

N° Série : .../2024 Université Kasdi Merbah Ouargla



Faculté des Hydrocarbures, Energies Renouvelables et Science de la Terre et de l'Univers

Département de forage et mécanique des chantiers pétroliers

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Option : Mécanique des chantiers pétroliers

Présenté Par :

MEBAREK Imad, CHAHED Youcef Azzedine

-THEME-

**ETUDE ET CALCULE THERMODYNAMIQUE DU MOTEUR
DIESEL CAT c3512**

Soutenue le : 05/ 06 / 2024 devant la commission d'examen

Jury :

Président : Mme. REZAIGUIA Yamina (MAA)

Univ.Ouargla

Examineur : Mr. REZAIGUIA Issam (MAA)

Univ.Ouargla

Rapporteur : MEBROUK Reda (MCA)

Univ.Ouargla

Année universitaire :

2023/2024

ملخص

في هذا العمل درسنا الديناميكيًا الحراريًا لمحرك ديزل لمحطة النفط ، ومن أجل هذه الدراسة اخترنا محرك الديزل الصناعي CAT 3512A ، 12 أسطوانة بمعدل 4 اشواط على شكل V يقود مولد التيار المتردد لإنتاج الطاقة. الهدف من حساب الخصائص الحرارية للمحرك وفعاليتها هو الحفاظ على الأداء الجيد للمحرك من خلال إنشاء مخطط انسيابي للصيانة ضد العديد من المشاكل مثل تآكل المبادلات ، وزيادة درجة حرارة المحرك القصوى ، وتدمير أعضاء المحرك بسبب الضغوط الكبيرة. ومن ناحية أخرى ، يجب اتباع خوارزمية الصيانة التي تشمل الفحص اليومي والصيانة المنتظمة من أجل زيادة عمر خدمة المحرك.

كلمات مفتاحية : محرك CAT 3512A, تريبو, الديزل, القحص, الاحتراق الداخلي.

Abstract

The CATERPILLAR 3512 diesel engine is operated as a group of forces or as a generator that drives an alternator to produce electrical energy to power drilling equipment (mud pump, winch, rotary table, etc..) thus to ensure lighting in the oil rig, and camps. This work aims to determine the operating parameters and performance of a diesel engine by fixing the number of times and the number of cylinders. The thermal calculation of the engine is for the purpose of determining the thermodynamic parameters and the performance of the engine actual conditions, the main results show that the power = 618.86 kW and the efficiency = 38.1%. To have good engine performance, it is necessary to apply a good maintenance policy as well as maintenance and permanent checks to ensure proper operation.

Keywords: CAT 3512A engine, supercharged, diesel, inspection, rocker arms, heat engine.

Résumé

Dans ce travail on étudie thermodynamiquement un moteur diesel de station pétrolière et pour cette étude nous avons choisi le moteur diesel industriel CAT 3512A, 12 cylindres à 4 temps en V entraîne un alternateur de production d'énergie. L'objectif de calculer les caractéristiques thermiques et les performances du moteur est pour maintenir le bon rendement du moteur par l'établissement d'un organigramme de maintenance contre plusieurs problèmes tels que la corrosion des échangeurs, l'augmentation de la température maximale de moteur, la destruction des organes de moteur dus aux grandes contraintes. Et d'autre part un algorithme de maintenance qui comprend l'inspection journalière et l'entretien systématique doit être suivi afin d'augmenter la durée de vie du moteur.

Mots clés: moteur CAT 3512A, suralimenté, gazole, inspection, culbuteurs, moteur thermique.

Table des matières

Introduction.....	1
I. Description du moteur CAT3512A.....	2
I.1 Moteur diesel CATERPILLAR 3512	2
I.2 Description et principe de fonctionnement : [12].....	2
I.3 Description des organes de moteur Caterpillar	4
I.3.1 Les organes fixes.....	5
I.3.2 Les organes mobiles	8
I.4 Etude des circuits et les systèmes	12
I.4.1 Système de distribution.....	12
I.4.2 Système d'injection	13
I.4.3 Les organes du système d'injection	13
I.5 Système de refroidissement.....	14
I.5.1. Description	14
I.5.2 Organes et accessoires du système de refroidissement	15
I.5.3 Le fluide de refroidissement.....	18
I.5.6 Système de graissage	18
I.5.7 Les organes du système de graissage.....	19
I.6 Circuit d'air et suralimentation	20
I.6.1 Circulation d'air dans le moteur	20
I.6.2 Circuit d'échappement	21
I.6.3 Turbo compresseur	21
I.6.4 Le dispositif de suralimentation	21
I.6.5 Principe de fonctionnement de suralimentation	21
I.7 Circuit du gas-oil dans le moteur.....	22
I.8 Système de sécurité	23
I.8.1 Shutoff	23

I.8.2 Tableaux d'affichage.....	24
I.9 Système de démarrage.....	25
I.9.1 Organes de système de démarrage pneumatique	25
I.9.2 Principe de fonctionnement.....	25
II. Etude thermodynamique du moteur diesel Caterpillar 3512A.....	27
II.1 Spécification du moteur CAT 3512A.....	27
II.2 Les données statiques du moteur CAT3512A.....	27
II.3 Partie de calcul thermique [5]	28
II.3.1 Qualité d'air nécessaire à la combustion complète de 1kg de combustible.....	28
II.3.2 Quantité de charge fraîche.....	28
II.3.3 Quantité des produits de combustion.....	28
II.3.4 Quantité totale des produits de combustion	29
II.3.5 Le coefficient de variation molaire théorique	29
II.3.6 La fonction de variation molaire	29
II.3.7 Paramètres de fluide moteur à l'admission	29
II.3.8 Pression en fin d'admission.....	29
II.3.9 Température en fin d'admission	30
II.3.10 Coefficient de remplissage	30
II.3.11 Pression vers la fin de compression	30
II.3.12 Température vers la fin de compression.....	30
II.3.13 Pression maximale du cycle.....	30
II.3.14 Les énergies internes U_n et U en fonction de température.....	30
II.3.15 Température maximale du cycle	31
II.3.16 Le taux de détente préliminaire	33
II.3.17 Le taux de détente postérieure.....	33
II.3.18 Température en fin de détente et l'exposant polytropique de détente postérieure..	33
II.3.19 Pression vers la fin de détente	34

II.3.20 Pression moyenne indiquée	34
II.3.21 Le rendement indiqué	35
II.3.22 La consommation spécifique indiquée.....	35
II.3.23 La pression moyenne effective.....	35
II.3.24 Le rendement effectif.....	35
II.3.25 Consommation spécifique effective.....	35
II.3.26 La vitesse moyenne du piston	35
II.3.27 Cylindre total du diesel.....	35
II.3.28 Débit du combustible	36
II.3.29 Débit d'air	36
II.3.30 Débit d'oxygène.....	36
II.3.31 Quantité des gaz d'échappement	36
II.3.32 Puissance au filtre de cylindrée.....	36
II.3.33 Puissance par unité de surface du piston.....	36
III. Maintenance du moteur CAT 3512A	41
Introduction.....	41
III.1 Définition de la maintenance	41
III.2 Objectifs de la maintenance.....	41
III.2.1 Objectifs Financiers	41
III.2.2 Objectifs Opérationnels.....	41
III.3 Type de maintenance	42
III.3.1 Maintenance préventive	42
III.3.2 Maintenance corrective	42
III.4 Révision générale	42
III.5 Entretien.....	45
III.6 Types d'entretien	45
III.6.1 Entretien de maintien.....	45

III.6.2 L'entretien d'amélioration	45
III.7 Les niveaux de maintenance	46
III.8 Organisation d'entretien du moteur [6].....	48
III.9 Calendrier d'entretien	49
III.10 Révision générale	50
III.11 Les travaux de démontages et de montage	50
III.12. Sécurité du moteur [4]	51
III.12.1 Faible pression d'huile (au-dessous de 105kpa)	51
III.12.2 Température d'eau élevée (au-dessus de 99°C).....	52
III.12.3 Survitesse (surrégimes)	52
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	55

Liste des symboles

ε : Taux de compression

α : Coefficient d'excès d'air

μ_a : la masse molaire d'air

M_1 : Quantité de charge fraîche

M_2 : Quantité des produits de combustion

β_0 : Le coefficient de variation molaire théorique

β : Le coefficient de variation molaire réel

γ_r : coefficient de gaz résiduel

T_s : Température à la sortie du compresseur

T_0 : Température de l'air ambiant

P_s : Pression de suralimentation

P_0 : Pression de l'air ambiant

n_s : Exposant poly tropique du compresseur

T_r : Température des gaz résiduels

P_1 : Pression enfin d'admission

η_v : Coefficient de remplissage

P_c : Pression vers la fin de compression

T_c : Température vers la fin de compression

λ : Taux d'augmentation de la pression

P_z : Pression maximal du cycle

η_c : Coefficient d'utilisation de chaleur

μ_R : Constante universelles des gaz parfaits.

U_c : Energie interne d'un kilo mol d'air a la température vers la fin de compression

U_c'' : Energie interne d'un kilo mol des produits résiduels à T_c

U_z : Energie interne d'une kilo mole des produits de combustion à T_z

T_z : Température maximal du cycle

T_2 : Température enfin de détente

ρ : Coefficient de détente préalable

δ : coefficient de détente postérieur

n_2 : Exposant poly tropique de détente

P_m : Pression moyenne indique : Pression vers la fin de détente

η_c : Coefficient empirique de correction du cycle

Liste des symboles

P : Pression moyenne indiquée

η_i : Rendement indiqué

ρ_s : La masse spécifique de l'air d'admission

R_{air} : constante des gaz parfait

g_i : Consommation spécifique indiquée

P : Pression moyenne effective

η_m : Rendement mécanique

η_e : Rendement effectif

g_e : Consommation spécifique effective

Z : Nombre de cylindre

N : vitesse de rotation du vilebrequin

C : La course D : L'alésage

τ : nombre de temps du moteur

ω_p : La vitesse moyenne du piston

N_e : Puissance effective

G_g : Quantité des gaz d'échappement

G_{co} : Débit du combustible

G_a : Débit d'air

G_{O_2} : Puissance au litre de cylindrée : Débit d'oxygène

P_1 : Puissance au litre de cylindrée

V_h : Cylindrée du moteur

P_{pis} : Puissance par unité de surface du piston

Introduction

Le forage est un procédé primordial afin d'extraire le pétrole celui-ci exige des installations importantes afin d'assurer un environnement de travail sûr et efficace. La technologie de forage des puits de pétrole et de gaz demande l'énergie pour assurer le fonctionnement des systèmes de forage. Les équipements des systèmes de puissance de forage jouent un rôle très important dans le forage des puits. En effet, ils assurent l'énergie nécessaire pour le forage des puits. Parmi les équipements utilisés on site le moteur diesel CATERPILLAR 3512 qui est exploité comme étant un groupe de force ou bien comme un groupe électrogène qui entraîne un alternateur pour produire de l'énergie électrique afin d'alimenter les équipements de forage (pompe à boue, treuil, table de rotation,...) ainsi pour assurer l'éclairage dans la plate forme pétrolière, les camps et les bases de vie. Donc ce moteur est le cœur de l'appareil de forage dans ce site considéré comme aride. Ces moteurs sont touchés en raison du climat de désert et d'autres, par des températures élevées ainsi que fines particules de sable tous ces facteurs au fil du temps ont causé la détérioration continue et rapide des moteurs, ce qui nécessite une maintenance adéquate et stricte.

Ce présent mémoire consiste à étudier un type des moteurs de la famille CATERPILLAR de type « 3512A ». On a commencé par la description du moteur Caterpillar en faisant le tour d'horizon sur différents organes et circuits de système, le calcul thermodynamique et la maintenance de ce moteur. En fin on termine par une conclusion générale donnant la valeur au travail actuel.

I. Description du moteur CAT3512A

I.1 Moteur diesel CATERPILLAR 3512

Le moteur Diesel CATERPILLAR 3512 sert en particulier dans l'entraînement de génératrices électrique utilisé dans les chantiers pétroliers à . Dans le domaine du forage et Works-Over, il existe plusieurs entreprises opérantes en Algérie. Les deux premières sont des entreprises nationales (ENTP, ENAFOR).

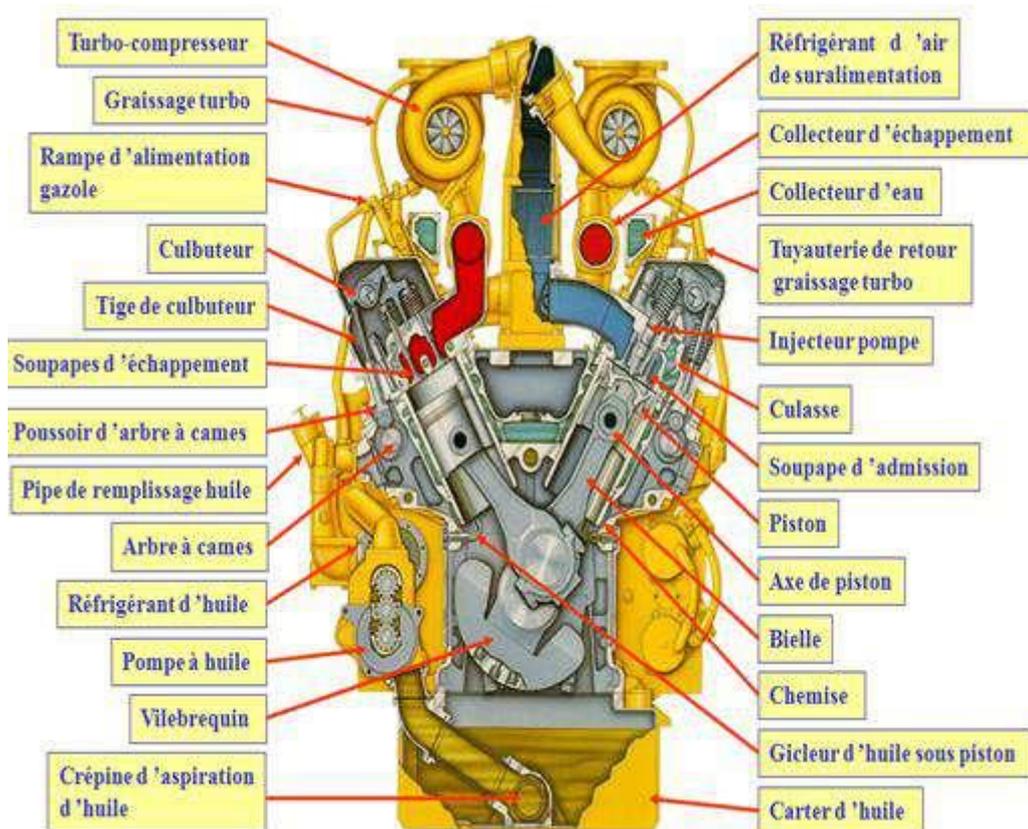


Fig. I.1: Les différentes organes du moteur 3512.[13]

I.2 Description et principe de fonctionnement : [12]

Le moteur CAT 3512 est un moteur de série 3500, 12 cylindres en V. C'est un moteur Diesel à quatre temps à injection directe suralimentée par deux turbocompresseurs qui tournent à une vitesse de 45000 à 60000 tr/min. Chaque culasse comporte deux soupapes d'admission et deux soupapes d'échappement. L'arbre à came actionne mécaniquement les culbuteurs et les soupapes par l'intermédiaire de poussoirs. Le gas-oil est injecté directement dans le cylindre. Un régulateur électrique et un mécanisme de commande contrôle le débit de la pompe d'injection afin de maintenir le régime moteur choisi par l'opérateur. La pompe d'injection combine le dosage et le

Chapitre I

Description du moteur CAT3512A

pompage de gas-oil qui est acheminé aux injecteurs (un par cylindre). L'avance automatique du calage assure une injection optimale sur toute plage de régime moteur. L'air d'admission est filtré par le filtre à air. L'air est comprimé par le turbocompresseur avant de pénétrer dans les cylindres. Le turbocompresseur est entraîné par les gaz d'échappement du moteur. Le moteur est suralimenté et inter refroidi. Le liquide de refroidissement du refroidisseur est mis en circulation par la pompe à eau dans le bloc cylindres. Le cycle à quatre temps de ce moteur est le même que celui de tous les moteurs Diesel. Donc, il nécessite deux tours du vilebrequin ; soit 720° de rotation du vilebrequin pour effectuer un cycle complet. Un cycle complet vaut cinq phases successives suivantes :

La 1^{ère} phase: Est celle d'admission qui fait introduire de l'air frais dans le cylindre par l'intermédiaire des soupapes d'admission ouvertes.

