

Université Kasdi Merbah – Ouargla.



Faculté des Hydrocarbures et des Énergies Renouvelables et des sciences de la Terre et  
d'Univers.

**Département de Forage et Mécanique des Chantiers Pétroliers.**

## **MEMOIRE**

Pour l'obtention du Diplôme Master

**Option : Mécanique des chantiers pétroliers**

## **THÈME**

---

# **Étude et maintenance d'un moteur diesel de station pétrolière Caterpillar 3512**

---

**Présenté par :**

Salah AMARI

Bilal LOUNIS

Mouhammed GUETTAF TEMMAM

**Encadré par :**

Issam REZAIGUIA

**Jury :**

Ryad HEDJAB

Mouhammed BOUKESSANI

# Dédicace :

## Dédicace :

*Nous dédions ce travail*

*à ceux que nous aimons le plus,*

*à nos très chers parents qui ont toujours été là pour nous, et qui nous ont  
donné de magnifiques modèles de labeur et de persévérance. Nous espérons  
qu'ils trouveront dans ce travail toutes nos reconnaissances et tout notre*

*amour*

*A nos chères mères, et pères.*

*A nos familles, les symboles de bonheur et source de tendresse et d'amour.*

*A nos adorables amis.*

# Remerciements :

## Remerciements :

*La réalisation de cet ouvrage n'a été possible que grâce aux enseignements reçus des enseignants de l'université Kasdi Merbah-Ouargla. C'est donc une occasion pour nous d'adresser des vifs remerciements aux :*

*A L'Eternel Dieu Tout Puissant, pour la protection et la sagesse qu'il nous donne chaque jour qui passe.*

*Mr. REZAIGUIA Issam, notre encadreur, pour ses multiples conseils, sa disponibilité et la formation reçue de sa part.*

*Tout le corps enseignant de l'université pour la formation reçue.*

*Mr. Mohammed, chef-mécanicien, ENTP, TP 197 pour conseil précieux.*

*D'une façon générale, je remercie l'ensemble du personnel de TP 197, où j'ai effectué mon stage, et pour leur bon accueil.*

*A tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.*

# TABLE DES MATIERES

## Introduction

## Chapitre I : Généralité sur les moteurs

I.1. Historique de moteur diesel.....	1
I.2. Principe du Moteur Diesel.....	1
I.2.1. Description du fonctionnement du cycle moteur.....	1
I.3. Désignation Du Diesel Alternateur Caterpillar 3512.....	1
I.4. Classification des moteurs a combustion interne.....	2
I.5. Types d'injection des moteurs diesel.....	2
I.5.1. Moteur à injection directe.....	2
I.5.2. Moteurs à injection indirecte.....	3
I.6. Cycles Théoriques du moteur à quatre temps.....	4
I.7. Cycle pratique.....	5
I.8. Diagramme réel.....	6
I.9. Avantages et inconvénients du moteur diesel.....	6

## Chapitre II : Etude du moteur diesel Caterpillar 3512

II.1. Description du moteur.....	8
II.2. Description des organes de moteur Caterpillar.....	9
II.2.1. Les organes fixes.....	9
II.2.2. Les organes mobiles.....	11
II.3. Les accessoires du moteur et les systèmes.....	13
II.3.1. Système de distribution.....	13
II.3.2. Système d'admission.....	14
II.3.3. Système d'injection.....	14
II.3.3.1. Les organes du système d'injection.....	15
II.3.3.2. Principe de fonctionnement .....	16
II.3.4. Système de refroidissement.....	16
II.3.4.1. Description.....	16
II.3.4.2. Principe de fonctionnement.....	17
II.3.4.3. Organes et accessoires du système de refroidissement.....	17

II.3.4.4. Le fluide de refroidissement.....	19
II.3.5. Système de graissage.....	19
II.3.5.1. Description.....	19
II.3.5.2. Les organes du système de graissage.....	19
II.3.5.3. Circulation d'huile .....	20
II.3.5.4. Appareils de contrôle.....	22
II.3.5.5. Fonctionnement.....	22
II.3.5.6. Fluide de graissage.....	22
II.3.6. Circuit d'air et d'échappement .....	23
II.3.6.1. Circulation d'air dans le moteur.....	23
II.3.6.2. Circuit d'échappement.....	23
II.3.6.3. Turbocompresseur.....	23
II.3.6.4. Le dispositif de suralimentation.....	24
II.3.7. Système de démarrage.....	24
II.3.8. Témoins et instruments.....	24
II.3.8.1. Manomètre de l'huile de moteur.....	25
II.3.8.2. Manomètre différentielle du filtre à l'huile.....	25
II.3.8.3. Température de l'eau de chemises.....	25
II.3.8.4. Thermomètre de l'air du collecteur d'admission.....	25
II.3.8.5. Pression d'air du collecteur d'admission.....	26
II.3.8.6. Pyromètre.....	26
II.3.8.7. Compte-tours.....	26
II.3.8.8. Compteur d'entretien.....	26
II.3.8.9. Pression du carburant.....	26
II.3.8.10. Manomètre différentielle du filtre à carburant.....	26
II.3.8.11. Manomètre différentielle du filtre à air.....	27
II.3.8.12. Ampèremètre.....	27
II.3.8.13. Température de l'huile motrice.....	27
II.3.8.14. Minuterie de lancement.....	27
II.3.8.15. Pression du liquide de refroidissement .....	27

### Chapitre III : Partie calculs

III.1. Calcul thermique.....	28
III.2. Calcul mécanique.....	40

## Chapitre IV : La maintenance

IV.1. Définition de la maintenance.....	49
IV.2. Type de maintenance.....	49
IV.2.1. Maintenance préventive.....	49
IV.2.1.1. Maintenance systématique.....	49
IV.2.1.2. Maintenance préventive conditionnelle.....	49
IV.2.2. Maintenance corrective.....	49
IV.2.2.1. Maintenance palliative.....	49
IV.2.2.2. Maintenance curative.....	49
IV.3. Révision générale.....	49
IV.4. Entretien des systèmes du moteur.....	51

## Conclusion générale

## Liste des figures :

Figure I.1 : Injection directe.....	4
Figure I.2 : La chambre de tourbillon d'air.....	4
Figure I.3 : La chambre de précombustion .....	5
Figure I.4 : Chambre de turbulence.....	5
Figure I.5 : Cycle théorique.....	7
Figure I.6 : Cycle réel à quatre temps du moteur Diesel.....	8
Figure II.1 : Bloc moteur .....	9
Figure II.2 : Chemise.....	9
Figure II.3 : Culasse.....	10
Figure II.4 : Joint de culasse.....	10
Figure II.5 : Equipements de culasse.....	10
Figure II.6 : Piston et jupe de piston .....	11
Figure II.7 : Bielle.....	11
Figure II.8 : Vilebrequin.....	12
Figure II.9 : Arbre à came.....	12
Figure II.10 : Système de distribution.....	13
Figure II.11 : Circuit d'alimentation.....	14
Figure II.12 : Injecteur pompe.....	15
Figure II.13 : Système de refroidissement.....	16
Figure II.14 : Pompe à eau.....	18
Figure II.15 : Pompe a huile.....	20
Figure II.16 : Circuit de lubrification.....	21
Figure III.1 : Schéma du cycle pour le calcul des paramètres.....	31
Figure III.2 : Solution graphique du système d'équations.....	34
Figure III.3 : Solution graphique de système d'équations.....	36
Figure III.4 : Schéma des forces et des réactions développées dans le cylindre.....	41
Figure III.5 : Profil de la section transversal du corps de bielle.....	46
Figure IV.1 : Organigramme des méthodes et technique de maintenance.....	53

## **Liste des tableaux :**

Tableau III.1 : Constantes universelles des gaz parfaits.

Tableau III.2 : Tableau comparatif entre les données du constructeur et résultats de calcul.

Tableau IV.1 : Instructions pour la révision générale.



## Liste des symboles :

- $C_{vmc}$ : Chaleur spécifique moyenne aux points (C) [j / Kg.K]  
 $C_{vmz}$ : Chaleur spécifique moyenne aux points (Z) [j / Kg.K]  
 $C$ : La course de piston [mm]  
 $D$ : L'alésage de cylindre [mm]  
 $D_{int}$ : Diamètre intérieur de cylindre [m]  
 $E$ : Module d'élasticité pour une fonte alliée [Mpa]  
 $F_a$ : Force d'inertie alternative [bar]  
 $G_{air}$ : Débit d'air [Kg / h]  
 $G_{comb}$ : Débit du combustible [Kg / h]  
 $G_{gaz}$ : Quantité des gaz d'échappement [Kg / h]  
 $G_{O_2}$ : Débit d'oxygène [Kg / h]  
 $g_e$ : Consommation spécifique effective [g / Kwh]  
 $g_i$ : Consommation spécifique indiquée [g / Kwh]  
 $h_j$ : La hauteur de la jupe du piston [m]  
 $I$ : Le moment d'inertie. [mm<sup>4</sup>]  
 $K$ : Coefficient qui dépend de la nature du métal utilisé  
 $M_1$ : Quantité de charge fraîche [Kmole / Kg]  
 $M_2$ : Quantité des produits de combustion [Kmole / Kg]  
 $M_r$ : Coefficient de gaz résiduel [Kmole / Kg]  
 $M_{air}$ : masse molaire d'air [Kmole / Kg]  
 $m_a$ : La masse réduite de l'ensemble piston bielle [g / cm<sup>2</sup>]  
 $m_b$ : La masse de la bielle reportée à 1 cm<sup>2</sup> [g / cm<sup>2</sup>]  
 $m_n$ : La masse du piston reportée à 1 cm<sup>2</sup> de l'aire de piston [g / cm<sup>2</sup>]  
 $N$ : Vitesse de rotation du vilebrequin [tr / min]  
 $N_e$ : Puissance effective [Kw]  
 $n_2$ : Exposant polytropique de détente  
 $n_s$ : Exposant polytropique du compresseur  
 $I$ : Nombre de cylindre  
 $I_{vh}$ : Cylindrée totale du moteur [l]  
 $P_0$ : Pression de l'air ambiant [bars]  
 $P_{CL}$ : Puissance au litre de cylindrée [Kw / l]  
 $P_a$ : Pression enfin d'admission [bars]

$P_c$  : Pression vers la fin de compression [bars]  
 $P_e$  : Pression moyenne effective [bar]  
 $P_i$  : Pression moyenne indique [bars]  
 $P_{mi}$  : Pression moyenne indique [bars]  
 $P_{ep}$  : Puissance par unité de surface du piston [Kw / dm<sup>2</sup>]  
 $P_r$  : Pression vers la fin de détente [bars]  
 $P_s$  : Pression de suralimentation [bars]  
 $P_z$  : Pression maximal du cycle [bars]  
 $P_z$  : Pression des gaz [bars]  
 $r_i$  : Rayon intérieur du fond du piston [m]  
 $T_0$  : Température de l'air ambiant [°K]  
 $T_b$  : Température enfin de détente [°K]  
 $T_c$  : Température vers la fin de compression [°K]  
 $T_r$  : Température des gaz résiduels [°K]  
 $T_s$  : Température à la sortie du compresseur [°K]  
 $T_z$  : Température maximal du cycle [°K]  
 $t$  : Epaisseur radiale du segment [mm]  
 $V_h$  : Cylindrée unitaire du moteur [ l ]  
 $\varepsilon$  : Taux de compression  
 $\alpha$  : Coefficient d'accès d'air  
 $\beta_0$  : Coefficient de variation molaire théorique  
 $\beta$  : Coefficient de variation molaire réel  
 $\eta_v$  : Coefficient de remplissage  
 $\lambda$  : Taux d'augmentation de la pression  
 $\xi_z$  : Coefficient d'utilisation de chaleur  
 $\varphi$  : Coefficient empirique de correction du cycle  
 $\eta_i$  : Rendement indiqué  
 $\rho_s$  : La masse spécifique de l'air d'admission [Kg]  
 $\eta_m$  : Rendement mécanique,  
 $\eta_e$  : Rendement effectif  
 $\tau$  : nombre de temps du moteur  
 $\lambda$  : Le rapport de la longueur de la manivelle à la longueur de la bielle  
 $\beta$  : L'angle de la bielle avec l'axe de cylindre [degré]

$\mu$  : Etant le coefficient de réduction de la bielle

$\omega_p$  ; Vitesse moyenne du piston [m / s]

$\omega$  : Vitesse de rotation du vilebrequin [rad / s]

# **INTRODUCTION GENERALE**

Les moteurs diesels CATERPILLAR sont exploités comme étant des groupes de forces ou bien comme des groupes électrogènes qui entraînent des alternateurs 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.

Ces moteurs diesel sont influencés par le climat saharien, grand écart température, insertion de particules très fines de sable entre différentes pièces en mouvement, ils sont en dégradation continue et rapide, d'usure augmente considérablement avec le temps d'où nécessite d'une politique de maintenance adéquate et un entretien rigoureux.

Ce présent mémoire consiste à étudier un type des moteurs de la famille Caterpillar de type « 3512 ». On a commencé par l'étude technique du moteur en faisant le tour d'horizon sur différents organes et circuits de système. En suite, nous avons fait le calcul thermique et mécanique qui nous a permis de vérifier les caractéristiques du moteur et la résistance de certaines pièces.

Le traitement de côté de maintenance et de la sécurité de fonctionnement de moteur et dans le but de montrer les conditions de fonctionnement permettant de garantir le niveau de performances de ce moteur escompte.

---

**I.1. Historique de moteur Diesel : [11]**

Le moteur diesel doit son nom à son inventeur, l'ingénieur allemand RODOLF DIESEL né le 18 mars 1858 à Paris. Dans ce travail RODULF DIESEL qui avait l'idée de réaliser un moteur dont le cycle se rapproche de cycle de Carnot. RODULF DIESEL a mis au point le premier moteur à allumage par compression, en faisant comprimer de l'air à l'intérieur du cylindre et on obtient une haute température de l'air suffisante pour enflammer un combustible finement pulvérisé. Actuellement les progrès réalisés surtout dans l'injection mécanique ensuite l'injection électronique font ressortir que les moteurs Diesel sont utilisés de plus en plus tant dans l'industrie des centrales électriques, dans les bateaux et sur les véhicules routiers.

**I.2. Principe du Moteur Diesel : [11]**

Le moteur diesel est un moteur à combustion dans le combustible est injecté et s'allume sous l'action de la chaleur de l'air comprimé porté à haute pression, le travail de la compression le transforme en chaleur accompagnée d'élévation de sa température, la compression doit être suffisante pour obtenir une température nécessaire à l'allumage de la charge de combustible injecté.

**I.2.1. Description du fonctionnement du cycle moteur : [11]**

Au début, le cylindre est rempli d'air aspiré par le piston (ou introduit par les lunaires de chemise dans le cas du moteur à deux temps), cette charge est ensuite compressée jusqu'à une position déterminée.

La température de l'air étant suffisamment élevée, le combustible est injecté dans le cylindre où se forme le mélange gazeux. Grâce à la haute température, ce mélange gazeux brûle en provoquant une brusque augmentation de température.

Sous les forces de pression thermique importante dans le cylindre le piston redescend dans le cylindre et fait tourner le vilebrequin par l'intermédiaire de système bielle manivelle. Dans cette étape le moteur fournit une énergie mécanique au niveau du vilebrequin.

En fin et sous l'effet des forces d'inerties, le piston refoule les gaz brûlés dans l'atmosphère à travers les collecteurs d'échappements.

**I.3. Désignation Du Diesel Alternateur CAT 3512 : [10]**

Dans cette étude, le choix du moteur concerne le groupe diesel – alternateur dont le moteur diesel Caterpillar 3512 est de marque Caterpillar à 4 temps, le type 3512 en V entraîne un alternateur de production d'énergie électrique et d'un gouvernail pour la stabilisation de la

vitesse d'une commande d'arrêt du moteur en cas d'emballage de chute de pression d'huile ou de chute de température d'eau.

#### **I.4. Classification des moteurs à combustion interne : [12]**

Malgré la diversité des moteurs à combustion interne, on les classe selon:

- Le mode de fonctionnement : Moteur à piston alternatif, moteur à piston rotatif, moteur à turbine, moteur mixte ;
- Le mode de remplissage du cylindre ;
- Le type de combustible ;
- Suivant le cycle adopté ;
- Le mode d'allumage ;
- La formation de mélange ;
- Le cycle de fonctionnement ;
- La disposition du cylindre ;
- La vitesse du piston ;
- La disposition des soupapes ;
- Le mode de refroidissement ;

#### **I.5. Types d'injection des moteurs diesel : [11]**

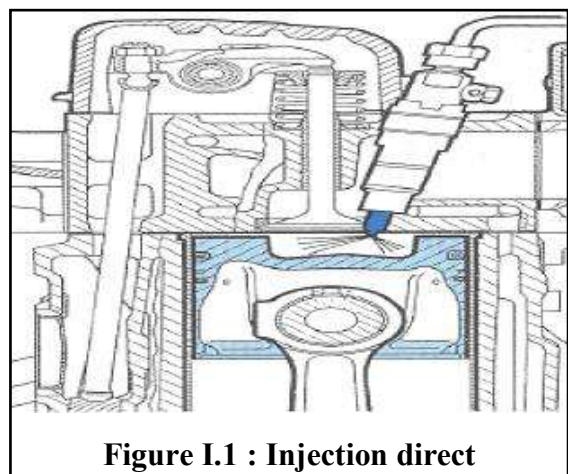
Ils existent deux grandes familles de types de chambre de combustion correspondants à deux types d'injection. C'est le cas spécifique des moteurs Diesel et qui représente l'une des plus importantes caractéristiques de ce type de moteurs.

##### **I.5.1. Moteur à injection directe**

Deux techniques de combustion sont employées :

- **Par énergie des jets d'injecteur (Fig. I.1) :**

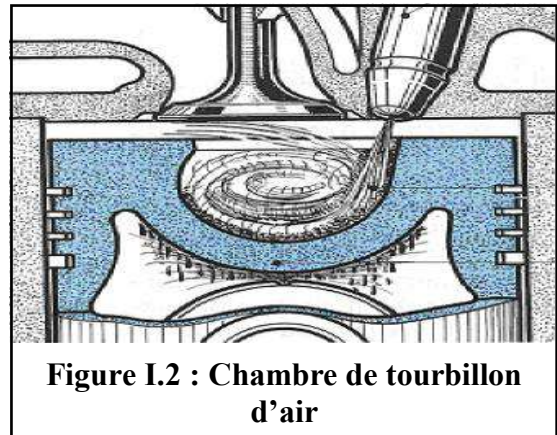
Utilisé dans les gros moteurs lents, l'injecteur central comporte de 6 à 8 trous, pulvérise le combustible (tarage de 200 à 350 bars) à la circonférence de la chambre de combustion de grand diamètre et peu profonde du piston. Le système fonctionne sans tourbillon d'air (swirl), mais exige une grande précision du positionnement de l'injecteur et un excès d'air très important.



