



République algérienne démocratique

Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté des Sciences Appliquées

Département génie Mécanique

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER ACADEMIQUE

Filière : électromécanique

Spécialité : Maintenance industrielle

Présenté par :

➤ BEN HABIRECHE ZAKARIA

➤ AOUARIB MOHAMMED EL MEHDI

Thème:

Etude de Maintenance Du Moteur Caterpillar 3512

Jury:

Mr : Ameer Toufik

Président

UKM Ouargla

Mr : Rabie Karek

Encadreur

UKM Ouargla

Mr : Bentaleb Fayçal

Examinatrice

UKM Ouargla

Année Universitaire

2022/2023



République algérienne démocratique

Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté des Sciences Appliquées

Département génie Mécanique

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER ACADEMIQUE

Filière : électromécanique

Spécialité : Maintenance industrielle

Présenté par :

➤ BEN HABIRECHE ZAKARIA

➤ AOUARIB MOHAMMED EL MEHDI

Thème:

Etude de Maintenance Du Moteur Caterpillar 3512

Jury:

Mr : Ameer Toufik

Mr : Rabie Karek

Mr : Bentaleb Fayçal

UKM Ouargla

UKM Ouargla

UKM Ouargla

Année Universitaire

2022/2023



DÉDICACE



En premier lieu, nous voudrions remercier Allah

Nous dédions cette note de fin d'études à **nos parents**, qui nous ont soutenus tout au long de notre parcours scolaire et nous ont encouragés à poursuivre nos rêves.

Nous tenons également à remercier nos amis et professeurs pour leur soutien et leur inspiration.

Nous tenons à remercier le **Dr Rabie Karek** pour son grand soutien, ses conseils et ses précieux conseils.

Enfin, nous voudrions exprimer notre gratitude à tous ceux qui ont contribué à notre éducation et à notre formation scolaire.



Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Généralités Sur Les Moteurs A Combustion	
I.1. Introduction	2
I.2. Historique de moteur diesel	2
I.3. Généralités sur les machines thermiques	3
I.3.1. Classification des moteurs thermiques	3
I.3.2. Définition du Moteur Diesel	3
I.3.2.1. Principe du Moteur Diesel	3
I.3.2.2. Définition du moteur à quatre temps	4
I.3.2.3. Cycle à quater temps d'un moteur diesel	4
I.4. Classification du moteur à combustion interne	8
I.5. Avantages et Inconvénients du moteur à combustion interne	10
I.5.1. Avantages du moteur à combustion interne	10
I.5.2. Les inconvénients du moteur à combustion interne	11
I.6. Conclusion	11
Chapitre II : Etude Du Moteur Caterpillar	
II.1. Description du Moteur Caterpillar	12
II.1.1. Introduction	12
II.1.2. Description et principe de fonctionnement	12
II.2. Organes du moteur	12
II.2.1. Les organes fixes	12
II.2.1.1. Bloc moteur	12
II.2.1.2. Cylindre	13
II.2.1.3. Culasse	14
II.2.1.4. Le joint de culasse	14
II.2.1.5. Carter	15
II.2.2. Les organes mobiles	15
II.2.2.1. Le piston	15
II.2.2.1.1. Segments de piston	16
II.2.2.2. La Bielle	17
II.2.2.3. Le Vilebrequin	18
II.2.2.4. L'arbre à cames	18
II.2.2.5. Les coussinets	19
II.2.2.6. Les soupapes	19
II.2.2.7. Les culbuteurs	20
II.3. Différents systèmes du moteur Caterpillar	20
II.3.1. Système de distribution	20
II.3.2. Système d'injection	21
II.3.2.1. Principe de fonctionnement	21
II.3.2.2. Les organes du système d'injection	22
II.3.3 Système de refroidissement	24
II.3.3.1. Description	24

II.3.3.2. Principe de fonctionnement	25
II.3.3.3. Organes et accessoires du système de refroidissement	26
II.3.4. Système de graissage	27
II.3.4.1. Description	27
II.3.4.2. Les organes du système de graissage	27
II.3.5. Système de suralimentation	27
II.4. Présentation entreprise national de forage et le moteur Caterpillar	28
II.5. Historique	29
II.6. L'emplacement des moteurs Caterpillar 3512	30
II.7. Conclusion	30
Chapitre III : Généralités Sur La Maintenance	
III.1. Introduction	31
III.1.1. Définition de la maintenance	31
III.2. Types de maintenance	31
III.2.1. Maintenance corrective	32
III.2.1.1. Maintenance palliative	32
III.2.1.2. Maintenance curative	32
III.2.2. La maintenance préventive	33
III.2.2.1. Maintenance systématique	33
III.2.2.2. Maintenance conditionnelle	33
III.2.2.3. Maintenance prévisionnelle	33
III.3. Classification des défaillances	34
III.3.1. Les défaillances	34
III.3.1.1. Définitions	34
III.3.1.2. Les causes de défaillance	34
III.4. Techniques utilisées en maintenance	34
III.4.1. Application de l'AMDEC	34
III.4.2. Analyse vibratoire	34
III.4.3. Analyse de l'huile	35
III.4.4. Analyses FMD	35
III.4.4.1. Loi de Weibull	35
III.4.4.1.1. Paramètres de Weibull	35
III.4.4.1.2. Méthodologie de Weibull	36
III.4.4.1.3. La densité de probabilité $f(t)$	36
III.4.4.1.4. La fonction de réparation $F(t)$	36
III.4.4.1.5. La fiabilité $R(t)$	36
III.4.4.1.6. La fonction de la défaillance $\lambda(t)$	36
III.4.4.1.7. Durée de vie associée à un seuil de fiabilité	36
III.4.4.2. La maintenabilité $M(t)$	37
III.4.4.3. La disponibilité $D(t)$	37
III.4.5. Loi de Pareto (ABC)	37
III.4.5.1. Définition	37
III.4.5.2. Calcul du ratio de discrimination	38
III.4.5.3. Classes en fonction du ratio	38
III.5. Maintenance du Moteur Caterpillar	39
III.5.1. Recommandations d'entretien	39

III.5.1.1. Tous jours	39
III.5.1.2. Maintenance Du moteur chaque 250 Heures	40
III.5.1.3. Maintenance Du moteur chaque 1000 Heures	40
III.5.1.4. Maintenance Du moteur chaque 2000 Heures	40
III.5.1.5. Maintenance Du moteur chaque 3000 Heures	41
III.5.1.6. Maintenance Du moteur chaque 4000 Heures ou 4 ans	41
III.5.1.7. Maintenance Du moteur chaque 6000 Heures ou 6 ans	41
III.6. Conclusion	42
Chapitre IV : Calcul et Analyse	
IV.1. Etude pratique de La Loi de Weibull et la méthode de FMD loi de Pareto	43
IV.1.1. Introduction	43
IV.1.2. Historique des pannes du Caterpillar (3512)	43
IV.2. Loi de Weibull	44
IV.2.1. Déterminations des paramètres de loi de weibull	44
IV.2.2. Calcul de densité de probabilité $f(t)$ et Fonction de réparation $F(t)$ et fiabilité $R(t)$ Fonction de la défaillance $\lambda(t)$	45
IV.2.3. Graphique et diagnostic de la densité de probabilité $f(t)$	46
IV.2.4. Graphique et diagnostic de la fonction de réparation $F(t)$	46
IV.2.5. Graphique et diagnostic de la fiabilité $R(t)$	47
IV.2.6. Graphique et diagnostic de la fonction de la défaillance $\lambda(t)$	47
IV.2.7. Durée de vie associée à un seuil de fiabilité	48
IV.3.1. Calcul de la Maintenabilité $M(t)$ et la disponibilité $D(t)$	48
IV.3.2. Graphique et diagnostic la Maintenabilité $M(t)$	48
IV.3.3. Graphique et diagnostic la disponibilité $D(t)$	49
IV.4. Loi de Pareto	50
IV.4.1. Application de la méthode ABC	50
IV.4.2. Courbe ABC	50
IV.4.3. Calcul du ratio de discrimination	51
IV.4.4. Analyse de la courbe ABC	51
IV.5. Analyse de défaillance	51
IV.6. Plan maintenance	51
IV.7. Conclusion	53
Conclusion générale	54

Liste des Figures

Chapitre 1 : Généralités Sur Les Moteurs A Combustion

Figure I.1 : Classification des moteurs thermiques	3
Figure I.2 : Vue globale des du moteur diésel	4
Figure I.3 : Cycle a 4 temps du moteur	5
Figure I.4 : Cycle diesel théorique	6
Figure I.5 : Schéma Représentant le Cycle du Moteur Quater Tempes	7
Figure I.6 : Diagramme de cycle réel	7
Figure I.7 : Disposition du cylindre	9
Figure I.8 : Disposition de la soupape	10

Chapitre II : Etude Du Moteur Caterpillar

Figure II.1 : Bloc moteur	13
Figure II.2 : Chemise de cylindre	13
Figure II.3 : Culasse	14
Figure II.4 : Le joint de culasse	14
Figure II.5 : Équipement de culasse	14
Figure II.6 : Le carter d'huile	15
Figure II.7 : Le piston de Caterpillar 3512	16
Figure II.8 : Forme de têtes de pistons utilisées dans les moteurs diesel	16
Figure II.9 : Segmentation du piston	17
Figure II.10 : Vue éclatée d'une bielle	17
Figure II.11 : La bielle	18
Figure II.12 : Vilebrequin de moteur Caterpillar	18
Figure II.12 : L'Arbre de moteur Caterpillar	19
Figure II.13 : Les coussinets	19
Figure II.14 : Les soupapes	20
Figure II.15 : Système de distribution	21
Figure II.16 : Système d'injection	22
Figure II.17 : Le pré filtre	22
Figure II.18 : La pompe d'alimentation	23
Figure II.19 : Filtre principaux	23
Figure II.20 : Les injecteurs	24
Figure II.21 : Système de refroidissement	25
Figure II.22 : Schéma de suralimentation	28
Figure II.23 : VU réel du moteur Caterpillar 3512	29
Figure II.23 : VU réel de L'emplacement du moteur Caterpillar 3512	30

Chapitre III : Généralités Sur La Maintenance

Figure III.1 : Différents types de maintenance	32
---	----

Figure III. 3 : Schématise les états successifs que peut prendre un système réparable	35
Figure III.3 : Diagramme de Pareto	37
Figure III.4 : Tracer la courbe des fréquences cumulées	38
Chapitre IV : Calcul et Analyse	
Figure IV.1 : Déterminations des paramètres de loi de weibull par minitab	44
Figure IV.2 : Courbe de la densité de probabilité $f(t)$	46
Figure IV.3 : Fonction de réparation $F(t)$	46
Figure IV.4 : Fonction de fiabilité $R(t)$	47
Figure IV.5 : Fonction de la défaillance $\lambda (t)$	47
Figure IV.6 : Courbe de la Maintenabilité $M(t)$	49
Figure IV.7 : Courbe de la disponibilité $D(t)$	49
Figure IV.8 : Courbe ABC	50

Liste des Tableau

Tableau II.1: D'échappement pour un moteur diesel	7
Tableau III.1: Calcul du ratio de discrimination	39
Tableau IV.1 : Historique des pannes du Caterpillar (3512)	43
Tableau IV.2 : Calcule TBF	44
Tableau IV.3 : Calcul de $f(t)$ et $F(t)$ et $R(t)$ et $\lambda(t)$	45
Tableau IV.4 : $M(t)$ et $D(t)$	48
Tableau IV.5 : Les étapes de calcul de la loi de Pareto	50
Tableau IV.6 : Les Cause des pannes étudiées	51

Liste des symboles

ABC : Méthode de Pareto
D(t) : Disponibilité instantanée
Di : Disponibilité intrinsèque
ENAFOR : Entreprise Nationale de Forage
F(t) : Fonction de défaillance ou de répartition
f(t) : Densité de probabilité de défaillance
M(t) : Fonction de maintenabilité
MINITAB : Logiciel de statistiques et d'analyse de données
MTTR : Moyenne des temps de réparation
MTBF : Moyenne de temps entre pannes
MUT : Moyenne des temps de bon fonctionnement
R(t) : Fonction de fiabilité
TTR : Temps de réparation
TBF : Temps entre défaillances
UT : Temps de bon fonctionnement
 $\lambda(t)$: Taux de défaillance
 β : Paramètre de forme de la loi de Weibull
 η : Paramètre d'échelle de la loi de Weibull
 μ : Taux de réparation

INTRODUCTION GENERALE

Les moteurs diesel CATERPILLAR sont utilisés comme groupes électrogènes pour produire de l'énergie électrique qui alimente les équipements de forage tels que la pompe à boue, le treuil et la table de rotation. Ils sont également utilisés pour assurer l'éclairage sur les plateformes pétrolières, les camps et les bases de vie.

Ces moteurs diesel sont soumis à des conditions climatiques difficiles dans le Sahara. Les températures extrêmes et l'insertion de particules très fines de sable entre les différentes pièces en mouvement entraînent une dégradation rapide et continue. L'usure augmente considérablement avec le temps, ce qui nécessite une politique de maintenance adéquate et un entretien rigoureux.

Ce mémoire a pour objectif d'étudier un type de moteurs de la famille Caterpillar, le type "3512". Nous avons commencé par une étude technique du moteur en examinant différents organes et circuits du système. Ensuite, nous avons effectué des calculs mécaniques pour vérifier les caractéristiques du moteur et la résistance de certaines pièces.

Le traitement de la maintenance et de la sécurité de fonctionnement du moteur vise à montrer les conditions de fonctionnement permettant de garantir le niveau de performances attendu de ce moteur.

Notre travail est structuré de quatre chapitres :

- Le premier chapitre présente des Généralités Sur les Moteurs à Combustion et détaille les différents organes du moteur à Combustion.
- Le chapitre 2 présente une Etude Du Moteur Caterpillar.
- Le troisième chapitre présente des Généralités Sur La Maintenance.
- Le quatrième chapitre présente le résultat du calcul mécanique et Analyse pratique.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités Sur les Moteurs à Combustion

I.1. Introduction

Une **machine thermique** est un mécanisme qui fait subir à un fluide des transformations cycliques au cours desquelles le fluide échange avec l'extérieur de l'énergie sous forme de travail et de chaleur.

La théorie des machines thermiques s'attache à la description et à l'étude physique de certains systèmes thermodynamiques qui permettent de transformer l'énergie thermique en énergie mécanique, et vice versa. Fondée au milieu du XIXe siècle, elle s'appuie sur la thermodynamique, et en particulier sur ses deux premiers principes.

Le moteur à combustion interne ou MCI (en anglais : Internal Combustion Engine ou ICE) est un moteur primaire qui sert à convertir l'énergie stockée dans le carburant (pouvoir calorifique) en énergie thermique (chaleur, enthalpie, énergie calorifique), c'est-à-dire en énergie mécanique. Énergie (travail mécanique, couple). Dans les moteurs à combustion interne, l'énergie thermique est générée dans un volume fermé (chambre de combustion, cylindre moteur), qui est délimité par la culasse, les soupapes fermées, le couvercle de piston et la chemise. La détente des gaz issus de la combustion du carburant active les éléments actifs (bielle-manivelle) qui récupèrent cette énergie et la transforment en travail utile (Arbre moteur).

I.2. Historique de moteur diesel :

En 1860 L'inventeur français JEAN LENOIR a introduit le premier moteur thermique fonctionnant au pétrole.

En 1862 L'ingénieur français BEAU DE ROCHAS dépose le brevet d'une machine à combustion interne fonctionnant sous le cycle 4 temps (avec compression préalable d'un mélange combustible et allumage par étincelle).

En 1876 L'ingénieur allemand OTTO réalise le premier moteur thermique fonctionnant suivant le principe de BEAU DE ROCHAS.

Ingénieur de l'École polytechnique de Munich, **Rudolf Diesel** (1858-1913) met au point un moteur à pétrole dont le rendement thermique est supérieur à celui des mécaniques existantes. Il dépose pour ce moteur à deux temps à pression constante un brevet en 1892, puis en expose les principes en 1893 dans Théorie et construction du moteur thermique rationnel.

Son moteur utilise des huiles lourdes, Après la mort de son inventeur, le moteur Diesel intéresse l'automobile dans les années 1920.

Les premières voitures particulières Diesel apparaissent avant la Seconde Guerre mondiale, développées par Mercedes et Peugeot qui deviendront, à la fin des années 1950, les leaders mondiaux en matière de Diesel. [1]

I.3. Généralités sur les machines thermiques :

I.3.1. Classification des moteurs thermiques :

Les moteurs thermiques sont représentés par le synoptique ci-dessous **figure I.1**

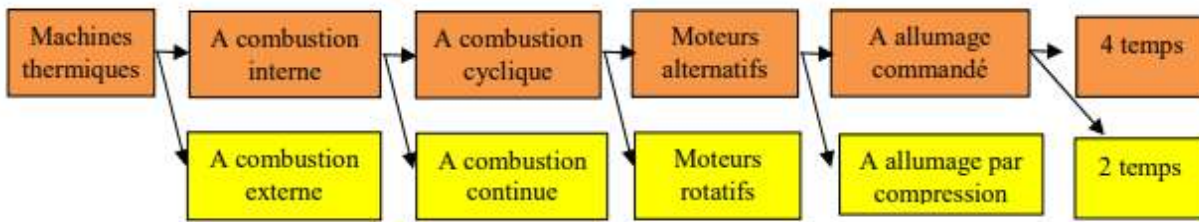


Figure I.1 : Classification des moteurs thermiques. [2]

I.3.2. Définition du Moteur Diesel :

Le moteur "Diesel" est un moteur alternatif à combustion interne dans lequel l'allumage du mélange s'effectue par simple compression. Les diesels sont appelés moteurs à autoallumage, par opposition aux moteurs à essence. [3]

I.3.2.1. Principe du Moteur Diesel :

Comme le moteur thermique à essence, le moteur Diesel est constitué de pistons coulissants dans des cylindres, fermés par une culasse reliant les cylindres aux collecteurs d'admission et d'échappement et munie de soupapes commandées par un arbre à cames.

La différence essentielle entre un moteur du type diesel et un moteur à essence réside dans le mode d'inflammation du carburant et de la caractéristique d'auto-inflammation de celui-ci.

