates ; ces derniers sont les seuls utilisés en pratique, en raison d'un meilleur compromis coût-efficacité-facilité de mise en œuvre. Les plus connus sont des nitrates d'alkyle, plus précisément des nitrates de 2-éthyl-hexyle.

2 – 4.2.3.2 Pouvoir calorifique

Ces caractéristiques ne figurent pas dans les spécifications (sauf dans le cas des carburéacteurs) ; elles ont pourtant une grande importance, puisqu'elles déterminent la consommation de carburant, que celle-ci soit exprimée en masse ou en volume.

Le pouvoir calorifique massique ou volumique d'un carburant est la quantité d'énergie libérée par unité de masse ou de volume de carburant, lors de la réaction chimique de combustion complète conduisant à la formation de CO₂ et H₂O. Le carburant est pris, sauf mention contraire, à l'état liquide et à une température de référence, généralement 25 °C. L'air et les produits de combustion sont considérés à cette même température.

Le tableau 2.4 montre quelques valeurs typiques de PCI massique et volumique des différentes catégories de carburants, depuis GPL-C jusqu'au fuel lourd. On observe que lorsque la masse volumique croît, PCI_m diminue, tandis que PCI_v augmente.

Produit	Pouvoir calorifique à 25 ° C	
	Massique (kJ/kg)	Volumique (kJ/L)
GPL-C.....	46000	25300
Essences.....	42700	32200
Carburacteur.....	43500	34100
Gazole.....	42600	35800
Fuel lourd.....	41400	39300

Tableau 2.4 : Pouvoirs calorifiques massique et volumique de différents types de carburants (valeurs moyennes)

2 – 4.2.4 Sécurité d'emploi. Stabilité au stockage

Sur le plan de la sécurité des installations de distribution (dépôts, stations-service), le gazole rentre dans une catégorie de produits pétroliers, distincte de celle des essences, beaucoup plus volatiles. On le caractérise de ce point de vue par le point d'éclair qui est la température à laquelle les vapeurs émises brûlent spontanément au contact d'une flamme ou d'un point chaud. Les spécifications européennes du gazole stipulent que son point d'éclair doit être compris entre 55 et 120 °C. Cette caractéristique n'est pas mesurée habituellement sur les essences, mais elle serait largement inférieure à 0 °C. Le point d'éclair dépend étroitement du point initial de distillation. Il faut noter que l'adjonction d'essence dans le gazole, qui fut préconisée parfois dans le passé pour améliorer le comportement à froid, ne permet plus de respecter les spécifications de point d'éclair et pose, par conséquent, un grave problème de sécurité (présence d'un mélange gazeux inflammable dans le « ciel » des réservoirs).

Par ailleurs, le gazole est un produit vulnérable dans la période s'écoulant entre son obtention en raffinerie et son utilisation sur moteur. En effet, si certaines précautions n'étaient pas prises, il pourrait subir des dégradations, sources d'incidents graves. Ainsi, la formation de gommages et de sédiments provenant de réactions d'oxydation et de polymérisation doit-elle être contrôlée, afin d'empêcher le colmatage des filtres et l'encrassement des injecteurs.

La stabilité du gazole est appréciée par la détermination de sa couleur qui ne doit pas être plus prononcée que « jaune paille » (selon la norme NT-60-104) et par un test de vieillissement

accéléralé (norme ASTM D 2274) au terme duquel la teneur en gommes et sédiments ne doit pas dépasser, en Europe, 25 g/m³ (15 g/m³ aux États-Unis). On contrôle également la teneur en eau du gazole et on la limite au maximum à 200 mg/kg, afin d'éviter des phénomènes de corrosion et de contamination par des micro-organismes - bactéries, levures ou champignons - qui se développent le plus souvent à l'interface eau-gazole et qui, lorsqu'ils migrent dans la phase gazole, sont sources d'incidents très graves (colmatage, corrosion, grippage des systèmes d'injection et du moteur). La protection bactériologique s'effectue grâce à une grande hygiène (dessiccation) du circuit de stockage, mais aussi par emploi d'additifs bactériostatiques ou bactéricides.

2 – 4.2.5 Traitements complémentaires du gazole

Ils concernent l'amélioration de certaines caractéristiques par recours à des additifs spécifiques. Ainsi, on maîtrise les risques d'encrassement des injecteurs en employant des additifs détergents-surfactants de type semblable à ceux utilisés dans les essences, mais cependant adaptés à la technologie diesel. La tendance au moussage, fréquente lors de l'approvisionnement en gazole en station-service, est combattue par adjonction d'additifs à base de silicones à très faible concentration (quelques p.p.m.). Le gazole peut prendre parfois un aspect trouble, à cause de la présence en son sein, de fines gouttelettes d'eau émulsionnées ; des agents anti-émulsifiants sont donc parfois nécessaires, mais, là encore, à très faible dose (de l'ordre de 10 p.p.m.). Enfin, pour atténuer l'odeur jugée souvent désagréable du gazole, certaines sociétés pétrolières proposent des masques d'odeurs. Il s'agit d'additifs développés en faisant appel aux techniques classiques...de parfumerie.[3]

2 – 4.3 Fuel domestique ou Diesel oil

Le fuel domestique est un produit pétrolier dont les caractéristiques ont été et restent encore, par certains aspects, proches de celles du gazole. Nous examinerons plus particulièrement les caractères distinctifs entre les deux produits.

2 – 4.3.1 Schémas de formulation

En France, les deux produits gazole et fuel domestique, souvent englobés dans les statistiques sous le vocable distillats moyens, représentent plus de 40% du bilan pétrolier total. Compte

tenu du fait que les spécifications du gazole sont très sévères, notamment en matière de teneurs en soufre (teneur maximale admise: 0,05% (masse)), d'indice de cétane et de caractéristiques à froid, le raffineur réservera, le plus souvent, les coupes pétrolières les plus nobles pour le pool gazole. Ce seront particulièrement les effluents d'hydrodésulfuration, d'hydrotraitement et d'hydrocraquage qui présentent toujours de faibles teneurs en soufre et en constituants aromatiques. A l'inverse, la coupe moyenne issue du craquage catalytique, que l'on appelle LCO (Light Cycle Oil) et qui représente environ 30% de la charge, soit en moyenne 10% du brut traité, ne peut être incorporée dans le gazole qu'en très faibles quantités, car elle est trop dense, trop riche en soufre et en aromatiques. Le LCO sera donc incorporé de préférence dans le FOD, mais en quantités limitées, afin de ne pas dépasser le niveau requis de soufre, soit 0,2% (masse). Si nécessaire, le LCO sera hydrodésulfuré et hydrotraité, soit seul, soit après mélange avec une coupe issue de la distillation directe du pétrole brut. Le tableau 2.5 montre à ce sujet quelques exemples de caractéristiques de LCO pris tels quels ou hydrotraités. Il est possible d'obtenir d'assez basses teneurs en soufre (moins de 0,2%), soit à partir de pétrole brut peu sulfuré, soit en ayant recours à une hydrodésulfuration ultérieure. Par contre, dans tous les cas, la teneur en aromatiques reste élevée (plus de 50%) et l'indice de cétane faible (moins de 30), ce qui constitue une contrainte, compte tenu de la nécessité de respecter, pour le FOD, un indice de cétane final supérieur à 40. Les acheteurs de fuel domestique se voient de plus en plus fréquemment proposer deux types de produits: l'un « standard », c'est-à-dire conforme aux spécifications qui viennent d'être décrites, l'autre dit de qualité supérieure (FQS), présentant en outre quelques propriétés particulières. Celles-ci concernent notamment:

- ✓ le meilleur comportement à froid porté, durant toute l'année, au même niveau que celui du gazole en période d'hiver ;
- ✓ la suppression du risque de contamination bactériologique, obtenue par incorporation d'additifs biocides ;
- ✓ l'amélioration de la combustion, grâce à des additifs organométalliques à base de fer (le ferrocène est souvent utilisé), de calcium, ou parfois de manganèse ;
- ✓ le confort d'utilisation apporté par des additifs masquant l'odeur, souvent désagréable, du FOD.

Les écarts de prix de vente entre les fuels domestiques «ordinaires.» et les FQS sont généralement de l'ordre de 10 à 20centimes par litre, soit 4 à 8%. Cette différence est suffisamment faible pour influencer la décision d'un certain nombre d'acheteurs. La demande

en FQS représente en effet, en France, plus de 30% du marché total. Cette situation stimule également la profession pétrolière pour promouvoir des produits de haute qualité susceptibles de faire face à des énergies concurrentes comme le gaz et l'électricité.

Caractéristiques	Désignation du produit				
	A	B	C	D	E
Masse volumique à 15 °C.....(kg/dm ³)	0.975	.942	0.924	0.912	0.886
Viscosité à 20° C.....(mm ² /s)	5.7	4.6	3.1	4.1	3.6
Viscosité en soufre.....(% masse)	2.8	2.8	0.7	0.18	0.02
Teneur en azote..... (ppm.masse)	500	630	110	100	2
Teneur en aromatique.....(%masse)	87	74	70	80	54
Indice de cétane	21	21	18	22	29

Tableau 2. 5 – Exemples de caractéristiques de coupes moyennes (LCO) issues du craquage catalytique

2 – 4 .3.2 Principales spécifications

Le fuel domestique livré en France doit respecter les niveaux de qualité décrits dans le tableau 2.5. On fait la distinction entre spécifications administratives dont l'application est absolument obligatoire et soumise au Service de Répression des Fraudes et spécifications intersyndicales résultant d'un engagement de la profession pétrolière et sur la base desquelles s'établissent les échanges de produits entre les différents distributeurs. La fixation d'une fourchette de masse volumique (entre 0,830 et 0,880 kg/L) et de viscosité (entre 3 et 7,5 mm²/s à 20 °C) permet d'obtenir, dans les chaudières, une plus grande régularité du débit de combustible et une pulvérisation satisfaisante au niveau du brûleur. On n'exige pas du fuel domestique des critères de comportement à froid aussi sévères que dans le cas du gazole. Toutefois, pour obtenir une mise en œuvre satisfaisante en toute saison, le point de trouble, la température limite de filtrabilité et le point d'écoulement ne doivent pas dépasser respectivement +2 °C, – 4 °C et –9 °C. Les niveaux sont requis quelle que soit la période de l'année. En effet, les utilisateurs se font fréquemment livrer en été, un produit qu'ils consommeront l'hiver suivant. La qualité de combustion est contrôlée par la détermination du résidu de carbone qui, mesuré sur la fraction 90-100 % distillés, selon la norme NF T 60-116, ne doit pas dépasser 0,35 %.

La bonne conservation du produit au stockage est vérifiée grâce au test de stabilité à l'oxydation (NF EN ISO 12205) au terme duquel la quantité de dépôts et de sédiments ne doit pas dépasser 25 mg/100 mL. Par ailleurs, conformément à une Directive européenne, tous les fuels domestiques distribués en Europe doivent présenter, depuis le 1er octobre 1994, une teneur en soufre inférieure à 0,2 % (masse). La contrainte est ici moins sévère qu'avec le gazole, puisque celui-ci doit être désulfuré jusqu'à 0,05 %. En ce qui concerne la volatilité et les conséquences sur la sécurité

d'emploi, le FOD répond aux mêmes critères que le gazole avec un point d'éclair compris entre 55 et 120 °C. L'intervalle de distillation est assez semblable pour les deux produits, quoique légèrement décalé vers les températures élevées avec le fuel domestique ; celui-ci présentera typiquement un point initial proche de 180 °C et un point final de 380 °C, contre respectivement 160 °C et 360 °C pour le gazole.

caractéristiques	Spécifications administratives	Spécifications intersyndicales
Masse volumique.....(kg/dm ³)		
minimale.....		0.830
maximale.....		0.880
Viscosité à 20 °C.....(mm ² /s)		
minimale.....		3
maximale.....	7.5	7.5
Point d'éclair.....(°C)		
minimale.....	55	55
maximale.....		120
Distillation		
E250 maximal.....(%)	65	
Teneur en soufre maximale.....(% masse)	0.20	
Teneur en eau et sédiments maximale.(% masse)	0.10	
Teneur en eau maximale.....(%masse)	0.02	
Point de trouble maximal.....(°C)	+2	
Point d'écoulement maximal.....(°C)	-9	
Température limite de filtrabilité maximale (°C)		-4
Stabilité à l'oxydation :		
masse maximale de dépôts..... (mg/100L)		2.5
Résidu de carbone maximal.....(%masse)	0.35	0.30
Indice de cétane minimal.....	40	
Teneur en eau maximale.....(%masse)	0.02	

Tableau 2.6 : Spécifications du fuel domestique ou diesel oil

2 – 4.3.3 Propriétés chimiques

2 – 4.3.3.1 Indice de cétane

L'indice de cétane du fuel domestique doit être supérieur à 40. Cette exigence ne s'adresse pas aux usages du produit comme combustible, mais comme carburant dans les moteurs diesel de tracteurs agricoles et d'engins de travaux publics.

2 – 4.3.3.2 Pouvoir calorifique

Les pouvoirs calorifiques inférieurs (PCI) massique et volumique du FOD sont proches de 42,8 MJ/kg et 36,0 MJ/L. En pratique, selon l'origine et le mode de formulation des produits commerciaux, des écarts de l'ordre de 2 %, autour de ces valeurs moyennes, peuvent être observés.

2 – 4.3.4 Coloration et traçage

Le fait que le fuel domestique soit moins taxé que le gazole conduit à mettre en place un moyen de détection d'éventuelles fraudes consistant à l'utiliser pour l'alimentation de véhicules diesel routiers. Aussi le FOD est-il coloré en rouge par addition de 10 mg/L d'un produit azoïque : le 1-[4-(o-tolylazo) o-tolylazo]-2-naphtol. Il est également traité avec deux produits traceurs : la diphénylamine et le furfural, ajoutés à des concentrations respectives de 50 et 10 mg/L. La présence de ces deux composés peut être détectée au moyen de tests simples avec des réactifs appropriés. En effet, l'acétate d'aniline fournit une coloration rouge vif avec le furfural et le mélange sulfochromique conduit à une coloration bleu intense avec la diphénylamine. Toute utilisation frauduleuse du FOD comme carburant routier peut donc être ainsi détectée, sans aucune contestation possible.[4]

En somme le diesel oil se diffère principalement du gasoil par :

- ✓ son taux de soufre relativement un peu plus élevé
- ✓ son taux d'impureté élevé
- ✓ son indice de cétane bas
- ✓ sa viscosité un peu plus élevée

Les ICS utilisent le diesel oil dans les engins CATERPILLAR et KOMAT'SU équipés de moteurs diesel turbocompresseur que nous présenterons dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III : MOTEUR DIESEL TURBOCOMPRESSEUR

2 – 1 PRESENTATION

L'évacuation du gypse demande des moteurs très puissants et dans cette optique les ICS comptent sur les engins CATERPILLAR et KOMAT'SU qui sont équipés de moteurs diesels à injection directe suralimentés par turbocompresseurs sans refroidissement de l'air à l'admission. En fait les moteurs diesels sont des moteurs à combustion interne dans lesquels l'inflammation du carburant est provoquée par la chaleur de compression. Sur le plan thermodynamique, le moteur suralimenté se présente sous la forme d'une juxtaposition de cycles, cycle moteur et cycles associés (organes de suralimentation) qui doivent respecter entre eux des relations de compatibilité : relations de continuité, énergétiques ou calorimétriques [5]. La conception de la suralimentation a connu deux étapes :

La première est motivée par le fait que les performances des moteurs diesels à aspiration naturelle sont limitées par le taux de remplissage de leurs cylindres. Afin d'accroître le travail fourni pour un cylindre donné, les constructeurs adoptent de plus en plus la suralimentation des moteurs diesels. La suralimentation consiste à assurer une compression préalable de l'air, ce qui revient à augmenter le taux de compression final sans en modifier le rapport de compression volumique. Pour obtenir cette précompression, on entraîne un compresseur, situé à l'amont des soupapes d'admission, par une turbine située à l'aval des soupapes d'échappement, mue par l'énergie disponible dans les gaz d'échappement, ce qui revient, à rapport de compression volumétrique diesel constant, à accroître le taux de compression de l'air en augmentant le taux de détente des gaz.

La seconde concerne la diminution du rapport de compression qui est très intéressante car toute réduction de ce rapport entraîne une augmentation de la masse d'air emmagasinable en fin de compression donc de la quantité de combustible brûlé par cycle, ce qui entraîne une augmentation de la puissance par litre de cylindrée.

En somme, toute réalisation d'un diesel suralimenté est dominée par l'établissement d'un compromis entre trois caractéristiques fondamentales :

- ✓ Une densité d'air aussi élevée que possible, c'est à dire, pour un rapport donné de compression antérieure à l'introduction dans le moteur, une température de l'air entrant dans le moteur aussi faible que possible d'où l'intérêt d'un refroidissement de l'air.