La 2^{ème} phase: Fait comprimer l'air à une pression de 30 à 40 bars se trouvant emprisonné dans le cylindre par l'intermédiaire de piston. Cette compression brutale engendre une température de l'air de 500°C .

La 3^{ème} phase: Fait injecter du gas-oil sous forme de brouillard dès que le piston est au voisinage de PMH. Au contact de l'air surchauffé, le gas-oil s'enflamme spontanément.

La 4^{ème} phase: Entre en action et provoque une augmentation de volume des gaz qui chasse violemment le piston vers le PMB. Le volant reçoit de l'énergie durant cette phase pour franchir et vaincre les temps résistants.

La 5^{ème} phase: Est celle d'échappement qui fait chasser les gaz brûlés vers l'atmosphère par l'intermédiaire des soupapes d'échappement ouvertes.

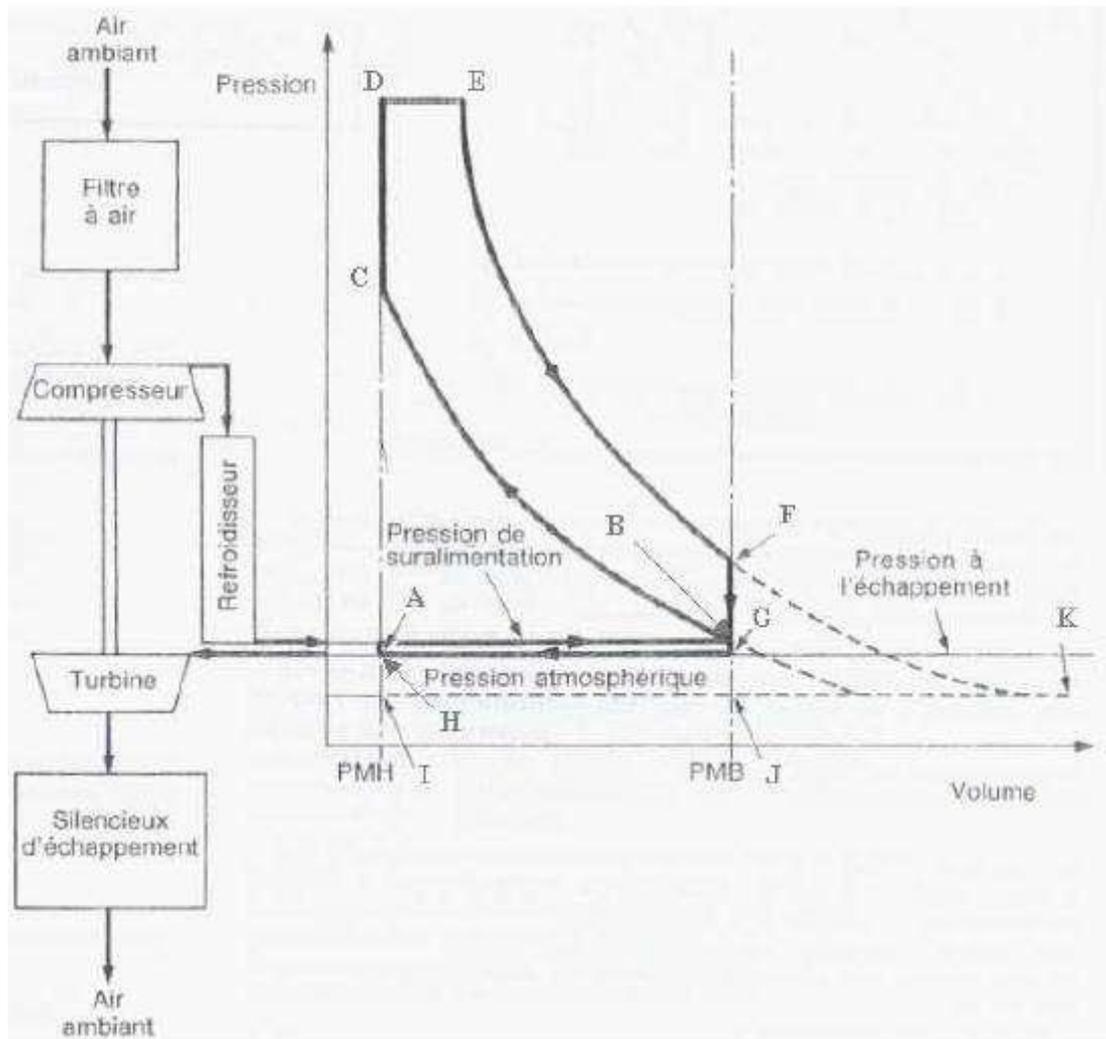


Fig. I.2: Cycle théorique d'un moteur suralimenté. [14]

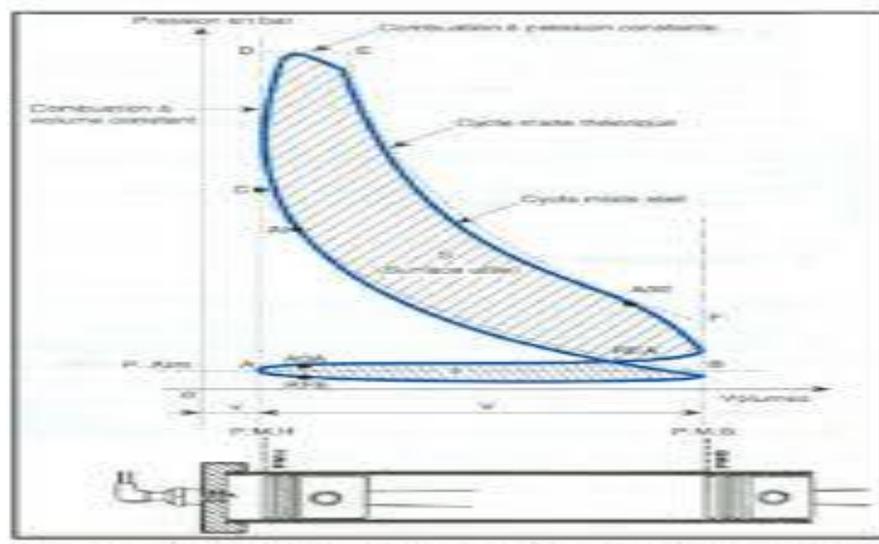


Fig. I.3: Cycle réel d'un moteur suralimenté



Fig. I.4: retard et avance d'admission et échappement.

I.3 Description des organes de moteur Caterpillar

I.3.1 Les organes fixes

a) *Le bloc moteur* : C'est la pièce maîtresse de moteur. Il généralement coulé en fonte d'une, seule pièce. Les cylindres peuvent être usinés ou évidés pour recevoir les chemises. Une circulation d'eau assure leur refroidissement et lubrification [10]. Les blocs de série 3500 CAT comportent des portes de visite qui autorisent l'accès aux embiellages, aux paliers de vilebrequin et aux arbres à cames. Le bloc cylindre doit remplir plusieurs fonctions:

- Résister à la pression des gaz, qui tendent à dilater et à repousser la culasse.
- Guider le piston.
- Contenir l'eau de refroidissement tout en résistant à la corrosion.
- Comme, un support, qui reçoit les ensembles moteurs des cylindres, chemise...etc. [1]

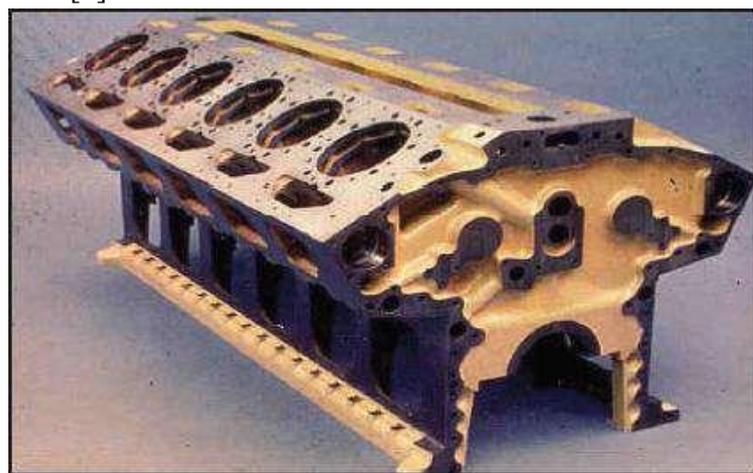


Fig. I.3 : Bloc moteur V12. [13]

b) *Cylindre* : On englobe généralement sous le mon de bloc cylindre l'ensemble fixe constitué par le tube, les cavités de refroidissement, les supports d'organes de distribution et les amorces des tubulures de circulation d'eau, d'alimentation et d'échappement. Le cylindre surmonté de la culasse réalise la chambre de combustion,

Chapitre I

Description du moteur CAT3512A

il est constitué par un tube parfaitement alésé qui contient le piston. Il guide ce dernier entre le PMH et le PMB. Ils sont généralement en fonte [1].

c) Chemise de cylindre : Les chemises de CAT sont en fonte spécifique centrifugée et type amovible. Chaque chemise est fixée à sa partie supérieure par sa collerette serrée entre la culasse et le bloc. La partie inférieure est guidée dans le bloc et l'étanchéité assure par des joints torique. La surface extérieure est revêtue d'un traitement antioxydant La surface interne est pierrée. Ils sont de type chemise humide, fabriquées seule, rapportées sur embase du bloc, positionnées par un méplat. Ils sont directement en contact avec le fluide de refroidissement [1].



Fig. I.4: Chemise de cylindre.

d) Culasse: Les culasse de série 3512 sont de type individuel et reçoivent quatre soupapes par cylindre. Elles sont fabriquées en fonte alliée. Une plaque intermédiaire en aluminium assure un appui sur le bloc et la chemise. Les guides et sièges de soupapes sont amovibles (fixation par ajustage serré). Le puits central d'injecteur est directement usiné dans la culasse. Un conduit d'huile assure le graissage des culbuteurs et les queux de soupapes. Un conduit de gasoil permet l'alimentation des injecteurs. Des férules indépendantes permettant le passage de d'huile et du liquide de refroidissement entre culasse et bloc [1].



Fig. I.5: Le culasse

d) *Le joint de culasse*: Généralement constitué, de deux feuilles de cuivre enserrant une feuille d'amiante, ou réduit quelque fois à sa plus simple expression : une simple feuille de cuivre, le joint de culasse assure l'étanchéité entre la culasse et le bloc cylindre [10].

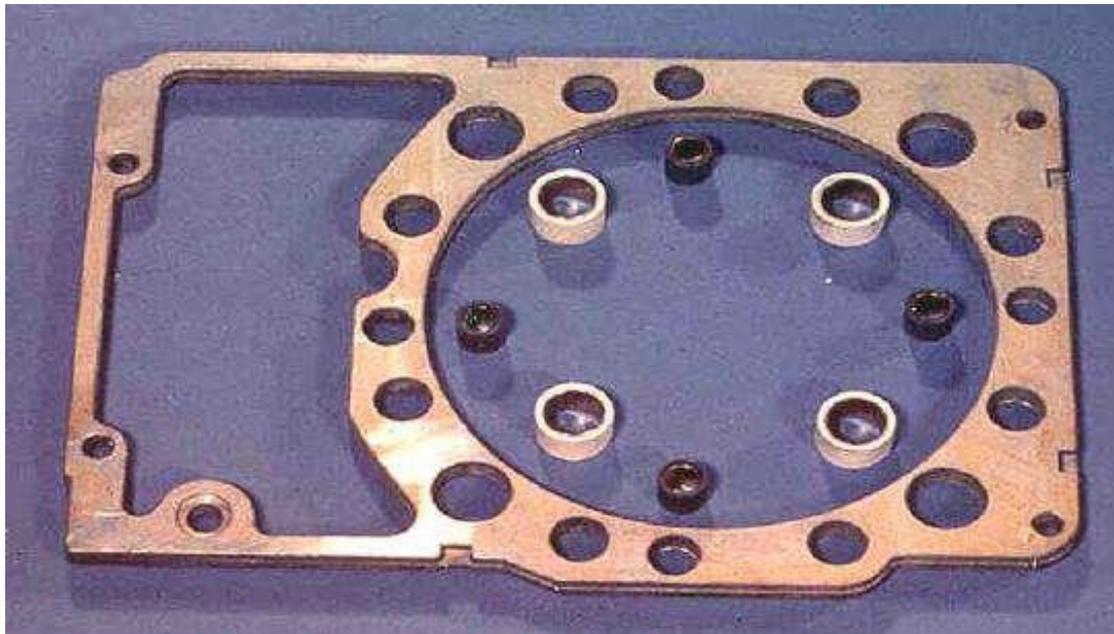


Fig. I.6: Le joint de culasse

f) *Carter* : Le carter est une enveloppe métallique placée à la partie inférieure du moteur, le carter se compose de :

- Le demi-carter supérieur fixé par les boulons à la partie inférieure de bloc-cylindres. Il est coulé avec l'ensemble du bloc-cylindres, il forme le carter cylindre.
- Le demi-carter inférieur ferme complètement la partie inférieure de bloc moteur.



Fig. I.7 : Carter

I.3.2 Les organes mobiles

La transmission de couple moteur est assurée par un système dynamique comportant trois éléments principaux : le piston, la bielle et le vilebrequin. L'ensemble constitue l'attelage mobile [10].

a) Le piston: Animé d'un mouvement rectiligne alternatif, le piston est réalisé en fonte alliée. La tête de piston forme une partie de la chambre de combustion. A ce titre, elle est quelque fois creusée de cavités destinées à créer une turbulence favorable à la combustion. Des segments sont logés dans la partie haute du piston, la tête, assure l'étanchéité de la chambre de combustion. On distingue le segment de feu, les segments de l'étanchéité et les segments racleurs, dont l'un est souvent disposé plus bas que l'axe de piston. Le segment de feu est le plus souvent chromé. Il est disposé assez loin du bord de piston afin d'éviter qu'il soit soumis directement à la chaleur dégagée lors de la combustion [4].