Si, dans une masse d'air suffisamment comprimée, pour que sa température atteigne une valeur déterminée, on introduit dans un endroit précis, un combustible adapté, finement pulvérisé, la combustion se déclenche par auto-inflammation (l'explosion, qui est en réalité une combustion très rapide, est réalisée dans le moteur à essence par allumage commandé). [4]

Le phénomène d'auto-inflammation résulte lui-même :

- d'un rapport volumétrique très élevé : 1/16 à 1/28.
- de la haute température engendrée par ce rapport (600 °C).
- de la qualité du carburant et la finesse de la pulvérisation (pression d'injection, caractéristique de l'injecteur).
- de la rapidité de formation du mélange « air chauffé/carburant » (qualité du tour- billon d'air, ou « swirl » dans la chambre de combustion). [4]

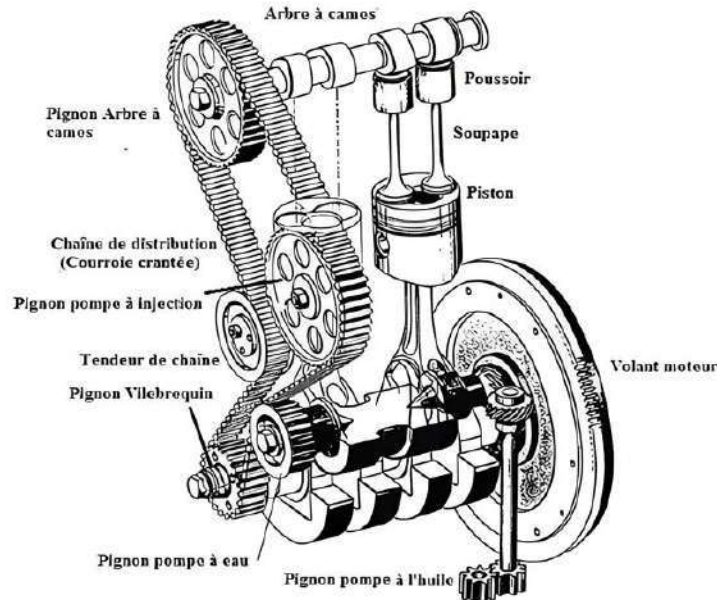


Figure I.2: Vue globale des organes mobiles du moteur diésel. [5]

I.3.2.2. Définition du moteur à quatre temps :

Dans ce type de moteur, le cycle complet est réalisé dans quatre temps course de piston donc deux tours de vilebrequin.

Pour un fonctionnement à quatre temps du moteur, c'est-à-dire pour un cycle se déroulant pendant deux tours de vilebrequin et quatre courses du piston.

I.3.2.3. Cycle à quater temps d'un moteur diesel :

a. Définition du cycle :

Un cycle s'effectue sur 2 tours de vilebrequin, soit 720° . Le cycle mécanique (2 allers et 2 retours c'est à dire 4 courses) se fait en 4 temps alors que le cycle thermodynamique en comporte 5 (la combustion à volume et à pression constante). Seule la détente est motrice (fournit de l'énergie), les autres sont résistants. [6]

b. Cycle théorique :

➤ 1^{re} Admission :

Le piston descend du PMH au PMB : Soupape d'admission ouverte et celle d'échappement fermée, aspiration pur d'air. [6]

- Cycle : Augmentation du volume à pression constante (droite AB).

➤ 2^{ème} Compression :

Le piston monte de PMB au PMH : Soupape admission fermée –soupape échappement fermée. Compression de l'air avec forte élévation de température (500 à 750° environ).

- Cycle : Montée en pression (courbe BC).

➤ **3^{ème} Combustion :**

Le piston descend du PMH au PMB : Soupape d'admission fermée et celle d'échappement fermée. Le carburant est injecté dans l'air porté à haute température et s'enflamme dès son contact avec l'air. L'augmentation de pression qui en résulte pousse le piston vers le PMB, c'est le temps moteur.

- Cycle : Montée en pression à volume constant (droite CD), augmentation du volume à pression constante (droite DE), Chute de pression (détente : courbe EF).

➤ **4^{ème} Echappement :**

Le piston monte du PMB au PMH : Soupape admission fermée soupape échappement ouverte, Les gaz brûlés chassés à l'extérieur.

- Cycle : Échappement primaire à volume constant (droite EB), Échappement secondaire à pression constante (droite BA).

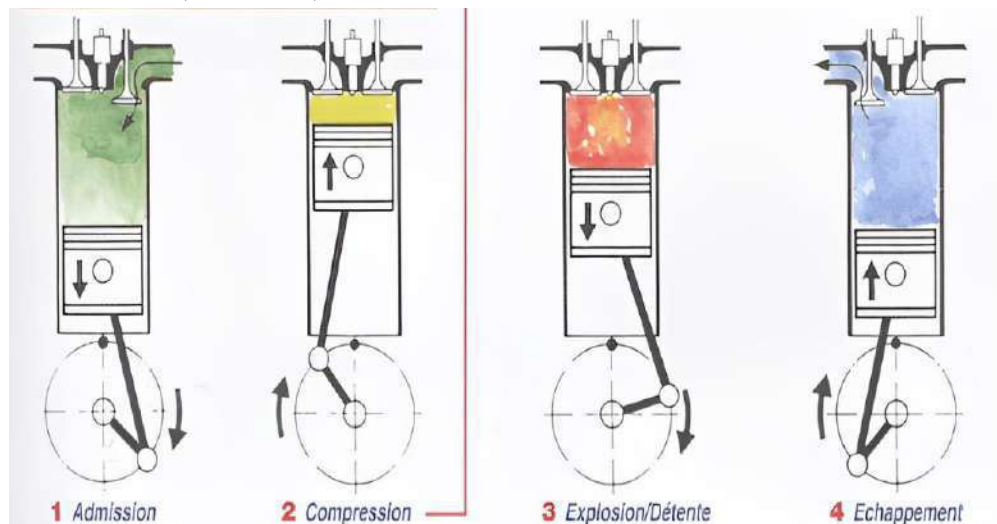


Figure I.3 : Cycle a 4 temps du moteur. [7]

Le principe de fonctionnement, en gros est le suivant: En fonctionnement normale, le moteur diesel n'offre pas beaucoup de ralentissement par compression. Dans un cycle de 4 temps, le piston aspire de l'air (admission) remonte et le compresse (compression) ce qui nécessite de l'énergie. Ensuite le piston redescend (combustion, pas de forte explosion car vous n'avez pas le pied sur l'accélérateur) mais l'air compressé exerce une pression sur le piston, ce qui restitue l'énergie utilisé pour compresser cette même air. À la remontée suivante, l'air est évacué par l'échappement.

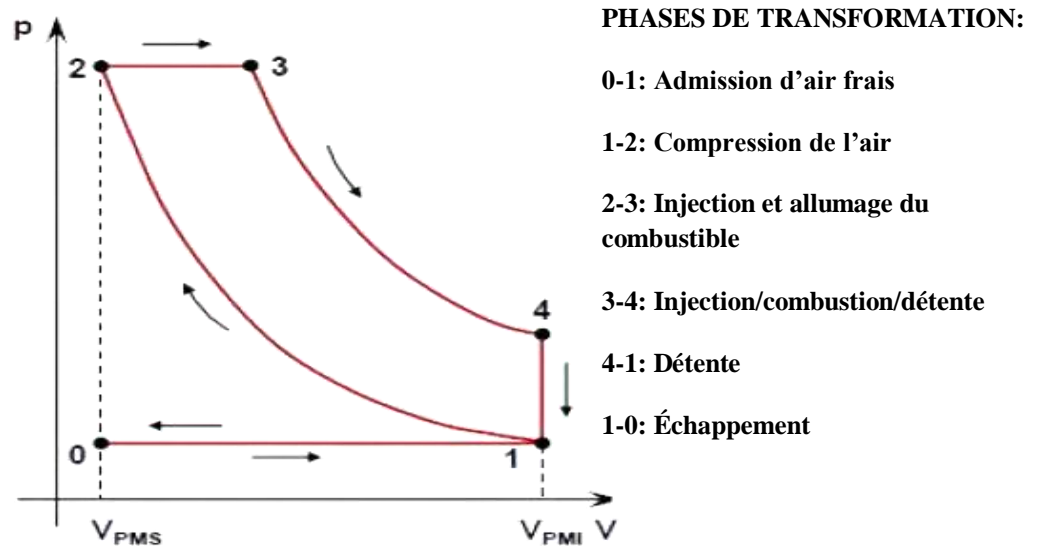


Figure I.4 : Cycle diesel théorique. [2]

c. Cycle réel:

Avance à l'ouverture d'admission (AOA) :

Pour permettre une meilleure évacuation des gaz brûlés, on a l'avance à l'ouverture des soupapes d'admission de façon que l'air aspire dans le cylindre chasse les gaz brûlés, et pour avoir un bon remplissage à l'admission. [6]

Retard à la fermeture d'admission (RFA) :

Pour obtenir un meilleur remplissage, l'air ayant acquis une certaine vitesse durant la course descendant du piston continue de pénétrer dans le cylindre pendant le temps mort du piston au (PMB). [6]

Avance de l'ouverture d'échappement (AOE) :

Il est bon d'avoir de l'avance de l'ouverture de la soupape d'échappement à la fin cycle de détente pour permettre une meilleure évacuation des gaz brûlés. [6]

Retard à la fermeture d'échappement (RFE) :

Retard correspond à l'avance de l'ouverture de la soupape d'admission car les gaz frais pénétrant dans le cylindre chassent les gaz brûlés. [6]

Avance à l'injection (AI) :

Un certain temps s'écoule entre le début de l'injection et le début de la combustion, représenté par un angle d'environ 8° , le but de cette avance est de coïncider le début de la combustion avec la position du piston au PMH, c'est pour cette raison que durant la combustion qu'on injecte le combustible avant que le piston soit exactement au PMH. [6]

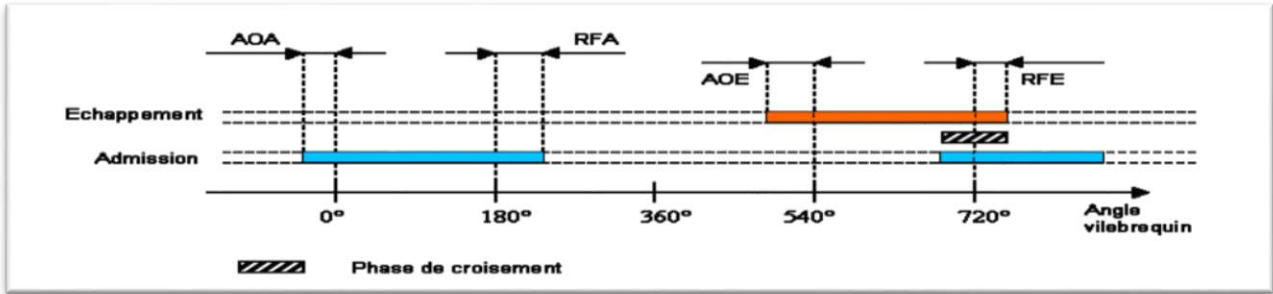


Figure I.5 : Schéma Représentant le Cycle du Moteur Quater Temps. [6]

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 AA).

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 polytropiques.
- ✚ La combustion n'est pas instantanée, ne commence pas au début du 3ème temps pour remédier à cet état de choses on réalise une avance à l'injection AI.

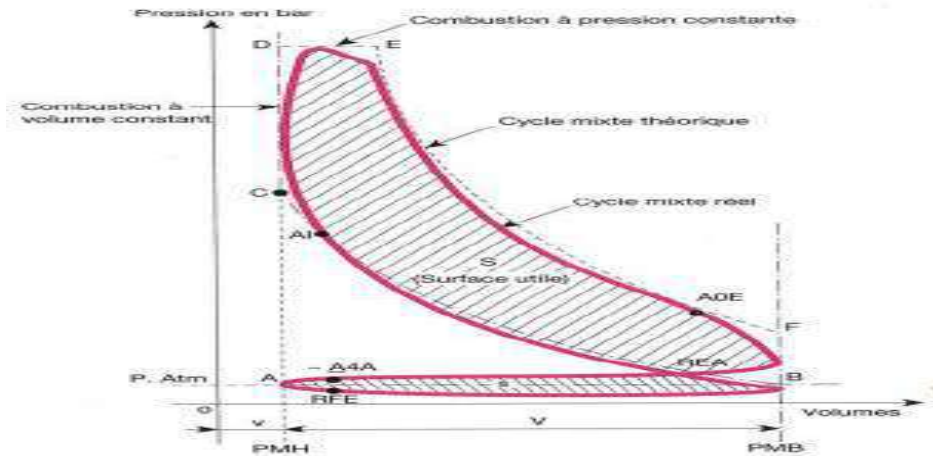


Figure I.6 : Diagramme de cycle réel. [4]

Les différents avances et retards à l'ouverture et à la fermeture des soupapes d'admission et d'échappement pour un moteur Diesel sont représentés dans le tableau suivant : [6]

Avances et retards (en degrés)	Moteur Diesel non suralimenté	Moteur Diesel suralimenté
AOA	5 à 15	60 à 75
AOE	35 à 50	35 à 50
RFA	30 à 45	30 à 45
RFE	5 à 15	60 à 75

(TAB: Avances et retards à l'ouverture et à la fermeture des soupapes d'admission et l'échappement).

Tableau .II.1: L'échappement pour un moteur diesel. [6]

I.4. Classification du moteur à combustion interne :

a. Le mode de fonctionnement :

- + Moteur à piston alternatif.
- + Moteur à turbine.
- + Moteur mixte (piston libre à turbine).

b. Le mode de remplissage du cylindre :

- + Moteur non suralimenté.
- + Moteur suralimenté.

c. Le type de combustible :

- + Moteur à combustion légère (essence).
- + Moteur à combustion lourde (gas-oil).
- + Moteur à gaz (GPL).

d. Suivant le cycle adopté :

- + Moteur à quatre temps.
- + Moteur à deux temps.

e. Le mode d'allumage :

- + Moteur à allumage par compression.
- + Moteur à allumage commandé.

f. La formation de mélange :

- + Moteur à carburateur.
- + Moteur à injection.

g. Le cycle de fonctionnement :

- + Moteur à combustion à volume constant (cycle OTTO).
- + Moteur à combustion à pression constante (cycle Diesel).
- + Moteur à combustion à volume constant pris à pression constante (mixte).

h. La disposition des cylindres :

- + Moteur à cylindres en ligne.
- + Moteur à cylindres en (V).
- + Moteur à plat.
- + Moteur à cylindres en W.
- + Moteur en H.
- + Moteur en étoil.
- + Moteur en X

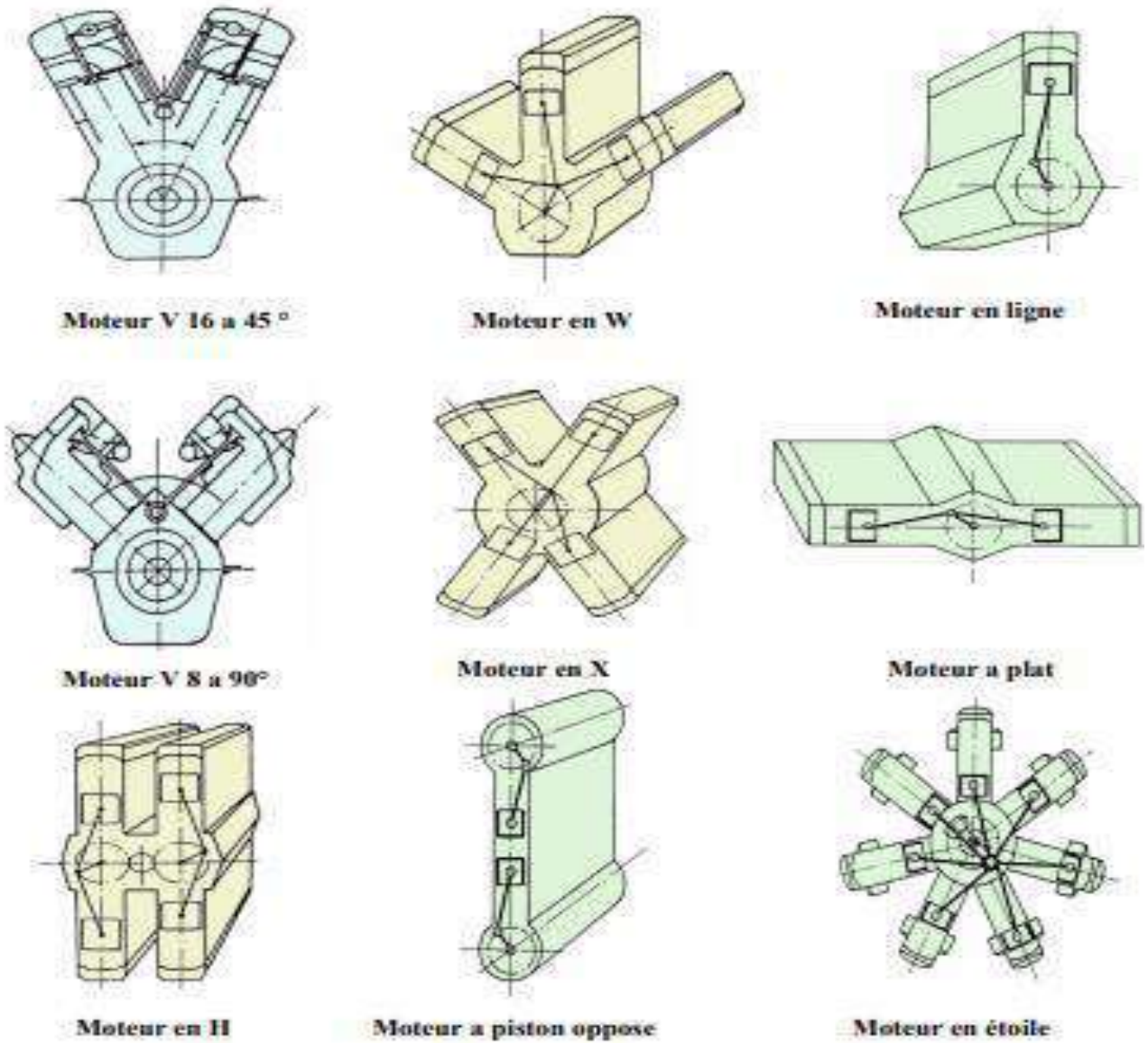


Figure I.7 : Disposition des cylindres. [5]

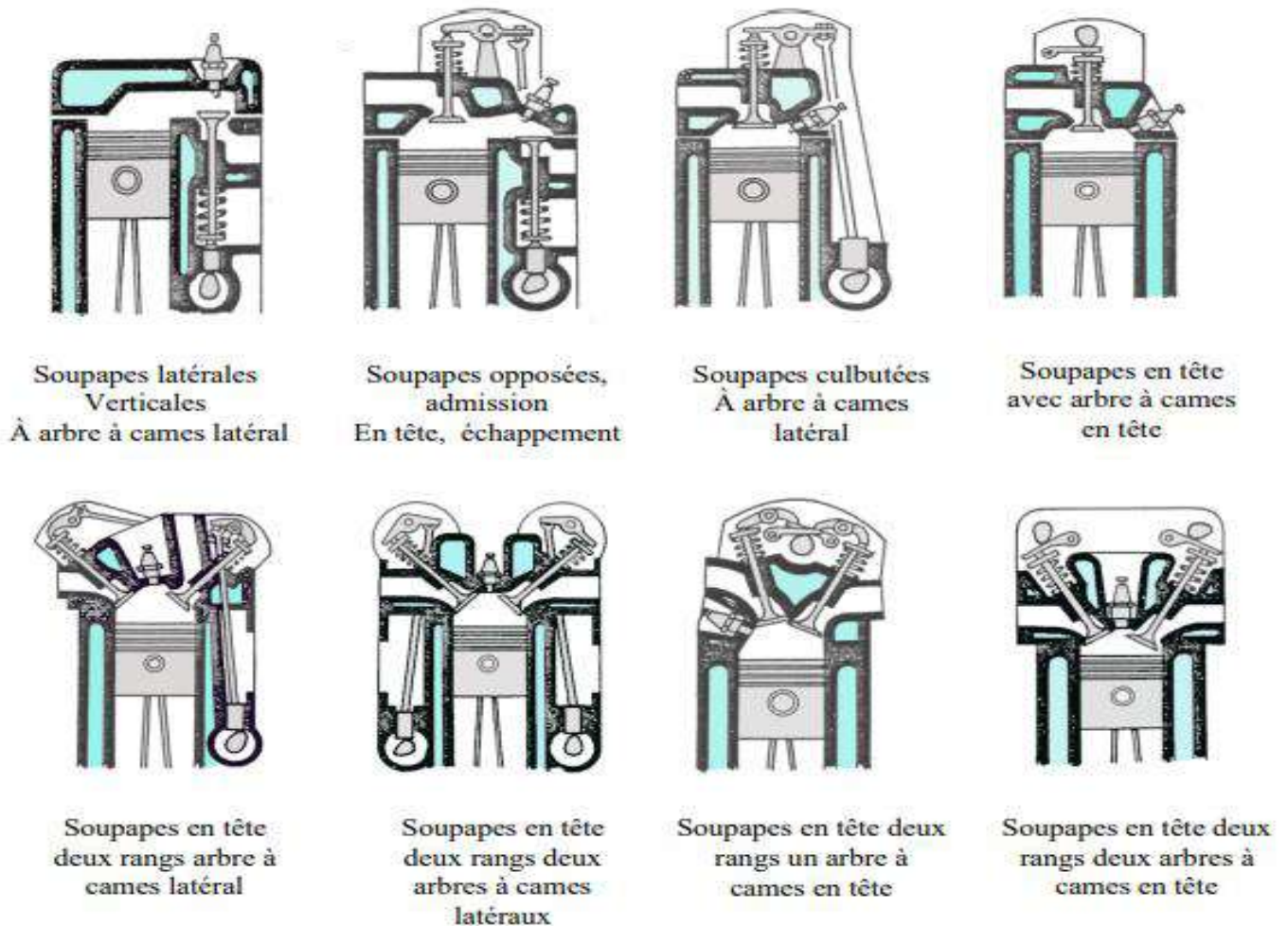


Figure I.8 : Disposition de la soupape. [5]

I.5. Avantages et Inconvénients du moteur à combustion interne :

I.V.1. Avantages du moteur à combustion interne :

- ✚ L'essence d'origine pétrolière est parfois remplacée par de l'alcool ou du gaz et le gazole par des huiles végétales, ce qui lui donne un intérêt même en cas de pénurie de combustibles fossiles. [4]
- ✚ Le rendement (rapport entre l'énergie utilisable et l'énergie fournie à la machine) est meilleur : le taux de compression étant plus élevé, une proportion plus grande de chaleur est convertie en travail.