✓ Un rapport de compression volumique aussi faible que le permet l'impératif du lancement du moteur à froid. Lors des lancements, le moteur suralimenté se trouve dans la situation d'un moteur à aspiration naturelle. Il ne faut pas perdre de vue que plus faible est le rapport, plus importante est la masse d'air qu'un moteur diesel, sous réserve qu'il soit suralimenté, donc justiciable au balayage, peut emmagasiner à chaque cycle sans être l'objet de pressions internes inadmissibles. Le balayage des imbrûlés hors de la chambre de combustion sert à améliorer le rendement pondéral du remplissage en air surtout en injection directe.[1]

✓ Une température en fin de compression, suffisante, d'une part, pour obtenir la réduction du délai d'allumage, compatible d'autre part, avec l'augmentation des températures à tout le cycle que provoque toute augmentation de la température de fin de compression.

Les moteurs CATERPILLAR et KOMAT'SU sont identiques dans leur principe de fonctionnement mais possèdent des différences concernant la technologie des composantes utilisées. Leurs spécifications techniques sont disponibles dans l'annexe1

CHAPITRE IV : COMPORTEMENT DU MOTEUR DIESEL TURBO- COMPRESSEUR FONCTIONNANT AVEC DU DIESEL OIL

4 – 1 SITUATION DES MOTEURS CATERPILLAR ET KOMAT'SU

Les moteurs diesel turbocompresseurs équipant les engins CATERPILLAR et KOMAT'SU possèdent certaines propriétés liées à leurs principes de fonctionnement et au milieu auquel ils sont destinés. Nous allons d'abord analyser l'effet de ces propriétés face à l'utilisation du diesel oil et ensuite apprécier le comportement des moteurs déterminés à partir de l'indisponibilité de service dépendant de l'option de les faire fonctionner avec ce type de carburant. Pour ce faire, on s'appuiera sur les observations des techniciens des ICS et de la SAUDEQUIP et des résultats de l'analyse d'huile effectuée par la société TOTALFINAELF. Ces propriétés sont disponibles grâce à la suralimentation, au régime moyen du moteur et à la pression élevée d'injection du carburant.

4 – 1.1 La suralimentation

Le manque de refroidissement de l'air admis dans le cylindre des moteurs CATERPILLAR et KOMAT'SU améliore la suralimentation. En effet, pour une même pression initiale de l'air admis au cylindre, l'absence de refroidissement de celui-ci diminue légèrement, la pression de fin de compression ; en effet, le flux thermique à travers les parois augmente avec la température et la pression des gaz. Au total, en l'absence de refroidissement, les contraintes mécaniques nées de la combustion sont, toutes choses égales par ailleurs, diminuées et la quantité d'énergie disponible dans les gaz d'échappement est plus élevée. La suralimentation ainsi améliorée permet d'obtenir des niveaux de température et de pression élevés, un excès d'air dans le cylindre et un rendement global élevé du moteur qui favorisent la combustion assez correcte des carburants de qualité moindre.[1]

4 – 1.1.1 Effet de l'élévation de la température et de la pression

L'utilisation d'un compresseur permet d'augmenter la masse d'air volumique des gaz présents dans le collecteur d'admission et la masse d'air admise à chaque cycle. Le fait de disposer d'une suralimentation permet dans une certaine mesure de compenser un défaut de perméabilité de l'admission par une élévation de la pression de suralimentation d'une part et

d'autre part l'effet négatif des produits de la combustion en fin d'échappement qui diminue sa densité par une élévation de la masse d'air admise. Ainsi à la différence du moteur à aspiration naturelle, aucune masse de gaz chaud ne stagne dans le cylindre, masse qui abaisse la densité de l'air frais admis et qui pollue cet air neuf ; la quantité d'oxygène disponible pour la combustion s'en trouve accrue. La température et la pression de l'air admis étant accrues par la compression préalable, le délai d'inflammation s'en trouve réduit. En effet l'augmentation de la température et de la densité de l'air en fin de compression accroît le taux d'apport de chaleur aux gouttelettes de carburant, donc diminue le délai d'allumage. Par conséquent le moteur est moins bruyant et surtout moins sensible à la qualité du carburant. Cette action est d'autant plus accusée que l'alésage est plus grand comme dans le cas des moteurs CATREPILLAR et KOTMAT'SU. En effet, le flux thermique traversant l'unité de parois dont l'aire ne croît que comme le carré du diamètre du cylindre alors que les calories dégagées croissent comme le cube du diamètre, croît avec l'alésage.[1]

4 – 1.1.2 Effet du rendement global élevé

Au total les diesels suralimentés possèdent un meilleur rendement global que les moteurs non suralimentés. En effet, la diminution du rendement mécanique provoquée par l'accroissement des pressions est d'un effet inférieur à l'augmentation du rendement thermodynamique due au pourcentage plus élevé de carburant brûlé à volume constant et à l'augmentation du rendement de remplissage [1]. Ainsi les moteurs diesel suralimentés s'avèrent s'accommoder mieux des combustibles de qualité inférieure.

4 – 1.1.3 Effet de l'excès d'air dans le cylindre

Une fois l'auto-inflammation survenue, le carburant est injecté directement dans la flamme, c'est à dire dans un air dont l'oxygène a été déjà partiellement utilisé. Le jet subit alors un échauffement très brutal, l'évolution thermique est très rapide, les parties les plus volatiles subissent un processus d'oxydation directe provoquant leur inflammation et conduisant à des produits de combustion complète sans destruction de molécules. Ce type de combustion régulière est d'autant plus généralisé que les gouttelettes en ignition, sont mieux environnées d'air pur en abondance.

Les parties moins volatiles qui ne subissent pas ce processus d'oxydation directe sont soumises à des pressions et des températures conduisant à des vitesses de réaction importantes

avec destruction des molécules ; On amorce donc un processus de cracking générateur de produits lourds très difficiles à brûler dans le temps imparti, surtout si l'on se trouve en atmosphère pauvre en oxygène par suite de défaut de turbulence. Dans ce cas l'excès d'air généré par la suralimentation permet de brûler ces produits surtout dans une situation aussi défavorable par le fait que le diesel oil est moins volatile que le gasoil. Dans le cas contraire, les produits lourds, dans certaines circonstances, se rassemblent en des masses qui ne pourront plus être maintenue en suspension : le brouillard floclera, les goudrons se déposent obérant le fonctionnement mécanique du moteur et les échanges thermiques par les parois de la chambre de combustion. [1]

4 – 1.2 Le régime moyen du moteur

Malgré l'amélioration du délai d'allumage du diesel oil par la suralimentation, il reste toujours que le gasoil a un meilleur comportement quand la vitesse de rotation du moteur est élevée. En effet, le délai global, exprimé en écart angulaire de rotation, augmente lorsque la vitesse de rotation croît, mais moins rapidement que celle-ci.

L'accroissement de la vitesse de rotation :

- ✓ accroît la turbulence de l'air, donc les échanges thermiques entre air et gouttelettes
- ✓ accroît la pression et la température de l'air puisqu'il diminue le temps
 - d'échange thermique avec les parois
 - durant lequel l'air comprimé s'échappe par les interstices existant dans la chambre de combustion (segment, soupapes) [1]

Par ce fait, le délai peut être tellement grand qu'il y aura des ratés du moteur. Donc, on voit que le régime moyen du moteur limite le délai d'allumage à des valeurs acceptables.

4 – 1.3 Effet de la pression élevée d'injection

Les moteurs CATERPILLAR et KOMAT'SU sont équipés de pompes d'injection en ligne très puissantes qui sont capables de fournir une pression d'injection élevée de plus de 250 bars au carburant. Cette pression augmente fortement la finesse de la pulvérisation. Ainsi les diamètres des gouttelettes diminuent considérablement, ce qui permet de brûler des combustibles plus lourds tel que le diesel oil. [1]

Cependant, malgré l'adaptation des diesels suralimentés CATERPILLAR et KOMAT'SU à la variation de la qualité du carburant, des conséquences néfastes découlent de l'utilisation du diesel oil, lesquelles sont liées à sa viscosité, à son taux d'impureté, à sa masse volumique, à son taux de soufre et à son indice de cétane qui n'est pas spécifié de manière réglementaire. En effet en pratique, les pétroliers fournissent des diesel oil dont l'indice de cétane est de l'ordre de 48 à 50, sans toutefois que cette qualité puisse être garantie.

4 – 2. LES CONSEQUENCES DE L'UTILISATION DU DIESEL OIL

Pour cerner ces conséquences, une analyse approfondie est faite sur les défaillances majeures constatées par les techniciens qui connaissent les moteurs aux ICS. Ces défaillances concernent :

- ✓ L'usure avancée de pompe d'injection
- ✓ Les manques de puissance fréquents
- ✓ La surchauffe des moteurs

Cette même analyse est faite les défaillances révélées par l'analyse de l'huile moteur. Il s'agit de :

- ✓ L'usure des cylindres
- ✓ La pollution de l'huile moteur

Ainsi les défauts liés à l'utilisation du diesel oil seront déterminés. Pour ce faire, on partira de toutes les situations qui peuvent provoquer ces pannes et ensuite on détermine en fonction des analyses et des informations reçues des techniciens et des résultats de l'analyse d'huile, celle qui prédomine. On identifiera ainsi la part de responsabilité de l'utilisation du diesel oil.

4 – 2.1 Usure avancée de la pompe d'injection

La pompe d'injection est une pompe à piston. Elle sert à augmenter la pression du carburant et à en envoyer une quantité exacte dans l'injecteur. Elle est située dans le circuit de carburant qui contient d'autres composantes pouvant obérer le fonctionnement de la pompe d'injection de par leur comportement face à la qualité du carburant utilisé. En fait, dans le circuit de carburant dont le schéma se trouve en annexe, le diesel est aspiré par la pompe d'alimentation du réservoir de stockage par l'intermédiaire du filtre primaire qui sert à arrêter les grosses particules et d'un clapet anti-retour. Ainsi le carburant est chassé à travers le filtre secondaire. Il sert à arrêter les poussières de dimension du micron et de l'eau avant que le carburant arrive

dans le collecteur de la pompe d'injection. Une valve de purge débarrasse l'air du carburant. Ceci étant, la pompe d'injection reçoit le diesel oil du collecteur et le pousse à très haute pression vers l'injecteur. La capsule de ce dernier est munie de très petits trous qui transforment le débit de carburant en une pulvérisation dans la chambre de combustion. Le fonctionnement correct du circuit de carburant dépend du comportement des composantes qu'il contient. Il est fonction de la variation de la nature du carburant caractérisée par une viscosité dynamique un peu élevée et un taux d'impureté considérable. Donc pour arriver à expliquer l'usure avancée de la pompe d'injection, on procède à l'analyse de chaque composante du circuit.

4 – 2.1.1 La pompe d'alimentation

C'est une pompe à piston double effet commandée par une came de l'arbre à cames pour alimenter la pompe d'injection. Elle présente de par sa nature, entre autres l'avantage de pouvoir déplacer des liquides à viscosité élevée. Par conséquent elle est moins sensible à la qualité du diesel oil.

4– 2.1.2 Les filtres

Les filtres obèrent le plus la disponibilité des engins. En effet le diesel oil contient énormément d'impureté qui altère la finesse des filtres. Ceci s'explique par le fait que les grosses particules du diesel oil font que le seuil de rétention qui était défini pour des particules de diamètre relativement plus petit devient inutile et accélère le colmatage des filtres.

4 – 2.1.3 La pompe d'injection

L'encrassement progressif des filtres provoque des pertes de charges considérables dans le circuit de carburant entraînant une diminution de la pression à l'entrée de la pompe d'injection. Par conséquent, la différence de pression entre l'admission et le refoulement de la pompe d'injection augmente et cause des fuites de carburant. Du fait de l'impureté du diesel oil et du jeu inévitable entre le piston dépourvu de joint et le cylindre, la poussière s'y intercale de manière accélérée par la fréquence rapprochée de colmatage des filtres et provoque l'usure de la pompe d'injection qui entraîne :

- ✓ Une diminution du débit particulièrement sensible au ralenti

- ✓ Une baisse de pression de refoulement, donc une modification de la pulvérisation c'est à dire une perturbation considérable au processus de la combustion. [1]

4 – 2.2. Manque de puissance fréquent

La puissance d'un moteur diesel dépend essentiellement de la quantité de carburant brûlé par unité de temps. Partant de ce fait et des conditions d'exploitation des engins, les manques de puissance fréquents peuvent provenir de quatre situations :

- ✓ Colmatage du filtre à air
- ✓ Encrassement au moins d'un injecteur
- ✓ Colmatage du filtre à gasoil
- ✓ L'usure de la pompe d'injection

4 – 2.2.1 Colmatage du filtre à air

Les conditions atmosphériques aux ICS sont très sévères. Elles sont caractérisées par la présence des particules de gypse et de phosphate en suspension dans l'air. Cette situation provoque un taux d'accumulation de poussières dans le filtre et entraîne l'encrassement prématuré des filtres à air.. Dans ce cas, les pertes de charge entraînent une diminution de la masse d'air admise dans le cylindre. Donc la combustion sera incomplète par manque d'air et sera caractérisée par la présence d'imbrûlés dans le gaz d'échauffement. Si cette situation perdure le filtre se colmate. Le colmatage augmente les pertes de charge dans le collecteur d'admission d'air et entraîne une chute de pression à la sortie du filtre à air. Ainsi il peut arriver que la pression d'échappement soit supérieure à celle de l'admission. Dans ce cas, l'écoulement s'établira dans le sens d'échappement vers admission et entraîne un contre – balayage du moteur. Cette situation conduit à une augmentation du taux de gaz brûlé recyclé qui provoque une réduction de remplissage en air des cylindres et par la même occasion une mauvaise combustion par défaut d'air. Au même moment, la température moyenne des gaz est augmentée par le contre-balayage, ce qui tend à accroître les températures de parois et les transferts thermiques [5]. Dans ce cas, l'action du régulateur est bloquée par la commande du rapport air-carburant qui garde la position du régulateur au point de débit minimal tant que la pression d'alimentation dans le collecteur d'admission d'air est faible.

4 – 2.2.2 Encrassement des injecteurs

La défaillance des injecteurs se traduit entre autres par son encrassement. En effet, entre deux injections, le diesel oil présent en aval du siège de l'injecteur durant les périodes de chauffage excessif du moteur est porté à une température élevée. Ainsi il subit des phénomènes de craquage et de polymérisation qui forment des dépôts adhérents [1]. En effet lorsqu'un hydrocarbure est exposé à des températures élevées, la fraction qui ne peut brûler du fait d'un déficit d'oxygène subit un craquage thermique qui laisse des liaisons carbone ouvertes. La rencontre de deux fragments présentant des liaisons ouvertes donne lieu à polymérisation, c'est-à-dire à la création d'une molécule d'hydrocarbure plus lourde que les constituants initiaux. Globalement, le mécanisme de polymérisation l'emporte sur le craquage, ce qui se traduit par une production d'hydrocarbures lourds, dont la concentration dépasse rapidement le point de saturation. Il y a alors condensation de ces hydrocarbures autour de germes, c'est l'étape de nucléation. La production d'hydrocarbures lourds se poursuivant, il se crée, d'une part, de nouveaux nucléides et, d'autre part, un dépôt autour des nucléides préexistants, c'est-à-dire une étape de croissance en surface. L'agitation thermique provoque la collision des nucléides de HC, qui collent entre eux pour s'agglomérer sous forme de chaînes, c'est le mécanisme de coalescence. La croissance en surface se poursuivant, il y a habillage des gouttelettes collées entre elles, ce qui renforce la solidité des chaînons. L'exposition à température élevée des hydrocarbures lourds initialement formés entraîne leur déshydrogénation plus ou moins complète pour les transformer en carbone. La production des hydrocarbures lourds nécessaires à la création des nucléides sera d'autant plus facile que le poids moléculaire initial du carburant sera élevé comme c'est le cas du diesel oil par rapport au gasoil [2]. Cet encrassement peut aller jusqu'à pratiquement annuler la section de passage du carburant dans l'injecteur. Par conséquent, la pression et le débit d'injection diminuent, altérant ainsi la pulvérisation du carburant. Dans ce cas, l'action du régulateur aura pour effet de rétablir le débit requis pour obtenir le couple moteur exigé à la vitesse considérée. Alors la durée d'injection croît et la fin de combustion est mauvaise. Ceci ajouté à la compression de la quantité d'air supplémentaire présent dans le cylindre entraîne une diminution de la quantité de carburant brûlé et par la même occasion la puissance. [1]

4 – 2.2.3 Colmatage des filtres à gasoil

L'encrassement progressif du filtre à gasoil du fait de l'accumulation des impuretés contenues dans le diesel oil entraîne le colmatage de filtre qui affecte le plus la disponibilité des moteurs aux ICS. En effet, un filtre colmaté entraîne une chute de pression et de débit le long du circuit d'alimentation en carburant dû à l'obstruction des sections de passage du diesel oil. Dans ce cas le temps d'ouverture de la soupape de refoulement de la pompe d'injection augmente et entraîne une diminution de l'avance à l'injection et la qualité de la pulvérisation. En plus de cette situation qui perturbe le calage du moteur, s'ajoute la diminution du débit qui provoque une décroissance de la quantité de carburant à brûler au moment où le rendement est maximal c'est à dire tout juste après le point mort haut. L'action du régulateur n'aura pour effet que de retarder la combustion. Par conséquent, du fait de la diminution du rendement, le moteur manquera inéluctablement de puissance quand l'engin avance dans le tas de phosphate ou de gypse.[1]

4 – 2.3 La surchauffe

L'énergie engendrée dans un moteur à combustion interne sert à fournir un travail mécanique avec un rendement thermodynamique inférieur à l'unité. Dans ce cas, la quantité d'énergie évacuée sous forme de chaleur par les structures (culasse, chemise, piston ...) doit être telle que la température que chacune de ces structures possède en tout point, reste acceptable dans chacun des domaines (frottement, dilatation, lubrification ...). Le pourcentage d'énergie évacuée sous forme calorifique étant important dans les moteurs turbocompresseur, le refroidissement des structures doit être assuré en ne perdant de vue que toute calorie prélevée par les parois aux gaz en cours de combustion et de détente n'a plus aucune chance de se transformer en travail utile. Il importe donc que les flux thermiques prélevés, et en particulier ceux prélevés directement aux culasses, piston, chemise, soit limité au strict nécessaire pour juguler la température des structures de ces organes. De ce fait, une diminution du rendement thermodynamique du moteur et ou une défaillance du circuit de refroidissement porte la température du moteur à un niveau élevé [1]. Ainsi aux ICS, il arrive souvent qu'un moteur soit soumis à une température très excessive à tel point que le joint de culasse brûle. En effet, le joint de culasse est l'organe qui évacue le plus grand flux thermique par unité de surface et par unité de temps. Plusieurs situations peuvent entraîner la surchauffe des

moteurs aux ICS à savoir l'encrassement du radiateur et la mise au ralenti brusque après un fonctionnement prolongé à régime nominal.