Fig. I.8: Le piston

b) *La Bielle*: La bielle est un organe de liaison entre le piston et le vilebrequin par l'intermédiaire du bras de manivelle du vilebrequin, elle transforme le mouvement circulaire continu de l'arbre de vilebrequin. Elle est en acier très résistant. A ce titre les constructeurs ont généralement adoptés une section en H. Le plan de coupe de la tête de bielle est souvent oblique afin de faciliter la dépose de l'ensemble bielle piston par le haut de cylindre [10].



Fig. I.9: La bielle

c) *L'arbre moteur* : Constitué du vilebrequin et de volant moteur, il transmet sous la forme d'un couple l'énergie développée lors de la combustion. La régularisation du fonctionnement du moteur l'équilibrage de la rotation du vilebrequin est réalisé par le volant moteur. Le vilebrequin est réalisé avec un soin tout particulier, acier au nickel chrome, usinage de précision des parties tournantes, traitements thermiques, équilibrage, font que le vilebrequin, pièce maîtresse du moteur, en constitue l'un des éléments les plus onéreux.

Parmi les éléments principaux du vilebrequin on distingue:

- Les tourillons qui matérialisent l'axe de rotation du vilebrequin.
- Les manetons sur les quels s'articulent les bielles [1].



Fig. I.10: Vilebrequin

d) *L'arbre à cames*: Il est entraîné par le vilebrequin et doté d'autant de cames que des soupapes. Selon la conception de la distribution, son emplacement au sein du moteur varie. La solution la plus répandue sur les moteurs de grandes puissances est la distribution culbutée. L'arbre à came se situe dans le bloc et son entraînement est assuré par un ensemble de pignons dont le rapport de multiplication est d'un demi (1/2). La liaison arbre à cames soupapes est assurée par un ensemble de poussoirs, de tiges de culbuteurs et culbuteurs. Des ressorts hélicoïdaux, logés autour des soupapes, referment automatiquement celles-ci, quand la pression communiquée par les cames de l'arbre à cames cesse. Lorsque l'arbre à cames se situe dans la culasse, il est dit en tête. Cette solution, permet de diminuer le nombre d'éléments donc d'alléger le système de distribution, les poussoirs, les tiges de culbuteurs, les culbuteurs. La liaison arbre à cames vilebrequin est alors réalisée par une courroie crantée. Cette conception de distribution moderne bénéficie de plusieurs avantages :

- Réduction des masses en mouvement.
- Lubrification du système de liaison inexistant.
- Fonctionnement silencieux.



Fig. I.11: L'arbre à came

e) *Les coussinets* : Constitués de demies coquilles démontables, recouvert d'une couche de métal antifriction, ils réalisent les contacts entre le palier du vilebrequin et la tête de la bielle.

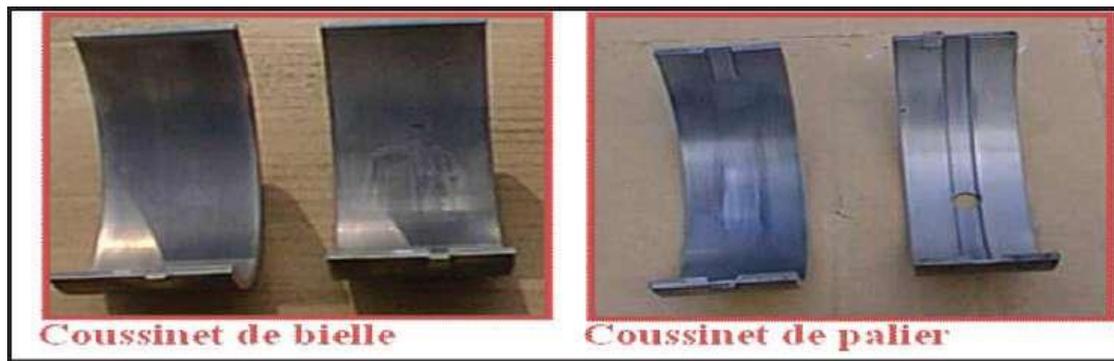


Fig. I.12: Les coussinets.

f) *Les soupapes* : Selon la conception, la puissance du moteur, le nombre de soupapes par cylindre varie généralement au nombre de deux, une d'admission, l'autre d'échappement. Certains moteurs, en vue d'améliorer le remplissage du cylindre, peuvent être dotés de trois voire quatre soupapes par cylindre. Chaque soupape se compose d'une tête munie d'une portée conique et d'une queue, permettant le guidage. On distingue deux sortes de soupapes :

- Les soupapes d'admission.
- Les soupapes d'échappement.



Fig. II.13: Les soupapes et ses accessoires

g) *Les culbuteurs* : Quelque fois appelés aussi basculeurs, les culbuteurs transmettent le mouvement des cames aux soupapes par l'intermédiaire des tiges de culbuteur. L'extrémité en contact avec la tige de culbuteur est munie d'un système vis écrou permettant le réglage du jeu aux culbuteurs.



Fig. II.14: Les doigts du culbuteur.

I.4 Etude des circuits et les systèmes

I.4.1 Système de distribution

La distribution se compose des pignons d'arbre à cames, entraînés par le pignon de vilebrequin et cela par l'intermédiaire de pignons libres. Sur les moteurs CAT de série 3500, le pignon d'arbre à cames est fixé par un montage conique serré. Afin de réduire le bruit, les dentures de pignon sont du type hélicoïdal.

- 1-pignon d'entraînement des pompes à eau et d'huile.
- 2-balancier
- 3-pignon de vilebrequin
- 1_{Arrière}-pignon des arbres à cames gauche et droite.
- 2, 3, 4, 5, 6, 8-pignons intermédiaires.
- 7- arbre à cames.
- 9- pignon de vilebrequin.
- 10- Volant moteur.

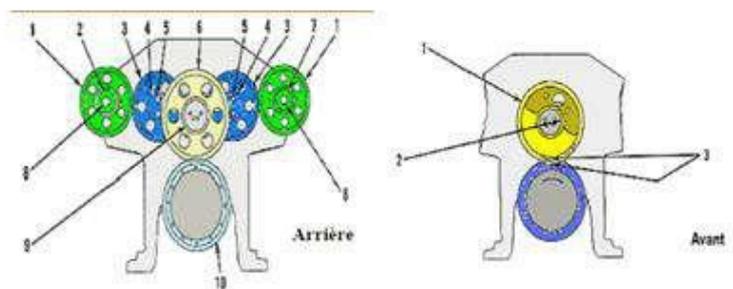


Fig. I.15: Système de distribution.

I.4.2 Système d'injection

Le fuel pour un moteur diesel est la source d'énergie caractérisée par son pouvoir calorifique inférieur (P_c^i). Pour l'acheminer dans la chambre de combustion et il faut l'envoyer sous pression.

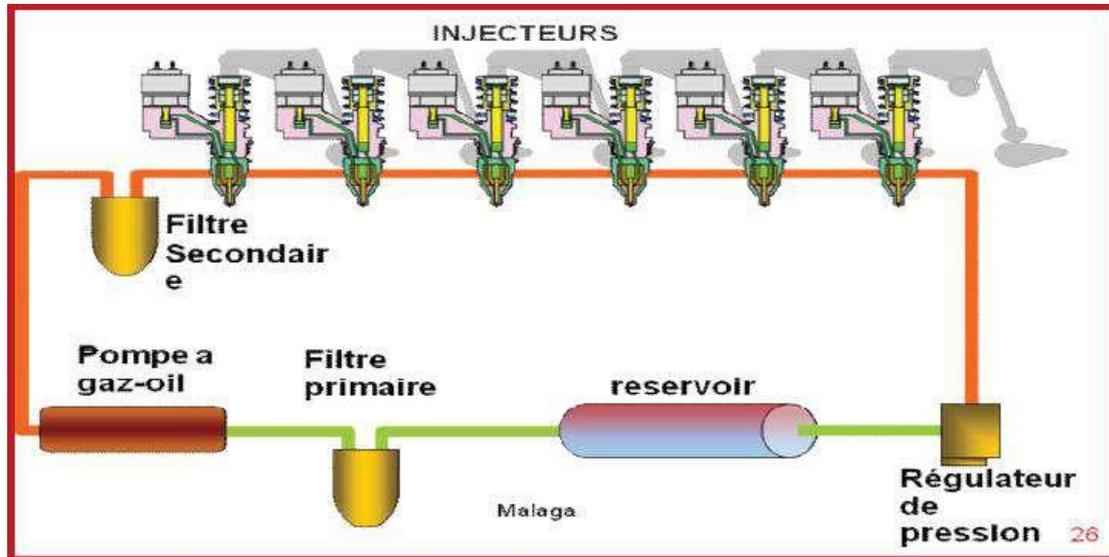


Fig. I.16: Circuit d'injection du gas-oil.

I.4.3 Les organes du système d'injection

a) *Le pré filtre* : Il filtre les purifier de gasoil, son rôle est de protéger la pompe d'alimentation.

b) *La pompe d'alimentation* : Son rôle est d'amener le fuel du réservoir à la pompe d'injection à une basse pression (200 à 500 KPa) afin d'assurer un bon remplissage des éléments de pompe d'injection dans un temps très court. Cette pompe doit amener une quantité de carburant suffisante pour le fonctionnement du moteur à tous les régimes est sous les variations de charge.

c) *Filtre principaux* : Le cartouche est du type étoile, en papier le passage du combustible s'effectue dans le sens radial, de l'extérieur vers l'intérieur. Les plis que forme le papier sont fermés en haut et en bas par des disques de recouvrement. Une fois filtré, le combustible afflue à l'intérieur du tube central perforé. Les impuretés sont tenues à la surface du filtre ou elles adhèrent.

d) *Les injecteurs* : Les injecteurs utilisés dans le moteur CAT 3512 sont des injecteurs de type injecteurs pompe, le gasoil est injecté à la quantité essartement dosée et dans un moment bine détermine, avec une injection est directe. Tous les réglages des régimes de moteur sont au niveau de l'injecteur pompe qui sont réalisés par crémaillère. L'injecteur pompe est actionné par un poussoir, une tige et un culbuteur. La crémaillère est mue par un arbre situé de chaque côté de moteur à l'aide d'une tige montée en compression sur le ressort.

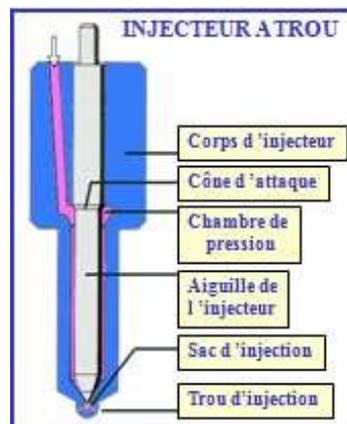


Fig. I.17: Injecteur pompe

I.5 Système de refroidissement

I.5.1. Description

On appelle "système de refroidissement" l'ensemble des mécanismes et dispositifs qui maintiennent l'état thermique requis des pièces. Le système de refroidissement comprend une pompe à eau centrifuge entraînée par engrainage, avec un boîtier des thermostats comprenant quatre thermostats pour régler la température de l'eau de refroidissement qui circule dans le moteur, les refroidisseurs d'huile et les refroidisseurs d'admission. L'évacuation de chaleur s'effectue dans le radiateur par l'air envoyé à l'aide d'un ventilateur à huit pales entraîné par courroies.

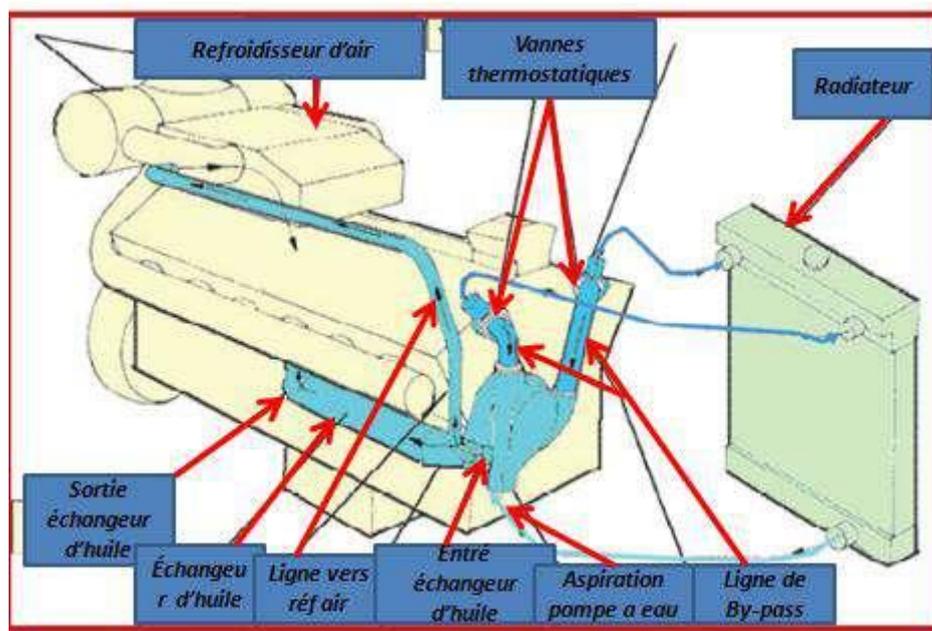


Fig. I.18: Système de refroidissement.

I.5.2 Organes et accessoires du système de refroidissement

a) *Chemises d'eau* : La chemise d'eau doit entourer la chambre de combustion, les cylindres les sièges de guides de soupapes, les parties fixes du moteur qui sont en contact avec les gaz résultant de la combustion.

b) *Radiateur* : Le radiateur est de type tubulaire (tube à ailettes plat). C'est l'organe chargé de céder la chaleur enlevée aux cylindres, par l'intermédiaire de l'eau en circulation. La quantité de chaleur cédée par le radiateur est proportionnelle :

- A la différence entre la température de l'eau et celle de l'air ambiant d'où l'intérêt d'obtenir une température de l'eau voisine de l'ébullition mais sans l'atteindre (l'évaporation).
- A la surface frontale de radiateur.
- Au temps pendant lequel l'eau reste en contact avec la surface radiante.

Le radiateur se compose de :

- Un réservoir supérieur muni d'un orifice permettant le remplissage, et deux orifices pour l'entrée de l'eau chaude du moteur.
- Un réservoir inférieur pour envoyer l'eau refroidie au moteur.
- Une série de canalisation de forme circulation réunissant les deux réservoirs, et dans lesquelles l'eau en circulation se refroidit.



Fig. I.19: Radiateur

c) *Ventilateur* : Le refroidissement de l'eau chaude est assuré par le courant d'air qui passe à travers le radiateur, pour augmenter le volume d'air admis en dispose d'un ventilateur près du radiateur. Le ventilateur est en tôle avec des ailettes boulonnées sur le moyeu. Ce dernier est fixé au bloc cylindre. Le ventilateur est entraîné par six courroies trapézoïdales en toile caoutchoutée.



Fig. I.20: Ventilateur.

d) *Pompe à eau* : La plus répandue est la pompe centrifuge. Elle se compose d'un corps de pompe généralement en bronze et portant deux ouvertures, une d'aspiration pressée au centre du corps de la pompe, l'autre de refoulement placée à la périphérie. Dans le corps de la pompe se meut une roue à ailettes. L'arbre de la pompe à eau est entraîné par le vilebrequin à l'intermédiaire de pignons.