**Figure I.1 : Injection directe**

➤ **Par mouvement tourbillonnant de l'air (Swirl) (Fig. I.2) :**

Utilisé sur tous les moteurs modernes, le mouvement tourbillonnant de l'air est amorcé par la forme du conduit d'admission la chambre de combustion dans le piston est plus réduite, et comporte une forme variable selon le constructeur. Pendant l'admission, l'air pénètre dans le cylindre. Et imprime un mouvement tourbillonnant très intense, créant un cyclone pendant la compression. En fin de compression, l'injecteur introduit le combustible dans la chambre sphérique du piston. Le jet très court est dirigé sur la paroi, et s'étale sur elle en un film mince. Les fines gouttelettes qui forment un brouillard autour de ce jet s'oxydent et amorcent la combustion. Ce début de combustion s'effectuant avec une faible quantité de combustible, le cognement est éliminé. Le reste du combustible étalé en film mince s'évapore lentement, permettant aux vapeurs de se mélanger à l'air à l'air tourbillonnant.

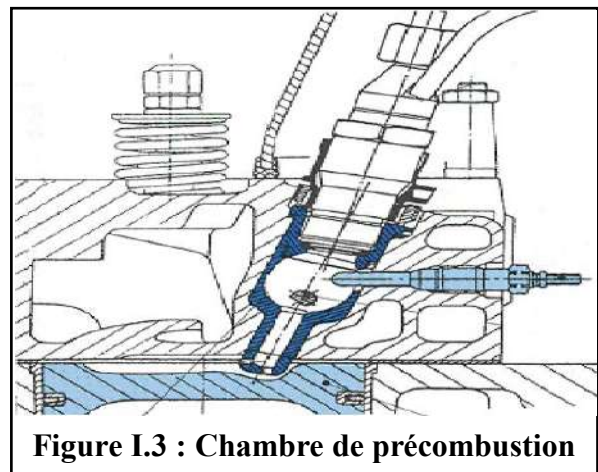


**Figure I.2 : Chambre de tourbillon d'air**

**I.5.2. Moteurs à injection indirecte :**

➤ **Moteurs à chambre de précombustion (Fig. I.3) :**

L'injecteur du type à téton est placé sur la culasse et dans une cavité non refroidie appelée "préchambre". Le combustible injecté dans cette préchambre commence à brûler puisqu'elle contient de l'air préalablement comprimé et élévation de pression résultant de cette précombustion expulse le mélange vers le cylindre où la combustion se poursuit. Cette combustion étagée assure un fonctionnement moins bruyant car les pressions d'injection sont modérées (100 à 150 bars) et le rapport volumétrique varie de 12/1 à 15/1. Le démarrage s'opère généralement à l'aide d'une bougie de préchauffage car le taux de compression adopté ne permet pas de porter l'air ambiant à une température suffisante lorsque la culasse est froide.



**Figure I.3 : Chambre de précombustion**

➤ **Moteurs à chambre de turbulente (Fig. I.4) :**

Ce dispositif est une variante du précédent, la chambre de turbulence représente la presque totalité du volume de la chambre de combustion. Cette préchambre communique avec le cylindre par un orifice de large section de forme tronconique; comme dans le cas précédent, l'injecteur débouche dans la chambre. Pour ces moteurs, le rapport volumétrique est compris entre 15/1 et 18/1, et la pression d'injection est de 110 à 130 bars.

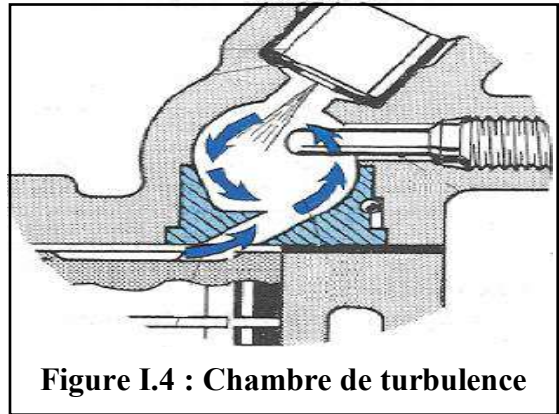


Figure I.4 : Chambre de turbulence

➤ **Moteurs à chambre d'air :**

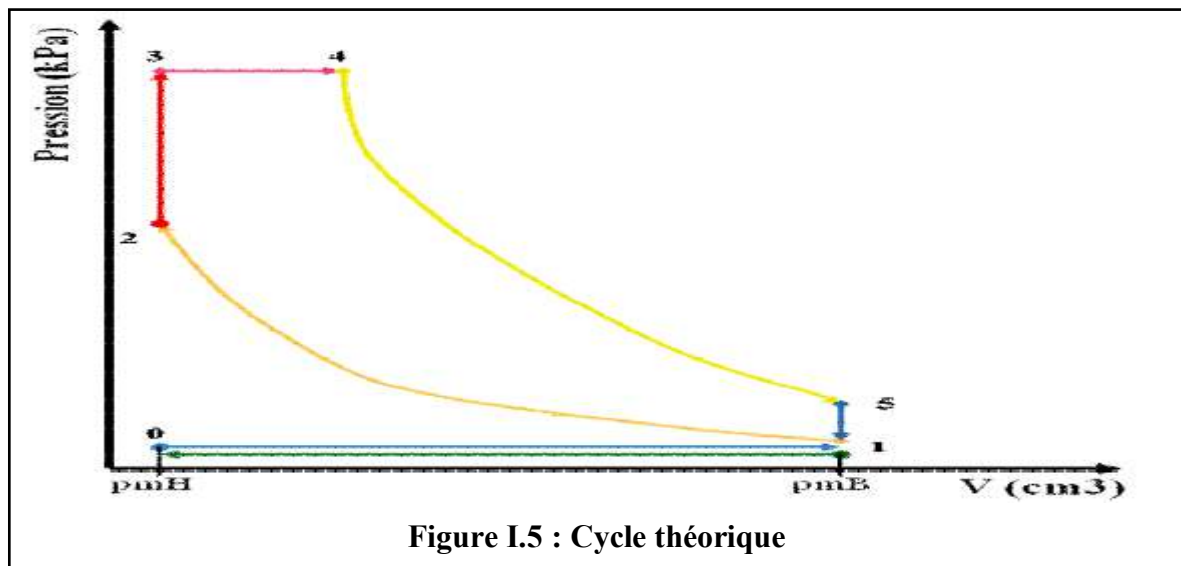
La réserve d'air communique avec le cylindre par un orifice important mais l'injecteur est placé en dehors de cette chambre et il est disposé de façon telle que le jet de combustible vient à la rencontre de l'air comprimé qui sort de la chambre. Il en résulte une grande souplesse de fonctionnement car un brassage énergique de l'air et du combustible favorise la combustion. Ces systèmes ont été abandonnés depuis plusieurs années.

### I.6. Cycles Théoriques du moteur à quatre temps : [11]

On appelle cycle, l'ensemble des évolutions que subit une même masse de mélange depuis son entrée dans le cylindre jusqu'à sa sortie vers l'atmosphère, avec une variation de volume, de pression et de température. Ce cycle comprend les étapes suivantes :

- **Admission** : Le piston descend du PMH au PMB : Soupape d'admission ouverte et celle d'échappement fermée, aspiration pur d'air ;
- **Compression** : Le piston monte de PMB au PMH : Soupape admission fermée –soupape échappement fermée. Compression de l'air avec forte élévation de température (500 à 750° environ).
- **Combustion** : Le piston descend du PMH au PMB : Soupape d'admission fermée et celle d'échappement fermée. Le carburant est injecté dans l'air porté à haute température et s'enflamme dès son contact avec l'air. L'augmentation de pression qui en résulte pousse le piston vers le PMB, c'est le temps moteur.
- **Echappement** : Le piston monte du PMB au PMH : Soupape admission fermée soupape échappement ouverte, Les gaz brûlés chassés à l'extérieur.





### I.7. Cycle pratique :

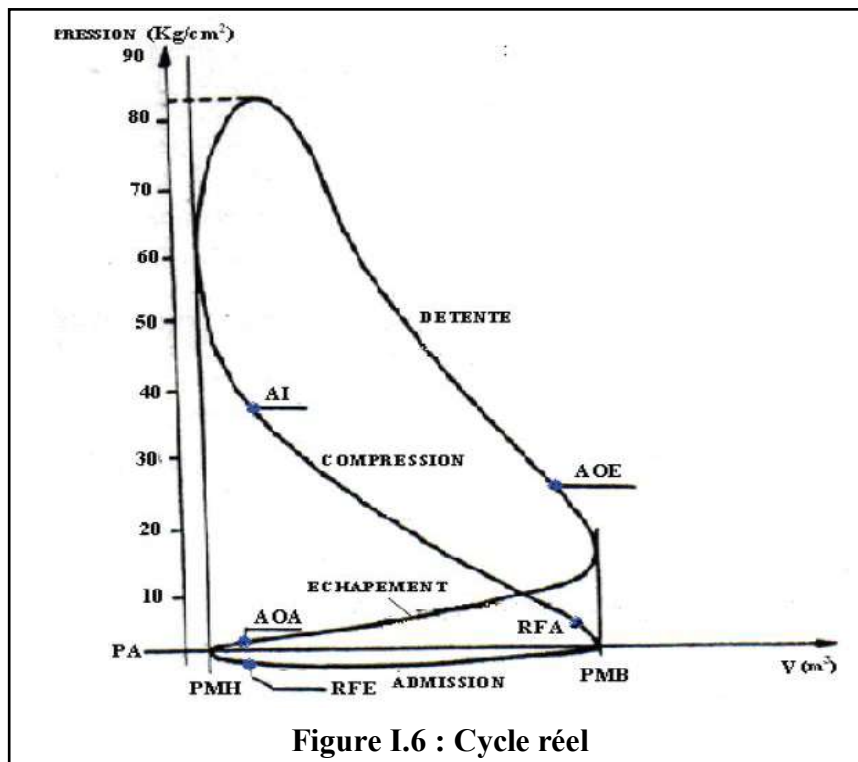
Pour un bon fonctionnement du moteur Diesel, des modifications ont été apportées au cycle théorique et qui sont :

- **Avance à l'ouverture d'admission (AOA) :** Pour permettre une meilleure évacuation des gaz brûlés, on a l'avance à l'ouverture des soupapes d'admission de façon que l'air aspire dans le cylindre chasse les gaz brûlés, et pour avoir un bon remplissage à l'admission.
- **Retard à la fermeture d'admission (RFA) :** Pour obtenir un meilleur remplissage, l'air ayant acquis une certaine vitesse durant la course descendant du piston continue de pénétrer dans le cylindre pendant le temps mort du piston au (PMB).
- **Avance de l'ouverture d'échappement (AOE) :** Il est bon d'avoir de l'avance de l'ouverture de la soupape d'échappement à la fin cycle de détente pour permettre une meilleure évacuation des gaz brûlés.
- **Retard à la fermeture d'échappement (RFE) :** Retard correspond à l'avance de l'ouverture de la soupape d'admission car les gaz frais pénétrant dans le cylindre chassent les gaz brûlés.
- **Avance à l'injection (AI) :** Un certain temps s'écoule entre le début de l'injection et le début de la combustion, représenté par un angle d'environ  $8^\circ$ , le but de cette avance est de coïncider le début de la combustion avec la position du piston au PMH, c'est pour cette raison que durant la combustion qu'on injecte le combustible avant que le piston soit exactement au PMH.

**I.8. Diagramme réel :**

La comparaison avec le diagramme théorique conduit à savoir un certain nombre de différences provenant de l'énergie, du remplissage, du délai d'allumage et des contre-pressions à l'échappement.

L'aspiration et l'échappement ne s'effectuent pas à la pression atmosphérique en raison des pertes de charge, la compression et la détente ne sont pas adiabatiques mais polytropiques, et la combustion n'est pas instantanée, ne commence pas au début du 3eme temps pour remédier à cet état de choses on réalise une avance à l'injection AI.

**I.9. Avantages et inconvénients du moteur diesel : [13]**

Le moteur diesel fournit de l'énergie mécanique meilleur marché pour les raisons suivantes :

- Le rendement est élevé. La consommation moyenne en combustible est voisine de 190 g/cv/h.
- Le combustible employé par les moteurs diesel est relativement bon marché.
- Les gaz d'échappement sont moins toxiques puisque la teneur en oxyde de carbone est de 0,1% à 2%.
- Les dangers d'incendie sont réduits
- L'admission est toujours maximale.

En effet, le gas-oil ne produit des vapeurs inflammables qu'aux environs de 80°C, soit à une température nettement supérieure à celle de l'été.

Cependant le moteur diesel présente les inconvénients suivants :

- Les organes du moteur sont soumis à des pressions élevées donc à des efforts considérables, si bien que la construction de ces moteurs pose des problèmes mécaniques plus complexes.
- Les hautes températures sont indispensables pour enflammer spontanément le combustible injecté, ce qui nécessite des matériaux ayant une bonne tenue aux températures élevées.
- Les pressions en cours de combustion normales sont voisines de 50 à 80 bars ;

En effet, le combustible non brûlé à la sortie de l'injecteur, s'ajoute au combustible injecté au cycle suivant, l'inflammation s'accompagne alors d'une élévation de pression considérable, qui peut atteindre 150 à 200 bars.

En conséquence :

- Les pièces doivent être largement calculées ;
- Construction lourde ;
- L'étanchéité entre piston et cylindre est difficile à réaliser, d'où obligation de disposer sur les pistons cinq à six segments ;

Une température constante assez élevée est indispensable pour obtenir une bonne combustion. Il faut donc prévoir un refroidissement correct du moteur. L'entretien d'organes de précision tels que les injecteurs et la pompe d'injection nécessite l'intervention des spécialistes qualifiés. Le graissage est délicat en raison des pressions élevées transmises par le piston à tout l'équipage mobile.

**Introduction :**

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

**II.1. Description de moteur :**

Le moteur Caterpillar 3512 est un moteur de série 3500, 12 cylindres. 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/mn.

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 pompage de gas-oil qui est acheminé aux injecteurs. L'avance automatique du calage assure une injection optimale sur toute plage de régime moteur. L'air admis 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. [2]

**Remarque :**

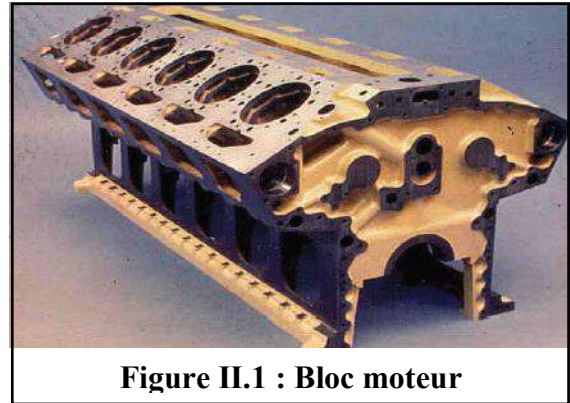
Le dosage en air frais doit être maximum pour obtenir une bonne combustion du mélange air + gas-oil.

La pression d'injection est de l'ordre de 196 à 238 bars. Le nez de l'injecteur possède 9 orifices de pulvérisation. La surface du piston a une forme cardioïde (forme chapeau mexicain). Cette forme permet à l'air de tourbillonner ce qui assure un mélange homogène air + gas-oil. Au moment de la combustion la pression des gaz atteint 50 à 100 bars ; la température des gaz de combustion atteint 1800 à 2000 °c. Donc, l'efficacité du système de refroidissement doit être indemne de toutes anomalies. [2]

**II.2. Description des organes de moteur Caterpillar : [3] [10]****II.2.1. Les organes fixes :****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.

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 :

**Figure II.1 : Bloc moteur**

- 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...

**Cylindre :**

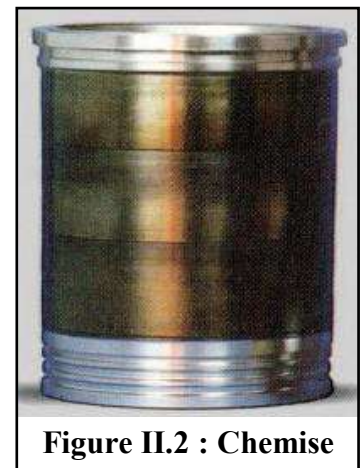
On englobe généralement sous le nom de bloc cylindre l'ensemble fixe constitué par le tube, les cavités de refroidissement, les supports d'organes de distribution et les amorces des tubulures de circulation d'eau, d'alimentation et d'échappement.

Le cylindre surmonté de la culasse réalise la chambre de combustion, 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.

**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 assurée par des joints torique, la surface extérieure est revêtue d'un traitement anti-oxydant et 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.

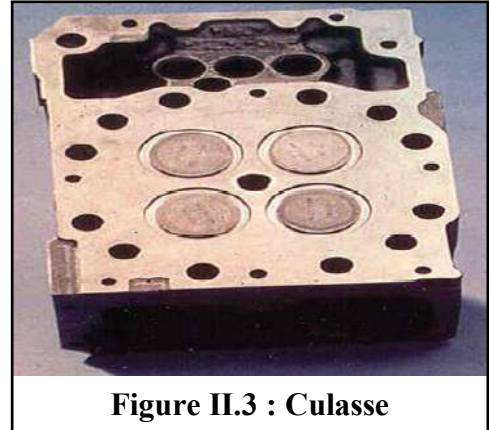
**Figure II.2 : Chemise**

**Culasse :**

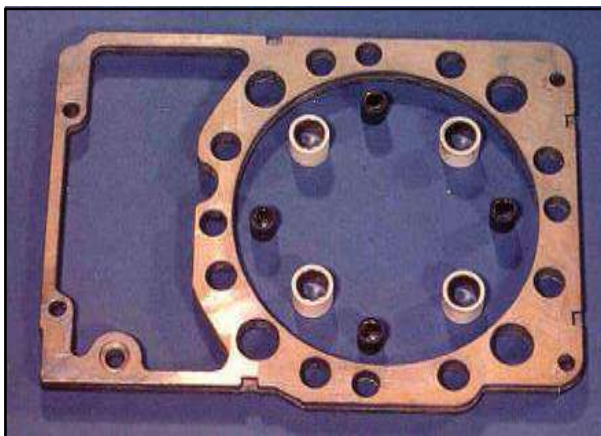
Les culasse de série 3512 sont de type individuel et reçoivent quatre soupapes par cylindre. Elles sont fabriquées en fonte alliée.

Une plaque intermédiaire en aluminium assure un appuie 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 gazoil permet l'alimentation des injecteurs. Des férules indépendantes permettant le passage de d'huile et du liquide de refroidissement entre culasse et le bloc.

**Figure II.3 : Culasse****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.

**Figure II.4 : Joint de culasse****Figure II.5 : Equipements de culasse****Carter :**

Le carter est une enveloppement 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.

**I.2.2. 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.

**Le piston :**

Le piston est un organe qui constitue les parois de la chambre de combustion, il est animé d'un mouvement alternatif et rectiligne dans le cylindre, il détermine ainsi l'admission, la compression et l'échappement. Il transmet au vilebrequin par l'intermédiaire de la bille l'effort exercé par la pression des gaz pendant la combustion et la détente. Pour que l'aspiration et compression puissent avoir lieu dans des bonnes conditions, il faut que le piston forme avec le cylindre un espace parfaitement clos.

Le piston est en alliage d'aluminium avec un anneau prote-segment en font, il est symétrique, recouvert d'un enduit graphité permettant de favoriser le rodage et éviter les grippages en cas de surchauffe anormale. Les segments sont au nombre de trois, le segment keystone à surface bombée, chromée. Le segment intermédiaire est un segment keystone chromé droit. Le segment racleur est de type deux rails chromés.