4 – 2.3.1 Encrassement du radiateur

Les conditions atmosphériques très sévères caractérisées par la présence de particules de gypse et de phosphate, dans lesquelles travaillent les engins suivant un taux horaire très élevé, favorisent des dépôts de poussières sur les faisceaux du radiateur. Ainsi la surface d'échange de chaleur entre l'eau de refroidissement et l'air atmosphérique d'une part et le coefficient de transfert thermique fluide paroi d'autre part diminuent. Or les quantités de chaleur qu'il faut prélever aux structures pour que les températures de celles-ci restent acceptables impliquent que le transfert thermique entre les faisceaux du radiateur et l'eau reste efficace. Par conséquent, l'élévation de la température subie par cette eau provoque sa vaporisation. Cette vaporisation provoque l'augmentation du volume compris dans la chambre d'eau du moteur, ce qui se traduit par une élévation brutale du niveau de l'eau dans la vase d'expansion, et des pertes d'eau. A cet instant le coefficient de transfert thermique chute davantage puisque celui de la vapeur est inférieur celui de l'eau. Par conséquent la température des structures croît, entraînant ainsi la surchauffe du moteur.[1]

4 – 2.3.2 Mise au ralenti brutale du moteur

En dehors des défaillances pouvant les immobiliser, les engins ne s'arrêtent que pour prendre du diesel oil et suivre les travaux d'entretien qui prennent peu de temps. De ce fait les moteurs sont surexploités et fonctionnent à régime nominal de part la fourniture de puissance très grande que nécessite l'entrée dans les tas de phosphate et surtout de gypse quand celui-ci se présente sous forme de boue. Vu le taux de charge horaire très élevé des engins, leur exploitation nécessite plusieurs conducteurs dont le temps de passation de service provoque une mise au ralenti brutale du moteur. A cela il faut ajouter le fait qu'un conducteur travaillant pendant de longues heures prend souvent le temps de se reposer en cours de service. Or une mise au ralenti brutale s'avère nuisible lorsqu'elle succède à un fonctionnement prolongé à régime nominal. En effet, les structures ont emmagasiné un potentiel calorifique important. Or toute mise au ralenti entraîne une réduction des débits d'eau et d'huile. Cette diminution du débit d'eau se traduit par une augmentation brutale de la température d'eau sortie du moteur, donc des structures et, en particulier des hauts du cylindre. En même temps la pression d'eau

à l'intérieur du moteur est devenue très basse. L'apparition de poches de vapeur en haut de cylindre en est la conséquence la plus inéluctable, laquelle se manifeste par une montée en surface de l'eau dans le vase d'expansion. La température du haut de paroi interne du cylindre, tributaire du coefficient de transfert thermique paroi-eau, s'élève, entraînant la précarité de la lubrification du déplacement segment sur chemise. Un grippage s'amorce, freinant ce déplacement donc de la vitesse de rotation du moteur. Le régulateur, dont la fonction est de maintenir constante la vitesse de ralenti, augmente donc la quantité de carburant injecté, c'est à dire la quantité de calories dégagées dans le cylindre qui contribue à augmenter davantage la température des structures du moteur.[1]

4 – 3 USURE DES CYLINDRES ET POLLUTION DE L'HUILE

4 – 3.1 Usure des cylindres

Les taux d'usure des différentes composantes des moteurs se trouvent dans l'ensemble à l'intérieur des intervalles recommandés par les constructeurs CATERPILLAR et KOMAT 'SU. Cependant il apparaît souvent des taux élevés d'usure des cylindres. En fait, en dehors de l'usure normale des cylindres due au fait que le régime hydrodynamique, qui permet de séparer totalement les surfaces en glissement relatif, n'est pas observé en permanence, ces usures proviennent essentiellement de l'effet des gaz de soufflage et des températures élevées.

4 – 3.1.1 Effet des gaz de soufflage

Les gaz de soufflage proviennent de la chambre de combustion, essentiellement durant les courses de compression et de détente du cycle moteur. Une partie de ces gaz est condensable (eau, carburant), alors qu'une partie est composée de particules solides (suie, poussières). Ces gaz entre autres acides, sont corrosifs, puisqu'ils contiennent du soufre en provenance du diesel oil en dilution souvent dans l'huile moteur. Ces facteurs provoquent l'usure des cylindres malgré l'alcalinité du film d'huile qui tend à la limiter.[5]

4 – 3.1.2 Effet des températures élevées

L'élévation des températures accompagnant les périodes de manques de puissance et durant la surchauffe des moteurs diminue la viscosité de l'huile qui augmente les frottements et altère

l'aptitude de l'huile à maintenir le plus possible le régime de lubrification hydrodynamique aux températures élevées.

4 – 3.2 Pollution de l'huile moteur

La pollution de l'huile moteur présente des taux acceptables par rapport aux intervalles recommandés par les constructeurs. Cependant, les résultats de l'analyse révèlent souvent des pourcentages de silicium, de matières charbonneuses et de dilution assez considérables. Ces pollutions peuvent provenir essentiellement de l'effet des conditions atmosphériques, des produits de mauvaises combustions et des difficultés de démarrage.

4 – 3.2.1 Effet des conditions atmosphériques

Les conditions atmosphériques aux ICS polluent fortement l'huile moteur de part son taux de particules élevé qui s'accumule sur les filtres à air. Comme tout filtre possède une efficacité en terme de pourcentage de particules retenues, le taux d'infiltration de polluants atmosphériques augmente dans le même sens que celui du silicium.

4 – 3.2.2 Effet des mauvaises combustions

La nocivité du fonctionnement au ralenti des moteurs suralimentés et les manques de puissance provoquent en grande partie de mauvaises combustions dans les moteurs turbo-compresseur. En effet, en phase de ralenti, le fonctionnement du diesel suralimenté est obéré du fait que :

- ✓ La température de l'air en fin de compression est faible du fait :
 - De sa faible compression au sein du turbocompresseur recevant peu d'énergie par unité de temps, donc tournant lentement
 - De l'importance des pertes de pression par les fuites aux segments et soupapes
- ✓ La pression d'injection du carburant est faible surtout quand il s'agit du diesel oil qui a une viscosité relativement élevée, ce qui provoque une pulvérisation et une pénétration insuffisante
- ✓ La turbulence de l'air est faible [1]

Ces différents facteurs associés à l'indice de cétane relativement bas du diesel oil augmente le délai d'auto-inflammation et diminue la qualité du mélange du carburant et de l'air. Par conséquent la combustion sera mauvaise.

4 – 3.2.2 Effet des difficultés de démarrage

Les difficultés de démarrage des moteurs sont les principales sources de dilution de l'huile bien qu'elles ne soient pas fréquentes aux ICS. Les conditions anormales de lancement sont dangereuses dans le cas d'un moteur diesel : En effet, à chaque cycle, on introduit dans le cylindre du diesel oil qui, en cas de non-allumage, ne s'évapore pas dans les gaz d'échappement du fait qu'il est liquide et moins volatile. Ce carburant qui s'amasse à chaque cycle dans la chambre de combustion entraîne une dilution de l'huile et provoque une augmentation du rapport volumétrique qui favorise l'auto-allumage. Mais, lorsque la combustion survient, la quantité de diesel oil présente dans le cylindre occasionne des pressions élevées et des dégagements calorifiques intenses sur les parois de la chambre.[1]

En somme, l'utilisation du diesel oil est bien acceptée dans les moteurs CATERPILLAR et KOMAT'SU comme le révèle le taux de disponibilité des engins et le comportement de l'huile moteur, mais des conséquences néfastes liées à l'utilisation du diesel oil apparaissent sur le circuit d'alimentation du carburant à savoir l'usure avancée de la pompe d'injection, l'encrassement des injecteurs et le colmatage des filtres. Mais les pompes d'injections arrivent à épuiser leur durée de vie du fait de la viscosité relativement un peu élevée qui amortit les fuites de carburant et par la même occasion les pertes de pression. Par ailleurs l'usure des cylindres n'est pas uniquement due au taux de soufre relativement élevé du diesel oil car la pollution atmosphérique aux ICS est en pour quelque chose. La pollution de l'huile consécutive à des manques de puissance n'a pas d'incidences majeures puisque ces défaillances ne passent pas inaperçues vue les puissances demandées pour entrer dans les tas de phosphates et de gypse. Les périodes de ralenti et de manques de puissance des engins s'accompagnent de pollutions des gaz d'échappement mais qui est acceptable pour les engins d'exploitation. Fort de ce constat, par une évaluation économique qui portera sur le coût de ces défaillances en rapport avec le diesel oil, nous apprécierons l'apport de l'utilisation de ce carburant aux ICS.

CHAPITRE V : EVALUATION ECONOMIQUE

Hypothèse :

La durée de vie d'un moteur dépend des conditions atmosphériques et de travail auxquelles il est soumis. C'est pourquoi les constructeurs procèdent lors de la mise en service d'un moteur à des essais de simulation en essayant de reproduire les conditions fréquentes les plus défavorables. Ceci est complété par les retours d'expériences consistant à glaner toutes les informations provenant des utilisateurs. Et en conséquence, les constructeurs établissent des recommandations concernant les intervalles de rechanges des pièces d'usure, des vidanges d'huile et de révision du moteur. Partant de ce fait, les recommandations de CATERPILLAR et KOMAT'SU seront considérées pour leurs moteurs fonctionnant avec du gasoil comme des valeurs de référence.

5 – 1 CALCUL DES COUTS DE DEFAILLANCES RELATIFS

Le calcul des coûts de défaillances relatifs concernent l'évaluation des défaillances supplémentaires causées par l'utilisation du diesel oil.

5 – 1.1 Encrassement des filtres

5 – 1.1.1 Calcul de perte d'amortissement : Pam

Données : coût de l'engin : 120000000 Fcfa

période d'amortissement : 8 ans

5 – 1.1.1.1 taux d'amortissement : Ta

$$Ta = \frac{120000000}{8} \Rightarrow Ta = 15000000 \text{ Fcfa / an}$$

5 – 1.1.1.2 taux d'amortissement horaire : Tah

$$Tah = \frac{Ta}{24 \times 365} \Rightarrow Tah = 1712 \text{ Fcfa / h}$$

Données :

Le temps des changement des filtres est approximativement égal à 1 heure

Intervalle de rechange des filtres : 500 heures

$$\text{consommation normale de filtres} = \frac{\text{compteur de l'engin}}{\text{intervalle de rechange des filtres recommandé}}$$

le tableau 5.1 suivant donne les consommation normales et réelles en filtres de chaque engin de 1996 à 2003

ENGINS		VE 583 M	VE583N	VE 583 O
Compteur en heures		37723	30884	35540
consommation	normale	75	61	71
	réelle	183	223	210

Tableau 5.1 : Consommation normale et réelle en filtres

Soit Ns : le nombre supplémentaire de filtres consommés

$$Ns = (183 - 75) + (223 - 61) + (210 - 71) = 409 \quad Ns = 409 \text{ filtres}$$

Dans ce cas la perte d'amortissement est :

$$Pam = Ns \times Tah \times 1 \text{ heure}$$

$$AN : \quad Pam = 409 \times 1712 \times 1 \quad Pam = 700.208 \text{ Fcfa}$$

5 – 1.1.2 Coût de main-d'œuvre : Cmo

Donnée : taux horaire moyen de main-d'œuvre : 892.83 Fcfa / h car un seul ouvrier suffit pour changer le filtre.

$$C_{mo} = 892.83 \times N_s \times 1$$

$$AN : C_{mo} = 892.83 \times 409 \times 1$$

$$C_{mo} = 365.167,5 \text{ Fcfa}$$

5 – 1.1.3 Coût de rechange : Cr

Pour chaque engin, on calcule le prix moyen d'un filtre durant les années d'exploitation.

Le tableau 5.2 suivant donne les valeurs moyennes d'un filtre de 1996 à mars 2003

Engins	VE 583 M			VE 583 N			VE 583 O		
	nombre	valeur	val.moy	nombre	valeur	val.moy	nombre	valeur	val.moy
96 – 97	5	35084	7017	9	34890	3877	9	34890	3877
97 – 98	36	180498	5014	36	180498	5014	31	175472	5660
98 – 99	28	158491	5660	38	173521	4566	37	168955	4566
99 – 00	33	144749	4386	45	171697	3815	38	144989	3815
00 – 01	34	212269	6243	47	314886	6700	46	308186	6700
01 - 02	36	260939	7248	12	102842	8570	13	111412	8570
02 - 03	10	61103	6110	36	203173	5644	36	203173	5644
03 – 04	1	4783	4783				3	14349	4783
		$\Sigma 1$	46461		$\Sigma 2$	38186		$\Sigma 3$	43615

Tableau 5.2 : Valeurs moyenne d'un filtre de 1996 à 2003

Val.moy : valeur moyenne

$$\text{prix moyen d'un filtre} = \frac{\text{la somme des valeurs moyennes d'un filtre de 1996 à 2003}}{\text{nombre d'année d'exploitation de 1996 à 2003}}$$

Posons P_{mf_1} : prix moyen d'un filtre pour VE 583 M

P_{mf_2} : prix moyen d'un filtre pour VE 583 N

P_{mf_3} : prix moyen d'un filtre pour VE 583 O

$$\Rightarrow P_{mf_1} = \frac{\Sigma_1}{\text{nombre d'année}}$$

$$AN : P_{mf_1} = \frac{46461}{8}$$

$$P_{mf_1} = 5808 \text{ Fcfa}$$

$$\Rightarrow P_{mf_2} = \frac{\Sigma_2}{\text{nombre d'année}}$$

$$\text{AN : } Pmf_2 = \frac{38186}{7} \quad Pmf_2 = 5455 \text{ Fcfa}$$

$$\Rightarrow Pmf_3 = \frac{\sum_3}{\text{nombre d'année}}$$

$$\text{AN : } Pmf_3 = \frac{43615}{8} \quad Pmf_3 = 5452 \text{ Fcfa}$$

Donc

$$Cr = (183 - 75) \times Pmf_1 + (223 - 61) \times Pmf_2 + (210 - 71) \times Pmf_3$$

$$\text{AN : } Cr = (183 - 75) \times 5808 + (223 - 61) \times 5455 + (210 - 71) \times 5452$$

$$Cr = 2.268.802 \text{ Fcfa}$$

5 – 1.1.4 Coût d'arrêt de production : Cap

Le coût de location d'un engin de secours appartenant à un prestataire en cas d'arrêt aux ICS s'élève en moyenne à 300.000 Fcfa en 24 heures.