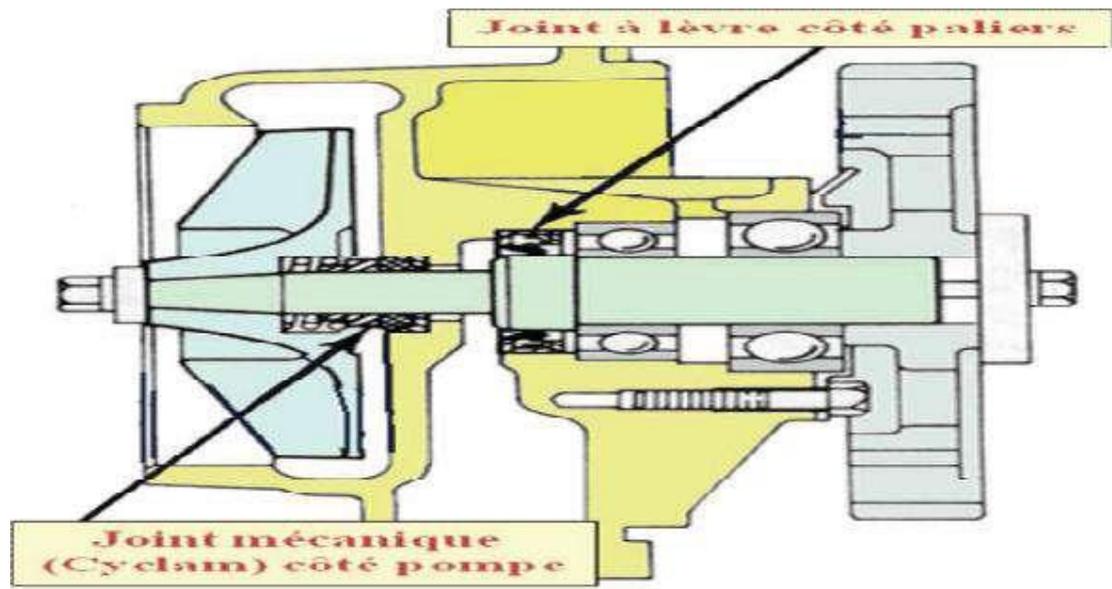


Fig. I.21: Pompe à eau.

e) *Thermostat* : A pour rôle maintenir la température de l'eau les limites déterminées et d'accélérer le chauffage de l'eau au démarrage du moteur. La pièce principale du thermostat est appelée soufflet en laiton, lorsque la température est inférieure à 82°C, la soupape central est appliquée parfaitement contre son siège. Il en résulte que l'eau circule dans le by-pass, avec l'augmentation de la température de l'eau, le liquide contenu dans le soufflet commence à se transformer en vapeur saturée, alors la pression augmente. Il s'ensuit que la soupape s'ouvre progressivement, la soupape latérale masque les lumières, le fluide alors passe au radiateur.



Fig. I.22: Thermostat

I.5.3 Le fluide de refroidissement

Le fluide de refroidissement se compose normalement de trois éléments qui sont : L'eau est utilisée dans le circuit de refroidissement pour assurer l'échange thermique. Les additifs contribuent à protéger les surfaces métalliques du circuit de refroidissement contre la corrosion. Le glycol protège le circuit contre l'ébullition, gel et la cavitation de la pompe à eau et les chemises de cylindre. On utilise le liquide de refroidissement longue durée Caterpillar, celui-ci est un antigel à base d'éthylneglycol. Toute fois, le liquide de refroidissement long durée Caterpillar contient des inhibiteurs de corrosion et des agents anti-mousses ayant une faible teneur en nitrites. Le liquide de refroidissement Caterpillar permet de protéger la durée de service du liquide de refroidissement à six ans. La durée de vie de liquide de protéger contre gel jusqu'à -36°C, il peut aussi être concentré pour protéger le point de gel -51°C.

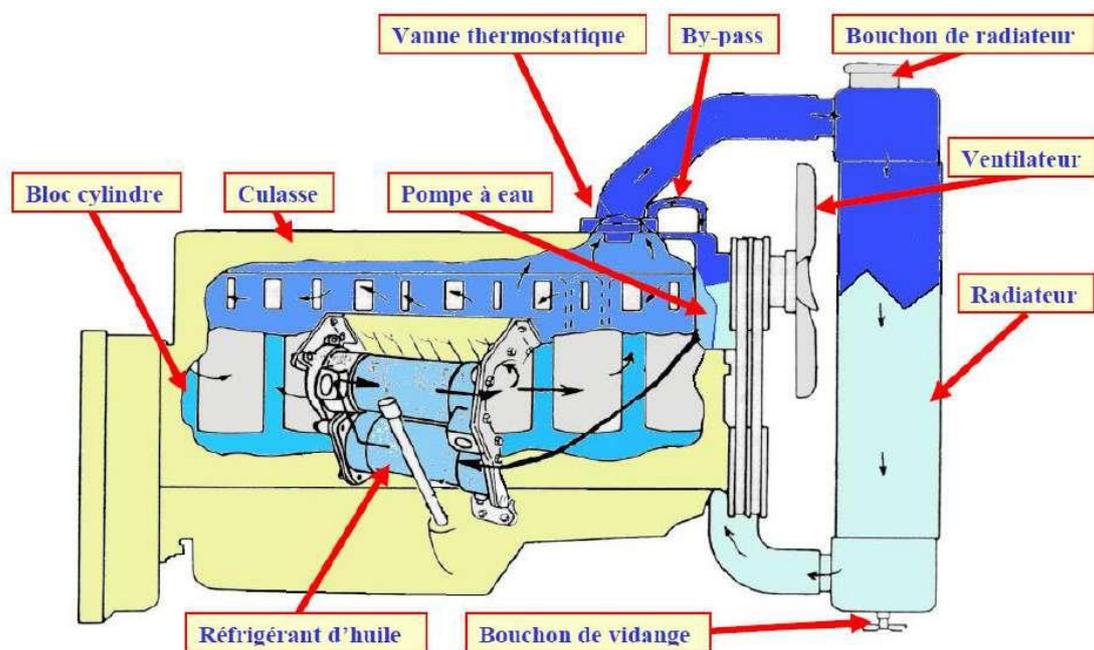


Fig. I.23 : Circuit de refroidissement d'eau.

I.5.6 Système de graissage

Le système de graissage est destiné à protéger les pièces en mouvement de l'usure et de diminuer les frottements qui sont à l'organe de l'usure. Ce système assure la formation des films de lubrifiant entre les surfaces de la pièce en mouvement (segment, cylindre, paliers et tourillons de vilebrequin, ..., etc. Le procédé de graissage est déterminé d'après la position et le mouvement des pièces. On distingue trois types de graissage dans le moteur CAT 3512 qui sont graissage sous pression, par barbotage et par écoulement.

I.5.7 Les organes du système de graissage

a) *Réservoir d'huile* : C'est généralement le carter qui joue le rôle de réservoir d'huile, il est muni des orifices de remplissage et de vidange. L'orifice de vidange est une Chemise cylindrique venue de la fonderie avec le carter.

b) *Reniflard* : Le reniflard est une mise à l'air du bloc moteur. Le proviennent principalement des fuites à travers de segmentation. Ces reniflards sont chargés de vapeur d'huile. Le montage du conduit d'évacuation des gaz doit être de diam tre suffisant et exempt de point bas pour éviter toutes contre pression excessive.

c) *Les Canalisations* : Sont destinées pour transporte l'huile de graissage du pompe à huile à les pi ces à graisser. Elles sont des types variés par exemple des trous comme dans le vilebrequin et réfrigérant de l' huile.

d) *La pompe à l'huile* : La pompe à l'huile utilisée dans le moteur 3512 CAT sont de type pompe à engrainage à double étages. Elle est compose d'un boitier moulé dans le quel tourne trois pignons à denture droite. Elle est de construction robuste.

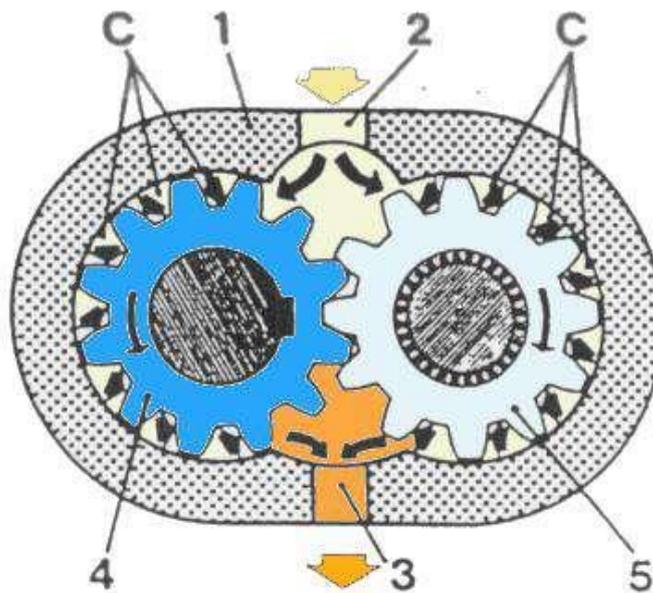


Fig. I.24: La pompe à l'huile.

Un des pignons est entraîné par un arbre vertical prenant son mouvement sur un renvoi de l'arbre à cames. Les autres pignons sont montés fous et entraînés par le premier corps de la pompe. Il est généralement rapporté et placé au point le plus bas du carter pour des facilités d'amorçage de la pompe. L'entrée d'huile est toujours protégée par une crépine, qui évite la détérioration des pignons par des impuretés ou par des particules métalliques. L'huile pénètre dans les chambres d'aspiration, c'est-à-dire du côté où les dents se séparent. Elle remplit l'espace compris entre les dents et le carter, est entraînée par elles et est ainsi chassée dans les chambres de refoulement situées du côté opposé à l'entrée.

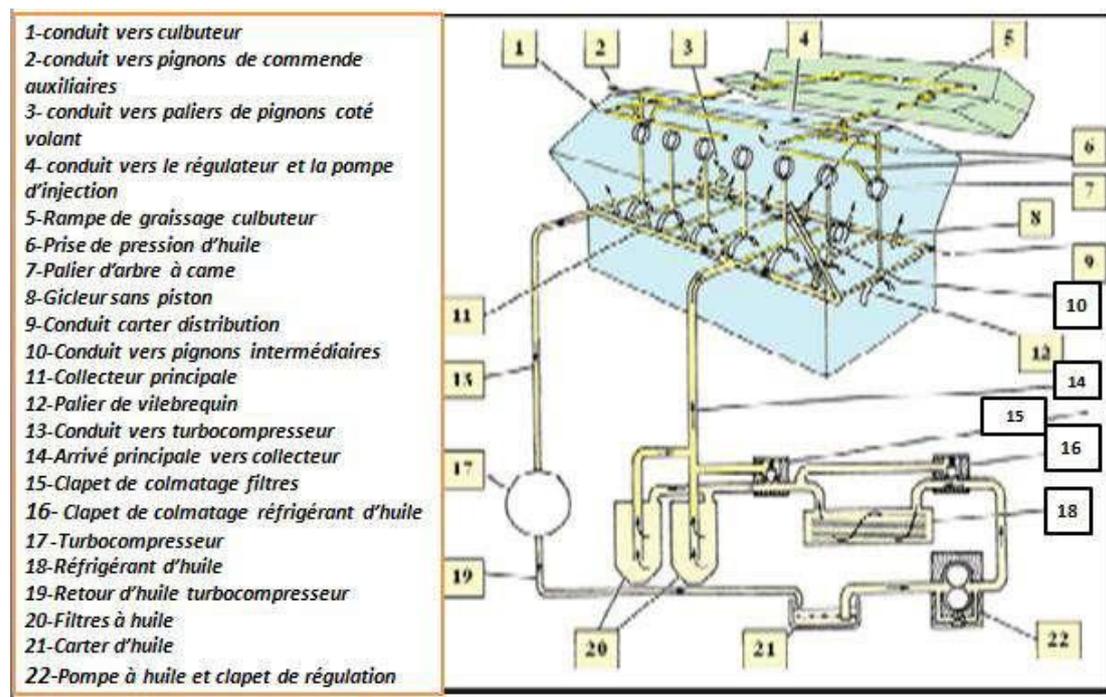


Fig. I.25: Circuit de lubrification.

I.6 Circuit d'air et suralimentation

Ces circuits comprennent (Fig. I. 26) :

- Un refroidisseur d'air.
- Deux turbo-chargeurs.
- Deux filtres à air.
- Deux pipes d'admission d'air.
- Deux soupapes d'admission par cylindres.
- Deux soupapes d'échappement par cylindre.
- Deux collecteurs d'échappement.
- Une chambre de combustion par cylindre.

I.6.1 Circulation d'air dans le moteur

L'air aspiré par les deux turbo-chargeurs passe d'abord à travers les filtres à air sur la turbine d'admission de chaque turbo-chargeur ; l'air est ensuite refoulé vers le refroidisseur d'air à une température de 93°C environ et avec une pression plus importante. L'air traverse le refroidisseur d'air et entre dans la chambre centrale du vé de moteur. Cette action fera abaisser la température d'air à 38°C environ. L'air frais se trouvant dans la chambre centrale passe dans les coudes en aluminium communiquant avec les orifices d'admission. Dès que les soupapes d'admission s'ouvrent, l'air entre en quantité suffisante dans la chambre de combustion. Quand l'injection de fuel aura lieu dans la chambre de combustion, le mélange (air + fuel) s'enflamme spontanément au contact de l'air surchauffé.

I.6.2 Circuit d'échappement

Les gaz brûlés sortent par l'intermédiaire des soupapes d'échappement ouvertes, puis par les collecteurs d'échappement. Ces gaz se détendent sur les turbines des turbochargeurs et enfin s'échappent dans l'atmosphère par l'intermédiaire du silencieux d'échappement.

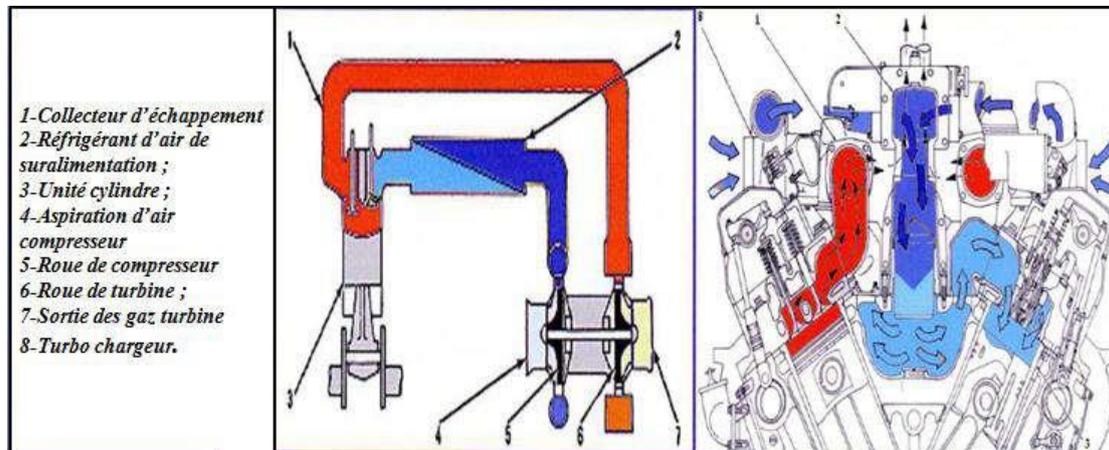


Fig. I.26: Circuit d'admission et circuit d'échappement.