**Figure II.6 : Piston et jupe de piston****La Bielle :**

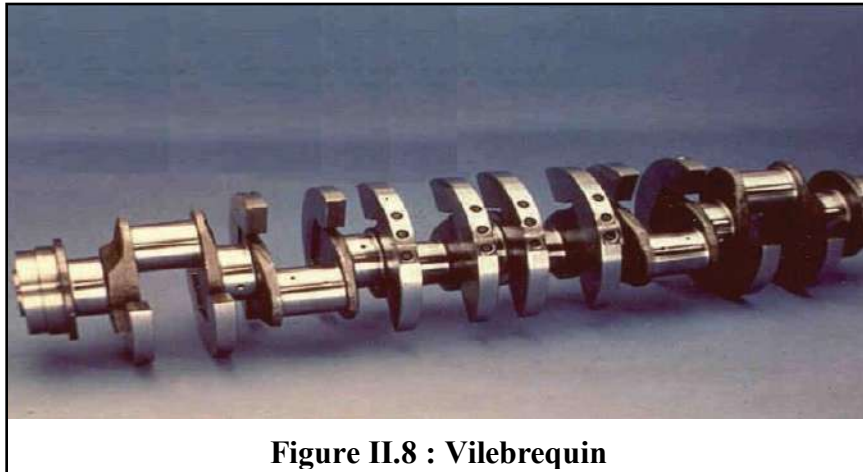
La bielle est un organe de liaison entre le piston et le vilebrequin par l'intermédiaire du bras de manivelle du vilebrequin, elle transforme le mouvement circulaire continu de l'arbre de vilebrequin. Elle est en acier très résistant. A ce titre les constructeurs ont généralement adoptés une section 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.

**Figure II.7 : Bielle****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 et 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 chromé, 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 :

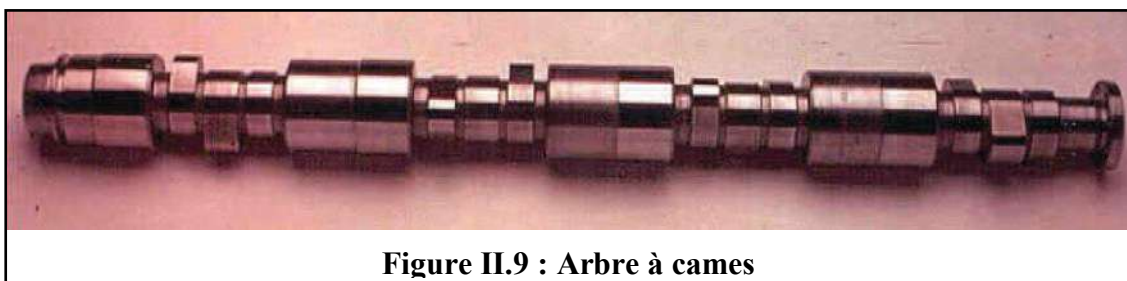
- Les tourillons qui matérialisent l'axe de rotation du vilebrequin.
- Les manetons sur lesquels s'articulent les bielles.



**Figure II.8 : Vilebrequin**

### **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, pour notre cas sa disposition est latérale avec une 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.



**Figure II.9 : Arbre à cames**

### **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.

### Les culbuteurs :

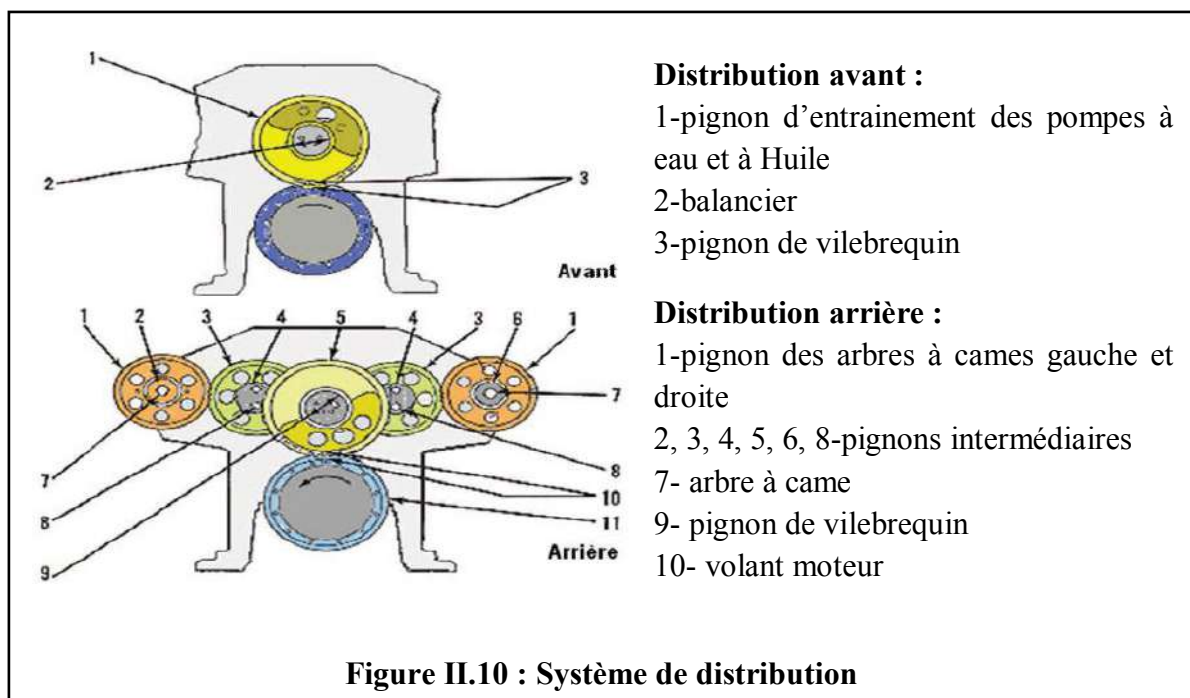
Quelque fois appelés aussi basculeurs, les culbuteurs transmettent le mouvement des cames aux soupapes par l'intermédiaire des tiges de culbuteur. L'extrémité en contact avec la tige de culbuteur est munie d'un système vis écrou permettant le réglage du jeu aux culbuteurs.

## II.3. Les accessoires du moteur et les systèmes [3]:

### II.3.1. Système de distribution :

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

L'emplacement des arbres à cames est latéral, les cames entraînent les soupapes et injecteurs par intermédiaire des poussoirs, culbuteurs liés aux tiges des culbuteurs.



**II.3.2.Système d'admission :**

Un moteur diesel consomme en moyen 30 grammes d'air pour bruler un gramme de gasoil, cet air nécessaire à la combustion de fuel et présent partout dans l'atmosphère toutefois il est pollue par deux particules de toutes sortes.

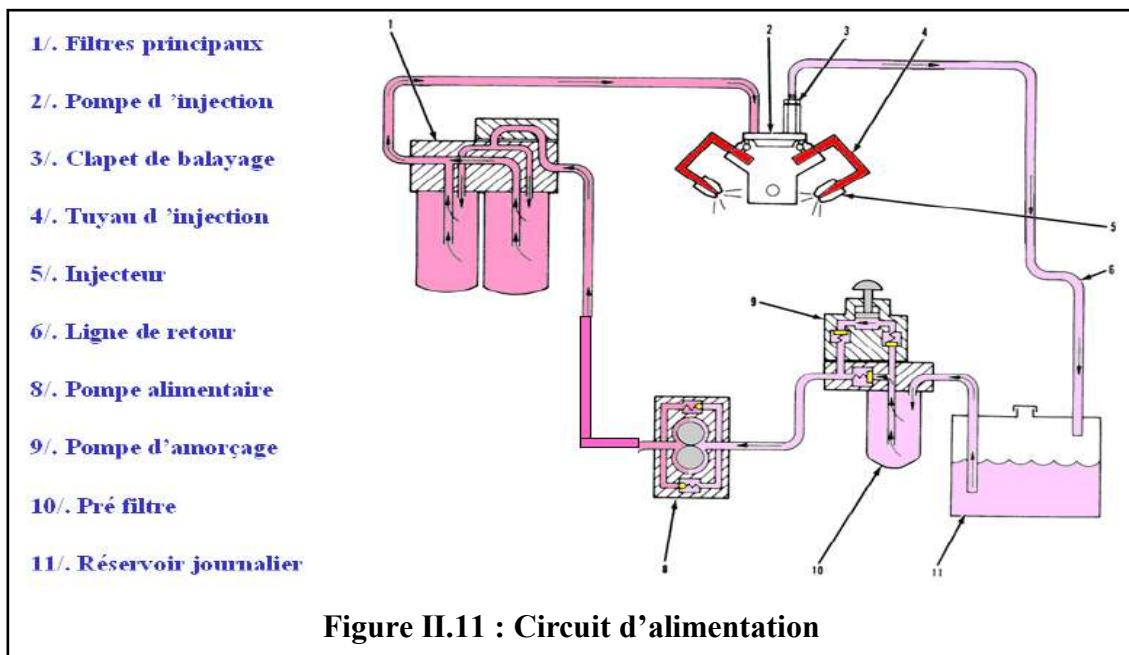
Le rôle essentielle du circuit d'admission est donc de purifier cet air aspiré, afin d'éviter l'introduction des poussières qui sont l'une des causes d'usures des organes mécaniques. On considéré qu'un moteur fonctionne dans un milieu poussiéreux tel qu'un kilogramme de poussière abrasive en deux à chantier aspirerait un trois heures de fonctionnement sans filtre.

En application groupe électrogène, les filtres sont de type papier avec un seuil de filtration de l'ordre 10 µm. La tuyauterie d'admission est intercalé entre le turbocompresseur et les différentes chambres de combustion elle doit non seulement canalises l'air vers les soupapes d'admission, mais encore assurer une égale répartition de l'air entre les différentes cylindres.

La réalisation des tubulures est beaucoup plus compliquée que celle des tubulures d'échappement, car le problème posé ne représente pas la même netteté.

**II.3.3.Système d'injection :**

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



II.3.3.1. les organes du système d'injection :Le pré filtre :

Il filtre les impuretés de gasoil, son rôle est de protéger la pompe d'alimentation.

La pompe d'alimentation :

Son rôle est d'amener le fuel du réservoir a la pompe d'injection a une basse pression (200 à 500 KPa) afin d'assure un bonne 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.

Filtres principaux :

Le cartouche est du type étoile, en papier le passage du combustible s'effectue dans le sens radial, de extérieur ver 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 centrale perforé.les impuretés sont tenues à la surface du filtre ou elles adhérents.

Les injecteurs :

Les injecteurs utilisés dans le moteur CATERPILLAR 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 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 coté de moteur à l'aide d'une tige montée en compression sur le ressort.

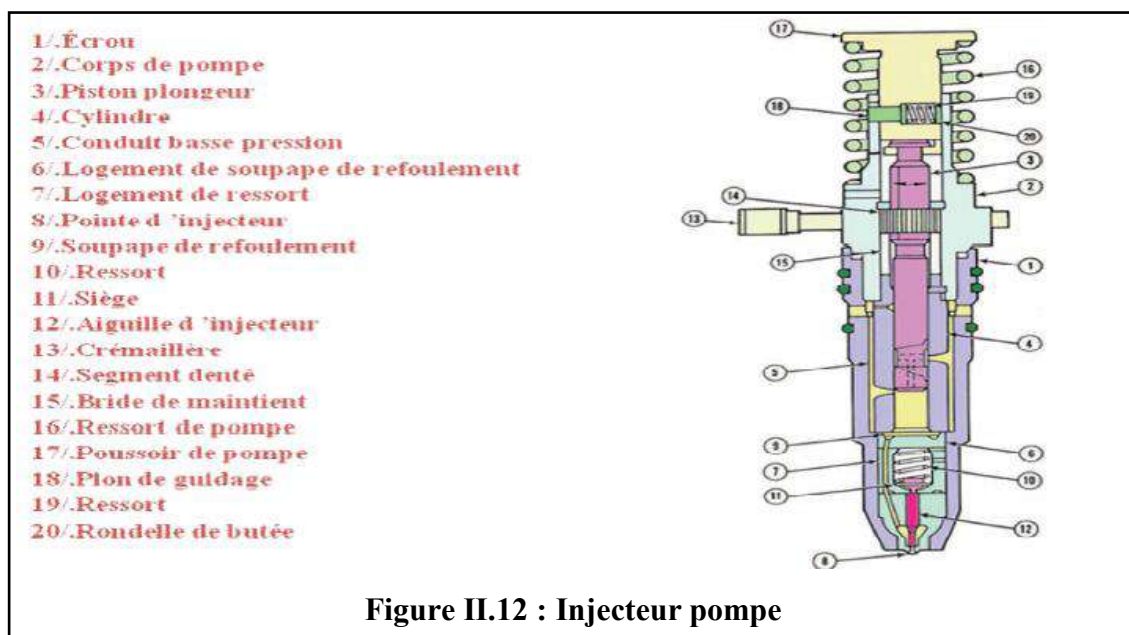


Figure II.12 : Injecteur pompe

**II.3.3.2. Principe de fonctionnement :**

Le combustible venant à partir du réservoir est filtré par l'intermédiaire des filtres qui éliminent les impuretés solides existant dans le gasoil. La pompe d'alimentation assure le transport du combustible à la chambre annulaire qui se trouve dans la culasse et communique avec l'orifice d'admission de l'injecteur pompe, le mouvement de descente du piston de l'injecteur pompe comprime le gasoil jusqu'à une pression très élevée et permet d'introduire le gasoil dans la chambre de combustion sous forme pulvérisé.

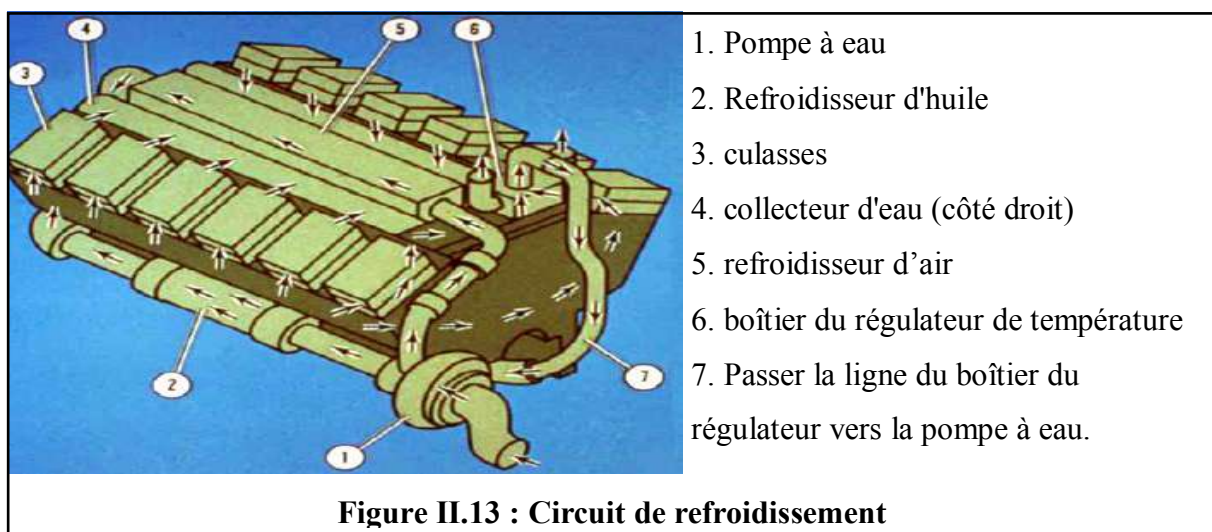
Quand l'injection du gasoil est terminée le reste dans l'injecteur fait refroidir les pièces internes de celui-ci puis retourne par conduite de retour, qui se trouve juste en dessous de la tubulure d'alimentation vers le réservoir.

**II.3.4. Système de refroidissement :****II.3.4.1. Description :**

On appelle "système de refroidissement" l'ensemble des mécanismes et dispositifs qui servent à évacuer l'énergie calorifique non transformée en énergie mécanique.

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 le système de distribution.



**II.3.4.2. Principe de fonctionnement :**

Le flux de liquide de refroidissement provient du coude relié au radiateur au centre de la pompe à eau, puis divisé à sa sortie en deux parties, une s'écoule vers le refroidisseur d'air, et l'autre au refroidisseur d'huile. La partie passant par le refroidisseur d'air est envoyée à l'arrière du bloc, et l'autre envoyée au refroidisseur d'huile s'écoule après dans la gaine d'eau du bloc au cylindre arrière droit. Le liquide se mélange et se dirige vers les collecteurs de distribution connectés au vérin d'eau de tous les cylindres.

Le liquide de refroidissement s'écoule à travers les chemises d'eau et autour des cylindres du bas vers le haut. Près du haut, où la température est la plus chaude, la jaquette d'eau est plus petite pour un écoulement plus rapide qui conduit à un meilleur refroidissement, le liquide de refroidissement va ensuite dans la culasse, et passe à travers un collecteur vers le boîtier du thermostat qui contient quatre régulateurs de température.

Lorsque les régulateurs sont fermés, le liquide de refroidissement passe par eux et retourne à l'entrée de la pompe à eau par l'intermédiaire du tuyau de dérivation. Quand la température du liquide atteint les 88 ° C, les régulateurs s'ouvrent, et le liquide passe au radiateur pour évacuer sa chaleur.

**II.3.4.3. organes et accessoires du système de refroidissement :****Chemises d'eau :**

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

**Radiateur :**

Le radiateur est de type tubulaire (tube à ailettes plat), 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.
- 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 les quelles l'eau en circulation se refroidit.

Le radiateur comporte ainsi un bouchon pour la fermeture de l'orifice de remplissage, un tube de trop-plein chargé de rejeter l'excès d'eau et vapeur dans le cas d'ébullition de l'eau et un robinet en bas du radiateur pour la vidange.

Les tubes sont en laiton étamé avec disposition verticale, les ailettes sont en clinquant planes montées à force.

### **Ventilateur :**

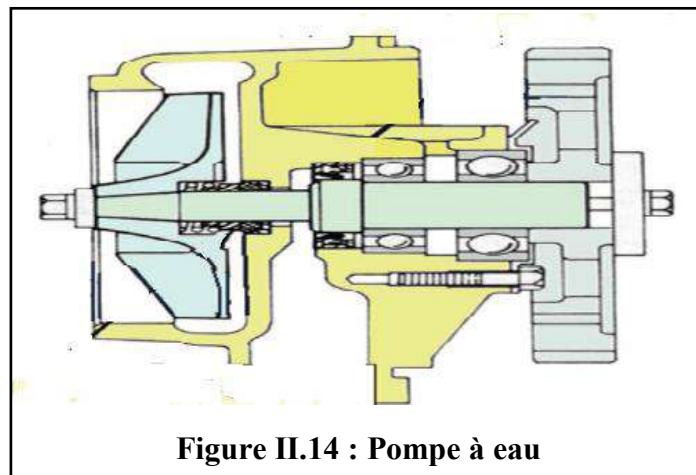
Le refroidissement de l'eau chaude est assuré par le courant d'air qui passe à travers le radiateur, pour augmenter le volume d'air admis en dispose d'un ventilateur près du radiateur.

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

### **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. La pompe à eau est entraînée par engrenage à 1 - 1/3 fois le régime du moteur à grande vitesse de 1300 à 1800 tr/min et 2 fois le régime du moteur pour les moteurs à faible vitesse de 1300 tr/min.



