

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Hydrocarbures et Chimie

Mémoire de Master

Présenté par

ABBAS Adel

ABBAS Hocine

Filière : Génie mécanique

Option : Mécanique des chantiers pétroliers

Etude comparative entre l'injection à commande mécanique et à
commande électronique dans les moteurs « CAT 3512 »
« Type A et B »

Devant le jury :

BENBRIK Abderrahmane	Prof	UMBB	Président
ARBAOUI Mohamed	Mc\A	UMBB	Examineur
Guebli Abdelhamid	Mc\B	UMBB	Examineur

Année universitaire 2015 / 2016

REMERCIEMENTS

*Nous remercions tout d'abord notre dieu qui nous a donné la
force pour terminer ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier tous les enseignements du
département transports et équipements des hydrocarbures et plus
particulièrement notre promoteur : Mr. M. REZOUÛ*

Qui nous a aidé durant l'élaboration de ce travail.

Et nous remercions : Mr. BELLAOUI Kamel

*Mr. ABBAS Boukhelfa et Mr. FEKRAR Moussa, et tous
les travailleurs de l'atelier de maintenance du moteur "ENTP et
ENAFOR".*

*Ainsi tous ceux qui ont participé de loin ou de près et qui nous
ont aidé dans l'élaboration de ce mémoire de fin d'études.*

ADEL-HOCINE

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

*Ma très chère mère qui pense à moi toujours
Dans ma présence et mon absence, et à mon très
chère père qui m'a donné la force pour continuer
mes études.*

*Mes frères Belaid, Khaled et mes sœurs
Khadidja, Tassadit, Naima, Hassiba, Lahna, qui
m'ont aidé beaucoup dans mes études.*

*Et à toute la famille surtout Khali lhadj Dahmane
à tous mes amis: mon binôme Hocine, aïssa, moh, khali
moh, kosseila, yacine, zohir, walid, messipssa, cherif,
seddam, abdo, azedine, moustapha, abdellah, malik,
et mes collègues sans exception.*

Et à mon cœur Samira

à tous mes amis de promotion MACP11

Chaleureusement:

ABBAS ADEL

DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à :
La mémoire de ma grande mère défunt
« habbou ta3zizt »*

*Ma très chère mère qui pense à moi toujours
Dans ma présence et mon absence, et à mon très
chère père qui m'a donné la force pour continuer
mes études.*

*Mes frères Ahcene, Smail et mes soeurs
Messed, Zizih, Lina qui m'ont aidé beaucoup dans mes
études.*

*Et à toute la famille
à Dda Hocine*

*à tous mes amis : mon binome adel, aissa, moh, khali
moh, koukou, yacine, zohir, walid, messipssa, cherif,
seddam, abdo, azedine, moustapha
et mes collègues sans exception.*

*Et à mon cœur Tima
à tous mes amis de promotion MACP11*

Chaleureusement:

ABBAS Hocine

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES MOTEURS THERMIQUES

I.1. Introduction..... 2

I.2. Moteurs à combustion interne 2

I.2.1. Moteurs alternatifs 2

I.2.2. Turbine à gaz 3

I.3. Comparaison entre le moteur diesel et la turbine à gaz 4

I.4. Groupe de force des appareils de forage..... 4

I.4.1. Définition et caractéristiques 4

I.4.2. Exigences principales de groupe de force 5

I.4.3. Régime de fonctionnement de groupe de force 7

CHAPITRE II : DESCRIPTION DU MOTEUR CATERPILLAR ET SES SYSTEME D'INJECTION

II.1. Description organique du moteur Caterpillar..... 8

II.1.1. Etude des circuits et les systèmes..... 12

II.1.2. Témoins et instruments 25

II.2. Cycle thermodynamique 28

II.3. Système d'injection..... 34

II.3.1 L'injection à commande mécanique 34

II.3.2 Injection à commande électronique 35

II.4. Comparaison entre les deux types d'injecteur pompe..... 42

II.5. Comparaison entre l'injection directe et l'injection indirecte 43

Conclusion..... 43

CHAPITRE III : CALCUL THERMODYNAMIQUE

III.1. Introduction 44

III.2. La quantité d'air stœchiométrique..... 44

III.3. Cycle de fonctionnement 45

III.4. Cycle de fonctionnement	46
III.5. Calcul thermodynamique pour le moteur CAT 3512 A	47
III.5.1. Données techniques principales	47
III.5.2. La quantité de combustible injectée dans chaque cycle	47
III.5.3. La quantité d'air nécessaire à la combustion complète	48
III.5.4. Calcul de volume de cylindre	48
III.5.5. Calcul des points du cycle	48
III.5.6. Les performances du moteur	53
III.5.7. La vitesse moyenne de combustible	55
III.5.8. Le couple moteur	55
III.6. Calcul thermodynamique pour le moteur CAT 3512 B	56
III.6.1. Données technique principales	56
III.6.2. La quantité de combustible injectée dans chaque cylindre.....	56
III.6.3. La quantité d'air nécessaire à la combustion complète	57
III.6.4. Calcul de volume de cylindre	57
III.6.5. Calcul les points de cycle	57
III.6.6. Les performances du moteur	61
III.6.7. La vitesse moyenne de combustible	63
III.6.8. Le couple moteur	63
III.7. Tableau de comparaison	63
Conclusion.....	64
III.8. Analyse des résultats obtenus	65
III.8.1. Variation des paramètres de sortie en fonction du coefficient d'excès d'air.....	65
III.8.2. Variation des paramètres de sortie en fonction de la pression d'admission.....	65
III.8.3. Variation des paramètres de sortie en fonction du taux de compression volumétrique.....	67
Conclusion.....	70

CHAPITRE IV : MAINTENANCE

IV.1. Introduction	71
IV.2. Définition et l'objectif de la maintenance	71
IV.2.1. Définition de la maintenance	71
IV.2.2. Les objectifs de la maintenance	71

IV.3. Les méthodes de maintenance	72
IV.3.1. La maintenance corrective	72
IV.3.2. La maintenance préventive	74
IV.4. L'opération de maintenance	75
IV.4.1. L'opération de maintenance corrective	75
IV.4.2. Les opérations de la maintenance préventive	75
IV.5. Choix d'une politique de maintenance	75
IV.6. Les niveaux de la maintenance	77
IV.7. Calendrier d'entretien du moteur Caterpillar 3512	78
IV.8. Entretien des systèmes du moteur	81
IV.9. Diagnostic des moteurs Cat 3512	83
Conclusion	86

CHAPITRE V : GESTION DE STOCK

V.1. Généralités sur la gestion de stock	87
V.1.1. Définition	87
V.1.2. Les objectifs d'un stock	87
V.1.3. types de stock	87
V.1.4. Coût de stockage	88
V.1.5. Quantité optimale	89
V.1.6. Nombre optimal de commandes.....	89
V.2. Calcul de gestion de stock	89
V.2.1. Le moteur doit être réparé tous les	90
V.2.2. La quantité à commander par an	90
V.2.3. Calcul de la quantité économique à commander	90
V.2.4. Nombre de commandes par an	90
V.2.5. Période d'approvisionnement du stock	90
V.2.6. Stock de sécurité	90
V.2.7. Stock maximum	90
V.2.8. Coût global maximal	91
V.2.9. Coût annuel de possession des commandes	91
V.2.10. Coût de passation	91
V.2.11. Coût total d'une commande	91

V.2.12. Tableau de vérification	91
Conclusion	92
Conclusion générale	94
Bibliographie	

LISTE DES FIGURES

Fig. I.1 : Schéma d'une turbine à gaz	3
Fig.II.1 : Bloc moteur V 12	8
Fig.II. 2.a : Culasse en fonte.....	8
Fig.II.2.b : Plaque de culasse	8
Fig.II.2.c : Montage de culasse sur le moteur	8
Fig. II.3 : Equipement de culasse	9
Fig.II.4.a : Piston monobloc acier, segment coup de feu, segment d'étanchéité, segment racleur, l'axe du piston	9
Fig.II.4.b : Piston refroidi par jet d'huile	10
Fig.II.5 : Chemise en fonte GS centrifuge.....	10
Fig.II.6 : Bielle profil H en acier forge.....	10
Fig.II.7 : Vilebrequin de moteur V 12	10
Fig.II.8 : Arbre à cames.....	11
Fig. II.9/9.a : Circuit d'air et suralimentation	13
Fig.II.10 : Turbocompresseur	14
Fig.II.11./11.a : Circuit de gas-oil	17
Fig.II.12 : Injecteur pompe	18
Fig.II.13 : Circuit de refroidissement de l'eau	20
Fig.II.14.15 : Circuit de lubrification	24
Fig.II.16 : Cycle mixte théorique 4 temps suralimenté	29
Fig.II.17 : Cycle réel d'un moteur diesel suralimenté	32
Fig.II.18 : Diagramme réel	33
Fig.II.19 : La régulation mécanique.	34
Fig.II.20 : Système d'injection à commande mécanique	35
Fig.II.21 : Le module de contrôle électronique « ECM »	36
Fig.II.22 : Système d'injection EUI.....	36
Fig. II.23 : La précision d'injection.....	37
Fig.II.24 : <i>Pré course d'injection.</i>	38
Fig.II.25 : L'injection.	39

Fig.II.26 : Fin d'injection.....	40
Fig.II.27 : Remplissage	41
Fig. III.1 : Cycle théorique	46
Fig. III.1 : cycle réel	46
Fig.III.3 : Variation de rendement indique en fonction de coefficient d'excès d'air	65
Fig.III.4 : Variation de la pression moyenne indiquée en fonction de pression d'admission .	66
Fig.III.5 : Variation de la consommation spécifique indiquée en fonction de pression d'admission	66
Fig.III.6 : Variation de la pression moyenne indiquée en fonction du taux de compression volumétrique	67
Fig.III.7 : Variation du rendement indiqué en fonction du taux de compression volumétrique	68
Fig.III.8 : Variation des consommations spécifique indiquée en fonction du taux de compression volumétrique	69
Fig.IV.1 : Organigrammes des méthodes et technique de la maintenance.....	73
Fig.IV.2 : Détermination de la durée de vie optimale	76
Fig.IV.3 : Choix d'une politique de maintenance.	77
Fig. V.1 : Variation du cout en fonction du nombre de commandes	92
Fig. V.2 : Graphe d'évolution des stocks de vilebrequin en fonction de temps.....	93

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Comparaison entre le moteur diesel et la turbine à gaz.....	4
Tableau I.2 : Les valeurs de K_{ad} et R des différents groupes de force	6
Tableau II.1 : Comparaison entre l'injecteur à commande mécanique et l'injecteur à commande électronique	42
Tableau II.2 : comparaison entre l'injection directe et l'injection indirecte	43
Tableau III.1 : Comparaison entre l'injection à commande mécanique et l'injection à commande électronique	63
Tableau V.1 : Diagnostiques du moteur Caterpillar 3512	85

NOTATIONS

C_p, C_v : Chaleurs spécifiques respectivement à pression et à volume constants (J/gk)

C_{se} : Consommation spécifique effective (g/kw.h).

C_T : Consommation totale (g/s).

D, d : Alésage ou le diamètre intérieur du cylindre (m).

L : Quantité d'air nécessaire pour la combustion complète (kg).

L_0 : Quantité stoechiométrique (kg).

M : Masse d'air (kg).

M_c : Quantité de combustible (kg).

M_e : Couple moteur (N.m).

N : Régime moteur (tr/min).

n : Exposant polytropique selon l'indice.

n : Nombre des cylindres.

P : Pression selon l'indice (Pa).

P_c : Pouvoir calorifique de combustible (kJ/kg).

PMH : Point mort haut.

PMB : Point mort bas.

Q : Quantité de chaleur (J).

S : Section (m²).

C : course (m).

T : Température (K).

V : Volume (m³).

V : La vitesse (m/s).

W : Travail (J).

γ_r : Coefficient des gaz résiduels.

η : Rendement selon l'indice.

η_v : Coefficient de remplissage.

ε : Taux de compression.

ϕ : Coefficient empirique.

λ : Coefficient de l'excès d'air.

λ_p : Taux de la croissance de la pression.

ρ_{air} : Masse volumique d'air (kg/m³).

ρ_c : Masse volumique de combustible (kg/m³).

τ : Nombre de temps.

$\wp$: Puissance du moteur ou une puissance selon l'indice (kW).

Introduction générale :

Dans l'industrie pétrolière, les travaux de forage des puits de pétrole et du gaz sont les plus difficiles, ils exigent l'emploi d'un matériel complexe, divers, lourd .L'évolution de ce matériel nous oblige d'être à jour dans la technologie des installations de forage pétroliers. Les opérations de forage exigent des puissances très élevées qui varient en fonction de la profondeur et la destination de forage.

La puissance nécessaire pour le fonctionnement de l'installation de forage est assurée par le groupe de force qui en représente l'une de parties de parties principales .Le groupe de force est constitué d'un ensemble moteur (moteur à combustion interne...), des dispositifs réglant le fonctionnement de ceux-ci, et qui réalisent la transformation de l'énergie thermique ou électrique en énergie mécanique et la transmet aux éléments exécutifs (table de rotation, pompe, treuil...etc).

Actuellement ,on rencontre dans les chantiers de forage des groupes de force du type électrogène entraîné par des moteurs diesel Caterpillar ,qui fournissent les meilleures performances, souplesse de la caractéristique aux conditions de fonctionnement des mécanismes exécutifs ,bonne longévité ,masse réduite, meilleur effet économique et bon fonctionnement dans les conditions sévère des zones sahariennes.

Les moteurs **CAT 3512** sont utilisés comme des groupes électrogènes dans les entreprises nationales du pétrole. En ce qui concerne notre étude sur ce type des moteurs, nous avons effectué des visites à l'**ENTP** et à L'**ENAFOR** (l'atelier de réparation et chantier de forage N° 226, ENAFOR 60) dans la région de **Hassi Messaoud**.

La série de moteurs **CAT 3512 B** comporte une nouvelle technique d'injection du carburant qui diffère de celle de l'ancienne série **3512 A**. Le changement au niveau de l'injection influe sur les performances du moteur. Les deux séries ont une même cylindrée (alésage et course).

C'est pour cela, dans notre étude nous avons étudié le moteur diesel série **3512 A**, et l'avons comparé ensuite à celui de la série **3512 B**, (moteur diesel à commande mécanique et un autre à commande électronique).

Dans ce travail nous avons aussi étudié la partie de la maintenance et ses différentes tâches (planification, tests et diagnostics) de série 3512.

Notre travail comprend le plan suivant :

- Le premier chapitre : qui contient des généralités sur les moteurs thermiques, et avantage de l'utilisation d'un moteur Caterpillar sur un chantier de forge comme source d'énergie.
- Le deuxième chapitre : c'est une description concernant, généralement, tous les systèmes du moteur **CAT3512** et, particulièrement, le système d'injection avec un peu de détail pour les deux séries.
- Le troisième chapitre : qui comporte les calculs thermodynamiques et les performances moteur tels que les rendements, les puissances...etc., et analyse des résultats obtenues.
- Le quatrième chapitre : la nouvelle technique de maintenance des différents systèmes et des diagnostics qui est utilisée dans la série **3512**.
- Le cinquième chapitre : gestion des stocks.

Nous terminons ce mémoire par une conclusion générale et les différents résultats auxquels nous avons aboutis.

I.1. Introduction :

Les moteurs thermiques ont pour rôle de transformer l'énergie thermique à l'énergie mécanique. Ils sont encore appelés les moteurs à combustion qui sont généralement distingués en deux types :

- Les moteurs à combustion interne où le système est renouvelé à chaque cycle.

Le système est en contact avec une seule source de chaleur (l'atmosphère).

- Les moteurs à combustion externe où le système (air) est recyclé, sans renouvellement, ce qui nécessite alors 2 sources de chaleur.

I.2. Moteurs à combustion interne :**I.2.1. Moteurs alternatifs :**

La chaleur est produite par une combustion dans une chambre à volume variable et elle est utilisée pour augmenter la pression au sein d'un gaz qui remplit cette chambre (ce gaz est d'ailleurs initialement composé du combustible et du comburant : air). Cette augmentation de pression se traduit par une force exercée sur un piston, force qui transforme le mouvement de translation du piston en mouvement de rotation d'arbre (vilebrequin).

Les moteurs sont classés en deux catégories suivant la technique d'inflammation du mélange carburant-air :

- les moteurs à allumage commandé (moteur à essence)
- les moteurs à allumage par compression (moteur Diesel)

Dans les moteurs à allumage commandé, un mélange convenable essence-air, obtenu à l'aide d'un carburateur, est admis dans la chambre de combustion du cylindre où l'inflammation est produite par une étincelle.

Dans les moteurs à allumage par compression, le carburant est du gazole. On l'injecte sous pression dans la chambre de combustion contenant de l'air, préalablement comprimé et chaud, au contact duquel il s'enflamme spontanément. Ces moteurs sont appelés moteur Diesel.

Les moteurs à allumage, commandé et par compression, sont des moteurs à combustion interne, car la combustion s'effectue à l'intérieur du moteur.

Ces moteurs constituent actuellement la majorité des unités de production de puissance mécanique dans beaucoup de domaines, surtout le domaine de transports où ils se sont particulièrement développés en raison de leurs avantages : bon rendement, compacité, fiabilité... ; ceci explique l'extension qu'on prit de nos jours l'industrie des moteurs et l'ensemble de ses branches connexes dans tous les pays du monde.

I.2.2. Turbine à gaz :

La turbine à gaz est l'un des moteurs thermique, la turbine à gaz fonctionne obligatoirement avec un compresseur et la chambre de combustion, cet ensemble est dit turbo moteur ou installation de turbine à gaz.

La turbine à gaz est un moteur à grande vitesse et à faible encombrement le combustible brûle dans la chambre de combustion, le mélange d'air et gaz de combustion à une température suffisamment élevée traverse la turbine en produisant de travail.

Une partie de ce travail est consommée par le compresseur qui comprime l'air et puis l'envoie dans la chambre de combustion.

Le principe de fonctionnement de la turbine à gaz ne doit pas être considéré comme une invention récente, depuis une lointaine antiquité on avait déjà découvert l'effet de réaction produit par un jet de fluide (vapeur ou gaz) s'écoulant par une couverture, mais la nécessité de réaliser un moteur apparue plus tard à l'époque du développement de la grande industrie.

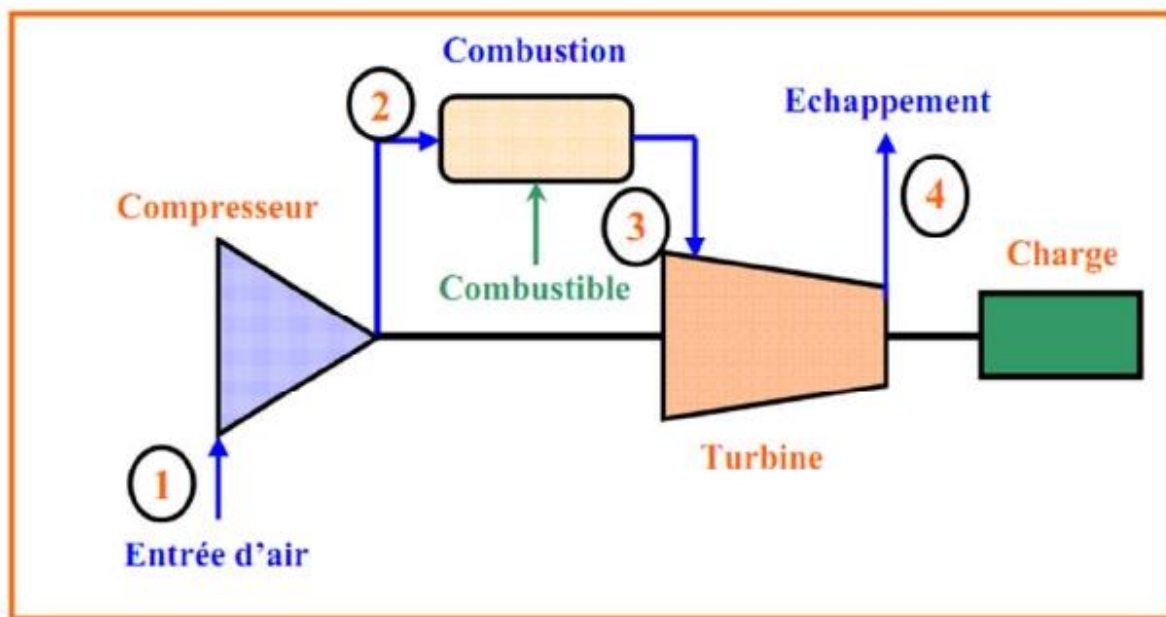


Fig. I.1 : Schéma d'une turbine à gaz.

La turbine à gaz et le compresseur se trouvent sur le même arbre. Le compresseur aspire l'air atmosphérique ; le comprime et puis l'envoie vers la chambre de combustion. Dans cette chambre à la pression constante le combustible pulvérisé brûle et le fluide du moteur reçoit une quantité de chaleur, la température des gaz augmente, puis ces gaz pénètrent dans la turbine à gaz ou au cours de la détente des gaz ; l'énergie thermique est transformée en énergie cinétique et celle-ci se transforme à son tour en énergie mécanique.

I.3. Comparaison entre le moteur diesel et la turbine à gaz :

Moteurs	Turbine à gaz
La variation de la capacité de l'enceinte de travail appelée cylindre est obtenue.	Les différentes évolutions du fluide moteur ont lieu dans des enceintes successives et juxtaposées (compresseur, chambre de combustion, turbine).
Il s'agit de machines à flux continu périodique.	Il s'agit de machine à flux continu constituant un système ouvert stationnaire.
Elles se caractérisent par un cycle de fonctionnement comprenant une phase d'admission, une phase de travail en système fermé et une phase d'évacuation.	En chaque point de la machine, on peut admettre que l'état du fluide de travail est constant dans le temps.
L'état du fluide varie dans le temps n'est donc jamais permanent.	

Tableau I.1 : Comparaison entre le moteur diesel et la turbine à gaz.

I.4. Groupe de force des appareils de forage :

I.4.1. Définition et caractéristiques :

On appelle un organe de force un ensemble des moteurs, qui réalisent la transformation de l'énergie thermique ou électrique en énergie mécanique, la commande d'énergie mécanique transformée et le transfert de cette dernière aux éléments exécutifs, c'est-à-dire la pompe, à la table de rotation, et le treuil, etc.

En fonction de l'utilisation de la source primaire de l'énergie les groupes de force sont devisés en mécanismes autonomes qui ne dépendent pas du système de distribution de l'énergie et en mécanismes non autonomes qui dépendent du réseau électrique industriel.

❖ Les groupes de force autonomes

Comprennent les moteurs à combustion interne (avec transmission mécaniques hydrauliques ou électriques) et les moteurs à turbine.

❖ Le groupe de force non autonome

Comprennent les moteurs électriques synchrones à courant alternatif triphasé avec transmission mécanique, les moteurs synchrones à courant alternatif avec transmission mécanique, les moteurs électriques synchrones à courant alternatif triphasé avec transmission hydraulique ou électrodynamique

Le groupe de force peut être individuel ou collectif. Les moyens d'adaptation artificiel et les dispositifs de transmission, qui accouplent plusieurs moteurs pour transmettre leur énergie sur un arbre commun font partie, eux aussi, du groupe de force.

Les caractéristiques de groupe de force collectif doivent être en même temps correspondre aux caractéristiques de différents mécanismes de l'installation de forage, et la caractéristique de groupe de force individuel doit correspondre seulement à la caractéristique d'un seul mécanisme.

Les consommateurs d'énergie de l'installation de forage sont :

1. Au forage :

Les pompes de forage, la table de rotation faisant tourner la colonne de forage au forage rotary, les dispositifs pour la préparation de la boue, la pompe à eau, et le treuil de forage.

2. À l'opération de monté et descente :

Le treuil, la table de rotation (au dévisage des joints de tige), la pompe à eau et la clé mécanique.

Les groupe de force se divisent aussi aux mécanismes principaux (mécanismes d'entraînement de treuil, des pompes de forage et de la table de rotation) et en mécanismes auxiliaires (mécanismes d'entraînement des autres dispositifs et mécanismes de l'installation de forage). La puissance consommée par les dispositifs auxiliaires ne dépasse pas 10 % de la puissance consommée par les dispositifs principaux.

I.4.2. Exigences principales de groupe de force :

I.4.2.1. Souplesse de la caractéristique :

On entend par ce terme une capacité de groupe de force de s'adapter très vite (automatique à l'aide de l'opérateur) aux variations des charges et les vitesses du mouvement des mécanismes exécutifs qui se produisent au cours de leur fonctionnement. La souplesse de la caractéristique est déterminée par le coefficient d'adaptation (rapport du couple moteur maximal sur le couple moteur minimal), et par la gamme de réglage des vitesses de rotation (rapport de vitesse maximal sur la vitesse minimal), et la capacité de reprise.

Le coefficient d'adaptation ou de surcharge et le diapason de réglage dépendent de type de moteurs et de la nature de l'énergie utilisé. Si ces insuffisantes, on emploie les moyens d'adaptation artificielle, c'est-à-dire on pose entre les moteurs et les moteurs exécutifs la transmission intermédiaires hydrauliques et électromécanique.

Types de groupe de force	Coefficient d'adaptation (k_{ad})	Diapason de réglage (R)
Moteurs à combustion interne à petite vitesse (500 à 750 tr/min)	1,1 - 1,25	1,5 - 2,2
Moteurs à combustion interne à vitesse élevée (1200 à 1700 tr/min).	1,1 - 1,2	1,3 - 1,8
Moteurs asynchrone.	1,7 - 2,2	1 - 1,05
Moteurs électrique asynchrone.	1,65	1
Turbine à gaz à deux arbres.	2,5 - 3	2 - 3
Turbine à gaz à un arbre.	1,8 - 2	1,5 - 2
Turbine combinée à gaz avec moteurs à piston.	3,5 - 5	4 - 6
Machines à vapeur des installations de forage.	1,5 - 3	2 - 3
Moteur à combustion interne avec transformateur hydraulique.	1,5 - 3,5	2,5 - 3,5
Moteur à combustion interne avec transmission électrique à courant continu	1,6 - 2,2	2,5 - 4

Tableau I.2 : Les valeurs de K_{ad} et R des différents groupe de force.

I.4.2.2.La sureté de fonctionnement :

La sureté de fonctionnement du mécanisme de l'installation de forage est déterminée par le nombre de panne de l'équipement, qui se produisent pendant une période fixée ou un cycle de forage d'un puits, par le temps de fonctionnement sûr de l'équipement sans intervention de personnel, c'est-à-dire par le temps moyen qui s'écoule entre deux pannes survenues durant un délai total de service du mécanisme d'entraînement.

I.4.2.3.La longévité :

La longévité est déterminée par le temps (pour les moteurs à combustion interne, par le potentiel) pendant lequel le mécanisme d'entraînement peut fonctionner sans grosses réparations.

I.4.2.4. La masse et l'efficacité économique :

La masse relative de moteur ou la masse tombant sur 1 KW exerce une influence sur la mobilité de l'installation de forage varie de 2 à 15 Kg pour 1 KW, la pratique du forage montre que pour l'installation de forage lourdes et puissantes, il est plus rationnel d'employer les moteurs avec une masse de 6 à 12 Kg pur 1 KW.

L'efficacité économique des mécanismes d'entraînement des installations de forage munies de moteurs de différents types est déterminée aux bases des données reçues lors de l'exploitation ou des essais industrielles des installations de forage ; il dépend de la consommation de combustible ou de l'énergie, des lubrifiants, du prix de ceux-ci, du coefficient d'utilisation de la puissance des moteurs primaires, des dépenses pour l'entretien, le service, le transport, le montage et le démontage des mécanismes d'entraînement de l'installation de forage.

I.4.3. Régime de fonctionnement de groupe de force :

Le choix de la puissance, du type et la quantité de moteurs, du procédés du transport d'énergie et du schéma de montage de tout de groupe dépend du caractère de la variation des charges de régime. L'utilisation de la puissance des mécanismes exécutifs au cours de forage de puits ,les caractéristique des moteurs et les moyens d'adaptation artificielle au fonctionnement commun avec les moteurs dépendant de système et la technologie de forage .