I.6.3 Turbo compresseur

Un moteur à aspiration naturelle ne peut aspirer que 80% de sa cylindrée en air, ce qui limite la masse d'air introduite. Sachant que la puissance est fonction de la quantité de combustible injecté et que cette quantité est limitée par la masse d'air introduite, la suralimentation et le refroidissement de cet air permettront d'augmenter la puissance. Les moteurs CAT sont équipés de turbocompresseurs à paliers lisses graissés par l'huile du moteur. Le refroidissement de l'air comprimé est assuré par des échangeurs air/eau du type tubulaire. Le turbo compresseur est situé à l'arrière droit du moteur, sur les tubes transversaux des deux collecteurs d'échappement.

I.6.4 Le dispositif de suralimentation

Afin d'augmenter le remplissage du cylindre lors de la phase d'admission d'air, certains moteurs sont munis d'un système de suralimentation. Cette suralimentation consiste à augmenter la masse spécifique de l'air en lui faisant subir une compression préalable. C'est le rôle de turbocompresseur.

I.6.5 Principe de fonctionnement de suralimentation

- Une augmentation de la puissance du moteur pour une même cylindre.
- Une amélioration des performances du moteur à haut régime et à forte charge.

Le turbocompresseur utilise l'énergie des gaz d'échappements. Ce transfert d'énergie est réalisé par un ensemble de deux turbines. La turbine d'entraînement, actionnée par les gaz d'échappements à leur sortie du moteur entraîne la turbine de suralimentation.

Celle-ci aspire l'air de l'extérieur et le refoule en amont de la soupape d'admission. Cet ensemble dont la vitesse de rotation est très élevée, nécessite un graissage sous pression d'huile. La pression de suralimentation nécessite une diminution du rapport volumétrique.

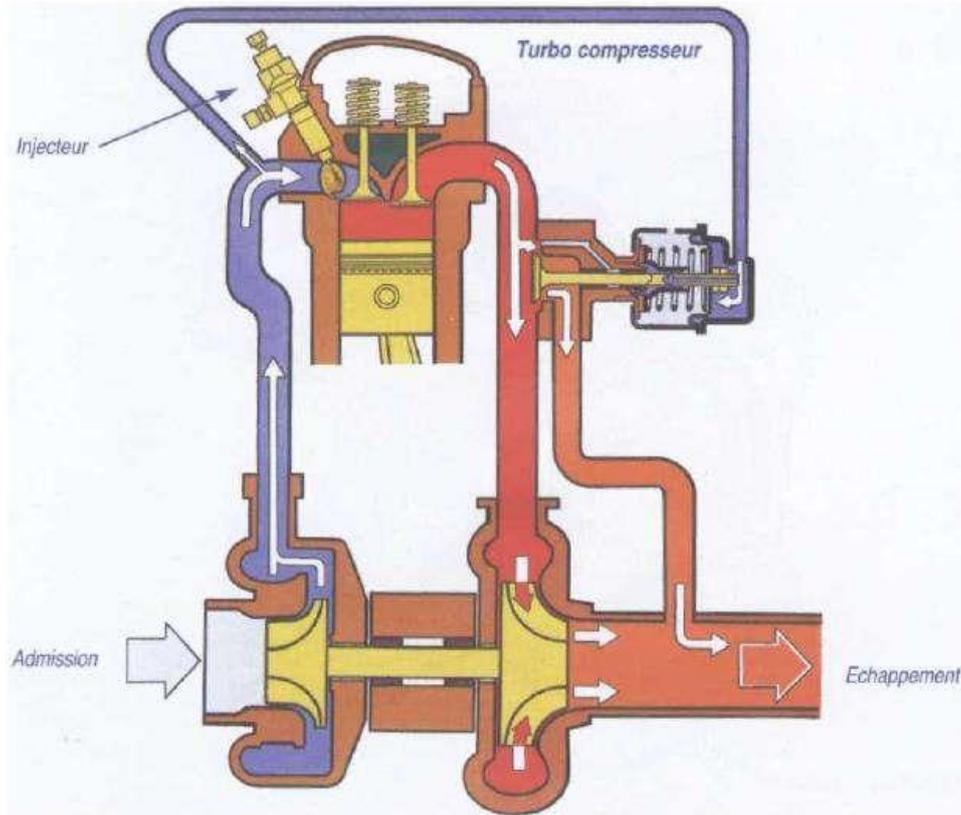


Fig. I.27: Circuit du suralimentation.

I.7 Circuit du gas-oil dans le moteur

La pompe à gas-oil de transfert aspire du gas-oil de la citerne en passant par un filtre primaire. Puis ce gas-oil est refoulé directement vers le filtre principal et vers les deux tubulures d'alimentation. Chaque tubulure à deux passages. Le gas-oil circulant à travers le passage supérieur est celui d'admission qui alimente chaque injecteur-pompe par une conduite et par la chambre annulaire se trouvant dans la culasse. La chambre annulaire pratiquée dans la culasse communique avec l'orifice d'admission de l'injecteur-pompe. Le mouvement de va et vient de l'injecteur-pompe aspire et force le gas-oil jusqu'à la pression d'injection. Quand l'injection de gas-oil est terminée, le restant du gas-oil dans l'injecteur refroidit les pièces internes de l'injecteur, puis retourne par la conduite de retour (conduite de retour inférieure se trouvant juste au dessous de la tubulure d'alimentation. Le gas-oil acheminant le retour depuis les injecteurs traverse une soupape régulatrice de pression qui sont montée sur le bout avant de la tubulure de retour droite. Cette soupape régulatrice maintient une pression entre (4,14 et 4,5) bars. Puis le gas-oil sort et retourne vers la citerne en passant par un

refroidisseur à air. Un petit orifice relie l'entrée et la sortie du gas-oil pour créer un siphon au moment du changement des filtres, cela a pour conséquence de réduire le besoin de purge après le remplacement des éléments filtrants.

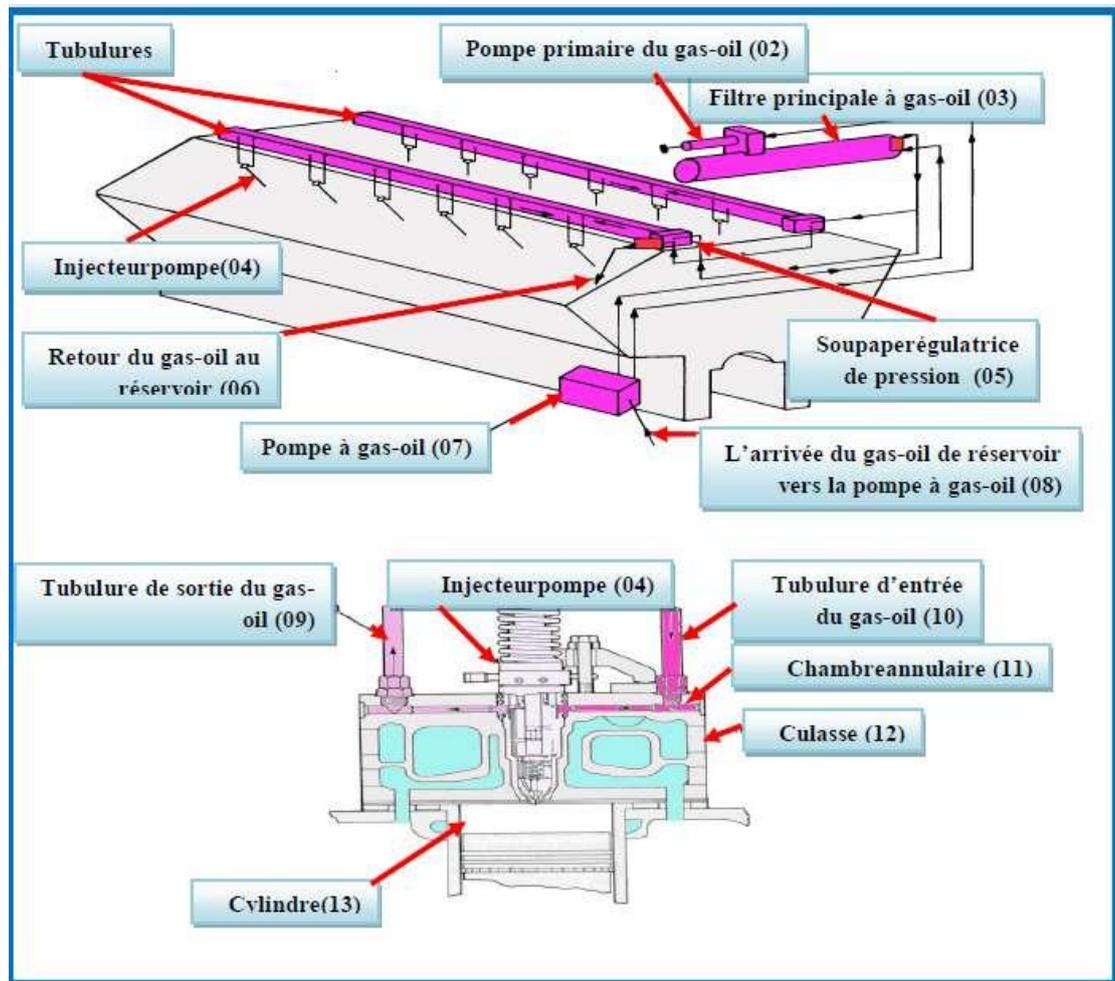


Fig. I.28: Circuit de gasoil.

I.8 Système de sécurité

I.8.1 Shutoff

Un dispositif utilisé pour arrêter le moteur, en cas de:

- Diminution ou augmentation de la pression et de la température d'huile.
- Diminution de la pression de carburant.
- Augmentation de la température d'eau de refroidissement.



Fig. I.29: Shutoff

I.8.2 Tableaux d'affichage

C'est un écran de contrôle de tous les variations des paramètres qui affectent les performances du moteur. Il détermine facilement les problèmes du moteur.

	Cette jauge indique la pression d'huile du moteur.		Cette jauge indique la température du liquide de refroidissement
	Cette jauge indique la pression de carburant à la pompe d'injection de carburant et au filtre à carburant		Cette jauge indique la température des gaz d'échappement à l'entrée du turbocompresseur.
	Cette jauge indique la différence de pression de carburant entre l'entrée et la sortie du filtre carburant.		Cette jauge indique la différence de pression entre l'entrée et la sortie des filtres d'huile du moteur.
	Cette jauge indique la pression d'air (pression de turbocompresseur) dans le collecteur d'entrée d'air après le post-refroidisseur.		Cette jauge indique la température du liquide de refroidissement après le refroidissement.
	Cette jauge indique la température de l'air à l'entrée du collecteur aux cylindres.		Cette jauge indique la température d'huile du moteur après sa sortie du refroidisseur d'huile.
	Cette jauge indique la différence de pression d'air entre l'entrée de filtre et l'entrée du turbocompresseur.		Ce compteur indique les heures de fonctionnement du moteur.

Tab.I.1: Traduit des signaux de table d'affichage.

I.9 Système de démarrage

Il existe deux types de démarrage :

- Démarrage pneumatique.
- Démarrage électrique.

Actuellement le démarrage pneumatique est le plus utilisé.

I.9.1 Organes de système de démarrage pneumatique

Il se compose de :

- Collecteur d'air.
- Moteur à turbine.
- Réducteur.
- Mécanisme à cliquets.
- Couronne et arbre d'entraînement de l'attelage.

I.9.2 Principe de fonctionnement

Le démarreur reçoit l'air comprimé du compresseur et le transforme en énergie mécanique ce qui tourne l'induit du démarreur qui à son tour entraîne le pignon de commande et donc le volant moteur pour faire tourner le vilebrequin.



Fig. I.30: Démarreur pneumatique.

II. Etude thermodynamique du moteur diesel Caterpillar 3512A

II.1 Spécification du moteur CAT 3512A

Le moteur Caterpillar fonctionne avec les paramètres suivants :

- Vitesse maximale : 1200tr/min ;
- Vitesse en ralenti : 900 tr/min ;
- Vitesse de rotation du turbocompresseur : (45 000 à 60 000) tr/min ;
- Débit du pompe à huile : 340 L/min ;
- Débit du pompe à gas-oil : 21 L/min ;
- Débit de la pompe à eau : 1520 L/min.

II.2 Les données statiques du moteur CAT3512A

- Alésage : 170 mm ;
- Course : 190 mm ;
- Angle entre rangées : 60° ;
- Nombre de cylindre : 12 en V ;
- Cylindrée unitaire : 4,31 L ;
- Cylindrée totale : 51,81 L ;
- Taux de compression : 14 ;
- Ordre d'injection : 1-12-9-4-5-8-11-2-3-10-7-6 ;
- Sens de rotation vu depuis le volant : sens antihoraire ;
- Type d'injection : injection directe ;
- Type d'injecteur : injecteur-pompe à 9 trous ;
- Aspiration : suralimentation ;
- Méthode de démarrage : démarreur électrique ;
- Puissance mécanique : 1200HP = 902,3 kw ;
- Coefficient d'axes d'air : $\alpha = 1,8$;
- Le moteur CAT3512 est un moteur diesel à quatre temps suralimenté par deux turbocompresseurs ; $P_s = 1,5$ bars ;
- Le combustible gas-oil moteur à composition massique :
 - ✓ $g_c = 0,87$ (teneur en Carbone) ;
 - ✓ $g_{H_2} = 0,126$ (teneur en Hydrogène) ;
 - ✓ $g_{O_2} = 0,004$ (teneur en Oxygène) ;
- le pouvoir calorifique du combustible : $H_U = 42500$ kJ/kg.

II.3 Partie de calcul thermique [5]

On se propose à faire le calcul thermique du moteur :

1. déterminer les pressions et les températures dans les points caractéristiques du cycle.
2. Préciser les pressions indiquées et effectives.
3. Evaluer les performances économiques du moteur ;
4. Déterminer les dimensions essentielles du cylindre ;
5. Apprécier des critères importants tels que :
 - a) Puissance au litre de cylindrée ;
 - b) Puissance par unité de surface du piston.

II.3.1 Qualité d'air nécessaire à la combustion complète de 1kg de combustible

$$l_0 = \frac{\frac{8}{3}g_c + 8g_{H_2} - g_{O_2}}{0.23} = \frac{\frac{8}{3}(0.87) + 8(0.126) - 0.004}{0.23}$$

$$l_0 = 14.45 \left[\frac{kg \text{ d'air}}{kg \text{ de combustible}} \right]$$

$$l_0 = \frac{l_0}{\mu_{air}} = \frac{14.45}{28.97} = 0.5 \left[\frac{kg \text{ d'air}}{kg \text{ de combustible}} \right]$$

II.3.2 Quantité de charge fraîche

$$M_1 = \alpha * l_0 = 1.8 * 0.5 = 0.89 \left[\frac{kg \text{ d'air}}{kg \text{ de combustible}} \right]$$

II.3.3 Quantité des produits de combustion

$$M_{CO_2} = \frac{g_c}{12} = \frac{0.87}{12} = 0.073 \left[\frac{kg \text{ d'air}}{kg \text{ de combustible}} \right]$$

$$M_{H_2O} = \frac{g_{H_2}}{2} = \frac{0.126}{2} = 0.063 \left[\frac{kg \text{ d'air}}{kg \text{ de combustible}} \right]$$

$$M_{O_2} = 0.21 * (\alpha - 1) * l_0 = 0.21 * (1.8 - 1) * 0.5 = 0.084 \left[\frac{kg \text{ d'air}}{kg \text{ de combustible}} \right]$$

$$M_{N_2} = 0.79 * \alpha * l_0 = 0.79 * 1.8 * 0.5 = 0.709 \left[\frac{kg \text{ d'air}}{kg \text{ de combustible}} \right]$$

II.3.4 Quantité totale des produits de combustion

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}$$

$$M_2 = 0.073 + 0.063 + 0.084 + 0.709 = 0.93 \left[\frac{\text{kg d'air}}{\text{kg de combustible}} \right]$$

II.3.5 Le coefficient de variation molaire théorique

$$\beta_0 = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0.93}{0.89} = 1.045$$

II.3.6 La fonction de variation molaire

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1.045 + 0.025}{1 + 0.025} = 1.044$$

Notre moteur est suralimenté donc on prend $\gamma_r = 0.025$ (coefficient des gaz résiduel).