**Figure II.14 : Pompe à eau**

### **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

#### **II.3.4.4. 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'éthylène-glycol. Toute fois, le liquide de refroidissement long duré Caterpillar contient des inhibiteurs de corrosion et des agents anti-mousses ayant une faible teneur en nitrites.

Il permet de protéger la durée de service du liquide de refroidissement a 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.

#### **II.3.5.Système de graissage :**

##### **II.3.5.1.Description :**

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.

##### **II.3.5.2. Les organes du système de graissage :**

###### **Réservoir d'huile :**

C'est généralement le carter qui joue le rôle de réservoir d'huile, il est muni des orifices de remplissage est de vidange. L'orifice de vidange est une Chimène cylindrique venue de la fonderie avec le carter.

**Reniflard :**

Le reniflard est une mise à l'air du bloc moteur. Ces reniflards sont chargés de vapeur d'huile. Le montage de conduit d'évacuation des gaz doit être de diamètre suffisant et exempt de point bas pour éviter toutes contre pression excessive.

**Les Canalisations :**

Sont destinées pour transporter l'huile de graissage de la pompe à huile aux pièces à graisser. Elles sont des types variés par exemple des trous comme dans le vilebrequin.

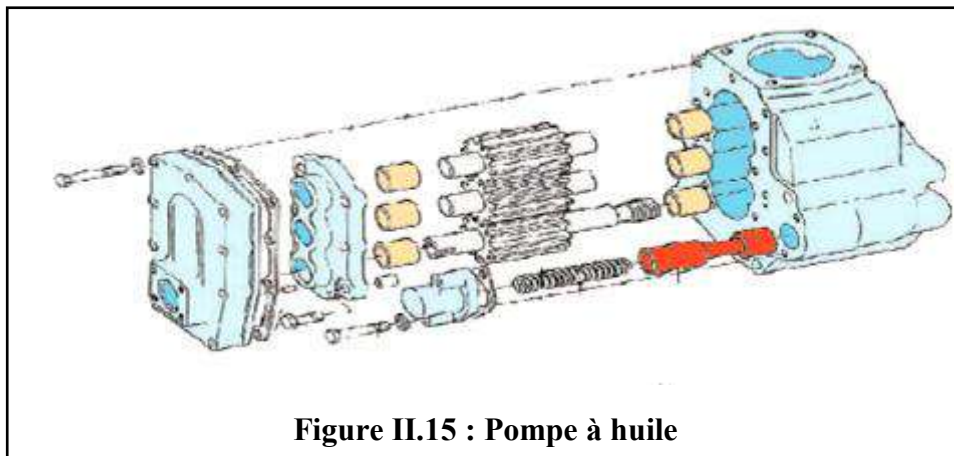
**La pompe à l'huile :**

La pompe à l'huile utilisée dans le moteur 3512 CAT sont de type pompe à engrainage à double étages. Elle est composée d'un boîtier moulé dans le quel tourne trois pignons à denture droite. Elle est de construction robuste. Un des pignons est entraîné par un arbre vertical prenant son mouvement sur un renoi de l'arbre à cames.

Les autres pignons montés fous et entraînés par le premier corps de la pompe qui demande un ajustage assez soigné. Il est généralement rapporté et place au point plus bas du carter pour les facilités d'amorçage de la pompe.

L'entrée d'huile est toujours protégée par une crépine, qui évite la détérioration de 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, entraînée par ces dents et ainsi chassé dans les chambres de refoulement situées au côté opposé à l'entrée.



**Figure II.15 : Pompe à huile**

**II.3.5.3. Circulation d'huile dans le moteur CAT 3512**

La pompe à huile aspire de l'huile du carter à travers une crépine et à travers le coude, cette dernière est équipée d'un tamis pour filtrer l'aspiration d'huile du carter.



La pompe à huile refoule de l'huile vers le refroidisseur, et puis sort vers les filtres à huile. L'huile refroidie et filtrée est envoyée vers le coude, et entre dans la tubulure qui assure la lubrification des tourillons et des bagues des arbres à cames.

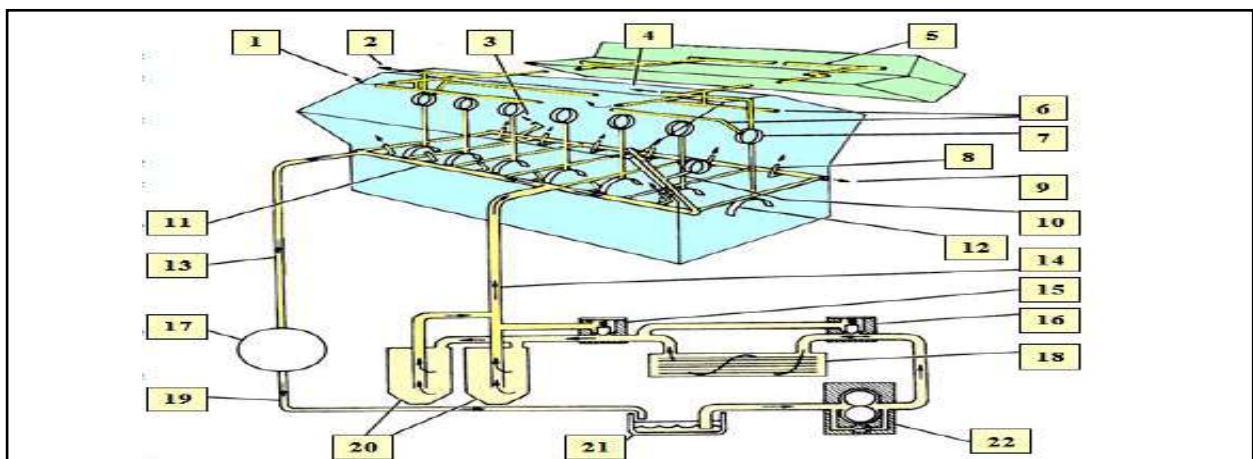
L'huile circulant autour des tourillons des arbres à cames monte et passe à travers des tétons creux vers les culasses pour lubrifier la rampe culbutrices et les trois culbuteurs, en écoulant par les trois extrémités des trois culbuteurs, elle lubrifie les ressorts des soupapes et les des injecteurs.

La tubulure principale située dans le V du moteur assure la lubrification des coussinets et des tourillons de vilebrequin par l'intermédiaire des perçages verticaux de chaque palier.

Les manetons et les coussinets de bielles sont lubrifiés à partir des perçages obliques pratiqués sur chaque tourillon du vilebrequin, et les soupapes des séquences sont alimentées à partir de la tubulure principale pour lubrifier par jet les pistons.

Les deux tubulures assurent la lubrification des pistons par jet d'huile. Chaque buse d'huile a deux perçages. Quand l'huile arrive sous pression dans les buses, un jet d'huile est envoyé et dirigé pour lubrifier les segments et l'autre jet est dirigé pour lubrifier le fond du piston, son axe et son palier.

Les soupapes de séquences s'ouvrent à une pression égale ou supérieure à 1,38 bar. Si une pression d'huile descend en dessous de 1,38 bar, les soupapes de séquence coupent la lubrification des pistons ; ce but est d'assurer constamment une pression d'huile suffisante pour la lubrification des paliers du vilebrequin.



- 1/Conduit vers culbuteries - 2/Conduit vers pignons de commande auxiliaires côté volant -
- 3/Conduit vers paliers de pignons côté volant - 4/Conduit vers le régulateur et la pompe d'injection -
- 5/Rampe de graissage culbuteries - 6/Prise de pression d'huile - 7/Palier d'arbre à cames - 8/Gicleur sous piston - 9/Conduit vers carter de distribution - 10/Conduit vers graissage pignons intermédiaires -
- 11/Collecteur principal - 12/Palier de vilebrequin - 13/Conduit vers turbo-compresseur - 14/Arrivée principale vers collecteur - 15/Clapet de colmatage filtres - 16/Clapet de colmatage réfrigérant d'huile -
- 17/Turbo-compresseur - 19/Retour d'huile turbo-compresseur - 20/Filtres à huile - 21/Carter d'huile -
- 22/Pompe à huile et clapet de régulation de pression

Figure II.16 : Circuit de lubrification

**II.3.5.4. Appareils de contrôle :****La jauge (indicateur de niveau) :**

Est constitué par une tige métallique graduée plongeant à demeure dans le carter. après avoir retiré de son logement, niveau d'huile se lit directement sur le bas de la tige graduée en fonction de la contenance et de la forme de carter.

**Indicateur de pression :**

On utilise pour contrôler le bon fonctionnement de la pompe par des manomètres gradués qui donnent alors l'indication chiffrée.

Les manomètres sont montés en dérivation sur le circuit de graissage.

**II.3.5.5. Fonctionnement :**

Le système de graissage fonctionne pour assurer le graissage des pièces suivantes :

- Les pistons et les parois des cylindres.
- La tête de bielle et le maneton.
- Les poussoirs, les tiges soupapes dans leur guide.
- Les paliers des arbres.
- Les culbuteurs.

Le vilebrequin est l'un des pièces grisé sous pression, l'huile envoyée sous pression aux principaux paliers. Il est percé de canalisation permettant la circulation d'huile.

Les coussinets des paliers portent à leur partie médiane une rainure circulaire fermant bain d'huile.

Les parois de cylindre et le partie inférieure du piston peut être graissé par l'injection d'huile à partir de deux trous sont fixées au-dessous du piston.

La vapeur d'huile condensé à la couvre-coulasse est le responsable de graisser, les culbuteurs, les tiges poussoirs est les soupapes par écoulement.

**II.3.5.6. Fluide de graissage :**

Le lubrifiant doit présente de sérieuses qualités, les conditions aux quelles il doit satisfaire sont le suivantes :

- Avoir une bonne stabilité ;
- Avoir une conductibilité thermique ;
- Avoir un point de congélation assez bas ;
- Ne pas prendre exagérément sa viscosité en s'échauffant ;

**II.3.6. Circuit d'air et d'échappement :**

- 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.

**II.3.6.1. 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.

**II.3.6.2. 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 turbo-chargeurs et enfin s'échappent dans l'atmosphère par l'intermédiaire du silencieux d'échappement.

**II.3.6.3. Turbo compresseur:**

Un moteur à aspiration naturelle ne peut aspirer que 80% de son 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.

Le moteur CAT 3512 est équipé de deux 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. Les turbocompresseurs sont situés à l'arrière du moteur, sur les tubes transversaux des deux collecteurs d'échappement.

#### **II.3.6.4. Le dispositif de suralimentation :**

Afin d'augmenter le remplissage du cylindre lors de la phase d'admission d'air, cette suralimentation consiste à le faire en augmentant la masse spécifique de l'air en lui faisant subir une compression préalable. Cette suralimentation permet :

- Une augmentation de la puissance du moteur pour une même cylindrée ;
- 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.

#### **II.3.7. système de démarrage :**

Le démarrage du moteur Caterpillar 3512 est pneumatique, ce système utilise de l'air comprimé dans des réservoirs automatiquement rechargés par un moteur électrique ou un air entraîné par un compresseur.

Le démarrage pneumatique est appliqué cause à la probabilité d'existence des gaz combustibles dans le site du travail. Le couple disponible des démarreurs pneumatiques accélère le moteur à deux fois la vitesse de démarrage requis par les démarreurs électriques dans environ la moitié du temps.

L'air qui entraîne le démarreur est généralement comprimé à 250 Psi et stocké dans des réservoirs. L'alimentation en air comprimé entraîne des ailettes fixés au rotor du démarreur ce qui fait tourner un pignon qui entraîne à son tour le volant moteur. L'alimentation en air doit être coupée dès que le moteur démarre, cela empêchera de gaspiller la pression d'air de départ et éviter d'endommager le moteur de démarrage en excès de vitesse.

#### **II.3.8. Témoins et instruments [2] [14]:**

Des variations importantes des instruments fournissent des indications sur le rendement du moteur. Il faut s'assurer que les instruments sont en bon état de fonctionnement, déterminer la plage de fonctionnement normale en observant les instruments pendant un certain temps.

Les valeurs affichées anormales sont le signe d'un problème potentiel au niveau soit de l'instrument, soit du moteur. Cette remarque vaut également pour des indications qui ont changé sensiblement, mais qui restent conformes aux spécifications. La cause de toute déviation importante par rapport à la normale doit être déterminée et éliminée. Au besoin, faire appel au concessionnaire Caterpillar.

#### **II.3.9.1. Manomètre de l'huile de moteur :**

Cet instrument indique la pression de l'huile de moteur. La pression de l'huile atteint son niveau maximum après le démarrage du moteur lorsqu'il est froid. La pression diminue à mesure que le moteur se réchauffe. Elle augmente lorsque le régime augmente et se stabilise lorsque le régime du moteur est stable. La plage type de pression d'huile au ralenti est de 186 à 344 kPa. La plage type de pression d'huile au régime nominal est de 275 à 600 kPa.

#### **II.3.9.2. Manomètre différentielle du filtre à l'huile :**

Cet instrument indique la différence de pression entre le côté admission et le côté sortie des filtres à huile du moteur. A mesure que les éléments de filtre se colmatent, la pression différentielle augmente. Remplacement demandé des éléments de filtre à huile du moteur lorsque la pression différentielle atteint 105 kPa.

#### **II.3.9.3. Température de l'eau de chemises :**

Cet instrument indique le refroidissement du moteur à la sortie des chemises. La température de l'eau des chemises peut varier selon la charge, mais elle ne doit jamais dépasser le point d'ébullition du circuit de refroidissement pressurisé. La plage type de température de l'eau des chemises est de 88 à 100 °c. Les températures peuvent être plus élevées dans certaines conditions.

#### **II.3.9.4. Thermomètre de l'air du collecteur d'admission :**

Cet instrument indique la température de l'air du collecteur d'admission allant au cylindre. Le capteur de température d'air du collecteur d'admission se trouve à la sortie du refroidisseur d'admission.

Il faut veiller à maintenir le refroidisseur d'admission en bon état, pour cela lorsque le moteur est à la température de fonctionnement, s'assurer que la température de l'air du collecteur d'admission ne s'écarte de plus de 4° C de la température maximum admise.

**II.3.9.5. Pression d'air du collecteur d'admission :**

Cet instrument indique la pression de l'air (pression de suralimentation du turbocompresseur) dans le boîtier de répartition d'air (collecteur d'admission) à la sortie du refroidisseur d'admission. La pression d'air du collecteur d'admission dépend du réglage de puissance du moteur, de la charge et des conditions de fonctionnement.

**II.3.9.6. Pyromètre :**

Le pyromètre indique la température du tuyau d'échappement au niveau des coudes. La température maximale sur le tuyau d'échappement se situe entre 480 et 590°C. Le pyromètre indique aussi la température des gaz d'échappement de chaque cylindre.

Ces températures sont mesurées à l'orifice d'échappement de chaque culasse. La température des gaz d'échappement pourra varier légèrement entre les cylindres.

**II.3.9.7. Compte-tours :**

Le Tachymètre est un instrument qui indique le régime du moteur en tr/mn. Le moteur tourne à vide et au régime maximal 1212 tr/mn. Sur la première position aucune charge n'est appliquée au moteur. Quand le moteur est en plein régime et est en pleine charge, la vitesse doit être de 1200 tr/mn.

**II.3.9.8. Compteur d'entretien :**

Cet instrument indique le nombre total d'heures pendant lesquelles le moteur a fonctionné.

**II.3.9.9. Pression du carburant :**

Cet instrument indique la pression du carburant provenant du filtre à la pompe d'injection. La plage de pression du carburant normale se situe entre 345 kPa et 520 kPa. La pression minimum du carburant au régime nominal est de 275 kPa.

Une baisse de pression indique généralement que le filtre à carburant est encrassé ou colmaté. A mesure que le filtre se colmate, il se produit une baisse notable du rendement du moteur.

**II.3.9.10. Manomètre différentielle du filtre à carburant :**

Cet instrument indique la différence de pression entre le côté admission et côté sortie du filtre à carburant. A mesure que le filtre se colmate, la différence de pression entre les deux côtés

du filtre augmente, il faut alors procéder à l'entretien du filtre à carburant lorsque la pression atteint 105 kPa

#### **II.3.9.11. Manomètre différentielle du filtre à air :**

Cet instrument indique la différence de pression d'air entre le côté admission et le côté moteur de l'élément du filtre à air. La pression différentielle du filtre à air est mesurée depuis l'admission du turbocompresseur. A mesure que l'élément du filtre à air se colmate, la différence de pression entre les deux côtés de l'élément du filtre augmente. Pour des performances optimales du moteur, nettoyer ou remplacer les éléments du filtre à air lorsque la pression différentielle atteint 3.75 kPa (15 pouces d'eau). La pression différentielle maximum du filtre à air est de 7.5 kPa (30 pouces d'eau).

#### **II.3.9.12. Ampèremètre :**

Cet instrument renseigne sur l'état du circuit de charge de la batterie. Pendant la marche, l'aiguille doit se trouver légèrement à droite du zéro.

#### **II.3.9.13. Température de l'huile motrice :**

Cet instrument indique la température de l'huile du moteur à la sortie du refroidisseur d'huile. Le refroidisseur d'huile est commandé par thermostat. La température est maintenue à 82 ° C par un thermostat en contact avec l'huile. La température maximum de l'huile au régime nominal, lorsque le moteur tourne sous charge est de 104 ° C.

#### **II.3.9.14. Minuterie de lancement :**

Une minuterie de lancement peut être utilisée pour le mode automatique de démarrage/arrêt. La minuterie autorise le lancement du moteur pendant 30 seconds. Si le moteur n'a pas démarré au bout de 30 seconds, le module de contrôle ne s'activera pas afin d'indiquer que le moteur n'a pas démarré

#### **II.3.9.15. Pression du liquide de refroidissement :**

Cet instrument peut être utilisé pour la pression de l'eau des chemises ou de l'eau d'un circuit auxiliaire.

**I. Calcul thermique : [5]****Le but :**

Le calcul thermique du moteur à pour objectif de :

- Déterminer les pressions et températures dans les points caractéristiques du cycle.
- Apprécier les pressions moyennes indiquées et effectives.
- Evaluer les performances économiques du moteur.
- Déterminer les dimensions essentielles du cylindre.
- Apprécier les critères importants tels que :
  - ❖ Puissance au litre de cylindrée.
  - ❖ Puissance par unité de surface du piston.