Pendant l'opération de forage, la puissance des moteurs établis n'est pas consommée complètement .La quantité de puissance et d'énergie consommées dépend de la profondeur, du diamètre du puits, du système de forage, du type de l'installation de forage et du régime de fonctionnement.

Il existe trois régimes de fonctionnement des mécanismes d'entraînement :

1. Régime de sollicitation exceptionnelle de courte durée avec l'utilisation de puissance maximal des moteurs (travaux de dépannage).
2. Régimes de charges réitératives de courte durée, employées au cours d'opération de montée et de descente des colonnes de forage à une consommation de 80 % de la puissance maximal des moteurs.
3. Régime de longue durée utilisé pour l'entraînement de la table de rotation et pour le pompage de liquide de forage a une consommation de 70 % au plus de la puissance maximale des moteurs.

II.1. Description organique du moteur Caterpillar :

A. Les organes fixes :

1. Le bloc cylindre :

C'est la pièce maîtresse de moteur. Il est 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.

Le bloc cylindre doit remplir plusieurs fonctions :

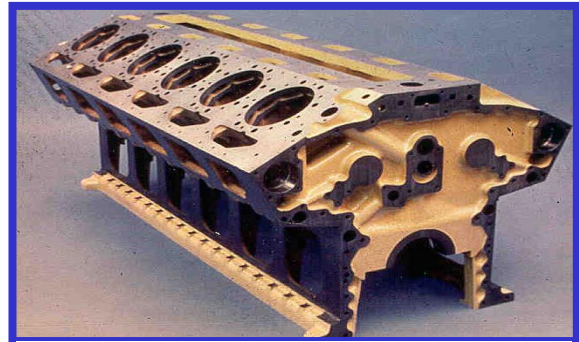


Fig. II.1: Bloc moteur V 12.

- 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...

2. Culasse :

Disposé à l'extrémité supérieure du cylindre, elle ferme le cylindre et constitue la chambre de combustion. Elle comporte les éléments de distribution, l'injecteur, les conduits d'admission et d'échappement. Très fortement sollicitée de point de vue thermique, des chambres d'eau sont nécessaires à son refroidissement.

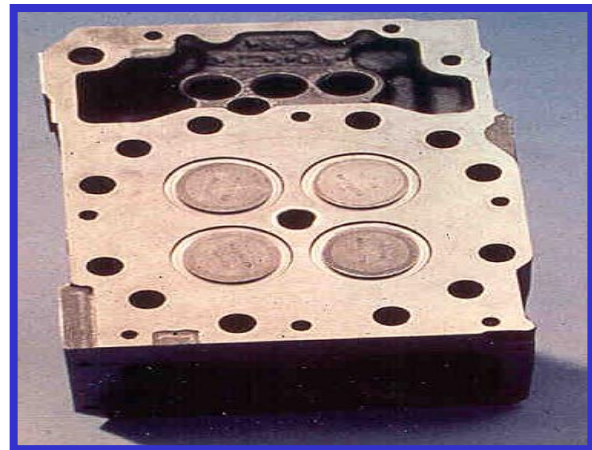


Fig.II.2.a : Culasse en fonte.

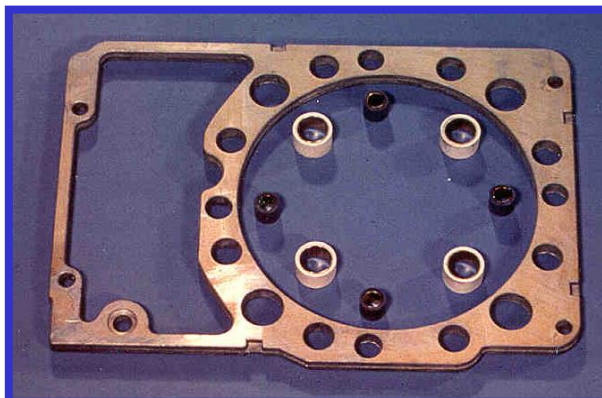


Fig.II.2.b : Plaque de culasse.

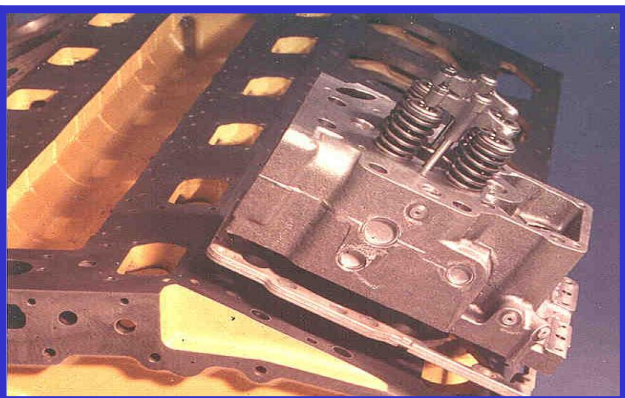


Fig.II.2.c : Montage de culasse sur le moteur.

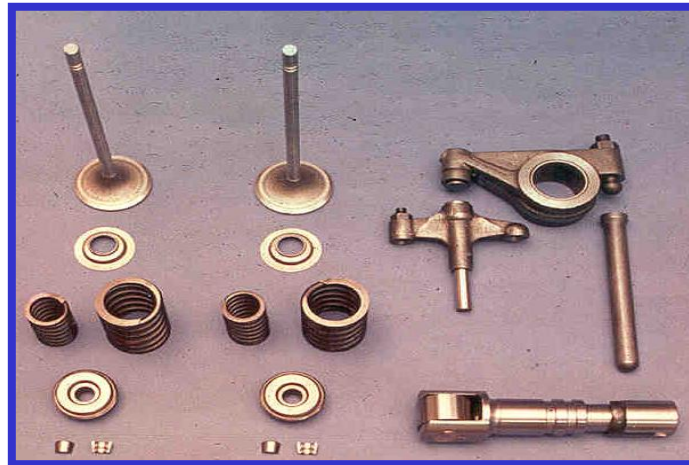


Fig.II.3 : Equipement de culasse.

3. 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.

4. Les carters :

Supérieur, inférieur, ou de distributions, réalisées en tôle emboutie ou moulés en alliage léger. Ils constituent des caches ou des couvercles qui ferment les différentes faces du moteur.

B. 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.

1. Le piston :

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



Fig.II.4.a : Piston monobloc acier, segment coup de feu, segment d'étanchéité, segment racleur, l'axe du piston.

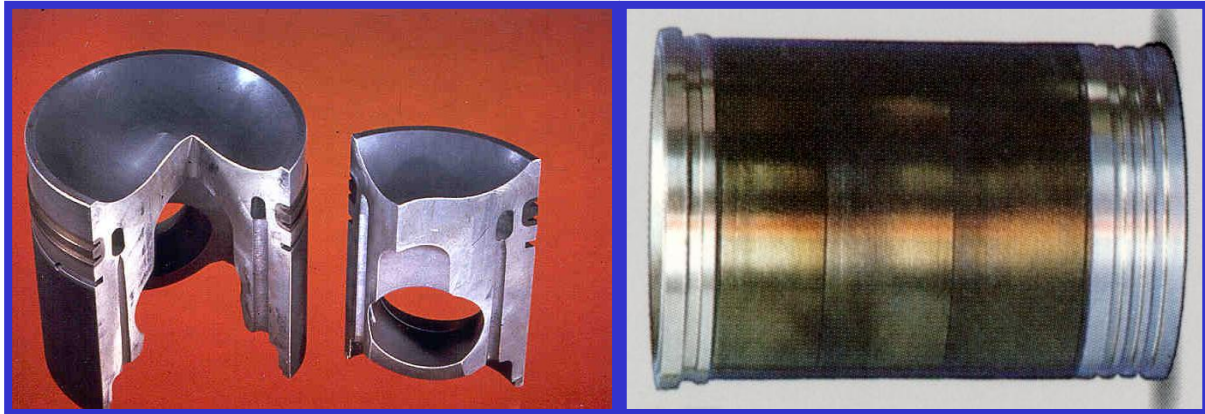


Fig.II.4.b : Piston refroidi par jet d'huile.

Fig.II.5 : Chemise en fonte GS centrifuge.

2. La bielle :

La bielle assure la liaison mécanique entre le piston animé d'un mouvement rectiligne, et le vilebrequin doté d'un mouvement de rotation. Réalisée en acier, elle doit pouvoir résister à des efforts de compression très élevés. 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. La bielle comporte trois parties essentielles :

- Le pied articulé sur l'axe de piston ;
- La tête articulée sur le maneton du vilebrequin ;
- Le corps qui transmet les efforts entre les articulations.



Fig.II.6 : Bielle profil H en acier forge.

3. Les coussinets :

Constitués de demi coquilles démontables, recouvert d'une couche de métal antifriction, ils réalisent les contacts entre le palier du vilebrequin et la tête de la bielle.

4. L'arbre moteur :

Constitué du vilebrequin et de volant moteur, il transmet sous la forme d'un couple l'énergie développée lors de la combustion. La régularisation du fonctionnement du moteur l'équilibrage de la rotation du vilebrequin est réalisé par le volant moteur. Le vilebrequin est réalisé avec un soin tout

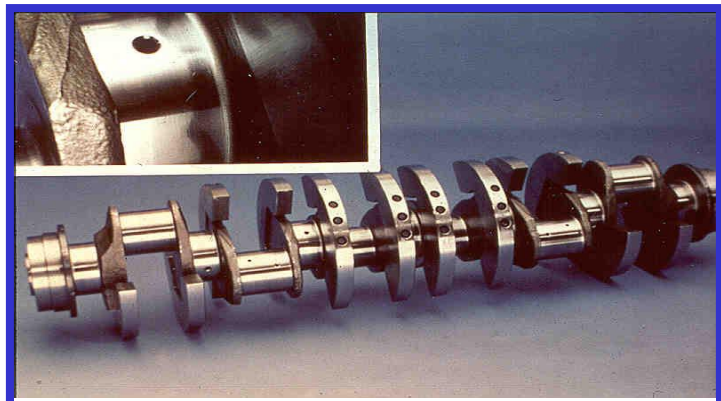


Fig.II.7 : Vilebrequin de moteur V 12.

particulier, acier au nickel chrome, usinage de précision des parties tournantes, traitements thermiques, équilibrage, font que le vilebrequin, pièce maîtresse du moteur, en constitue l'un des éléments les plus onéreux.

Parmi les éléments principaux du vilebrequin on distingue :

- Les tourillons qui permettent à l'arbre de reposer sur les paliers de carter ;
- Les manetons sur lesquels s'articulent les bielles.

5. L'arbre à cames :

Il est entraîné par le vilebrequin et doté d'autant de cames que des soupapes. Selon la conception de la distribution, son emplacement au sein du moteur varie. La solution la plus répandue sur les moteurs de grandes puissances est la distribution culbutée.



Fig.II.8 : Arbre à cames.

L'arbre à came se situe dans le bloc et son entraînement est assuré par un ensemble de pignons dont le rapport de multiplication est d'un demi ($1/2$). La liaison arbre à cames soupapes est assurée par un ensemble de poussoirs, de tiges de culbuteurs et culbuteurs. Des ressorts hélicoïdaux, logés autour des soupapes, referment automatiquement celles-ci, quand la pression communiquée par les cames de l'arbre à cames cesse.

Lorsque l'arbre à cames se situe dans la culasse, il est dit en tête. Cette solution, permet de diminuer le nombre d'éléments donc d'alléger le système de distribution, les poussoirs, les tiges de culbuteurs, les culbuteurs. La liaison arbre à cames vilebrequin est alors réalisée par une courroie crantée.

Cette conception de distribution moderne bénéficie de plusieurs avantages :

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

6. 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.

7. 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.12 Etude des circuits et les systèmes :**A. Circuit d'air et d'échappement :**

Ces circuits comprennent (fig. II. 9) :

- 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.

❖ 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.

❖ 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.

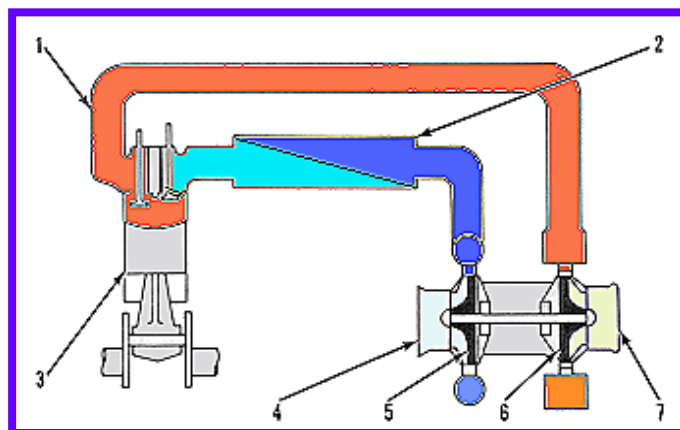


Fig.II.9.a

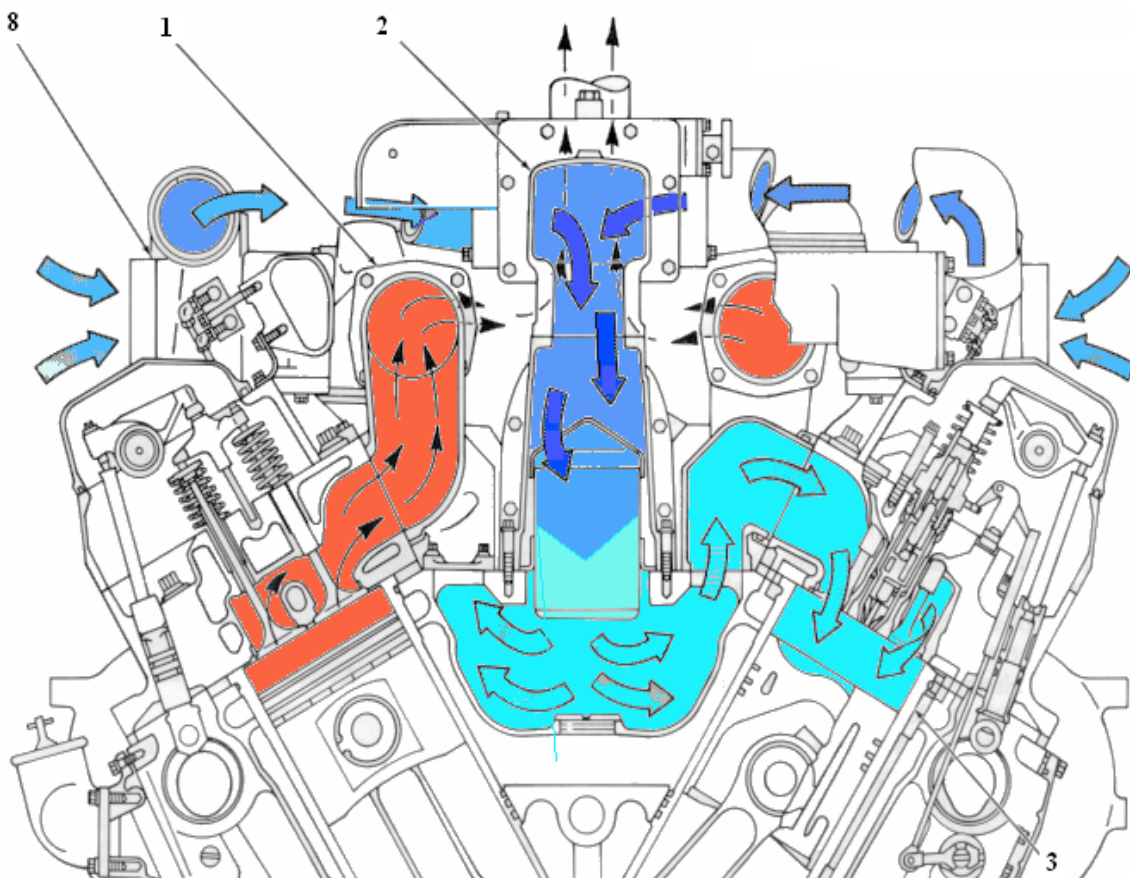


Fig. II.9/9.a : Circuit d'air et suralimentation.

1. Collecteur d'échappement ;
2. Réfrigérant d'air de suralimentation ;
3. Unité cylindre ;
4. Aspiration d'air compresseur ;
5. Rouet de compresseur ;
6. Rouet de turbine ;
7. Sortie des gaz turbine ;
8. Turbo chargeur.

❖ **Turbo compresseur :**

Un moteur à aspiration naturelle ne peut aspirer que 80% de sa cylindrée en air, ce qui limite la masse d'air introduite.

Sachant que la puissance est fonction de la quantité de combustible injecté et que cette quantité est limitée par la masse d'air introduite, la suralimentation et le refroidissement de cet air permettront d'augmenter la puissance.

Les moteurs CAT sont équipés de turbocompresseurs à paliers lisses graissés par l'huile du moteur.

Le refroidissement de l'air comprimé est assuré par des échangeurs air/eau du type tubulaire.

Le turbo compresseur est situé à l'arrière droit du moteur, sur les tubes transversaux des deux collecteurs d'échappement.

- **Le dispositif de suralimentation :**

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

- **Cette suralimentation permet :**

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

Le turbocompresseur utilise l'énergie des gaz d'échappements. Ce transfert d'énergie est réalisé par un ensemble de deux turbines. La turbine d'entraînement, actionnée par les gaz d'échappements à leur sortie du moteur entraîne la turbine de suralimentation. Celle-ci aspire l'air de l'extérieur et le refoule en amont de la soupape d'admission. Cet ensemble dont la vitesse de rotation est très élevée, nécessite un graissage sous pression d'huile. La pression de suralimentation nécessite une diminution du rapport volumétrique.

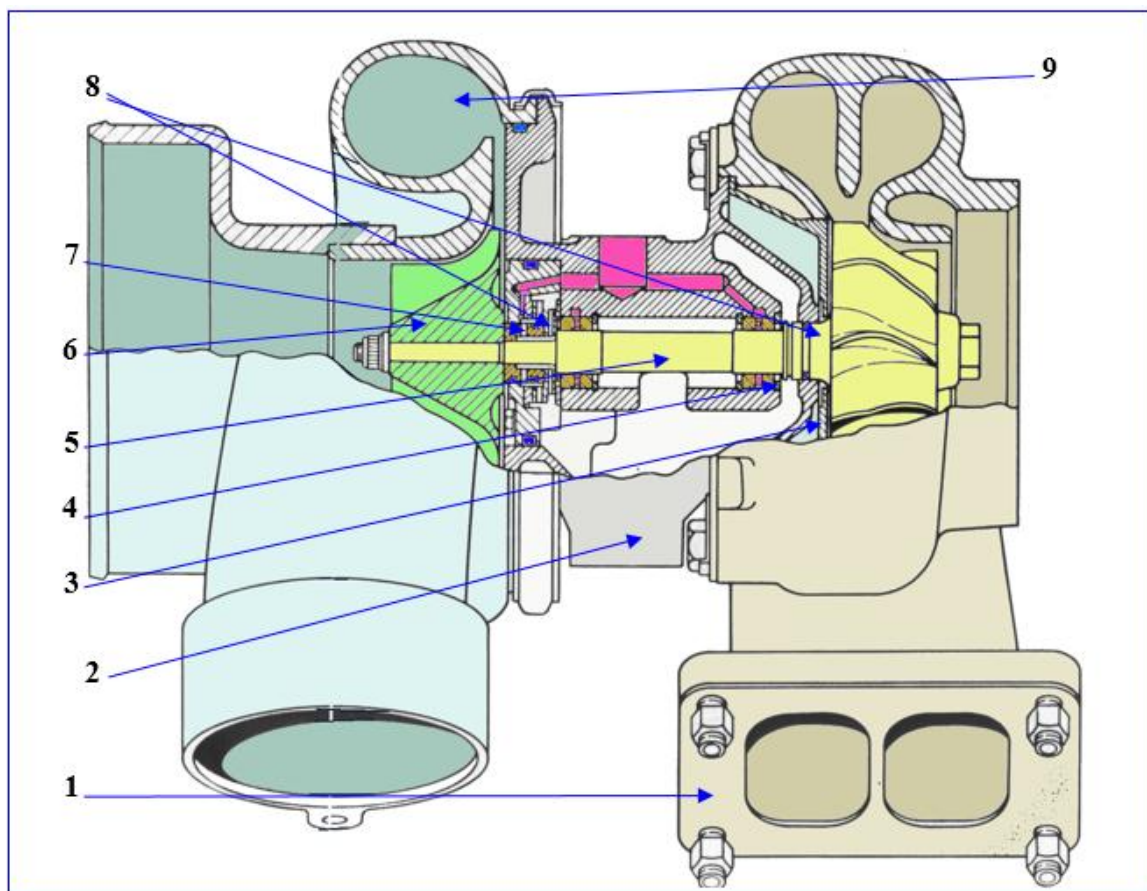


Fig.II.10 : Turbocompresseur.

1. Volute de turbine ;
2. Carter palier ;
3. Ecran thermique ;
4. Bague de palier ;
5. Ensemble arbre turbine ;
6. Roue de compresseur ;
7. Bague de butée ;
8. Segments d'étanchéité ;
9. Volute de compresseur.

B. Circuit de gas-oil :

Ce circuit comprend (fig.II.11) :

- Un réservoir ou une citerne de fuel ;
- Une pompe d'alimentation (transfert) ;
- Une pompe de gavage (amorçage) ;
- Des filtres à gas-oil ;
- Des tubulures d'alimentation des injecteurs ;
- Des tubulures de retour de gas-oil ;
- Des injecteurs pompes ;
- Un circuit d'alimentation à basse pression (de pompe de gas-oil vers l'injecteur pompe) ;
- Un circuit d'alimentation à haute pression (de l'injecteur pompe vers la chambre de combustion) ;
- Un circuit de purge d'air ;
- Une soupape de maintien de pression de gas-oil.

❖ Circuit du gas-oil dans le moteur :

La pompe à gas-oil de transfert « 7 » aspire du gas-oil de la citerne en passant par un filtre primaire. Puis ce gas-oil est refoulé directement vers le filtre principal « 3 » et vers les deux tubulures « 1 » d'alimentation.

Chaque tubulure à deux passages. Le gas-oil circulant à travers le passage supérieur est celui d'admission qui alimente chaque injecteur-pompe par une conduite « 14 » et par la chambre annulaire « 15 » se trouvant dans la culasse.

La chambre annulaire pratiquée dans la culasse communique avec l'orifice d'admission de l'injecteur-pompe « 4 ».

Le mouvement de va et vient de l'injecteur-pompe aspire et force le gas-oil jusqu'à la pression d'injection. Quand l'injection de gas-oil est terminée, le restant du gas-oil dans l'injecteur refroidit les pièces internes de l'injecteur, puis retourne par la conduite de retour « 13 » (conduite de retour inférieure se trouvant juste au-dessous de la tubulure d'alimentation.

Le gas-oil acheminant le retour depuis les injecteurs traverse une soupape régulatrice de pression « 5 » qui est montée sur le bout avant de la tubulure de retour droite. Cette soupape régulatrice maintient une pression entre 4,14 et 4,5bars. Puis le gas-oil sort et retourne vers la citerne en passant par un refroidisseur à air. Un petit orifice relie l'entrée et la sortie du gas-oil pour créer un siphon au moment du changement des filtres, cela a pour conséquence de réduire le besoin de purge après le remplacement des éléments filtrants.

1. Tubulures d'alimentation ;
2. Pompe primaire du gas-oil ;
3. Filtre principale à gas-oil ;
4. Injecteur pompe ;
5. Soupape régulatrice de pression ;
6. Retour du gas-oil au réservoir ;
7. Pompe à gas-oil ;
8. l'arrivée du gas-oil de réservoir vers la pompe à gas-oil ;
9. Tubulure de sortie du gas-oil ;
- 13 Tubulure d'entrée du gas-oil ;
- 14 Chambre annulaire ;
- 15 Culasse ;
- 16 Cylindre.

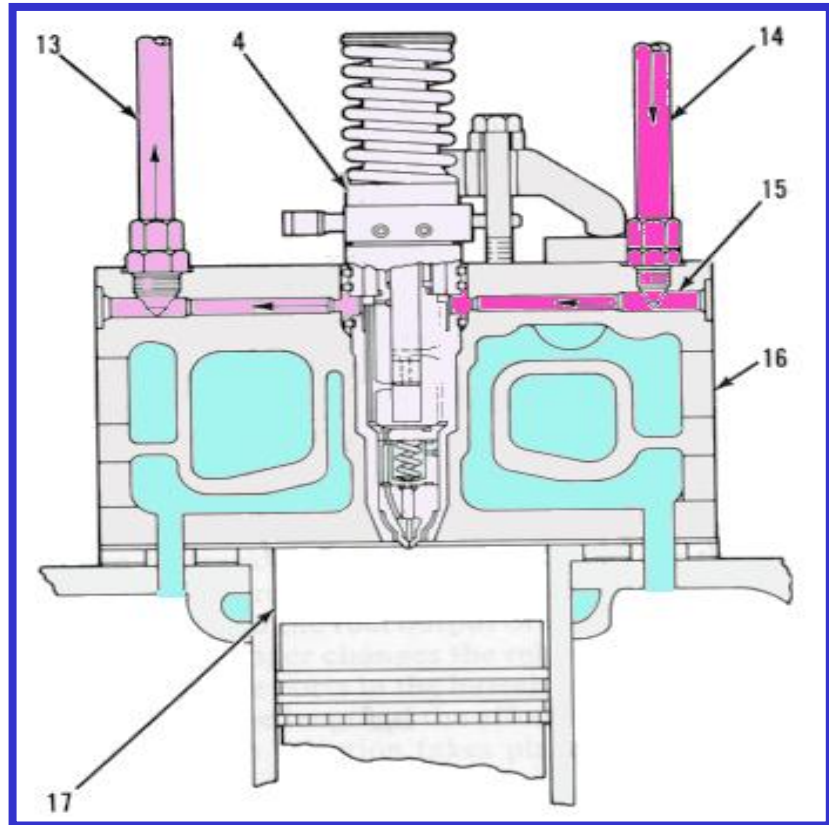


Fig.II.11.a

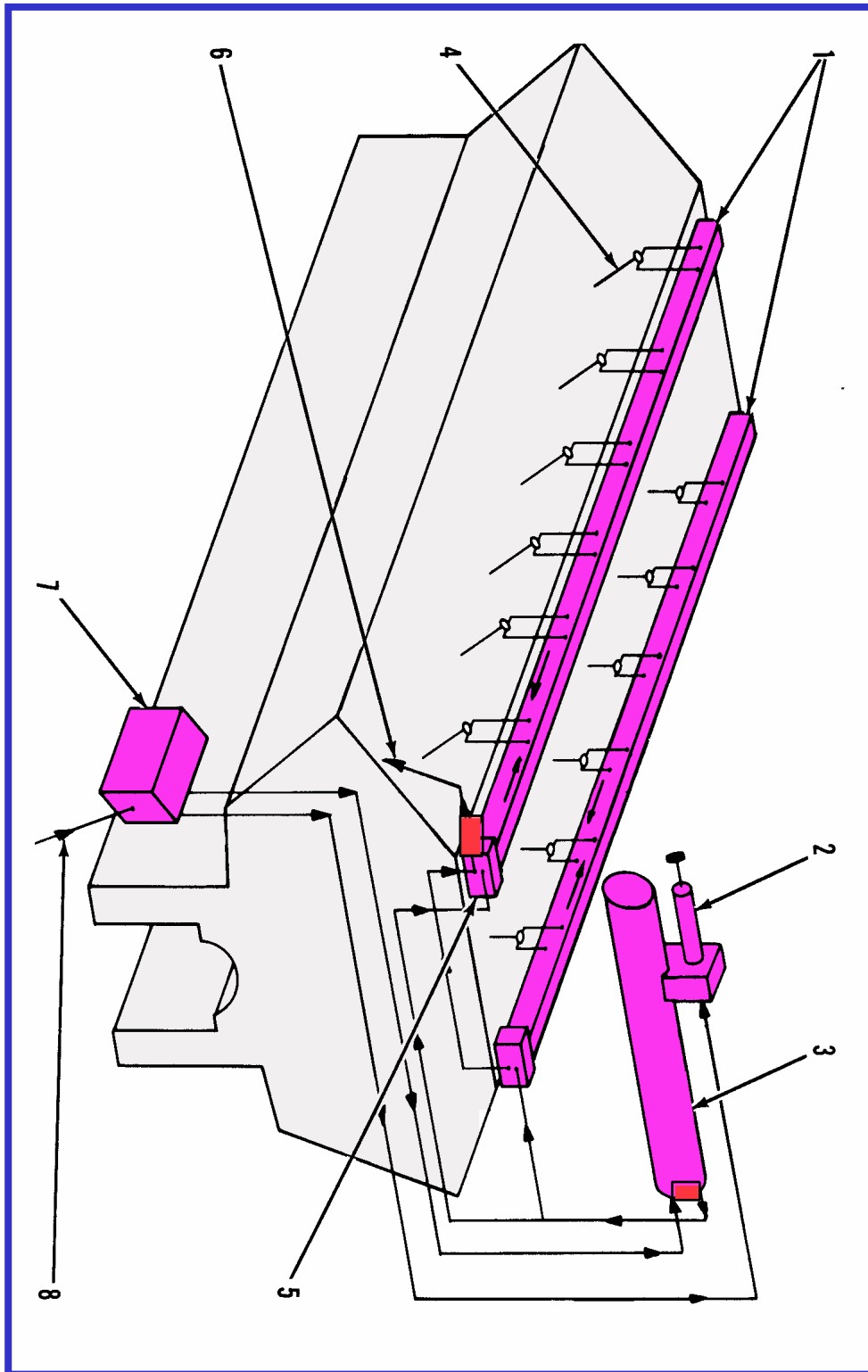


Fig.II.11./11.a : Circuit de gas-oil.