II.3.7 Paramètres de fluide moteur à l'admission

Supposant que la pression atmosphérique est égale à 1 bar et la température ambiante est de 25 °C (298 K).

$$P_s = \frac{P_s}{P_0} * P_0 = P_s = 1.5[\text{bar}]$$

$$T_s = \left(\frac{P_s}{P_0} \right)^{\frac{n_s-1}{n_s}} * T_0 = 298 * \left(\frac{1.5}{1} \right)^{\frac{2-1}{2}} = 364.97 \text{ K}$$

T_s : Température à la sortie du compresseur.

P_s : Pression de suralimentation.

n_s : Exposant poly tropique du compresseur, $n_s = 1.4 - 2$, on prend $n_s = 2$

II.3.8 Pression en fin d'admission

$P_a = (0.94 \text{ à } 0.95) * P_s$ on prend $P_a = 0.95 * P_s$

$$P_a = 0.95 * 1.5 = 1.41[\text{bar}]$$

II.3.9 Température en fin d'admission

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T + \gamma_r * T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{364.97 + 20 + 0.025 * 900}{1 + 0.025} = 397.53 \text{ k}$$

Avec :

T_r : température des gaz résiduels.

$T_r = (700 \text{ à } 900)k$, on prend $T_r = 900 \text{ k}$

II.3.10 Coefficient de remplissage

$$\eta_v = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} * \frac{P_a}{P_s} * \frac{T_s}{T_a + (1 + \gamma_r)} = \frac{14}{14 - 1} * \frac{1.41}{1.5} * \frac{364.97}{397.53 + (1 + 0.025)}$$

$$\eta_v = 0.927$$

II.3.11 Pression vers la fin de compression

$P_c = P_a * \varepsilon^{n_1}$, on a $\varepsilon = 14$ et $T_a = 430.21 \text{ k}$

K_1 : exposant adiabatique pour la transformation de compression. On prend $k_1 = 1.36$

$$n_1 = (k_1 - 0.02) \rightarrow (k_1 + 0.02)$$

n_1 : exposant poly tropique donc $n_1 = k_1 + 0.02$

$$n_1 = 1.36 + 0.02 = 1.38$$

$$P_c = P_a * \varepsilon^{n_1} = 1.41 * (14)^{1.38}$$

$$P_c = 53.81 \text{ [bar]}$$

II.3.12 Température vers la fin de compression

$$T_c = T_a * \varepsilon^{n_1 - 1} = 430.21 * (14)^{1.38 - 1}$$

$$T_c = 1175.76 \text{ k}$$

II.3.13 Pression maximale du cycle

$$P_z = \lambda * P_c$$

λ : Taux d'augmentation de pression, $\lambda = 1.6 \rightarrow 2$ on prend $\lambda = 1.8$

$$P_z = 1.8 * 53.81 = 96.86 \text{ [bar]}$$

II.3.14 Les énergies internes Un et U en fonction de température

Nous utilisons une équation non linéaire lorsque nous ne trouvons pas la valeur de "T°C" que nous recherchons dans le tableau suivant lorsque $\alpha = 1.8$.

T °C	KJ kmole de degré U _n (x)							U(x)
	$\alpha=1.2$	$\alpha=1.3$	$\alpha=1.4$	$\alpha=1.5$	$\alpha=1.6$	$\alpha=1.8$	$\alpha=2.0$	
300	23,020	22,887	22,713	22,614	22,586	22,439	22,320	21,215
400	24,423	23,281	23,158	23,051	22,956	22,798	22,671	21,482
500	23,842	23,691	23,561	23,448	23,348	23,181	23,046	21,788
600	24,260	24,101	23,965	23,845	23,740	23,564	23,422	22,098
700	24,679	24,513	24,350	24,245	24,135	23,951	23,802	22,416
800	25,085	24,911	24,762	24,631	24,517	24,324	24,169	22,722
1400	27,133	26,924	26,742	26,584	26,445	26,282	26,024	24,271
1500	27,414	27,199	27,013	26,851	26,708	24,469	26,276	24,480
1600	27,674	27,454	27,264	27,098	26,953	26,708	26,511	24,673
1700	27,918	27,694	27,500	27,331	27,182	26,933	26,731	24,857
1800	28,149	27,920	27,723	27,550	27,399	27,145	26,940	25,029
1900	28,367	28,134	27,933	27,758	27,604	27,345	27,136	25,192
2000	28,571	28,334	28,130	27,951	27,795	27,532	27,139	25,343

Tableau II.1: les énergies internes en fonction de température

II.3.15 Température maximale du cycle

$$\frac{\xi_z * H_U}{M_1 * (1 + \gamma_r)} + \frac{U_c + \gamma_r * U_c^n}{1 + \gamma_r} + R * \lambda * T_c = \beta(U_z^n + R * T_z)$$

Désignons $\frac{1}{\beta} \left(\frac{\xi_z * H_U}{M_1 * (1 + \gamma_r)} + \frac{U_c + \gamma_r * U_c^n}{1 + \gamma_r} + R * \lambda * T_c \right) = A$

Pour calculer la valeur numérique de « A » on doit être déterminé U_c et U_c^n par l'équation suivante en se servant du tableau N° 1 (brochure de calcul thermique), avec $\xi_z = 0.7 \rightarrow 0.8$ on prend $\xi_z = 0.8$.

Partie 1 = $\frac{\xi_z * H_U}{M_1 * (1 + \gamma_r)}$, partie 2 = $\frac{U_c + \gamma_r * U_c^n}{1 + \gamma_r}$, partie 3 = $R * \lambda * T_c$.

$$U_c^n = \overline{\mu_{\alpha=1.8}} * C_v^n \int_0^{T_c} dT = 24.487 * (1175.76 - 273) = 22105.88 \left[\frac{kJ}{kmole} \right]$$

$$U_c = \mu_{\alpha=1.8} * C_v \text{ air} \int_0^{T_c} dT = 22.987 * (1175.76 - 273) = 20751.74 \left[\frac{kJ}{kmole} \right]$$

$$A = \frac{1}{1.044} \left(\frac{0.8 * 42500}{0.89(1 + 0.025)} + \frac{20751.74 + 0.025 * 22105.88}{1 + 0.025} + 8.314 * 1.8 * 1175.6 \right)$$

$$A = 72460.10 \left[\frac{kJ}{kmole} \right]$$

Désignons $U_z^n + R * T_z$ par « B »

➤ prenons $T_z = 1800$ °c

$$B = U_z^n + R * T_z = \left(\frac{\mu_{\alpha=1.8} * C_v^n}{\mu_{\alpha=1.8} * C_v^n} \int_0^{T_z} dT \right) + 8.314 * T_z$$

$$B = 27.145 * 1800 + 8.314 * 2073 = 66095.92 \left[\frac{kJ}{kmole} \right]$$

Comme auparavant on trouve la valeur de $\frac{\mu * C_v^n}{\mu} \int_0^{T_z} dT$ en fonction de t et à l'aide du tableau précédent de brochure du calcul thermique.

➤ prenons $T_z = 1900$ °c

$$B = U_z^n + R * T_z = \left(\frac{\mu_{\alpha=1.8} * C_v^n}{\mu_{\alpha=1.8} * C_v^n} \int_0^{T_z} dT \right) + 8.314 * T_z$$

$$B = 27.345 * 1900 + 8.314 * 2173 = 70021.82 \left[\frac{kJ}{kmole} \right]$$

➤ prenons $T_z = 2000$ °c

$$B = U_z^n + R * T_z = \left(\frac{\mu_{\alpha=1.8} * C_v^n}{\mu_{\alpha=1.8} * C_v^n} \int_0^{T_z} dT \right) + 8.314 * T_z$$

$$B = 27.532 * 2000 + 8.314 * 2273 = 73961.72 \left[\frac{kJ}{kmole} \right]$$

➤ prenons $T_z = 1950$ °c

$$B = U_z^n + R * T_z = \left(\frac{\mu_{\alpha=1.8} * C_v^n}{\mu_{\alpha=1.8} * C_v^n} \int_0^{T_z} dT \right) + 8.314 * T_z$$

$$B = 27.4385 * 1950 + 8.314 * 2223 = 71987.10 \left[\frac{kJ}{kmole} \right]$$

➤ prenons $T_z = 1975$ °c

$$B = U_z^n + R * T_z = \left(\frac{1}{\mu_{\alpha=1.8} * C_v^n} \int_0^{T_z} dT \right) + 8.314 * T_z$$

$$B = 27.39175 * 1975 + 8.314 * 2248 = 72788.578 \left[\frac{kJ}{kmole} \right]$$

➤ prenons $T_z = 1970 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$B = U_z^n + R * T_z = \left(\frac{1}{\mu_{\alpha=1.8} * C_v^n} \int_0^{T_z} dT \right) + 8.314 * T_z$$

$$B = 27.4011 * 1970 + 8.314 * 2243 = 72628.469 \left[\frac{kJ}{kmole} \right]$$

➤ prenons $T_z = 1965 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$B = U_z^n + R * T_z = \left(\frac{1}{\mu_{\alpha=1.8} * C_v^n} \int_0^{T_z} dT \right) + 8.314 * T_z$$

$$B = 27.41045 * 1965 + 8.314 * 2238 = 72468.26625 \left[\frac{kJ}{kmole} \right]$$

$A \approx B$ donc $T_z = 1965 \text{ } ^\circ\text{C}$

Normalement pour les moteurs suralimentés $T_z = [1800, 2300]$ ce que nous ramène à dire que notre résultat est vérifié.

II.3.16 Le taux de détente préliminaire

$$\rho = \frac{\beta * T_z}{\lambda * T_c} = \frac{1.044 * (1965 + 273)}{1.8 * 1175.76}$$

$$\rho = 1.1040$$

II.3.17 Le taux de détente postérieure

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{14}{1.1040}$$

$$\delta = 12.68$$

II.3.18 Température en fin de détente et l'exposant polytropique de détente postérieure

$$n_2 = 1 + \frac{R * (T_z - T_b)}{\frac{(\xi_b - \xi_z) H U}{M_1 (\beta_0 + \gamma r)} - (U_b^n - U_z^n)} \dots \dots \dots (1)$$

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2 - 1}} \dots \dots \dots (2)$$

ξ_b : Coefficient d'utilisation de chaleur, $\xi_b = (0.82 - 0.92)$ on prend $\xi_b = 0.82$

n_2 : Exposant polytropique de détente.

$$n_2 = 1 + \frac{8.314 * (2238 - T_b)}{\frac{(0.82 - 0.8) * 42500}{0.89(1.045 + 0.025)} - (\overline{\mu_{\alpha=1.8} * C_v^n} \int_0^{T_b} t_b - (A - R * T_z))}$$

$$n_2 = 1 + \frac{8.314 * (2238 - T_b)}{892.756 - (\overline{\mu_{\alpha=1.8} * C_v^n} \int_0^{T_b} t_b - 53853.368)}$$

On détermine $\overline{\mu_{\alpha=1.8} * C_v^n} \int_0^{T_b} t_b$ d'après le tableau de la brochure de calcul thermique des moteurs diesel.

➤ Pour $T_b = 700$ on a : $U_b^n = 23.951 * 700 = 16765.7 \left[\frac{kJ}{kmole} \right]$

$$n_2 = 1 + \frac{8.314 * (2238 - (700 + 273))}{892.756 - (16765.7 - 53853.368)} = 1.277$$

➤ Pour $T_b = 800$ on a : $U_b^n = 24.324 * 800 = 19459.2 \left[\frac{kJ}{kmole} \right]$

$$n_2 = 1 + \frac{8.314 * (2238 - (800 + 273))}{892.756 - (19459.2 - 53853.368)} = 1.273$$

➤ $T_b = 825$ on a : $U_b^n = 24.405 * 825 = 20134.125 \left[\frac{kJ}{kmole} \right]$

$$n_2 = 1 + \frac{8.314 * (2238 - (825 + 273))}{892.756 - (20134.125 - 53853.368)} = 1.273$$

n_2 a 800^0C est égale n_2 a 825^0C donc $n_2 = 1.273$:

$$n_2 = 1.273 \rightarrow T_b = \frac{2238}{(12.68)^{1.273-1}} = 1118.7 \text{ k}$$

Ce qui correspond d'une manière satisfaisante au T_b des moteurs diesels suralimentés. Ou $T_b = [1000, 1200]k$

II.3.19 Pression vers la fin de détente

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \frac{96.86}{(12.68)^{1.273}} = 3.81 \text{ [bar]}$$

II.3.20 Pression moyenne indiquée

$$p_i = \frac{\varphi * P_c}{\varepsilon - 1} \left[\lambda * (\rho - 1) + \frac{\lambda * \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{T_b}{T_z} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{T_a}{T_c} \right) \right]$$

φ : Coefficient empirique qui varie entre 0,92 et 0,97, on prend $\varphi = 0.96$.