**Données :**

Le calcul thermique du moteur Caterpillar 3512 peut être effectué à partir des données de départ suivantes :

- Vitesses de rotation :  $N = 1200 \text{ tr / min}$
- Taux de compression :  $\varepsilon = 14$
- Coefficient d'excès d'air :  $\alpha = 1.8$
- Type de suralimentation : Suralimentation par turbocompresseurs
- Pression de suralimentation :  $P_s = 1.8 \text{ bar}$
- Puissance effective :  $P = 902 \text{ kw}$
- Nombre de cylindre :  $I = 12 \text{ en V}$
- Alésage :  $D = 170 \text{ mm}$
- Cours :  $C = 190 \text{ mm}$
- Cylindrée totale =  $51.8 \text{ L}$
- Nombre temps :  $\tau = 4$
- Ordre d'injection : 1-12-9-4-5-8-11-2-3-10-7-6

On a les composantes du combustible gasoil :

- 87% de carbone :  $g_C = 0,87$
- 0,4% d'oxygène :  $g_{O_2} = 0,04$
- 12,6% d'hydrogène :  $g_{H_2} = 0,126$
- Le pouvoir calorifique :  $P_c = 42500 \text{ Kj/Kg}$

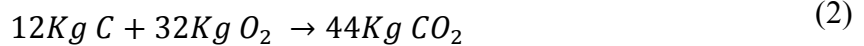


**I.1. Quantité d'air nécessaire à la combustion complète d'1 kg de combustible:**

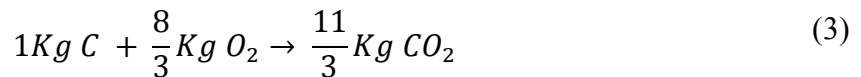
La combustion du carbone a lieu d'après l'équation :



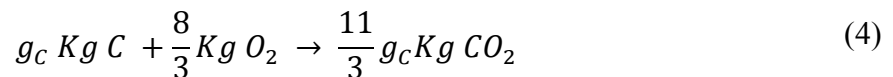
Pour un kilogramme de carbone on a :



Pour 1 Kg de carbone, on trouve facilement :



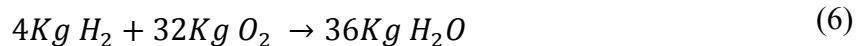
Si la teneur en carbone d'un combustible donnée est égale à  $g_C$ , on aura :



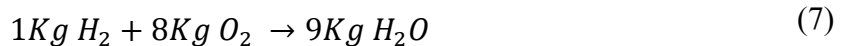
Pour l'oxydation de l'hydrogène on peut écrire:



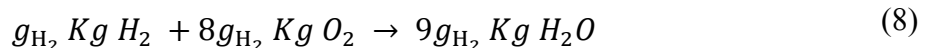
D'où :



Et en coté :



Si la teneur en hydrogène est égale à  $g_{H_2}$ , nous avons :



La somme de :  $8g_{H_2}Kg O_2$  et  $\frac{8}{3}g_C Kg O_2$  est la quantité d'oxygène nécessaire pour assurer la combustion complète de  $g_C Kg$  de carbone et  $g_{H_2} Kg$  d'hydrogène.

Sachant que la fraction massique de l'oxygène en air atmosphérique est égale à 0,23 on a :

$$l_0 = \frac{\frac{8}{3}g_C + 8g_{H_2} - g_{O_2}}{0,23} = \frac{\frac{8}{3}(0,87) + 8(0,126) - 0,004}{0,23} \quad (III. 1)$$

$$l_0 = 14,45 \left[ \frac{Kg d'air}{Kg de combustible} \right]$$

La quantité d'air théoriquement nécessaire à la combustion complète de 1Kg combustible peut être exprimée en kilo mole comme suite :

$$L_0 = \frac{l_0}{M_{air}}$$

$$L_0 = \frac{14,45}{28,98} ; L_0 = 0,5 \left[ \frac{K mole}{Kg de combustible} \right]$$

**I.2. Quantité de charge fraîche :**

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 ; M_1 = 1,8.0,5 ; M_1 = 0,9 \left[ \frac{\text{K mole}}{\text{Kg de combustible}} \right] \quad (\text{III. 2})$$

**I.3. Quantité total des produits de combustion :**

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2} \quad (\text{III. 3})$$

Avec :

$$M_{CO_2} = \frac{11}{2} \cdot \frac{g_C}{\mu_{CO_2}} ; M_{CO_2} = \frac{11}{2} \cdot \frac{g_C}{44} ; M_{CO_2} = \frac{g_C}{12} = \frac{0,87}{12} ; M_{CO_2} = 0,0725 \left[ \frac{\text{K mole}}{\text{Kg de combustible}} \right]$$

$$M_{H_2O} = \frac{9g_{H_2}}{\mu_{H_2O}} ; M_{H_2O} = \frac{9g_{H_2}}{18} ; M_{H_2O} = \frac{g_{H_2}}{2} = \frac{0,126}{2} ; M_{H_2O} = 0,063 \left[ \frac{\text{K mole}}{\text{Kg de combustible}} \right]$$

$$M_{O_2} = 0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0 ; M_{O_2} = 0,21 \cdot (1,8 - 1) \cdot 0,5 ; M_{O_2} = 0,084 \left[ \frac{\text{K mole}}{\text{Kg de combustible}} \right]$$

$$M_{N_2} = 0,79 \cdot \alpha \cdot L_0 ; M_{N_2} = 0,79 \cdot 1,8 \cdot 0,5 ; M_{N_2} = 0,711 \left[ \frac{\text{K mole}}{\text{Kg de combustible}} \right]$$

Donc :

$$M_2 = 0,0725 + 0,063 + 0,084 + 0,711 ; M_2 = 0,9305 \left[ \frac{\text{K mole}}{\text{Kg de combustible}} \right]$$

**I.4. Coefficient de variation molaire théorique :**

$$\beta_0 = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0,9305}{0,9} ; \beta_0 = 1,034 \quad (\text{III. 4})$$

**I.5. Coefficient de variation molaire réel :**

Dans les moteurs a combustion interne, il existe toujours une certaine quantité des gaz résiduels provenant du cycle précédant  $M_r$ .

Alors :

$$\beta = \frac{M_r + M_2}{M_r + M_1} = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,034 + 0,025}{1 + 0,025} ; \beta = 1,033 \quad (\text{III. 5})$$

Notre moteur est suralimenté donc on prend  $\gamma_r = 0,025$  coefficient des gaz résiduel

**I.6. Paramètre de fluide moteur à l'admission :**

Supposant que la pression atmosphérique est égale à 1,013 bar et la température ambiante est de 15°C, on trouve :

$$T_s = T_0 \left( \frac{P_s}{P_0} \right)^{\frac{n_s - 1}{n_s}} \quad [^{\circ}K] \quad (\text{III. 6})$$

Où :

$T_s$  : Température à la sortie du compresseur ;  $T_0 = 298 \text{ } ^{\circ}K$

$n_s$  : Exposant poly tropique du compresseur  $n_s = 1,4 \text{ à } 2,0$  ; on prend :  $n_s = 1,5$

$P_S$  : Pression de suralimentation :  $P_S = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

$P_0$  : Pression de l'air ambiant :  $P_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

$$T_S = 298 \left( \frac{2,5}{1,013} \right)^{\frac{1,5-1}{1,5}} ; T_S = 402.7107 \text{ } ^\circ\text{K}$$

**I.7. Pression enfin d'admission :**

$$P_a = (0,9 \text{ à } 0,95) \cdot P_S ; \text{ On prend: } P_a = 0,94 \cdot P_S \quad (\text{III. 7})$$

$$P_a = 0,935 \cdot 2,5 ; P_a = 2.3500 \text{ bars}$$

**I.8. Température enfin d'admission :**

$$T_a = \frac{(T_S + \Delta T + \gamma_r T_r)}{(1 + \gamma_r)} = \frac{(402.7107 + 15 + 0,025 \cdot 800)}{(1 + 0,025)} \quad (\text{III. 8})$$

$$T_a = 427,0348 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$\Delta T$  : Augmentation de température due au contact de la charge fraîche avec les parois chaudes des cylindres, généralement varie entre 5 et 20°C, on prend  $\Delta T = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$  ;

$T_r$  : température des gaz résiduels ;  $T_r = 700 \text{ à } 900 \text{ } ^\circ\text{C}$  ;

**I.9. Coefficient de remplissage :**

Pour évaluer la perfection de phase d'admission on utilise le coefficient de remplissage, qui est le rapport de la quantité réelle de charge fraîche admise à la quantité qui serait admise à température et pression du milieu extérieur.

Le coefficient de remplissage peut être calculé d'après la formule suivant :

$$\eta_v = \frac{\varepsilon \cdot P_a \cdot T_S}{\varepsilon - 1 \cdot P_S \cdot T_a (1 + \gamma_r)} = \frac{14 \cdot 2,35 \cdot 402,7107}{14 - 1 \cdot 2,5 \cdot 427,0348 \cdot (1 + 0,025)} \quad (\text{III. 9})$$

$$\eta_v = 0,9314$$

**I.10. Pression vers la fin de compression :**

$$P_C = P_a \cdot \varepsilon^{n_1}, \text{ on a } \varepsilon = 14 \quad (\text{III. 10})$$

$n_1$  : Exposant polytropique doit être légèrement inférieur à  $\gamma$  on prend  $n_1 = 1,38$

$$P_C = 2,35 \cdot 14^{1,38} ; P_C = 89.6860 \text{ bars}$$

**I.11. Température vers la fin de compression:**

On peut calculer la température vers la fin de compression d'après la relation poly tropique :

$$T_C = T_a \cdot \varepsilon^{n_1-1} ; T_C = 427,0348 \cdot 14^{1,38-1} ; T_C = 1164,1 \text{ } ^\circ\text{K} \quad (\text{III. 11})$$

**I.12. Pression maximale du cycle :**

$$P_Z = \lambda \cdot P_C \tag{III. 12}$$

Où :

$\lambda$  : Taux d'augmentation de la pression,  $\lambda = 1,6$  à  $2,5$  , On prend  $\lambda = 2$

$$P_Z = 2.89.6860 \text{ bars} ;$$

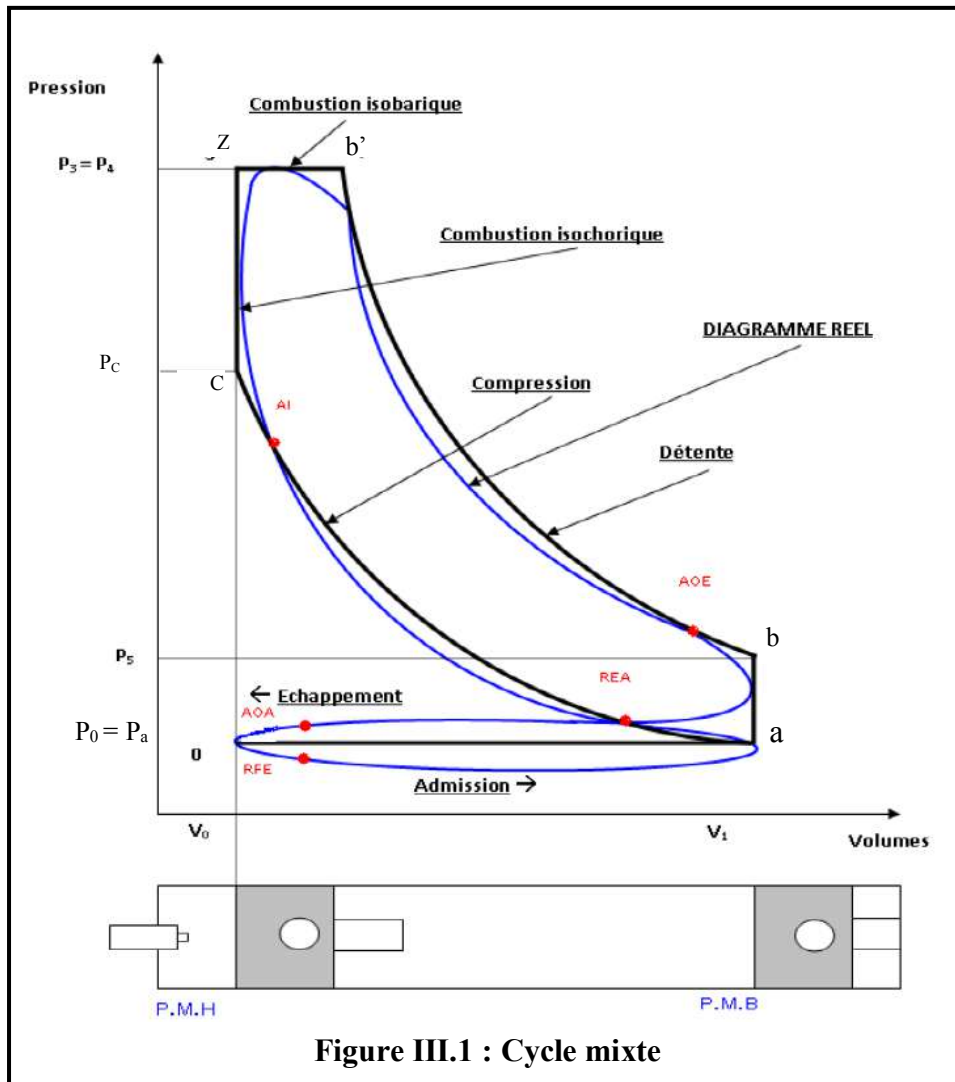


Figure III.1 : Cycle mixte

**I.13. Température maximale du cycle :**

$$\frac{\xi_Z H_u}{M_1(1 + \gamma_r)} + \frac{U_C + \gamma_r U_C''}{1 + \gamma_r} + \mu_R \lambda T_C = \beta (U_Z'' + \mu_R T_Z) \tag{III. 13}$$

Désignons :

$$\frac{1}{\beta} \left[ \frac{\xi_Z H_u}{M_1(1 + \gamma_r)} + \frac{U_C + \gamma_r U_C''}{1 + \gamma_r} + \mu_R \lambda T_C \right] \text{ par « A »}$$

Pour calculer la valeur numérique de « A », on détermine  $U_C$  et  $U_C''$  par l'équation :

$$U_C = \overline{\mu_{cvair}} \int_0^t t_c$$

$$U_C'' = \overline{\mu''_{cv}} \int_0^t t_c$$

Avec :

$\xi_Z$  : Coefficient d'utilisation de chaleur,  $\xi_Z = 0,75$  à  $0,85$  , on prend  $\xi_Z = 0.79$

$\mu_R$  : Constante universelles des gaz parfaits.

$U_C$  : Energie interne d'un kilo mol d'air à la température vers la fin de compression.

$U_C''$  : Energie interne d'un kilo mol des produits résiduels a  $T_c$

$U_Z$  : Energie interne d'une kilo mole des produits de combustion à  $T_z$ .

On détermine les valeurs numériques des énergies internes :

$$U_C = \mu \overline{C_{v_{air}}} \int_0^{t_c} t_c ; U_C = 22,9572(1164,1 - 273) ; U_C = 20457 \frac{KJ}{kmole}$$

$$U_C'' = \mu \overline{C_{v''}} \int_0^{t_c} t_c ; U_C'' = 24,6213 \times (1164,1 - 273) ; U_C'' = 21940 KJ/Kmole$$

Prenons  $\xi_Z = 0.79$ , nous avons :

$$A = \frac{1}{1,033} \left[ \frac{0,79 \times 42500}{0,9 \cdot (1 + 0,025)} + \frac{20457 + (0,025 \cdot 21940)}{1 + 0,025} + 8,314 \cdot 2 \cdot 1164,1 \right]$$

$$A = 73870 KJ/k mole$$

Désignons :  $U_Z'' + \mu_R \cdot T_Z$  par « **B** »

On prend  $T_Z = 1900^\circ C$  dans ce cas on a :

$$B = U_Z'' + \mu_R \cdot T_Z = (27.345.1900) + (8,314.1900) ; B = 70022 KJ/kmole$$

On prend  $T_Z = 2000^\circ C$  dans ce cas on a :

$$B = U_Z'' + \mu_R T_Z = (27,532.2000) + (8,314.2000) ; B = 73962 KJ/kmole ;$$

Nous voyons alors que la température recherchée se trouve entre  $1900^\circ c$  et  $2000^\circ c$ , la solution graphique du système d'équation « **A** » et « **B** » donne  $T_Z = 1997,7^\circ C$  ou  $T_Z = 2070,7^\circ K$

### **I.14. Taux de détente préliminaire :**

$$\rho = \frac{\beta T_Z}{\lambda T_C} \tag{III. 14}$$

$$\rho = \frac{(1,033 \cdot 2070,7)}{(2.1164,1)} ; \rho = 1.008$$

### **I.15. Taux de détente postérieure :**

$$\sigma = \frac{\xi}{\rho} \tag{III. 15}$$

$$\sigma = \frac{14}{1.008} ; \sigma = 13.8901$$

### I.16. Température enfin de détente et l'exposant polytropique de détente postérieur (voir annexe fig.8):

On a le système :

$$\left\{ \begin{array}{l} n_2 = 1 + \frac{\mu_R(T_Z - T_b)}{\frac{(\xi_b - \xi_Z)P_C}{M_1(B_0 + \gamma_r)} - (U_b'' - U_Z'')} \\ T_b = \frac{T_Z}{\delta^{n_2-1}} \end{array} \right. \quad \text{(III.16)}$$

$$T_b = \frac{T_Z}{\delta^{n_2-1}} \quad \text{(III.17)}$$

Avec :

$\xi$  : Coefficient d'utilisation de chaleur = 0,82 à 0,92 , on prend  $\xi = 0,87$

$n_2$  : Exposant poly tropique de détente

$U_Z''$ ,  $U_b''$ : Energie interne des gaz brûlés

Nous avons :

$$n_2 = 1 + \frac{8,314 \cdot (2070,7 - T_b)}{\frac{(0,87 - 0,82)42500}{0,9 \cdot (1,033 + 0,0025)} - \left[ \left( \mu_\alpha C''_v \int_0^{t_b} t_b - (A - \mu_R T_Z) \right) \right]}$$

$$n_2 = 1 + \frac{8,314 \cdot (2093 - T_b)}{\left[ 2229,5 - \left( \mu_\alpha C''_v \int_0^{t_b} t_b - 54992 \right) \right]}$$

On détermine :  $\mu_\alpha C''_v \int_0^{t_b} t_b$  , d'après le tableau

De l'équation (III.16)

Pour  $T_b = 700 \text{ }^\circ\text{C}$ , on a  $U_b'' = 23,951.700 = 16766 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmole}}$

Pour  $T_b = 800 \text{ }^\circ\text{C}$ , on a  $U_b'' = 24,324.800 = 19459 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmole}}$

Pour  $T_b = 1400 \text{ }^\circ\text{C}$ , on a  $U_b'' = 26,282.1400 = 36795 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmole}}$

De l'équation (III.17)

$$n_2 = 1,2581 \text{ , } T_b = 1149,1 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$n_2 = 1,2546, \quad T_b = 1159,7^\circ\text{K}$$

$$n_2 = 1,2282 \quad T_b = 1243,3 \text{ }^\circ\text{K}$$

La solution graphique de l'ensemble d'équation (III.16) et (III.17), nous donne  $n_2 = 1,25$ ,  $T_b = 1173 \text{ }^\circ\text{K}$

**I.17. Pression vers la fin de détente :**

$$P_b = \frac{P_Z}{\delta^{n_2}} \quad \text{(III. 18)}$$

$$P_b = \frac{100}{(11)^{1,256}} ; \quad P_b = 6.6892 \text{ bars}$$

**I.18. Vérification de  $T_r$  :**

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{P_b}{P_r}}} \quad \text{(III. 19)}$$

$P_r = (0,75 \text{ à } 1,0)P_s$ , pour les moteurs suralimentés  $P_r = 0,845P_s$ .

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{P_b}{0,875P_s}}} ; \text{ AN: } T_r = \frac{1173}{\sqrt[3]{\frac{6,6892}{0,875 \cdot 2,5}}} ; \quad T_r = 799.4026 \text{ }^\circ\text{K}$$

Au paravent on a pris  $T_r = 800^\circ\text{K}$ . Il est évident que le choix a été fait d'une manière correcte.