Le coût de production d'un engin des ICS pendant 1 heure s'élève en moyenne à 15.000 Fcfa.

$$Cap = Ns \times 15000 \times 1 \text{ heure}$$

$$\text{AN : } Cap = 409 \times 15000 \quad Cap = 6.135.000 \text{ Fcfa}$$

Par conséquent, le coût de défaillance des filtres C.D.f est :

$$C.D.f = Pma + Cmo + Cr + Cap$$

$$\text{AN : } C.D.f = 700.208 + 365.167 + 2.268.802 + 6.135.000$$

$$C.D.f = 9.469.117 \text{ Fcfa}$$

5 – 1.2 Encrassement des injecteurs

5 – 1.2.1 Calcul de perte d'amortissement : Pam

Données :

Le temps des changement des injecteurs est approximativement égal à 2 heures

Intervalle de rechange des injecteurs : 7500 heures

$$\text{consommation normale d'injecteurs} = \frac{6 \times \text{compteur de l'engin}}{\text{intervalle de rechange des injecteurs recommandé}}$$

le tableau 5.3 suivant donne les consommations normales et réelles en injecteurs de chaque engin de 1996 à 2003

ENGINS		VE 583 M	VE583N	VE 583 O
Compteur en heures		37723	30884	35540
consommation	normale	24	30	24
	réelle	28	34	32

Tableau 5.3 : Consommation normales et réelle en injecteurs

Nombre supplémentaire d'injecteurs consommés : N_s

$$N_s = (28 - 24) + (34 - 30) + (32 - 24) = 16 \quad N_s = 16 \text{ injecteurs}$$

Dans ce cas la perte d'amortissement est :

$$P_{am} = N_s \times T_{ah} \times 2 \text{ heures}$$

$$AN : \quad P_{am} = 16 \times 1712 \times 2 \quad \mathbf{P_{am} = 54.784 \text{ Fcfa}}$$

5 – 1.2.2 Coût de main-d'œuvre : C_{mo}

L'échange d'un filtre qualifié nécessite un ouvrier qualifié.

Donnée : taux horaire moyen de main-d'œuvre : 982.83 Fcfa / h

$$C_{mo} = 982.83 \times N_s \times 2 \text{ heures}$$

$$AN : \quad C_{mo} = 982.83 \times 16 \times 2 \quad \mathbf{C_{mo} = 28.570 \text{ Fcfa}}$$

5 – 1 2.3 Coût de rechange : Cr

Pour chaque engin, on calcule le prix moyen d'un injecteur durant les années d'exploitation.

Le tableau 5.4 suivant donne les valeurs moyennes d'un filtre de 1996 à mars 2003

Engins	VE 583 M			VE 583 N			VE 583 O			
	années	nombre	valeur	val.moy	nombre	valeur	val.moy	nombre	valeur	val.moy
96 – 97										
97 – 98	6	461730	76955	7	611304	76413	7	530754	75822	
98 – 99	2	172872	86436	6	77698	77698	6	466190	77698	
99 – 00	6	466195	77699	6	414749	69125	8	552999	69124	
00 – 01	5	449815	89963	9	822078	91342	8	729224	91153	
01 - 02	9	818218	90913	3	108943	108943	2	217886	108943	
02 - 03				1	90897	90897	1	90897	90897	
03 – 04										
		Σ1	421966		Σ2	514418		Σ3	513638	

Tableau 5.4 : Valeur moyenne d'un filtre de 1996 à 2003

Val.moy : valeur moyenne

$$\text{prix moyen d'un injecteur} = \frac{\text{la somme des valeurs moyennes d'un injecteur de 96 à 03}}{\text{nombre d'année de 1996 à 2003}}$$

Posons Pmi_1 : prix moyen d'un injecteur pour VE 583 M

Pmi_2 : prix moyen d'un injecteur pour VE 583 N

Pmi_3 : prix moyen d'un injecteur pour VE 583 O

$$\Rightarrow Pmi_1 = \frac{\Sigma_1}{\text{nombre d'année}}$$

$$\text{AN : } Pmi_1 = \frac{421966}{5} \qquad Pmi_1 = 84393 \text{ Fcfa}$$

$$\Rightarrow Pmi_2 = \frac{\Sigma_2}{\text{nombre d'année}}$$

$$\text{AN : } Pmi_2 = \frac{514418}{6} \qquad Pmi_2 = 85736 \text{ Fcfa}$$

$$\Rightarrow P_{mi3} = \frac{\sum_3}{\text{nombre d'année}}$$

$$\text{AN : } P_{mi3} = \frac{513638}{6}$$

$$P_{mi3} = 85606 \text{ Fcfa}$$

Donc

$$Cr = (28-24) \times P_{mi1} + (34-30) \times P_{mi2} + (32-24) \times P_{mi3}$$

$$\text{AN : } Cr = (28-24) \times 84393 + (34-30) \times 85736 + (32-24) \times 85606$$

$$\mathbf{Cr = 1.365.364 \text{ Fcfa}}$$

5 – 1.2.4 Coût d'arrêt de production : Cap

Le coût de location d'un engin de secours appartenant à un prestataire en cas d'arrêt aux ICS s'élève en moyenne à 300.000 Fcfa en 24 heures.

Le coût de production d'un engin des ICS pendant 1 heure s'élève en moyenne à 15.000 Fcfa.

$$\text{Cap} = N_s \times 15000 \times 2 \text{ heure}$$

$$\text{AN : } \text{Cap} = 16 \times 15000 \times 2$$

$$\mathbf{\text{Cap} = 480.000 \text{ Fcfa}}$$

Par conséquent, le coût de défaillance des injecteurs C.D.i est :

$$\text{C.D.i} = P_{ma} + C_{mo} + Cr + \text{Cap}$$

$$\text{AN : } \text{C.D.i} = 54.784 + 28.570 + 1.365.364 + 480.000$$

$$\mathbf{\text{C.D.i} = 1.928.718 \text{ Fcfa}}$$

En somme, le coût de défaillance total C.D.T est :

$$\text{C.D.T} = \text{C.D.f} + \text{C.D.i}$$

$$\text{AN : } \text{C.D.T} = 9469177 + 1928718$$

$$\mathbf{\text{C.D.T} = 11.397.895 \text{ Fcfa}}$$

5 – 2 CALCUL DU GAIN SUR LE COUT DU DIESEL OIL

Les tableaux suivants 5.5, 5.6 et 5.7 donnent les volumes en litre de carburant consommés et leur prix correspondant à chaque année. Ils contiennent par ailleurs les prix moyens du diesel oil et du gasoil durant les années d'exploitation des engins.

Soient : V_m le volume total consommé par l'engin VE 583 M

V_n le volume total consommé par l'engin VE 583 M

V_o le volume total consommé par l'engin VE 583 M

P_{md_1} : le prix moyen du diesel oil durant les années d'exploitation de l'engin VE 583 M

P_{md_2} : le prix moyen du diesel oil durant les années d'exploitation des autres engins

P_{mg_1} : le prix moyen du gasoil durant les années d'exploitation de l'engin VE 583 M

P_{mg_2} : le prix moyen du gasoil durant les années d'exploitation des autres engins

Engin	VE 583 M					
	Diesel oil			Gasoil		
Années	volume	valeur	Val.moy	volume	valeur	Val.moy
96 – 97	51248	5893520	115	51248	11530800	225
97 – 98	108497	12694149	117	108497	24845813	229
98 – 99	107280	10728000	100	107280	21026880	196
99 – 00	92465	12020450	130	92465	23578575	255
00 – 01	73421	11527097	157	73421	22613668	304
01 – 02	54282	7708044	142	54282	15090396	278
02 - 03	11451	1877964	164	11451	3675771	321
03 - 04	585	81900	140	585	160290	274
Sommes :	499229	62531124	1065		122522193	2086

Tableau 5.5 : Volume de carburant consommé et prix correspondant

Engin	VE 583 N					
	Diesel oil			Gasoil		
Années	volume	valeur	Val.moy	volume	valeur	Val.moy
96 – 97	51716	5947340	115	51716	11636100	225
97 – 98	98519	11526723	117	98519	22560851	229
98 – 99	108672	1087200	100	108672	21299712	196
99 – 00	109433	14226290	130	109433	27905415	255
00 – 01	97851	15362607	157	97851	30138108	304
01 – 02	76027	10795834	142	76027	21135506	278
02 - 03	67100	11004400	164	67100	21539100	321
03 - 04						
Sommes :	609318	79730394	925		156214792	1812

Tableau 5.6 : Volume de carburant consommé et prix correspondant

Engin	VE 583 O					
	Diesel oil			Gasoil		
Années	volume	valeur	Val.moy	volume	valeur	Val.moy
96 – 97	51716.1	5947351	115	51716.1	11636122	225
97 – 98	108497	12694149	117	108497	24845813	229
98 – 99	108672	10867200	100	108672	21299712	196
99 – 00	94645	12303850	130	94645	24134475	255
00 – 01	78461	12318377	157	78461	24165988	304
01 – 02	64966	9225172	142	64966	18060548	278
02 - 03	67100	11004400	164	67100	21539100	321
03 - 04						
Sommes :	574057	74360499	925	574057	145681759	1812

Tableau 5.7 : Volume de carburant consommé et prix correspondant

$$\text{prix moyen} = \frac{\text{la somme des valeurs moyennes du carburant durant les années d'exploitation}}{\text{la somme des années d'exploitation}}$$

Le tableau 5.8 suivant donne les valeurs des prix moyens du litre de carburant en Fcfa

	Pmd ₁	Pmd ₂	Pmg ₁	Pmg ₂
Diesel oil	133.125	132.143		
Gasoil			260.75	258.85

Tableau 5.8 : Prix moyen du litre de carburant de 1996 à 2003

Gain sur le coût du diesel oil : G_{cg}

$$G_{cg} = V_m \times (P_{mg1} - P_{md1}) + (V_n + V_o) \times (P_{mg2} - P_{md2})$$

$$AN : G_{cg} = 499229 \times (260.75 - 133.125) + (609318 + 574057.1) \times (258.85 - 132.143)$$

$G_{cg} = 213664632$
--

L'évaluation économique sera seulement faite sur l'exploitation des moteurs CATERPILLAR et non sur les moteurs KOMAT'SU compte tenu du manque de données d'exploitation complètes sur ces moteurs. Mais de toute façon, du fait du double filtrage et de la possibilité de réparer les injecteurs chez les moteurs KOMAT'SU, qui diminue respectivement la fréquence de colmatage des filtres et le coût de défaillance des injecteurs, les dépenses d'exploitation liées à l'utilisation du diesel oil sont relativement moins élevées que chez les moteurs CATER. De ce fait, une évaluation économique de l'apport de l'utilisation de ce carburant dans ces derniers permet d'avoir une appréciation financière pour les moteurs KOMAT'SU.

Tout compte fait, le bénéfice réalisé sur le coût du diesel oil est très supérieur de l'ordre de 202.266.737 Fcfa aux coûts de défaillance liées à l'utilisation de ce carburant. En fait cette différence émane du prix du litre de gasoil qui est relativement très élevé et du quantité de carburant consommé par jour. Par ailleurs, l'encrassement des injecteurs dépendant du poids moléculaire du diesel oil est une défaillance dont les remèdes relèvent de la compétence des raffineurs. Par contre le colmatage des filtres dont les coût de défaillance sont relativement important, proviennent des impuretés contenues dans le diesel oil. Donc, pour réduire les fréquences de colmatage des filtres, l'utilisation à tour de rôle des cuves de stockage permet d'avoir le temps nécessaire pour que le carburant se décante car la quantité de diesel oil consommée quotidiennement est très inférieure à la capacité des cuves. Ainsi, une amélioration de la qualité du carburant permettra de réduire le nombre de filtres qui seront hors d'état de servir.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les moteurs diesel turbocompresseur présentent des propriétés à savoir la suralimentation, le régime moyen de rotation et la pression élevée d'injection qui leur confèrent une capacité à réagir favorablement à la variation de la qualité du carburant. Les résultats des analyses de l'huile moteur, pour la plupart du temps, révèlent une bonne tenue de l'huile au delà du délai vidange recommandé par les constructeurs. Ceci montre que le comportement des moteurs CATERPILLAR et KOMAT'SU est acceptable dans l'ensemble. Cependant, la fiabilité des moteurs est limitée par l'apparition de défaillances liées à l'utilisation du diesel oil. En effet, le taux élevé de soufre participe à l'usure des cylindres tandis que les impuretés contenues dans le combustible augmentent la fréquence de colmatage des filtres. Cette fréquence élevée de colmatage des filtres causent l'usure de la pompe d'injection dont les effets (fuites de carburant, pertes de pression au refoulement) sont limités par la viscosité du diesel oil. Le poids moléculaire du diesel oil provoque l'encrassement prématuré des injecteurs. La dilution de l'huile provient essentiellement des mauvais démarrages et le taux élevé de matières carbonneuses révèle les mauvaises combustions issues principalement des périodes de manque de puissance et de ralenti. Les conditions atmosphériques très sévères aux ICS, caractérisées par un taux élevé de particules de gypses et de phosphates en suspension et les conditions d'exploitation, ont une part de responsabilité très élevée, pour ne pas dire complète, dans l'apparition de la surchauffe des moteurs et causent en partie l'usure des cylindres et la pollution de l'huile par la présence du silicium.

L'exploitation normale du matériel roulant est tributaire de l'influence des facteurs internes (qualité de maintenance...) et externes (comportement des conducteurs...) qui sont nombreux et complexes. Donc, une bonne utilisation de ce matériel nécessite une maîtrise de l'identification de la part de chacun de ces facteurs dans l'apparition des différentes défaillances. Dans ce sens, cette étude permet d'avoir une vision réelle de l'apport de l'utilisation du diesel oil et de dévoiler les facteurs de cette dernière qui obèrent le plus le fonctionnement des moteurs. Elle montre que l'utilisation du diesel oil n'a pas un effet trop néfaste sur l'état des moteurs. Ceci participe à la diminution des coûts et à l'amélioration de la qualité de la maintenance en offrant la possibilité de déterminer l'origine certaines défaillances. L'évaluation économique montre que les ICS gagnent beaucoup plus qu'elles en perdent dans cette option d'utiliser ce carburant.

Nous ne pouvons finir ce projet sans énumérer quelques recommandations découlant des résultats de l'étude

- ✓ Laisser décanter le diesel oil dans les trois cuves et utiliser ces dernières à tour de rôle.
- ✓ Vérifier régulièrement le niveau des impuretés dans les cuves de stockage et le réservoir de carburant des engins.
- ✓ Nettoyer régulièrement le fond des cuves de stockage les réservoirs de carburant des engins.
- ✓ Sensibiliser les conducteurs des engins sur les risques liées à la mise au ralenti surtout après une longue période à régime nominal.
- ✓ Eviter que les moteurs atteignent des températures élevées
- ✓ Améliorer les conditions d'alimentation des engins en diesel oil
- ✓ Etudier les perspectives d'installation d'une centrifugeuse

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **R. BRUN** - Science et technique du moteur diesel industriel et de transport tomes 1 et 3, 1981 Editions technip, Paris et Institut Français du Pétrole, Rueil-Malmaison
- [2] **Alain HAUPAIS** - Combustion dans les moteurs diesel, technique de l'ingénieur, traité Génie mécanique. B2700-1
- [3] **Jean-Claude GUIBET** - Carburants liquides, technique de l'ingénieur, traité génie énergétique BE 8545-1.
- [4] **Jean-Claude GUIBET** - Combustibles liquides, technique de l'ingénieur, traité génie énergétique BE 8546-1.
- [5] **Aimé PAROIS** – Suralimentation des moteurs par turbocompresseur, technique de l'ingénieur, traité Génie mécanique, BE 2631-1.