En outre, la consommation spécifique est en moyenne de moins de 200 g/kW/h au lieu de 300 g/kW/h pour le moteur à allumage commandé (explosion).

Rendement thermique moyen du moteur diesel = 0,35 à 0,38 en version aspiré ; > à 0,40 en version suralimenté; et actuellement > à 0,45 en équipement turbo- compound

- ✚ Le couple moteur est plus important et il reste sensiblement constant pour les faibles vitesses.

- ✚ Le moteur diesel est le plus adapté à la suralimentation, contrairement au moteur à allumage commandé où la température de fin de compression est limitée par l'indice d'octane de l'essence. [4]
- ✚ Les gaz d'échappement sont beaucoup moins toxiques car ils contiennent moins d'oxyde de carbone (la combustion est plus complète), les particules sont maintenant filtrées.

I.5.2. Les inconvénients du moteur à combustion interne :

- ✚ Les organes du moteur sont largement calculés, car ils sont soumis à des températures élevées et à des pressions très fortes (de 50 bar à 60 bar) (1 bar = 100 kPa, ou 105 Pa). [4]
Ces pressions peuvent atteindre 120 à 150 bar s'il se produit un raté d'inflammation et beaucoup plus sur un système haute pression. [4]
- ✚ Le graissage est plus délicat du fait des hautes températures atteintes et des charges plus fortes des organes mobiles.
- ✚ Le moteur est plus coûteux à l'achat (les organes d'injection demandent un usinage délicat et très précis). [4]
- ✚ Le fonctionnement du diesel est plus bruyant que celui du moteur à essence, et l'on y perçoit aisément un bruit de fonctionnement caractéristique, dû aux fortes pointes de pression dans les cylindres. Des progrès importants ont cependant été réalisés avec les systèmes « à rail commun » (appelés common rail). [4]
- ✚ Ils utilisent généralement un carburant d'origine fossile, ils ont donc besoin d'une source d'énergie qui n'est pas renouvelable à l'échelle humaine. Son utilisateur dépend de la fourniture de carburant et de son coût.

I.6. Conclusion :

Le chapitre donne un aperçu du principe de fonctionnement du moteur à combustion interne, de sa structure et de ses principaux éléments. On peut dire qu'un moteur diesel à injection directe alimenté par un système d'injection haute pression offre des performances supérieures à tous les autres moteurs thermiques, avec une consommation moindre et moins d'émissions polluantes.

Chapitre II
Etude Du Moteur
Caterpillar

II.1. Description du Moteur Caterpillar :

II.1.1 Introduction :

Les moteurs Cat avec la technologie Tier 4 répondent aux exigences des normes sur les émissions et offrent la performance et l'efficacité que vous êtes en droit d'attendre de Caterpillar. Il a plusieurs versions des moteurs de série (Série 3500, Série C, Série D, Série F, Série M, Série V, Série CS).

II.1.2 Description et principe de fonctionnement :

Le moteur CAT 3512 appartient à la famille 3500 et il s'agit d'un moteur diesel 12 cylindres à quatre temps à injection directe.

Chaque culasse comporte deux soupapes d'admission et deux soupapes d'échappement. L'arbre à came actionne mécaniquement les culbuteurs et les soupapes par l'intermédiaire de poussoirs. Le gas-oil est injecté directement dans le cylindre.

Un régulateur électrique et un mécanisme de commande contrôle le débit de la pompe d'injection afin de maintenir le régime moteur choisi par l'opérateur. La pompe d'injection combine le dosage et le pompage de gas-oil qui est acheminé aux injecteurs.

L'avance automatique du calage assure une injection optimale sur toute plage de régime moteur. L'air d'admission est filtré par le filtre à air. L'air est comprimé par le Turbo compresseur avant de pénétrer dans les cylindres. Le Turbocompresseur est entraîné par les gaz d'échappement du moteur. Le moteur est suralimenté et inter-refroidi. Le liquide de refroidissement du refroidisseur est mis en circulation par la pompe à eau dans le bloc cylindres.

II.2. Organes du moteur :

II.2.1. Les organes fixes:

II.2.1.1. Bloc moteur :

Les blocs CAT sont réalisés en fonte alliée. Grâce à son nervurage le bâti cylindre offre une grande résistance aux sollicitations dynamiques de fonctionnement (mécaniques et thermiques). Les circuits de lubrification et de refroidissement sont intégrés au bloc. Le bloc cylindre doit remplir plusieurs fonctions:

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

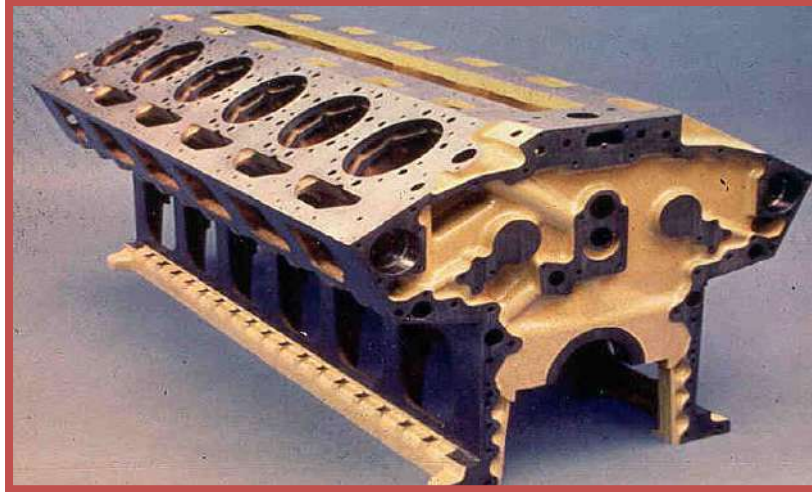


Figure II.1 : Bloc moteur. [8]

II.2.1.2. Cylindre :

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

Le cylindre surmonté de la culasse réalise la chambre de combustion, il est constitué par un tube parfaitement alésé qui contient le piston. Il guide ce dernier entre le PMH et le PMB. Ils sont généralement en fonte.

Les chemises de CAT sont en fonte spécifique centrifugée et type amovible, chaque chemise est fixée à sa partie supérieure par sa collerette serrée entre la culasse et le bloc. La partie inférieure est guidée dans le bloc et l'étanchéité assurée par des joints torique, la surface extérieure est revêtue d'un traitement anti-oxydant et la surface interne est pierrée. Ils sont de type chemise humide, fabriquées seule, rapportées sur embase du bloc, positionnées par un méplat. Ils sont directement en contact avec le fluide de refroidissement.



Figure II.2 : Chemise de cylindre. [9]

II.2.1.3. Culasse :

Les culasses CAT sont réalisées en fonte alliée. Les culasses des séries 3512 sont type individuel et reçoivent quatre soupapes par cylindre.

Une plaque intermédiaire en Aluminium assure un appui entre le bloc et la chemise. Les guides et sièges de soupapes sont amovibles (fixation par ajustage serré). Le puits central l'injection est directement usiné dans la culasse.

Un conduit de gasoil permet l'alimentation des injecteurs. Des fêrules indépendantes permettant le passage de l'huile et du liquide de refroidissement entre culasse et bloc.

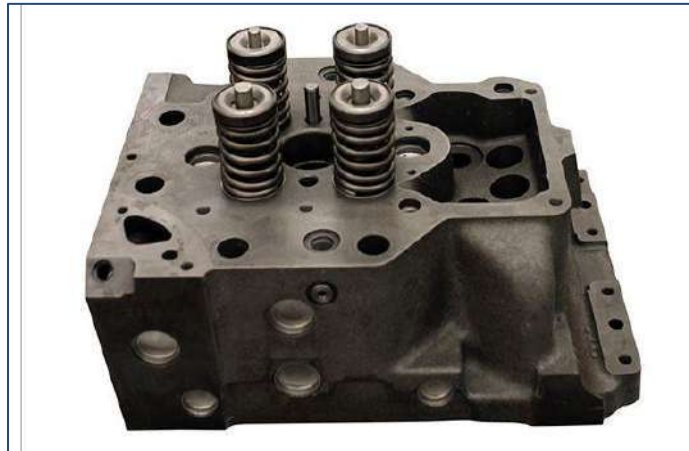


Figure II.3 : Culasse. [10]

II.2.1.4. Le joint de culasse :

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

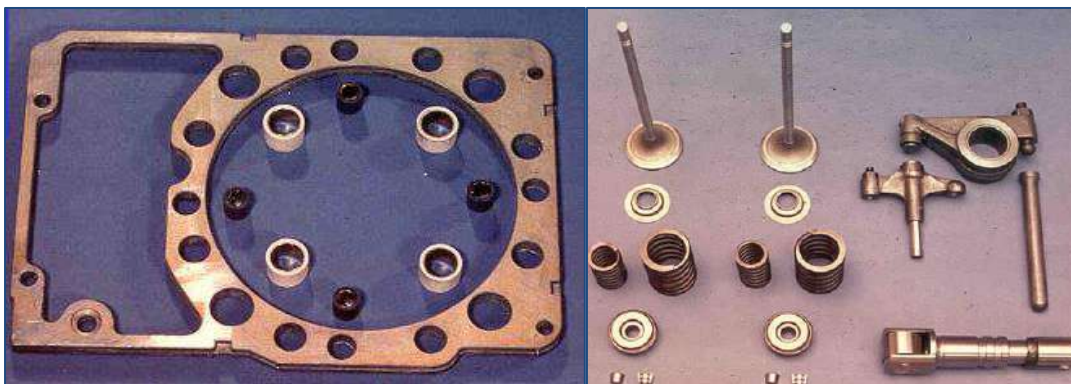


Figure II.4 : Le joint de culasse. [11]

Figure II.5 : Équipement de culasse. [11]

II.2.1.5. Carter :

C'est une cuvette en tôle emboutie qui abrite le vilebrequin et les têtes de bielle et qui contient la réserve d'huile de graissage.

Placée à la partie inférieure du moteur, le carter se compose de :

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



Figure II.6 : Le carter d'huile. [5]

II.2.2. Les organes mobiles :

II.2.2.1. Le piston :

Le piston est l'organe qui, en se déplaçant dans le cylindre ou la chemise, transmet la poussée des gaz au vilebrequin par l'intermédiaire de la bielle. Il est en général moulé dans un matériau léger et d'une bonne conductivité thermique comme les alliages d'aluminium. [5]

Le piston est en général moulé dans un matériau léger et d'une bonne conductivité thermique, comme les alliages d'aluminium. La tête et le support d'axe, devant transmettre l'énergie mécanique, sont particulièrement renforcés. Le piston se compose:

- ❖ d'une tête ou culot dont le diamètre doit être inférieur à l'alésage du cylindre quelles que soient les dilatations.
- ❖ de segments situés dans des gorges pratiquées sur le pourtour du piston et qui assurent l'étanchéité.
- ❖ d'une jupe qui doit assurer le guidage à froid comme à chaud avec un minimum de frottement.

La force à transmettre par l'axe de piston étant élevée, sa surface de contact avec le piston et la bielle doit être importante. Il est fabriqué en acier cémenté trempé, puis rectifié. Sa mise en position est assurée par divers montages:

- ❖ libre dans le piston et serré sur la bielle.
- ❖ libre dans la bielle et serré sur le piston.

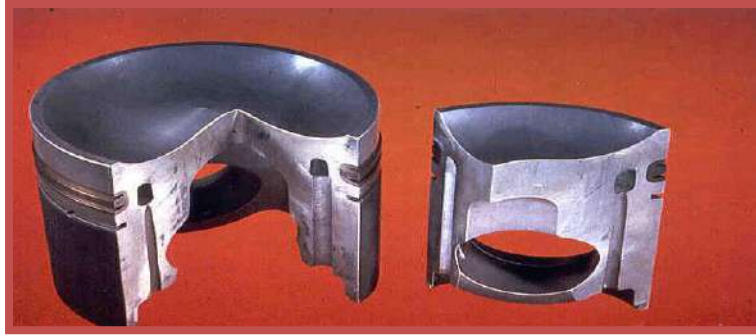


Figure II.7 : Le piston de Caterpillar 3512. [8]

Afin de limiter la turbulence dans un moteur à allumage commandé et empêcher ainsi l'extinction de l'étincelle, la tête du piston est de forme plane. Cependant, la turbulence doit être assez importante dans un moteur à allumage par compression car elle favorise l'évaporation et la préparation du mélange homogène après l'injection du carburant liquide en réduisant les délais. Pour se faire, la tête du piston peut contenir différentes formes de cavités telles que représentées sur la figure II.8 [5]

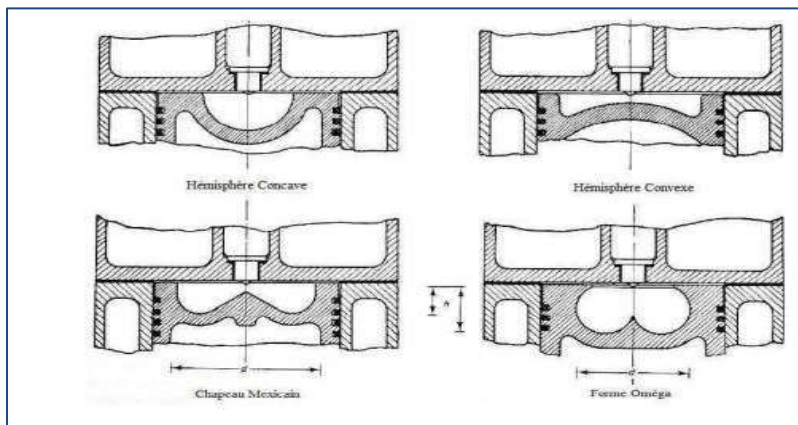


Figure II.8 : Forme de têtes de pistons utilisées dans les moteurs diesel. [5]

II.2.2.1.1 Segments de piston :

Les segments sont des anneaux brisés, de section carrée ou parallélépipédique. Ils doivent assurer des pressions radiales uniformes sur les parois du cylindre. Les segments pour moteur à 4 temps sont en général au nombre de trois :

- ❖ Segment coup de feu : en plasma-céramique il doit réaliser la première étanchéité et résister aux températures et pressions élevées.
- ❖ Segment d'étanchéité : en fonte spéciale, il assure l'étanchéité inférieure de la chambre de combustion en évitant à l'huile de remonter.
- ❖ Segment racler : en alliage de fonte, il évite les remontées d'huile tout en laissant un film d'huile permettant la lubrification.

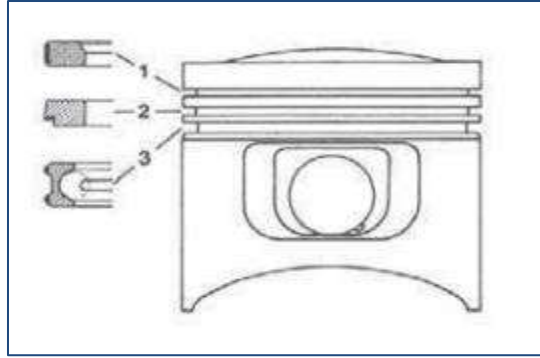


Figure II.9 : Segmentation du piston. [5]

II.2.2.2. La Bielle :

La bielle est l'élément intermédiaire qui permet la transmission des forces entre deux éléments animés de mouvements différents.

- ❖ le mouvement rectiligne alternatif du piston.
- ❖ le mouvement circulaire continu du vilebrequin.

Par la combinaison des mouvements rapides du piston et du vilebrequin, cet élément est soumis à des multiples contraintes : compression, extension, flexion.

