

**UNIVERSITE KASDI-MERBAH-Ouargla**

**Faculté des Sciences Appliquées**

**Département : Génie Mécanique**



**Mémoire de MASTER académique**

**Domaine : Sciences Techniques**

**Filière : Electromécanique**

**Spécialité : Maintenance Industrielle**

**Thème**

# **Maintenance préventive d'un moteur Diesel**

**Présenté par :**

**BENALI ABDELHAMID**

**GHOULA BACHIR**

**Soutenu publiquement : le 12 /06/2022**

**Devant le jury :**

**Mme : I. ALLOUI**

**Président**

**MCB**

**UKM Ouargla**

**Mr: A.KHEIRDDINE**

**Examineur**

**MCB**

**UKM Ouargla**

**Mr : R.KAREK**

**Encadreur**

**MAA**

**UKM Ouargla**

**Année universitaire 2021/2022**

## **Remerciement**

**En** premier lieu, nous tenons à remercier Dieu, notre créateur qui nous a donné la force pour accomplir ce modeste travail.

**Ce** présent mémoire de fin d'étude, n'aurait pu avoir le jour sans contribution de nombreuses personnes, dont nous faisons aujourd'hui un plaisir et un devoir de les remercier

**Avant** tout, nous tenons à remercier messieurs les membres du jury pour leurs collaborations durant l'examen de ce travail et leurs participations à la soutenance. Nous adressons tout particulièrement notre reconnaissance à notre promoteur **MR.KAREK RABIE**: pour la direction de cette thèse, pour ses conseils et son aide. Sans oublier les enseignants **département Génie mécanique**. .

**Enfin** nous remercions tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce présent mémoire, trouvent ici l'expression de notre profondes gratitude et respect.

# DEDICACE

*Je dédie Ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance :*

*Mes chers parents **MON PERE** et **MA MERE**,*

*Pour tous leurs sacrifices.*

*Mes frères ET sœurs, tous mes Amis.*

*A toute la famille **BENALI** et **GHOULA**.*

## Sommaire

Listes des figures.....	I
Liste des tableaux .....	III
Listes des Image.....	IV
Natation utilisées.....	V
Introduction générale : .....	1

### Chapitre I: Généralités sur moteur à combustion interne

I.2 Le moteur thermique à combustion interne :.....	2
I.3 Définition:.....	2
I.4 Historique : .....	3
I.5 Principe de fonctionnement .....	3
I.6 Comparaison entre le moteur Diesel et le moteur à explosion: .....	3
I.7 Principaux cycles du moteur à combustion interne :.....	4
I.8 Classification des moteurs à combustion interne : .....	4
I.9 Différents types de moteurs thermiques à combustion interne: .....	5
I.10 Moteurs thermiques à explosion ou à allumage commandé (Moteurs à essence) : .....	6
I.10.1 Le cycle fonctionnement est divisé analytiquement en quater étapes.....	6
I.11 Moteurs thermiques à allumage par compression (moteur diesel) : .....	8
I.11.1 Principe du Moteur Diesel : .....	8
I.12 Moteur diesel Caterpillar 3512 : .....	8
I.12.1 Description et principe de fonctionnement :.....	9
I.12.2 Les organes principaux du moteur : .....	10
I.12.2.1 Les organes fixes :.....	10
I.12.2.2 Les organes mobiles :.....	12
I.5 Conclusion :.....	14

### Chapitre II: Généralités sur la maintenance

II.2 La maintenance :.....	15
II.2.1 Définition de la maintenance :.....	15
II.2.2 Importance et role de la maintenance:.....	15
II.2.3 Les objectifs de la maintenance : .....	15
II.2.4 Les type des maintenances : .....	16
II.2.4.1 La maintenance préventive :.....	17
II.2.4.2 Maintenance corrective : .....	17
II.2.6 Les opérations de maintenance: .....	18
II.2.6.1 Les opérations de maintenance corrective :.....	18