**I.19. Pression moyenne indiquée :**

$$P_i = \frac{\varphi P_C}{\varepsilon - 1} \left[ \lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{T_b}{T_Z} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{T_a}{T_C} \right) \right] \quad \text{(III. 20)}$$

$\varphi$  : Coefficient empirique qui varie entre 0,92 à 0,97, on prend  $\varphi = 0,95$

$$P_i = \frac{0,92 \cdot 50}{14-1} \left[ 2(1,008 - 1) + \frac{2 \cdot 1,008}{1,25-1} \left( 1 - \frac{1173}{2070,7} \right) - \frac{1}{1,38-1} \left( 1 - \frac{427,0348}{1164,1} \right) \right] ; \quad P_i = 14,2451 \text{ bars}$$

**I.20. Rendement indiqué :**

$$\eta_i = 10^2 \frac{P_i l_0 \alpha}{P_{CU} \rho_s \eta_v}$$

$\rho_s$  : La masse spécifique d'air à l'admission :

$$\rho_s = P_s \times 10^5 / R_{air} T_s, \quad \rho_s = 2.5 \cdot 10^5 / 287.402,7107 ; \quad \rho_s = 2,1630$$

$$\eta_i = 10^2 \frac{14,2451 \cdot 14,45 \cdot 1,8}{42500 \cdot 2,1630 \cdot 0,9314} ; \quad \eta_i = 0.4328$$

**I.21. Consommation spécifique indiquée :**

$$g_i = \frac{36 \times 10^5}{P_C \eta_i} ; \quad g_i = \frac{36 \times 10^5}{42500 \cdot 0,4328} ; \quad g_i = 195,7103 \frac{g}{Kwh} \quad \text{(III. 21)}$$

**Remarque :**

Pour déterminer les performances effectives, il faut avoir la valeur de rendement mécanique du moteur  $\eta_m$ . On a trouvé par expérience que  $\eta_m$  varie entre 0,7 et 0,82, pour les moteurs gonflés par un turbocompresseur mues par les gaz d'échappement.

**I.22. Pression moyenne effective :**

$$P_e = P_i \eta_m \quad (\text{III. 22})$$

On prend :  $\eta_m = 0,8$

$$P_e = 14,2451 \cdot 0,8 ; P_e = 11,3961 \text{ bars}$$

**I.23. Rendement effective :**

$$\eta_e = \eta_m \cdot \eta_i \quad (\text{III. 23})$$

$$\eta_e = 0,8 \cdot 0,4382 ; \eta_e = 0,3463$$

**I.24. Consommation spécifique effective :**

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} \quad (\text{III. 24})$$

$$g_e = 195,7103 / 0,8 ; g_e = 244,6379 \frac{g}{Kwh}$$

**I.25. Puissance effective :**

$$N_e = P_e \frac{\pi \cdot D^2}{4} C i \frac{N}{30\tau} = 884,2 \text{ Kw} \quad (\text{III. 25})$$

**I.25. Alésage du moteur :**

$$D = \sqrt[3]{\frac{300 \cdot \tau \cdot N_e}{i \cdot P_e \cdot N \cdot 0,785 \cdot \frac{C}{D}}} \text{ dm} \quad (\text{III. 26})$$

le rapport  $\frac{C}{D} = 1,1$  à  $1,3$ , on prend  $\frac{C}{D} = 1,2$

$$D = \sqrt[3]{\frac{300 \cdot 4 \cdot 884,2}{12 \cdot 11,3961 \cdot 1200 \cdot 0,785 \cdot 1,2}} ; D = 1,66 \text{ dm} ; D = 166 \text{ mm}$$

**I.26. Course de piston :**

$$C = D \cdot \frac{C}{D} \quad (\text{III. 27})$$

$$C = 1,66 \cdot 1,2 ; C = 1,99 \text{ dm} ; C = 199 \text{ mm}$$



**I.27. Vitesse moyenne du piston:**

$$\omega_p = \frac{c.N}{300} \quad (\text{III.28})$$

$$\omega_p = 7,96 \frac{m}{s}$$

**I.28. Cylindrée totale du diesel :**

$$ivh = i \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot C = 12 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,66^2}{4} \cdot 1,99 \quad (\text{III.29})$$

$$ivh = 51,7252 [l]$$

**I.29. Débit du combustible:**

$$G_{comb} = g_e \cdot N_e \cdot 10^{-3} = 244,6379 \cdot 884,2 \cdot 10^{-3} \quad (\text{III.30})$$

$$G_{comb} = 216,3087 \text{ Kg/h}$$

**I.30. Debit d'air:**

$$G_{air} = \alpha \cdot G_{comb} \cdot l_0 = 1,8 \cdot 216,3087 \cdot 14,45 \quad (\text{III.31})$$

$$G_{air} = 5627 \text{ Kg/h}$$

**I.31. Quantité d'oxygène :**

$$G_{O_2} = 0,21 \cdot G_{air} = 0,21 \cdot 5627 \quad (\text{III.32})$$

$$G_{O_2} = 1181,7 \text{ Kg/h}$$

**I.32. Quantité des gaz d'échappement:**

$$G_{gaz} = G_{comb} + G_{air} \quad (\text{III.33})$$

$$G_{gaz} = 5843,3 \text{ Kg/h}$$

**I.33. La puissance spécifique ou bien la puissance au litre cylindrée :**

$$P_{CL} = \frac{N_e}{ivh} = \frac{884,2}{51,7252} \quad (\text{III.34})$$

$$P_{CL} = 17,0942 \text{ Kw/l}$$

**I.34. Puissance par unité de surface du piston :**

$$P_{ep} = \frac{N_e}{0,785 \cdot i \cdot D^2} \quad (\text{III.35})$$

$$P_{ep} = 34,7410 \text{ Kw/dm}^2$$

	Données de constructeur	Résultats de calculs
$N_e$ KW	882.59	884,2
Course "C" mm	190	199
Alésage "D" mm	170	166

Tableau III.2 : Tableau comparatif entre les données du constructeur et résultats de calcul

## II. Calcul mécanique : [5]

Le but de ce calcul est la détermination des forces agissantes dans l'ensemble « bielle manivelle » du moteur, et la vérification de la résistance de certaines pièces.

### II.1. Détermination des forces agissantes dans le moteur diesel pendant le cycle complet unité de surface:

La pression des gaz s'exerce en tout sens dans la chambre de combustion.

On a donc :  $F_P = F_{cul}$

Où :  $F_P$  et  $F_{cul}$  sont les forces de la pression de piston et de la culasse respectivement.  $F_P$  peut être déterminée d'après le diagramme d'indicateur développée ou fermée.

#### II.1.1. Force d'inertie alternative $F_a$ :

C'est une force d'inertie agissant le long de l'axe de cylindre en sens opposé par rapport à l'accélération du piston.

$$F_a = -m_a r \omega^2 (\cos \alpha + \lambda \cos 2\alpha) \quad (\text{III. 36})$$

Où :  $m_a$  est la masse réduite (rapportée à  $1\text{cm}^2$  de l'air du piston) des pièces participant en mouvement alternatif, et égale à :

$$m_a = (m_p + 0,275m_b) \quad (\text{III. 36.1})$$

D'après le tableau des masses réduites on a

$$m_p = 30 \text{ g/cm}^2 ; m_b = 35 \text{ g/cm}^2 \quad (\text{III. 36.2})$$

$$m_a = 30 + 0,275 \times 35 ; m_a = 39,625 \text{ g/cm}^2 ; m_a = 39,625 \times 10^{-4} \text{ g/m}^2$$

Sachant que  $r$  est le rayon de la manivelle.

$$r = C/2 ; r = 190/2 = 95 \text{ mm} ; r = 95 \times 10^{-2} \text{ m} \quad (\text{III. 36.3})$$

$\omega$  : Vitesse angulaire moyenne de rotation de vilebrequin au régime nominal en rd/s où :

$$\omega = (2\pi n/60) ; \omega = (\pi n/30) = (\pi 1200/30) ; \omega = 125,66 \text{ rad/s} \quad (\text{III. 36.4})$$

$\lambda$  : est le rayon de la manivelle à la longueur de la bielle où :

$$\lambda = r/Ln; \lambda = 95/460; \lambda = 0,2 \tag{III. 36.5}$$

Alors :

$$F_a = -39,625 \times 10^{-4} (125,66)^2 (\cos \alpha + 0,2 \cos 2\alpha); F_a = -62,5 (\cos \alpha + 0,2 \cos 2\alpha) \text{ bars}$$

**II.1.2. Force résultante F<sub>1</sub>:**

La force résultante F<sub>1</sub> appliquée au point A du piston est la somme algébrique de la force de pression de gaz F<sub>p</sub> et la force alternative F<sub>a</sub>.

$$F_1 = F_p + F_a \tag{III. 37}$$

Avec :  $F_p = P_z + P_0$

Où : P<sub>z</sub> et la pression de gaz déterminer d'après le diagramme d'indicateur, et P<sub>0</sub> et la pression atmosphérique.

On a donc :

$$F_1 = P_z - P_0 - 62,5 (\cos \alpha + 0,2 \cos 2\alpha) \text{ bars} \tag{III. 37.1}$$

La force F<sub>1</sub> peut être décomposée en deux forces:

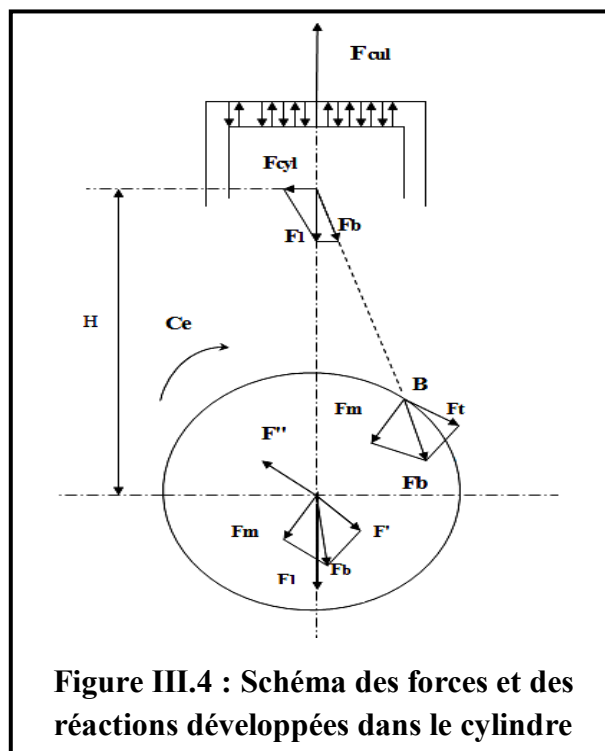
- Force agissant le long de la bielle F<sub>b</sub> où :

$$F_b = F_1 / \cos \beta \tag{III. 37.2}$$

- Force agissante latéralement sur les parois de cylindres F<sub>C</sub> appelée force normale où :

$$F_{Cyl} = F_1 \tan \beta \tag{III. 37.3}$$

Avec : β est l'angle entre la bielle et l'axe du cylindre.



**II.1.3. Forces agissantes au point B :**

La force  $F_b$  déplacée sur elle-même à l'extrémité du raton de manivelle peut être décomposée à son tour en deux forces:

- Force normale ;
- Force tangentielle :

$$F_t = F_b \sin(\alpha + \beta) = \frac{F_1 \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \quad (\text{III. 38.1})$$

Force s'exerçant le long du rayon de la manivelle :

$$F_m = F_b \cos(\alpha + \beta) = \frac{F_1 \cos(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \quad (\text{III. 38.2})$$

**II.1.4. Couple moteur :**

Pour un monocylindre, le couple moteur est calculé par la formule suivante :

$$C_e = F_t \times r \times S_p \quad (\text{III. 39})$$

Pour un moteur à plusieurs cylindres, il faut déterminer la force tangentielle sommaire, pour la détermination de la force tangentielle sommaire, on peut procéder soit à l'admission analytique ou bien graphique des forces tangentielles des cylindres séparés en les déplaçant pour l'intervalle angulaire  $\theta^\circ$  correspondant à l'intervalle angulaire entre les deux explosions dans chaque cylindre.

$$\theta^\circ = 720/N$$

Donc pour notre moteur :  $N = 12$

$$\theta^\circ = 720/12 ; \theta^\circ = 60$$

**II.2. Calcul a la résistance:****II.2.1. Calcul du piston:**

Le piston de ce moteur est fabriqué en alliage d'aluminium, le calcul se fait d'après la pression maximale de cycle  $P_Z$  dans le cylindre et de la pression latérale maximale  $F_{Cyl}^{max}$

Lors de ce calcul on détermine:

**a. La contrainte de flexion au fond du piston :**

$$\sigma_{fl} = P_Z \left( \frac{r_i}{\delta_f} \right)^2 \text{ MN/m}^2 < [\sigma_{fl}^a] = 20 \text{ à } 25 \text{ MN/m}^2 \quad (\text{III. 40})$$

Pour les pistons en alliage d'aluminium avec :

$$r_i = (1/2)[D - 2(\delta_p + t + \Delta t)]m$$

Où :

$r_i$  : Le rayon intérieur du fond :  $r_i = (1/2)[157 - 2(40 + 7 + 1)]$  ;  $r_i = 30,5 \text{ mm}$

$\delta_p$  : Epaisseur minimum du fond 0,04 m ;

$\delta_f$  : Epaisseur minimum de la paroi du piston (0,12 à 0,20) D ;

$t$  : Epaisseur radiale du segment ;

$\Delta t$  : Jeu radiale du segment dans la rainure du piston (m). On prend  $\Delta t = 1 \text{ mm}$  ;

$D$  : Diamètre du piston ;

$$\sigma_{fl} = 98,4 \times 10^5 (30,5 \times 10^{-3} / 25,12 \times 10^{-3})^2 ; \quad \sigma_{fl} = 14,5 \text{ MN/m}^2$$

$$\sigma_{fl} = 14,5 \text{ MN/m}^2 < [\sigma_{fl}^a] = 25 \text{ MN/m}^2$$

Donc cette condition vérifiée.

**b. La contrainte de compression dans la section circulaire affaiblie par les orifices d'huile :**

$$\sigma_{comp} = P_Z S_P / f_{sec.h} < [\sigma_{comp}^a] = 30 \text{ à } 40 \text{ MN/m}^2 \quad (\text{III. 41})$$

Pour le piston en alliage d'aluminium où  $S_P$  est la section du piston :

$$S_P = \pi D_P^2 / 4 ; S_P = \pi (0,157)^2 / 4 ; S_P = 0,019 \text{ m}^2 \quad (\text{III. 41.1})$$

$f_{sec.h}$  : La surface de la section de calcul à travers les rainures de segment en tenant compte des orifices de passage d'huile :

$$f_{sec.h} = \frac{\pi}{4} [(D_{int} + 2\delta_p)^2 - D_{int}^2 - n d_0 \delta_p] \quad (\text{III. 41.2})$$

D'où :

$D_{int}$  : Diamètre intérieure de piston :

$$D_{int} = D_{ext} - 2(\delta_p + t) ; D_{int} = 157 - 2(40 + 7) ; D_{int} = 63 \text{ mm}$$

$n$  : Nombre d'orifices :  $n = 4$ .

$D_0$  : Diamètre des orifices  $D_0 = 5 \text{ mm}$ .

$$f_{sec.h} = \frac{\pi}{4} [(63 + 2 \times 40)^2 - 63^2 - 4 \times 5 \times 40] ; f_{sec.h} = 12858,3 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{comp} = 98,4 \times 10^5 \times 0,019 / 12858,3 \times 10^{-3} ; \quad \sigma_{comp} = 15,2 \text{ MN/m}^2$$

$$\sigma_{comp} = 15,2 \text{ MN/m}^2 < [\sigma_{comp}^a] = 30 \text{ à } 40 \text{ MN/m}^2$$

Donc cette condition est vérifiée.

**II.2.2. Calcul des segments:****a. La pression moyenne du segment sur la paroi du cylindre :**

$$P_m = \frac{0,425ES_0/t}{(3-\mu)[(D/t)-1]^3 D/t} < [P_m^a] = 0,11 \text{ à } 0,37 \text{ MN/m}^2 \quad (\text{III. 32})$$

Pour les segments d'étanchéité, où:

$E$  : Module d'élasticité pour une fonte alliée  $E = 1,2 \times 10^5 \text{ MN/m}^2$  ;

$S_0$  : Différence entre les jeux de segment en états de repos et de travail ;

$t$  : Epaisseur radiale du segment :  $t = 7 \text{ mm}$  ;

$\mu$  : 0 pour les segments à pression régulière ;

$D$  : Le diamètre intérieur du cylindre  $D = 170 \text{ mm}$  ;

$S_0/t = 3,2 \text{ à } 4,0$  pour un moteur diesel ;

A-N:

$$P_m = \frac{0,425 \times 1,2 \times 10^5 \times 3,5}{(3-0)[(170/7)-1]^3 170/7} ; \quad P_m = 0,2 \text{ MN/m}^2$$

$$P_m = 0,2 \text{ MN/m}^2 < [P_m^a] = 0,37 \text{ MN/m}^2$$

**b. La contrainte de flexion dans le segment en état de travail :**

$$\sigma_{fl_1} = 2,61P_m(D/t - 1)^2 < [\sigma_{fl_1}^a] = 450 \text{ MN/m}^2 \quad (\text{III. 43})$$

$$\text{A-N: } \sigma_{fl_1} = 2,61 \times 0,2(170/7 - 1)^2 ; \quad \sigma_{fl_1} = 283,04 \text{ MN/m}^2$$

$$\sigma_{fl_1} = 283,04 \text{ MN/m}^2 < [\sigma_{fl_1}^a] = 450 \text{ MN/m}^2$$

**c. La contrainte de flexion dans le segment en état de montage sur le piston:**

$$\sigma_{fl_2} = \frac{4E(1-0,114S_0/t)}{m(D/t-1,4)^D/t} < [\sigma_{fl_2}^a] = 600 \text{ MN/m}^2 \quad (\text{III. 44})$$

Où  $m = 1,57$  le coefficient dépendant du mode de montage du segment :

$$\sigma_{fl_2} = \frac{4 \times 1 \times 10^5 (1 - 0,114 \times 3,5)}{1,57(170/7 - 1,4)^{170/7}} ; \quad \sigma_{fl_2} = 324,32 \text{ MN/m}^2$$

$$\sigma_{fl_2} = 324,32 \text{ MN/m}^2 < [\sigma_{fl_2}^a] = 600 \text{ MN/m}^2$$

Les conditions a, b et c sont vérifiées, donc la résistance des segments est vérifiée.

**II.2.3. Calcul de vérification de la chemise :**

On fait ce calcul pour déterminer la résistance à l'éclatement de la chemise et l'épaisseur de la paroi de la chemise.

La chemise est fabriquée en fonte graphique sphéroïdal FGS60.7 dont les caractéristiques sont les suivantes:

➤ Sa résistance pratique :  $R_p = R_e/s$  ; avec  $R_e = 40 \text{ dan/mm}^2$  (limite d'élasticité).

A-N:  $R_p = 40/3$  ;  $R_p = 13,33 \text{ dan/mm}^2$ .

$$e = \frac{D}{2} \left[ \left[ \frac{(R_p + P_i)}{(R_p - P_i)} \right]^{1/2} - 1 \right] < [\sigma_{fl_2}^a] = 8,5 \text{ mm} \tag{III. 45}$$

$$\text{A-N: } = \frac{170}{2} \left[ \left[ \frac{(13,33+1)}{(13,33-1)} \right]^{1/2} - 1 \right] ; e = 6,51 \text{ mm}$$

$$e = 6,51 \text{ mm} < [e_{Cyl}^{reel}] = 8,5 \text{ mm}$$

Donc la résistance de la chemise à l'éclatement est vérifiée.