La bielle est généralement réalisée en acier très résistant et formée par estompage, ce qui lui assure une grande rigidité. [12]



Figure II.10 : Vue éclatée d'une bielle. [5]

La bielle se compose de trois parties :

- ❖ Le pied relié à l'axe du piston, soit généralement avec une bague en bronze emmanchée à force, soit dans certains cas avec une bague à aiguilles.
- ❖ Le corps est la partie comprise entre le pied et la tête. Il est de section en forme de "H" ou "I" pour résister aux divers efforts de compression et de traction et pour éviter le flambement.
- ❖ La tête de bielle qui tourne sur le maneton du vilebrequin est coupée dans un plan perpendiculaire à l'axe de la bielle pour permettre la pose des coussinets et son montage sur le maneton du vilebrequin. [5]

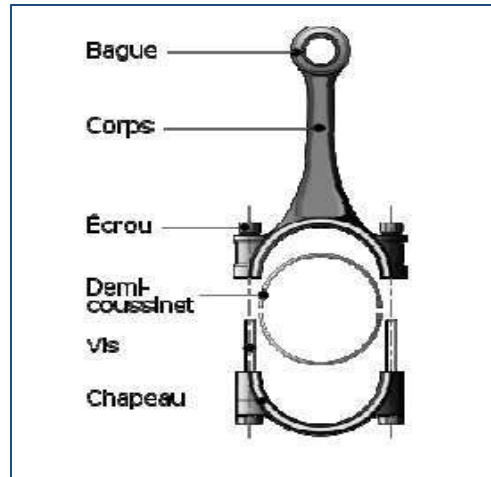


Figure II.11 : La bielle. [5]

II.2.2.3. Le Vilebrequin :

Le vilebrequin est la manivelle qui reçoit la poussée de la bielle et fournit un mouvement rotatif à partir du mouvement alternatif du piston. La force exercée par la bielle applique au vilebrequin un couple qui se retrouve au bout de celui-ci sous forme de couple moteur. A l'une des extrémités du vilebrequin, le couple moteur est utilisé pour entraîner le véhicule. A l'autre extrémité, une fraction du couple disponible est prélevée pour entraîner les auxiliaires du moteur. [5]

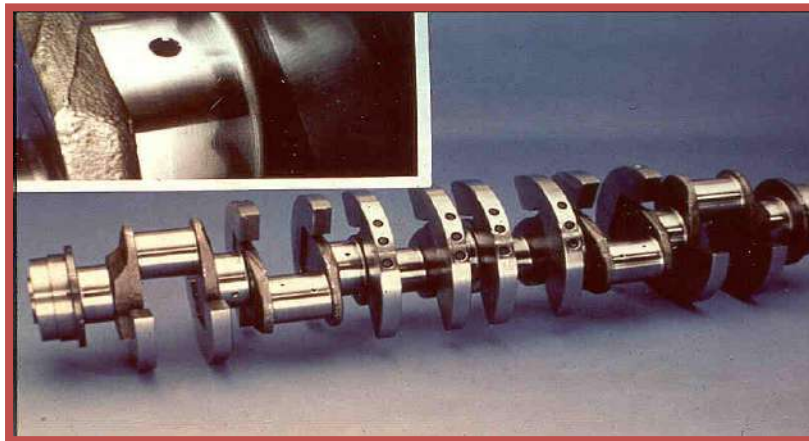


Figure II.12 : vilebrequin de moteur Caterpillar. [8]

II.2.2.4. L'arbre à cames :

Il est entraîné par le vilebrequin et doté d'autant de cames que des soupapes. Selon la conception de la distribution, son emplacement au sein du moteur varie, pour notre cas sa disposition est latérale avec une distribution culbutée. L'arbre à came se situe dans le bloc et son entraînement est assuré par un ensemble de pignons dont le rapport de multiplication est d'un demi (1/2).

La liaison arbre à cames-soupapes est assurée par un ensemble de poussoirs, de tiges de culbuteurs et culbuteurs. Des ressorts hélicoïdaux, logés autour des soupapes, referment automatiquement celles-ci, quand la pression communiquée par les cames de l'arbre à cames cesse. [13]



Figure II.13 : L'Arbre à cames de moteur Caterpillar. [8]

II.2.2.5. Les coussinets :

Les coussinets de bielle et de paliers sont du type mines et sont parfaitement interchangeables ils sont réalisés en deux demi-coquilles en acier revêtues d'une couche mince d'aluminium, d'une fine couche d'accrochage en alliage de cuivre, d'une très fine couche d'étain plomb et d'une protection étain. Constitués des demies coquilles démontables, recouvert d'une couche de métal antifriction, ils réalisent les contacts entre le palier du vilebrequin et la tête de la bielle.



Figure II.14 : Les coussinets. [13]

II.2.2.6. Les soupapes :

La soupape est un bouchon métallique en acier au Nickel, au Chrome ou au Tungstène dont le rôle est d'ouvrir et de fermer les orifices d'admission et d'échappement afin de permettre la compression, la combustion et l'évacuation des gas brûlés. Elle se compose d'une tige et d'une tête.

La portée conique assure l'étanchéité parfaite à la fermeture et un centrage correct évitant la déformation de la tige ou de la queue. On distingue deux sortes de soupapes :

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



Figure II.15 : Les soupapes et ses accessoires. [13]

II.2.2.7. 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.3. Différents systèmes du moteur Caterpillar :

II.3.1 Système de distribution :

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

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

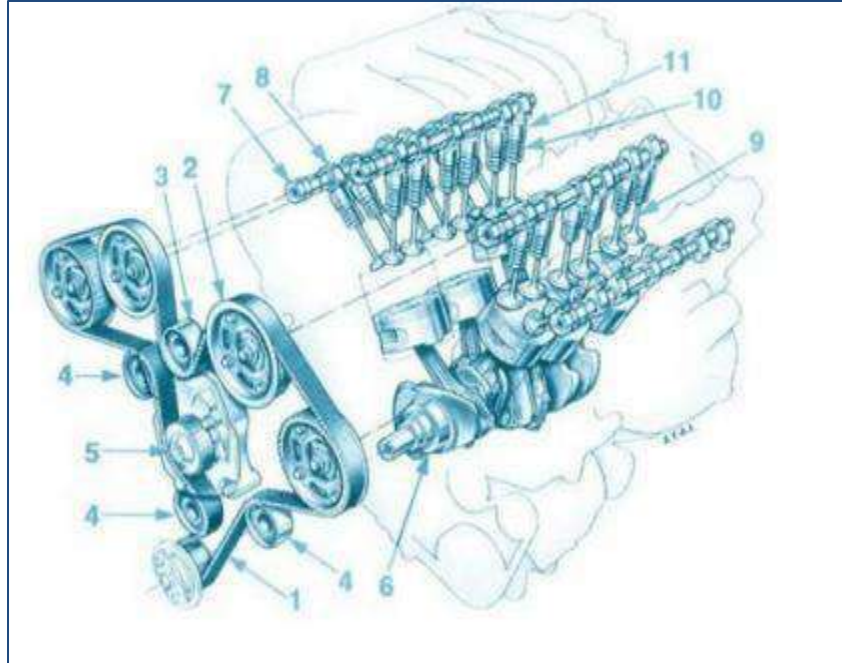


Figure II.16 : Système de distribution. [12]

- 1 : courroie de distribution. 2 : poulie d'arbre à cames. 3 : tendeur de courroie.
- 4 : galets fixe enrôleurs. 5 : pompe à eau. 6 : équipage mobile. 7 : arbre à cames.
- 8 : came. 9 : soupapes. 10: ressort de soupape. 11 : poussoir.

II.3.2. Système d'injection :

Le fuel pour un moteur diesel est la source d'énergie caractérisée par son pouvoir calorifique inférieur (H_v). Pour l'acheminer dans la chambre de combustion et il faut l'envoyer sous pression. [13]

II.3.2.1. Principe de fonctionnement :

Le combustible venant à partir du réservoir est filtré par l'intermédiaire des filtres qui éliminent les impuretés solides existant dans le gasoil. La pompe d'alimentation assure le transport du combustible à la chambre annulaire qui se trouve dans la culasse et communique avec l'orifice d'admission de l'injecteur pompe, le mouvement de descente du piston de l'injecteur pompe comprime le gasoil jusqu'à une pression très élevée et permet d'introduire le gasoil dans la chambre de combustion sous forme pulvérisé. Quand l'injection du gasoil est terminée le reste dans l'injecteur fait refroidir les pièces internes de celui-ci puis retourne par conduite de retour, qui se trouve juste en dessous de la tubulure d'alimentation vers le réservoir. [13]

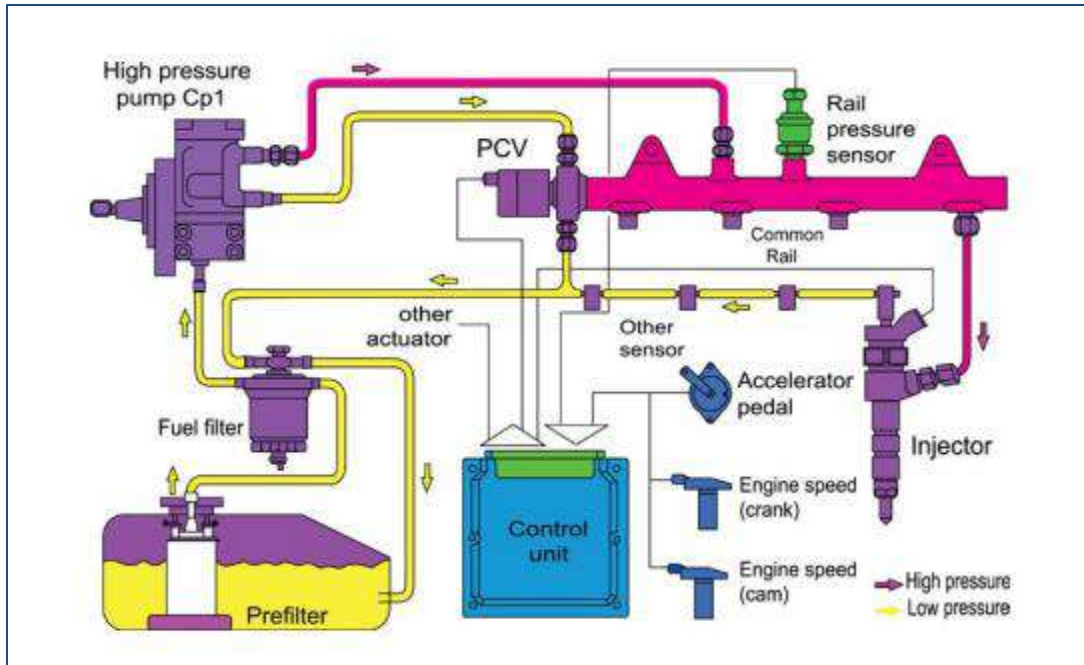


Figure II.17 : Système d'injection. [14]

II.3.2.2. Les organes du système d'injection :

A. Le pré filtre :

Le rôle principal du préfiltre est d'enlever (arrêter) les impuretés de grosses dimensions telles que le sable.



Figure II.18 : Le pré filtre. [13]

B. La pompe d'alimentation :

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



Figure II.19 : La pompe d'alimentation. [13]

C. Filtre principaux:

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



Figure II.20 : Filtre principaux. [13]

D. Les injecteurs :

Les injecteurs utilisés dans le moteur CATERPILLAR sont des injecteurs de type injecteurs pompe, le gasoil est injecté à la quantité essartement dosée et dans un moment bine détermine, avec une injection est directe. Tous les réglages des régimes de moteur sont au niveau de l'injecteur pompe qui sont réalisés par crémaillère. L'injecteur pompe est actionné par un poussoir, une tige et un culbuteur.

La crémaillère est mue par un arbre situé de chaque côté de moteur à l'aide d'une tige montée en compression sur le ressort. [13]

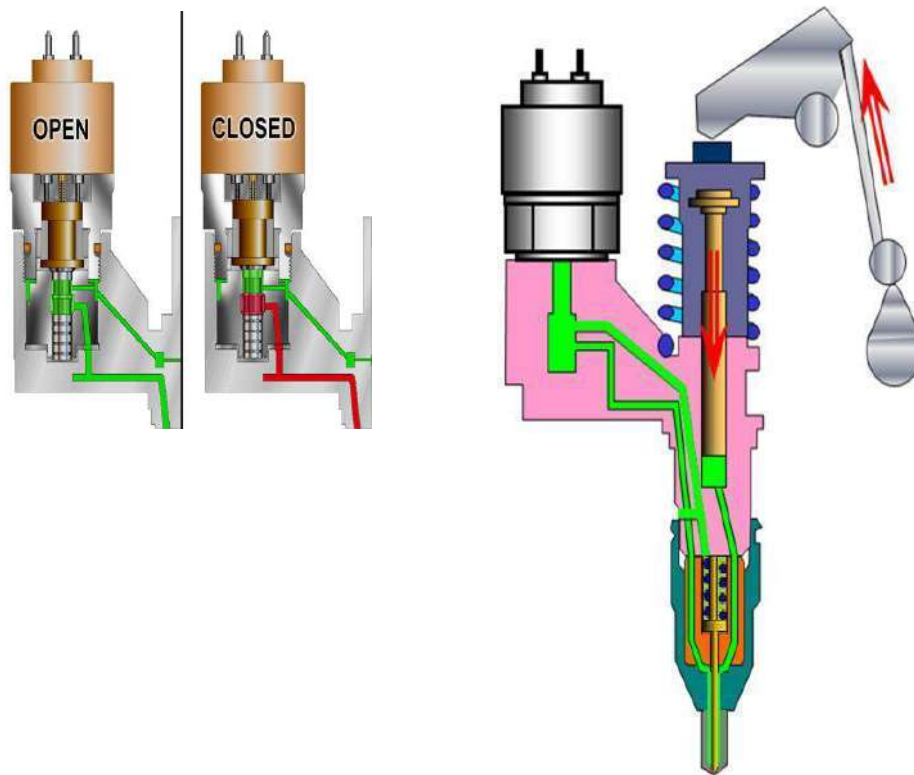


Figure II.21 : Les injecteurs. [8]

II.3.3. Système de refroidissement :

II.3.3.1. Description :

Presque tous les moteurs diesel sont dotés d'un système de refroidissement pour extraire la chaleur perdue du bloc et des pièces internes.

Le système de refroidissement comprend une pompe à eau centrifuge entraînée par engrenage, avec un boîtier des thermostats comprenant quatre (04) thermostats pour régler

La température de l'eau de refroidissement qui circule dans le moteur, le refroidisseur d'huile et le refroidisseur d'admission. L'évacuation de chaleur s'effectue dans le radiateur par l'air envoyé à l'aide d'un ventilateur à huit (08) pales entraîné par courroies.

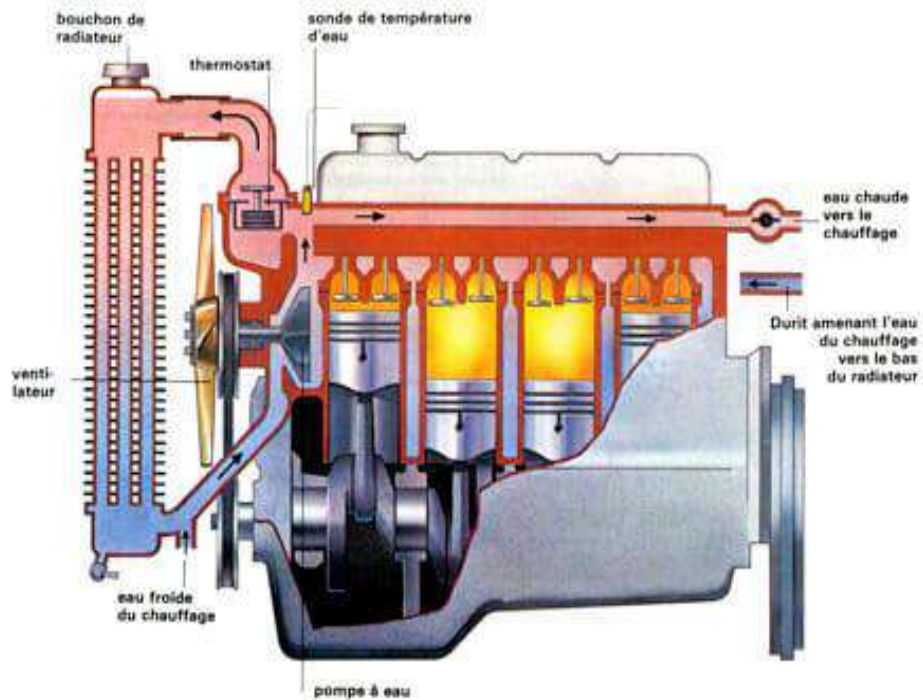


Figure II.22 : Système de refroidissement. [15]

II.3.3.2. Principe de fonctionnement :

Le flux de liquide de refroidissement provient du coude relié au radiateur au centre de la pompe à eau, puis divisé à sa sortie en deux parties, une s'écoule vers le refroidisseur d'air, et l'autre au refroidisseur d'huile.

La partie passant par le refroidisseur d'air est envoyé à l'arrière du bloc, et l'autre envoyé au refroidisseur d'huile s'écoule après dans la gaine d'eau du bloc au cylindre arrière droit.

Le liquide se mélange et se dirige vers les collecteurs de distribution connectés au vérin d'eau de tous les cylindres.

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

Lorsque les régulateurs sont fermés, le liquide de refroidissement passe par eux et retourne à l'entrée de la pompe à eau par l'intermédiaire du tuyau de dérivation. Quand la température du liquide atteint les 88 ° C, les régulateurs s'ouvrent, et le liquide passe au radiateur pour évacuer sa chaleur. [13]

II.3.3.3. Organes et accessoires du système de refroidissement :

a. Chemises d'eau :

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

b. Ventilateur :

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

c. Pompe à eau :

La plus répandue est la pompe centrifuge. Elle se compose d'un corps de pompe, généralement en bronze et portant deux ouvertures, une d'aspiration pressée au centre du corps de la pompe, l'autre de refoulement placée à la périphérie.

Dans le corps de la pompe se meut une roue à ailettes. La pompe à eau est entraînée par engrenage à 1 - 1/3 fois le régime du moteur à grande vitesse de 1300 à 1800 tr/min et 2 fois le régime du moteur pour les moteurs à faible vitesse de 1300 tr/min.

d. Thermostat :

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

e. Le fluide de refroidissement :

Le fluide de refroidissement se compose normalement de trois éléments qui sont : L'eau est utilisée dans le circuit de refroidissement pour assurer l'échange thermique. Les additifs contribuent à protéger les surfaces métalliques du circuit de refroidissement contre la corrosion. Le glycol protégé le circuit contre l'ébullition, gel et la cavitation de la pompe à eau et les chemises de cylindre.

II.3.4. Système de graissage :

II.3.4.1. Description :

Le système de graissage est destiné à protéger les pièces en mouvement de l'usure et de diminuer les frottements qui sont à l'organe de l'usure.

Ce système assure la formation des films de lubrifiant entre les surfaces de la pièce en mouvement (segment, cylindre, paliers et tourillons de vilebrequin, ..., etc).

II.3.4.2. Les organes du système de graissage :

a. Réservoir d'huile :

C'est généralement le carter qui joue le rôle de réservoir d'huile, il est muni des orifices de remplissage et de vidange.

L'orifice de vidange est une Chemise cylindrique venue de la fonderie avec le carter.

b. Reniflard :

Le reniflard est une mise à l'air du bloc moteur. Le proviennent principalement des fuites à travers de segmentation. Ces reniflards sont chargés de vapeur d'huile.

Le montage du conduit d'évacuation des gaz doit être de diamètre suffisant et exempt de point bas pour éviter toute contre pression excessive.

c. Les Canalisations :

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

d. La pompe à l'huile :

La pompe à l'huile utilisée dans le moteur 3512 CAT sont de type pompe à engrainage à double étages. Elle est composée d'un boîtier moulé dans lequel tourne trois pignons à denture droite. Elle est de construction robuste.

Un des pignons est entraîné par un arbre vertical prenant son mouvement sur un renvoi de l'arbre à cames.

II.3.5. Système de suralimentation :

Les moteurs CAT sont équipés par :

- 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.