II.2.6.2 Les opérations de maintenance préventive : .....	18
II.3 La fiabilité : .....	18
II.3.1 Définition : .....	18
II.3.2 Objectifs de la fiabilité .....	18
II.3.3 Les Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité : .....	19
II.3.4 Modèle de WEI BULL : .....	19
II.4.5 Estimation des paramètres du modèle de WEI BULL : .....	19
II.5 La Maintenabilité : .....	24
II.5.1 Définition : .....	24
II.5.2.1 La maintenabilité intrinsèque.....	24
II.5.2.2 La maintenabilité prévisionnelle .....	24
II.5.2.3 La maintenabilité opérationnelle .....	24
II.6 La disponibilité : .....	25
II.6.1 Définition : .....	25
II.6.2 Types de disponibilité : .....	25
II.6.2.1 Disponibilité intrinsèque : .....	25
II.6.2.2 Disponibilité instantanée : .....	25
II.7 Le diagramme A.B.C (PARETO).....	26
II.7.1 Définition .....	26
II.7.2 But : .....	26
II.8 diagramme d'Ishikawa (Ishikawa ou Arête De Poisson):.....	27
II.8.1 définition : .....	27
II.8.2 But : .....	27
II.8.3 Construction du diagramme : .....	27
II .9 Conclusion .....	28

### ChapitrIII:Exemples d'application

III.1. Introduction : .....	29
III.2 L'application Pratique des méthodes d'analyse : .....	29
III.2.1 Etude FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) : .....	30
III.2.1.1 calcul les paramètres de Wei bull : .....	30
III.2.1.2 La Courbe de Wei bull .....	31
III.2.1.3 Test (Kolmogorov Smirnov) : .....	31
III.2.1.4 Exploitation les paramètres de WEIBULL : .....	32
III.2.1.5 Étude de modèle de Wei bull : .....	33
III.2.2 Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto) » : .....	39

III.2.2.1 La courbe d'analyse ABC : .....	41
III.2.2.2 Interprétation des résultats : .....	41
III.2.3. Diagramme causes-effet : (les causes qui augmente les temps d'arrêt):.....	42
III.2.3.1Analyse d'intervention Le moteur ne démarre pas:.....	42
III.2.3.2 :Analyse d'intervention arrêt de mateur Caterpillar : .....	42
III.11 tableau « causes-remèdes »: .....	43
IV.1 Introduction : .....	44
IV.2 le rôle du HSE:.....	44
IV.3 Objectifs du service HSE : .....	44
IV.2 Principes de base de la sécurité industrielle : .....	44
IV.2.1 Etude des accidents et de leurs causes : .....	44
IV.2.2 Développer des méthodes de prévention des accidents et des moyens de les mettre en œuvre : .....	44
IV.2.3 Utilisation des méthodes d'analyse et de mesure de la sécurité et leurs applications : .....	45
IV.3 L'importance et la mission de la sécurité:.....	45
IV.4 Raisons de l'accident: .....	45
IV.4.1 Caractéristiques humaines : .....	45
IV.4.2 Caractéristiques techniques : .....	45
IV.4.3 Caractéristiques organisationnelles : .....	45
IV.5 Objectifs des organismes techniques spécialisés pour atteindre la sécurité:.....	45
IV.6 Tâches de sécurité personnelle :.....	46
IV.6.1 L'équipement de protection individuelle peut être divisé selon les parties du corps en .....	46
IV.7 Conclusion :.....	49
Conclusion générale.....	49

## Listes des figures

### Chapitre I : Généralités sur moteur à combustion interne

<b>Figure. I.1</b> les cycle thermodynamique d'un moteur a combustion.....	04
<b>Figure. 2.I</b> Décomposition du cycle a quatre temps du moteur thermique a piston alternatifs....	05
<b>Figure. I.3.</b> Déroulement du cycle.....	07