C. Système d'injection (fig. II. 12) :

Le carburant refoulé à haute pression par la pompe est injecté dans la chambre de combustion du moteur par l'injecteur. L'injecteur comprend le corps et l'aiguille d'injecteur. Ils sont appariés l'un par rapport à l'autre à un ajustement fin (de 2 à 4 μm) ; c'est pourquoi ils ne doivent être utilisés que comme unité complète. A l'aide d'une porte injecteur, l'injecteur est

monté dans la culasse du moteur. Les injecteurs utilisés sur les moteurs CAT sont principalement « à trou »

L'équipement d'injection sert à injecter le carburant à la quantité exactement dosée et à un moment bien déterminé.

La pompe d'injection engendre la pression nécessaire à l'injection du carburant et elle conduit le carburant aux cylindres correspondants du moteur Diesel. Les processus de combustion dans le moteur Diesel dépendent grandement de la quantité et de la manière dont le carburant est conduit au moteur.

- Voici les critères les plus importants :
 - le moment où le carburant est injecté.
 - la durée de l'injection du carburant.
 - la répartition du carburant dans la chambre de combustion.
 - le moment du début de la combustion
 - la quantité de carburant amenée par degré de rotation de vilebrequin
 - la quantité totale de carburant amené en fonction de la charge du moteur.

Ces conditions doivent être remplies d'une manière optimale pour assurer le fonctionnement parfait du moteur Diesel.

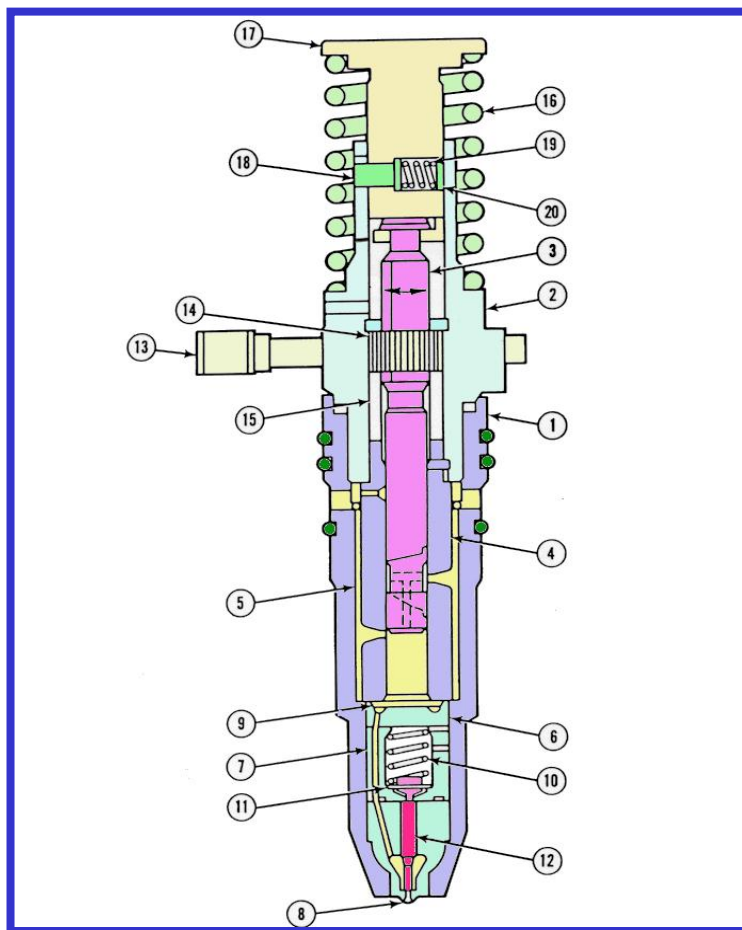


Fig.II.12 :Injecteur pompe.

1. Écrou ;
2. Corps de pompe ;
3. Piston plongeur ;
4. Cylindre ;
5. Conduit basse pression ;
6. Logement de soupape de refoulement ;
7. Logement de ressort ;
8. Pointe d'injecteur ;
9. Soupape de refoulement ;
10. Ressort ;
11. Siège ;
12. Aiguille d'injecteur ;
13. Crémaillère ;
14. Segment denté ;
15. Bride de maintien ;
16. Ressort de pompe ;
17. Poussoir de pompe ;
18. Pion de guidage ;
19. Ressort ;
20. Rondelle de butée ;

D. Circuit de refroidissement à eau : Ce circuit comprend (fig. II. 13) :

- Un bloc- moteur ;
- Douze culasses, une pour chaque cylindre ;
- Une pompe à eau ;
- Un refroidisseur d'huile ;
- Un refroidisseur d'air ;
- Une tubulure de retour d'eau ;
- Un boîtier des thermostats ;
- Une conduite de by-pass ;
- Des conduites d'eau ;
- Un Radiateur.

❖ **Circulation d'eau dans le moteur :**

La pompe à eau « 1 » aspire de l'eau du radiateur à travers la conduite reliant le radiateur allant jusqu'au centre de la pompe à eau.

La pompe à eau fournit un débit de 1520 l/mn sous une pression de 37 Psi environ. Le débit d'eau de refroidissement est divisé à la sortie de la pompe en deux parties différentes.

Une partie du débit de 570 l/mn est envoyée vers le refroidisseur d'air « 7 » et l'autre partie de 950 l/mn est envoyée vers le refroidissement d'huile « 3 ». L'eau traverse le refroidisseur d'huile et sort à travers un coude qui est relié à l'arrière du bloc-moteur tout près du vé du moteur.

L'eau sortant du coude entre dans la tubulure principale de distribution du côté du cylindre arrière droit.

L'eau traversant le refroidisseur d'air s'écoule du côté arrière de la tubulure principale de distribution. Ces deux liquides se mélangent et vont ensemble à travers la tubulure principale de distribution pour alimenter les chambres des chemises.

L'eau entre par le bas, et circule autour des chemises du bas vers le haut. Dans le haut des chemises, là où la température est la plus élevée, ces chambres d'eau dans cette zone sont plus étroites, cela a pour conséquence d'avoir une vitesse d'écoulement d'eau plus importante.

L'eau du haut des chemises entre dans la culasse, circule d'abord autour des endroits les plus chauds, puis s'écoule par ces tuyaux coudés dans la tubulure de retour « 6 ». L'eau se dirige vers le boîtier des thermostats « 8 ».

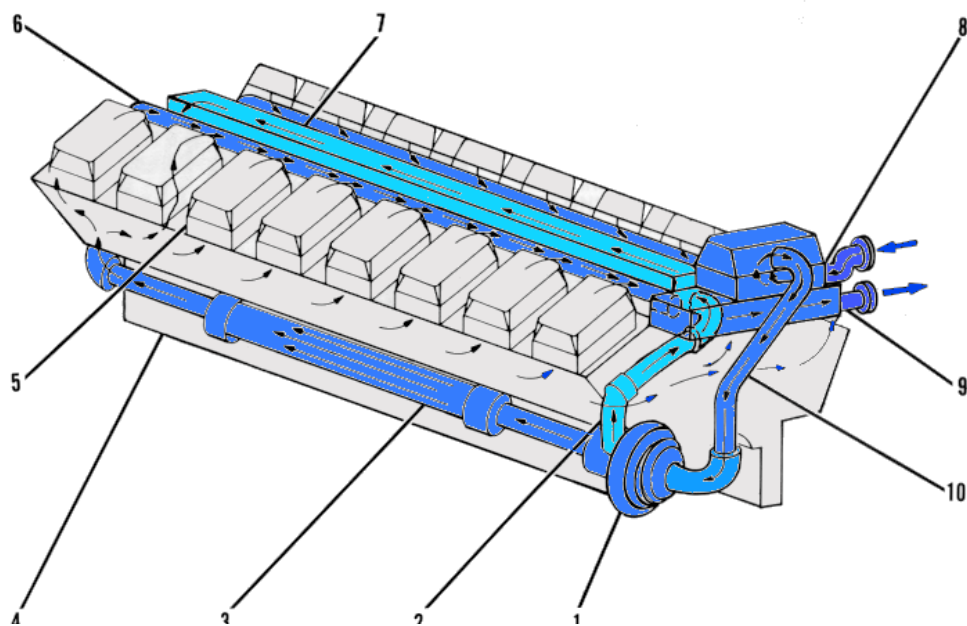


Fig.II.13 : Circuit de refroidissement de l'eau.

• **Les coordonnées du schéma de circuit refroidissement de l'eau:**

1. Pompe à eau ;
2. Conduite d'eau ;
3. Réfrigérant d'huile ;
4. Bloc cylindre ;
5. Culasse ;
6. Tubulure de retour (conduite où l'eau chaude est envoyée vers le boîtier de thermostat) ;
7. Refroidisseur d'air ;
8. boîtier des thermostats ;
9. By pass ;
10. Conduite de retour d'eau.

E. Circuit de lubrification :

Ce circuit comprend (fig.II.14 et 15) :

- Un carter d'huile ;
- Une pompe à huile et son clapet de décharge ;
- Une crépine logée dans le carter d'huile ;
- Un boîtier des filtres et ses éléments filtrants ;
- Un refroidisseur d'huile avec sa soupape de dérivation ;
- Des tubulures principales, des orifices d'huile et des conduites d'huile.

F. Circulation d'huile dans le moteur CAT 3512 :

La pompe à huile aspire de l'huile du carter à travers une crépine « 16 » et à travers le coude « 15 ». La crépine est équipée d'un tamis pour filtrer l'aspiration d'huile du carter.

La pompe à huile refoule de l'huile vers le refroidisseur d'huile « 11 », cette huile entre et sort vers les filtres à huile « 17 ».

L'huile refroidie et filtrée est envoyée vers le coude « 9 ». Cette huile entre dans la tubulure « 1 » et « 2 ». La tubulure « 2 » assure la lubrification des tourillons et des bagues de l'arbre à cames gauche.

La tubulure « 5 » assure la lubrification des tourillons et des bagues de l'arbre à cames droit. 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 culbutrice et les trois culbuteurs. L'huile s'écoulant par les trois extrémités des trois culbuteurs lubrifie les ressorts des soupapes et les ressorts des injecteurs.

La tubulure principale « 1 » qui est située dans le vif du moteur assure la lubrification des coussinets et des tourillons de vilebrequin par l'intermédiaire des perçages verticaux de chaque paliers.

Les manetons et les coussinets de bielles sont lubrifiés à partir des perçages obliques pratiqués sur chaque tourillon du vilebrequin.

Les soupapes des séquences sont alimentées à partir de la tubulure principale « 1 » pour lubrifier par jet les pistons.

La soupape de séquence « 7 » est montée à l'arrière du moteur et la soupape de séquence « 8 » est montée à l'avant du moteur.

Les deux tubulures « 3 » et « 4 » 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.

- **Les coordonnées du schéma de circuit de lubrification :**

1. Conduit de lubrification des coussinets, et des tourillons de vilebrequin ;
2. Conduit de lubrification des tourillons, bagues de l'arbre à cames à gauche ;
- 3, 4. Conduit de lubrification des pistons par jet d'huile ;
5. Conduit de lubrification des tourillons, bagues de l'arbre à cames à droite ;
6. Conduit pour le graissage de turbo ;
7. Soupape de séquence à l'arrière du moteur ;
8. Soupape de séquence à l'avant du moteur ;
9. Entrée de l'huile au block pour la lubrification des différents organes ;
10. Filtre pour empêcher les parties solides ;
11. Refroidisseur d'huile ;
12. Sorte d'huile de refroidisseur d'huile ;
13. Arbre d'entraînement ;
14. Pompe à huile ;
15. Conduite d'entrée de pompe à huile ;
16. Entrée d'huile dans la pompe ;
17. Filtre à huile.

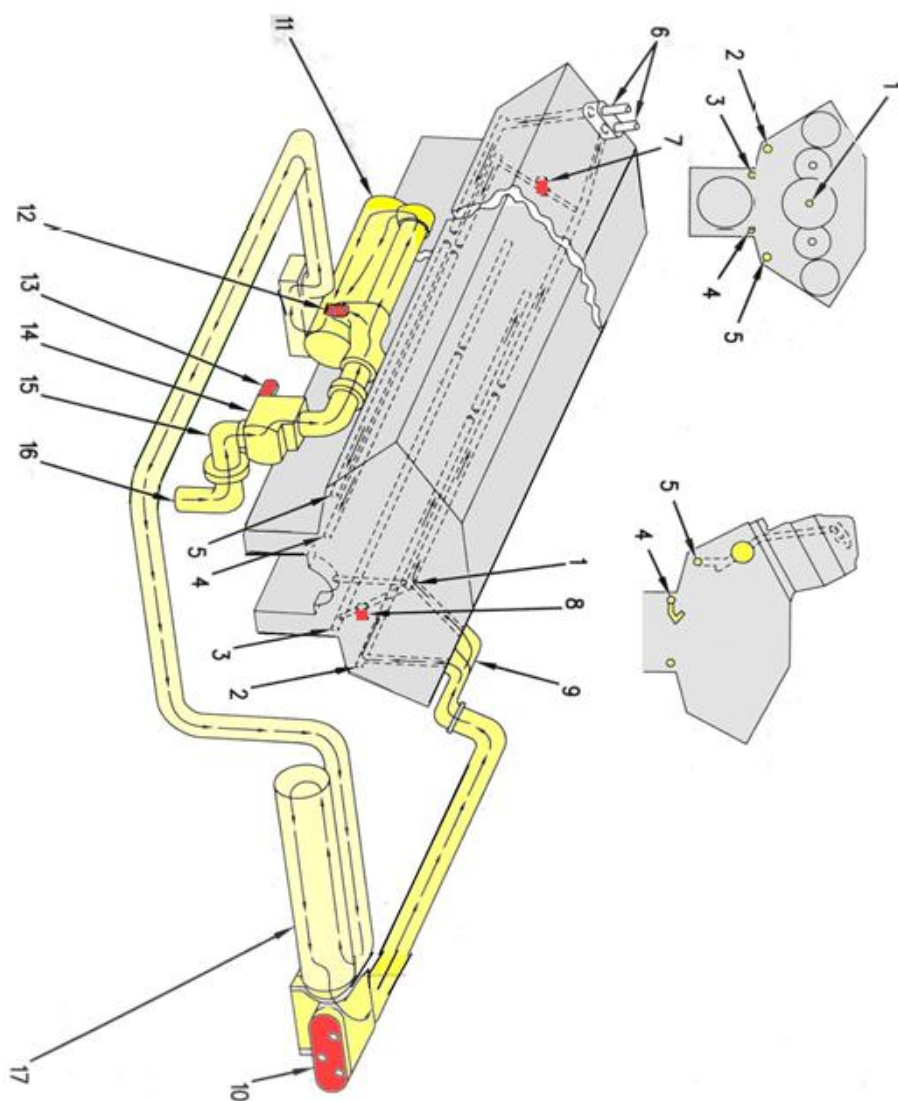


Fig.14.

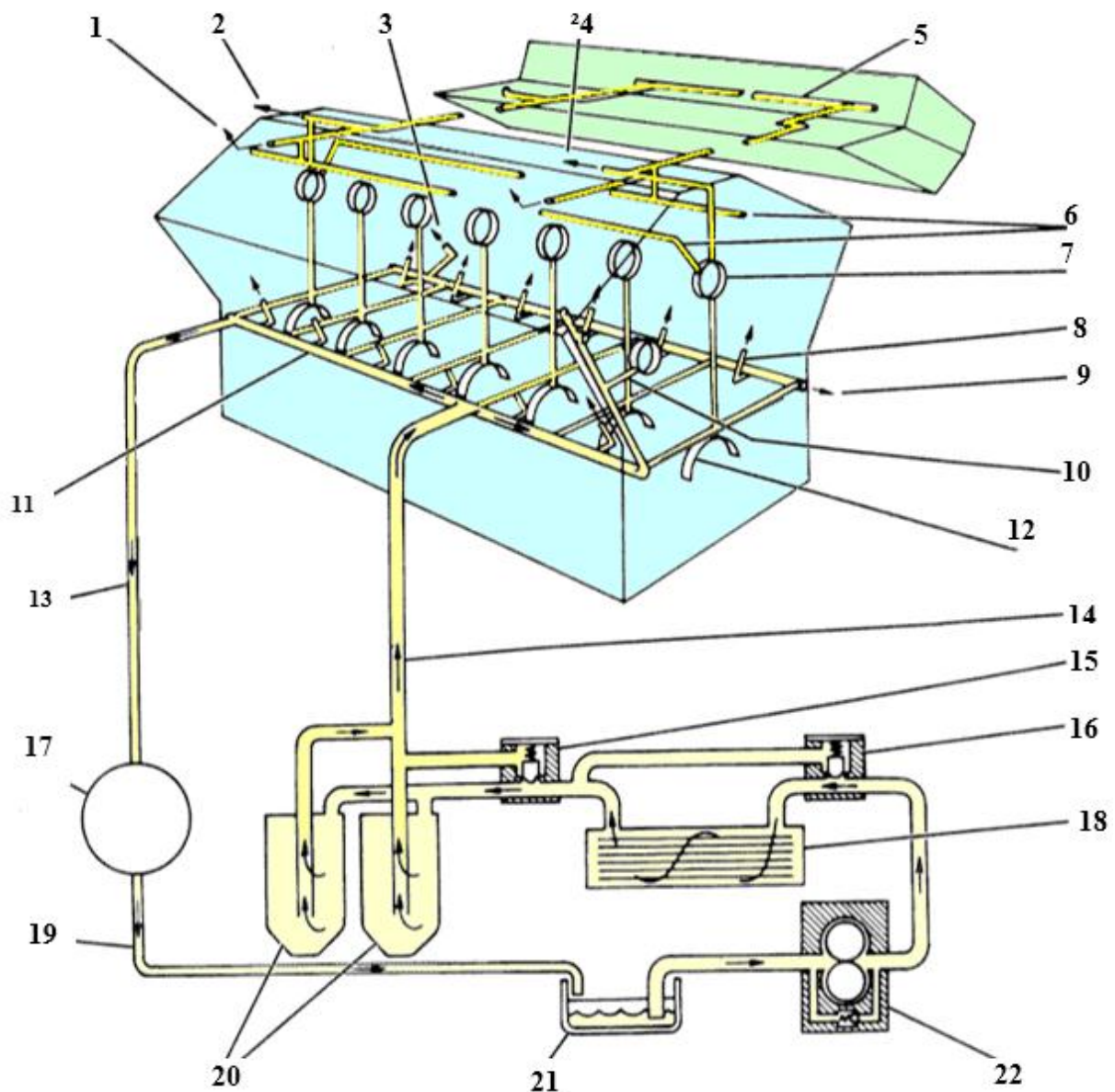


Fig.II.14.15 : Circuit de lubrification.

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 turbocompresseur ;
14. Arrivée principale vers collecteur ;
15. Clapet de colmatage filtres ;
16. Clapet de colmatage réfrigérant d'huile ;
17. Turbocompresseur ;
18. Retour d'huile turbocompresseur ;
19. Filtres à huile ;
20. Carter d'huile ;
21. Pompe à huile et clapet de régulation de pression.

G. Equipement de démarrage :

Il existe deux types :

1. Démarrage pneumatique :

Le moteur démarre à l'aide d'un démarreur a air comprime. Par l'intermédiaire d'un filtre, l'air comprime arrive dans la soupape a bouton poussoir et la soupape de démarrage principale.

2. Démarrage électrique :

Actuellement et le plus utilise et se compose de :

- Un interrupteur de sécurité pour débrancher la batterie appelée interrupteur maitre. Un relais sensible qui ouvre automatiquement le circuit de démarrage lorsque le moteur fonctionne.

II-1-3 Témoins et instruments :

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.

• Pression 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.

• Pression différentielle du filtre à l'huile :

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

- **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.

- **Température 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.

- **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.

- **Pyromètre :**

Le pyromètre indique la température du tuyau d'échappement au niveau des coudes. Sur les moteurs avec deux tuyaux d'échappement, la température du tuyau pourra varier légèrement en raison d'une sensibilité différente des deux thermocouples. 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.

- **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.

- **Compteur d'entretien :**

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

- **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.

- **Pression 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.

- **Pression 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).

- **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.

- **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.

- **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.

- **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.

II.2 Cycle thermodynamique :

II.2.1 Cycle à quatre temps de moteur Diesel :

A. Cycle théorique

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

Les quatre temps correspondent à une rotation de vilebrequin égale à 720°, soit deux tours de vilebrequin.

- ❖ **Cycle 4 temps diesel :**

- **1^{er} temps : Admission (SA ouverte ; SE fermée)**

Le piston est au PMH et va se déplacer vers PMB aspirant de l'air frais pour remplir le cylindre ; c'est la course d'aspiration qui dure depuis le PMH jusqu'au PMB soit ½ tour de vilebrequin qui est égale à 180°. Cette évolution a lieu à la pression atmosphérique (1,01325bars).

- **2^{ème} temps : Compression : (SA fermée ; SE fermée)**

Le piston se déplaçant de PMB vers PMH comprime l'air frais qui se trouve emprisonner dans le cylindre à une pression de l'ordre de 35 à 40 bars ce qui le porte à une température voisine de 500 à 600°C.

- **3^{ème} temps : - Injection – Combustion – Détente (SA fermée ; SE fermée)**

Le piston est au PMH, l'air comprimé puis porté à haute température, on injecte de gas-oil finement pulvérisé dans la chambre de combustion. La pression d'injection doit être supérieure à la pression régnant alors dans le cylindre pour permettre l'introduction de combustible.

La pression varie suivant le type de moteur qui est entre 80 et 250 bars et même plus dans certains moteurs Diesel marins. L'injection est progressive et dure 15/100 environ de la course du piston soit 25° à 30° de rotation de vilebrequin.

Au contact de l'air comprimé à température élevée, le combustible s'enflamme de lui-même. La température d'inflammation du gas-oil étant voisine de 300°C , donc inférieure à celle de l'air contenu dans le cylindre.

Il s'enflamme spontanément à mesure qu'il est injecté. Néanmoins, un certain temps mesurable s'écoule entre le début de l'injection et le début de combustion. Cet intervalle est connu sous le nom de « délai d'allumage ».

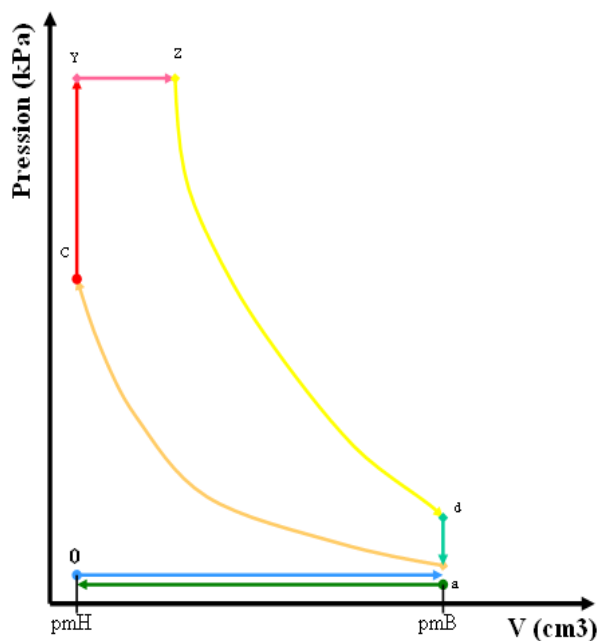
Les gaz augmentent de volume, leur détente chasse le piston vers le PMB. Le vilebrequin reçoit de l'énergie durant toute cette course : **c'est le temps moteur**.

Au moment de la combustion la pression des gaz atteint 50 à 100 bars ; la température est alors de l'ordre de 1800 à 2000°C .

- **4^{ème} temps : Echappement (SA fermée ; SE ouverte)**

La soupape d'échappement s'ouvre, il s'ensuit une retombée instantanée de pression ensuite les gaz brûlés sont chassés par le piston qui remonte vers le PMH. La température est tombée à 500°C environ, la soupape d'admission s'ouvre et le cycle recommence.

Diagramme mixte:



Phases de transformation :

o-a : Admission d'air frais.

a-c : Compression de l'air.

c-y : Injection et allumage du combustible à $V = cst$.

y-z : Injection/combustion/détente à $P = cst$.

z-d : Détente.

d-a : Échappement.

a-o : Échappement.

Fig.II.16 : Cycle mixte théorique 4 temps suralimenté.

❖ Cycle à deux temps :

Le cycle se fait en deux temps, grâce à la disposition particulière des lumières d'admission et d'échappement du fluide, qui permet de superposer les temps d'échappement et d'admission sur les temps : compression et moteur.

• 1^{er} temps :

Au début de première temps, le canal de transvasement de l'air du carter dans le cylindre et la lumière d'échappement sont obturés par le piston, la lumière d'admission est ouverte et le carter se remplit d'air du fait de la dépression créée par le piston.

Lorsque le piston descend, chassé par la combustion des gaz, il comprime l'air dans le carter à partir du moment où la lumière d'admission est obturée par le piston puis, découvre d'abord la lumière d'échappement, et ensuite la lumière de transvasement et chasse les gaz brûlés, c'est balayage.

• 2^{ème} temps :

L'échappement des gaz brûlés, poussés par l'air frais sous pression, continue puis le piston en remontant obture d'abord la lumière de transvasement, puis la lumière d'échappement, à partir de ce moment, il y a compression au-dessus du piston.

Vers la fin de la course ascendante, le piston découvre la lumière d'admission et le cycle recommence.

❖ Comparaison entre le moteur à 2 temps et à 4 temps :

Le cycle à quatre temps a un meilleur rendement que le cycle à deux temps mais à cylindrée égale il est moins performant.

De plus un moteur à quatre temps nécessite une distribution complexe (soupapes, arbres à cames...). Comme sur les quatre temps un seul temps et moteur (au moment de l'explosion) le piston fournit l'énergie mécanique une fois tous les 2 tours, il se produit alors des irrégularités au niveau du couple moteur.

• Avantage du moteur à 2 temps :

- Construction simple (suppression des soupapes et de l'arbre à cames).
- A vitesse de rotation identique, le moteur à 2 temps fournit une puissance plus élevée par rapport au quatre temps.
- Il y a un temps par tour de vilebrequin, donc l'équilibrage est meilleur et le volant peut être de dimension réduite.
- Le prix revient est faible.

• Inconvénient du moteur à 2 temps :

- L'évacuation des gaz brûlés n'est jamais complète.
- La dernière partie de détente est perdue par suite de l'ouverture de soupapes d'échappement.

- La consommation de carburant est plus importante à puissance égale.
- Possibilité d'échappement des gaz frais vers l'extérieure quand les orifices.