**II. 2.4. Calcul de la bielle :**

La résistance de la bielle au flambage:

La condition à vérifier est :  $\sigma \leq [\sigma^a]$

$$\sigma \leq \frac{F}{S} \left[ 1 + K \frac{L^2}{i^2} \right] \tag{III. 46}$$

Où: f est la force correspondante à la pression maximale.

$$P_{max} = P_Z = 100 \text{ bars} = 100.10^5 \text{ N/m}^2$$

$$F = P_Z = S_p = \frac{100 \times 10^5 \pi (157 \times 10^{-3})^2}{4} ; F = 19349,65 \text{ N} ; F = 193,49 \text{ KN}$$

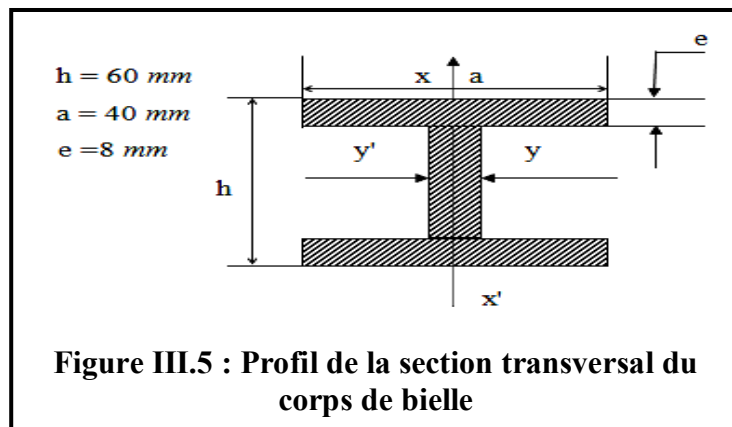
$L = \mu L_{reel}$  : Etant la longueur de la bielle flambée.

Le flambage se manifeste dans deux plans de la bielle qui sont :

- Le plan d'encastrement de la bielle.
- Le plan d'oscillation.

$\mu$  : Etant le coefficient de réduction de la bielle.

$i = \sqrt{I/S}$  est le rayon de giration de la bielle. Où I est le moment d'inertie.



**a. Calcul des moments d'inertie par rapport aux deux axes:**

➤ Par rapport à l'axe  $y$ :  $d'$  (plan encastrement).

$$I_{yy'} = \frac{ah^3}{12} - \frac{(a-e)(h-2e)^3}{12} = \frac{40 \times 60^3}{12} - \frac{(40-8)(60-2 \times 8)^3}{12} = 49,2 \times 10^4 \text{ mm}^4 \quad (\text{III. 46.1})$$

➤ Par rapport à l'axe  $x$ : (plan d'oscillation).

$$I_{xx'} = \frac{ha^3}{12} - \frac{(h-2e)(a^3 - e^3)}{12} = \frac{60 \times 40^3}{12} - \frac{(60-16)(40^3 - 8^3)}{12} = 8,72 \times 10^4 \text{ mm}^4 \quad (\text{III. 46.2})$$

**b. Calcul de la section transversale de la bielle :**

$$S = e(2a + h) - 2e^2 = 8(2 \times 40 + 60) - 2 \times 8^2 \quad (\text{III. 46.3})$$

$$S = 992 \text{ mm}^2$$

**c. Calcul des rayons de giration des sections :**

$$i_{xx'} = \sqrt{I_{xx'}/S} ; i_{xx'} = \sqrt{8,72 \times 10^4 / 992} ; i_{xx'} = 9,37 \text{ mm} ; i_{xx'} = 0,937 \text{ cm} \quad (\text{III. 46.4})$$

$$i_{yy'} = \sqrt{I_{yy'}/S} ; i_{yy'} = \sqrt{49,2 \times 10^4 / 992} ; i_{yy'} = 22,27 \text{ mm} ; i_{yy'} = 2,227 \text{ cm} \quad (\text{III. 46.5})$$

**d. Calcul de la contrainte dans le plan d'oscillation :**

$$\sigma_{osc} = \frac{F}{S} \left[ 1 + K \frac{L^2}{i_{xx'}^2} \right] \quad (\text{III. 47})$$

Avec :  $K$  coefficient qui dépend de la nature du métal utilisé, pour notre cas  $K = 0,001$ .

$$\sigma_{osc} = \frac{193,49 \times 10^2}{9,92} \left[ 1 + 0,001 \frac{(46)^2}{(0,937)^2} \right]$$

$$\sigma_{osc} = 6651,4 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{osc} = 6651,4 \text{ Kgf/cm}^2 < [\sigma_{osc}^a] = 10500 \text{ Kgf/cm}^2$$



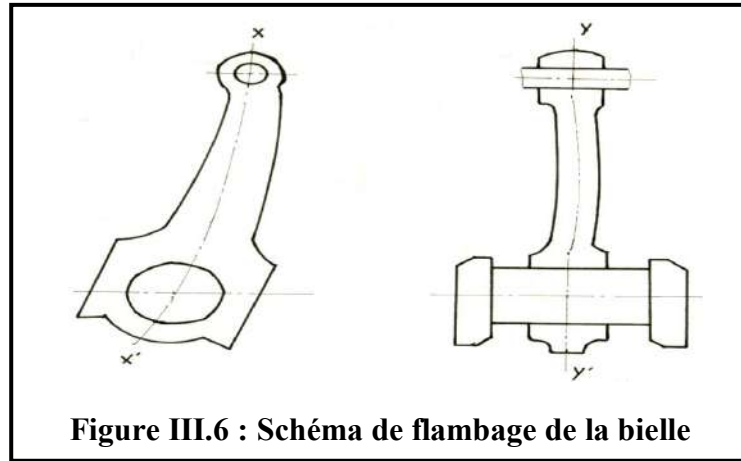


Figure III.6 : Schéma de flambage de la bielle

**e. Calcul de la contrainte dans le plan d'encastrement :**

$$\sigma_{enc} = \frac{F}{S} \left[ 1 + K \frac{L^2}{i_{yy'}^2} \right] = \frac{193,49 \times 10^2}{9,92} \left[ 1 + 0,001 \frac{(23)^2}{(2,22)^2} \right] \quad (\text{III. 48})$$

$$\sigma_{enc} = 2159,86 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\text{Lorsque : } \sigma_{enc} + \sigma_{osc} = 2159,86 + 6651,4 ; \quad \sigma_{enc} + \sigma_{osc} = 8811,26 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{enc} + \sigma_{osc} = 8811,26 < 10500 \text{ Kgf/cm}^2$$

Donc la condition de résistance au flambage de la bielle est vérifiée.

Avec les coefficients de sécurité suivants:

$$n_{osc} = [\sigma^a] / \sigma_{osc} = 10500 / 6651,4 = 1,54$$

$$n_{enc} = [\sigma^a] / \sigma_{enc} = 10500 / 2159,86 = 5$$

Dans ce cas la bielle est assimilée à une barre comprimée par force de compression.

Lorsque celle-ci atteint sa valeur critique :

$$F = \frac{\pi E I_{min}}{\mu L} \quad (\text{III. 48.1})$$

Et la contrainte sera :

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi E I_{min}}{(\mu L) S} \quad (\text{III. 48.2})$$

Le rayon d'inertie de la section par rapport à l'axe donné :

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{S}} \rightarrow i_{x_{min}}^2 = \frac{I_{x_{min}}}{S} \quad (\text{III. 48.3})$$

Donc :

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E I_{min}}{(\mu L)^2 S} = \frac{\pi E}{(\mu L)^2} i_{min}^2 \quad (\text{III. 48.4})$$

En division la formule par  $i_{min}^2$  on a:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{\mu L}{i_{min}}\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (III. 48.5)$$

Où :  $\lambda = \mu L / i_{min}$  est la souplesse de la bielle.

La formule d'Euler n'est valable que si  $\sigma_{cr}$  est inférieure à la charge limite  $[\sigma^a]$ .

$$\sigma_{cr} \leq [\sigma^a] \rightarrow \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \leq [\sigma^a] \quad (III. 48.6)$$

Avec :  $\lambda_{lim} \geq \pi \sqrt{\frac{E}{[\sigma^a]}}$  est la souplesse limite.

$$\lambda_{lim} = 3,14 \sqrt{\frac{2,1 \times 10^6}{10500}} ; \lambda_{lim} = 4,44$$

$$\lambda = \frac{\mu L}{i_{min}} ; \lambda = \frac{1 \times 46}{0,93} ; \lambda = 49,46 > 44,4$$

Donc la formule d'Euler est applicable.

$$\sigma = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} ; \sigma = \frac{(3,14)^2 \times 2,1 \times 10^6}{(49,5)^2} ; \sigma = 8450,22 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\sigma = 8450,22 \text{ Kgf/cm}^2 < [\sigma^a] = 10500 \text{ Kgf/cm}^2$$

Donc la condition de résistance de la bielle au flambage est vérifiée.

**Conclusion :**

D'après les résultats obtenus par les calculs thermique et mécanique, on constate que les caractéristiques constructives de moteur Caterpillar 3512 sont vérifiées.

**IV.1. Définition de la maintenance : [6]**

La maintenance est un ensemble des travaux destinés à soutenir l'aptitude au travail au la réparation d'un matériel pendant (utilisation, stockage, transport) pour Conserver l'état de la machine Assurer la qualité de la production.

**IV.2. Type de maintenance :**

On distingue deux types de maintenance :

**IV.2.1. Maintenance préventive :**

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

**IV.2.1.1. 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.

**IV.2.1.2. 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.

**IV.2.2. Maintenance corrective :**

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

**IV.2.2.1. Maintenance palliative :**

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

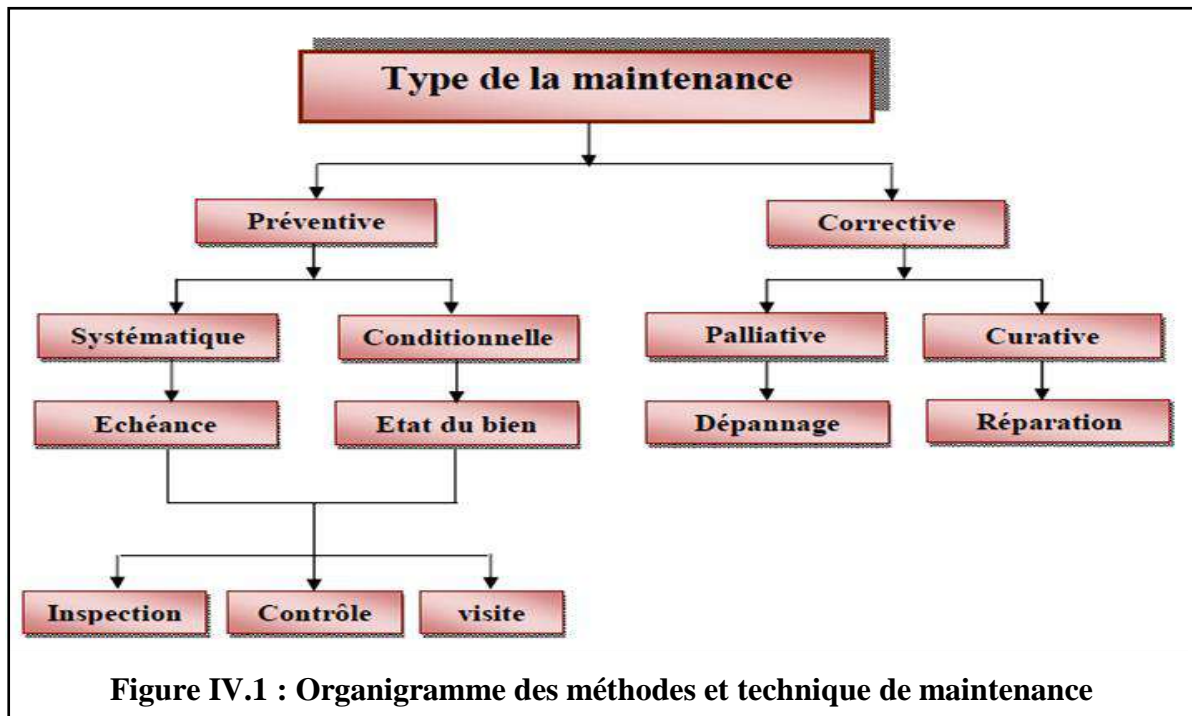
**IV.2.2.2. Maintenance curative :**

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

**IV.3. Révision générale : [1] [9]**

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 ;
- L'analyse de métaux d'usure dans l'huile de graissage ;



**Instruction pour la révision générale :**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nettoyer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamis d'aspiration d'huile</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nettoyer</li> <li>• Contrôler</li> <li>• Essayer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faisceau de refroidisseur d'admission</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôler</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arbre à cames</li> <li>- Bloc cylindre</li> <li>- Amortisseur de vibration du vilebrequin</li> <li>- Equipement mené (alignement)</li> <li>- Volant moteur</li> <li>- Pignons avant</li> <li>- Tringlerie du circuit de carburant</li> <li>- Pignons arrière</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôler</li> <li>• Rénover</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Culbuteurs</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôler</li> <li>• Rénover</li> <li>• Remplacer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bielles</li> <li>- Ensemble des culasses</li> <li>- Pompe d'amorçage de carburant</li> <li>- Pompe d'alimentation en carburant</li> <li>- Faisceaux de refroidisseur d'huile</li> <li>- Axes de pistons</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôler</li> <li>• Remplacer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poussoirs d'arbre à cames</li> <li>- Rondelles de butée d'arbre à cames</li> <li>- Vilebrequin</li> <li>- Chemises de cylindres</li> <li>- Support du moteur</li> <li>- Faisceaux de câblage du moteur</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remplacer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soupapes de régulation de pression de carburant</li> <li>- Pistons (couronnes et jupes)</li> <li>- Poussoirs</li> <li>- Plaques intercalaires</li> <li>- Palier d'arbre à cames</li> <li>- Coussinets de bielle</li> <li>- Bagues d'étanchéité de vilebrequin</li> <li>- Plaques de butée de vilebrequin</li> <li>- Injecteurs</li> <li>- Bagues de pignons</li> <li>- Coussinets de ligne</li> <li>- Segments de piston</li> <li>- Joints et soufflets de collecteur d'échappement</li> <li>- Joints et garnitures de collecteur d'admission d'air</li> </ul>

**Tableau IV.1 : Instructions pour la révision générale**

#### **IV.4. Entretien des systèmes du moteur : [9]**

##### **1. Piston et segments :**

Pour assurer une longue durée du piston et des segments, n'employez que les composants recommandés par le fabricant lorsqu'un remplacement est nécessaire.

Ces composants doivent être exempts de toute saleté due à un travail négligé ou à un entreposage inadéquat nous devons vérifier. Un bon programme d'entretien commence par une période de rodage. Faire attention au démarrage.

##### **2. Bielle :**

Vérification d'alignement des bielles. Il y a plusieurs modèles d'appareils pour l'alignement. Si l'alignement n'est pas vérifié, on a le risque de tordre ou plier la bielle.

**3. Culasse :**

Nettoyer la culasse par la vapeur d'eau. Si ce nettoyage est n'est pas efficace (n'enlevé pas le calcaire), on doit nettoyer le culasse dans un bac d'eau chaud.

Après le nettoyage de culasse, examiner visuellement de détecter des endommages. Vérifier les passages de carburant et d'huile, nettoyer les à l'aide d'une brosse métallique.

**4. Soupapes :**

On desserre les contre écrou et la vis de réglage, ensuite on insère une cale d'épaisseur déterminer entre les culbuteurs et le palonnier de soupape. On fait tourner la vis jusqu'à ce que le culbuteur atteigne le calibre et on freine la vis par le contre écrou.

**5. Système d'alimentation :**

Les défauts affectant le système d'alimentation sont : Les entrées d'air, la situation entravée du combustible, la défectuosité de la pompe d'alimentation qui se traduit par un débit et une pression insuffisante, la formation de coke dans les trous de pulvérisations.

Pour l'entretien de ce système il faut :

- Vérifier par examen visuel l'état technique des appareils du système d'alimentation et l'étanchéité des canalisations et leurs raccords, ainsi que l'état de la pompe à gazoil
- Que le moteur reçoit un combustible aussi propre que possible, ce qui conduit à l'emploi de filtres à gas-oil qui permettent l'épuration du combustible avant son arrivée aux cylindres ;
- Nettoyer les filtres et échanger les éléments filtrants aux intervalles prévus par le constructeur ;
- Les injecteurs ne subissent aucun entretien sur le moteur, à moins qu'on les change en cas d'un mauvais fonctionnement.

**6. Système d'air du moteur :**

- Contrôler l'indicateur de colmatage des filtres ;
- Nettoyer les filtres en soufflant de l'intérieur ;
- Contrôler les joints de filtre et l'étanchéité des boîtiers de filtre
- Nettoyer si nécessaire, Pour les circuits avec pré filtre à cuve transparente ;  
Pour les circuits avec pré filtre à « tubes colonnes » :
- Contrôler la propreté de la grille d'aspiration d'air ;
- Contrôler l'état du tube d'éjection des poussières ;
- Vérifier le serrage des colliers sur ce tube, et la fixation au niveau du pot d'échappement ;
- Vérifier le bon fonctionnement du volet d'échappement ;

**7. Contrôle et nettoyage de turbocompresseur :**

Il est conseillé de contrôler et de nettoyer périodiquement le carter de la roue soufflante du turbocompresseur (côte admission). Les vapeurs du carter moteur sont filtrées dans le circuit d'admission d'air. Des sous-produits de l'huile et de la combustion peuvent par conséquent s'accumuler dans le carter de la roue soufflante du turbocompresseur. A la longue, cette accumulation peut provoquer une perte de puissance du moteur, une augmentation des émissions de fumée noire et réduire l'efficacité générale du moteur.

En cas de panne du turbocompresseur pendant la marche, la roue soufflante et le moteur risquent d'être endommagés. La détérioration de la roue soufflante du turbocompresseur peut entraîner des dégâts supplémentaires au niveau des pistons, des soupapes et de la culasse.

Pour le nettoyage et le contrôle du turbocompresseur il faut :

- Débrancher les tubulures d'entrée et de sortie du turbocompresseur. Rechercher les fuites d'huile au niveau des tubulures. Nettoyer l'intérieur des tubes pour empêcher la pénétration de saleté pendant le réassemblage.
- Faire tourner l'ensemble turbine, roue soufflante à la main. L'ensemble doit tourner librement.
- Contrôler la propreté de la roue soufflante. Si la roue soufflante n'est sale que côté aubes, c'est que de la poussière et/ou de l'humidité pénètre par le circuit de filtration d'air. S'il y a de l'huile au dos de la roue soufflante, la fuite peut provenir du joint d'étanchéité du turbocompresseur.
- Utiliser un comparateur pour contrôler le jeu en bout de l'arbre.
- S'assurer que l'alésage du carter de turbine est exempt de corrosion.
- Nettoyer le carter du turbocompresseur avec des solvants classiques à poils doux.
- Brancher les tubulures d'entrée et de sortie sur le carter de turbocompresseur.

**8. Système de refroidissement :**

- Contrôler le niveau de circuit de refroidissement lorsque le moteur est arrêté et refroidi. Le niveau de liquide de refroidissement doit se trouver à 13 mm au bas de tube de remplissage.
- Vidanger le circuit de refroidissement.