### Chapitre II : Généralité sur la maintenance

<b>Figure. II.1</b> : Les types des maintenances.....	16
<b>Figure. II.3</b> : Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Wei bull (graphique d'Allan Plait).....	20
<b>Figure. II.4:</b> Courbe théorique (densité de probabilité $f(t)$ ).....	21
<b>Figure. II.5</b> : Courbe théorique (fonction de répartition).....	21
<b>Figure. II.6</b> Courbe théorique (Fiabilité).....	22
<b>Figure. II.7</b> Courbe en baignoire.....	23
<b>Figure. II.8</b> schématise les états successifs.....	25
<b>Figure. II.9</b> «Courbe A.B.C.».....	26
<b>Figure. II.18:</b> Diagramme de causes-effet.....	27

### Chapitre III: Exemples d' application

<b>Figure. III.1:</b> papier de Wei bull.....	31
<b>Figure III.2:</b> La Courbe Densité De Probabilité.....	34
<b>Figure. III.3:</b> La Courbe De Fonction Répartition.....	34
<b>Figure. III.4:</b> La Courbe De la Fonction Fiabilité.....	35
<b>Figure. III.5:</b> Le courbe taux de défaillance.....	37
<b>Figure. III.6:</b> La Courbe de disponibilité .....	39

<b>Figure. III.7:</b> La courbe d'analyse ABC.....	40
<b>Figure. III.8:</b> Analyse d'intervention Le moteur ne démarre pas.....	41
<b>Figure. III.9:</b> Analyse d'intervention arrêt de moteur Caterpillar.....	42

#### **ChapiteIV : Sécurité industriel HSE**

<b>Figure. IV.1</b> Cycle d'amélioration continue (roue de Deming).....	43
---	----

## Liste des tableaux

### Chapitre III : Exemples d'application

<b>Tableau III.1:</b> Dossier historique de moteur Caterpillar 3512.....	29
<b>Tableau III.2:</b> Fonction de réparation réelle.....	30
<b>Tableau III.3:</b> test de Kolmogorov-Smirnov.....	32
<b>Tableau III.4:</b> Calcul la fonction de la densité de probabilité.....	33
<b>Tableau III 5:</b> Calcul la Fonction de répartition.....	34
<b>Tableau III.6:</b> Calcul de la fiabilité.....	35
<b>Tableau III.7 :</b> Calcul le taux de défaillance.....	36
<b>Tableau III.8:</b> La maintenabilité.....	38
<b>Tableau III.9:</b> Calcul la disponibilité instantané.....	39
<b>Tableau III.10:</b> les analyse ABC (Pareto).....	40
<b>Tableau III.11 :</b> « causes-remèdes ».....	42

## Listes des Image

### Chapitre I : Généralités sur moteur à combustion interne

<b>Image. I.1</b> : CATERPILLAR.....	09
<b>Image. I-2</b> : Bloc moteur CAT3512.....	10
<b>Image. I-3</b> : Chemise .....	11
<b>Image. I-4</b> : Culasse.....	11
<b>Image. I-5</b> :Joint du Culasse.....	12

### ChapiteIV : Sécurité industriel HSE

<b>Image. IV.1</b> : Piston d'un moteur CAT.....	13
<b>Image. IV.2</b> : Bielle d'un moteur CAT.....	13
<b>Image. IV.3</b> : Vilebrequin ou Arbre manivelle d'un moteur CAT.....	14
<b>Image. IV.4</b> : protection de la tête.....	45
<b>Image. IV.5</b> : Protection des yeux.....	46
<b>Image. IV.6</b> :Protection des mains.....	47
<b>Image. IV.7</b> .protection des pieds.....	47
<b>Image. IV.8</b> .protection du corps.....	48