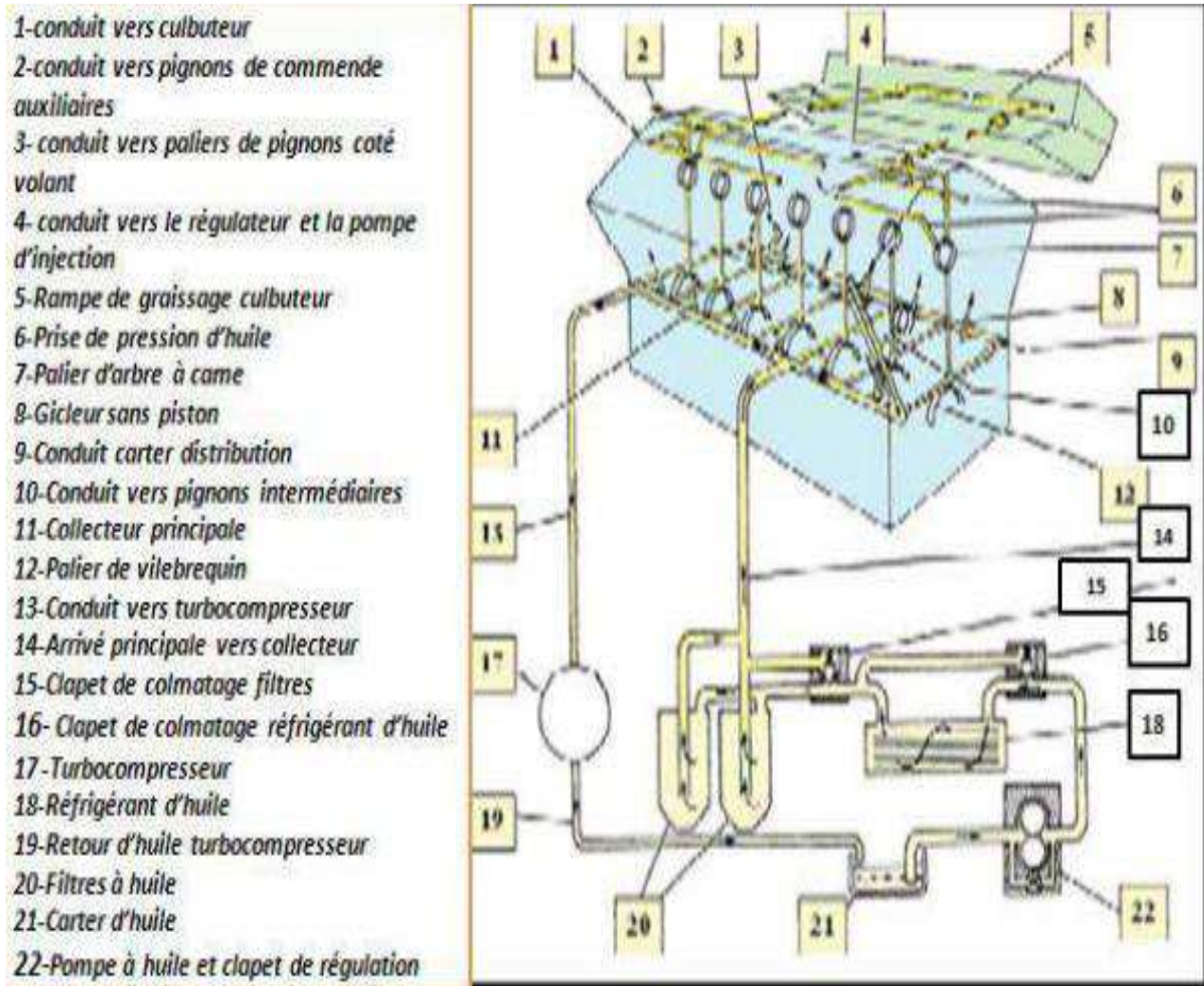


Figure II.23 : Schéma de suralimentation. [9]

II.4. Présentation entreprise national de forage et le moteur Caterpillar :

Le pétrole est l'une des sources d'énergie et d'économie les plus importantes au monde, et le processus d'extraction du pétrole nécessitent de nombreux investissements financiers, et c'est ce que fournit l'Entreprise National de Forage.

L'Entreprise National de Forage "ENAFOR" est pionnière dans le domaine du forage de puits de pétrole car elle dispose de l'expertise, de la technologie et des équipements nécessaires. L'accumulation de l'expérience d'ENAFOR dans ce domaine a conduit à la sélection correcte des équipements pour obtenir les meilleurs résultats dans les plus brefs délais, et parmi ces équipements se trouve la moteur Caterpillar 3512.

L'expérience accumulée dans le domaine du forage profond montre que le moteur Caterpillar 3512 ne répond qu'aux besoins en électricité du site de forage; En plus de sa puissance et de son débit, le moteur doit être souple, robuste et facile d'entretien.



Figure II.24 : VU réel du moteur Caterpillar 3512

II.5. Historique :

1966 - Création d'ALFOR, Compagnie mixte entre SONATRACH et SEDCO, dont le capital est détenu comme suit : SONATRACH 51%, SEDCO 49%.

1981-1982 Dissolution d'ALFOR et création d'ENAFOR dont le capital est détenu par l'Etat à 100%. Issue de la restructuration de SONATRACH, l'entreprise ENAFOR a été créée par décret N° 81- 170 en date du 1er Août 1981 et mise en place le 1er Janvier 1982 par l'arrêté interministériel du 31 décembre 1981 portant date d'effet de substitution de l'entreprise ENAFOR à SONATRACH dans une partie de ses compétences en matière de Forage.

1989 - ENAFOR devient une entreprise autonome sous la forme d'une SPA, dont le capital, 20.000.000 DA, est détenu par le Fond Mines à 40%, le Fond Chimie/Pétrochimie/Pharmacie à 30%, le Fond Agro-alimentaire à 30%.

1995 - Le fond Mines devient le principal et unique actionnaire d'ENAFOR. Le capital social a été augmenté à 400 Millions DA.

1996 - Le Holding Réalisations et Grands Travaux (RGT) se substitue au Fond Mines et devient le principal et unique actionnaire de ENAFOR.

1998 - SONATRACH, par le biais du Holding SSP, est devenu l'actionnaire principal de l'entreprise avec 51%. Les 49 % sont détenus par le Holding RGT. 2000 - Le Holding Réalisation et Matériaux de Construction (RMC) se substitue au Holding RGT et devient actionnaire de 49 % du capital social de l'entreprise.

2001 - Augmentation, du capital social à 660 millions de DA.

2002 - Le Holding SPP se substitue au Holding SSP et devient actionnaire de 51 % du capital social. - Le Holding SGP-TRAVEN se substitue au Holding RMC et devient actionnaire de 49 % du capital social. - Augmentation du capital social à quatre (04) milliards de DA.

2004 - ENAFOR est certifié ISO 9001 – Version 2000.

En Novembre 2004 - ENAFOR lance l'installation du système de gestion intégré (E.R.P) SAP.

2005 - Le Holding SPP "INDJAB" se substitue au Holding SGP TRAVEN et devient actionnaire de 49% du capital social. [16]

II.6. L'emplacement des moteurs Caterpillar 3512 :

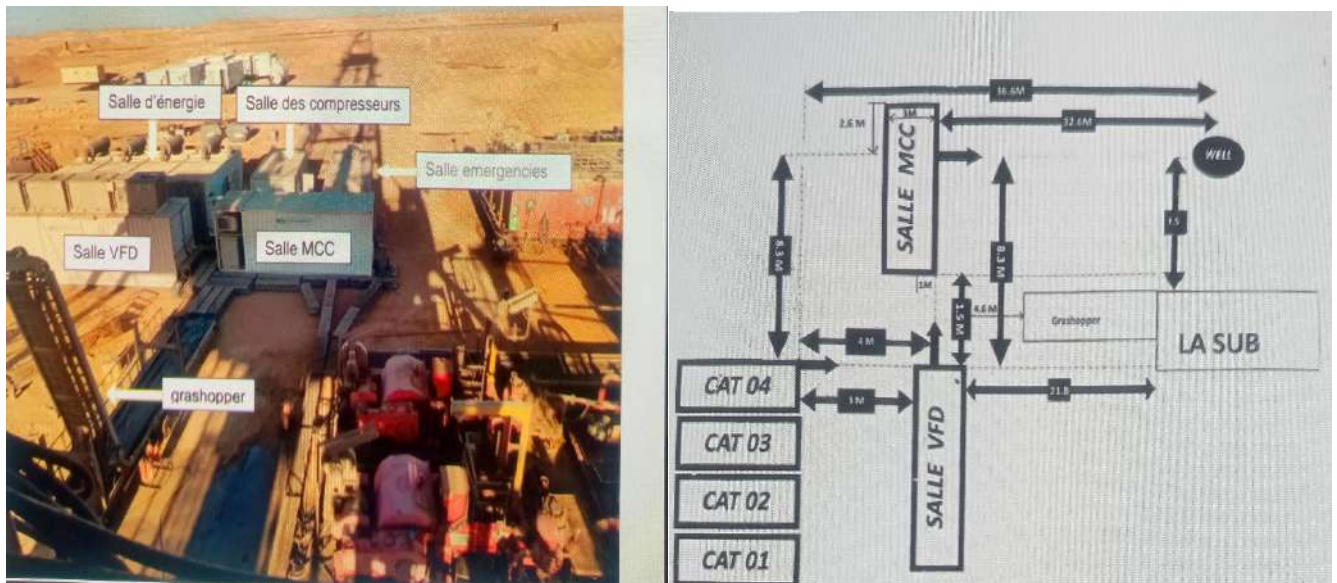


Figure II.25 : VU réel de L'emplacement du moteur Caterpillar 3512

II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons donné une introduction générale aux moteurs Caterpillar et aux pièces communes et différentes entre les différentes séries. Ainsi que des méthodes de lubrification et de refroidissement, et à la fin nous avons discuté de la présentation de la Société nationale de forage et d'exploration et du rôle du moteur Caterpillar dans celle-ci et de son emplacement.

Chapitre III

Généralités Sur La Maintenance

III.1. Introduction :

Avec l'automatisation à grande échelle et l'arrivée en force du juste-à-temps, l'heure du zéro-panne, ou plutôt du zéro-arrêt a sonné. L'impératif d'aujourd'hui, dans le domaine de la production d'avant-garde, autant pour les biens de consommation que pour les biens de production, c'est la sûreté de fonctionnement ou la pleine disponibilité des équipements. Désormais, la maintenance fait partie intégrante des stratégies d'entreprise, au même titre que la qualité, l'innovation ou le marketing.

Les nouvelles pratiques de maintenance industrielle pénètrent déjà largement dans les pays les plus avancés sur le plan des technologies de fabrication. Aujourd'hui le budget propre de la maintenance est estimé à 18%. Ce budget est consacré essentiellement à couvrir les frais des dispositifs de surveillance (capteurs de température de pression et de vibration...Etc.) Et les pièces de rechange.

III.1.1. Définition de la maintenance :

La maintenance est définie comme étant l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié. Maintenir c'est donc effectuer des opérations qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production. [17]

- Maintenir qui suppose un suivi et une surveillance.
- Rétablir qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut.
- Coût optimal qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique.

Le rôle de la fonction maintenance dans une entreprise (quel que soit son type et son secteur d'activité) est donc de : garantir la plus grande disponibilité des équipements au meilleur rendement tout en respectant le budget alloué.

III.2. Types de maintenance :

Les deux grandes familles de types de maintenance sont :

- ✚ La maintenance corrective.
- ✚ La maintenance préventive.

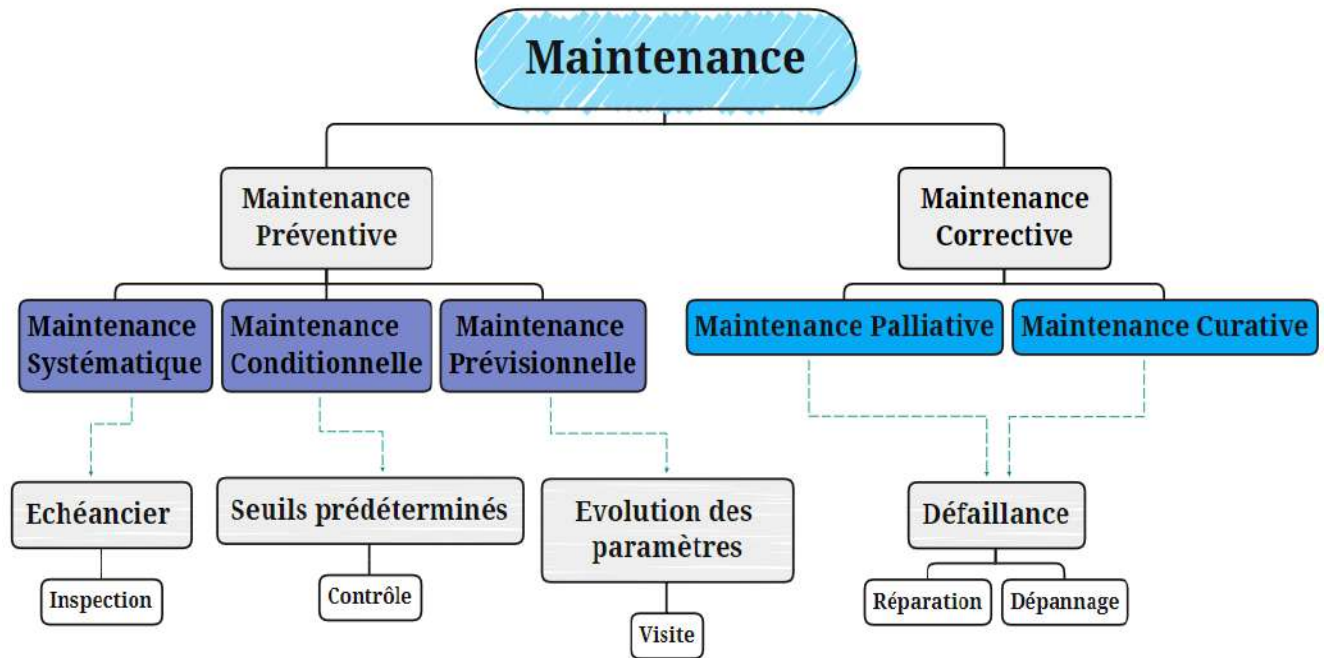


Figure III.1: Différents types de maintenance. [18]

III.2.1. Maintenance corrective :

La maintenance corrective : « Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ».

La maintenance corrective correspond à une opération engagée suite à une panne, un sinistre ou un aléa. Elle a pour objectif de remettre en fonctionnement les machines par un dépannage, une réparation ou le remplacement de pièces défectueuses. [18]

On distingue deux types de maintenance corrective :

III.2.1.1. Maintenance palliative :

La maintenance palliative correspond au dépannage. Elle consiste à remettre provisoirement une machine ou un outil en état, dans l'attente de sa réparation. La maintenance palliative permet d'éviter l'arrêt totale de production, on parle alors de reprise de production en mode « dégradé ».

Dépannage : actions physiques exécutées pour permettre à un bien d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée.

III.2.1.2. Maintenance curative :

La maintenance curative répare les causes et conséquences de la panne. Contrairement à la maintenance palliative, il s'agit d'une action en profondeur qui agit sur le long terme, souvent en remplaçant la pièce défectueuse par une neuve. L'équipement reprend alors une production normale.

Réparation : actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.

III.2.2. La maintenance préventive :

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. [18]

La maintenance préventive est donc, comme son nom l'indique, de la prévention par l'entretien régulier d'une machine ou d'un bien. Elle consiste à faire des contrôles selon des normes établies et/ou conformément aux instructions du fabricant, mais également en fonction de l'expérience humaine et des historiques d'interventions réalisés sur le bien. [18]

La maintenance préventive a pour but de :

- garantir la disponibilité du bien.
- augmenter sa durée de vie,
- diminuer la probabilité des pannes et donc d'actions de maintenance corrective,
- contrôler les consommations d'énergie ou de pièces détachées en contribuant à la maîtrise des stocks.

On distingue plusieurs types de maintenance préventive :

III.2.2.1. Maintenance systématique :

La maintenance préventive systématique est effectuée selon un échancier, en fonction du temps ou du nombre d'unités d'usage, mais sans contrôle préalable du bien.

La fréquence des interventions est établie à compter de la mise en fonctionnement du bien ou à la suite d'une révision partielle ou complète de celui-ci. [18]

III.2.2.2. Maintenance conditionnelle :

C'est une maintenance qui met en évidence l'état de dégradation d'un bien. Elle permet de suivre l'évolution d'un défaut et de planifier une intervention avant une défaillance partielle ou totale. [19]

III.2.2.3. Maintenance prévisionnelle :

La maintenance prévisionnelle est « une maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ».

Elle consiste à anticiper les besoins de la maintenance en permettant de prévenir les pannes ou les défaillances. [18]

III.3. Classification des défaillances :

III.3.1. Les défaillances :

III.3.1.1. Définitions :

Une défaillance est la cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise. Après une défaillance, le bien est en panne, La panne : état d'un bien inapte à accomplir une fonction requise, excluant l'inaptitude due à la maintenance préventive. [17]

III.3.1.2. Les causes de défaillance :

Causes de défaillance du système : Les causes de défaillance peuvent être externes ou internes au système. [17]

Causes externes de défaillance du système :

- Matière d'œuvre (absente, non conforme).
- Energie (absente, non conforme).
- Conditions d'exploitation : conduite et réglage non conformes.
- Maintenance (absence, non conforme).
- Perturbations (environnement).

Causes internes de défaillance du système :

- Les éléments du système (composants, liaisons).
- Etat de fonctionnement.
- Matière d'œuvre entrante.

Une défaillance se caractérise également par le moment où elle se manifeste par rapport au cycle de vie de l'entité.

- ⇒ Elle peut être **précoce** en se manifestant au début ; dans ce cas elle se rapporte à la période de déverminage.
- ⇒ Elle peut être **aléatoire** ; dans ce cas elle se produit durant le cycle de vie utile de l'entité.
- ⇒ Elle peut être **d'usure** ; dans ce cas elle se rapporte à la fin du cycle de vie du produit par des processus de détérioration par usure, corrosion, échauffement, etc.