ANNEXES 1

SPECIFICATIONS DES MOTEURS KOMAT'SU

Type de moteur		S6D125-1		
Engine correspondant		D75S-5	GD705A-4	EG200-3
Nombre de cylindres – alésage x course (mm)		6 – 125 x 150		
Cylindrée (cc)		11.040		
Ordre d'injection		1 – 5 – 3 – 6 – 2 – 4		
Dimensions	Longueur hors-tout (mm)	1.603	1.556	1.715
	Largeur hors-tout (mm)	300	377	334
	Hauteur hors-tout (Sans le tuyau d'échappement) (mm)	1.445	1.703	1.571
	Hauteur hors-tout (Avec le tuyau d'échappement) (mm)	–	–	1.807,5
Performance	Puissance au volant (CV/T.M.)	200/2.000	200/2.000	226/1.500 (50 Hz) 251/1.300 (60 Hz)
	Couple max. (kgNm/T.M.)	22/1.500	22/1.300	–
	Avitesse maximale à vide (T.M.)	2.150 – 2.250	2.150 – 2.250	Max. 1.550 (50 Hz) Max. 1.372 (60 Hz)
	Au ralenti (T.M.)	550 – 650	600 – 700	950 – 1.000
	Consommation de carburant minimum (g/CV.h)	152	152	150
Poids du moteur sec (daN)		1.145	1.175	1.250
Pompe d'injection		Bosch type PE – P		
Régulateur		Bosch RSV centrifuge à régime variable		
Contenance d'huile (ℓ)		32 (25)	32 (25)	32 (25)
Contenance du système de refroidissement (ℓ)		23	19	45
Alternateur		24V, 13A	24V, 35A	24V, 13A
Démarreur		24V, 7,5 kw	24V, 7,5 kw	24V, 7,5 kw
Batterie		12V 200Ah x 2	12V 200Ah x 2	12V 140Ah x 2
Turbocompresseur		GARRETT CO. TV7705	GARRETT CO. TV7705	GARRETT CO. TV7705
Compresseur d'air		–	DISEI. KIKI	–
Autres		–	–	–

Modèle de machine	Modèle de moteur	Type de pompe d'injection	Constructeur de la pompe
GD705A-4	S6D125-1	PE-6P	DIESEL KIKI

Numéro d'assemblage de la pompe
6151-71-1511 (10E692-4070) ... 0

Calage de l'injection

	Unité	Base	Tolérance
Sens de rotation		Dans le sens des aiguilles d'une montre vu de l'extrémité de l'entraînement	
Séquence d'allumage		1 - 5 - 3 - 6 - 2 - 4	
Intervalle d'injection		60°	de 59° 30' à 60° 30'
Pré-course du plongeur	mm	3,75	de 3,7 à 3,8
Volume de rétraction de la soupape d'alimentation	mm ³	60	

Spécification pour un moteur équipé d'un ventilateur (pour référence uniquement)

Puissance nominale	CV, tr/min	200/2.000
Couple maximum	daNm, T.M.	92/1.300
Régime maximum à vide	T.M.	de 2.150 à 2.250
Relentil	T.M.	de 600 à 700

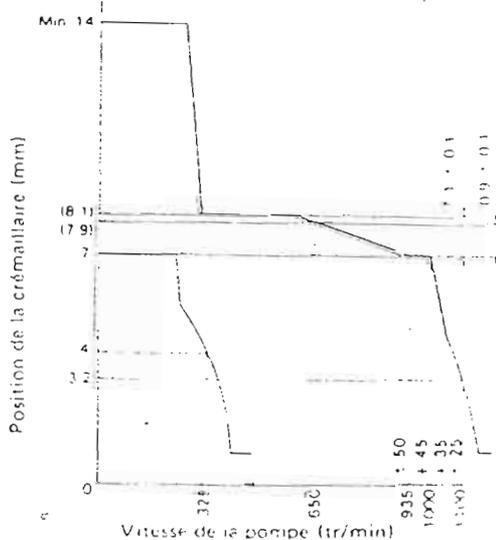
Calibration Standard

Conditions	Unité	Normes du constructeur (avec presque les mêmes pièces)	Normes de réparation (avec les pièces d'essai de calibration)
N° de série de l'injecteur		(105015-5370)	
N° de série de l'injecteur de pompe		(105041-7030)	
Tuyau d'injection (Diam. ext. x diam. int. x longueur)	mm	6 x 2,2 x 710	
Huile d'essai		Gazole ASTM D975 N° 2 ou équivalent	
Température de l'huile	°C	de 43 à 47	
Pression d'ouverture de l'injecteur	bar	250	
Pression de la pompe de transfert	bar	1,6	

Spécifications

	Position de la crémaillère (mm)	Vitesse de la pompe (tr/min)	Volume d'injection des (cc/500st) normes du constructeur			Volume d'injection des (cc/500st) normes de réparation		
			Base	Tolérance	Différence max. entre les cylindres	Base	Tolérance	Différence max. entre les cylindres
Point de base de calibration	7,0	1.000	58,5	Chaque cylindre de 57,5 à 59,5	±1,76	Chaque cylindre		
E	7,9	650	66,0	de 65,0 à 67,0	±2,64	*		
C	4,0	325	7,5	de 6,75 à 8,25	±1,13	*		
D						*		
E						*		

Performance du régulateur



Les nombres entre parenthèses sont les numéros de pièces de rechange du constructeur

Modèle de machine	Modèle de moteur	Type de pompe d'injection	Constructeur de la pompe
EG200-3	S6D125-1	PE-6P	DIESEL KIKI

Numéro d'assemblage de la pompe
6151-71-1930 (100002 4130) ... 0

	Unité	Base	Tolérance
Sens de rotation		Dans le sens des aiguilles d'une montre vu de l'extrémité de l'entraînement	
Séquence d'allumage		1 - 5 - 3 - 6 - 2 - 4	
Intervalle d'injection		60°	de 59° 30' à 60° 30'
Pré-course du plongeur	mm	3,75	de 3,7 à 3,8
Volume de rétraction de la soupape d'alimentation	mm ³	60	

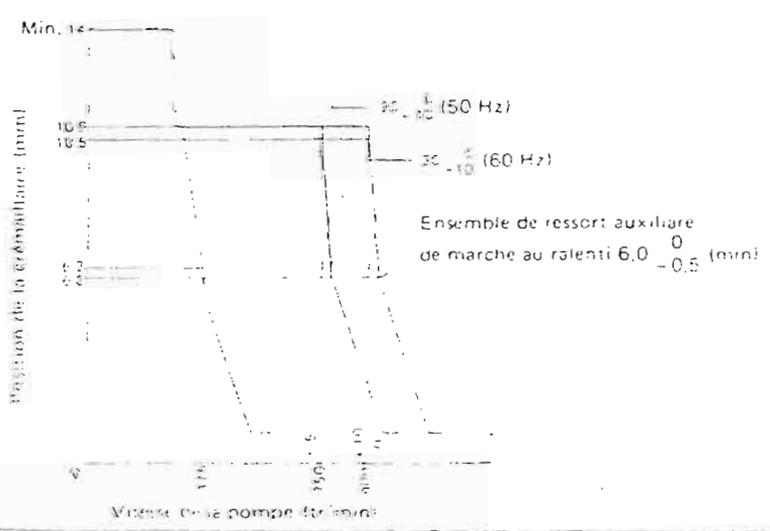
Spécification pour un moteur équipé d'un ventilateur (pour référence uniquement)

Puissance nominale:	CV/tr/min	220 / 1500 (150 Hz) 230 / 1800 (180 Hz)
Couple maximum:	daN.m/T.M.	
Régime maximum à vide:	T.M.	1800 (150 Hz) 2272 (180 Hz)
Ralentis:	T.M.	de 600 à 1000

Conditions	Unité	Normes du constructeur (avec presque les mêmes pièces)	Normes de réparateur (avec les pièces d'essai de réparation)
N° de série de l'injecteur		(105015-5370)	*
N° de série de l'injecteur de pompe		(105041-7030)	*
Tuyau d'injection (Diam. ext. x diam. int. x longueur)	mm	6 x 2,2 x 710	
Fleur d'essai		Qualité ASTM D975 N° 2 ou équivalent	
Température de l'huile	°C	de 43 à 47	
Pression d'ouverture de l'injecteur	bar	250	
Pression de la pompe de transfert	bar	1,6	

Spécifications	Position de la crémaillère (mm)	Vitesse de la pompe (tr/min)	Volume d'injection des (cc/500st) normes de réparation			Volume d'injection des (cc/500st) normes de réparation		
			Base	Tolérance	Différence max. entre les cylindres	Base	Tolérance	Différence max. entre les cylindres
Point de base de calibration:	10,9	900	93,5	Chaque cylindre de 92,5 à 94,5	±2,81	Chaque cylindre		
A	10,5	750	87,5	* de 86,5 à 88,5	±3,50	*	*	*
B	6,3	375	7,5	* de 6,8 à 8,3	±1,13	*	*	*
C			*			*	*	*
D			*			*	*	*
E			*			*	*	*
F			*			*	*	*

Performance du régulateur



Les nombres entre parenthèses sont les numéros de pièces de rechange du constructeur

ANNEXES 2

SPECIFICATIONS DU FUEL, DES HUILES MOTEUR ET LES INTERVALLES DE RECHANGE

Fuel Specifications

Fuel System Information

Check the fuel level in the fuel tank daily by checking the dipstick or observing the sight gauge, if equipped.

NOTICE

Fill the fuel tank at the end of each day of operation to drive out moist air and to prevent condensation. Maintain a fairly constant level in the tank (near the top) to avoid drawing moisture into the tank as the level decreases. Do not fill the tank to the top. Fuel expands as it gets warm and can overflow.

Drain water and sediment from tank at the interval specified in the Maintenance Interval schedule.

Do not fill fuel filters with fuel before installing them. Contaminated fuel will cause accelerated wear to fuel system parts.

Fuel Recommendations

Use only fuel as recommended in this section. The fuels recommended for use in Caterpillar engines are No.2-D diesel fuel and No.2 fuel oil, although No.1 grades are acceptable. The following fuel specifications are some of the worldwide fuels which may meet the requirements.

WORLDWIDE FUEL SPECIFICATIONS-DIESEL ENGINES	
Specifications	Fuel Designation
AMERICAN (U.S.) STANDARDS ASTM D975 ASTM D396 ASTM D2880	No.1-D & No.2-D diesel fuel oil No.1 & No.2 fuel oils No.1-GT & No.2-GT gas turbine fuels
BRITISH STANDARDS BS 2869 BS 2869	Classes A1, A2 & B1 engine fuels Classes C2 & D burner fuels
GERMAN STANDARDS DIN 51601	Diesel Fuel
AUSTRALIAN STANDARD AS 3570	Automotive diesel fuel
JAPANESE STANDARD JIS K2204	Types 1(spl), 1, 2, 3 & 3(spl) gas oil
U.S. GOVERNMENT W-F-800C W-F-815C	DF-1,DF-2 & DF-20 CON U.S. diesel fuel FS-1 & FS-2 burner fuel oil
U.S. MILITARY MIL-L-16884G	Marine Oil

Caterpillar Diesel Engines are capable of burning a wide range of distillate fuels. The use of clean, stable blends of distillate fuel which meet the following requirements will provide quality engine service life.

DISTILLATE FUEL RECOMMENDATIONS-DIESEL ENGINES	
Specifications	Requirements ¹
Aromatics (ASTM D1319)	35% Max.
Ash (ASTM D482)	0.02% Weight Max.
Cetane Number (ASTM D613)	35 Min. for PC Engines 40 Min. for DI Engines
Cloud Point (ASTM D97)	Not Above Lowest Expected Ambient Temperature
Gravity API (ASTM D287)	30 Min. and 45 Max.
Pour Point (ASTM D97)	6°C (10°F) Below Ambient Min.
Sulfur (ASTM D2788, D3605 or D1552)	0.5% Max. (See Sulfur Topic)
Viscosity, Kinematic @ 38°C (100°F) (ASTM D445)	20.0 cSt Max. 1.4 cSt Min.
Water & Sediment (ASTM D1796)	0.01% Max.

¹ As delivered to fuel system

Sulfur

The percentage of sulfur in the fuel will affect the engine oil recommendations. Fuel sulfur is chemically changed during combustion to form both sulfurous and sulfuric acid. These acids chemically attack metal surfaces and cause corrosive wear.

Certain additives used in lubricating oils contain alkaline compounds that are formulated to neutralize these acids. The measure of this reserve alkalinity in a lubricating oil is known as its Total Base Number (TBN). TBN values are essential to neutralize the acids from combustion gases and to minimize corrosive wear.

Fuels containing 0.5% or less sulfur may be used with recommended crankcase oil drain intervals using API CF-4 performance oils. With sulfur above the 0.5% level, use API CF-4 performance oils with an ASTM D-2896 Total Base Number (TBN) of 10 times the fuel sulfur for normal oil drain intervals.

Caterpillar recommends infrared analysis (in conjunction with wear metal analysis) of used oil in determining the effectiveness of oil TBN and acid neutralization. The Caterpillar dealer S•O•S program provides this information. Regular oil analysis (S•O•S) will provide information to monitor oil properties and engine wear metals to maintain successful engine protection and establish oil drain intervals.

Periodically request fuel sulfur content information from your fuel supplier. Fuel sulfur content can change with each bulk delivery. ASTM D-2896 can normally be found at your local technological society, library or college.

Any American Petroleum Institute (API) classification performance oil should have sufficient TBN for fuels with less than 0.5% sulfur. Fuels containing 0.5% or less sulfur may be used with recommended crankcase oil drain intervals using API CF-4 performance oils.

Additives

Fuel additives are generally not recommended nor needed for the specified fuels listed. Cetane improvers can be used as necessary for the direct injection engine requirements. Biocides may be needed to eliminate microorganism growth in storage tanks. In cold conditions, treatment for entrained water may also be necessary.

Consult your fuel supplier about the use of additives to prevent incompatibility among additives already in the fuel and the additives to be used. Other fuel types may be used when economics or fuel availability dictate. Consult your Caterpillar dealer for more information and advice on any specific fuel.

For more information on fuel selection and fuel properties, refer to Diesel Fuels and Your Engine, SEBD0717. For more information on oil, fuel sulfur content, etc., refer to Oil and Your Engine, SEBD0640 or contact your Caterpillar dealer.

Scheduled Oil Sampling (S•O•S)

Caterpillar recommends using Scheduled Oil Sampling (S•O•S), at regularly scheduled intervals, to complement a good preventive maintenance program.

The Caterpillar Scheduled Oil Sampling Program, (S•O•S), was developed to help Caterpillar users realize the highest possible value from their equipment by minimizing repair costs and maximizing availability. The S•O•S program is a series of diagnostic tests which analyze used lubricating oils from the oil wetted compartments of the equipment. By analyzing the used oils, problems may be identified early, before extensive component failure occurs. This reduces repair cost and downtime.

The S•O•S program is coupled with a wide range of repair options so that when a problem is identified, an appropriate matched repair plan is available. This offers the user a more complete service to minimize repair costs and schedule down-time. S•O•S can also measure the effectiveness of the user's maintenance program.

Obtain S•O•S Sample

There are several methods used to obtain S•O•S samples.

NOTE: Sampling methods recommended are in preference order. If one of the first two methods is not feasible, then use the drain stream method.

- Use an in-line sampling valve.
- Use a sampling gun inserted into the sump.
- Use the drain stream method when changing oil.

When using the drain stream method to obtain an oil sample, take the sample after some oil has drained out and before the final drain oil. The oil at the beginning or end of the drain stream is not mixed well enough to be representative of circulating oil in the compartment and may carry debris that can give false S•O•S analysis results.

S•O•S Analysis

S•O•S is composed of three basic tests:

- Wear Analysis
- Chemical and Physical Tests
- Oil Condition Analysis

Wear Analysis monitors the components wear rates by measuring wear elements and contaminants found in the used oil. Through monitoring the used oil, normal component wear trends are determined. Many failures can be identified when wear trends and/or contaminants significantly exceed past trends.

Detectable failures are those caused by component wear and gradual dirt contamination. Wear analysis is not able to predict failures due to component fatigue, sudden loss of lubrication, or sudden ingestion of a large amount of dirt since failures of this nature occur too rapidly.

Chemical and Physical Tests are used to determine whether the used oil has been contaminated with water, fuel or antifreeze and if these contaminants exceed maximum limits.

Oil Condition Analysis determines the degree of deterioration of the used oil by measuring the amount of sulfur products, oxidation, nitration and soot present in the used oil. It also can monitor additive depletion and detect ethylene glycol, Dowtherm and butyl cellosolve contamination.

Oil Condition Analysis can help regulate (reduce, maintain or extend), oil change intervals for a specific machine/engine in a given application. Oil Condition Analysis must always be used with Wear Analysis and the Chemical and Physical Tests.

S•O•S INTERVAL CHART	
Compartment	Interval
Engine Oil	250 Hours
Transmission Oil	500 Hours
Hydraulic Oil	500 Hours
Differential Oil	500 Hours

Consult your Caterpillar dealer for complete information and assistance in establishing a Scheduled Oil Sampling Program for your equipment.

Lubricant Specifications

Lubricant Information

Certain abbreviations follow Society of Automotive Engineers (SAE) J754 nomenclature and some classifications follow SAE J183 abbreviations. SPC is a Caterpillar designation for special synthetic oils, that do not contain viscosity improvers. The MIL specifications are U.S.A. Military Specifications.

The CCMC refers to an organization of major European manufacturers responsible for defining engine oil performance specifications. The definitions other than Caterpillar's will be of assistance in purchasing lubricants. The recommended oil viscosities can be found in the Lubricant Viscosities chart in this publication.