**9. système de graissage :**

Contrôler le niveau d'huile lorsque le moteur est à l'arrêt. Le moteur doit être le plus possible à l'horizontale pour cette opération.

**10. circuit de gas-oil :**

- Vérifier le bouchon du réservoir (trou de mise à l'air) ;
- Faire le plein de préférence le soir ;
- Purger périodiquement le réservoir le matin ;
- Faire fonctionner périodiquement la pompe d'amorçage manuelle ;
- Nettoyer le décanteur et vider le séparateur d'eau régulièrement ;
- Changer le filtre si nécessaire (ne pas le remplir avant remontage) ;
- Serré le filtre à la main ;
- Ouvrir le robinet de purge situé sur la pompe pour réamorcer.

**11. Injecteurs pompes :**

La qualité de carburant (qualité d'eau contaminant et les substances industrielles). Et la qualité de filtration ont une influence sur l'usure des injecteurs pompes, cette usure que ce traduire par de forte émission à l'échappement au faible rendement du moteur.

**Conclusion :**

Il n'est pas utile d'attendre que le moteur présent des signes d'usure excessive ou de défaillance. On ne réalise aucune économie en attendant. Une révision planifiée avant défaillance peut s'avoir plus rentable pour les raisons suivantes :

- Pas de coûteuses immobilisations imprévues ;
- Réalisation d'un grand nombre des pièces d'origine suivant les normes de réutilisation
- Longévité supérieur du moteur sans risque de d'avaries, importantes résultats des défaillances du moteur ;
- Rapport qualité/prix optimal pour le gain de longévité obtenu.



## **CONCLUSION GENERALE**

La présence du groupe électrogène CATPELLAR 3512 est indispensable dans l'industrie pétrolière et plus précisément les forages. Il est considéré la source d'énergie. Notre étude avait intérêt sur le dispositif entraînant ce groupe, le moteur CATERPILLAR 3512, spécialement choisi afin de satisfaire le besoin de la partie qui génère l'énergie électrique du groupe, pour but de satisfaire globalement les besoins de la station pétrolière

Les calculs nous ont a conduit à savoir les différentes valeurs de températures et pressions de chaque point du cycle parcouru et les différentes valeurs telle que le rendement du moteur, puissance...etc et aussi les résistances de quelques pièces. Ce calcul nous a permis de vérifier les caractéristiques du moteur et la résistance de certaines pièces.

Comme tous les équipements, ceci est soumis aux différents problèmes de fonctionnement et défaillances dues aux conditions techniques et autre tels que les conditions climatiques, qui influent sur l'organe lui même et aussi sur le déroulement de l'opération du forage, ce qui peut causer une perte du temps et d'argents.

Donc, une bonne politique de résolution des principaux problèmes de son fonctionnement doit être suivie afin le garder le moteur toujours en bonne état de marche et augmenter sa durée de vie, ce qui minimise les coûts de réparation qui sera bénéfique pour l'entreprise.

---

## **Bibliographie :**

- [1] Brochure sur l'entretien et la réparation des moteurs diesel
- [2] Document de l'entreprise ENTP (moteur CATERPILLAR série 3500).
- [3] Document Caterpillar 3500 series engins : Introduction, systems and maintenance, janvier 1999.
- [4] Document Training Manual 3500 B engine, Eneria , Caterpillar
- [5] E.BESTHAROV ET S. NETCHAEV, calcul thermique du diesel (INH 1974).
- [6] FRANCOIS MONCHY, la fonction maintenance, EDITION MASSON, 1996.
- [7] G.LEMASSON, les machines transformatrices d'énergie tome II : turbomachines et machine alternatives.
- [8] KALAKOUTSKI ET V.VOLKOV, calcul thermique et mécanique du diesel (INH 1986).
- [9] Le chapitre « défaut de compression » du Tome I de la technique de réparation, EDITION FOUCHER.
- [10] Site internet de l'entreprise CATERPILLAR [www.CAT.com](http://www.CAT.com)
- [11] Site internet [wikipedia.org](http://wikipedia.org), le moteur diesel, mai 2017
- [12] Site internet [Educauto.org](http://Educauto.org), classification des moteurs diesels, mai 2017
- [13] Site internet [selection.readersdigest.ca](http://selection.readersdigest.ca), mai 2017
- [14] Un CD manuel sur technique et entretien du moteur CATREPILLAR 3512

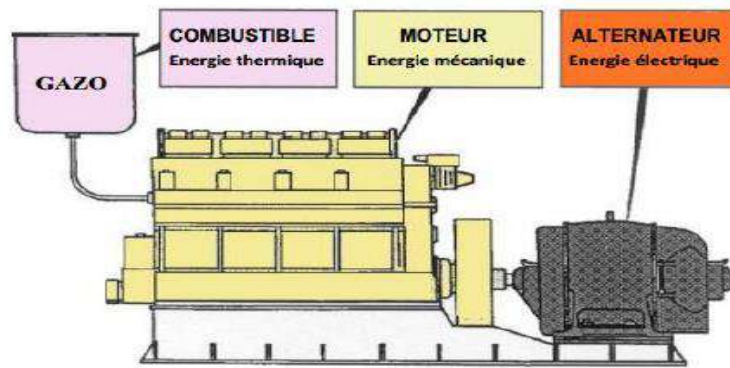


Fig.1 : Transformation d'énergie

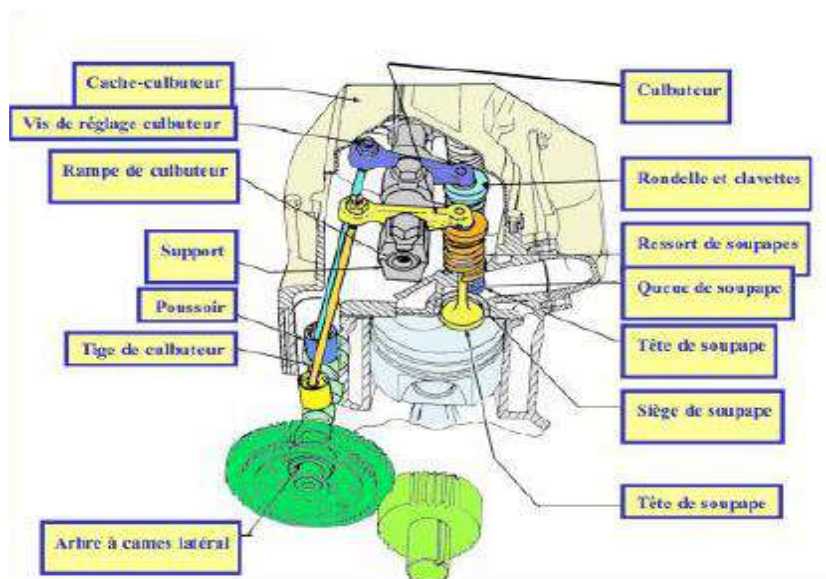


Fig.2 : Système de distribution

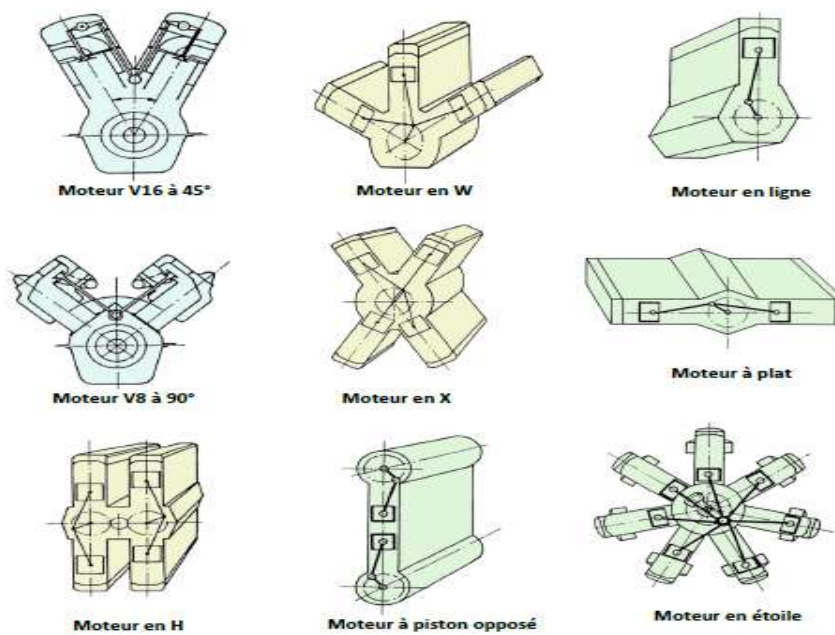


Fig.3 : Disposition des cylindres

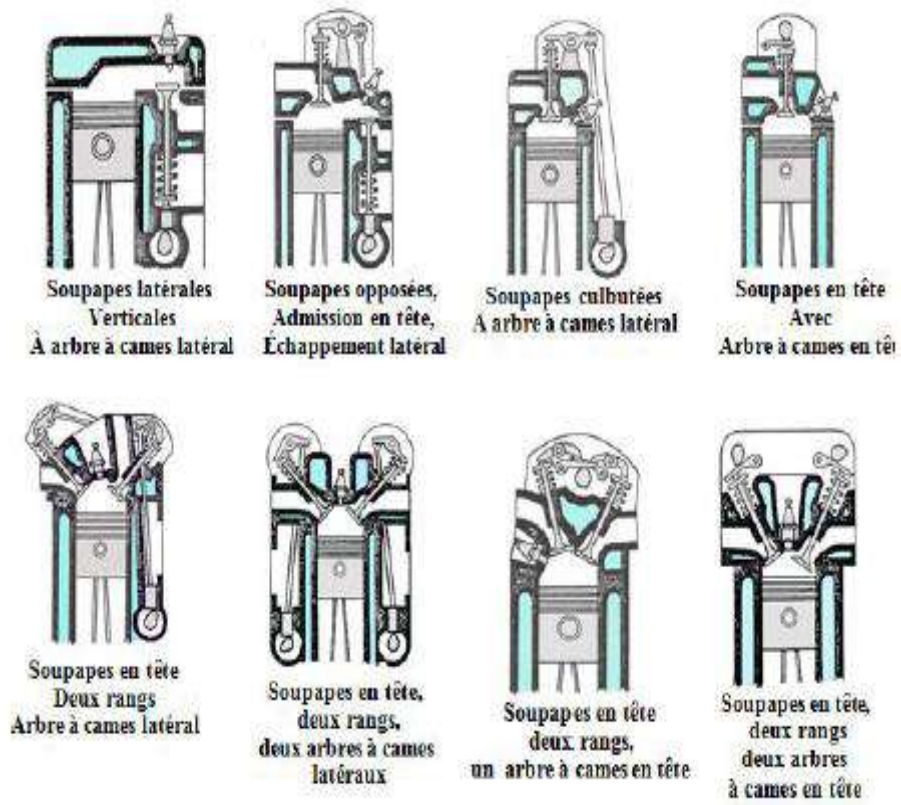


Fig.4 : Disposition des soupapes et arbres à cames

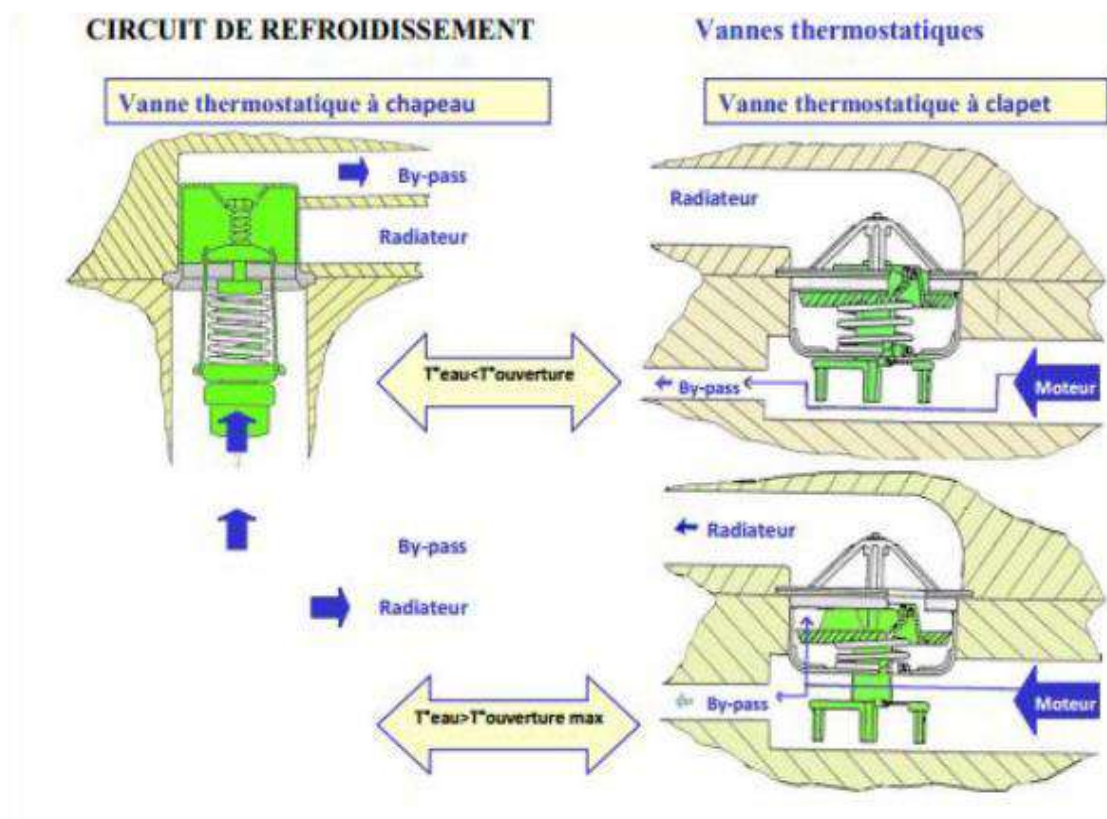


Fig.5 : Vannes thermostatique

Exemple de bilan énergétique pour une alimentation en gazole de base 100



Fig.6 : Bilan énergétique

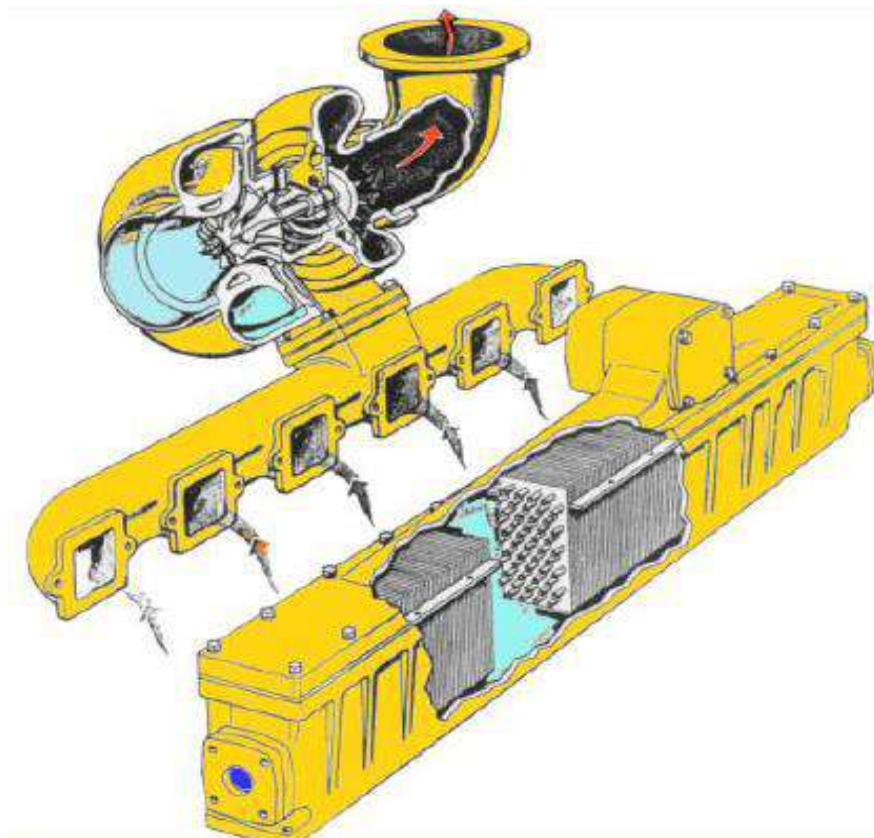


Fig.7 : Refroidisseur d'un moteur Caterpillar 3512



## Résumé :

Les moteurs diesel font partie de la famille des moteurs thermiques, transforment l'énergie calorifique à un travail mécanique. Ces moteurs appliquent un cycle thermodynamique mixte. Les moteurs diesel ont des avantages tels que l'utilisation moins chère du gazole, comme ils ont des inconvénients. Le moteur Caterpillar 3512 est un moteur diesel à 12 pistons, suralimenté par deux turbocompresseurs, dont l'injection se fait directement dans le cylindre. Une étude des différents systèmes et circuits du moteur a eu lieu dans ce document. Nous avons fait le calcul thermique et mécanique qui nous a permis de vérifier les caractéristiques du moteur et la résistance de certaines pièces. Une loi de maintenance qui comprend l'inspection journalière et entretien systématique doit être suivie afin d'augmenter la durée de vie du moteur.

**Mots clés :** moteur Caterpillar 3512, auto-inflammation, suralimenté, gazole, inspection, culbuteurs, moteur thermique.

## ملخص:

محركات الديزل هو محركات ذات احتراق داخلي، يعمل على تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية كهربائية، هذه المحركات تطبق دورة حرارية مختلطة. محركات الديزل لها مزايا مثل قلة تكلفة وقود الديزل، كما لديها عيوب. محرك كاتربيلر 3512 محرك ديزل ذو 12 اسطوانة، و مشحون من قبل شاحن توربو، يتم الحقن في هذا المحرك مباشرة في الاسطوانة. أجرينا أيضا دراسة لمختلف أنظمة المحرك في هذه الوثيقة، حيث أن هذه الأخيرة ضرورية لضمان الاشتغال الصحيح للمحرك لتوفير الطاقة اللازمة. الحسابات الحرارية والميكانيكية التي تجعلنا قادرين على التحقق من خصائص المحرك ومقاومة بعض الأجزاء. يجب إتباع قواعد صيانة والتي تشمل الفحص اليومي والصيانة الروتينية من أجل زيادة عمر المحرك وضمان مرد ودية أكثر.

**كلمات المفتاحية :** محرك كاتربيلر 3512 ، الاشتعال الذاتي، توربو، الديزل، الفحص، الاحتراق الداخلي.

## Abstract:

Diesel engines are combustion engines, transform heat energy mechanical energy usable in several functions. These engines apply a mixed thermodynamic cycle. Diesel engines have advantages such as using expensive diesel months, as they have disadvantages. The Caterpillar 3512 engine is a twin-piston diesel engine, supercharged by two turbochargers, injected directly into the cylinder. A study of the various systems and circuits of the engine has taken place in this document, the latter are indispensable to ensure the exact operation of the engine in order to provide the necessary power. The thermal and mechanical calculation enabled us to check the characteristics of the engine and the resistance of certain parts. A maintenance law that includes daily inspection and routine maintenance must be followed to increase the life of the engine.

**Keywords:** Caterpillar 3512 engine, auto-ignition, supercharged, diesel, inspection, rocker arms, heat engine.