B . Cycle réel (fig. II-17) :

Pour obtenir un fonctionnement correct du moteur Diesel, les améliorations suivantes ont été apportées au cycle théorique.

- **1° Avance ouverte admission (AOA) :**

Pour permettre une meilleure évacuation des gaz brûlés, on donne de l'avance l'ouverture de la soupape d'admission, de façon à ce que l'air aspiré dans le cylindre chasse les gaz brûlés.

- **2° Retard fermeture admission (RFA) :**

On donne de retard à la soupape d'admission pour obtenir un meilleur remplissage de cylindre en air frais. En effet, l'air ayant acquis une certaine vitesse durant la course descendante du piston, continue de pénétrer dans le cylindre pendant le temps mort du piston quand il est au PMB.

- **3° Avance ouverture échappement (AOE) :**

A la fin de cycle de détente, il est bon d'avoir de l'avance à l'ouverture de la soupape d'échappement pour permettre une meilleure évacuation des gaz brûlés

- **4° Retard fermeture échappement (RFE) :**

Nous remarquons que ce retard correspond à quelque chose près à l'avance à l'ouverture de la soupape d'admission. En effet, les gaz frais pénétrant dans le cylindre chassent les gaz brûlés.

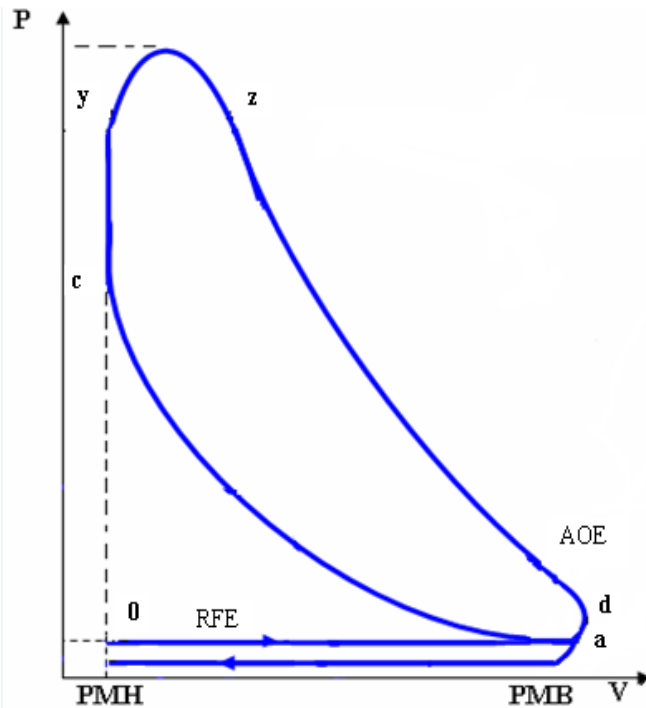


Fig.II.17 : Cycle réel d'un moteur diesel suralimenté.

Phases de transformation :

0-a : Admission.

a-c : Compression polytropique.

c-y : Combustion isochore.

y-z : Combustion isobare.

z-d : Détente polytropique.

d-a : Échappement.

a-o : Échappement.

C. Diagramme réel :

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

On a donc été ramené, sur le moteur diesel, à opérer comme sur le moteur à explosion un réglage de la distribution (AOA- RFA- AOE- RFE et AI).

On obtient ainsi le diagramme de la figure.

- 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 poly tropiques.
- La combustion n'est pas instantanée, ne commence pas au début du 3^{ème} temps pour remédier à cet état de choses on réalise une avance à l'injecte.

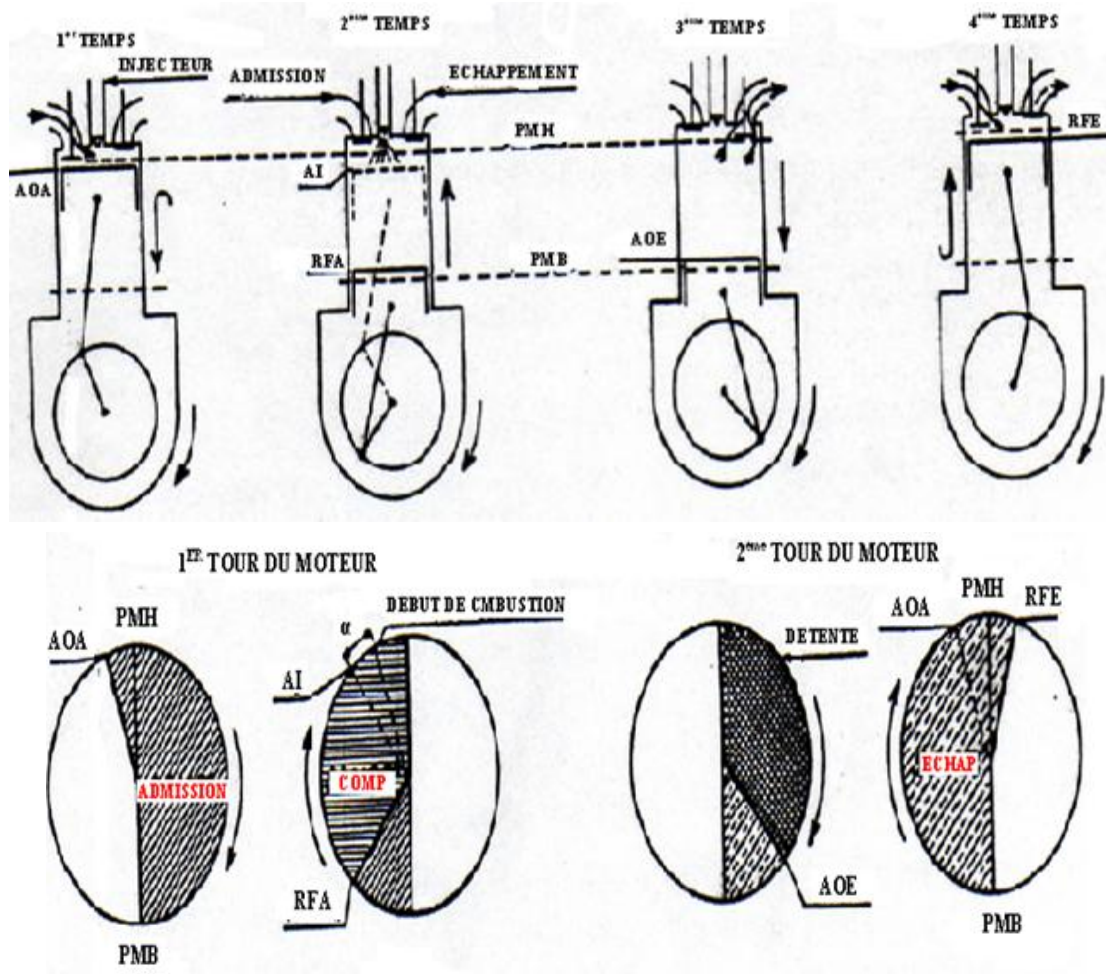


Fig.II.18 : Diagramme réel.

II.3. Système d'injection dans les moteurs CAT 3512 :

Introduction :

A Cause de l'importance de système d'injection dans le moteur Diesel, nous examinons dans ce chapitre les procédés et les différents éléments du mécanisme assurant la fonction "injection". L'injection a pour rôle d'assurer l'arrivée de combustible à la chambre de combustion avec une quantité nécessaire, pression importante dans un temps bien déterminé, et une distribution organisée. Il pour but aussi d'obtenir une combustion complète, Il existe deux procédés d'injection du combustible (injection à commande électronique, injection mécanique).

II.3.1 Injection à commande mécanique :

Le régulateur du moteur est de type centrifuge avec deux masselottes, il est entraîné par le moteur à l'aide d'une transmission, il est placé côte droit à l'avant du moteur.

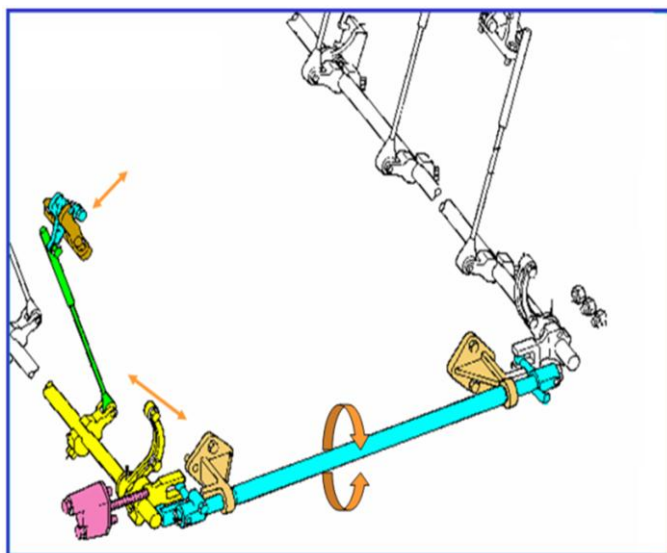
II.3.1.1 La précision de l'injection :

a) le temps :

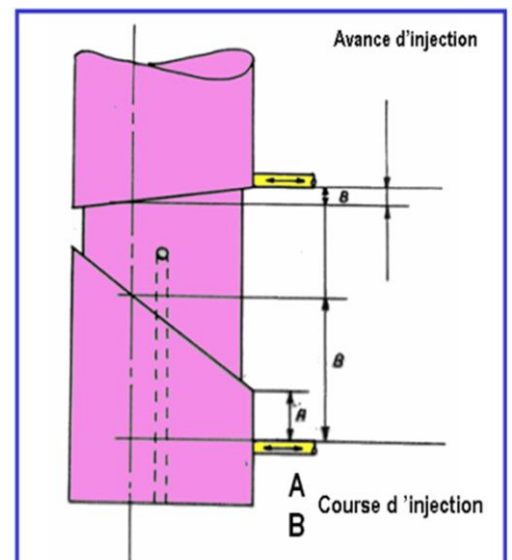
Le temps d'injection est réglé à partir du calage moteur.

b) la quantité :

La quantité de gasoil est réglée avec un régulateur hydraulique. Ce dernier est relié avec toutes les crémaillères d'injecteurs par l'intermédiaire des tringleries de vitesse.



Tringlerie de régulation



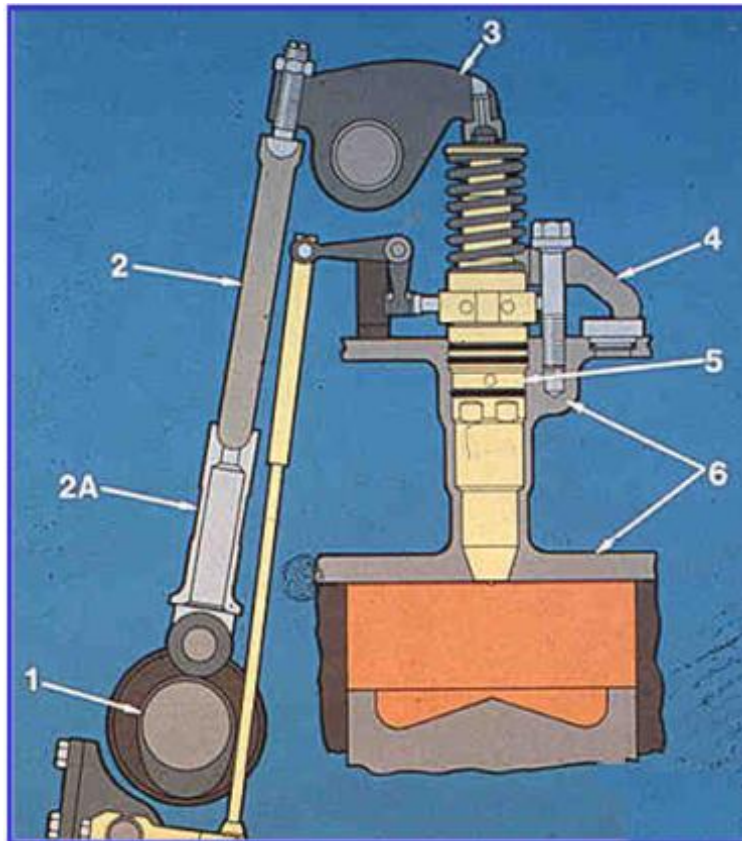
A, B avance d'injection

Fig.II.19 : La régulation mécanique.

II.3.1.2 Fonctionnement :

Lorsque le régime moteur augmente, les masselottes s'écartent vers l'extérieur, dès que la force dépasse la pression de ressort de réglage.

Lorsque le régime du moteur diminue, la force centrifuge s'abaisse, de telle sorte que la pression de ressorts de réglage dépasse la force centrifuge, et de ce fait les masselottes se déplacent au sens inverse. Les mouvements des masselottes sont transmis par le levier angulaire sur la tige de régulation celle-ci actionne toute la Tringlerie de commande des Crémaillères des injecteurs. Donc la quantité de combustible débitée est réglée entre la position min et max (pleine charge moteur).



1. Arbre à came.
- 2A. Poussoir à galet.
2. Tige de culbuteur.
3. Culbuteur.
4. Trianglerie de commande.
5. Injecteur pompe.
6. Culasse.

Fig.II.20 : Système d'injection à commande mécanique.

II.3.2. L'injection à commande électronique :

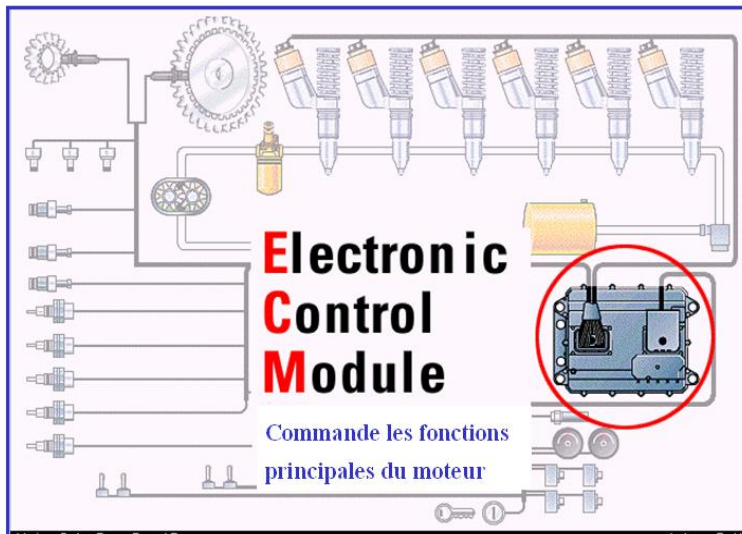
Les moteurs Diesel CAT 3512 comptent bien rester en tête de la technologie et de la performance en ouvrant cette autre voie dans le domaine de l'injection directe.

❖ Les composants du système :

a) L'ECM :

C'est le module de contrôle électronique qui commande les fonctions principales du moteur. A l'entrée l'ECM reçoit en permanence un ensemble de paramètres moteur provenant de différents capteurs. Les paramètres seront affichés sur un tableau de bord (EMCP II) et traités pour le contrôle moteur.

A la sortie l'ECM envoie des signaux électriques afin de piloter les systèmes assurant la fonctionnement moteur.



FigII.21 : Le module de contrôle électronique « ECM ».

b) L'EUI (l'Unité d'Injection Electronique) :

Elle est radicalement différente à celles des systèmes d'injection Diesel directe existants. Au lieu d'avoir une pompe centrale reliée aux injecteurs de chaque cylindre, sa pompe et son injecteur sont intégrés dans une même et seule unité pour chaque cylindre. Le piston de pompe est actionné directement par l'arbre à cames du moteur.

L'EUI peut ainsi produire des pressions d'injection allant jusqu'à 2000 bars. Cette très haute pression combinée à la précision du contrôle électronique permet à ce système d'offrir des avantages supplémentaires en matière d'émission, il permet de réduire d'une manière efficace les émissions de particules d'oxyde d'azote.

L'EUI vient d'ajuster l'avance à l'injection et la quantité de carburant à chaque instant, associer à un logiciel ET (électronique technicien) adapté à l'ECM ceci donne des performances idéales, une excellente motorisation et une meilleure réponse moteur

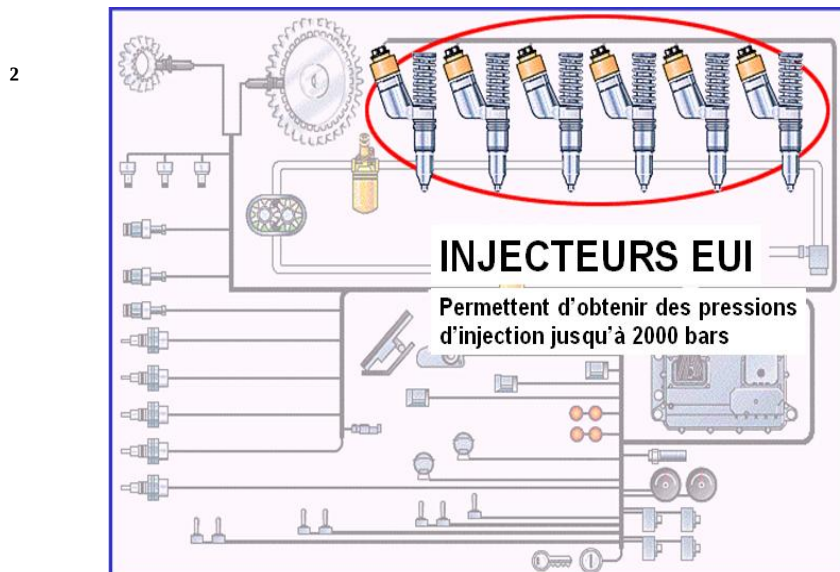


Fig.II.22: Système d'injection EUI.

- c) **Le solénoïde** : C'est une électrovanne, qui prend la responsabilité de commande d'injection à partir des ordres d'un calculateur (ECM) par intermédiaire d'un fil électrique, elle est située à la partie supérieure de l'injecteur pompe.
- d) **E-trim** : L'étalonnage du débit injecté en fonction de la durée d'excitation du solénoïde s'effectue à l'aide du facteur de correction ((E - trim.)).

La valeur ((E - trim)) programme une augmentation ou une réduction du temps d'excitation du solénoïde afin d'obtenir une quantité nominale de gasoil injecté.

❖ La précision d'injection :

La quantité injectée et la pression dépend de la commande des électrovannes c'est-à-dire la rapidité d'ouverture et de fermeture de l'aiguille de l'injecteur, Le pilotage a gagné en finesse. Chaque injecteur reçoit un calibrage(E-Trim) propre qui permet de piloter l'avance et le débit de combustible injecté d'une manière individualisée pour chacun d'eux. La fonction de contrôle permanent et l'autorégulation de la correction de débit injecté et le temps d'injection sont assurés par l'unité de contrôle ECM.

a) Le temps d'injection :

Il est réglé à partir d'une roue et d'un capteur de position comme le schéma le montre :

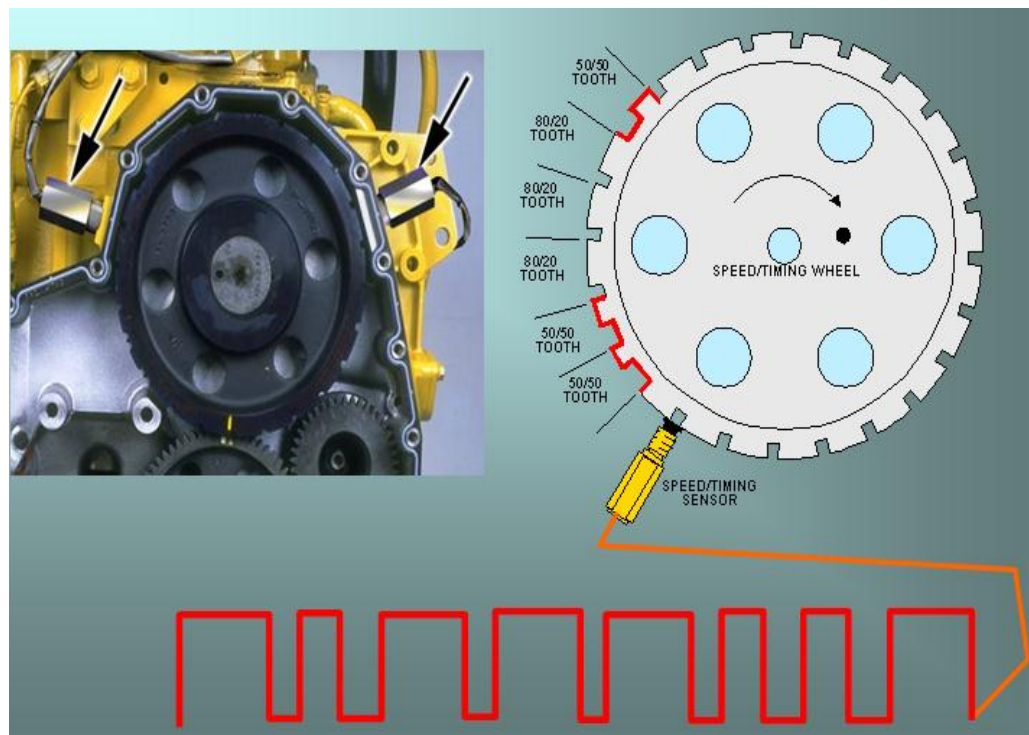


Fig. II.23 : La précision d'injection.

b) La quantité :

La quantité de combustible à injecter est réglée avec l'ECM à partir des données prélevées avec les différents capteurs :

- Capteurs des pressions (atmosphérique, d'huile, de suralimentation...etc).

- Capteurs des températures (atmosphérique, d'eau, d'huile...etc).
- Capteur de régime moteur (vitesse de rotation).

❖ **Fonctionnement de l'EUI :**

Dans cette partie on a quatre phases :

a) Pré course d'injection :

Le culbuteur appui sur la pompette, à ce moment le piston de l'EUI pousse le gazoil enfermé dans une cavité pleine, ce qui permet la circulation du gazoil vers la conduite de retour.

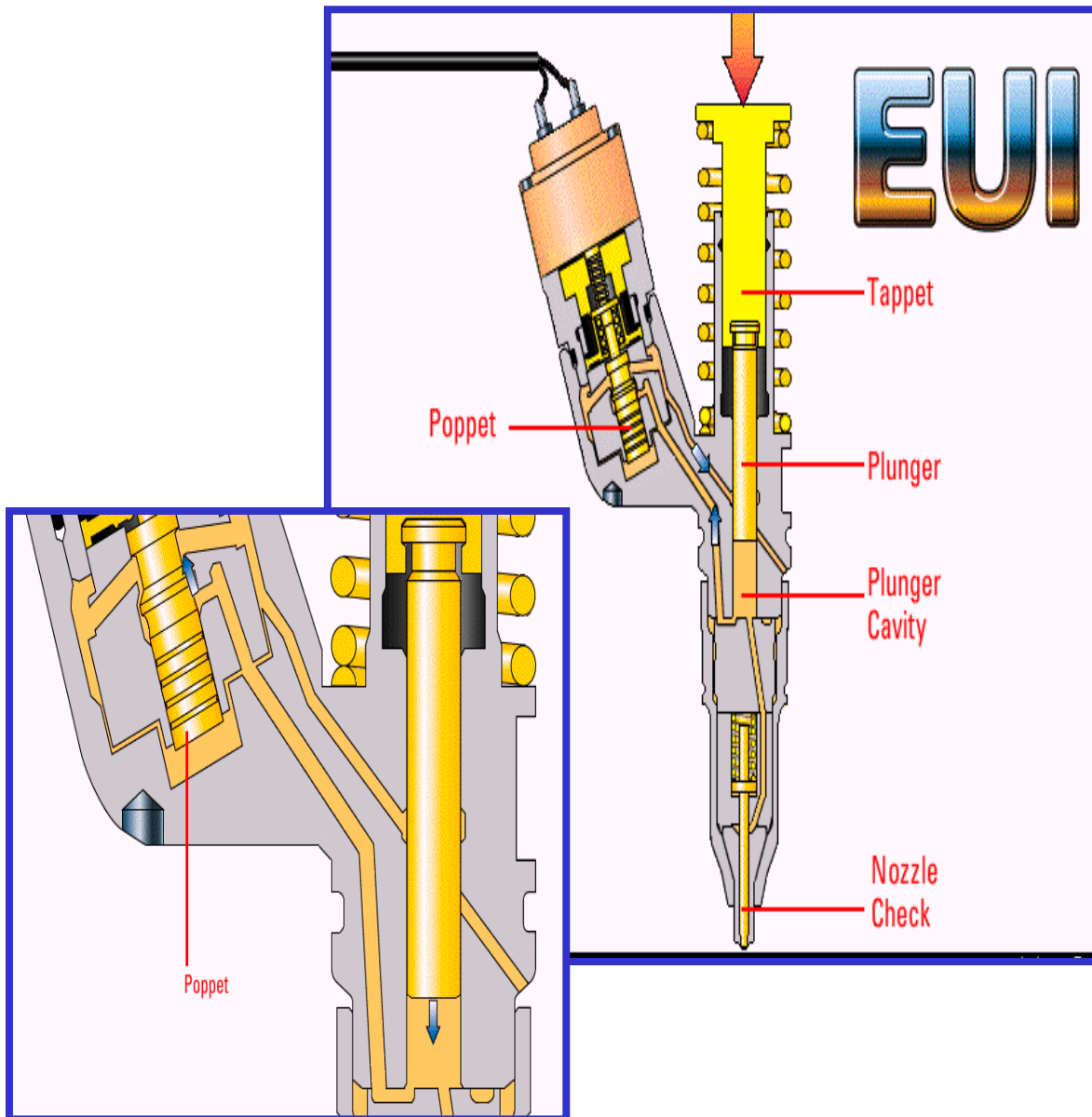


Fig.II.24 : Pré course d'injection.

- b) L'injection :** A ce temps exact de l'injection l'ECM lance un signal vers le solénoïde pour fermer la conduite de retour ; sa fermeture électrique provoque, dès que le piston suit sa descente, une augmentation de la pression de gasoil.

La pression d'ouverture de l'aiguille d'injecteur étant atteinte, permettant l'injection (la pulvérisation de gasoil sous pression).

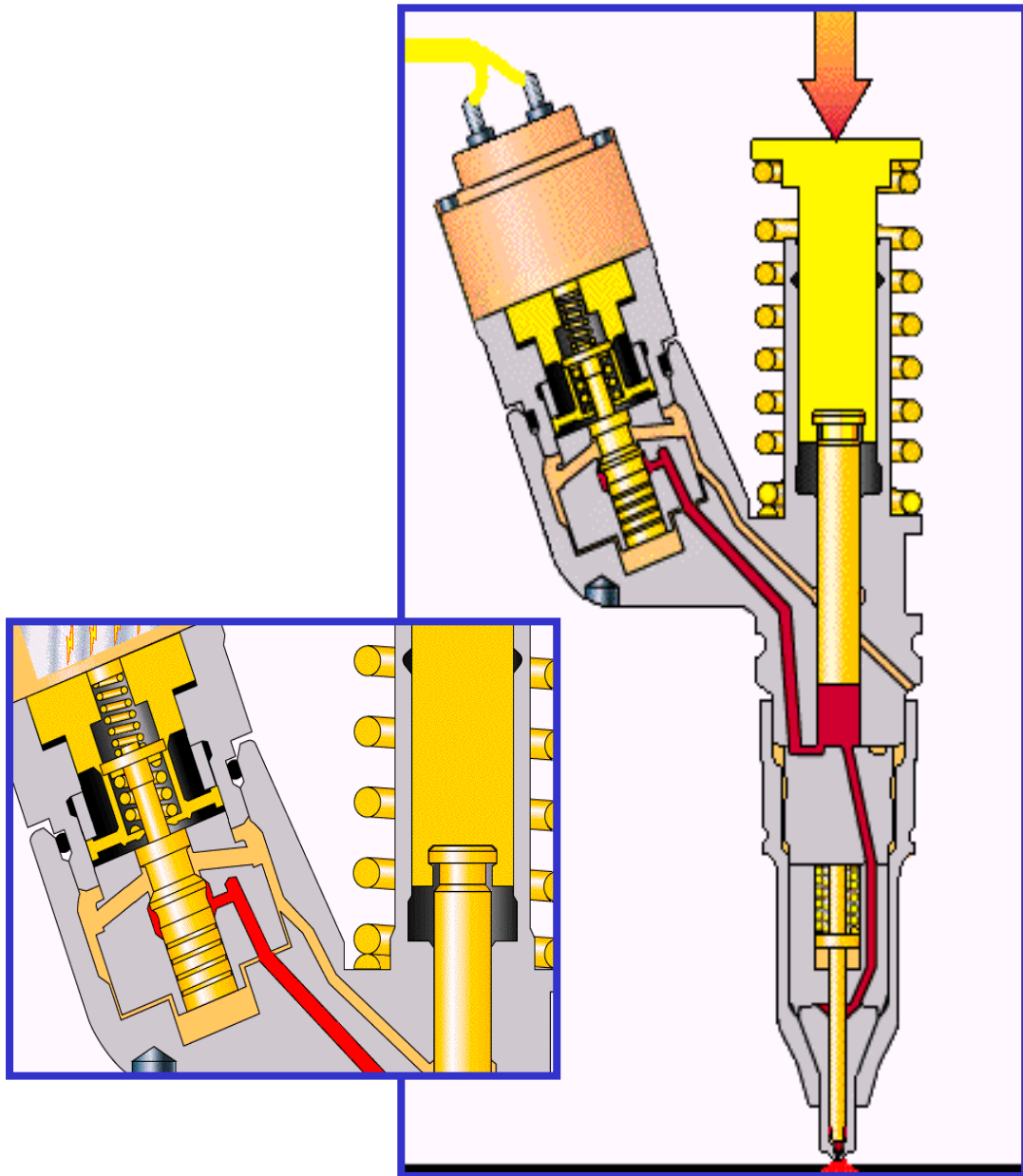


Fig.II.25 : L'injection.