Grease is classified by the National Lubricating Grease Institute (NLGI) based on ASTM D217-68 Worked Penetration characteristics which are given a defined consistency number.

Engine Oil

Cat Diesel Engine Oils

Caterpillar has oil formulations to provide maximum performance and life in the engines in Caterpillar machines.

- Cat Diesel Engine Oil-DEO (CF-4)

Cat Diesel Engine Oil DEO (CF-4) is the preferred multigrade oil for use in Cat diesel engines. It is formulated with strong dispersancy effectiveness along with sufficient alkalinity and lower sulfated ash level for performance requirements of engine operation in today's and future designs.

Multigrade Oils meeting the API CF-4 performance category possess the properties to operate effectively at the higher piston temperatures. The API CF-4 oil is blended in viscosity grades of SAE 10W30 and 15W40. Multigrade oils are required because of the significantly lower oil consumption of multiviscosity oils as compared to single grades.

This oil is also qualified as API SG which allows its use in gasoline engine applications requiring this performance rating.

As of January 1, 1995 the Cat DEO (CF-4) oil will be API CF-4, CG-4/SH performance in the USA, Canada and Australia. The rest of the world will maintain the present oil formulation with its API CF-4 only performance rating.

- Cat Diesel Engine Oil-DEO (CD)

This oil is still provided as one of the Cat Oils, but its usage is limited.

Caterpillar engines which have been operating on the Cat DEO (CD) single grade oils can continue to operate on these oils. But the use of this oil product will not allow the much wider usage in all Caterpillar and other manufacturer's engines as the DEO (CF-4) Product.

Cat Diesel Engine Oil-DEO (CD), is blended with a diesel engine type additive with strong detergency effectiveness. This oil has a higher alkalinity than many oils for the neutralization of wear-causing combustion products and provides additional protection for higher fuel sulfur. This oil is blended in single viscosity grades (SAE 10W, 30 and 40).

Commercial Oils

If Cat oils cannot be used, the following oil specifications provide guidelines for the selection of commercial products:

- API CF-4 multigrade oils are recommended.
- If API CF-4 multigrade oils are not available then use multigrade API CE, CE/SG, CCMC D4, MIL-L-2104E, or API CD.

Commercial oils which have been used with success in the past may continue to be used, provided the formulations have not changed (consult with your oil supplier). However, the use of these oil products will not allow the wider use in all Caterpillar engines and other manufacturer's engines as the API CF-4 oils.

Commercial oils meeting these specifications may require shortened oil change intervals as determined by close monitoring of oil condition with Scheduled Oil Sampling (S•O•S).

NOTICE

Failure to follow the oil recommendations can cause shortened engine life due to piston carbon deposits, liner bore polish and/or abnormally higher increasing oil consumption.

NOTICE

Contact your Caterpillar dealer for more information before using any monograde oils even though they may state the API CF-4 specification.

New Oil Category

API CG-4 will become the replacement category for API-CF4 performance oil classification now in effect. API CG-4 will become effective January, 1995. API CG-4 was developed for low sulfur fuel (0.05%) engine operation, but will also become a replacement for API CF-4 at some time. For normal fuel sulfur levels, API CF-4 oils will continue to be the recommended oil. This information is provided as a reference as commercial oils will start to advertise API CG-4 performance.

Fuel Sulfur

The percentage of sulfur in the fuel will affect the engine oil recommendations. For fuel sulfur effects, infrared analysis or the ASTM D2896 procedure can be used to evaluate the residual neutralization properties of an engine oil. Sulfur products formation depends on the fuel sulfur content, oil formulation, crankcase blowby, engine operating conditions and ambient temperature and available water.

Caterpillar's 20 times rule for TBN (Reference: Oil and Your Engine SEBD0640) versus fuel sulfur is a general requirement which was developed in the early 1980's for Cat prechamber combustion system (PC) engines with the oil formulations of that era. The fuel sulfur neutralization of today's newer oil formulations along with direct injection combustion system (DI) engines are more effective. Field results indicate that DI engines and the oils now recommended for these engines will operate at oil TBN's equal to 10 times the fuel sulfur.

Therefore, the Caterpillar requirements will reflect this new value of 10 times instead of 20 times for oil TBN when related to fuel sulfur for cat DI engines and the API CF-4 oils. Used oil analysis should be a part of the overall program to provide the assurance that a particular engine installation with all its parameters (engine, oil, operation, maintenance and fuel) are under control.

Hydraulic Oil

Cat Hydraulic Oil (HYDO)

Cat Hydraulic Oil is formulated with a balanced additive system, including detergents, rust inhibitors, antiwear agents and defoamers. It will offer maximum protection against mechanical wear, rusting and corrosive wear in all hydraulic and hydrostatic transmission systems.

Cat Hydraulic Oil should be used to achieve maximum life and performance from hydraulic system components and hydrostatic transmissions. Use of Cat Hydraulic Oil is recommended in most hydraulic and hydrostatic systems.

- Cat Hydraulic Oil (HYDO)

If other oils could reduce inventory or if higher viscosities are required because of high ambient temperatures, the following Caterpillar oils can be used:

- Cat Diesel Engine Oil DEO (CF-4)
- Cat Diesel Engine Oil DEO (CD)
- Cat Transmission/Drive Train Oil (TDTO)

Biodegradable Hydraulic Oil (BIO HYDO)

Caterpillar now has available a biodegradable oil for use in machine hydraulic systems. This fluid meets the stringent requirements for the hydraulic system components and satisfies customer needs for a hydraulic oil that is readily biodegradable and non-toxic.

There are two kinds of biodegradable hydraulic oils:

- Rape seed oil - Can be used in applications where the hydraulic tank or oil temperature remains between -7°C (20°F) and 82°C (180°F).

NOTE: Rape seed oil cannot be used with full hydraulic brakes.

- Synthetic oil - Synthetic bio oils cover an operating temperature range of -30°C (-22°F) and 120°C (248°F).

NOTE: For machines with full hydraulic brakes, it is recommended to purge the brake system every 1000 hours. Renew oil around the brake pistons. Drain about .5 L (.13 gal) of oil at each brake.

Contact your Caterpillar dealer for additional information on this new product and its potential use.

Commercial Oils

If Cat oils cannot be used, the following commercial classifications can be used in the hydraulic and hydrostatic transmissions:

- API CF-4/SG, CE/SG, or CD/SG

Premium industrial hydraulic oils that have passed the Vickers vane pump test (35VQ25) and/or have a minimum of 0.09% zinc additive may also be used. These oils should have antiwear, antifoam, antirust and antioxidation additives for heavy duty use as stated by the oil supplier. ISO viscosity grade of 46 would normally be selected.

Transmission Oil

Cat Transmission/Drive Train Oil (TDTO)(TO-4)

Cat Transmission/Drive Train Oil is balanced to give maximum frictional material life in power shift transmissions and eliminate brake chatter in wet brake applications. Manual transmissions which have had the API CD/Cat TO-2 oil recommendation should now use this oil. This oil has passed the requirements for the new Caterpillar TO-4 oil specification which not only includes the frictional requirements, but also has gear wear requirements.

This oil should be used for lubrication of winch, clutch plates, gears and bearings.

This oil is offered in several viscosity grades, including SAE 50, for maximum component life at high ambient temperatures and heavy duty cycles.

Maximum transmission life and performance can be achieved, by using:

- Cat Transmission/Drive Train Oil (TDTO).

NOTICE

This oil is formulated for transmissions and drive trains only, and should not be used in engines. Shortened engine life will result.

NOTE: Multigrade oils are currently not blended by Caterpillar for use in transmissions. Multigrade oils which use high molecular weight polymers as viscosity index improvers lose their viscosity effectiveness by permanent and temporary shear of the viscosity index improver.

Multigrade oils therefore, are not recommended for transmission and drive train compartments. The Cat TO-4 spec does include a test for multigrade oil shear stability and multiviscosity oils with adequate shear stability may be available in the future.

Commercial Oils

If the Cat Transmission/Drive Train Oil is not used, then commercial oils meeting the Caterpillar TO-4 specification should be used:

- TO-4 Specification Oils

NOTE: Failure to follow this recommendation can cause shortened transmission life due to material incompatibility, inadequate frictional requirements for disk materials and/or excessive gear wear.

Differential Oil

Cat Transmission/Drive Train Oil (TDTO)(TO-4)

Cat Transmission/Drive Train Oil is balanced to give maximum frictional material life in power shift transmissions and eliminate brake chatter in wet brake applications. This oil has passed the requirements for the new Caterpillar TO-4 oil specification which not only includes the frictional requirements, but also has gear wear requirements. This oil is offered in several viscosity grades, including SAE 50, for maximum component life at high ambient temperatures and heavy duty cycles.

NOTE: Do not use Cat Gear Oil (GO) in the final drives or differentials. Gear Oil can cause seal material to fail and possibly leak oil.

For maximum life and performance of the differential and final drive components, select the correct viscosity of Caterpillar's:

- Cat Transmission/Drive Train Oil (TDTO)

Commercial Oils

If the Cat Transmission/Drive Train Oil is not used, then commercial oils meeting the Caterpillar TO-4 specification should be used:

- TO-4 Specification Oils

Synthetic Base Stock Oils (SPC)

Synthetic base stock oils are acceptable for use in Caterpillar engines and machines if these oils meet the performance requirements specified for a particular compartment. The requirement for engines and hydraulic systems is API CF-4 with API CE as a second alternate. For transmissions and drive trains, Cat TO-4 or Cat TO-2 as a second alternate is required. For final drives, gearboxes, etc., requiring gear oil, the API GL-5 category is required.

The use of a synthetic base stock oil does not allow the extension of the oil drain period simply because of the use of the oil. Any drain period extension must be validated by oil analysis and test evaluation to insure no excessive component wear occurs in a particular application.

The synthetic oils have naturally low pour points which make them very good oil for low temperature applications. Caterpillar's recommendation for these arctic applications is synthetic base stock oils where start ability at the cold conditions is a requirement.

Oils are changed because they become contaminated with dirt, soot, wear particles, etc. In normal use, the additives in the oil formulation are depleted as the oil functions in a compartment. The oil contamination and additive depletion occurs independent of the oil base stock type.

Synthetic lubricants may be superior to petroleum oils in specific areas. Many exhibit higher viscosity index (VI), better thermal and oxidation stability and sometimes lower volatility. Because synthetic lubricants are higher in cost than petroleum oils, they are used selectively where performance may exceed the capabilities of conventional oils.

Re-refined Base Stock Oils

Caterpillar requires any oil formulation to meet the performance requirements as defined by the API category and have the proper viscosity as defined by SAE J300 specification. The base stock oil used in the formulation can be virgin, re-refined or a combination so long as the final oil formulation meets the requirements of both performance and viscosity.

The combination of the base stock oil and the additive must perform to the defined specifications. If the oil meets these requirements, then its performance in an engine or other compartment should be acceptable. The military specifications and other engine manufacturers have also accepted the use of re-refined oil base stock with the same criteria.

Therefore, the use of oils with re-refined base stocks will depend on the company who has supplied the oil. Have they subjected the oil formulation to the qualifying tests and passed the tests as required to label the oils for the API performance and viscosity grade?

Various methods may be available for the processing of the used oil. Caterpillar would normally recognize a re-refining process as one which subjects the used oil to the same refinery process. Such as; vacuum distillation and hydrotreating, as the virgin base stock was obtained by this method should provide an acceptable base stock from which to formulate a proper oil. But the oil formulated must still pass the required performance and viscosity tests for the compartment for its intended use.

Cat Lubricating Grease

Caterpillar has greases for all applications.

- Cat Multipurpose Molybdenum Grease (MPGM)

Use MPGM Grease for heavily loaded bearings and joints where an extreme pressure grease will maximize the life of Caterpillar equipment. This NLGI No. 2 grade is suitable for most temperatures.

If MPGM Grease is not available, use a multipurpose type grease which contains 3 to 5% molybdenum.

- Cat Multipurpose Lithium Grease (MPGL)

MPGL Grease, NLGI No. 2 grade, is recommended for light duty automotive type applications where a high temperature, up to 175°C (350°F) is required. This grease offers excellent mechanical stability, high resistance to oxidation, good rust protection and excellent breakaway torque.

If this grease is not available, use a similar multipurpose grease.

- Cat Special Purpose Grease (SPG)

SPG Grease is recommended for high temperature anti-friction bearings in such applications as electric motors, alternators, fan drive bearings, starters and generators. The grease is a NLGI No. 2 grade.

If this grease is not available, use a similar multipurpose grease suitable for anti-friction bearings.

Lubricant Viscosities and Refill Capacities

Lubricant Viscosities

LUBRICANT VISCOSITIES FOR AMBIENT (OUTSIDE) TEMPERATURES					
Compartment or System	Oil Viscosities	°C		°F	
		Min	Max	Min	Max
Engine Crankcase DEO CF-4 API CF-4	SAE 0W30 ¹ (SPC)	-40	+30	-40	+86
	SAE 0W20 ¹ (SPC)	-40	+10	-40	+50
	SAE 5W20 ¹ (SPC)	-30	+10	-22	+50
	SAE 10W30	-20	+40	-4	+104
	SAE 15W40	-15	+50	+5	+122
Power Shift Transmission Cat TO-4 Cat TDTO	SAE 0W30 ¹ (SPC)	-40	+20	-40	+68
	SAE 0W20 ¹ (SPC)	-40	+10	-40	+50
	SAE 5W20 ¹ (SPC)	-30	+10	-22	+50
	SAE 10W ²	-25	+10	-13	+50
	SAE 30 ²	-15	+35	+5	+95
	SAE 50	-5	+50	+23	+122
Hydraulic System Cat HYDO Cat TDTO API CF-4 Cat TO-4	SAE 0W30 (SPC) ¹	-40	+40	-40	+104
	SAE 0W20 (SPC) ¹	-40	+40	-40	+104
	SAE 5W30 (SPC) ¹	-30	+40	-22	+104
	SAE 10W (TDTO)	-25	+40	-13	+104
	SAE 10W	-20	+40	-4	+104
	SAE 10W30	-20	+40	-4	+104
	SAE 15W40	-15	+50	+5	+122
	BIO HYDO ³	-18	+32	+0	+90
Differential Cat TO-4 Cat TDTO	SAE 0W30 (SPC) ¹	-40	+10	-40	+50
	SAE 0W20 (SPC) ¹	-40	0	-40	+32
	SAE 5W30 (SPC) ¹	-30	0	-22	+50
	SAE 10W	-35	0	-31	+32
	SAE 30	-25	+25	-13	+77
	SAE 50	-15	+50	+5	+122
Brakes HYDO	SAE 10W	-20	+40	-4	+104

¹ Special oils with synthetic base stocks that do not contain polymer viscosity index improvers. The high viscosity index of the "synthetic" oils provide natural multi-viscosity properties.

² Higher ambient temperature with SAE 10W may be possible; check for the latest recommendations.

³ For BIO HYDO oil, continuous heavy duty operation is limited to +32°C (90°F) ambient temperatures above +32°C (+90°F) should be limited to light duty cycles and short periods of time. Do Not use BIO HYDO oil in hydraulic systems with clutches or brakes.

Refill Capacities

REFILL CAPACITIES - (APPROXIMATE)			
Compartment or System	Liters	U.S. Gal.	Imperial Gal.
Cooling System	43.3	11.3	9.5
Hydraulic Tank	140	36.4	30.8
Fuel Tank ¹	304	79	66.9
Fuel Tank ²	377	98	82.9
Engine Crankcase	28	7.3	6.2
Transmission	59	15.3	13
Front Differential ³	47	12.2	10.3
Front Differential ⁴	65	16.9	14.3
Rear Differential ³	47	12.2	10.3
Rear Differential ⁴	65	16.9	14.3
Brake Reservoirs (If Equipped)	6	1.6	1.3

¹ 1SL1-1343 & 9YJ1-2123.

² 1SL1344-Up, 9YJ2124-Up.

³ 1SL1-1017, 9YJ1-1187 & 8BG1-2361.

⁴ 1SL1018-Up, 9YJ1188-Up & 8BG2362-Up.