III.4. Techniques utilisées en maintenance :

III.4.1. Application de l'AMDEC :

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effet et de leur Criticité), est une méthode inductive permettant, pour chaque composant d'un système, de recenser son mode de défaillance et son effet sur le fonctionnement ou la sécurité du système. [20]

III.4.2. Analyse vibratoire :

Lorsque les machines sont en bon fonctionnement elles vibrent avec une fréquence bien déterminée. Par ailleurs, dès que les phénomènes d'usure, de fatigue, de vieillissement apparaissent ces fréquences se modifient. L'analyse de vibration permet de détecter les perturbations du système. Ainsi elle devient un élément important de la maintenance

conditionnelle. Lors de l'analyse de vibration plusieurs paramètres peuvent être mesurés et sont porteurs de renseignement, tels que l'amplitude de vibration, la vitesse et l'accélération. [20]

III.4.3. Analyse de l'huile :

L'analyse des lubrifiants en service contribue à optimiser les coûts de maintenance (directs et indirects) par une meilleure connaissance de l'état des machines et de l'évolution du lubrifiant. Cette technique s'applique à l'ensemble du parc des machines lubrifiées. Cette méthode est complémentaire des suivis par analyses vibratoire et thermographie. [20]

III.4.4. Analyses FMD :

La Sûreté de Fonctionnement (SdF) appelée : « science des défaillances », est l'ensemble des propriétés qui décrivent la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent : fiabilité, maintenabilité et logistique de maintenance. [20]

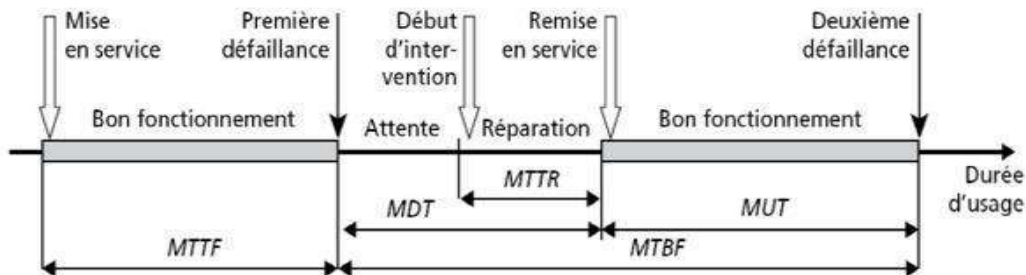


Figure III. 2: Schématise les états successifs que peut prendre un système réparable. [20]

Avec :

MDT= Mean Down Time =Temps Moyen d'Indisponibilité.

MUT= Mean up Time= Moyen Temps de Bon fonctionnement.

III.4.4.1. Loi de Weibull :

La loi de Weibull est un modèle couramment employé pour modéliser la durée vie d'un matériel. Elle permet d'ailleurs, à partir des résultats obtenus de déterminer dans quelle période de sa vie se trouve le système étudié. Elle couvre les cas de taux de défaillance variables, décroissants (périodes de jeunesse), ou croissant (période de vieillesse). [21]

III.4.4.1.1. Paramètres de Weibull :

β : Paramètre de forme >0 sans dimension:

$\beta > 1$, le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse

$1,5 < \beta < 2,5$: fatigue

$3 < \beta < 4$: usure, corrosion

$\beta = 1$, le taux de défaillance est constant, caractéristique de la zone de maturité

$\beta < 1$, le taux de défaillance est décroissant, caractéristique de la zone de jeunesse

η : Paramètre d'échelle >0 qui s'exprime dans l'unité de temps

γ : paramètre de position, $-\infty < \gamma < +\infty$, qui s'exprime dans l'unité. [21]

III.4.4.1.2. Méthodologie de Weibull :

- . Consulter les historiques de pannes et dresser la liste des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.
 - . Classer ces temps par ordre croissant.
 - . Cumuler le nombre de défaillances (rang).
 - . Calculer les fréquences des avaries $F(i)$, en fonction de la taille N de l'échantillon.
 - . Reporter les points ainsi trouvés sur le papier de Weibull en plaçant les TBF en abscisse et les $F(i)$ en ordonnée.
 - . Tracer la droite passant au mieux par les points obtenus.
- Si les points sont alignés sur une droite, on a $\gamma = 0$.
- . Détermination des paramètres η et β .
 - . Interpréter les résultats. [21]

III.4.4.1.3. La densité de probabilité $f(t)$:

On définit le taux de défaillance de la manière suivante :

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \cdot \left(\frac{t-y}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left[\frac{t-y}{\eta}\right]^\beta} \dots (III.1)$$

III.IV.4.1.4. La fonction de réparation $F(t)$:

On définit le taux de défaillance de la manière suivante :

$$F(t) = 1 - e^{-\left[\frac{t-y}{\eta}\right]^\beta} \dots (III.2)$$

III.4.4.1.5. La fiabilité $R(t)$:

« Caractéristique d'un bien exprimée par la **probabilité** qu'il accomplisse une **fonction requise** dans des **conditions données** pendant un **temps donné** » (NF X 60-500). [12]

On définit le taux de défaillance de la manière suivante :

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left[\frac{t-y}{\eta}\right]^\beta} \dots (III.3)$$

III.4.4.1.6. La fonction de la défaillance $\lambda(t)$:

On définit le taux de défaillance de la manière suivante :

$$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \cdot \left(\frac{t-y}{\eta}\right)^{\beta-1} \dots (III.4)$$

III.4.4.1.7. Durée de vie associée à un seuil de fiabilité :

On définit le taux de défaillance de la manière suivante :

$$R(t) = e^{-\left[\frac{t-y}{\eta}\right]^\beta} \Rightarrow \ln R(t) = -\left[\frac{t-y}{\eta}\right]^\beta \Rightarrow \ln\left(\frac{1}{R(t)}\right) = \left[\frac{t-y}{\eta}\right]^\beta \Rightarrow \frac{t-y}{\eta} = \left(\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right)^{\frac{1}{\beta}} \Rightarrow t = \eta \cdot \left(\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right)^{\frac{1}{\beta}} + y \dots (III.5)$$

III.4.4.2. La maintenabilité M(t) :

Selon la norme AFNOR X 60-010, « c'est l'aptitude dans des conditions données d'utilisation, d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits». [12]

On définit le taux de défaillance de la manière suivante :

$$M(t) = 1 - e^{-(\mu.t)} \text{ET } \mu=1/\text{MTTR} \dots \text{(III.6)}$$

III.4.4.3. La disponibilité D(t) :

La disponibilité (A(t) pour Availability) « Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée (extrait norme NF EN 13306 X 60-319)». [12]

On définit le taux de défaillance de la manière suivante :

Disponibilité intrinsèque:

$$D_i = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

Disponibilité instantanée:

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu)t} \right) \text{ET } \lambda = 1/\text{MTBF}; \mu = 1/\text{MTTR}$$

III.4.5. Loi de Pareto (ABC):

III.4.5.1. Définition :

Cette approche permet, par une distribution statistique, de choisir les sujets les plus représentatifs d'un échantillon. Elle est aussi appelée 80/20 car elle considère que 20% des causes provoquent 80% des conséquences.

Parfois appelé loi de Pareto malgré son caractère empirique, ce phénomène a été formalisé en tant que tel au début du XXème siècle par l'économiste italien Vilfredo Pareto qui lui a légué son nom.

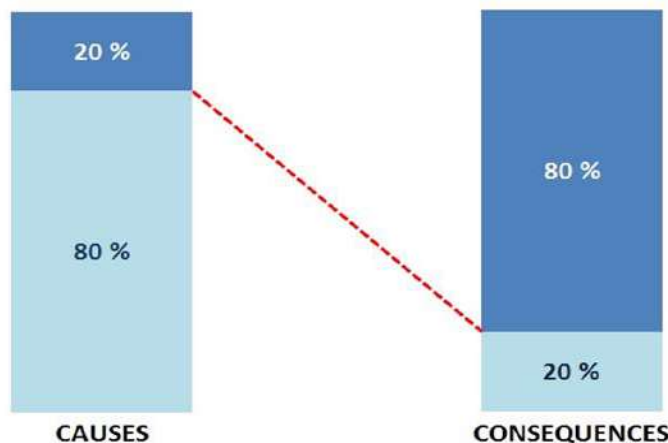


Figure III.3 : Diagramme de Pareto. [21]

Exemples d'utilisation :

- 20% des articles d'un stock représentent 80% des mouvements du stock : à rapprocher des points d'entrée et de sorties.
- 20% des défauts d'un appareil représentent 80% des retours au SAV : à résoudre en priorité dès la conception. [21]

III.4.5.2 : Calcul du ratio de discrimination :

Le ratio de discrimination (Rd) ou coefficient de Gini peut être calculé graphiquement ou mathématiquement. Graphiquement, on calculera $Rd=CB/BA$ à partir des points du graphique ci-dessus. [21]

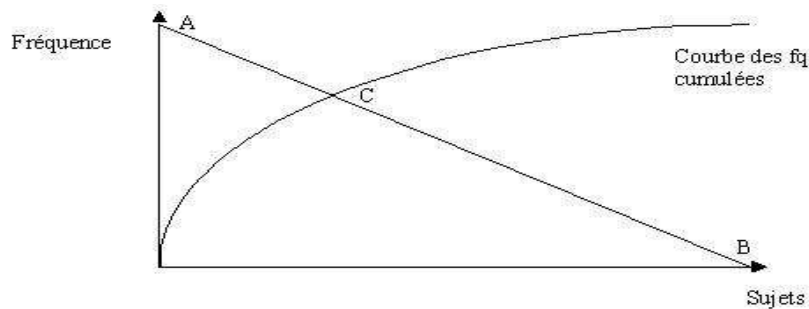


Figure III.4 : Tracer la courbe des fréquences cumulées. [21]

III.4.5.3 : Classes en fonction du ratio :

- Le calcul du ratio permet de déterminer les classes de gestion des sujets :
- la classe A fera l'objet d'une gestion précise.
 - la classe B d'une gestion plus souple.
 - la classe C pourra être mise de côté.

Valeur de Rd	Zone	A	B	C
$1 > Rd > 0,9$	1	10%	10%	80%
$0,9 > Rd > 0,85$	2	10%	20%	70%
$0,85 > Rd > 0,78$	3	20%	25%	55%
$0,75 > Rd > 0,65$	4	20%	30%	50%

Tableau III.1: Calcul du ratio de discrimination. [21]

Pour $Rd < 0,65$, les données ne sont pas interprétables et le critère n'est pas pertinent. Il faut donc en choisir un autre. [21]

III.5. Maintenance du Moteur Caterpillar :

Etude de cas d'un moteur CATERPILLAR série 3000.

III.5.1. Recommandations d'entretien :

- ❖ Avant d'effectuer toute opération ou maintenance procédures, assurez-vous que les informations de sécurité, les avertissements et les instructions sont lus et compris. [22]
- ❖ Caterpillar maintien des normes pour les éléments suivants paramètres moteur :
 - Puissance.
 - Plage de tr/min.
 - Consommation de carburant.
 - Qualité du carburant.
 - Altitude.
 - Intervalles d'entretien.
 - Sélection d'huile.
 - Sélection du liquide de refroidissement.
 - Qualités environnementales.
- ❖ Un fonctionnement intensif peut accélérer l'usure des composants.
- ❖ Moteurs fonctionnant dans des conditions sévères peut nécessiter des intervalles de maintenance plus fréquents pour les raisons suivantes :
 - Les facteurs suivants peuvent contribuer à de graves fonctionnement : environnement, mauvais fonctionnement procédures et pratiques d'entretien inappropriées.
 - extrêmement froid ou chaud peut endommager les composants.
 - Les composants de soupape peuvent être endommagés par l'accumulation de carbone si le moteur est fréquemment mis en marche et arrêté par des températures très froides.
 - Si l'équipement n'est pas nettoyé régulièrement, le prolongée dans un environnement sale et dans un environnement poussiéreux peut endommager les composants.
 - Les produits chimiques corrosifs et le sel peuvent endommager certains compos
- ❖ Modes opératoires inappropriés :
 - Fonctionnement prolongé au ralenti bas.
 - Faire fonctionner le moteur avec des charges supérieures à la charge nominale.
 - Faire fonctionner le moteur à des vitesses supérieures que le régime nominal.

III.5.1.1. Tous jours :

Pour que le moteur fonctionne correctement, un ensemble de mesures doit être pris quotidiennement :

- Vérification du niveau d'huile dans le moteur.
- Vérifiez le système de refroidissement uniquement lorsque le moteur est arrêté et refroidi.
- Assurez-vous que le moteur est exempt d'huiles et de saletés, et qu'il n'y a pas de fuite.

III.5.1.2. Maintenance Du moteur chaque 250 Heures :

* Réparez les conduites, tubes et flexibles de carburant et d'huile desserrés ou endommagés. Les fuites peuvent provoquer des incendies. Inspectez soigneusement toutes les conduites, tubes et flexibles.

* Courroies d'alternateur et de ventilateur :

Inspection : Pour optimiser les performances du moteur, inspectez la courroie d'entraînement pour déceler toute trace d'usure et de fissures.

Vérifiez la tension de la courroie de transmission.

Réglez la tension de la courroie d'entraînement afin de minimiser le patinage de la courroie.

Vérifiez la tension de la courroie d'entraînement conformément aux informations du manuel d'entretien, « Fonctionnement des systèmes/Tests et réglages ».

Remplacement : pour les applications qui nécessitent plusieurs courroies d'entraînement, remplacez les courroies d'entraînement par ensembles assortis.

III.5.1.3. Maintenance Du moteur chaque 1000 Heures :

- Analyse du système de refroidissement (niveau II) : Examinez complètement le cycle de Réfrigération en analysant l'eau dans le cycle de réfrigération.
- Moteur – Propre : L'accumulation de graisse et d'huile sur un moteur est un risque d'incendie. Gardez le moteur propre. Retirez les débris et les déversements de liquide chaque fois qu'une Quantité importante s'accumule sur le moteur.
- Reniflard de carter moteur: Assurez-vous que l'appareil Reniflard de carter moteur est propre Et non obstrué.

* Dispositifs de protection du moteur : Assurez-vous que les dispositifs de protection du moteur fonctionnent correctement.

III.5.1.4. Maintenance Du moteur chaque 2000 Heures :

- Vérifier la tringlerie de commande de l'actionneur.
- Vérifier le bac de lubrification du démarreur pneumatique.
- Vérifier l'amortisseur (Damper) : Inspectez l'amortisseur à la recherche de traces de bosses, de fissures et de fuites de liquide.
- Équipement à mouvement : Observer l'équipement entraîné pendant le fonctionnement.
- Stabilité du moteur : Assurez-vous que les boulons de montage sont serrés au couple Approprié. Pour les couples standards, consultez ce manuel d'utilisation et d'entretien.
- Soupape de moteur : Vérifiez le pont de soupape et ajustez le pont de soupape, si nécessaire. Effectuez la procédure pour les deux ponts de soupapes pour chaque cylindre. Après avoir vérifié le pontet de soupapes pour chaque cylindre, procéder au réglage du jeu de soupapes, si nécessaire.
- Injecteur de carburant : Les arbres à cames doivent être correctement synchronisés avec le vilebrequin avant d'effectuer un réglage du jeu de l'injecteur de carburant.
- Turbocompresseur : Une inspection et un nettoyage périodiques sont recommandés pour le carter du compresseur du turbocompresseur (côté admission).

III.5.1.5. Maintenance Du moteur chaque 3000 Heures :

- Système de refroidissement (DEAC) : Nettoyez le système de refroidissement avant l'intervalle d'entretien recommandé si les conditions suivantes existent :
 - Le moteur surchauffe fréquemment.
 - Un moussage est observé.
 - De l'huile a pénétré dans le système de refroidissement et le liquide de refroidissement est contaminé.
 - Le carburant est entré dans le système de refroidissement et le le liquide de refroidissement est contaminé.
- Système de refroidissement (ELC) : Vérifiez le système de refroidissement uniquement lorsque le moteur est arrêté et refroidi.

III.5.1.6. Maintenance Du moteur chaque 4000 Heures ou 4 ans :

- Toutes les autres pièces visibles lors de la révision majeure sont entièrement inspectées. Les joints et garnitures exposés sont également remplacés. Les passages internes du moteur sont nettoyés.

III.5.1.7. Maintenance Du moteur chaque 6000 Heures ou 6 ans :

- Alternateur : Observez l'ampèremètre pendant le fonctionnement du moteur afin d'assurer une bonne performance de la batterie et/ou une bonne performance du système électrique.
- Système de refroidissement (ELC) : Vérifiez le niveau de liquide de refroidissement. Maintenez le liquide de refroidissement au niveau approprié sur la jauge visuelle (le cas échéant).
- Régulateur de température de l'eau : Remplacez le régulateur de température de l'eau avant que le régulateur de température de l'eau ne tombe en panne. I Le remplacement du régulateur de température de l'eau réduit les risques d'arrêts imprévus.
- Micros magnétiques : Retirez le capteur magnétique du carter du volant. Vérifiez l'état de l'extrémité du capteur magnétique. Vérifiez les signes d'usure et les contaminants.
- Démarreur : Inspectez le moteur de démarrage pour un fonctionnement correct. Écoutez le grincement lorsque le moteur est démarré. Inspectez les dents du pignon du démarreur et de la couronne du volant moteur. Rechercher des modèles d'usure sur les dents. Recherchez les dents cassées ou ébréchées. Si des dents endommagées sont trouvées, le pignon du démarreur et la couronne du volant doit être remplacée.
- Pompe à eau : Inspecter visuellement la pompe à eau pour détecter les fuites. Si une fuite des joints de la pompe à eau est observée, remplacez tous les joints de la pompe à eau.

III.6. Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons vu le concept d'objectifs et d'intérêts d'entretien et de maintenance dans le domaine industriel, ainsi que les opérations de maintenance préventive et corrective.

Nous avons également présenté les trois principaux concepts de maintenance, la fiabilité, la maintenance, la disponibilité et méthodes d'optimisation de la maintenance grâce à une étude de la méthode ABC.

Chapter IV
CALCUL ET
ANALYSE

IV.1. Etude pratique de La Loi de Weibull et la méthode de FMD loi de Pareto :

IV.1.1. Introduction:

Dans la suite nous étudions par la méthode ABC et FMD du fichier d'historique du Moteur Caterpillar (**type 3512**). Nous avons obtenu des données de l'ENAFOR, ce qui nous a aidés à répondre à tous nos besoins d'information, et nous a ainsi permis de préparer le côté pratique facilement et sans problème.

IV.1.2. Historique des pannes du Caterpillar (3512):

Période (04/01/2020 - 24/03/2023).