- c) **Fin de l'injection** : Dans cette phase, et après l'injection de la quantité nécessaire de gasoil, le signal transmis au solénoïde est coupé, et se poursuit par l'ouverture de conduite de retour. A ce moment la pression va chuter donc le rappel de ressort d'injecteur autorise l'arrêt brusque de l'injection (la fermeture de l'aiguille d'injecteur).

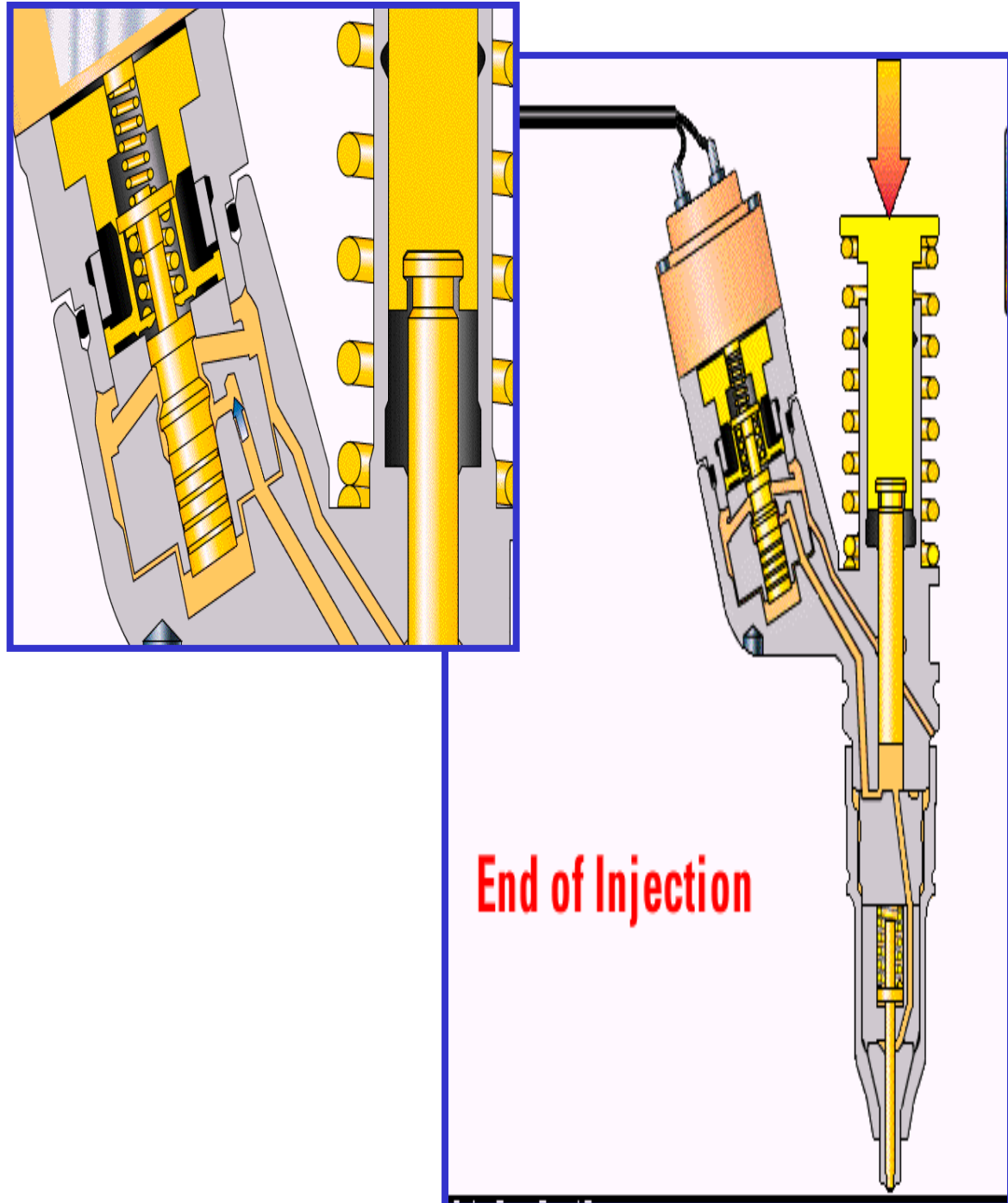


Fig.II.26 : Fin d'injection

- d) **Remplissage** : La pompette va se déplacer vers le haut pour revenir à sa position initiale à l'aide d'un ressort de rappel, donc la cavité va se remplir pour une nouvelle action d'injection.

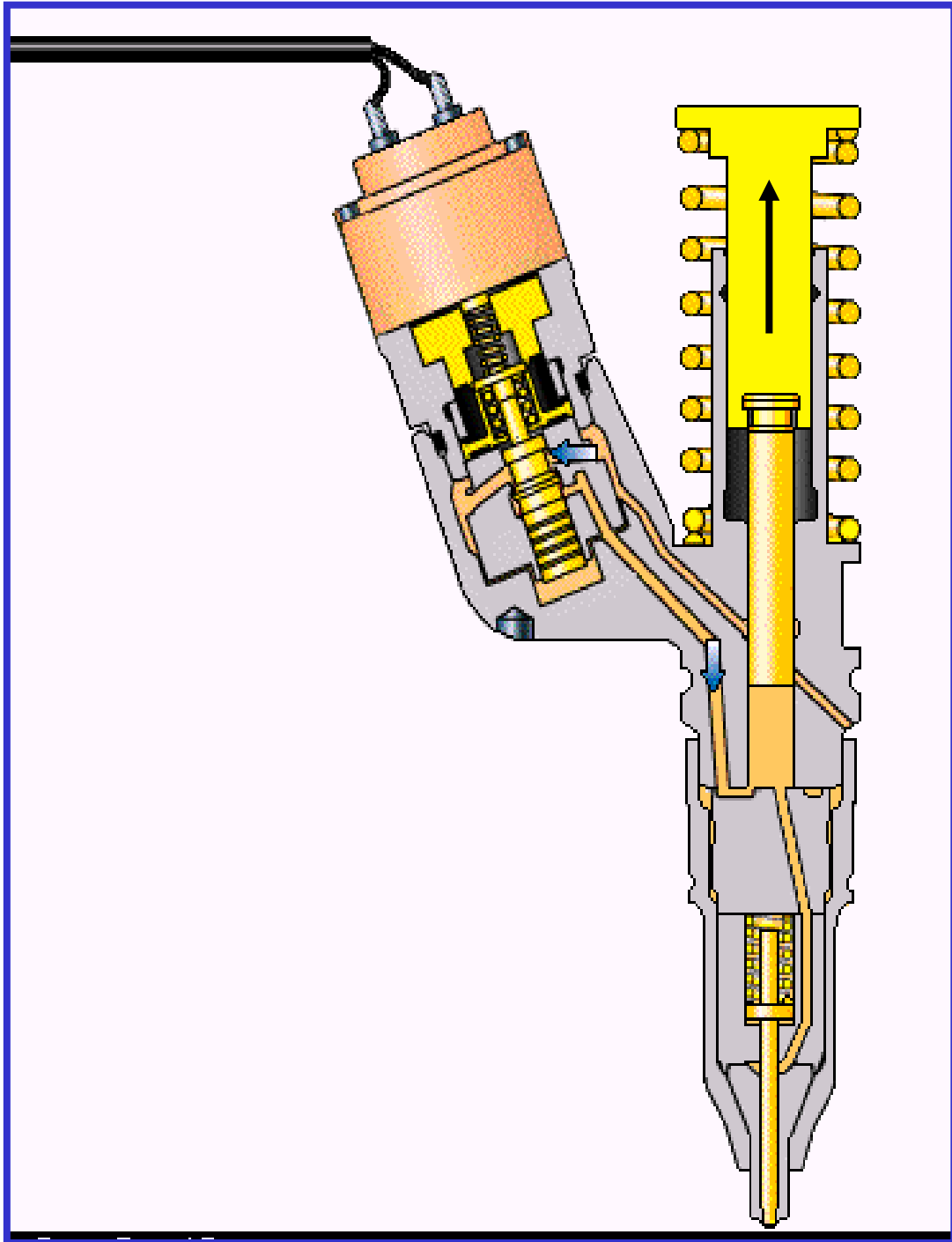


Fig.II.27 : Remplissage.

II.4 Comparaison entre les deux types d'injecteur pompe :

La différence principal entre les deux 3512 A et 3512 B, et au niveau des injecteurs –pompe et leurs modes de commande. Le passage de la commande mécanique à la commande électronique est le signe d'un grand progrès dans la technologie de la construction du moteur diesel, mais ce système d'injection présente après tout quelque limite de conception

Le tableau suivant illustre la comparaison entre les deux modes de commande :

	UNIT INJECTOR (1987) Injecteur pompe mecanique	MEUI (-1990) Injection électronique a pilotage Mécanique
Conception	-régulation mécanique. -Pression : 1500 Bar crée mécaniquement.	-Régulation électronique. -Pression : 2000 Bar crée mécaniquement.
Avantages	-Suppression de la pompe et de la canalisation de carburant sous pression, réduction des causes de retard d'injection. -Meilleur combustion.	-Injection précise une quantité et dans le temps. -Meilleur respect du rapport air fuel quelles que soit les conditions d'utilisations ; moins de fumées noir au démarrage et en charge.
Inconvénients	-Limites de la régulation mécanique atteinte (précision de la quantité de fuel injecte et l'avance à l'injection). -Pression élevé came renforce, tige de culbuteur courte. Les pressions d'injection élevée imposent une grande propreté du carburant (filtration à 2 microns sur l'injection électronique, élimination de toute trace d'eau).	-Précision élevé comes renforcées, tige de culbuteurs courte ; ceci impose une limite à la pression d'injection.

Tableau II.1 : Comparaison entre l'injecteur à commande mécanique et l'injecteur à commande électronique.

II.5. Comparaison entre l'injection directe et l'injection indirecte :

	Injection indirect	Injection direct
Conception	-présence d'une d'une chambre de précombustion, -orifice unique -bougie de préchauffage	-injection direct dans le cylindre ; chambre forme dans le piston. -orifice multiple -pas de préchauffage
avantages	-Combustion plus souple -rapport volumétrique et pression d'injection moins élevé ; donc organe plus léger. –accepte le carburant à faible indice de cétane.	-Démarrage a froid facile Rendement élevé -Consommation moindre (10 à 15 %) -moins de calories évacuées par le système de refroidissement (20 à 30 %). -simplicité de réalisation
inconvénients	-Démarrage à froid impossible sans dispositif de préchauffage. -Consommation plus élevé.	-Sensible aux sous régime, à l'avance à l'injection, à l'encrassement de l'injecteur.

Tableau II.2 : comparaison entre l'injection directe et l'injection indirecte.**Conclusion :**

Le moteur Caterpillar 3512, est devenu une version très développe des moteurs Caterpillar, il est devenue plus applicable grâce à leurs caractéristique spécifique, d'une haute technologie, et une automatisation des systèmes qui permet une meilleur exploitation avec souplesse d'utilisation et bonne rentabilité de temps et des couts d'exploitation, il fournit aussi des bonnes conditions de travail grâce à leurs système sécurité, aussi il est bien maintenable.

Le système d'injection joue un rôle imminent dans l'évolution du moteur diesel, le constructeur ont toujours opte pour la meilleure conception qui permettre l'amélioration des propriétés de ce dernier on augmente la pression d'injection pour une meilleur pulvérisant de gasoil

Une bonne pulvérisation et homogénéisation est synonyme d'une bonne combustion, cela permet de réduire le bruit du moteur, la consommation spécifique et les émissions de particule polluantes (tel que NOx, CO) et répondre ainsi aux exigences environnementales.

III.1. Introduction :

Le calcul thermique des moteurs diesel à combustion interne est une première étape des calculs effectués au cours des travaux sur un nouveau prototype dans un bureau d'étude en même temps c'est la meilleure méthode pour apprendre les phénomènes complexes ayant lieu au sein des moteurs, cette dernière circonstance détermine le rôle joué par le calcul dans la formation d'ingénieur modernes dans les fonctions comprennent les applications des moteurs thermiques, dans cette partie on prend deux moteurs à injection directe, le premier à commande mécanique et le deuxième à commande électronique ; les deux moteurs possèdent la même cylindrée.

III.2. La quantité d'air stœchiométrique :

L'air atmosphérique nécessaire pour la combustion, est introduit dans la chambre de combustion durant le temps de l'admission. Les expressions qui permettent de déterminer la quantité, en kg (L_o) de l'air théoriquement nécessaire pour la combustion complète de $1 kg$ de combustible (la quantité stœchiométrique, peuvent être obtenues sur la base des équations finales, suivantes de la réaction chimiques de la combustion.

Lors de la combustion complète, on suppose que le carbone et l'hydrogène rentre en réaction chimique avec l'oxygène en formant le gaz carbonique ($C O_2$) et les vapeurs d'eau ($H_2 O$).



Selon la première équation, pour brûler les $C kg$ de carbone se trouvant dans $1 kg$ de combustible, il faut avoir $8/3 C kg$ d'oxygène.

Et selon la deuxième équation pour brûler les $H kg$ du combustible il faut disposer de $8 H kg$ d'oxygène.

Il faut tenir compte du fait, que dans le $1 kg$ considéré de combustible, se trouve $O kg$ d'oxygène qui peut participer dans la réaction chimique.

Au total, la quantité d'oxygène, en kg , qu'il faut amener de l'extérieur pour brûler le $1 kg$ de combustible est égale à : $(8/3 C + 8 H - O)$.

Sachant que 100kg d'air contient 23 kg d'oxygène alors la quantité d'air nécessaire pour, la combustion du 1 kg de combustible, en kg, est :

$$L_o = 1/0.23 (8/3 C + 8 H - O) \quad (\text{III-3})$$

- **Pour le GASOIL :**

La quantité d'air nécessaire à la combustion complète de 1kg de combustible, se calcule comme suit :

$$L_o = 1 / 0.23 (8/3 \times 0.87 + 8 \times 0.126 - 0.004)$$

$$L_o = 14.4522 \text{ kg d'air / kg de combustible}$$

- Composition du gasoil :
 - * 87 % de carbone ($g_c = 0.87$)
 - * 12.6 % d'hydrogène ($g_{H_2} = 0.126$)
 - * 0.4 % d'oxygène (g_{O_2}).
 - * Pouvoir calorifique inférieur $P_c = 42500 \text{ kJ / kg}$.

III.3. Cycle de fonctionnement :

Le moteur CAT 3512 réalisé suivant le principe du cycle mixte (*SABATHE*) qui se rapproche du cycle de fonctionnement réel d'un moteur diesel rapide.

Dans ce cycle, l'air après une compression, effectue une transformation au cours de laquelle le combustible lui fournit une quantité de chaleur, cette transformation s'opère en deux parties :

- Une partie à volume constant.
- Une partie à pression constante.

Elle se prolonge par une détente et se termine par une transformation pendant laquelle les gaz cèdent à la source froide une quantité de chaleur.

Le mode de fonctionnement est effectué suivant le cycle à quatre temps à simple effet, ce cycle est effectué pendant deux tours de vilebrequin.

Pour la simplification des calculs, nous supposons :

- La compression et la détente sont polytropiques.
- Les soupapes sont fermées aux points morts.
- Le fluide moteur est un mélange de gaz résiduel et charge fraîche considérée comme gaz parfait.
- La charge fraîche est chauffée pendant le passage le long de l'admission.

III.4. Le cycle de fonctionnement :

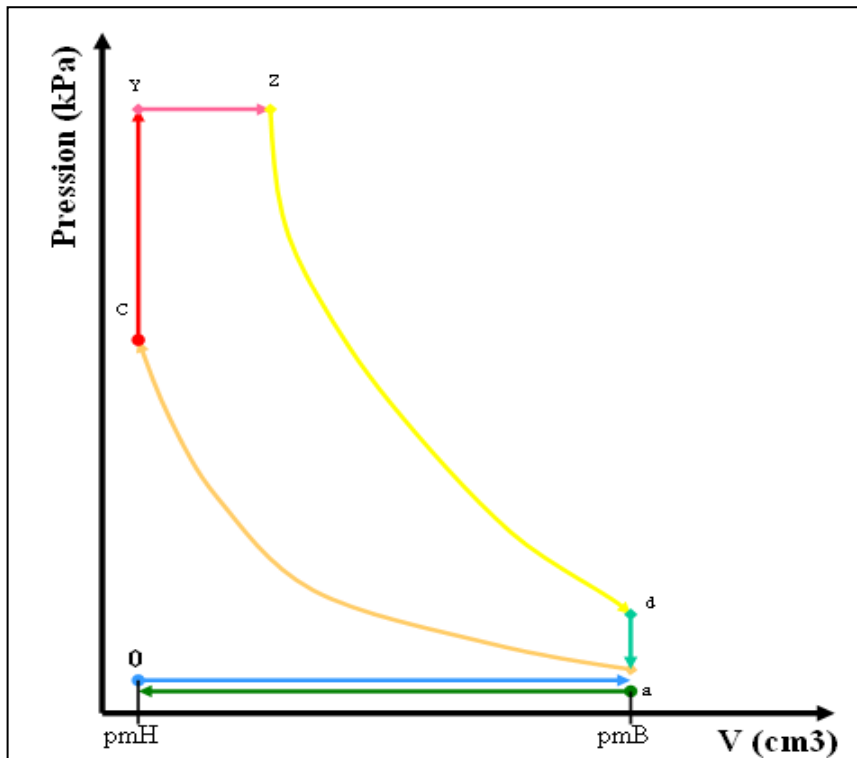


Fig. III.1 : Cycle théorique.

Cycle théorique

- o-a : Admission.
- a-c : Compression adiabatique.
- c-y : Combustion isochore.
- y-z : Combustion isobare.
- z-d : Détente adiabatique.
- d-a : Echappement.
- a-o : Echappement.

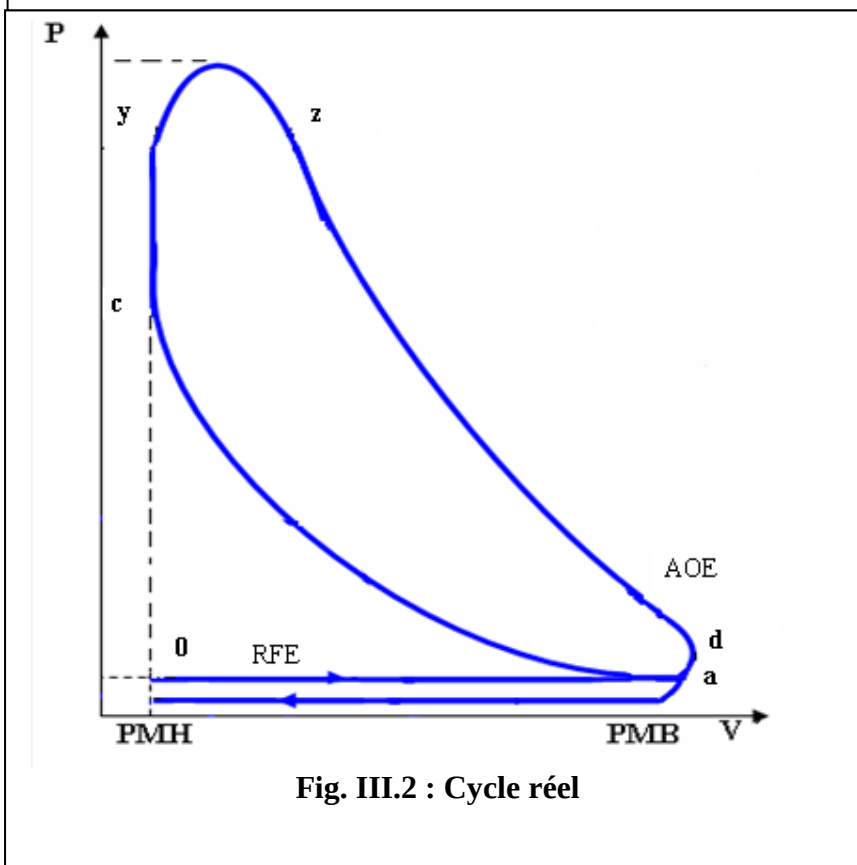


Fig. III.2 : Cycle réel

Cycle réel

- o-a : Admission.
- a-c : Compression polytropique.
- c-y : Combustion isochore.
- y-z : Combustion isobare.
- z-d : Détente polytropique.
- d-a : Echappement.
- a-o : Echappement.

III.5. Calcul thermodynamique pour le moteur CAT 3512 A :

Le calcul thermique du moteur CAT 3512 A a pour objectif de déterminer :

- Les performances du moteur.
- Les pressions et les températures dans les points caractéristiques du cycle.
- Apprécier les pressions moyennes indiquée et effective.
- Calcul de volume de cylindre.

III.5.1 Données techniques principales :

Puissance effective	902.3 kW
Vitesse de rotation	1200 tr/min
Consommation spécifique.	210 g/kWh
Nombre de cylindres	n = 12 en V
Taux de compression	$\varepsilon = 13$
Course x alésage	190 x 170 mm.mm
Pression atmosphérique	$1.013 \cdot 10^5$ Pa
Température ambiante	300 °K
Pouvoir calorifique	PC = 42500 kJ / kg

III.5.2 La quantité de combustible injectée dans chaque cycle :

La consommation spécifique :

$$C_{se} = 210 \text{ g/kWh}$$

La consommation totale par heure est :

$$C_T = 210 \times 902.3 = 189483 \text{ g/h}$$

La consommation totale par seconde est :

$$C_T = 189483 / 3600 = 52.63 \text{ g/s}$$

Le régime d'un moteur étant :

$$N = 1200 \text{ tr/min} = 20 \text{ tr/sec.}$$

Le moteur est à quatre temps. Nous avons alors, une injection, tous les deux tours du vilebrequin. Soit dix injections par seconde. Le moteur possède 12 cylindres donc on a 120 coups d'injection par seconde, donc la quantité de combustible injectée par coup dans un seul cylindre est :

$$M_C = 52.63 / 120 = 0.43858 \text{ g/coup.}$$

M_C : est la quantité de combustible brûlée par cylindre

III.5.3 La quantité d'air nécessaire à la combustion complète :

$$L = L_0 \cdot M_C \quad (\text{III-4})$$

$$L = 14,4522 \cdot 0,4385 \cdot 10^{-3} = 6,3384 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

III.5.4 Calcul de volume de cylindre :

a) le volume unitaire de cylindre :

$$V_h = \pi \frac{D^2}{4} S \quad (\text{III-5})$$

$$V_h = 3,14 \frac{0,17^2}{4} \cdot 0,19 = 4,3126 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

b) Calcul de volume mort :

$$E = \frac{V_o + V_h}{V_o} \Rightarrow V_o = \frac{V_h}{E - 1} \quad (\text{III-6})$$

$$V_o = \frac{4,3126 \cdot 10^{-3}}{12} = 3,5938 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

c) Calcul de volume total :

$$V_t = V_o + V_h \quad (\text{III-7})$$

$$V_t = 4,3126 \cdot 10^{-3} + 3,5938 \cdot 10^{-4} = 4,6720 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

III.5.5 Calcul des points du cycle :

III.5.5.1 Le compresseur :

$$T_k = T_o \left(\frac{P_k}{P_o} \right)^{\left(\frac{n_s - 1}{n_s} \right)} \quad (\text{III-8})$$

T_o : température de l'air ambiant $T_o = 300 \text{ K}$

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

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

n_s : exposant poly tropique du compresseur n_s : (1,4 : 2), on prend : $n_s = 1,7$

$$\text{AN : } T_k = 300 \left(\frac{2,5}{1,013} \right)^{\left(\frac{1,7-1}{1,7} \right)} = 435,1802 \text{ K}$$

III.5.5.2 Refroidisseur :

$$P_s \approx P_k = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_s = 370 \text{ K}$$

III.5.5.3 Processus d'admission :

❖ Pression en fin d'admission :

$$P_a = P_s - \Delta P \quad (\text{III-9})$$

$\Delta P_a = (0,03 \div 0,10)P_k$ pour les moteurs diesel sur alimentés on prend :

$$\Delta P_a = 0,05 P_k$$

$$P_a = 0,95 \cdot 2,5 \cdot 10^5 = 2,375 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

❖ Température en fin d'admission :

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} \quad (\text{III-10})$$

Calcul du coefficient des gaz résiduels :

$$\gamma_r = \frac{T_s + \Delta T}{T_r} - \frac{P_r}{\varepsilon P_a - P_r} \quad (\text{III-11})$$

P_r : pour les moteur sur alimentés $P_r : (0,75 \div 0,98)P_k$ on prend $P_r = 0,8P_k$

$$P_r = 0,8 \cdot 2,5 \cdot 10^5 = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

T_r : pour les moteurs diesel entre $(600 \div 900 \text{ K})$ on prend 800 K

ΔT dans les moteurs suralimentés $\Delta T (5 \div 10)$

On prendre : $\Delta T = 8^\circ\text{C}$

$$\text{A-N :} \quad \gamma_r = \frac{370 + 8}{800} - \frac{2 \cdot 10^5}{13,2,375 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^5} = 0,0327$$

$$T_a = \frac{370 + 8 + 0,0327 \cdot 800}{1 + 0,0327} = 391,3624 \text{ K}$$

❖ Calcul coefficient de remplissage :

$$\eta_v = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \frac{P_a}{P_s} \frac{T_s}{T_a(1 + \gamma_r)} \quad (\text{III-12})$$

$$\eta_v = \frac{13}{13 - 1} \frac{2,375}{2,5} \frac{370}{391,3624(1 + 0,0327)} = 0,9422 .$$

❖ calcul de masse d'air réelle admise dans le cylindre :

$$M_{air} = \eta_{v.Vr} \cdot \rho_{air} \quad (III-13)$$

Avec : $\rho_{air} = \frac{P_a}{r \cdot T_a} \quad (III-14)$

r : constante des gaz parfait $\approx r$ réel

$$r = 287 \text{ J / kg}$$

A-N : $\rho_{air} = \frac{2,375 \cdot 10^5}{287 \cdot 391,3624} = 2,1145 \text{ kg/m}^3$

$$M_{air} = 0,9422 \cdot 4,6720 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1145 = 0,0093079 \text{ kg}$$

La quantité d'air admis supérieure à la quantité nécessaire pour la combustion.