Maintenance Intervals

recommended to 1/2 month

When Required

Engine Air Intake System – Service filters	89
Ether Starting Aid (If Equipped) – Replace cylinder	91
Fuel System – Service when loss of power	122
Fuses and Circuit Breakers – Replace/reset	92
Windshield Wipers and Washer – Inspect	94
Bucket Edge – Replace if damaged	95
Bucket Tips – Replace if damaged	95
Filter Inspection – Inspect used filter for debris	96
Ride Control Accumulator (If Equipped) – Check pressure	96

Every 10 Service Hours or Daily

Engine Crankcase Oil – Check oil level	97
Transmission System Oil – Check oil level	98
Hydraulic Tank Oil – Check oil level	98
Radiator – Check coolant level	99
Walk-Around Inspection – Inspect machine	100
* Fuel Tank – Drain water and sediment	101
Air Reservoir – Drain moisture and sediment	102
Seat Belt – Inspect	102
Brakes, Indicators and Gauges – Test	103
Back-up Alarm – Test	103

Every 50 Service Hours or Weekly *

Cab Air System – Clean filters	104
Bucket Lower Pivot Bearings – Lubricate 2 fittings	104
Tires – Check inflation pressure	105

Every 100 Service Hours or 2 Weeks *

Rear Axle Trunnion – Lubricate 2 fittings	106
Steering Cylinder Bearings – Lubricate 4 fittings ..	106
Bucket Upper Pivot Bearing – Lubricate 1 fitting ..	107
Lift Arm and Cylinder Linkage – Lubricate 6 fittings	108
Bucket Cylinder and Linkage Bearings – Lubricate 4 fittings	108
Logging Fork Clamp (If Equipped) – Lubricate 6 fittings	109

Every 250 Service Hours or Monthly *

* Engine Oil and Filter – Change. If the sulfur content in the fuel is greater than 1.5% by weight, use an oil with a TBN of 30 and reduce the oil change interval by one half	110
Engine Valve Lash – Adjust on new or reconditioned engines, then at normal interval thereafter	131
Engine Crankcase Breather – Clean	111
Cooling System – Add coolant additive	111
Brakes – Test	112
Brake Oil Reservoirs (If Equipped) – Check oil level	114
Drive Shaft Spline – Lubricate fitting	115
Fan Bearing – Lubricate fitting	115
Air Conditioner (If Equipped) – Test	116
Fan and Alternator Belts – Inspect/adjust	117
Batteries – Inspect	118

Every 500 Service Hours or 3 Months *

Transmission Oil Filter – Change filter	120
Hydraulic Oil System – Change filter	121
* Fuel System – Change filter/clean screen	122
Fuel Tank Cap and Fill Screen – Clean	124

Every 1000 Service Hours or 6 Months *

Transmission System Oil – Change	125
Drive Shaft Universal Joints – Lubricate 5 fittings ..	127
Drive Shaft Support Bearing – Lubricate fitting ...	127
Frame Pivot Bearings – Lubricate 2 fittings	128
Rollover Protective Structure (ROPS) – Inspect ..	129

Every 2000 Service Hours or 1 Year *

Hydraulic Tank – Change oil	130
Differentials – Change oil	131
* Engine Valve Lash and Fuel Injector Timing – Adjust	131
Engine Valve Rotators – Check	132
Wet Disc Brakes – Inspect	132

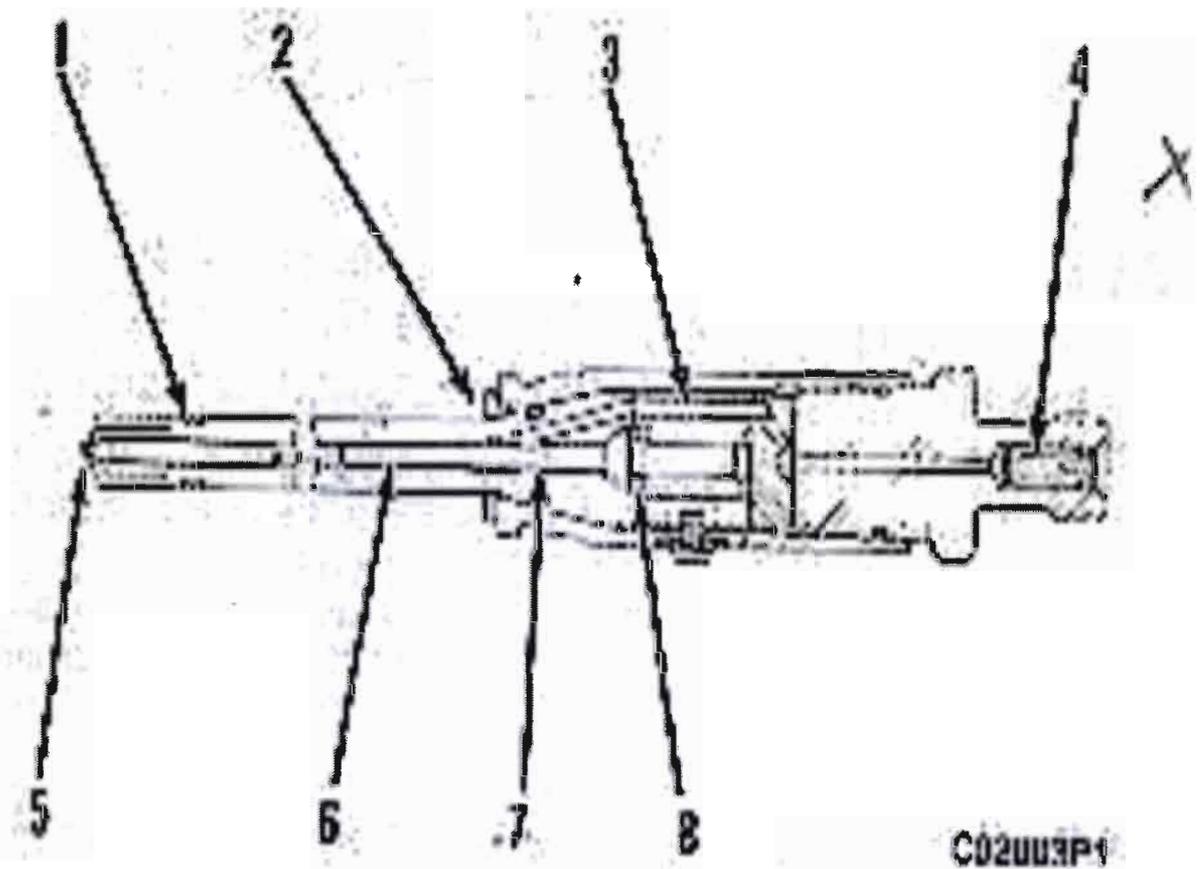
Every 3000 Service Hours or 2 Years *

Cooling System Coolant – Change ..	134
------------------------------------	-----

* First Perform Previous Service Hours Items

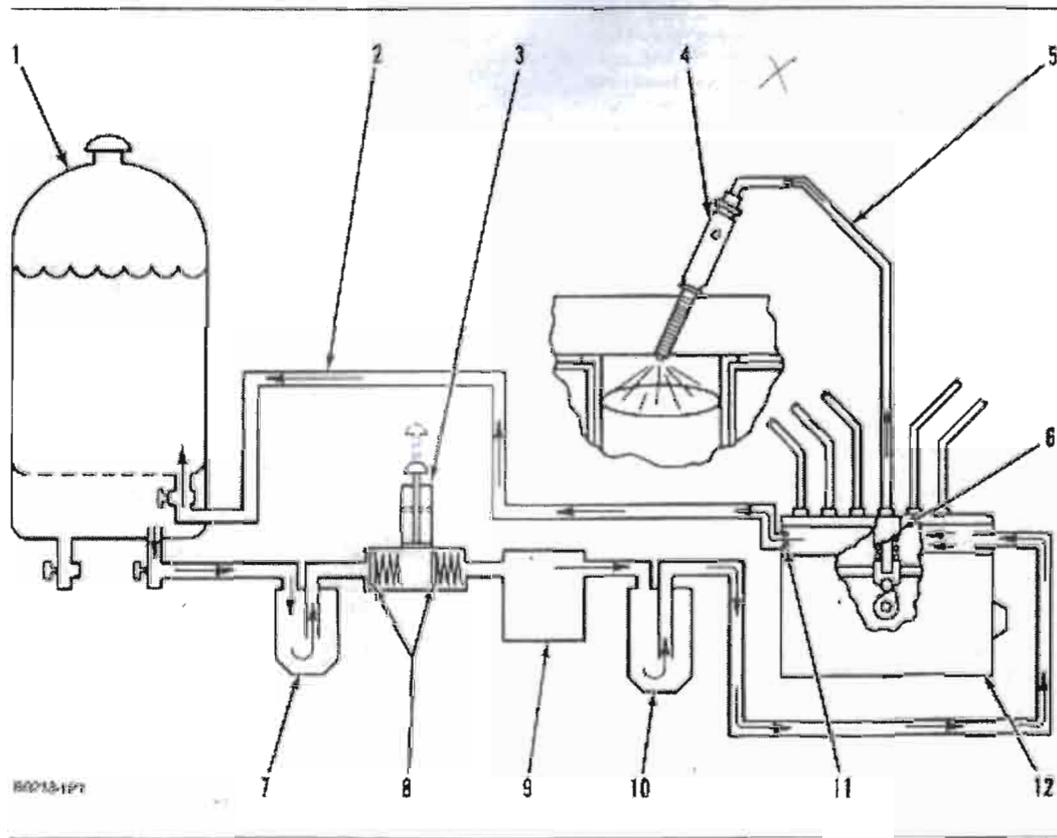
ANNEXES 3

RESULTATS DES ANNALYSES D'HUILE MOTEUR



INJECTEUR DE GAZOLE

1. Barrière anti-calamine
2. Joint
3. Ressort
4. Filtre
5. Passage d'entrée
6. Orifice
7. Valve
8. Diamètre
9. Passage



SCHEMA DE CIRCUIT DE CARBURANT

1. Réservoir de gazole
2. Conduite de retour de gazole
3. Pompe d'amorçage
4. Injecteur de gazole
5. Canalisation d'injecteur de gazole
6. Pompe d'injecteur de gazole
7. Filtre à gazole primaire
8. Clapets anti-retour
9. Pompe d'alimentation en gazole
10. Filtre à gazole secondaire
11. Valve de purge constante
12. Carter des pompes d'injection de gazole



Blending de Dakar
Laboratoire de Contrôle

Dakar, le 03/11/99

BILAN D'EXAMEN :

Bon	Médiocre	Danger
	XXXX	

Echantillon : 4820

Client : ICS DAROU

Adresse : CHIMIE GARAGE

N° identifiant organe : ICS10MOT

Pays : SÉNÉGAL

Matériel	CHARGEUR	Inmatriculation : 10	Organe :	MOTEUR
Marque :	CATERPILLAR	N° parc : 10	Marque :	CAT
Type :	3306		Type :	3306

N° Ech.	Prélevé le :	Vidange	Reçu le :	Réponse du :	Durée de l'organe :	Durée du bain d'huile :	Lubrifiant :	Appoint en litre(s) :	Couleur de l'analyse :
4747	05/08/99	OUI	03/08/99	11/08/99	18645	263	PSU 15W40		X
4794	24/08/99	OUI	31/08/99	02/09/99	19036	391	PSU 15W40		X
4793	06/09/99	OUI	13/09/99	20/09/99	19286	250	PSU 15W40		X
4801	21/09/99	OUI	28/09/99	30/09/99	19567	281	PSU 15W40		X
4820	22/10/99	OUI	02/11/99	04/11/99	20197	259	PSU 15W40		X

sure (ppm)

N° Ech.	Fer	Plomb	Cuivre	Etain	Chrome	Aluminium	Nickel	Molybdène	V al.
4747	64	12	2	10	3	7	<1	<1	<1
4794	54	34	4	13	4	6	2	<1	<1
4793	41	3	2	6	4	4	<1	<1	<1
4801	48	17	3	9	4	6	<1	<1	<1
4820	40	24	2	8	3	4	<1	<1	<1

ollution

N° Ech.	Silicium ppm	Eau %	Dilution %	Mat. Charb. %	Potassium (ppm)	Sodium (ppm)
4747	11	<0,1	NON	2,6	<1	<1
4794	17	<0,1	NON	2,2	<1	<1
4793	9	<0,1	NON	0,8	<1	<1
4801	27	<0,1	NON	2,0	<1	<1
4820	19	<0,1	NON	2,6	<1	<1

aractéristiques Physico-Chimiques

N° Ech.	Viscosités en CST			TBN	TAN
	à 100°C	à 40°C	VIE		
4747		98,6			
4794		106,6			
4793		101,9			
4801		101,0			
4820		113,4			

ommentaires :

Vériifier les paramètres de la combustion : réglage soupapes pompe d'injection et injecteurs .
 Autres valeurs normales .



N° QUAL/1999/12357



Dakar, le 10/06/03

BILAN D'EXAMEN :

Bon	Médiocre	Danger
		XXXX

Echantillon : 15556
N° identifiant organe : ICS11MOT

Client : ICS DAROU
Adresse : GARAGE
CHIMIE
Pays : SENEGAL

Matériel : CHARGEUR	Immatriculation : CHA 11	Organe : MOTEUR
Marque : CAT	N° parc : 11	Marque : CAT
Type : 966		Type : 3306

N° Ech.	Prélevé le :	Vidange	Reçu le :	Réponse du :	Durée de l'organe :	Durée du bain d'huile :	Lubrifiant :	Appoint en litre(s) :	Couleur de l'analyse :	
12145	06/03/02	OUI	06/05/02	17/05/02	30650	319	PSU D 15W40		X	
15224	15/07/02	OUI	21/07/02	23/07/02	?	200	PSU D 15W40		X	
15035	16/08/02	OUI	21/08/02	23/08/02	31752	200	PSU D 15W40		X	
14097	20/03/03	OUI	26/03/03	31/03/03	30900	46	PSU D 15W40			X
15556	29/05/03	OUI	06/01/00	10/06/03	31425	479	PSU D 15W40			X

Elément (ppm)

N° Ech.	Fer	Plomb	Cuivre	Etain	Chrome	Aluminium	Nickel	Molybdène	V al.
12145	24	10	2	3	2	5	<1	<1	<1
15224	18	2	4	7	<1	<1	<1	<1	<1
15035	17	8	10	<1	4	2	2	<1	<1
14097	18	<1	23	<1	<1	<1	<1	<1	<1
15556	65	4	62	2	2	2	<1	<1	<1

Contamination

N° Ech.	Silicium ppm	Eau %	Dilution %	Mat. Charb. %	Potassium (ppm)	Sodium (ppm)
12145	10	<0,1	NON	0,4	<1	<1
15224	7	<0,1	NON	0,4	<1	<1
15035	7	<0,1	NON	0,5	<1	<1
14097	15	<0,1	OUI	0,4	<1	<1
15556	10	<0,1	NON	2,0	<1	<1

Caractéristiques Physico-Chimiques

N° Ech.	Viscosités en CST			TBN	TAN
	à 100°C	à 40°C	VIE		
12145		95,3			
15224		217,0			
15035		105,8			
14097		78,8			
15556		81,3			

Commentaires :

Attention aux usures au niveau cylindre, pignons, surtout coussinets et bagues ; combustion mauvaise ;
Intervenir rapidement.



Blending de Dakar
Laboratoire de Contrôle

Dakar, le 28/02/03

Bilan d'examen : Bon Médiocre Danger
XXXX

Echantillon : 13436

Client : ICS DAROU

Adresse : DAKAR

CHIMIE

Pays : SENEGAL

N° identifiant organe : ICS12MOT

Matériel CHARGEUR	Immatriculation : CHA 12	Organe : MOTEUR
Marque : CAT	N° parc : 12	Marque : CAT
Type : 966		Type : 3306

N° Ech.	Prélevé le :	Vidange	Reçu le :	Réponse du :	Durée de l'organe :	Durée du bain d'huile :	Lubrifiant :	Appoint en litre(s) :	Couleur de l'analyse :	
11749	30/04/02	OUI	27/05/02	29/05/02	30528	217	PSUD 15W40		X	
12062	15/05/02	OUI	27/05/02	29/05/02	30808	280	PSUD 15W40		X	
14972	20/07/02	OUI	21/08/02	23/08/02	31698	140	PSU D 15W40			X
13132	08/01/03	OUI	03/02/03	06/02/03	?	?	PSU D 15W40			X
13436	19/02/03	OUI	27/02/03	28/02/03	34296	296	PSU D 15W40		X	

Usure (ppm)

N° Ech.	Fer	Plomb	Cuivre	Etain	Chrome	Aluminium	Nickel	Molybdène	V al.
11749	34	6	4	2	14	5	<1	<1	<1
12062	32	8	4	2	2	5	<1	<1	<1
14972	98	6	4	<1	5	3	3	<1	<1
13132	14	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
13436	36	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Pollution

N° Ech.	Silicium ppm	Eau %	Dilution %	Mat. Charb. %	Potassium (ppm)	Sodium (ppm)
11749	13	<0,1	NON	2,0	<1	<1
12062	12	<0,1	NON	1,0	<1	<1
14972	12	<0,1	NON	3,3	<1	<1
13132	<1	<0,1	OUI	0,6	<1	<1
13436	3	<0,1	NON	1,2	<1	<1

Caractéristiques Physico-Chimiques

N° Ech.	Viscosités en CST			TBN	TAN
	à 100°C	à 40°C	VIE		
11749		106,7			
12062		114,6			
14972		113,0			
13132		71,9			
13436		80,6			

Commentaires :
VALEURS NORMALES.