Tableau IV.1 Historique des pannes du Caterpillar (3512):

Début panne	Description de la panne	Durée arrêt [H]
04/01/2020	changement de pompette à gas-oil	86,00
05/03/2020	changement gauge	3
19/03/2020	Ajout d'huile	2,00
28/03/2020	changement RADIATEUR	9,5
15/06/2020	Rajoutd'huile	7,00
02/08/2020	Consommation huile moteur CAT	2,00
12/08/2020	Consummation huile moteur CAT	8,00
12/10/2020	changement GASKET,KIT SINGEL CYLINDER HE	12
28/10/2020	réparation sur MOT 3512 RIG	3
04/12/2020	Changement démarreur	24
14/12/2020	changement filtre à air mot	8
16/01/2021	Rajoutd'huile	7
31/01/2021	Rajoutd'huile	8
04/02/2021	Cumul consommation d'huile	7
20/03/2021	changementpdrusées	7,5
08/05/2021	changementpompe à eau	15
25/06/2021	Vidange MOT CAT 3512	10
18/06/2022	changementoîl seal	3
19/06/2022	Rajout eau de refroidissement antifreeze	8,00
31/08/2022	changementculasse	8,00
17/09/2022	total rajoutd'huile	1
11/10/2022	changement 12 injecteurs	6
15/12/2022	vidange et changement pompe à eau	8
16/03/2023	Changement coussinet pompe d'huile	9
24/03/2023	Changement pompe à eau	4,00

IV.2. Loi de Weibull:

Tableau IV.2 Calcule TBF :

Description de la panne	Début panne	Durée arrêt[H]	TBF[H]
changement de pompette à gas-oil	/	/	1354
changement gauge	05/03/2020	3	333
ajoutd'huile	19/03/2020	2	214
changement RADIATEUR	28/03/2020	9,5	1910,5
Rajoutd'huile	15/06/2020	7	1097
Consummation huile moteur CAT	02/08/2020	2	238
Consommation huile moteur CAT	12/08/2020	8	1456
changement GASKET,KIT SINGEL CYLINDER HE	12/10/2020	12	372
réparation sur MOT3512	28/10/2020	3	885
Changement démarreur	04/12/2020	24	216
Changement filtre à air	14/12/2020	8	784
Rajout d'huile	16/01/2021	7	353
Rajout d'huile	31/01/2021	8	88
Cumul consommation d'huile	04/02/2021	7	1049
Changement pdr usées	20/03/2021	7,5	1168,5
Changement pompe à eau	08/05/2021	15	1138
Vidange MOT CAT 3512	25/06/2021	10	8582
Changement oil seal	18/06/2022	3	21
Rajout eau de refroidissement antifreeze	19/06/2022	8	1744
Changement culasse	31/08/2022	8	400
total rajout d'huile	17/09/2022	1	575
changement 12 injecteurs	11/10/2022	6	1554
vidange et changement pompe à eau	15/12/2022	8	2176
Changement coussinet pompe d'huile	16/03/2023	9	183
Changement pompe à eau	24/03/2023	4	/

Remarque : Pour calculer la première valeur TBF, nous ajoutons les 86 heures du premier arrêt de date 04/01/2020.

IV.2.1. Déterminations des paramètres de loi de weibull :

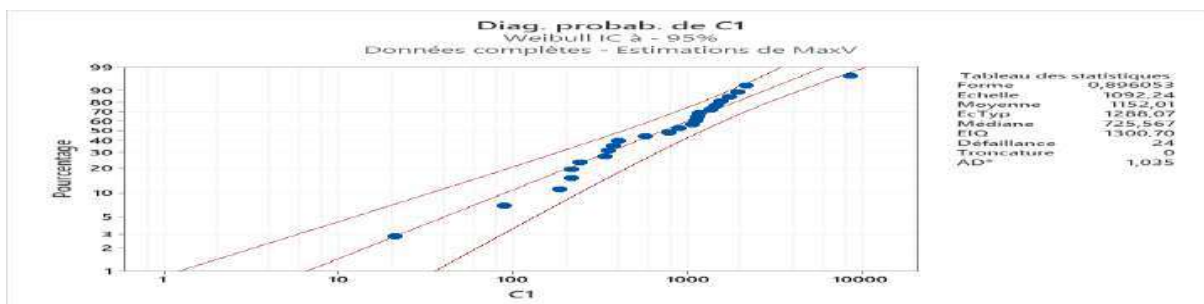


Figure IV.1 : Déterminations des paramètres de loi de weibull par minitab.

Papier de Weibull :

$\gamma=0 \quad \eta=1092,24$

$\beta=0,896053 \Rightarrow A=1,05218 ; B=1,17111$ (Voir annexe I)

Calcul de MTBF:

$MTBF=A \eta + \gamma= 1152,01H$

IV.2.2. Calcul de densité de probabilité f (t) ET Fonction de réparation F(t) ET fiabilité R (t) Fonction de la défaillance λ (t):

Tableau IV.3 : Calcul de f (t) et F(t) et R (t) et λ (t)

TBF[H]	f(t)	F(t)	R(t)	λ (t)
8582	1,20E-06	0,998239	0,001761	0,000662148
2176	0,000119537	0,843468	0,156532	0,00076366
1910,5	0,000148599	0,808026	0,191974	0,000774059
1744	0,000170753	0,781487	0,218513	0,000781431
1554	0,000200649	0,746289	0,253711	0,000790857
1456	0,000218348	0,725772	0,274228	0,00079623
1354	0,000238689	0,702481	0,297519	0,000802264
1168,5	0,000281579	0,654354	0,345646	0,000814646
1138	0,000289467	0,645646	0,354354	0,000816889
1097	0,000300489	0,633554	0,366446	0,00082001
1049	0,000314038	0,618808	0,381192	0,000823833
885	0,000366303	0,563155	0,436845	0,000838521
784	0,000403943	0,524297	0,475703	0,00084915
575	0,000499553	0,430359	0,569641	0,000876961
400	0,000606472	0,334041	0,665959	0,000910675
372	0,000626906	0,316776	0,683224	0,00091757
353	0,000641447	0,304728	0,695272	0,000922584
333	0,000657403	0,291741	0,708259	0,000928195
238	0,000744608	0,225313	0,774687	0,000961173
216	0,000768308	0,208674	0,791326	0,000970913
214	0,000770547	0,207135	0,792865	0,000971852
183	0,000807332	0,182689	0,817311	0,00098779
88	0,000959963	0,099388	0,900612	0,0010659
21	0,001201732	0,028576	0,971424	0,001237083

IV.2.3. Graphique et Interprétation de la densité de probabilité f(t) :

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^{\beta}}$$

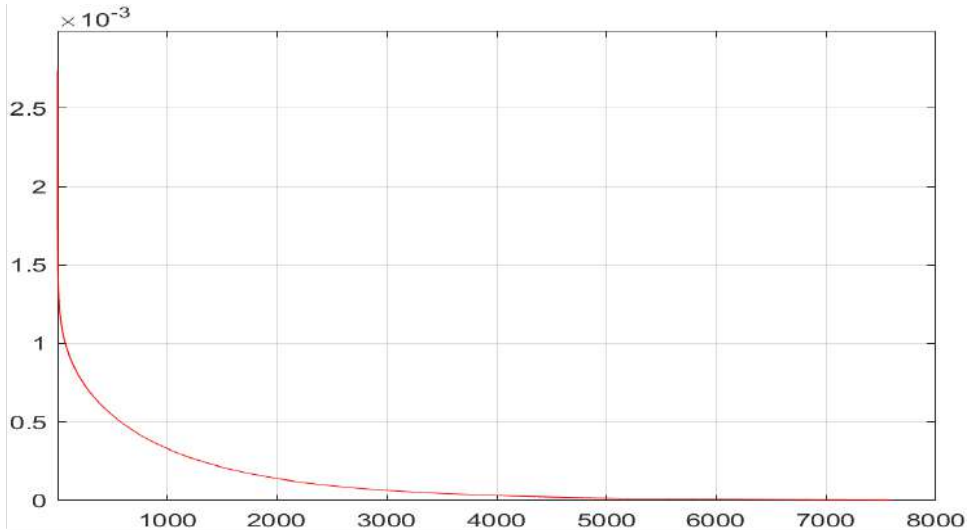


Figure IV.2 : Courbe de la densité de probabilité f(t).

Interprétation :

La courbe de densité de probabilité est décroît avec le temps.

IV.2.4. Graphique et Interprétation de la fonction de réparation F(t) :

$$F(t) = 1 - e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^{\beta}}$$

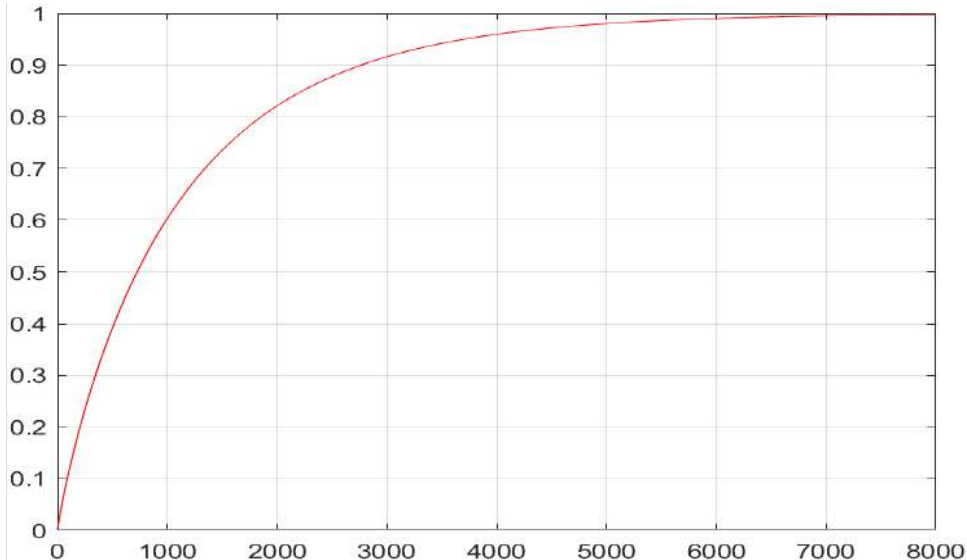


Figure IV.3 : Fonction de réparation F(t).

Interprétation :

La courbe de la fonction de réparation augmente, commençant par des valeurs faibles puis augmentant. Cette fonction subit des changements réversibles à partir de R(t).

IV.2.5. Graphique et Interprétation de la fiabilité R(t) :

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left[\frac{(t-y)}{\eta}\right]^\beta}$$

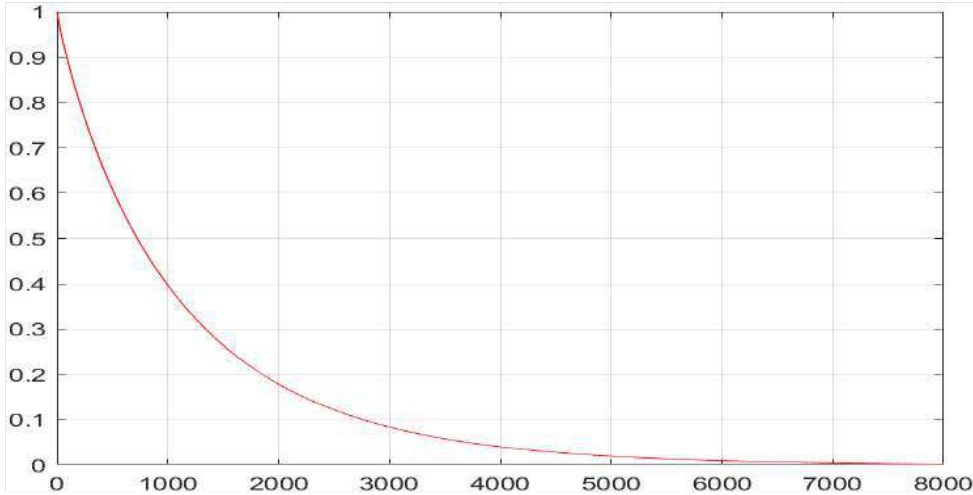


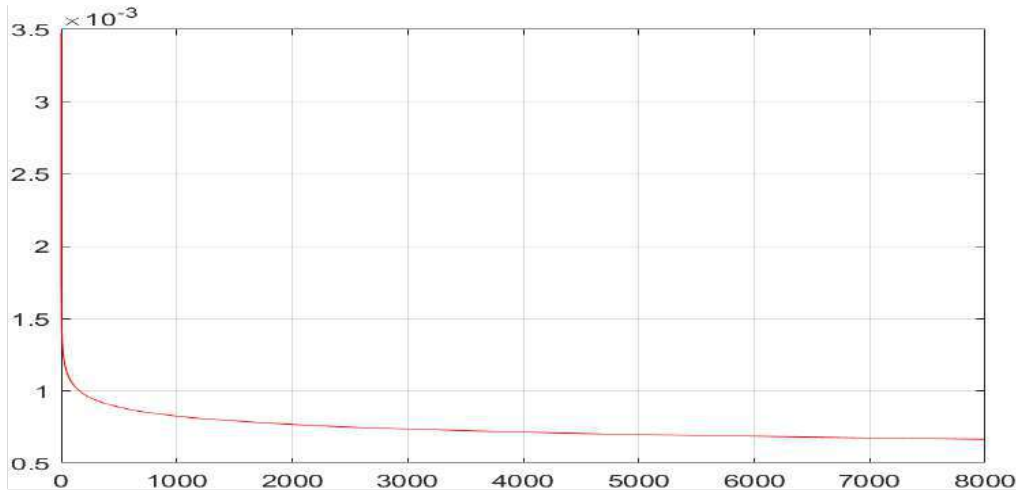
Figure IV.4 : Fonction de fiabilité R(t).

Interprétation :

La courbe de fiabilité R (t) diminue considérablement avec le temps, jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur minimale proche de zéro, ce qui signifie une grande fiabilité dans l'entretien du moteur.

IV.2.6. Graphique et Interprétation de la fonction de la défaillance λ(t):

$$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \cdot \left(\frac{t-y}{\eta}\right)^{\beta-1}$$



FigureIV.5 : Fonction de la défaillance λ (t).

Interprétation :

La courbe λ (t) diminue avec le temps, de sorte que les échecs ont tendance à être plus jeunes.

IV.2.7. Durée de vie associée à un seuil de fiabilité :

Il est intéressant de savoir à quel instant la fiabilité atteindra un seuil déterminé, On a détermine la durée de vie associée à une fiabilité de 0,9.

$$R(t) = e^{-\left[\frac{(t-y)}{\eta}\right]^\beta} \Rightarrow \ln R(t) = -\left[\frac{(t-y)}{\eta}\right]^\beta \Rightarrow \ln\left(\frac{1}{R(t)}\right) = \left[\frac{(t-y)}{\eta}\right]^\beta \Rightarrow \frac{(t-y)}{\eta} = \left(\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right)^{\frac{1}{\beta}} \Rightarrow t$$

$$= \eta \cdot \left(\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right)^{\frac{1}{\beta}} + y = 1092,24 \cdot \left(\ln\left(\frac{1}{0,9}\right)\right)^{\frac{1}{0,896053}} + 0 = \mathbf{88,64 H}$$

IV.3.1 Calcul de la Maintenabilité M(t) et la disponibilité D(t) :

Tableau IV.4 M(t) et D(t):

TTR[H]	M(t)	D(t)
24	0,95923747	0,993203288
15	0,86466404	0,993865695
12	0,79810267	0,994334219
10	0,73640198	0,99476954
9,5	0,71822982	0,994897899
9	0,69880488	0,995035171
8	0,6558453	0,995338978
8	0,6558453	0,995338978
8	0,6558453	0,995338978
8	0,6558453	0,995338978
8	0,6558453	0,995338978
8	0,6558453	0,995338978
8	0,6558453	0,995338978
7,5	0,63211964	0,995506882
7	0,60675836	0,995686447
7	0,60675836	0,995686447
7	0,60675836	0,995686447
6	0,55067014	0,996083854
4	0,413353	0,997058217
3	0,32967928	0,99765277
3	0,32967928	0,99765277
3	0,32967928	0,99765277
2	0,23407115	0,998332771
2	0,23407115	0,998332771
1	0,12482639	0,999110499

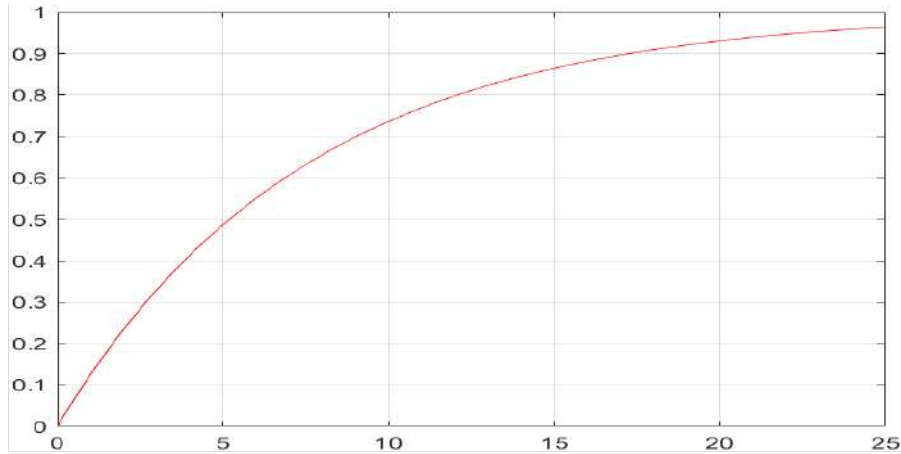
IV.3.2 Graphique et Interprétation la Maintenabilité M(t):

Calculus de M (t):

$$M(t) = 1 - e^{-(\mu.t)}$$

Calcul de MTTR:

$$MTTR = \sum Ni/N = 180/24=7,5 H \mu=1/MTTR=1/7,5=0,133333$$



FigureIV.6: Courbe de la Maintenabilité M(t).

Interprétation :

La maintenabilité augmente avec le temps de réparation, ce qui signifie que la maintenance est effectuée de manière correcte et relativement acceptable.

IV.III.3 Graphique et diagnostic la disponibilité D(t):

Disponibilité intrinsèque:

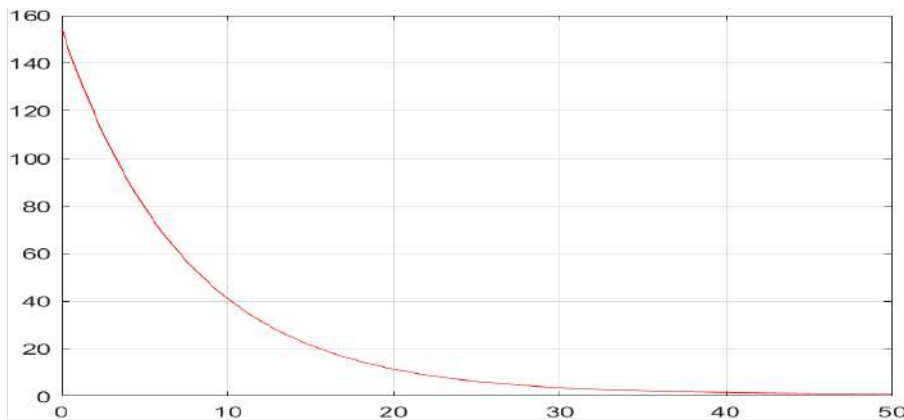
$$D_i = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) = 1152,01 / (1152,01 + 7,5) = 0,99353175$$

Disponibilité instantanée:

$$\lambda = 1/\text{MTBF} = 1/1152,01 = 0,00086804802$$

$$\mu = 1/\text{MTTR} = 0,133333$$

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu)t} \right)$$



FigureIV.7: Courbe de la disponibilité D(t).

Interprétation :

La disponibilité diminue avec le temps et l'augmentation de la disponibilité du moteur entraîne moins de temps d'arrêt (fiabilité accrue) et moins de temps nécessaire pour traiter ces causes (maintenabilité accrue).

La courbe montre la disponibilité en fonction du temps de réparation, et nous notons que la disponibilité diminue à mesure que le temps de réparation augmente.