❖ coefficient de l'excès d'air est donné par :

$$\lambda = \frac{M_{air}}{L} \quad (III-15)$$

$$\lambda = \frac{9,3079}{6,3384} = 1,4684$$

III.5.5.4 Processus de compression :

La transformation est polytropique

❖ la pression :

$$P_c = P_a \cdot \varepsilon^{n_c} \quad (III-16)$$

$n_c (1,34 \div 1,38)$ en prend : $n_c = 1,36$

$$P_c = 2,375 \cdot 10^5 \cdot 1,36 = 77,7368 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

❖ la température :

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_c - 1} \quad (III-17)$$

$$T_c = 391,3624 \cdot 1,36 = 985,3686 \text{ K}$$

❖ Calcul le travail de compression :

$$W_{a-c} = \frac{P_c \cdot V_c - P_a \cdot V_a}{n_c - 1} \quad (III-18)$$

$$W_{a-c} = \frac{77,7368 \cdot 10^5 \cdot 3,5938 \cdot 10^{-4} - 2,375 \cdot 10^5 \cdot 4,6720 \cdot 10^{-3}}{1,36 - 1} = 4678,0698 \text{ J}$$

III.5.5.5 Processus de combustion :

Cette phase se divise en deux, une phase à volume constant et une phase à pression constante :

a) combustion à volume constant :

La transformation (c-y) (combustion de $0,2M_c$) est isochore. La quantité de chaleur donnée par la masse de gasoil M_c est :

$$Q = M_c \cdot PC_i \quad (\text{III-19})$$

Avec : $PC_i = 42500 \text{ kJ/kg}$

$$Q = 0,43858 \cdot 42500 = 18639,65 \text{ J}$$

$$Q_1 = 0,2Q \quad (\text{III-20})$$

$$\text{A.N : } Q_1 = 0,2 \cdot 18639,65 = 3727,93 \text{ J}$$

❖ La température : pour calculer la température dans cette phase il faut passer par les relations suivantes :

$$Q_1 = M_1 C_v (T_y - T_c) \Rightarrow T_y = T_c + \frac{Q_1}{M_1 \cdot C_v} \quad (\text{III-21})$$

M_1 : La masse de mélange ($M_{air} + 0,2M_c$)

$$M_1 = 9,3079 + 0,2 \cdot 0,43858 = 9,3956 \text{ g}$$

$$C_v = 0,878955 \text{ J/g.K}$$

$$T_y = 985,3686 + \frac{3727,93}{9,3956 \cdot 0,878955} = 1436,78422 \text{ K}$$

❖ La pression :

$$P_y = P_c \cdot \frac{T_y}{T_c} \quad (\text{III-22})$$

$$P_y = 77,7368 \cdot 10^5 \cdot \frac{1436,78422}{985,3686} = 113,34946 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Le travail de la transformation (c-y) est nul (volume constant)

$$W_{c-y} = 0$$

b) combustion à pression constante :

La transformation (y-z) est la suite de la combustion à pression constante.

$$\text{Donc on a : } Q_2 = 0,8 \cdot Q \quad (\text{III-23})$$

$$Q_2 = 0,8 \cdot 18639,65 = 14911,72 \text{ J}$$

❖ La température :

$$Q_2 = M_2 \cdot C_p (T_z - T_y) \Rightarrow T_y + \frac{Q_2}{M_2 \cdot C_p} \quad (\text{III-24})$$

M_2 = La masse de mélange ($M_{air} + M_c$)

$$M_2 = 9,3079 + 0,43858 = 9,746489 \text{ g}$$

$$C_p = 1,230537 \text{ J/g}$$

$$T_z = 1436,78422 + \frac{14911,72}{9,746489 \cdot 1,230537} = 2680,1098 \text{ K}$$

❖ La pression :

On a : $P_z = P_y = 113,34946 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

❖ Le volume :

$$\frac{V_z}{V_y} = \frac{T_z}{T_y} \Rightarrow V_z = V_y \frac{T_z}{T_y} \quad (\text{III-25})$$

$$\text{A.N : } V_z = 3,5938 \cdot 10^{-4} \frac{2680,1098}{1436,78422} = 6,7037 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

❖ Le taux d'augmentation de la pression est :

$$\lambda_p = \frac{P_z}{P_c} \quad (\text{III-26})$$

$$\lambda_p = \frac{113,34946}{77,7368} = 1,4581$$

❖ Le taux de la détente préliminaire est :

$$\rho_d = \frac{V_z}{V_c} \quad (\text{III-27})$$

$$\rho_d = \frac{6,7037}{3,5938} = 1,8653$$

❖ Calcul le travail :

$$W_{y-z} = -P_y (V_z - V_y) \quad (\text{III-28})$$

$$W_{y-z} = -113,34946 \cdot 10^5 (6,7037 - 3,5938) \cdot 10^{-4} = -3525,0549 \text{ J}$$

III.5.5.6 Processus de détente :

La transformation est poly tropique : $n_d = 1,27$

❖ la pression :

$$P_d = P_z \left(\frac{V_z}{V_d} \right)^{n_d} \quad (\text{III-29})$$

$$P_d = 113,34946.10^5 \left(\frac{6,7037}{46,720} \right)^{1,27} = 9,6288.10^5 \text{ Pa}$$

❖ La température :

$$T_d = T_z \left(\frac{V_z}{V_d} \right)^{n_d-1} \quad (\text{III-30})$$

$$T_d = 2680,1098 \left(\frac{6,7037}{46,720} \right)^{1,27-1} = 1586,6888 \text{ K}$$

❖ Calcul du travail de détente :

$$W_{z-d} = \frac{P_d \cdot V_d - P_z \cdot V_z}{n_d - 1} \quad (\text{III-31})$$

$$W_{z-d} = \frac{9,6288.10^5 \cdot 4,6720.10^{-3} - 113,34946.10^5 \cdot 6,7037.10^{-4}}{1,27 - 1} = -11481,60144 \text{ J}$$

❖ Calcul du travail de cycle :

$$W_{\text{cycle}} = W_{a-c} + W_{y-z} + W_{z-d} \quad (\text{III-32})$$

$$W = 4678,0698 - 3525,0549 - 11481,60144 = -10328,5865 \text{ J}$$

III.5.6 Les performances du moteur :**a) Les performances indiquées :**

❖ La pression moyenne indiquée :

$$P_{mi} = \frac{\varphi \cdot P_c}{\varepsilon - 1} \left[\lambda_p (\rho_d - 1) \frac{\lambda_p \cdot \rho_d}{n_d - 1} \left(1 - \frac{T_d}{T_z} \right) - \frac{1}{n_c - 1} \left(1 - \frac{T_a}{T_c} \right) \right] \quad (\text{III-33})$$

φ : Coefficient empirique :

φ (0,92 ÷ 0,97) on prend : $\varphi = 0,97$.

A.N :

$$P_{mi} = \frac{0,97 \cdot 77,7368.10^5}{13 - 1} \left[1,4581(1,8653 - 1) \frac{1,4581 \cdot 1,8351}{1,27 - 1} \left(1 - \frac{1586,6888}{2680,1098} \right) - \frac{1}{1,36 - 1} \left(1 - \frac{391,3624}{985,3686} \right) \right]$$

$$P_{mi} = 22,0326 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

❖ la puissance indiquée :

$$\wp_i = \frac{P_{mi} \cdot n \cdot V_u \cdot N}{30 \cdot \tau} \quad (\text{III-34})$$

$$\wp_i = \frac{22,0326 \cdot 10^5 \cdot 12,4,3126 \cdot 10^{-3} \cdot 1200}{30,4} = 1140,215 \text{ kW}$$

❖ Rendement indiqué :

$$\eta_i = \frac{\lambda \cdot L_o \cdot P_{mi}}{P_c \cdot \eta_v \cdot \rho_{air}} \quad (\text{III-35})$$

$$\eta_i = \frac{1,4581 \cdot 14,4522 \cdot 22,0326 \cdot 10^5}{42500 \cdot 10^3 \cdot 0,9422 \cdot 2,1145} = 0,5483$$

A-N :

$$\eta_i = 54,83 \%$$

❖ La consommation spécifique indiquée :

$$g_i = \frac{\text{Ch} \cdot 10^3}{\wp_i} \quad (\text{III-36})$$

$$g_i = \frac{189483 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}{1140,215} = 166,1818 \text{ kg/kw.h}$$

$$g_i = 166,1818 \text{ kg/kw.h}$$

b) Les performances effectives :

❖ La puissance effective : $\wp_e = 902,3 \text{ Kw}$

❖ La pression effective :

$$P_{me} = \frac{\wp_e \cdot 30 \cdot \tau}{N \cdot n \cdot V_u} \quad (\text{III-37})$$

$$P_{me} = \frac{902,3 \cdot 10^3 \cdot 30,4}{1200 \cdot 12,4,3126 \cdot 10^{-3}} = 17,4353 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

❖ Le rendement effectif est déterminé comme suit :

$$\eta_e = \frac{\lambda L_o P_{me}}{P_{ci} \eta_v \rho_{air}} \quad (\text{III-38})$$

$$\eta_e = \frac{1,4581.14,4522.17,4353.10^5}{42500.10^3 \cdot 0,9422.2,1145} = 0,4340$$

$$\eta_e = 43,40 \%$$

III.5.7 La vitesse moyenne de combustible :

$$V_{moy} = \sqrt{\frac{2}{\rho_c} (P_{inj} - P_{moy})} \quad (\text{III-39})$$

ρ_c : La densité de combustible ($\rho_c = 830 \text{ kg/m}^3$).

P_{inj} : La pression de l'injection ($P_{inj} = 160 \cdot 10^5 \text{ Pa}$).

P_{moy} : La pression de l'injection ($P_{moy} = 1/2(P_c + P_z)$).

$$P_{moy} = \frac{(77,7368 + 113,34946) \cdot 10^5}{2} = 95,543 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

A.N:

$$V_{moy} = \sqrt{\frac{2}{830} (160 - 95,543) \cdot 10^5} = 124,6200 \text{ m/s}$$

III.5.8 Le couple moteur :

$$M_e = \frac{30 \cdot \rho_e}{\pi \cdot N} \quad (\text{III-40})$$

A.N :

$$M_e = \frac{30,902,3 \cdot 10^3}{\pi \cdot 1200} = 7183,9100 \text{ N.m}$$

III.6 Calcul thermodynamique pour le moteur CAT 3512 B :

Le calcul thermique du moteur CAT 3512 B a pour objectif de déterminer :

- Les performances du moteur.
- Les pressions et les températures dans les points caractéristiques du cycle.
- Apprécier les pressions moyennes indiquée et effective.
- Calcul de volume de cylindre.

III.6.1 Données technique principales :

Puissance effective	1560 kw
Vitesse de rotation	1800 tr/min
Consommation spécifique.	187 g/kwh
Nombre de cylindres	n = 12 en V
Taux de compression	$\varepsilon = 14$
Course x alésage	190 x 170 mm.mm
Pression atmosphérique	$1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
Température ambiante	300 °k
Pouvoir calorifique	PC = 42500 kJ / kg

III.6.2 La quantité de combustible injectée dans chaque cylindre :

La consommation spécifique :

$$C_{se} = 187 \text{ g/kwh}$$

La consommation totale par heure :

$$C_T = 187 \times 1560 = 291720 \text{ g/h}$$

La consommation totale par seconde :

$$C_T = 291720 / 3600 = 81,0333 \text{ g/s}$$

Le régime de moteur étant :

$$N = 1800 \text{ tr/min} = 30 \text{ tr/min}$$

Le moteur est à quatre temps dans une injection tout les deux tours de vilebrequin soit : 15 injections par seconde. Le moteur possède 12 cylindres donc on à 180 coups d'injection par seconde, donc la quantité de combustible injecté par coup dans un seul cylindre du moteur : $M_c = 81,0333 / 180 = 0,4502 \text{ g/coup}$.

M_c = est la quantité de combustible brûlé par cylindre.

III.6.3 La quantité d'air nécessaire à la combustion complète :

D'après (III-4) on a :

$$L = L_o \times M_c = 14,4522 \times 0,4502 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$L = 6,5064 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

IV.6.4 Calcul de volume de cylindre :

❖ Calcul de volume unitaire :

D'après (III-5) on a :

$$V_u = 4,3126 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

❖ Calcul de volume mort :

D'après (III-6) on a :

$$V_o = \frac{4,3126 \cdot 10^{-3}}{13} = 3,3174 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

❖ Calcul de volume total :

D'après (III-7) on a :

$$V_t = 4,3126 \cdot 10^{-3} + 3,3174 \cdot 10^{-4} = 4,6443 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

III.6.5 Calcul les points de cycle :**a) Le compresseur :**

D'après (III-8) et avec les données suivantes :

T_o : température de l'air ambiant $T_o = 300 \text{ K}$

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

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

n_s : exposant poly tropique du compresseur $n_s : (1,4 \div 2)$, on prend : $n_s = 1,7$

$$T_k = 300 \left(\frac{4,2}{1,013} \right)^{\left(\frac{1,7-1}{1,7} \right)} = 435,1802 \text{ K}$$

b) Refroidisseur :

$$P_s \approx P_k = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_s = 370 \text{ °K}$$

c) Processus d'admission :

❖ Pression en fin d'admission :

D'après (III-9) et avec :

$$P_a = P_s - \Delta P_a$$

 $\Delta P_a = (0,03 \div 0,10)P_k$ pour les moteurs diesel sur alimentés prend :

$$\Delta P_a = 0,05 P_k \Rightarrow P_a = 0,95 P_k$$

$$P_a = 0,95 \times 2,5 \cdot 10^5 = 2,375 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

❖ Température en fin d'admission

Calcule du coefficient des gaz résiduels :

D'après (III-9) et avec :

 P_r : pour les moteur sur alimentés $P_r : (0,75 \div 0,98)$ on prend : $P_r = 0,8 P_k$

$$P_r = 0,8 \cdot 2,5 \cdot 10^5 = 2,00 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

 T_r : pour les moteur diesel enter $(600 \div 900 \text{ K})$ on prend : 800 K ΔT dans les moteurs suralimentés $\Delta T (-5 \div 10)$ on prend : $\Delta T = 8^\circ\text{C}$

$$\gamma_r = \frac{370 + 8}{800} \frac{2,10^5}{14,2,375 \cdot 10^5 - 2,10^5} = 0,03024$$

D'après (III-10) on a :

$$T_a = \frac{370 + 8 + 0,03024 \cdot 800}{1 + 0,03024} = 390,3867 \text{ K}$$

❖ Coefficient de remplissage :

D'après (III-12) on a :

$$\eta_v = \frac{14}{14 - 1} \frac{2,375}{2,5} \frac{370}{390,3867(1 + 0,03024)} = 0,9412$$

❖ Calcul de masse d'air réelle admis dans le cylindre :

D'après (III-13) et (III-14) et avec :

 r : constante des gaz parfait $\approx r$ réel

$$r = 287 \text{ J/kg}$$

$$\rho_{air} = \frac{2,375 \cdot 10^5}{287 \cdot 390,3867} = 2,1198 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{air} = 0,9412 \cdot 4,6443 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1198 = 0,009266 \text{ kg}$$

La quantité d'air admis supérieure à la quantité nécessaire pour la combustion.

❖ Coefficient de l'excès d'air :

D'après (III-15) on a :

$$\lambda = \frac{9,2660}{6,5064} = 1,4240$$

d) Processus de compression :

La transformation est polytropique

❖ La pression :

D'après (III-16) on a :

$$n_c(1,34 \div 1,38) \text{ en prend } n_c = 1,36$$

$$P_c = 2,375 \cdot 10^5 \cdot 14^{1,36} = 85,980 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

❖ La température :

D'après (III-17) on a :

$$T_c = 390,3867 \cdot 14^{1,36-1} = 1009,4879 \text{ K}$$

❖ Calcul le travail de compression :

D'après (III-18) on a :

$$W_{a-c} = \frac{85,980 \cdot 10^5 \cdot 3,3174 \cdot 10^{-4} - 2,375 \cdot 10^5 \cdot 4,6443 \cdot 10^{-3}}{1,36 - 1} = 4895,1091 \text{ J}$$

e) Processus de combustion :

1. combustion à volume constant :

Transformation (c-y) combustion de 0,2M_c isochore.

D'après (III-19) on a :

$$Q = 0,4502 \cdot 42500 = 19133,50 \text{ J}$$

D'après (III-20) on a :

$$Q_1 = 0,2 \cdot 19133,50 = 3826,70 \text{ J}$$

❖ La température :

D'après (III-21) et avec :

M₁ : La masse de mélange (M_{air} + 0,2M_c)

$$M_1 = 9,2660 + 0,2 \cdot 0,4502 = 9,3560 \text{ g}$$

$$C_v = 0,878955 \text{ J/g}$$

$$T_y = 1009,4879 + \frac{3826,7}{9,3650 \cdot 0,878955} = 1474,37767 \text{ K}$$

D'après (III-22) on a :

$$P_y = 85,980 \cdot 10^5 \cdot \frac{1474,3776}{1009,4879} = 125,5755 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Le travail de la transformation (c-y) est nul (volume constant).

$$W_{c-y} = 0$$

2. combustion à pression constante :

La transformation (y-z) est la suite de la combustion à pression constante

$$Q_2 = 0,8 \cdot Q$$

$$Q_2 = 0,8 \cdot 191333,50 = 15306,8 \text{ J}$$

❖ La température :

D'après (III-24) on a :

M_2 = La masse de mélange ($M_{\text{air}} + M_c$)

$$M_2 = 9,2660 + 0,4502 = 9,7162 \text{ g}$$

$$C_p = 1,230537 \text{ J/g}$$

$$T_z = 1474,3776 + \frac{15306,8}{9,7162 \cdot 1,230537} = 2754,6231 \text{ K}$$

❖ La pression :

$$P_z = P_y = 125,5755 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

❖ Le volume :

D'après (III-25) on a :

$$V_z = 3,3174 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{2754,6231}{1474,3766} = 6,1980 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

❖ Le taux de la croissance de la pression :

D'après (III-26) on a :

$$\lambda_p = \frac{125,5755}{85,980} = 1,4605$$

❖ Le taux de la détente préliminaire :

D'après (III-27) on a :

$$\rho_d = \frac{6,1980}{3,3174} = 1,8683$$

❖ Calcul le travail :

D'après (III-28) on a :

$$W_{y-z} = -125,6136 \cdot 10^5 (6,1980 - 3,3174) \cdot 10^{-4} = -3618,4253 \text{ J}$$

f) Processus de détente :

La transformation est polytropique :

$$n_d = 1,27$$

❖ La pression :

D'après (III-29) on a :

$$P_d = 125,6136 \cdot 10^5 \left(\frac{6,1980}{46,443} \right)^{1,27} = 9,7291 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

❖ La température :

D'après (III-30) on a :

$$T_d = 2755,0705 \left(\frac{6,1980}{46,443} \right)^{1,27-1} = 1599,19579 \text{ K}$$

❖ Calcul le travail de détente :

$$W_{z-d} = \frac{9,7303 \cdot 10^5 \cdot 4,6443 \cdot 10^{-3} - 125,5755 \cdot 10^5 \cdot 6,1980 \cdot 10^{-4}}{1,27 - 1} = -12091,4206 \text{ J}$$

❖ Calcul le travail de cycle

D'après (III-32) on a :

$$W_{cycle} = 4859,1091 + (-3617,2949) + (-12091,4206) = -10849,6064 \text{ J}$$

III.6.6 Les performances du moteur :

a) Les performances indiquées :

❖ La pression moyenne indiquée :

D'après (III-33) on a :

φ : Coefficient empirique : φ (0,92 : 0,97) on prend : $\varphi = 0,97$

$$P_{mi} = \frac{0,97 \cdot 85,980 \cdot 10^5}{14 - 1} \left[1,4605 (1,8683 - 1) \frac{1,4605 \cdot 1,8683}{1,27 - 1} \left(1 - \frac{1599,19579}{2754,6231} \right) - \frac{1}{1,36 - 1} \left(1 - \frac{390,3867}{1009,4879} \right) \right]$$

$$P_{mi} = 23,5584 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

❖ La puissance indiquée :

D'après (III-34) on a :

$$\varphi_i = \frac{23,5584 \cdot 10^5 \cdot 12,43126 \cdot 10^{-3} \cdot 1800}{30,4} = 1828,7632 \text{ kW}$$

❖ Rendement indiqué :

D'après (III-35) on a :

$$\eta_i = \frac{1,4240 \cdot 14,4522 \cdot 23,5584 \cdot 10^5}{42500 \cdot 10^3 \cdot 0,9412 \cdot 2,1198} = 0,5717$$

$$\eta_i = 57,17 \%$$

❖ La consommation spécifique indiquée :

D'après (III-36) on a :

$$g_i = \frac{291720 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}{1828,7632} = 159,5176 \text{ kg/kw.h}$$

$$g_i = 159,5176 \text{ kg/kw.h}$$

b) Les performances effectives :

❖ La puissance effective : $\varphi_e = 1560 \text{ kW}$

❖ La pression effective :

D'après (III-37) on a :

$$P_{me} = \frac{1560 \cdot 10^3 \cdot 30,4}{1800 \cdot 12,43126 \cdot 10^{-3}} = 20,0962 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

❖ Rendement effectif :

D'après (III-38) on a :

$$\eta_e = \frac{1,4240 \cdot 14,4522 \cdot 20,0962 \cdot 10^5}{42500 \cdot 10^3 \cdot 0,9412 \cdot 2,1198} = 0,4877$$

$$\eta_e = 48,77 \%$$

III.6.7 La vitesse moyenne de combustible :

D'après (III-39) on a :

ρ_c : La densité de combustible ($\rho_c = 830 \text{ kg/m}^3$).

P_{inj} : La pression de l'injection ($P_{inj} = 2000 \cdot 10^5 \text{ Pa}$).

P_{moy} : La pression de l'injection ($P_{moy} = 1/2(P_c + P_z)$).

$$P_{moy} = \frac{(85,980 + 125,5755) \cdot 10^5}{2} = 105,7777 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$V_{moy} = \sqrt{\frac{2}{830} (2000 - 105,7777) 10^5} = 675,6028 \text{ m/s}$$

III.6.8 Le couple moteur :

D'après (III-40) on a :

$$M_e = \frac{30.1560 \cdot 10^3}{3,14.1800} = 8280,2550 \text{ N.m}$$

III.7 Tableau de comparaison :

Moteur CAT 3512	Injection à commande mécanique	Injection à commande électronique
La vitesse de rotation	1200 tr/min	1800 tr/min
Consommation spécifique	210 g/kWh	187 g/kWh
Le taux de compression	13	14
Cylindrée	51,8 L	51,8 L
Travail de cycle	10328,5865 j	10849,6064 j
Pression indiquée	22,0326 10^5 Pa	23,5584 10^5 Pa
Puissance indiquée	1140,2150 kW	1828,7632 kW
Rendement indiqué	54,83 %	57,17 %
Puissance effective	902,3 kW	1560 kW
Pression moy effective	17,4353 10^5 Pa	20,0962 10^5 Pa
Rendement effectif	43,40 %	48,77 %
La vitesse moy d'injection	124,6200 m/s	675,6028 m/s
Le couple moteur	7183,9100 N.m	8280,2547 N.m

Conclusion :

Après les calculs thermodynamiques des deux moteurs à injection directe, le moteur alimenté par un système d'injection haute pression à commande électronique, offre un rendement supérieur et des performances motrices meilleures que le moteur à injection commande mécanique. D'après les résultats de calcul on remarque une augmentation dans tous les paramètres de performance moteur avec l'injection à commande électronique (pressions moyennes, puissance, vitesse de rotation, rendements, couple moteur) par rapport le deuxième moteur et avec une même cylindrée.

Avec de l'importante pression d'injection dans la série 3512 B, le constructeur CAT a fait des particularités mécaniques au niveau des pièces suivantes :

- ❖ Les pignons d'entraînement d'arbre à cames sont renforcés.
- ❖ Le piston articulé avec tête en acier et jupe en alliage d'aluminium.
- ❖ La chambre de combustion préfinie.
- ❖ Le segment coup de feu rechassé.
- ❖ Le refroidissement amélioré.
- ❖ Les collecteurs d'échappement renforcés et munis de compensateurs de dilatation.



Piston de série B.



Piston de série A.

III.8. Analyse des résultats obtenus :

III.8.1 Variation des paramètres de sortie en fonction du coefficient d'excès d'air :

La structure du mélange caractérisée par le coefficient d'excès d'air λ influe considérablement sur le déroulement de la combustion et par conséquent sur les paramètres indiqués.

❖ Variation de rendement indiqué en fonction du coefficient d'excès d'air :

L'appauvrissement du mélange (λ augmente) jusqu'à une valeur λ_{eff} appelée limite d'appauvrissement effectif favorise l'augmentation du rendement indiqué η_i , Ceci est dû à une combustion plus complète lors d'appauvrissement. Cependant, un appauvrissement ultérieur du mélange fait diminuer η_i à cause d'une combustion lente et instable due à une faible quantité de carburant injectée dans la chambre de combustion.

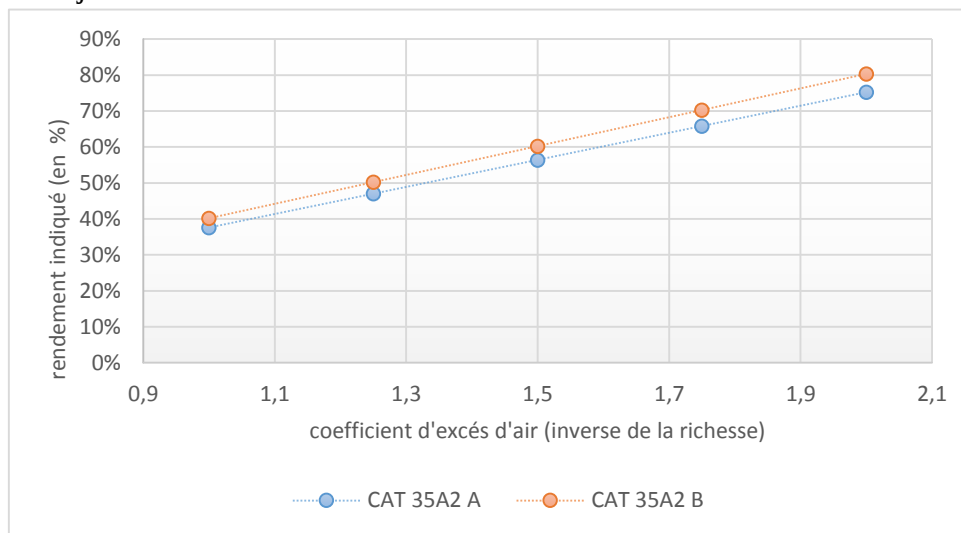


Fig.III.3 : Variation de rendement indiqué en fonction de coefficient d'excès d'air.

Pour les moteurs diesel, le coefficient d'excès d'air varie dans l'intervalle de 1,8 à 3,2 pour les moteurs à chambres uniques de combustion et peut atteindre la valeur de 5 pour ceux qui ont des chambres séparées de combustion. L'excès d'air du mélange combustible, pour les moteurs diesel, doit être toujours supérieur à la limite d'apparition ($\alpha \cong 1,8$) des fumées afin d'éviter les conséquences d'une fumée exagérée et d'une surchauffe inadmissible des pièces.

III.8.2. Variation des paramètres de sortie en fonction de la pression d'admission :

❖ Variation de la pression moyenne indiquée en fonction de la pression d'admission :

Dans le calcul de la pression moyenne indiquée P_{mi} , on a bien montré la proportionnalité entre P_{mi} et la pression à la fin l'admission et par conséquent entre P_{mi} et la pression à l'entrée du cylindre (à l'admission) P_a . Ce qui veut dire, que l'augmentation de la pression d'admission

conduit à l'augmentation de la pression indiquée ainsi que l'inverse est vraie.

La figure montre d'une façon claire que la pression moyenne indiquée devient le double si on fait doubler la pression à l'admission. D'où l'intérêt de suralimenter le moteur en tenant compte son taux de compression volumétrique afin de ne pas augmenter les contraintes mécaniques et thermiques résultantes de la suralimentation.