3512A

$$p_i = \frac{0.96 * 35.81}{14 - 1} \left[1.8 * (1.104 - 1) + \frac{1.8 * 1.104}{1.273 - 1} \left(1 - \frac{1118.7}{2238} \right) - \frac{1}{1.38 - 1} \left(1 - \frac{430.21}{1175.76} \right) \right]$$

$$P_i = 9.48 \text{ [bar]}$$

II.3.21 Le rendement indiqué

$$\eta_i = \frac{10^3 * l_0 * \alpha}{H_v * \rho_s * \eta_v}$$

ρ_s : La masse spécifique d'air à l'admission.

$$\rho_s = \frac{p_s * 10^5}{R_{air} * T_s} = \frac{1.5 * 10^5}{287 * 364.97} = 1.43 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\eta_i = \frac{10^3 * 14.45 * 1.8}{42500 * 1.43 * 0.927} = 0.46$$

II.3.22 La consommation spécifique indiquée

$$g_i = \frac{10^5 * 36}{H_v * \eta_i} = \frac{36 * 10^5}{42500 * 0.46} = 184.14 \left[\frac{g}{kwh} \right]$$

II.3.23 La pression moyenne effective

$$p_e = P_i * \eta_m = 9.48 * 0.87 = 8.25 \text{ [bars]}$$

II.3.24 Le rendement effectif

$$\eta_e = \eta_i * \eta_m = 0.46 * 0.87 = 0.40$$

II.3.25 Consommation spécifique effective

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{184.14}{0.87} = 211.65 \left[\frac{kg}{kwh} \right]$$

II.3.26 La vitesse moyenne du piston

$$w_p = \frac{1.87 * 1200}{300} = 7.49 \left[\frac{m}{s} \right]$$

II.3.27 Cylindre total du diesel

$$ivh = i * \frac{\pi * D^2}{4} * C = 12 * \frac{3.14 * 1.70^2}{4} * 1.87 = 51.11 \text{ [l]}$$

II.3.28 Débit du combustible

$$Q_{comb} = g_e * N_e * 10^{-3} = 211.65 * 785 * 0.001 = 166.145 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

II.3.29 Débit d'air

$$Q_{air} = \alpha * Q_{comb} * l_0 = 1.8 * 166.145 * 14.45 = 4321.43 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

II.3.30 Débit d'oxygène

$$Q_{O_2} = 0.23 * Q_{air} = 0.23 * 4321.43 = 993.9289 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

II.3.31 Quantité des gaz d'échappement

$$Q_{gaz} = Q_{comb} + Q_{air} = 166.145 + 4321.43 = 4487.575 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

II.3.32 Puissance au filtre de cylindrée

$$N_{el} = \frac{N_e}{i v h} = \frac{785}{51.11} = 15.36 \left[\frac{kg}{l} \right]$$

II.3.33 Puissance par unité de surface du piston

$$N_{ep} = \frac{N_e}{0.785 * i * D^2} = \frac{785}{0.785 * 12 * (1.7)^2} = 28.83 \left[\frac{kw}{dm^2} \right]$$

Ce qui correspond d'une manière satisfaisante au N_{ep} des diesels modernes existant ou $N_{ep} = [15, 40] \left[\frac{kw}{dm^2} \right]$.

%Programme matlab de calcul thermique:

```
clear all; clc
```

```
disp('%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%')

```

```
disp('%La quantité d'air nécessaire à la combustion complète de 1 kg de combustible%')

```

```
disp('%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%')

```

```
gc=input('gc=');
```

3512A

```
gh2=input('gh2=');
```

```
go2=input('go2=');
```

```
muair=input('muair=');
```

```
l0 = (8/3*gc+8*gh2-go2)/0.23
```

```
L0=l0/muair
```

```
disp('%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%')

```

```
disp('% Quantité de charge fraîche')
```

```
disp('% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%')
```

```
alf=input('alf=');
```

```
M1=alf*L0
```

```
disp('%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%')

```

```
disp('Quantité total des produits de combustion ')

```

```
disp('% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%')
```

```
Mco2=gc/12;
```

```
Mh2o=gh2/2;
```

```
Mo2=0.21*(alf-1)*L0;
```

```
Mn2=0.79*alf*L0;
```

```
M2=Mco2+Mh2o+Mo2+Mn2
```

```
disp('%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%')

```

```
disp('% Coefficient de variation molaire théorique %%%')
```

```
disp('et Coefficient de variation molaire réel ')

```

```
disp('% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%')
```

```
gamr=input('gamr=');
```

```
B0=M2/M1;
```

```
B=(B0+gamr)/(1+gamr)
```

```
disp('%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%')

```

```
disp('% Parametre de fluide moteur à l'admission')
```

3512A

```

disp('%%%%%%%%')
ns=input('ns=');
Ps=input('Ps=');
P0=input('P0=');
T0=input('T0=');
Ts=T0*(Ps/P0)^((ns-1)/ns)
disp('%%%%%%%%')
disp('% Pression et Température enfin d\'admission ')
disp('%%%%%%%%')
Pa = 0.94*Ps
dT=input('dt=');
Tr=input('Tr=');
Ta = (Ts +dT+gamr*Tr)/(1+gamr)
disp('%%%%%%%%')
disp('% Coefition de remplissage et Pression vers la fin de compression ')
disp('%%%%%%%%')
eps=input('eps=');
n1=input('n1=')
etav=eps*Pa*Ts/((eps-1)*Ps*Ta*(1+gamr))
Pc=Pa*eps^(n1)
disp('%%%%%%%%')
disp('% température vers la fin de compression ')
disp('%%%%%%%%')
lam=input('lam=');
Tc=Ta*eps^(n1-1)
Pz=lam*Pc
disp('%%%%%%%%')

```

3512A

```

disp('% Temperature maximale du cycle Tz')
disp('%%%%%%%%')
Tz=input('donner la valeur de TZ=')
disp('%%%%%%%%')
disp('Taux de détente préliminaire et postérieure ')
disp('%%%%%%%%')
taupr=B*Tz/(lam*Tc)
taupo=eps/taupr
n2=input('n2=');
Tb=input('Tb=');
disp('%%%%%%%%')
disp('% Pression vers la fin de détente ')
disp('%%%%%%%%')
seg=taupo;
roh=input('roh=');
rohss=input('rohss=');
Pb=Pz/seg^n2
Pi=(roh*Pc/(eps-1))*(lam*(rohss-1)+(lam*rohss/(n2-1))*(1-Tb/Tz)-(1/(n1-1))*(1Ta/Tc))
disp('%%%%%%%%')
disp('% le rendement indiqué et Consomation spécifique indiquée')
disp('%%%%%%%%')
Rair=input('Rair=');
ts=input('ts=');
rohs=Ps*10^5/(Rair*ts)
Pcu=input('Pcu=');
ni=100*Pi*10*alf/(Pcu*Ps*etav)

```

3512A

$$g_i = 36 \cdot 10^5 / (P_{cu} \cdot n_i)$$

% Pression moyenne effective et le rendement effectif

etam=input('etam=');

$$P_e = P_i \cdot \text{etam}$$

$$g_e = g_i / \text{etam}.$$

III. Maintenance du moteur CAT 3512A**Introduction**

La maintenance industrielle, qui a pour vocation d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est une fonction stratégique dans les entreprises. Intimement liée à l'incessant développement technologique, à l'apparition de nouveaux modes de gestion, à la nécessité de réduire les coûts de production, elle est en constante évolution. Elle n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer l'outil de travail mais aussi de prévoir et éviter les dysfonctionnements. Au fil de ces changements, l'activité des personnels de maintenance a également évolué, pour combiner compétences technologiques, organisationnelles et relationnelles.

III.1 Définition de la maintenance

D'après AFNOR (NF X60-010) : la maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.

- ✓ Maintenir: contient la notion de prévention sur un système en fonctionnement.
- ✓ Rétablir: contient la notion de correction consécutive à une perte de fonction.

La maintenance consiste à des opérations de dépannage, graissage ou amélioration qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la production. On qualifie la maintenance de la bonne, quand on assure cette opération en coût global optimum.

III.2 Objectifs de la maintenance

Les objectifs de la maintenance peuvent être classés en deux types :

III.2.1 Objectifs Financiers

- réduire au minimum les dépenses de maintenance ;
- assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget.

III.2.2 Objectifs Opérationnels

- maintenir l'équipement dans les meilleures conditions possibles.

- assurer la disponibilité maximale de l'équipement à un prix minimum.
- augmenter la durée de vie des équipements ;
- entretenir les installations avec le minimum d'économie et les
- remplacer à des périodes prédéterminées ;
- assurer un fonctionnement sûr et efficace à tout moment ;
- augmenter le rendement des équipements.

III.3 Type de maintenance

On distingue deux types de maintenance

III.3.1 Maintenance préventive

Pour l'entreprise, il convient donc d'organiser un système visant à minimiser ces arrêts.

III.3.1.1 Maintenance systématique

C'est une maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi selon un temps. Pour maintenir le système dans l'état avec de ses performances initiales,

III.3.1.2 Maintenance préventive conditionnelle

C'est un type d'événement prédéterminé. Par une auto diagnostic, une information d'un capteur, d'une mesure d'une usure en un autre outil révélateur.

III.3.2 Maintenance corrective

La maintenance corrective s'applique après la panne, On distingue deux types qui sont:

III.3.2.1 Maintenance palliative

Elle peut être un dépannage au une intervention à caractère provisoire pour limiter l'arrêt de fonctionnement.

III.3.2.2 Maintenance curative

Elle s'intéresse à la réparation et amélioration de l'outil de fabrication donc à la remise a l'état d'origine.

III.4 Révision générale

Le besoin d'une révision générale est déterminé par plusieurs facteurs:

- Une augmentation de la consommation d’huile.
- Une augmentation des fuites des gaz dans le carter.
- La consommation totale du carburant.
- Les heures – services du moteur.
- Il ‘analyse de métaux d’usure dans l’huile de graissage.

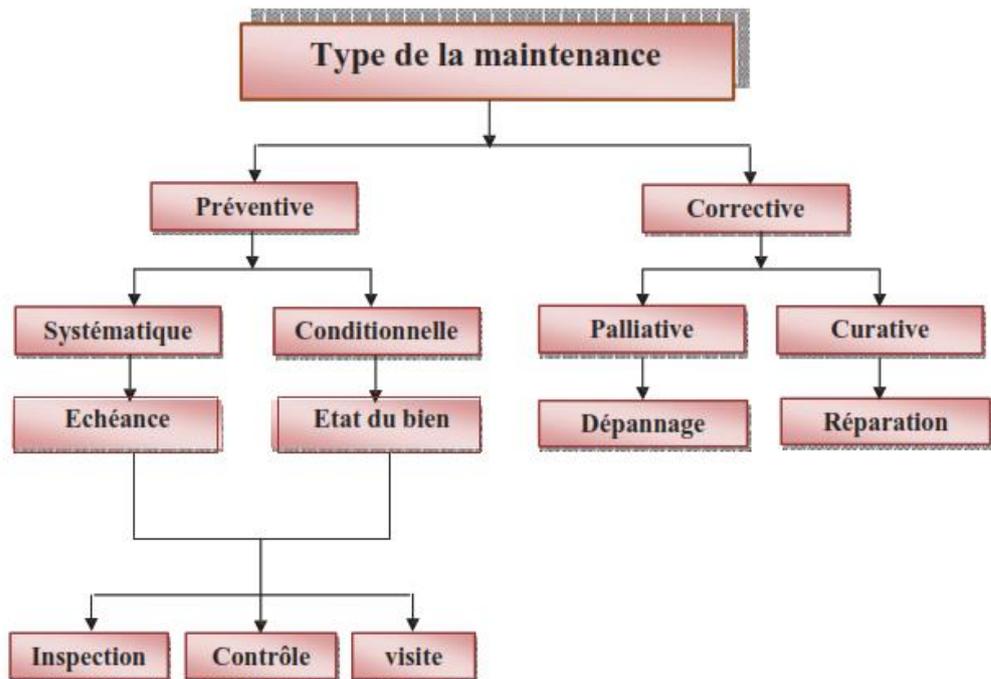


Figure. III.1: Organigramme des méthodes et technique de maintenance.

Instruction pour la révision générale :

<ul style="list-style-type: none"> • Nettoyer 	<ul style="list-style-type: none"> - Tamis d’aspiration d’huile
<ul style="list-style-type: none"> • Nettoyer • Contrôler • Essayer 	<ul style="list-style-type: none"> - Faisceau de refroidisseur d’admission

<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler 	<ul style="list-style-type: none"> - Arbre à cames - Bloc cylindre - Amortisseur de vibration du vilebrequin - Equipement mené (alignement) - Volant moteur - Pignons avant - Tringlerie du circuit de carburant - Pignons arrière
<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler • Rénover 	<ul style="list-style-type: none"> - Culbuteurs
<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler • Rénover • Remplacer 	<ul style="list-style-type: none"> - Bielles - Ensemble des culasses - Pompe d'amorçage de carburant - Pompe d'alimentation en carburant - Faisceaux de refroidisseur d'huile - Axes de pistons
<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler • Remplacer 	<ul style="list-style-type: none"> - Poussoirs d'arbre à cames - Rondelles de butée d'arbre à cames - Vilebrequin - Chemises de cylindres - Support du moteur - Faisceaux de câblage du moteur
	<ul style="list-style-type: none"> - Soupapes de régulation de pression de carburant - Pistons (couronnes et jupes) - Poussoirs - Plaques intercalaires

<ul style="list-style-type: none"> • Remplacer 	<ul style="list-style-type: none"> - Palier d'arbre à cames - Coussinets de bielle - Bagues d'étanchéité de vilebrequin - Plaques de butée de vilebrequin - Injecteurs - Bagues de pignons - Coussinets de ligne - Segments de piston - Joints et soufflets de collecteur d'échappement - Joints et garnitures de collecteur d'admission d'air
---	--

III.5 Entretien

L'entretien est l'ensemble des actions qui garantissent le bon fonctionnement et la durée de la machine dans le temps – il s'agit d'une nécessité essentielle de toute implantation industrielle pour que celle – ci puisse produire avec continuité et se maintenir en parfait état de marche dans le temps.

III.6 Types d'entretien

Il existe deux types:

III.6.1 Entretien de maintien

Il répare ou prévient la panne autrement dit rétablit le bon fonctionnement initial. Il peut être.

- ✓ Accidentel : Répare après la panne.
- ✓ Programmé : un temps d'entretien fixé.
- ✓ D'inspection : Peut s'effectuer dans deux conditions.

III.6.2 L'entretien d'amélioration

Il s'agit d'une simple amélioration qui permet d'obtenir une meilleure efficacité (le coût d'entretien modification et / ou de remplacement est comparé avec le coût d'entretien) en laissant de côté l'entretien d'amélioration moins intéressant. L'entretien peut être subdivisé en entretien (programmé ou préventif ou accidentel ou d'urgence). Le tout peut être schématisé comme suit :

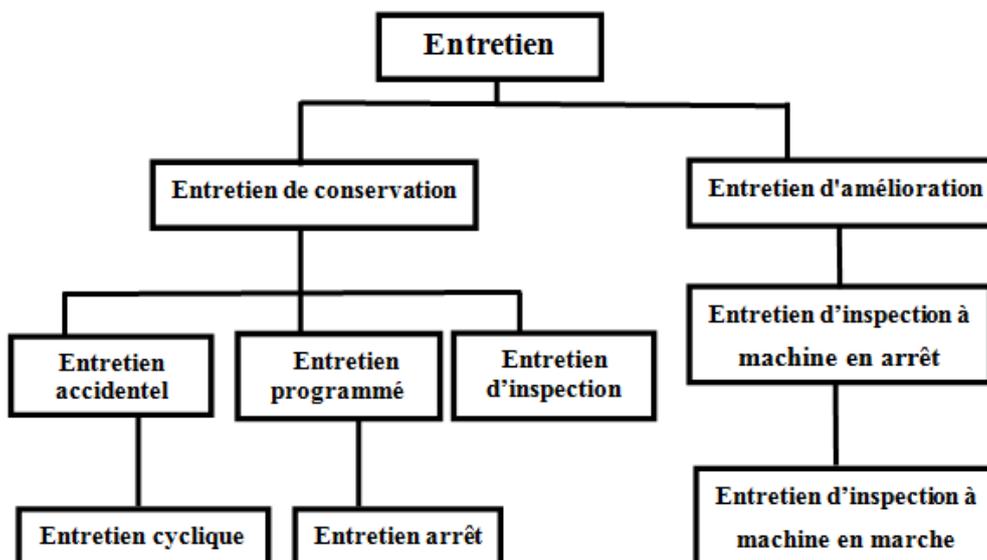


Figure. III-02: Les Types d'entretiens

III.7 Les niveaux de maintenance

Les opérations à réaliser sont classées. Selon leur complexité, en cinq les normes NF X 60010 Pour chaque niveau, la liste des opérations précisées est donnée à titre d'illustration.