IV.4. Loi de Pareto :

IV.4.1. Application de la méthode ABC:

Tableau IV.5 Les étapes de calcul de la loi de Pareto :

Description de la panne	Durée arrêt[H]	Heures cumulées	%Cumulée DA	Ordre	Cumulés Ordre	% cumulée Ordre	Zone ABC
changement de pompette à gas-oil	86	86	32,33%	1	1	5,88%	A
Changement pompe à eau	27	113	42,48%	1	2	11,76%	A
Rajout d'huile	25	138	51,88%	1	3	17,65%	A
Changement démarreur	24	162	60,90%	1	4	23,53%	B
Consummation huile moteur	17	179	67,29%	1	5	29,41%	B
changement GASKET,KIT SINGEL CYLINDER HE	12	191	71,80%	1	6	35,29%	B
Vidange MOT	10	201	75,56%	1	7	41,18%	B
changement RADIATEUR	9,5	210,5	79,14%	1	8	47,06%	B
Changement coussinet pompe d'huile	9	219,5	82,52%	1	9	52,94%	C
Changement filtre à air	8	227,5	85,53%	1	10	58,82%	C
Rajout eau de refroidissement antifreeze	8	235,5	88,53%	1	11	64,71%	C
Changement culasse	8	243,5	91,54%	1	12	70,59%	C
Changement pdr usées	7,5	251	94,36%	1	13	76,47%	C
changement 12 injecteurs	6	257	96,62%	1	14	82,35%	C
changement gauge	3	260	97,74%	1	15	88,24%	C
réparation sur MOT3512	3	263	98,87%	1	16	94,12%	C
Changement oil seal	3	266	100%	1	17	100%	C

IV.4.2. Courbe ABC:

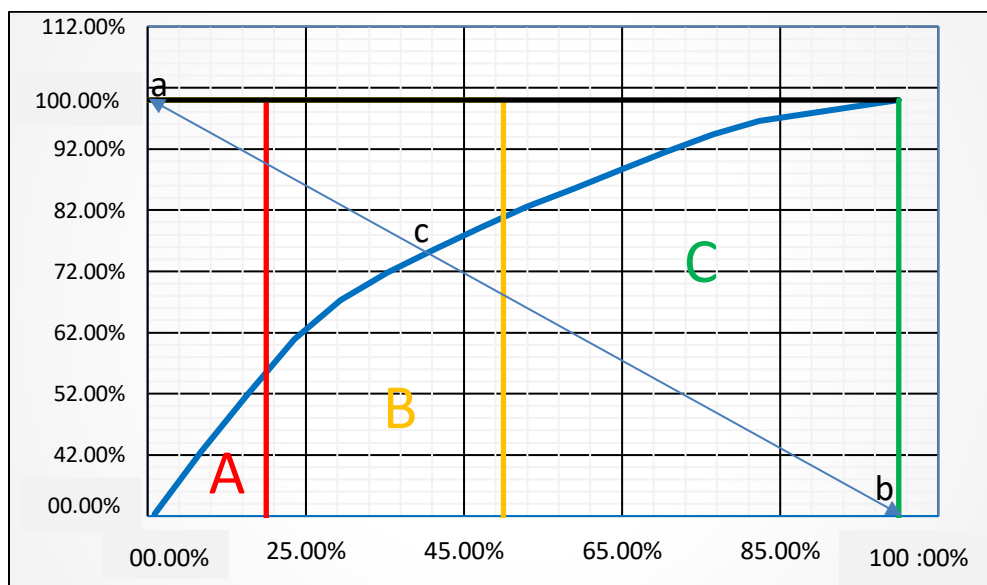


Figure IV.8: Courbe ABC.

IV.4.3. Calcul du ratio de discrimination :

$Rd = cb/ba = 7,7/11,2 = 0,6875$

Alors on dit : $0,75 > Rd > 0,65$, Et détermination des zone ABC : A=20% B30% C=50%
(Voir chapitre 3)

IV.4.4. Analyse de la courbe ABC :

Zone A: changement de pompette à gas-oil et changement pompe à eau et Rajout d'huile représentent 17.65% des pannes pour 51.88% des heures d'arrêts. . (Consiste une maintenance préventive).

Zone B: changement démarreur et consommation huile moteur et changement gasket, kit single cylindre HE et Vidange Moteur et changement radiateur représentent 29.41% des pannes pour 27.26% des heures d'arrêts. (On doit être moins exigeant sur les méthodes de prévention pour les éléments de cette tranche).

Zone C: changement coussinet pompe d'huile et changement filtre à air et Rajout eau de refroidissement antifreeze et changement culasse et changement pdr usées et changement 12 injecteurs et changement gauge et réparation sur MOT3512 et changement oil seal représentent 52.94% des pannes pour 20.86% des heures d'arrêts. (Peut d'exigence de maintenance préventive pour les éléments de cette zone).

IV.5. Analyse de défaillance :

Tableau IV. 6 Les Cause des pannes étudiées :

Problème	Cause
Pompe à eau	Usureliée à l'âge
Défaut de lubrification consommation huile moteur CAT	USURE
changementdémarrreur	USURE
Vidange Moteur changement filtre à air	Inadéquation de Maintenance
PanneouréparationMoteur	Usureliée à l'âge
Défaut de lubrification	Fin de vie vidange huile moteur
USURE	Piècescassées
Culasse	Fatigue Usure liée à l'âge

IV.6. Plan maintenance :

Après application de la loi de Weibull et de l'analyse de Pareto, nous proposons des solutions pour les défauts cachés en fonction de chaque zone comme suit :

a. Zone "A":

. Pompette à gas-oil:

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

.Système de graissage :

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

b. Zone "B":

.Démarrreur:

- .Ne pas continuer à actionner le démarreur alors que le moteur tourne.

.Gasket, kit single cylindre HE:

- .Respecter le couple de serrage préconisé par le constructeur en utilisant l'outil adapté
- .Veiller à la bonne mise en place de gasket et conformité à l'endroit où il doit être placé.
- .Ne pas utiliser gasket de mauvaise qualité

. Système de refroidissement :

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

c. Zone "C":

.Coussinet pompe d'huile et culasse :

- .Vérification du niveau d'huile
- .Changer l'huile à chaque date de vidange en tenant compte de sa nature et de sa viscosité

.Injecteurs:

- .Utilisation de carburant de haute qualité (exempt de polluants de la qualité de l'eau et de matériaux industriels).
- .La qualité du filtre à un effet sur l'usure des injecteurs, et cette usure entraîne des émissions d'échappement élevées avec de faibles performances du moteur, il est donc recommandé d'utiliser des filtres à carburant de haute qualité.
- .Changer le filtre à carburant au moment de l'entretien approprié.
- .Nettoyer le filtre à air.

IV.7. Conclusion :

Ce n'est pas une bonne idée d'attendre que le moteur montre des signes d'usure excessive ou de panne. Aucune économie d'accompagnement n'est réalisée. La réparation programmée avant panne peut être plus louable, et donc cette étude nous amène à identifier les défauts importants et préparer un plan de maintenance adapté et se concentrer sur les quelques défauts responsables des gros arrêts (les défauts de la zone A) puis les moins importants (les défauts de la zone B) et de ne pas perdre de temps à surveiller les défauts mineurs (les défauts de la zone C).

Conclusion général

La maintenance de l'outil de production joue un rôle majeur dans le développement de l'entreprise, il ne s'agit pas seulement de simples activités de maintenance corrective des équipements, mais il s'agit en fait d'assembler les activités à réaliser tout au long du cycle de vie pour s'assurer que la qualité et le service attendus de l'appareil à tout moment, et cela dans le but d'obtenir plus de profits et de réduire les coûts d'immobilisation.

A travers ce modeste travail, nous avons étudié la MOTEUR CATERPILLAR en raison de son importance dans le domaine du forage des puits de pétrole, qui est une source importante de l'économie.

À partir de cette étude, il était nécessaire de se concentrer sur la partie pratique. Nous avons choisi d'étudier les défaillances du moteur Caterpillar 3512 afin de connaître les défaillances actuelles afin de pouvoir élaborer et mettre en œuvre un plan de maintenance de ce moteur. C'est le but du dernier chapitre dans lequel nous essayons d'exploiter l'histoire des pannes de moteur.

Cette étude nous a permis de faire une étude FMD et Loi de Pareto sur toutes les comportements d'un CAT 3512 à partir de leurs historiques, et les résultats obtenues sont assez conséquents pour élaborer un plan de maintenance préventive et entretien sur l'installation, cette dernière est bénéficiée au avantages de cette planification qui se résume :

- ❖ De n'intervenir que sur des installations dont l'état le nécessite réellement, et de définir des propriétés en fonction de la gravité des anomalies identifiées de la maintenabilité et des enjeux économiques et de la date du prochain arrêt préventif prévu.
- ❖ D'approvisionner uniquement les pièces des rechanges nécessaires, de préparer minutieusement et de planifier chaque remise en état.
- ❖ De réduire le cout et la durée des arrêts préventifs et par voie de conséquence, d'augmenter sensiblement le taux de disponibilité des équipements.
- ❖ La surveillance a pour finalité, tout au moins sous sa forme primaire, de détecter a un stade le plus précoce possible, l'existence d'une anomalie et d'ensuire l'évolution a partir des visites systématiques.
- ❖ Le diagnostic, doit permettre de statuer sur l'existence d'anomalies d'en identifier la nature et d'en préciser la gravité.

D'après cette étude on a tiré les conclusions suivantes :

1) Analyse FMD:

- ❖ CAT 3512 en période de jeunesse. ($\beta=0,896053 < 1$).
- ❖ Maintenabilité du CAT 3512 est bonne.
- ❖ CAT 3512 est disponible pour accomplir leur fonction. ($D= 0,9935$).

2) L'analyse ABC nous a permis :

- ❖ D'identifier les pannes mécaniques comme des pannes prioritaires pour l'intervention.
- ❖ Pompette à gas-oil et pompe à eau sont les organes les plus défaillants.

Bibliographie

- [1] : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/moteur-diesel/>.15/01/2023
- [2] : Dr. SahliAbderahmane Dr. Mekroussisaid, Polycopié Moteur à combustion interne (université ibn khaldountiaret faculté des sciences appliqueesdépartement de génie mécanique).
- [3] : SeetWeb, Technique Le moteur diesel - - Motorlegend.com .10/02/2023
- [4] : Livre, Moteurs diesels Technologie générale, 2003, Bernard Vieux.
- [5] : Dr. Mohamed Bencherif, Polycopie Moteurs à Combustion Interne Combustion et Eléments de Carburation.
- [6] : Hussein I, Moteur Diesel (Suralimenté bases et Calculs Cycles Réel, théorique et Thermodynamique) ; Rapport interne Laboratoire de Recherche en Énergie Éolienne LREE-02 – Novembre 2006 « Univ Québec à chicoutimi ».
- [7] : Livre, Guide Pratique D’entretien et de Réparatiion Des Moteurs Diesel, 1991, Jean Luc Pallas.
- [8]: mécanique sur sonde.pptx
- [9]:SeetWeb,<https://www.costex.com/cylinder-liners/>.07/03/2023
- [10]: Document,Cat® 3500 Engine Cylinder Head Repair Option Kit .10/03/2023
- [11] : Document, Module de formation moteur 3500 Diesel. 19/03/2023
- [12] : Livre, Hubert Mèmeteau, technologie fonctionnelle de l’automobile tome 1 édition 7,2014.
- [13] : Bebboukha, A. Ben azza, mémoire fin d’étude master professionnel forage, (etude d'un moteur diesel de station pétrolière Caterpillar 3512). Univ. Ouargla. 2012.
- [14] : Livre, Moteur Diesel 1 Introduction à la Mécanique.
- [15] : <https://shorturl.at/arJT2>. 02/04/2023
- [16] : Étude De la maintenance d'une pompe a boue de forage.
- [17] : Document, ZitouniGuesmi, Techniquesde Maintenance, . 13/04/2023
- [18]: Site Web, <https://www.tribofilm.fr/les-differents-types-de-maintenance/>. 19/04/2023
- [19] : Document, (https://www.academia.edu/36861380/LA_MAINTENANCE). 24/04/2023
- [20] : Document, Techniques utilisées en maintenance ([OMM: Chapitre II : Techniques utilisées en maintenance \(univ-djelfa.dz\)](http://www.univ-djelfa.dz/omm/chapitre2)). 02/05/2023
- [21]:SiteWeb,<https://sciencesdegestion.fr/management/outils-du-management/diagramme-de-pareto/>.10/05/2023
- [22] : Document, Cat® 3512 IndustrialEngines Maintenance Intervals. 19/05/2023

ANNEXE 01:

Tableau de wiebull

β	A	B	β	A	B	β	A	B	β	A	B
0.05	2.43290E+18	9.03280E+23	1.75	0.89062	0.52523	3.45	0.89907	0.28822	5.15	0.91974	0.20505
0.1	3.62880E+06	1.55977E+09	1.80	0.88929	0.51123	3.50	0.89975	0.28473	5.20	0.92025	0.20336
0.15	2.59357E+03	1.21993E+05	1.85	0.88821	0.49811	3.55	0.90043	0.28133	5.25	0.92075	0.20170
0.20	1.20000E+02	1.90116E+03	1.90	0.88736	0.48579	3.60	0.90111	0.27802	5.30	0.92125	0.20006
0.25	2.40000E+01	1.99359E+02	1.95	0.88671	0.47419	3.65	0.90178	0.27479	5.35	0.92175	0.19846
0.30	9.26053E+00	5.00780E+01	2	0.88623	0.46325	3.70	0.90245	0.27164	5.40	0.92224	0.19688
0.35	5.02914E+00	1.99761E+01	2.05	0.88589	0.45291	3.75	0.90312	0.26857	5.45	0.92272	0.19532
0.40	3.32335E+00	1.04382E+01	2.10	0.88569	0.44310	3.80	0.90379	0.26558	5.50	0.92320	0.19379
0.45	2.47859E+00	6.46009E+00	2.15	0.88561	0.43380	3.85	0.90445	0.26266	5.55	0.92368	0.19229
0.50	2.00000E+00	4.47214E+00	2.20	0.88562	0.42495	3.90	0.90510	0.25980	5.60	0.92414	0.19081
0.55	1.70243E+00	3.34530E+00	2.25	0.88573	0.41652	3.95	0.90576	0.25701	5.65	0.92461	0.18935
0.60	1.50458E+00	2.64514E+00	2.30	0.88591	0.40848	4	0.90640	0.25429	5.70	0.92507	0.18792
0.65	1.36627E+00	2.17887E+00	2.35	0.88617	0.40080	4.05	0.90704	0.25162	5.75	0.92552	0.18651
0.70	1.26582E+00	1.85117E+00	2.40	0.88648	0.39345	4.10	0.90768	0.24902	5.80	0.92597	0.18512
0.75	1.19064	1.61077	2.45	0.88685	0.38642	4.15	0.90831	0.24647	5.85	0.92641	0.18375
0.80	1.13300	1.42816	2.50	0.88726	0.37967	4.20	0.90894	0.24398	5.90	0.92685	0.18240
0.85	1.08796	1.28542	2.55	0.88772	0.37319	4.25	0.90956	0.24154	5.95	0.92729	0.18107
0.90	1.05218	1.17111	2.60	0.88821	0.36696	4.30	0.91017	0.23915	6	0.92772	0.17977
0.95	1.02341	1.07769	2.65	0.88873	0.36097	4.35	0.91078	0.23682	6.05	0.92815	0.17848
1	1.00000	1.00000	2.70	0.88928	0.35520	4.40	0.91138	0.23453	6.10	0.92857	0.17721
1.05	0.98079	0.93440	2.75	0.88986	0.34963	4.45	0.91198	0.23229	6.15	0.92898	0.17596
1.10	0.96491	0.87828	2.80	0.89045	0.34427	4.50	0.91257	0.23009	6.20	0.92940	0.17473
1.15	0.95170	0.82971	2.85	0.89106	0.33909	4.55	0.91316	0.22793	6.25	0.92980	0.17351
1.20	0.94066	0.78724	2.90	0.89169	0.33408	4.60	0.91374	0.22582	6.30	0.93021	0.17232
1.25	0.93138	0.74977	2.95	0.89233	0.32924	4.65	0.91431	0.22375	6.35	0.93061	0.17113
1.30	0.092358	0.71644	3	0.89233	0.32455	4.70	0.91488	0.22172	6.40	0.93100	0.16997
1.35	0.91699	0.68657	3.05	0.89298	0.32001	4.75	0.91544	0.21973	6.45	0.93139	0.16882
1.40	0.91142	0.65964	3.10	0.89431	0.315691	4.80	0.91600	0.21778	6.50	0.93178	0.16769
1.45	0.90672	0.63522	3.15	0.89498	0.31135	4.85	0.91655	0.21586	6.55	0.93216	0.16657
1.50	0.90275	0.61294	3.20	0.89565	0.30721	4.90	0.91710	0.21397	6.60	0.93254	0.16547
1.55	0.89939	0.59252	3.25	0.89633	0.30319	4.95	0.91764	0.21212	6.65	0.93292	0.16439
1.60	0.89657	0.57372	3.30	0.89702	0.29929	5	0.91817	0.21031	6.70	0.93329	0.16332
1.65	0.89421	0.55635	3.35	0.89770	0.29550	5.05	0.91870	0.20853	6.75	0.93366	0.16226
1.70	0.89224	0.54024	3.40	0.89838	0.29181	5.10	0.91922	0.20677	6.80	0.93402	0.16121

Résumé

Le moteur Caterpillar a un rôle majeur dans le domaine du forage des puits de pétrole, car il est le principal et le seul responsable de l'alimentation en électricité du site de forage, ce qui nécessite de maintenir sa fiabilité et sa maintenabilité. De décrire le moteur Caterpillar 3512 et de réaliser pour celui-ci une étude FMD à l'aide du modèle Weibull Ce qui nous a permis de savoir que la fiabilité de ce moteur est élevée et que pour maintenir sa fiabilité à 90%, il faut intervenir toutes les 88,63 heures.

Enfin, La méthode ABC et la loi de Weibull ont de bons résultats pour découvrir les causes et améliorer la maintenance préventive

Mots clés : maintenance - fiabilité - moteur Caterpillar - Weipull.

ملخص

يلعب محرك كاتربيلر دورًا رئيسيًا في مجال حفر آبار النفط ، فهو المسؤول الرئيسي والوحيد عن إمداد الطاقة إلى موقع الحفر ، الأمر الذي يتطلب الحفاظ على موثوقيته وقابليته للصيانة ، وهذا ما قمنا به من خلال هذا العمل المتواضع الذي يهدف إلى وصف محرك كاتربيلر 3512 وإجراء دراسة (FMD) باستخدام نموذج Weibull ، مما سمح لنا بمعرفة أن موثوقية هذا المحرك عالية وأنه للحفاظ على موثوقيته بنسبة 90 % ، من الضروري التدخل كل 88.63 ساعة.

أخيرًا ، حققت طريقة ABC وقانون Weibull نتائج جيدة في اكتشاف الأسباب وتحسين الصيانة الوقائية.

الكلمات المفتاحية: الصيانة - الموثوقية - محرك كاتربيلر - ويبيل.

Abstract

The Caterpillar engine has a major role in the field of drilling oil wells, as it is the main and only responsible for feeding the drilling site with electricity, which requires maintaining its reliability and maintainability. Therefore, we have done through this modest work that aims to describe the Caterpillar 3512 engine and conduct an FMD study for it using the Weibull model Which enabled us to know that the reliability of this engine is high and that in order to maintain its reliability at 90%, it must be intervened every 88.63 hours.

Finally, the ABC method and Weibull's law have good results in order to find out the causes and improve preventive maintenance

Keywords: maintenance - reliability - Caterpillar engine - Weibull.