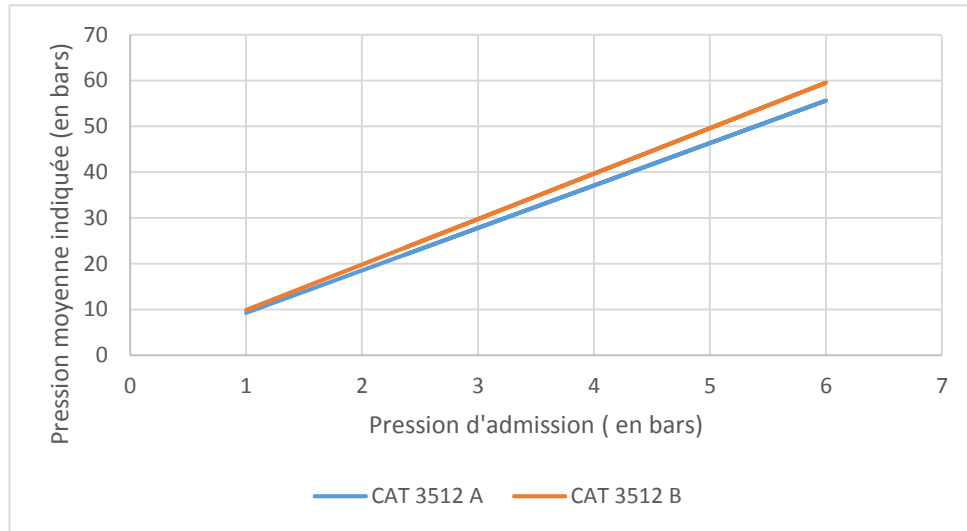


Fig.III.4 : Variation de la pression moyenne indiquée en fonction de pression d'admission.

❖ **Variation de la consommation spécifique indiquée du carburant en fonction de la pression d'admission :**

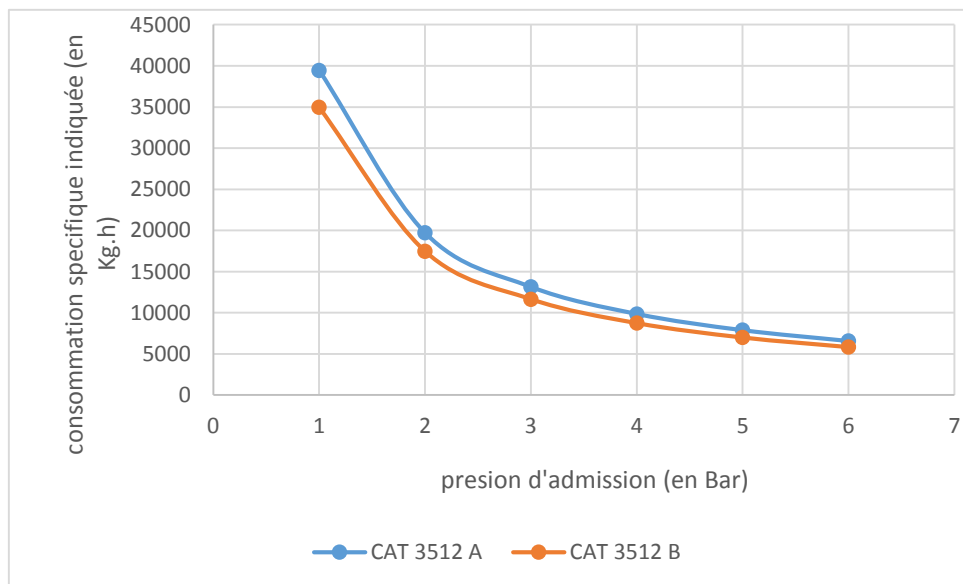


Fig.III.5 : Variation de la consommation spécifique indiquée en fonction de pression d'admission.

La figure montre d'une façon claire que la consommation horaire du carburant (gazole) diminue avec l'augmentation de la pression à l'admission, ce qui montre l'intérêt économique de la suralimentation.

III.8.3 Variation des paramètres de sortie en fonction du taux de compression volumétrique :

❖ Variation de la pression moyenne indiquée en fonction du taux de compression volumétrique :

Plus que le taux de compression volumétrique ϵ augmente, plus que le taux de détente δ

$$(\delta = \frac{\epsilon}{\rho})$$

augmente par conséquent le travail moteur pendant la phase de détente augmente aussi. Ceci conduit à augmenter le travail utile du moteur, ainsi que, par conséquent, la pression moyenne indiquée.

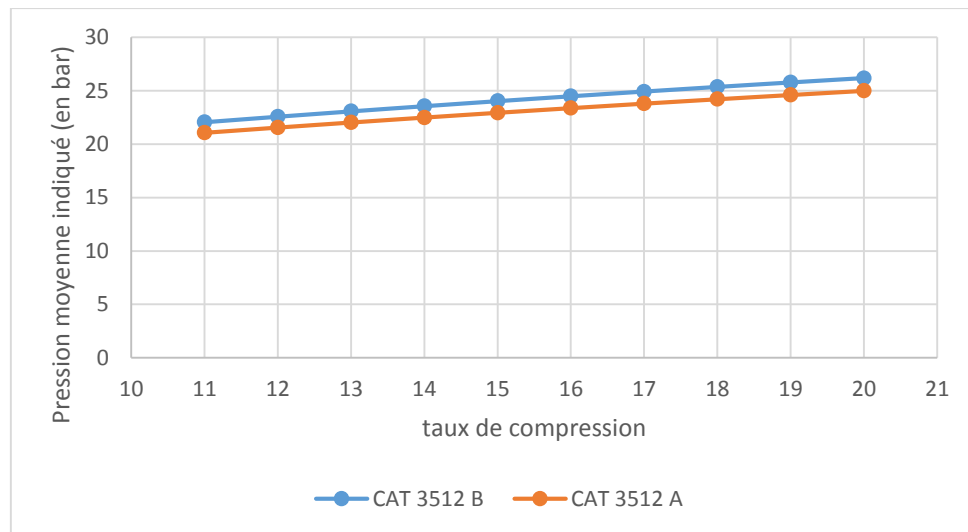


Fig.III.6 : Variation de la pression moyenne indiquée en fonction du taux de compression volumétrique.

La figure montre bien l'augmentation de la pression moyenne indiquée P_{mi} avec l'élévation du taux de compression volumétrique. Le taux d'augmentation relatif de P_{mi} pour un accroissement d'une seule unité du taux de compression. Est de l'ordre de 1,5 % quand ϵ est inférieur à 16 et de l'ordre de 0,5 % quand ϵ est supérieur à 16.

Puisque la suralimentation favorise l'augmentation de la température et de pression dans le cylindre, le taux de compression du moteur doit être relativement bas (de l'ordre de 12 à 14) pour éviter d'augmenter les contraintes mécaniques et thermiques du moteur.

Le travail perdu en adoptant un taux bas de compression volumétrique est récompensé par l'avantage du travail dû à la suralimentation bien étudiée du moteur.

❖ Variation du rendement indiqué η_i en fonction du taux de compression volumétrique :

Le rendement indiqué est proportionnel à la pression moyenne indiquée ainsi qu'à la cylindrée. Donc, plus que le taux de compression ϵ augmente, plus que la cylindrée et la pression moyenne indiquée augmente et par conséquent plus que le rendement indiqué augmente.

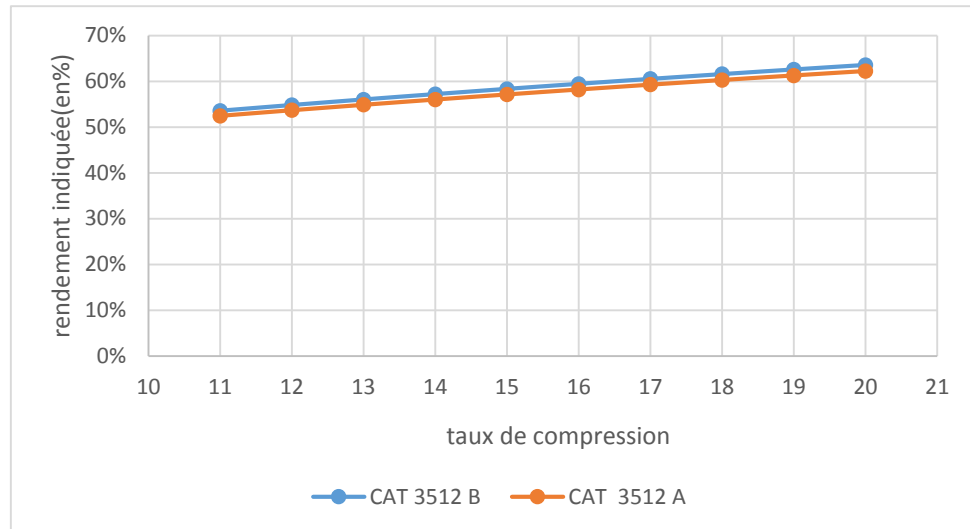


Fig.III.7 : Variation du rendement indiqué en fonction du taux de compression volumétrique.

Alors, il est évident que la figure montre cette croissance du rendement indiqué avec l'augmentation du taux de compression, mais on remarque que le taux de croissance η_i de diminue au fur et à mesure que le taux de compression augmente. En effet, le taux d'augmentation relatif η_i de pour un accroissement d'une seule unité du taux de compression. Est de l'ordre de 1,6 % quand ϵ est inférieur à 16 et de l'ordre de 0,6 % quand ϵ est supérieur à 16.

❖ **Variation des consommations spécifique indiquée en fonction du taux de compression volumétrique :**

La figure montre que la consommation spécifique indiquée même celle de la consommation horaire du carburant (gazole) diminuent d'une façon asymptotique avec l'augmentation du taux de compression volumétrique d'un moteur Diesel suralimenté. En effet, plus que le taux de compression augmente, plus que la puissance indiquée augmente et par conséquent plus que les consommations spécifique indiquées et horaire diminuent du fait qu'elles sont inversement proportionnelles à la puissance indiquée.

C'est une chose tout à fait logique, puisque l'augmentation du taux de compression d'un moteur Diesel qui est déjà suralimenté, permet d'augmenter le taux de remplissage et par suite d'accroître la masse d'air introduit dans le cylindre où il restera seulement d'injecter une petite quantité de carburant pour provoquer la combustion et chauffer le mélange gazeux pour pouvoir se détendre après dans le cylindre et produire le travail moteur.

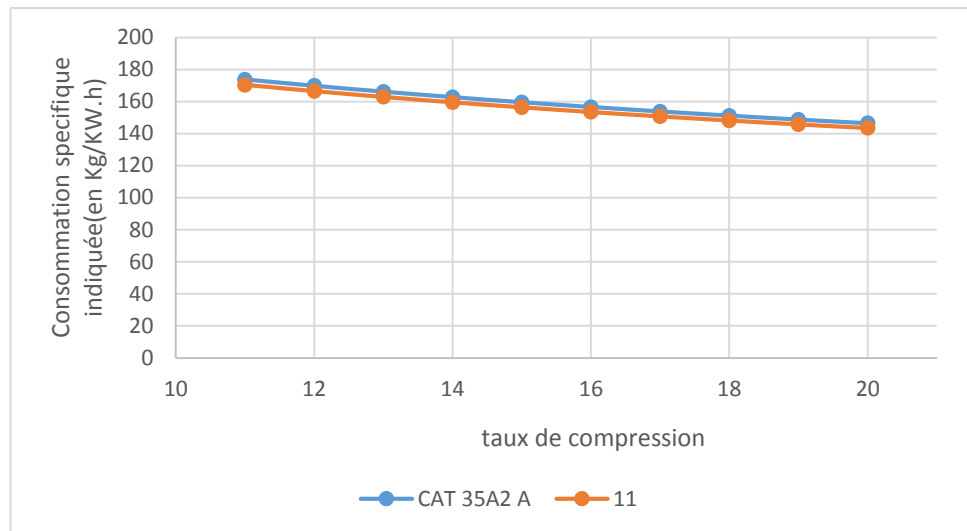


Fig.III.8 : Variation des consommations spécifique indiquée en fonction du taux de compression volumétrique.

❖ **Variation du taux de remplissage en fonction du taux de compression volumétrique :**

À partir de la figure, on pourrait constater que le taux de remplissage augmente avec l'augmentation du taux de compression volumétrique. En effet, plus que le taux de compression augmente, plus que la poussée et la température des gaz dans le cylindre augmentent et par conséquent la densité volumique de ces gaz diminue et les molécules deviennent plus libres ainsi que les distances entre les molécules croît d'une façon que la densité de probabilité de remplissage du volume du cylindre augmente, et si l'on suppose que les gaz brûlés ont même masse moléculaire moyenne que celle de l'air (du fait de la prépondérance de l'azote présent dans les deux cas), cela va permettre à l'air d'occuper la majorité du volume du cylindre avec un taux assez élevé.

Remarque :

Tous les résultats représentés sur les graphiques ci-dessus sont obtenus en faisant varier l'un des paramètres d'entrée (coefficient d'excès d'air, taux de compression, pression d'admission), et fixant tous les autres paramètres. Ainsi que dans les calculs on a obtenues que la pression à l'échappement est plus grande que celle à l'admission (voir les cycles obtenus présentés dans la partie des calculs thermodynamique).

Conclusion :

Le but était de montrer l'évolution de la variation de la puissance et la consommation du carburant avec les changements des paramètres d'entrée.

Tous les résultats des calculs étaient obtenus à partir d'un logiciel sous Excel développé.

Cette étude à montrer que l'injection électronique est nettement meilleure est supérieur comparativement à une injection mécanique.

IV.1. Introduction :

Les moteurs tendent à se détériorer dans le temps sous l'action des causes multiples (déformation, usures) dues au fonctionnement, à l'action des agents corrosifs (agent chimique, atmosphérique très poussiéreuse) ou de travail dans des conditions défavorables, ces détériorations peuvent provoquer l'arrêt de fonctionnement, à la diminution des capacités de production, l'augmentation des coûts de réparations et la mise en sécurité des personnes.

Pour obtenir les meilleures performances et la plus longue durée de service du moteur, il est important d'effectuer l'opération d'entretien et non seulement de réparer et prévenir, il faut aussi avoir empêché de tomber en panne*.donc la maintenance est devenue une technique d'anticipation d'organisation et de gestion.

IV.2. Définition et l'objectif de la maintenance :**IV.2.1. Définition de la maintenance :**

D'après L'AFNOR (NF X60-010) :

La maintenance est un ensemble des actions permettant de maintenir et de rétablir un bien dans un état spécifique ou en mesure d'assurer un service déterminé. Bien maintenir. C'est assurer ces opérations au coût optimal.

La définition de la maintenance fait donc apparaître quatre notions :

Maintenir : contient la notion prévention sur un système en fonctionnement.

Rétablir : contient la notion correction sur un système en fonctionnement.

Etat spécifié et service déterminé : précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance.

Coût optimal : qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique.

IV.2.2. Les objectifs de la maintenance :

Les matériels dans le temps se dégradent, alors c'est la fonction (service) maintenance qui garantit la lutte contre ces anomalies afin d'aboutir à des gains économiques, techniques et sociaux, parmi ces objectifs :

- L'augmentation de la fiabilité de l'équipement
- Conserver l'état de la machine
- Assurer la qualité de la production avec un coût global optimal
- L'augmentation de la productivité

- L'amélioration de la sécurité et de travail
- La formation du personnel d
- Dans le cadre de la maintenance
- Gestion des magasins de pièces de rechange

IV.3. Les méthodes de maintenance :

Les choix entre les méthodes de maintenance, s'effectue selon les objectifs de la direction conformément aux politiques de maintenance arrêtées tout en se basant sur :

- Le fonctionnement et caractéristique des équipements.
- Le comportement des équipements en exploitation.
- Les conditions d'application de chaque méthode.
- Les couts de maintenance et les couts de perte de production.

IV.3.1. La maintenance corrective :

IV.3.1.1. Définition (NF X 60-010) :

<<Opération de maintenance effectuée après défaillance>>.

IV.3.1.2. Défaillance :

Altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir cette fonction requise

Il existe deux formes de défaillance.

Défaillance partielle : altération de l'aptitude d'un bien à accomplir cette fonction requise.

Défaillance complète : cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir cette fonction requise.

La maintenance corrective appelée parfois curative (terme non normalisé) a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires son utilisation.

IV.3.1.3. Les étapes suivies pour faire maintenance corrective :

Après apparition d'une défaillance la maintenance doit mettre en œuvre un certain nombre d'opération, ces opérations s'effectuent par étapes :

- **Test :** c'est adire comparaison des mesures avec une référence.
- **Détection :** ou action de déceler l'apparition d'une défaillance.
- **Localisation :** ou action conduisant à rechercher précisément les éléments pour lequel la défaillance se manifeste.
- **Diagnostic** ou identification et analyse des causes de la défaillance.
- **Dépannage, réparation** ou remise en état (avec ou sans modification).
- **Contrôle** du bon fonctionnement après intervention.

- **Amélioration éventuelle** : c'est adire évité la réapparition de la panne.
- **Historique** ou mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure.

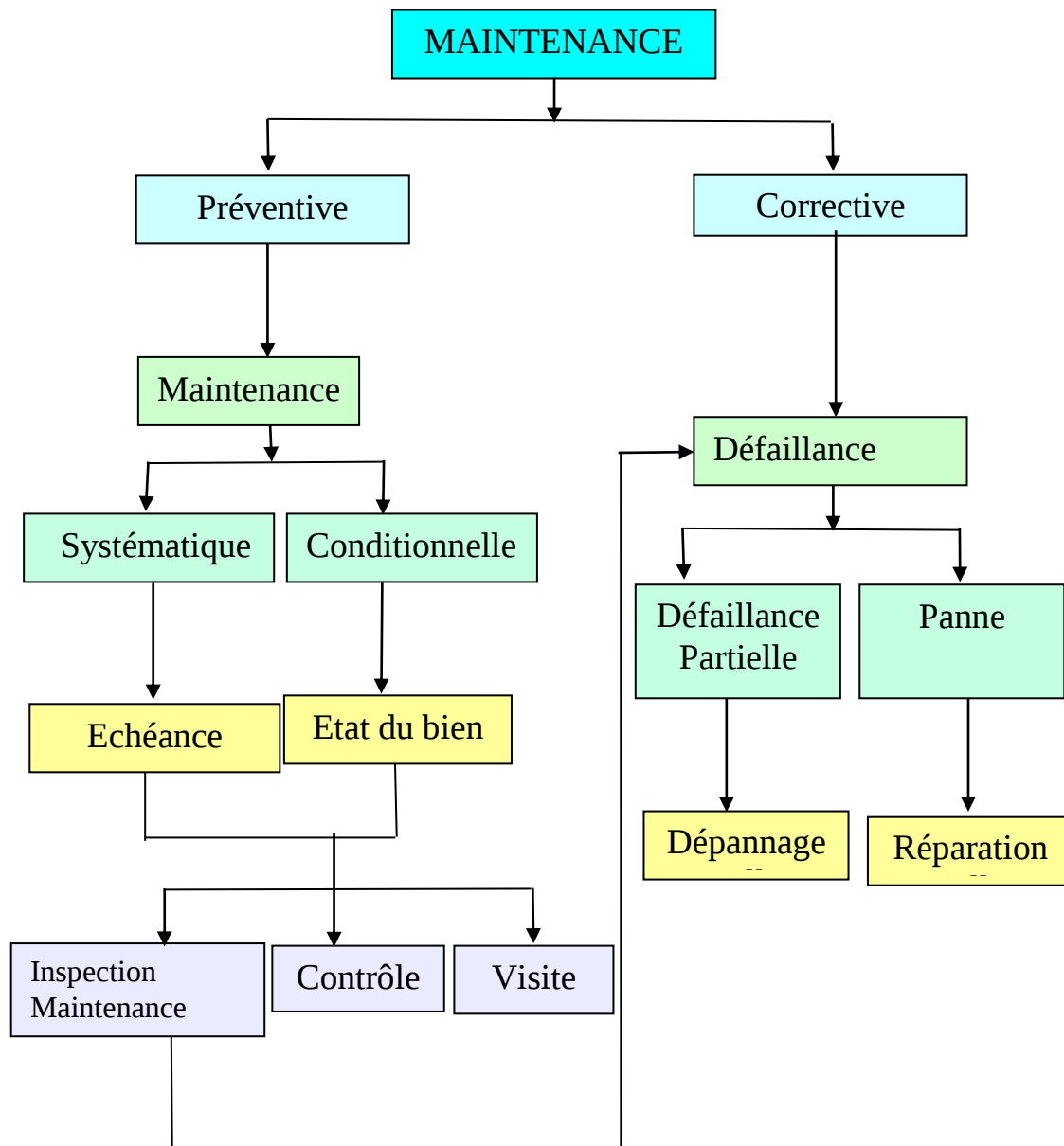


Fig.IV.1 : Organigrammes des méthodes et technique de la maintenance.

IV.3.2. La maintenance préventive :**IV.3.2.1. Définition :**

Maintenance effectuée selon des critères prédominés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.

Elle doit permettre d'éviter les défaillances de matériels en cours d'utilisation.

IV.3.2.2. But de la maintenance préventive :

- Augmenter la durée de vie des matériels.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective.
- Eviter les consommations anormales d'énergie de lubrifiant, etc.
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production.
- Diminuer le budget de maintenance.
- Supprimer les causes d'accidents graves.

IV.3.2.3. La maintenance préventive systématique :

Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage.

Cette périodicité d'interventions est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle

Cette méthode nécessite de connaître

- Le comportement de matériel
- Les modes de dégradation
- Le temps moyen de bon fonctionnement contre deux avaries

IV.3.2.4. La maintenance préventive conditionnelle :

Maintenance préventive subordonnée à un type d'évènement prédéterminé (auto diagnostic)

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par :

- La mise en évidence des points faibles
- Contrôle continu ou périodique de ces points

- Selon la situation décider de l'intervention (lorsque l'indicateur atteint un certain seuil)

IV.4. L'opération de maintenance :

IV.4.1. L'opération de maintenance corrective :

- a) **Le dépannage** : action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement.
- b) **La réparation** ; intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance.

IV.4.2. Les opérations de la maintenance préventive :

a) L'inspection :

Activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

b) Les visites :

Opération de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique s'opèrent selon une périodicité déterminée .ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies probablement qui peuvent entraîner des démontages d'organes et une immobilisation du matériel .une visite peut entraîner une action de maintenance corrective.

- c) **Les Contrôle** : vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement.

Le contrôle peut :

- Comporter une activité d'information.
- Inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement.
- Déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

IV.5. Choix d'une politique de maintenance :

L'objectif principal de la politique de maintenance est l'efficacité économique souvent doublée d'impératifs de sécurité et de contraintes réglementaires (normes antipollution).ces contraintes identifiées, le choix de la politique de maintenance est déterminé par le calcul de durée de vie (life cycle cost).

A long terme, il s'agit de juger de la durée de vie optimale d'A long terme, il s'agit de juger de la durée de vie optimale d'une machine en estimant la somme des couts suivants :

- ✓ Cout d'achat A
- ✓ Cout de fonctionnement F
- ✓ Cout total de maintenance M
- ✓ Valeur de revente éventuelle VR

Le cout global vaut $CG=A+F+M-VR$

Le total de maintenance ayant tendance à augmenter avec l'âge de la machine, et la valeur de revenue à diminuer, il est intéressant de déterminer la durée au bout de laquelle on atteint un minimum.

Cette durée de vie optimale correspondant à l'abscisse du point de contact de la tangente a la courbe passant par l'origine.

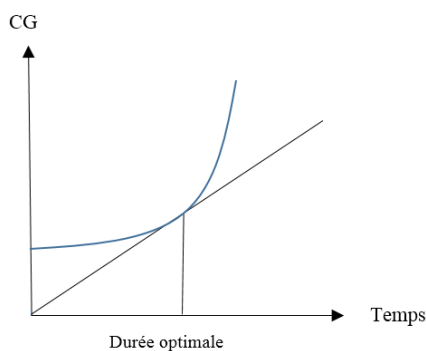


Fig.IV.2 : Détermination de la durée de vie optimale.

Le cout total de maintenance peut être difficile à estimer. En effet, il regroupe les couts directs des opérations, mais aussi les couts indirectes tels que les couts de remplacement temporaire, de stockage et d'immobilisation des rechanges, d'indisponibilité du matériel.

Cette détermination étant réalisée, il faut choisir pour chaque machine ou groupe de machines un type de maintenance approprié. Dans l'absolu, la maintenance conditionnelle, voire prédictive, semble la plus adaptée mais en réalité, il est rare de pouvoir disposer des mesures en continu des paramètres significatifs du fonctionnement permettant de l'appliquer. Le choix s'effectue alors entre maintenance systématique et corrective. On peut utiliser des critères de choix simples résumés par des arbres.

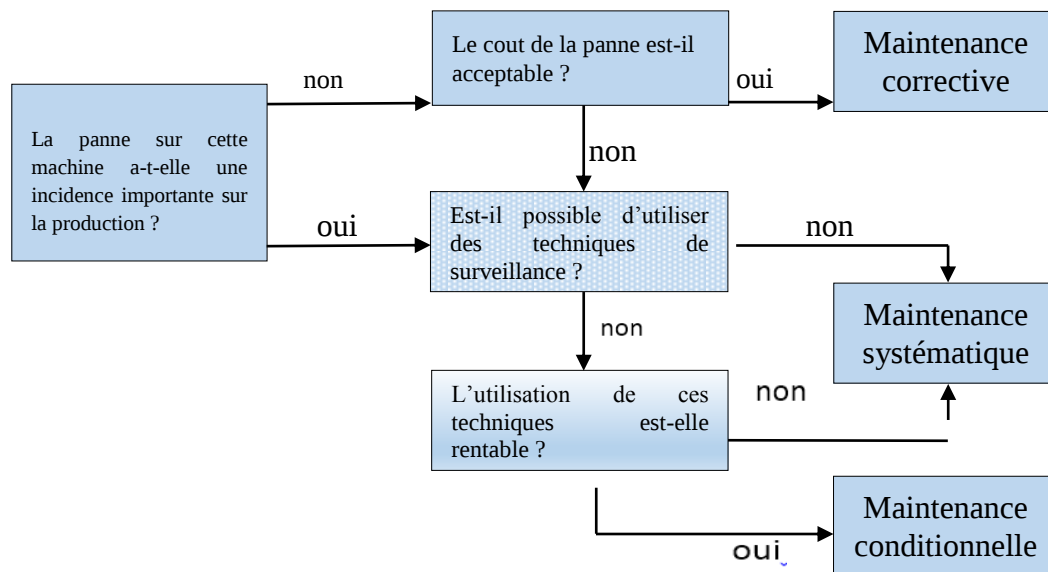


Fig.IV.3 : Choix d'une politique de maintenance.

IV.6. Les niveaux de la maintenance :

- **1^{er} niveau :**

Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans
Aucun démontage ou ouverture de l'équipement, ou échanges d'éléments consommables
Accessibles en toute sécurité, tels que voyants ou certains fusibles, etc.

- **2^{ième} niveau :**

Dépannage par échange standard des éléments prévus à cet effet et opérations
Mineures de maintenance préventive, telles que graissage ou contrôle de bon fonctionnement.

- **3^{ième} niveau :**

Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants ou
D'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures et toutes opérations courantes de
Maintenance préventive telles que réglage général ou réalignement des appareils de mesure.

- **4^{ème} niveau**

Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de
La rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de
Mesure utilisés pour la maintenance, et éventuellement la vérification des étalons du travail
Par les organismes spécialisés.

- **5^{ième} niveau :**

Rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un Atelier central ou à une unité extérieure.