QUALITY SYSTEM





ELF ANALYSE SERVICE

Tél. : 832.10.80
Fax : 832.90.65

Dakar, le 10/06/03

BILAN D'EXAMEN : Bon Médiocre Danger
XXXX

Echantillon : 15605
N° identifiant organe : ICS14MOT

Client : ICS DAROU
Adresse : GARAGE
CHIMIE
Pays : SÉNÉGAL

<u>Matériel</u> CHARGEUR	<u>Inmatriculation</u> : 14	<u>Organe</u> : MOTEUR
<u>Marque</u> : KOMATSU	<u>N° parc</u> : 14	<u>Marque</u> : KOMATSU
<u>Type</u> : WA 470		<u>Type</u> : WA 470

N° Ech.	Prélevé le :	Vidange	Reçu le :	Réponse du :	Durée de l'organe :	Durée du bain d'huile :	Lubrifiant :	Appoint en litre(s) :	Couleur de l'analyse :
15112	11/11/02	OUI	19/11/02	21/11/02	17370	324	PSU D 15W40		X
14047	24/12/02	OUI	22/01/03	24/01/03	17690	320	PSU D 15W40		X
14142	24/03/03	OUI	26/03/03	31/03/03	18000	397	PSU D 15W40		X
14128	24/04/03	OUI	28/04/03	30/04/03	18728	331	PSU D 15W40		X
15605	28/05/03	OUI	06/01/00	10/06/03	19175	447	PSU D 15W40		X

Usure (ppm)

N° Ech.	Fer	Plomb	Cuivre	Étain	Chrome	Aluminium	Nickel	Molybdène	V al.
15112	18	10	5	<1	<1	<1	<1	<1	<1
14047	12	2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
14142	19	5	3	<1	<1	<1	<1	<1	<1
14128	18	7	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
15605	22	18	2	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Pollution

N° Ech.	Silicium ppm	Eau %	Dilution %	Mat. Charb. %	Potassium (ppm)	Sodium (ppm)
15112	7	<0,1	NON	0,6	<1	<1
14047	8	<0,1	NON	0,4	<1	<1
14142	8	<0,1	NON	0,4	<1	<1
14128	4	<0,1	NON	0,4	<1	<1
15605	4	<0,1	NON	0,4	<1	<1

Caractéristiques Physico-Chimiques

N° Ech.	Viscosités en CST			TBN	TAN
	à 100°C	à 40°C	VIE		
15112		110,4			
14047		95,3			
14142		84,0			
14128		90,9			
15605		94,7			

Commentaires :
VALEURS NORMALES.



Blending de Dakar
Laboratoire de Contrôle

Dakar, le 29/01/03

BILAN D'EXAMEN : Bon Médiocre Danger
XXXX

Echantillon : 13989

Client : I.C.S. DAROU

N° identifiant organe : ICS15MOT

Adresse : GARAGE

CHIMIE

Pays : SENEGAL

Matériel CHARGEUSE	Immatriculation : 15	Organe : MOTEUR
Marque : KOMATSU	N° parc : 15	Marque : KOMATSU
Type : WA 470		Type : WA 470

Ech.	Prélevé le :	Vidange	Reçu le :	Réponse du :	Durée de l'organe :	Durée du bain d'huile :	Lubrifiant :	Appoint en litre(s) :	Couleur de l'analyse :	
10570	15/05/02	OUI	28/05/02	29/05/02	7954	264	PSUD 15W40		X	
13594	23/06/02	OUI	25/06/02	28/06/02	8707	211	PSU D15W40		X	
14627	16/07/02	OUI	21/07/02	23/07/02	9117	200	PSU D 15W40		X	
15106	07/11/02	OUI	19/11/02	21/11/02	9998	275	PSU D 15W40		X	
13989	06/01/03	OUI	22/01/03	24/01/03	1612	395	PSU D 15W40		X	

ure (ppm)

N° Ech.	Fer	Plomb	Cuivre	Etain	Chrome	Aluminium	Nickel	Molybdène	V al.
10570	10	2	<1	2	2	3	<1	<1	<1
13594	7	2	<1	2	2	4	<1	<1	<1
14627	7	3	<1	2	2	5	<1	<1	<1
15106	37	5	6	2	<1	<1	<1	<1	<1
13989	15	<1	7	<1	<1	<1	<1	<1	<1

o. lution

N° Ech.	Silicium ppm	Eau %	Dilution %	Mat. Charb. %	Potassium (ppm)	Sodium (ppm)
10570	6	<0,1	NON	0,8	<1	<1
13594	5	<0,1	NON	0,4	<1	<1
14627	6	<0,1	NON	0,4	<1	<1
15106	14	<0,1	NON	0,7	<1	<1
13989	5	<0,1	NON	0,4	<1	<1

aractéristiques Physico-Chimiques

N° Ech.	Viscosités en CST			TBN	TAN
	à 100°C	à 40°C	VIE		
10570		90,0			
13594		101,5			
14627		98,0			
15106		105,3			
13989		90,6			

DA 012



ommentaires :
ALEURS NORMALES.

Dakar, le 18/06/03

BILAN D'EXAMEN :

Bon	Médiocre	Danger
XXXX		

Echantillon : 15569

Client : I.C.S. DAROU

N° identifiant organe : ICS15PAR

Adresse : GARAGE
CHIMIE

Pays : SENEGAL

<u>Matériel</u> CHARGEUR	<u>Immatriculation</u> : 15
<u>Marque</u> : KOMATSU	<u>N° parc</u> : 15
<u>Type</u> : WA470	<u>Organe</u> : Pont Arrière
	<u>Marque</u> : KOMATSU
	<u>Type</u> : WA 470

N° Ech.	Prélevé le :	Vidange	Reçu le :	Réponse du :	Durée de l'organe :	Durée du bain d'huile :	Lubrifiant :	Appoint en litre(s) :	Couleur de l'analyse :	
12477	17/04/02	OLII	06/05/02	17/05/02	7455	2250	20W50		X	
15569	10/06/03	OLII	16/06/03	18/06/03	14413	?	PSU D 15W40			X

Usure (ppm)

N° Ech.	Fer	Plomb	Cuivre	Etain	Chrome	Aluminium	Nickel	Molybdène	V al.
12477	111	8	10	13	3	6	2	<1	<1
15569	340	<1	<1	<1	2	4	<1	<1	<1

Pollution

N° Ech.	Silicium ppm	Eau %	Dilution %	Mat. Charb. %	Potassium (ppm)	Sodium (ppm)
12477	17	<0,1	NON	<0,2	<1	<1
15569	19	<0,1	NON	<0,2	<1	<1

Caractéristiques Physico-Chimiques

N° Ech.	Viscosités en CST			TBN	TAN
	à 100°C	à 40°C	VIE		
12477		101,1			
15569		116,2			

Commentaires :

Teneur en fer à surveiller .



Blending de Dakar
Laboratoire de Contrôle

Dakar, le 29/01/03

BILAN D'EXAMEN : Bon Médiocre Danger
XXXX

Echantillon : 13453

Client : I.C.S. DAROU

N° identifiant organe : ICS16MOT

Adresse : GARAGE

CHIMIE

Pays : SENEGAL

<u>Matériel</u> CHARGEUSE	<u>Immatriculation</u> : 16
<u>Marque</u> : KOMATSU	<u>N° parc</u> : 16
<u>Type</u> : WA 470	
<u>Organe</u> : MOTEUR	
<u>Marque</u> : KOMATSU	
<u>Type</u> : WA 470	

Ech.	Prélevé le :	Vidange	Reçu le :	Réponse du :	Durée de l'organe :	Durée du bain d'huile :	Lubrifiant :	Appoint en litre(s) :	Couleur de l'analyse :	
14636	11/07/02	OUI	21/07/02	23/07/02	9105	341	PSU D 15W40		X	
14951	26/07/02	OUI	21/08/02	23/08/02	9324	219	PSU D 15W40		X	
14906	08/03/02	OUI	21/08/02	23/03/02	9542	218	PSU D 15W40		X	
15129	12/11/02	OUI	19/11/02	21/11/02	11494	294	PSU D 15W40		X	
13453	07/01/03	OUI	22/01/03	24/01/03	11525	195	PSU D 15W40		X	

sure (ppm)

N° Ech.	Fer	Plomb	Cuivre	Etain	Chrome	Aluminium	Nickel	Molybdène	V al.
14636	16	10	<1	4	2	5	<1	<1	<1
14951	11	14	6	<1	3	2	3	<1	<1
14906	10	12	5	<1	3	2	3	<1	<1
15129	28	3	<1	<1	2	<1	<1	<1	<1
13453	5	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

pollution

N° Ech.	Silicium ppm	Eau %	Dilution %	Mat. Charb. %	Potassium (ppm)	Sodium (ppm)
14636	6	<0,1	NON	0,4	<1	<1
14951	8	<0,1	NON	1,5	<1	<1
14906	8	<0,1	NON	1,0	<1	<1
15129	11	<0,1	NON	1,1	<1	<1
13453	7	<0,1	NON	0,4	<1	<1

Caractéristiques Physico-Chimiques

N° Ech.	Viscosités en CST			TBN	TAN
	à 100°C	à 40°C	VIE		
14636		94,3			
14951		94,2			
14906		88,7			
15129		106,3			
13453		92,7			

Handwritten signature and date: 20/02



Commentaires :
VALEURS NORMALES.



Blending de Dakar
Laboratoire de Contrôle

Dakar, le 29/01/03

BILAN D'EXAMEN :

Bon	Médiocre	Danger
XXXX		

Echantillon : 14019
N° identifiant organe : ICS17MOT

Client : I.C.S DAROU
Adresse : GARAGE
CHIMIE
Pays : SENEGAL

Matériel : CHARGEUSE	Immatriculation : 17	Organe : MOTEUR
Marque : KOMATSU	N° parc : 17	Marque : KOMATSU
Type : WA 470		Type : 6LD 125

Ech.	Prélevé le :	Vidange	Reçu le :	Réponse du :	Durée de l'organe :	Durée du bain d'huile :	Lubrifiant :	Appoint en litre(s) :	Couleur de l'analyse :	
12098	22/05/02	OUI	25/05/02	25/05/02	7207	253	PSU D 15W40		X	
14773	17/07/02	OUI	21/07/02	23/07/02	8234	207	PSU D 15W40		X	
15223	11/08/02	OUI	21/08/02	23/08/02	8595	461	PSU D 15W40		X	
15095	13/11/02	OUI	19/11/02	21/11/02	10222	268	PSU D 15W40		X	
14019	06/01/03	OUI	22/01/03	24/01/03	11243	469	PSU D 15W40		X	

Usure (ppm)

N° Ech.	Fer	Plomb	Cuivre	Etain	Chrome	Aluminium	Nickel	Molybdène	V. al.
12098	13	2	<1	2	2	3	<1	<1	<1
14773	11	3	<1	3	2	2	<1	<1	<1
15223	21	35	7	<1	4	2	3	<1	<1
15095	17	9	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
14019	20	17	4	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Pollution

N° Ech.	Silicium ppm	Eau %	Dilution %	Mat. Charb. %	Potassium (ppm)	Sodium (ppm)
12098	7	<0,1	NON	0,4	<1	<1
14773	7	<0,1	NON	0,4	<1	<1
15223	8	<0,1	NON	1,0	<1	<1
15095	8	<0,1	NON	0,4	<1	<1
14019	7	<0,1	NON	0,4	<1	<1

Caractéristiques Physico-Chimiques

N° Ech.	Viscosités en CST			TBN	TAN
	à 100°C	à 40°C	VIE		
12098		98,5			
14773		102,0			
15223		84,0			
15095		102,7			
14019		80,0			

Commentaires :
VALEURS NORMALES

Signature
2003
01





ELF ANALYSE SERVICE

Tél. : 849.31.31
Fax : 832.90.65

Dakar, le 10/06/03

BILAN D'EXAMEN : Bon Médiocre Danger
XXXX

Echantillon : 15563

Client : I.C.S. DAROU

N° identifiant organe : ICS17MOT

Adresse : GARAGE

CHIMIE

Pays : SENEGAL

Matériel CHARGEUSE	Immatriculation : 17	Organe : MOTEUR
Marque : KOMATSU	N° parc : 17	Marque : KOMATSU
Type : WA 470		Type : 6LD 125

N° Ech.	Prélevé le :	Vidange	Reçu le :	Réponse du :	Durée de l'organe :	Durée du bain d'huile :	Lubrifiant :	Appoint en litre(s) :	Couleur de l'analyse :
14053	03/02/03	OUI	05/02/03	10/02/03	11830	234	PSU D 15W40		X
14251	10/03/03	OUI	13/03/03	17/03/03	12550	720	PSU D 15W40		X
14107	01/04/03	OUI	14/04/03	16/04/03	12970	420	PSU D 15W40		X
14082	23/04/03	OUI	23/04/03	30/04/03	13348	378	PSU D 15W40		X
15563	23/05/03	OUI	06/01/00	10/05/03	13717	369	PSU D 15W40		X

Usure (ppm)

N° Ech.	Fer	Plomb	Cuivre	Etain	Chrome	Aluminium	Nickel	Molybdène	V al.
14053	6	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
14251	25	29	6	<1	<1	<1	<1	<1	<1
14107	18	11	3	<1	<1	<1	<1	<1	<1
14082	15	11	2	<1	<1	<1	<1	<1	<1
15563	11	10	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Pollution

N° Ech.	Silicium ppm	Eau %	Dilution %	Mat. Carb. %	Potassium (ppm)	Sodium (ppm)
14053	3	<0,1	NON	0,4	<1	<1
14251	7	<0,1	NON	1,0	<1	<1
14107	8	<0,1	NON	2,0	<1	<1
14082	3	<0,1	NON	0,6	<1	<1
15563	2	<0,1	NON	0,6	<1	<1

Caractéristiques Physico-Chimiques

N° Ech.	Viscosités en CST			TBN	TAN
	à 100°C	à 40°C	VIE		
14053		86,6			
14251		82,8			
14107		77,9			
14082		84,5			
15563		84,0			

Commentaires :
VALEURS NORMALES



Blending de Dakar
Laboratoire de Contrôle

Dakar, le 29/01/03

BILAN D'EXAMEN : Bon Médiocre Danger
XXXX

Echantillon : 14010

Client : I.C.S. DAROU

N° identifiant organe : ICS18MOT

Adresse : GARAGE

CHIMIE

Pays : SENEGAL

Matériel : CHARGEUR	Immatriculation : 18	Organe : MOTEUR
Marque : KOMATSU	N° parc : 18	Marque : KOMATSU
Type : WA 470-3		Type : S6D125

N° Ech.	Prélevé le :	Vidange	Reçu le :	Réponse du :	Durée de l'organe :	Durée du bain d'huile :	Lubrifiant :	Appoint en litre(s) :	Couleur de l'analyse :
11979	03/05/02	OUI	03/05/02	23/05/02	7958	132	PSU D 15W40		X
12100	23/05/02	OUI	23/06/02	28/05/02	7418	350	PSU D15W40		X
14649	10/07/02	OUI	21/07/02	23/07/02	8177	225	PSU D 15W40		X
15180	14/11/02	OUI	19/11/02	21/11/02	10371	483	PSU D 15W40		X
14010	27/12/02	OUI	22/01/03	24/01/03	10938	223	PSU D 15W40		X

Usure (ppm)

N° Ech.	Fer	Plomb	Cuivre	Etain	Chrome	Aluminium	Nickel	Molybdène	V. Al.
11979	8	2	<1	2	2	4	<1	<1	<1
12100	10	2	<1	2	2	3	<1	<1	<1
14649	9	3	<1	2	2	5	<1	<1	<1
15180	21	24	2	2	<1	<1	<1	<1	<1
14010	4	5	<1	5	<1	<1	<1	<1	<1

Pollution

N° Ech.	Silicium ppm	Eau %	Dilution %	Mat. Charb. %	Potassium (ppm)	Sodium (ppm)
11979	7	<0,1	NON	0,4	<1	<1
12100	5	<0,1	NON	0,4	<1	<1
14649	6	<0,1	NON	0,4	<1	<1
15180	5	<0,1	NON	1,2	<1	<1
14010	6	<0,1	NON	0,4	<1	<1

Caractéristiques Physico-Chimiques

N° Ech.	Viscosités en CST			TBN	TAN
	à 100°C	à 40°C	VIE		
11979		96,8			
12100		99,0			
14649		95,0			
15180		92,8			
14010		92,8			

Commentaires :
VALEURS NORMALES.



Signature
20/02