A/ 1^{er} Niveau de maintenance

Il s'agit essentiellement de contrôler et de relever des paramètres de fonctionnement des machines:

- ✓ Niveau d'huile moteur.
- ✓ Niveau d'eau indicateur de colmatage.
- ✓ Niveau de la réserve d'huile.
- ✓ Niveau de la réserve de combustible.
- ✓ régime du moteur.
- ✓ température de l'eau de refroidissement.
- ✓ température d'échappement.
- ✓ test des voyants et indicateurs.
- ✓ purge de circuit d'échappement.
- ✓ nettoyage des filtres.
- ✓ contrôle visuel de l'état des organes.
- ✓ contrôle auditif des bruits de marche.

Ces contrôles peuvent donner suite à des interventions simples de main ne nécessitant pas de réalisation d'un diagnostic de panne et démontage. Ils peuvent aussi déclencher,

Maintenance du moteur CAT 3512A

notamment sur des anomalies constatées, des opérations de maintenance de niveau supérieurs.

En règle générale les interventions de 1er niveau sont intégrées à la conduite des machines.

B/ 2^{ème} Niveau de maintenance

Il s'agit des opérations de maintenance préventive qui sont régulièrement effectuées sur les équipements:

- ✓ remplacement des filtres à gazole.
- ✓ remplacement des filtres à huile moteur.
- ✓ remplacement des filtres à air prélèvement d'huile pour analyse et pré analyse.
- ✓ vidange de l'huile de moteur.
- ✓ analyse de liquide de refroidissement.
- ✓ contrôle des points signalés pour le 1- niveau.
- ✓ graissage de tous les points en fonction de périodicité.
- ✓ contrôle des batteries.

Ces opérations sont réalisées par un technicien ayant une formation spécifique. Ce dernier suit les instructions de maintenance qui définissent les tâches, la manière et les outillages spéciaux. Les pièces de rechange sont essentiellement du type consommable, filtres, joints huile, liquide de refroidissement.

C/ 3^{ème} Niveau de maintenance

Il s'agit des opérations de maintenance préventive, curative, de réglages et de réparations mécaniques ou électrique mineurs. Les opérations réalisées peuvent nécessiter un diagnostic de panne:

- ✓ réglage des jeux de soupapes.
- ✓ réglage des injecteurs.
- ✓ contrôle endoscopique des cylindres.
- ✓ contrôle des sécurités du moteur.
- ✓ contrôle et réglage des protections électriques.
- ✓ contrôle du démarreur.
- ✓ remplacement d'un injecteur.
- ✓ contrôle et réglage de la carburation.
- ✓ contrôle et réglage de la régulation de puissance.
- ✓ contrôle et révision de la pompe.
- ✓ remplacement d'une résistance de chauffage.
- ✓ contrôle de l'embiellage.
- ✓ contrôle de l'isolement électrique.
- ✓ remplacement des sondes et capteurs.

Maintenance du moteur CAT 3512A

- ✓ remplacement d'une bobine de commande.
- ✓ remplacement d'un disjoncteur.

Ces opérations sont réalisées par un technicien spécialisé. Toutes les opérations se font avec l'aide d'instructions de maintenance et d'outils spécifiques tel que les appareils de mesure ou de calibrage. Ces opérations peuvent conduire à des opérations de 4^{ème} niveau.

D/ 4^{ème} Niveau de maintenance

Il s'agit d'opérations importantes ou complexes à l'exception de la reconstruction de l'équipement:

- ✓ Déculassage (révision, rectification)
- ✓ révision de la cylindrée.
- ✓ contrôle d'alignement du moteur /alternateur.
- ✓ changement des pôles d'un disjoncteur HT.

Les opérations sont réalisées par des techniciens bénéficiant d'un encadrement technicien très spécialisé, d'un outillage général complet et d'un outillage spécifique. Elles font aussi appel à des ateliers spécialisés (rectification, réusinage)

E/ 5^{ème} Niveau de maintenance

Il s'agit d'opérations lourdes de rénovation ou de reconstruction d'un équipement. Ces opérations entraînent le démontage de l'équipement et son transport dans un atelier spécialisé. Le 5^{ème} niveau de maintenance est réservé au constructeur ou reconstruteur. Il nécessite des moyens similaires à ceux utilisés en fabrication.

III.8 Organisation d'entretien du moteur [6]

Le programme d'entretien et d'inspection régulier peut fournir une évaluation de l'état actuel du matériel et permettre de prédire les problèmes à venir. La fréquence de ce programme d'entretien dépendra des facteurs suivants:

- Application.
- Conditions d'utilisation.
- Expérience de l'utilisateur.
- Philosophie de l'utilisateur.

Un programme d'entretien régulier est fortement recommandé car il permet de d'assurer au matériel un état satisfaisant, cela augmentera sa fiabilité.

III.9 Calendrier d'entretien

Dans le but de préserver l'équipement en fonctionnement au maximum de sa durée de vie, le constructeur du moteur Caterpillar à planifier les opérations suivantes :

A. *Chaque jour*: on doit vérifier et contrôler les:

- Panneau convertisseur, contrôle.
- Niveau de circuit de refroidissement.
- Filtre à air, contrôle de l'indicateur de colmatage.
- Pré filtre à air du moteur, nettoyage.
- Niveau d'huile moteur, contrôle.
- Réservoir de carburant, purge de l'eau et des dépôts.
- Charge de l'alternateur, contrôle.
- Réchauffeur d'eau de chemises contrôle.

B. *Chaque semaine* : on doit vérifier:

- Chargeur de batterie, contrôle.
- Connexions électriques, contrôle.
- Alternateur, contrôle.
- Résistance de chauffage, contrôle.
- Tension et fréquence, contrôle.
- Vérifications extérieures.

C. *Toutes les 500 heures de service*:

- Huile de moteur et filtre, vidange/remplacement.
- Radiateur, nettoyage.

D. *Toutes les 1000 heures de service*:

- Analyse de liquide de refroidissement.
- Moteur, nettoyage.
- Reniflard du carter moteur, nettoyage.
- Dispositifs de protection du moteur, contrôle.
- Filtre à carburant primaire, nettoyage/contrôle/remplacement.
- Filtre secondaire de circuit de carburant, remplacement.

E. *Toutes les 2000 heures de service*:

- Graisseur du démarreur pneumatique.
- Amortisseur de vibrations du vilebrequin, contrôle.
- Support du moteur, contrôle.
- Jeu des soupapes du moteur, contrôle/réglage.

- Vibration du groupe électrogène, examen.

F. Toutes les 3000 heures de service:

- Circuit de refroidissement avec liquide de refroidissement classique, renouvellement de la solution.
- Liquide de refroidissement de longue durée, adjonction de prolongateur.

G. Toutes les 6000 heures de service:

- Alternateur, contrôle.
- Liquide de refroidissement de longue durée, renouvellement.
- Circuit de refroidissement, remplacement de thermostat.
- Pompe de graissage, contrôle.
- Capteur de la vitesse, nettoyage/contrôle.

H. Entre 15000 et 18000 heures de service:

- Révision du haut du moteur.
- Révision générale.

III.10 Révision générale

Une révision consiste à remplacer les principales pièces usées du moteur. L'intervalle de révision est un intervalle d'entretien planifié. Certaines pièces usées du moteur sont renouvelées ou remplacées par des pièces.

III.11 Les travaux de démontages et de montage

- ✓ Avant le démontage, on doit vidanger tous les systèmes de graissage, refroidissement et d'alimentation. On doit nettoyer le moteur avec la vapeur d'eau pour enlever les saletés cumulées des graisses, d'huile et de poussières, cela permettre un examen visuel superficiel.
- ✓ Sans oublier, le nettoyage de l'espace autour du moteur pour permettre un démontage à l'aise.
- ✓ Le démontage, on peut le faire à partir du radiateur, comme on peut le faire à partir du volant moteur.
- ✓ Démonter les deux filtres à air se trouvant sur les deux côtés du moteur, ainsi que les deux plaques qui supportent les filtres.
- ✓ Isoler le turbocompresseur, en démontant toutes les conduites de lubrification, d'admission d'air et d'échappement. Desserrer les boulons fixant le turbocompresseur et tirer ce dernier lentement.
- ✓ Isoler le refroidisseur d'air, dévisser les boulons de fixation des refroidisseurs enfin l'enlever.

- ✓ Fixer le vilebrequin pour qu'il ne tourne pas et desserrer les boulons du volant moteur pour son démontage.
- ✓ Démontez la cage de la distribution arrière, puis démontez le pignon intermédiaire et le balancier.
- ✓ A l'avant du moteur, isolez le radiateur des conduites d'arrivée et de sortie d'eau, desserrer tous les boulons de fixation, enfin démontez le radiateur.
- ✓ Enlever les courroies d'entraînement de ventilateur puis démontez ce dernière, après avoir desserré tous les boulons de fixation.
- ✓ Démontez la cage de distribution avant du moteur, puis enlever les pignons intermédiaires, pignon de la pompe à eau, celui de la pompe à l'huile et le balancier.
- ✓ Démontez le réfrigérant d'huile.
- ✓ Démontez toutes les conduites d'injection du gas-oil, d'admission d'air et celui d'échappement des gaz.
- ✓ Démontez les couvercles des culasses, puis démontez les culbuteurs et tirer les tiges culbuteurs.
- ✓ Desserrer tous boulons fixant les culasses au bloc cylindre, puis enlever les culasses.
- ✓ Démontez les pompes d'injection.
- ✓ Démontez les couvercles des trappes de visite de bielle du vilebrequin.
- ✓ Desserrer les boulons de fixation du carter au bloc moteur puis, poser le bloc sur la partie supérieure pour démontez le vilebrequin.
- ✓ Démontez les paliers inférieurs de vilebrequin et les chapeaux des têtes de billes, enfin enlever le vilebrequin.
- ✓ Démontez les pipes de lubrification des pistons, ainsi que les portes pousoirs des culbuteurs.

Pour faciliter le montage, il est conseillé de mettre toutes les pièces en ordre de démontage avec leurs boulons de fixation bien nettoyés. Le procédé de montage se fait dans le sens inverse de démontage, avec le respect de tous serrages des boulons selon les exigences du constructeur.

III.12. Sécurité du moteur [4]

Pour la sécurité du moteur, on a mis des dispositifs d'alarme et d'arrêt qui sont commandés électroniquement. Le fonctionnement de ces dispositifs fait appel à des composants qui sont actionnés par un module capteur. Les dispositifs d'alarme et d'arrêt sont réglés pour se déclencher à certaines températures, à certaines pressions, ou à certains régimes de fonctionnement afin de protéger le moteur contre les dégâts.

III.12.1 Faible pression d'huile (au-dessous de 105kpa)

La pression d'huile de moteur baisse en dessous des valeurs de référence de l'arrêt qui sont programmés dans la commande du moteur. Il existe deux limites de pression d'huile admissible. Une valeur utilisée lorsque le moteur est au régime ralenti. L'autre valeur est utilisée lorsque le moteur est au régime nominal. Lorsqu'une anomalie de faible pression d'huile se produit, le témoin de faible pression d'huile clignote et le moteur est arrêté. Le moteur ne peut pas être mis en marche tant que l'anomalie n'a pas été éliminée.

III.12.2 Température d'eau élevée (au-dessus de 99°C)

La température du liquide de refroidissement du moteur monte au-dessus de la valeur de référence de l'arrêt pour cause de température d'eau élevée qui est programmée dans la commande du moteur. Lorsque l'incident de température d'eau élevée se produit, le témoin de température d'eau élevée clignote, le moteur est coupé et il ne peut pas être mis en marche tant que l'anomalie n'a pas été éliminée.

III.12.3 Survitesse (surrégimes)

Si le régime du moteur est 18% au-dessus du régime nominal. En général un dysfonctionnement du système du gas-oil peut être la cause d'une sur vitesse. Ce fonctionnement permet à la combustion d'avoir plus de gas-oil que la charge normale. L'excès du gas-oil accélère le moteur au point où le défaut devient la cause d'une sur vitesse. Lorsque l'incident de sur vitesse se produit le témoin clignote. Le moteur coupé et il ne peut pas être mis en marche tant que l'anomalie n'a pas été éliminée.

Conclusion générale

Les moteurs diesels fournissent une énergie indispensable d'où leurs importances dans une installation de forage où ils offrent une puissance fiable pour les équipements de forages (pompe à boue, les applications rotatives, les tables de rotations, les treuils...) Le CATPELLAR est considéré comme le cœur de la sonde, est la seule Source d'énergie.

En effet, ces moteurs sont influencés par le climat saharien, caractérisé par le grand écart température, et afin de maintenir ses performances et ses caractéristiques, et afin d'améliorer la puissance et le rendement d'un moteur, et minimiser les pertes financières, il faut améliorer les conditions de fonctionnement et appliquer une bonne politique plus technique et économique.

D'après l'étude que nous avons effectuée sur le moteur diesel CAT3512, nous pouvons retenir les conclusions suivantes :

- ✚ On a conclu qu'il y a une relation inverse entre la performance du moteur avec les conditions d'air ambiant (pression, température...)
- ✚ On a trouvé que l'augmentation de la température influe directement sur la puissance et le rendement du moteur cela peut être justifié par la perte d'énergie, donc une consommation plus élevée pour le même régime de fonctionnement.
- ✚ On a conclu que pour rendre le bon fonctionnement du moteur toute au long de l'année, il faut assurer la circulation d'air froid comme si on est dans la période hivernale.
- ✚ On a conclu que pour avoir une bonne performance du moteur il est nécessaire d'appliquer une bonne politique de maintenance ainsi que des entretiens et un contrôle permanent pour assurer le bon fonctionnement.

Enfin, nous recommandons de faire une étude complémentaire afin de comparer les différentes méthodes et techniques utilisées pour assurer le bon fonctionnement de ce type de moteurs diesel, et de faire des études financières pour assurer et confirmer le choix de ces techniques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] BARMAKI Abderrahmane, BEN ARIMA Mohammd Elhad, KHELAFI Abdesselame, mémoire fin d'étude master professionnel MCP (Étude et maintenance du moteur CAT 3512) Univ. Ouargla.2017.
- [2] KADI Anis Abdelaziz ; CHETIOUI Amor ; GHADIE Rabie, mémoire fin d'étude master professionnel MCP (Etude thermodynamique d'un moteur thermique type Caterpillar 3512) Univ. Ouargla.2018.
- [3] BEKKARI Abderrahmen, mémoire fin d'étude master professionnel Maintenance industrielle (étude et maintenance d'un moteur diesel type : Caterpillar 3512A). Univ. Tiaret. 2018.
- [4] AMARI Salah, LOUNIS Bilal, GUETTAF TEMMAM Mouhammed, mémoire fin d'étude master professionnel MCP (Étude et maintenance d'un moteur diesel de station pétrolière Caterpillar 3512) Univ. Ouargla.2016.
- [5] Hussein I, Moteur diesel (Suralimenté bases et calculs cycles réel, théorique et thermodynamique) ; Rapport interne Laboratoire de Recherche en Énergie Éolienne LREE-02 – Novembre 2006 ;Univ Québec à Chicoutimi.
- [6] Fethi Kebli, Amine Bouchikhi, mémoire fin d'étude master professionnel Propulsion (Calcul des performances d'un moteur Diesel). Univ. Blida. 2006.