IV.7. Calendrier d'entretien du moteur Caterpillar 3512 :

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

a) Chaque jour : On doit vérifier :

- Huiler du démarreur pneumatique, contrôle du niveau de l'huile ;
- Réservoir pneumatique, Evacuation de l'humidité et les dépôts ;
- Panne à avertisseur, contrôle ;
- Niveau de circuit de refroidissement, contrôle ;
- Filtre à air, contrôle de l'indicateur de colmatage ;
- Préfiltre à air du moteur, nettoyage ;
- Niveau d'huile moteur, contrôle ;
- Réservoir de carburant, purge de l'eau et des dépôts ;
- Charge de l'alternateur, contrôle ;
- Réchauffeur d'eau de chemises, contrôle ;

b) Toutes les semaines : On doit vérifier :

- Filtre d'admission d'air, contrôle ;
- Chargeur de batterie, contrôle ;
- Température du palier, mesure/consignation ;
- Connexions électriques, contrôle ;
- Alternateur, contrôle ;
- Résistance de chauffage, contrôle ;
- Température du bobinage de stator, Mesure/consignation ;
- Tension et fréquence, contrôle ;
- Vérifications extérieures.

c) Au bout des 250 premières heures de service :

- Jeu des soupapes du moteur, contrôle/réglage ;
- Injecteur de carburant, contrôle/réglage ;
- Capteur de vitesse, nettoyage/contrôle ;
- Courroie d'alternateur et ventilateur, contrôle/réglage/remplacement ;
- Niveau d'électrolyte de la batterie, contrôle ;
- Additif pour circuit de refroidissement, Contrôle/appoint ;
- Huile de moteur, prélèvement d'un échantillon ;
- Palier d'entraînement de ventilateur, graissage ;
- Flexibles et colliers, contrôle/remplacement ;
- Radiateur, nettoyage ;

d) Toutes les 500 heures de service :

- Contrôler le radiateur : nettoyer au besoin les ailettes de radiateur ;
- Faire l'appoint de liquide de refroidissement jusqu'au niveau correct (moteur l'arrêt) ;
- Mettre le moteur en marche et rechercher les fuites réparées au besoin ;
- Vérifier PH de liquide de refroidissement ;
- Contrôler toutes les canalisations (filtres colliers desserrés) du circuit gasoil ;
- Vérifier l'Etat et la tension des courroies d'entraînement du ventilateur (remplacer) ;
- Graisser les roulements à rouleaux conique de l'entraînement du ventilateur ;
- Faire un prélèvement d'un échantillon d'huile moteur pour analyse ;
- Vidanger le carter d'huile moteur (moteur à l'arrêt et huile chaude) et remplacer l'huile ;

e) Toutes les 1000 heures de service :

- Roulement (à rouleaux sphériques), graissage ;
- Analyse de liquide de refroidissement ;
- Moteur, nettoyage ;
- Reniflard du carter moteur, nettoyage ;
- Dispositifs de protection du moteur, contrôle ;
- Tringlerie de commande d'injection, contrôle/graisage ;

- Filtre à carburant primaire, nettoyage/contrôle/remplacement ;
- Filtre secondaire de circuit de carburant, remplacement ;

f) toutes les 2000 heures de service :

- Graisseur du démarreur pneumatique, nettoyage de la cuvette ;
- Roulement (à bille), graissage ;
- Amortisseur de vibrations du vilebrequin, contrôle ;
- Support du moteur, contrôle ;
- Jeu des soupapes du moteur, contrôle/réglage ;
- Injecteur de carburant, contrôle/réglage ;
- Turbocompresseur, contrôle ;
- Alternateur, séchage ;
- Vibration du groupe électrogène, examen ;
- Câble de stator, contrôle ;

g) Toutes les 3000 heures de service :

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

h) toutes les 6000 heures de service ou tous les 6 ans :

- Alternateur, contrôle ;
- Liquide de refroidissement de longue durée, renouvellement ;
- Circuit de refroidissement, remplacement du thermostat ;
- Pompe de graissage, contrôle ;
- Capteur de vitesse, nettoyage/contrôle ;
- Démarreur, contrôle ;
- Pompe à eau, contrôle.

IV.8. Entretien des systèmes du moteur :**A. Système d'alimentation :**

- 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 gas-oil ;
- 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.

B. Système d'air du moteur :

- Contrôler l'indicateur de colmatage des filtres ;
- Nettoyer les filtres en soufflant de l'intérieur, avec une pression correcte : $2,5 \left[\frac{Kg}{cm^2} \right]$;
- Contrôler les joints de filtre et l'étanchéité des boîtiers de filtre ;
- Nettoyer si nécessaire ;
- 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 ;

C. Système de refroidissement :

- Contrôler le niveau de circuit de refroidissement lorsque le moteur est arrêté et refroidi.
- Vérifier le niveau du liquide dans le radiateur avant la mise en marche (à froid) ;
- Vérifier la tension des courroies et leur nombre ;
- Contrôler la propreté du radiateur ;

- Surveiller la température pendant le fonctionnement ;
- Utiliser les liquides refédérateurs et additifs préconisés par le constructeur
- Contrôler la concentration.

D. Système de lubrification :

- 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.
- Vidanger l'huile à l'aide du matériel qui se trouve sur le moteur.
- Remplacer les éléments de filtre à l'huile du moteur dans les cas suivants :
 - ❖ Chaque fois que l'huile est vidangée ;
 - ❖ Lorsque la pression différentielle de filtre à l'huile atteint 103Kpa.
- Vérifier toujours le niveau d'huile moteur, avant de mettre la machine en route. Penser aux jauges à double face.
- Ne jamais dépasser les niveaux indiqués sur les jauges.
- Arrêter immédiatement si la pression ne monte pas à la mise en route ou si elle chute pendant le travail.
- Penser à changer les filtres à huile, et à vérifier leur étanchéité après leur remplacement.

E. 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) ;
- Ouvrir le robinet de purge situé sur la pompe pour réamorcer.

IV.9. Diagnostic des moteur Cat 3512 :

Dans le but de raccourcir le temps nécessaire pour découvrir les causes ou même remédier aux pannes affectant les moteurs, un diagnostic regroupant les diverses défauts est mis en œuvre.

Il permet ainsi de découvrir rapidement la cause précise d'une panne et de procéder à une éventuelle intervention d'une manière logique et efficace.

Anomalies	Causes	Remèdes
le moteur ne part pas.	-Réservoir vide. -Présence d'air dans le circuit d'alimentation. -Conduite d'alimentation colmatée. -Filtre à carburant colmaté. -Injecteur colmaté. -Huile de carter moteur trop épaisse. -Démarreur défectueux.	-Contrôler le réservoir. -Purge d'air. -Nettoyage. -Nettoyage ou changer. -Nettoyer. -Remplacer par une huile de de viscosité appropriée. -Réparer ou remplacer.
Puissance insuffisante	-Mauvaise calage de l'injection. -Injection irrégulière de carburant. -Injecteur défectueux. -Refroidisseur d'air d'admission colmaté. -Combustible de type incorrect -Mauvaise fonctionnement de turbocompresseur. -Flexibilité de carburant obstrué. -Pompe à huile défectueux.	-Régler. -Réparer ou remplacer la pompe d'injection. -Réparer ou remplacer l'injecteur nettoyé. -Utiliser un carburant adéquat. -Consulter le concessionnaire ou distributeur de moteur agréé. -Nettoyer ou remplacer le flexible de carburant. -Réparer ou changer.
Le moteur surchauffe	-Manque de liquide de refroidissement. -Manque d'huile moteur. -Les ailettes de radiateur colmaté par la saleté. -Surcharge du moteur. -Thermostat défectueux. -Bouchon de radiateur défectueux.	-Faire l'appoint, vérifier s'il a n'y a pas de fuites. -Faire l'appoint. -Nettoyer. -Réduire la charge. -Retirer et vérifier le thermostat. -Remplacer.

	-Joint de culasse défectueux. -Carburant de viscosité incorrecte.	-Utiliser le carburant de qualité qui convient.
Vibration	-Amortisseur de vibration défectueuse. -Supports de moteur desserrés. -Alignement, et équilibrage du ventilateur. -Volant moteur non équilibré -Le vilebrequin non équilibré.	-Réparer ou changer. -Contrôler et resserrer les boulons de montage. -Contrôler et réparer. -Equilibrer et réparer. -Changer le volant. -Changer le vilebrequin.
Consommation excessive de l'huile motrice	-Fuite d'huile -Huile de carter moteur trop légère -Renifleur de carburateur -Turbocompresseur défectueux	-Confirmer l'absence des fuites aux conduits, vérifier les joints d'étanches. -Utiliser de l'huile d'une viscosité appropriée. -Nettoyer le reniflard du carter. -Réparer.
Faible pression de moteur d'huile de moteur	-Manque d'huile moteur. -Crépine colmaté. -Pompe à l'huile défectueuse. -Type d'huile ne convient pas. -Indicateur de pression d'huile défectueux. -Passage d'huile colmaté.	-Faire l'appoint. -Nettoyer. -Réparer ou remplacer. -Utiliser le type spécifique. -Changer l'indicateur. -Nettoyer.
Forte consommation, du carburant	-Carburant de type incorrect. -Filtre à air colmaté. -Surcharge de moteur. -Injecteurs encrassés. -Température moteur trop basse. -Turbocompresseur défectueux.	-Utiliser le carburant de type qui convient. -Nettoyer. -Réduire la charge. -Changer. -Contrôler le thermostat. -Réparer
Présence d'huile motrice dans le carburant	-Fuites au niveau des joints d'étanchéité pour le carburant. -Fuites au niveau de la tuyère d'injecteur.	-Changer les joints. -Changer les injecteurs.

	-Fuites au niveau des joints d'étanchéité de la pompe de transfert de carburant.	-Réparer la pompe ou change.
Présence d'huile moteur le système de refroidissement	-Faisceau de refroidisseur d'huile moteur défectueux. -Joints de culasse ou férules défectueux	-Remplacer le refroidisseur d'huile ou réparer. -Changer.
Présence d'eau dans le carter d'huile	-Joint spi de la pompe à eau défectueux. -Faisceaux de refroidisseur d'huile percés. -Faisceaux de refroidisseur d'air percés -Joints de culasse défectueux -Joints de chemise défectueux	-Changer. -Réparer. -Réparer. -Changer. -Changer.
Excès de fumée blanche	-Combustible de type incorrect. -Température moteur trop basse. -Thermostat défectueux. -Injecteurs défectueux. -Système de refroidissement. -Excès d'huile moteur.	-Utiliser un carburant adéquat. -Chauffer le moteur jusqu'à sa température de service. -Changer. -Changer. -Contrôler le circuit. -Réduire au niveau spécifié.
Excès de fumée noire	-Mauvaise qualité de carburant. -Filtre à air colmaté ou salé. -Surcharge de moteur. -Injecteur encrassé. -Filtre à carburant colmaté. -Fuite dans le circuit d'aération.	-Utiliser le carburant spécifie. -Nettoyer ou changer. -Réduire la charge. -Nettoyer ou changer. -Vérifier le turbocompresseur.
Excès de fumes bleu	-Mauvaise compression. -Niveau de l'huile trop élevé. -Usure des guides de soupapes. -Combustible incomplète. -Avance à l'injection insuffisante. -Clapet de régulation de pression d'huile défectueux.	-Régler les espaces neutres. -Réduire au niveau spécifié. -Changer les guides. -Régler l'avance à l'injection. -Contrôler la pression d'huile. réglez si nécessaire.

Tableau IV.1 : Diagnostiques du moteur Caterpillar 3512.

Conclusion :

Le Caterpillar est considéré comme le cœur de la sonde de forage, et la seule source d'énergie dans les chantiers pétroliers, un bon choix de politique de maintenance est le but pour tirer un meilleur rendement et obtenir une plus longue durée de vie possible de moteur Caterpillar ce minimise les coûts de réparation.

V.1. Généralités sur la gestion de stock :**V.1.1. Définition :**

Le stock est l'ensemble des marchandises ; matières ou produits accumulés dans l'attente d'une utilisation ultérieure plus ou moins proche. Il permet d'alimenter l'utilisateur au fur et à mesure des besoins sans leur imposer une fabrication par le fournisseur. Le stock joue le rôle d'un réservoir régulateur entre le flux d'approvisionnement et celui de consommation.

Le volume du stock doit être optimal car si le stock est trop important il représente une immobilisation des capitaux dont une partie devient un produit improductif, et s'il est trop faible, la production risque d'être perturbée par manque d'approvisionnement (le système est non fiable).

V.1.2. Les objectifs d'un stock :

- éliminer les prolongations des arrêts imprévus de la production ;
- réduire le temps perdu par les agents de maintenance causé par la rupture de stock des pièces nécessaires lors des travaux ;
- réduire les coûts des matières consommées en ayant la bonne pièce de rechange et en évitant l'utilisation des solutions coûteuses de dépannage ;
- réduire les coûts administratifs dus aux multiples achats annuels de pièce de faible valeur.

V.1.3. types de stock :

❖ Stock maximum:

C'est le niveau stock qu'il ne faut pas dépasser pour les raisons suivantes :

- immobilisation des capitaux sans utilité ;
- coût global élevé ;
- aire de stockage insuffisante ;

$$S_{\max} = q \cdot T$$

q : quantité utilisable en unité de temps ;

T : délai de livraison ou d'approvisionnement.

Le stock maximum correspond au volume d'une commande.

❖ Stock minimum :

C'est le niveau au-dessous duquel, ce stock ne doit pas descendre, afin d'éviter toute rupture, il est fonction de la consommation prévue et du délai de réapprovisionnement.

Il représente la quantité donnant la possibilité de poursuivre l'activité pendant un temps prédéterminé en cas d'arrêt complet des livraisons.

Stock sécurité :

C'est le stock qu'il ne faut jamais épuiser, et quand on atteint ce stock, on déclenche l'approvisionnement.

$$S_s = q \cdot T_r$$

q : quantité utilisable en unité de temps.

T_r : temps probable de retard de livraison.

VI.1.4. Coût de stockage :

a) **Coût de possession** : il est composé :

- de l'intérêt du capital engagé dans les stocks (intérêt de banque,...) ;
- du coût de fonctionnement du magasin ;
- des frais d'inventaire ;
- des pertes de stock.

Le coût de possession résulte de ce qui pourrait apporter à la société des capitaux dégagés, par produit du taux de possession annuel par la valeur du stock immobilisé.

Il est égal au produit du taux de possession annuel par la valeur du stock immobilisé.

$$K_2 = q \cdot P_u \cdot \frac{t}{2}$$

q : quantité à commander ;

P_u : prix unitaire ;

t : taux de possession.

b) **Coût de passation** :

Il comprend :

- les frais de recherche des fournisseurs ;
- les frais de négociation ;
- le coût de fonctionnement du service d'achat
- les frais de déplacement des acheteurs ;
- les frais de réception et contrôle.

$$K_1 = f \cdot \frac{c}{q}$$

c : consommation annuelle ;

f : Coût d'obtention par commande ;

q : quantité à commander ;

V.1.5. Quantité optimale :

Coût total=coût de passation +coût de possession.

$$K = K_1 + K_2$$

$$K_1 = f \cdot \frac{c}{q} \quad \text{Et} \quad K_2 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot P_u \cdot t$$

$$K = K_1 + K_2 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot P_u \cdot t + f \cdot \frac{c}{q}$$

Pour la détermination de la quantité optimum, on dérive K par rapport à q et on l'annule.

$$K' = -f \cdot \frac{c}{q^2} + \frac{1}{2} P \cdot T = 0$$

$$\Rightarrow q = \left(\frac{2 \cdot f \cdot c}{pt} \right)^{\frac{1}{2}}$$

V.1.6. Nombre optimal de commandes :

Le nombre optimal de commande est la division de la quantité dépensée annuellement sur la quantité optimale.

$$N = \frac{c}{q}$$

V.2. Calcul de gestion de stock :

On a choisi l'exemple du vilebrequin à cause de son prix élevé.

Données :

Nombre des moteurs CATERPILLAR 3512 A : N=52.

Cycle de réparation complète : 30000 heures.

Travail réel du moteur 3512 A:4300 heures/an.

Coût de passation d'une commande : $f = 150000$ D.A.

Le prix d'achat du vilebrequin : $P = 1296000$ D.A.

Nombre de cotes de réparation du vilebrequin : 3 côtes.

V.2.1. Le moteur doit être réparé tous les :

$$\frac{30000}{4300} = 7 \text{ ans.}$$

V.2.2. La quantité à commander par an :

$$C = \frac{52}{7} = 7,42 \text{ on prend 8 vilebrequins par an.}$$

Puisque le vilebrequin a trois côtes de réparation, la quantité de vilebrequin à commander sera :

$$C = \frac{8}{3} = 2,67 \text{ on prend 3 vilebrequins par an.}$$

V.2.3. Calcul de la quantité économique à commander :

$$q = \left(\frac{2 \cdot f \cdot c}{p \cdot t} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$t = 0,1$$

$$P = 1296000 \text{ DA}$$

$$q = \left(\frac{2 \cdot 3 \cdot 150000}{1296000 \cdot 0,1} \right)^{\frac{1}{2}} = 2,63$$

On prend $q = 3$ vilebrequins.

V.2.4. Nombre de commandes par an :

$$N_C = \frac{c}{q} = \frac{3}{3} = 1$$

N_c : commande par an.

V.2.5. Période d'approvisionnement du stock :

$$p = \frac{12}{N_C} = \frac{12}{1} = 12 \text{ Mois} = 1 \text{ an.}$$

V.2.6. Stock de sécurité :

$$S_s = q \cdot T_r, \text{ on prend } T_r = 1 \text{ mois}$$

$$S_s = \frac{8}{12} \cdot 1 = 0,66 \text{ Donc } S_s = 1 \text{ vilebrequin}$$

V.2.7. Stock maximum :

$$S_{\max} = q \cdot T, \text{ où } T = 12 \text{ mois}$$

$$S_{\max} = \frac{8}{12} \cdot 12 = 8 \text{ Donc } S_{\max} = 8 \text{ vilebrequins}$$

V.2.8. Coût global maximal :

$$S_g = S_s + S_{mex} = 1+8=9 \text{ vilebrequins}$$

V.2.9. Coût annuel de possession des commandes :

$$K_2 = \frac{pt}{2} \cdot q$$

Il est de la forme $K_2 = a \cdot x$

C'est l'équation d'une droite.

V.2.10. Coût de passation :

$$K_1 = f \cdot \frac{c}{q}$$

C'est l'équation d'une hyperbole de la forme $f \cdot c \cdot \frac{1}{x}$

V.2.11. Coût total d'une commande :

$$K = K_1 + K_2 = f \cdot c \cdot \frac{1}{q} + \frac{1}{2} p \cdot t \cdot q$$

Il est de la forme $K = \frac{a}{x} + b \cdot x$

Avec $a = f \cdot c$ et $b = \frac{p \cdot t}{2}$

La courbe de cette fonction passe par son minimum quand sa dérivée première est nulle.

$$\frac{dK}{dx} + b - \frac{a}{x^2} = 0 \Rightarrow x^2 = \frac{a}{b} \Rightarrow x = \sqrt{\frac{2 \cdot f \cdot c}{p \cdot t}}$$

$$N_c = \frac{c}{q} \cdot \frac{c}{x} = \frac{c}{\sqrt{\frac{2 \cdot f \cdot c}{p \cdot t}}} = \frac{3}{\sqrt{\frac{2 \cdot 3 \cdot 150000}{1296000 \cdot 0,1}}} = 1,13$$

Donc le nombre optimal de commandes est 1 commande par an.

V.2.12. Tableau de vérification :

Coût de passation :

$$k_1 = f \cdot \frac{c}{q} = f \cdot N_c = 150000 N_c$$

Coût de passation :

$$k_2 = \frac{1}{2} p \cdot t \cdot q = \frac{1}{2} p \cdot t \cdot \frac{c}{N_c} \Rightarrow K_2 = \frac{1296000 \cdot 0,1 \cdot 3}{2 \cdot N_c} = \frac{194400}{N_c}$$

$$k = k_1 + k_2 = 150000N_c + \frac{194400}{N_c}$$

Nombre De commande	K ₁ (D.A)	K ₂ (D.A)	K (D.A)
1	150000	194400	344400
2	300000	97200	397200
3	450000	64800	514800
4	600000	48600	648600
5	750000	38880	788880
6	900000	32400	932400
7	1000000	27771,4286	1077771,43
8	1200000	24300	1224300
9	1350000	21600	1371600

Conclusion :

A partir du tableau on remarque que le nombre de commandes optimal est de 1 commande par an.

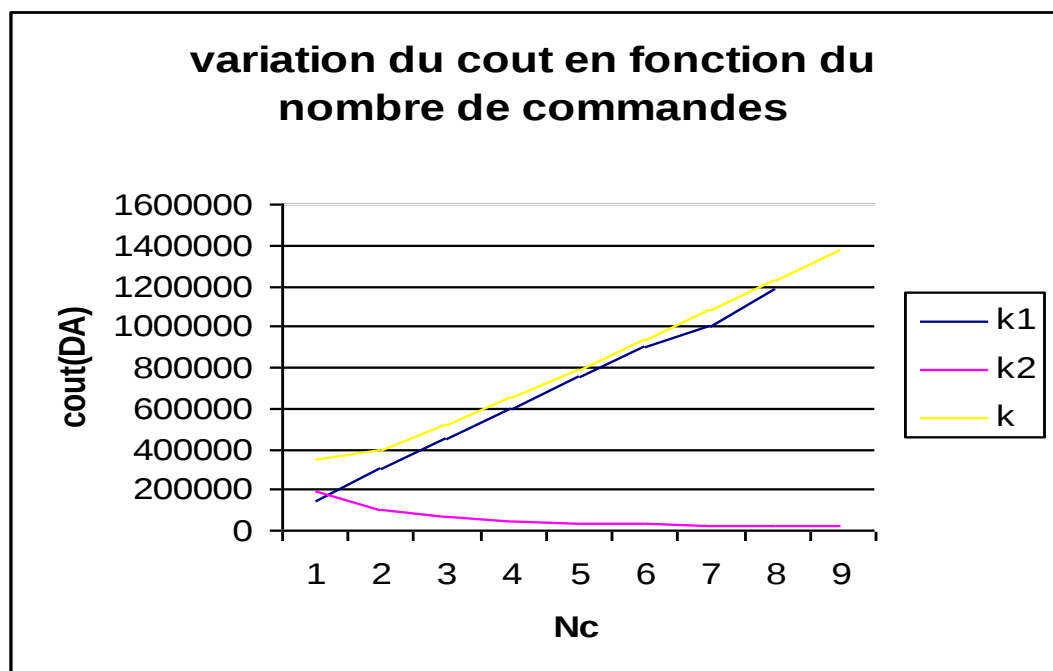


Fig. V.1 : Variation du cout en fonction du nombre de commandes.

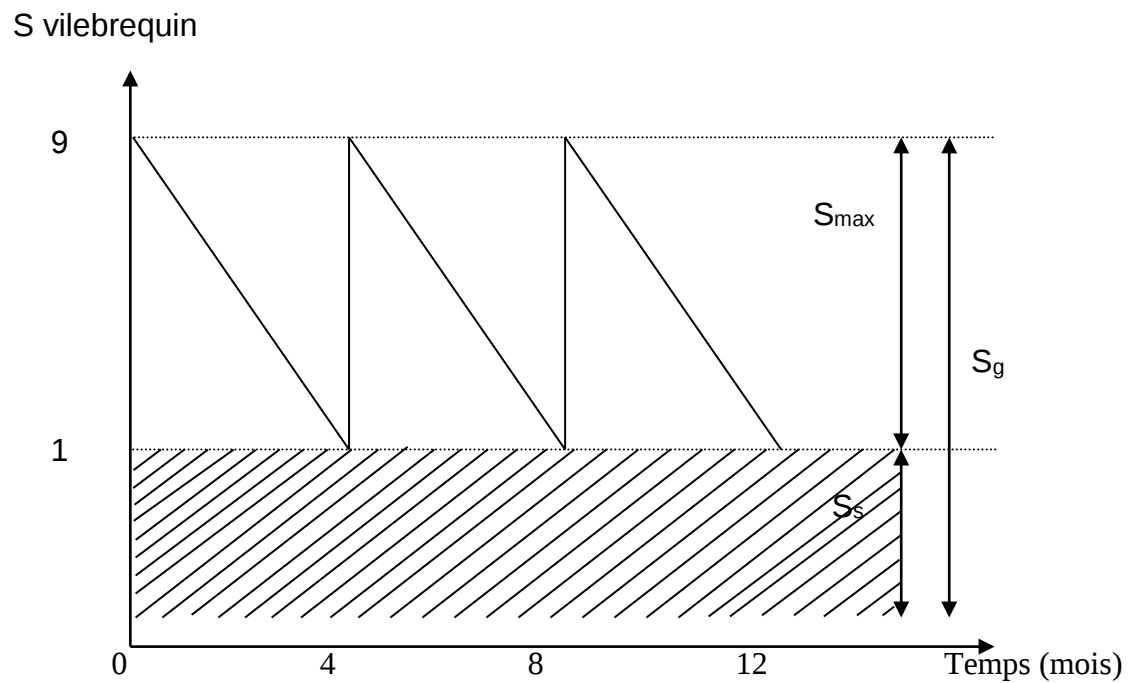


Fig. V.2 : Graphe d'évolution des stocks de vilebrequin en fonction de temps.

Fig.IV.1 : Organigrammes des méthodes et technique de la maintenance.

Conclusion générale :

Le stage effectué en sein de l'ENTP et L'ENAFOR dans le cadre de la préparation de notre mémoire, nous a permis d'avoir une bonne compréhension sur le fonctionnement d'un moteur diesel et approfondir nos connaissances théorique acquise durant notre formation .

Le moteur Diesel est la source d'énergie, qu'elle soit mécanique ou électrique dans un appareil de forage.

La qualité des moteurs utilisés comme groupe de force ou groupe électrogène, qui travaillent dans des conditions climatiques très hostiles (haute température, le sable...) influe directement sur la productivité.

D'après l'étude réalisée des moteurs CAT 3512 A à injection directe à commande mécanique et à commande électronique, le système d'injection dans les moteurs CAT3512B ouvre une autre voie à l'injection directe et au domaine de motorisation. Cette voie peut satisfaire une disponibilité et une fiabilité permanentes des moteurs.

La gestion électronique de l'injection et diagnostic du moteur Diesel CAT 3512 B, passe un seuil connu par les motoristes et les constructeurs au niveau des performances et de la sécurité du moteur.

A partir d'une étude thermodynamique du moteur diesel suralimenté, nous avons vérifié le moteur Caterpillar pour certain nombre de paramètres fonctionnels tels que la puissance et la consommation de carburant des moteurs Cat 3512 A et Cat 3512 B. Ce dernier est plus performant, et à l'aide du programme (EXCEL), nous avons tracé les principales courbes de performances en fonction des paramètres d'admission, ce qui met en évidence l'utilité économique et énergétique du l'utilisation de suralimentation et le refroidissement sur l'admission.

Pour maintenir en bon état de fonctionnement un moteur, il faut diminuer les risques des pannes : par une bonne application du la maintenance, en suivant toutes les consignes données par le constructeur.

La maintenance du moteur cat 3512 appliquée au niveau du chantier pour assurer le bon fonctionnement du moteur est la maintenue préventive.

Afin de maintenir les performances et les caractéristiques du moteur, augmenter sa durée de vie, améliorer son rendement, il faut améliorer les conditions d'exploitation, appliquer une bonne politique de maintenance, et effectuer faire un entretien planifié et rigoureux.

Bibliographie

- [1] R. YARRUS-Technique d'ingénieur (l'injection de combustible dans les moteurs Diesel)- Paris 1994.
- [2] www.google.fr
- [4] Document de formation des moteurs diesel (ENAFOR, ENTP).
- [5] Hussein IBRAHIM. Adrian ILINCA. Jean PERRON, Moteur diesel suralimenté bases et calculs cycle réel, théorique et thermodynamique Rapport interne Laboratoire de recherche en énergie eolienne.LREE-02 – Novembre 2006.
- [6] Dr.A.BENABASSI-Les moteur à combustion interne introduction à la théorie-PH.D C U BECHAR-édition Elmaarifa-2002 Algérie.
- [7] ENTP –calcul thermodynamique du moteur Diesel –exemplaire 2003.
- [8] GILLES DOUCHEMIN, maintenance des machines et des moteurs, technique de l'ingénieur.
- [9] A.BENZADI, D.BOURAI, initiation au dépannage automobile
- [11] BERGERAT MONNOYEUR- Caterpillar Electronique Technicien.
- [10]HALIMI, cours de maintenance.
- [11] Manuel d'atelier moteur diesel ,KUTOBA FARM et industrial machinery service. Japon 1990.
- [12] Manuel d'utilisation et d'entretien des groupes électrogène.
- [13] Mr.M.REZOUG, Mr.S.AISSANI, études d'un banc d'essai du moteur diesel du laboratoire, 2006, INH.