# Natation utilises

- **Notion de temps:**

**TTR** : Temps de réparation.

**TBF** : Temps de bon fonctionnement.

**MUT** : la moyenne du temps de fonctionnement.

**MTBF** : la moyenne des temps de bon fonctionnement.

**MTTR** : moyenne des tems technique de réparation.

- **Notions des loi de Wei bull:**

**R(t)** : Fonction de fiabilité.

**F(t)** : fonction de défaillance .

**f(t)** : Densité de probabilité.

**$\lambda(t)$** : Taux de défaillance.

**$\mu(t)$**  : temps de réparation.

- **Notation de lai de fiabilité:**

**F** : Fiabilité.

**M** : Maintenabilité.

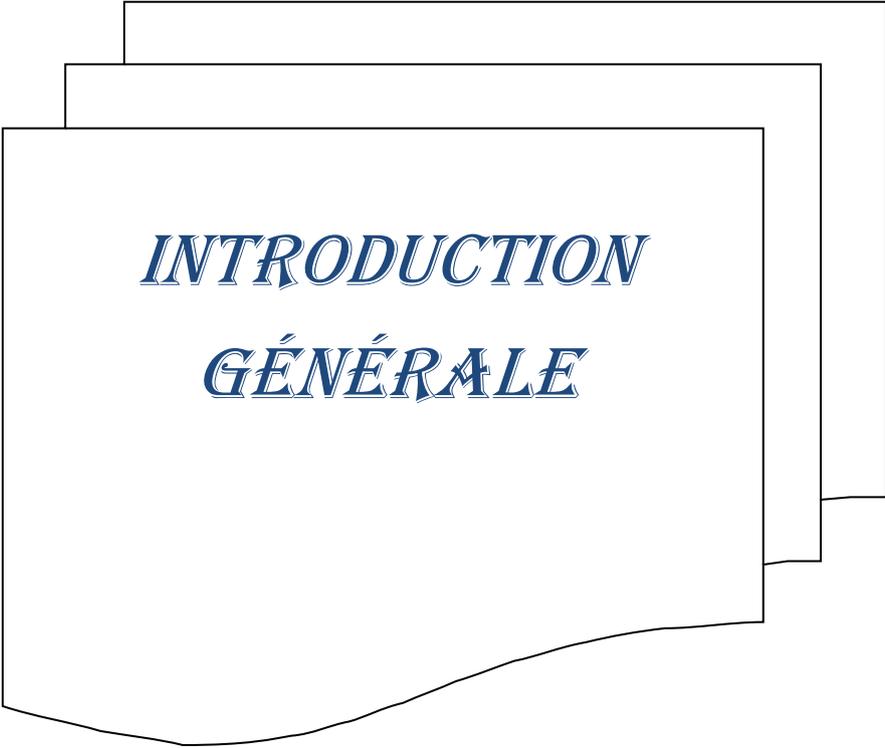
**D** : Disponibilité.

- **Notions de paramètre de Wei bull :**

**$\beta$** : parameter de forme.

**$\gamma$** : parameter de position.

**$\eta$** : Paramètre de d'échelle.



*INTRODUCTION*

*GÉNÉRALE*

### **Introduction générale :**

Les moteurs diesel jouent un rôle important et fondamental dans le domaine industriel et économique, notamment dans le domaine du pétrole, comme nous le verrons dans notre sujet, qui parle du moteur Caterpillar, qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique, ce qui assure un approvisionnement en énergie, et pour cela nous devons développer des stratégies pour son développement et son entretien.

La maintenance des biens de production repose en grande partie sur l'état des mécanismes nécessaires au fonctionnement, personne n'ignore l'importance d'un entretien régulier pour la disponibilité des machines, mais lorsqu'il s'agit d'assurer la sécurité des biens, des personnes et de l'environnement, l'entretien s'avère notoirement insuffisant et nécessite des approches plus fines développées dans les stratégies de maintenance.

Le but de ce travail est de connaître les généralités sur les moteurs diesel, en particulier le Caterpillar3512, d'étudier et d'appliquer certaines méthodes de maintenance. Notre mémoire s'articule autour de quatre chapitres, suivis d'une conclusion générale.

\* Dans le premier chapitre on a présenté la théorie du moteur diesel en générale, on a entamé une étude du moteur Caterpillar3512.

\* Le deuxième chapitre est réservé à l'étude théorique sur la maintenance et quelque diagramme (Pareto, Ishikawa) et des concepts FMD en maintenance, après avoir rappelé quelques notions et généralités sur la maintenance.

\* Le troisième chapitre expose l'application de la Maintenance Préventive d'un moteur Diesel (moteur Caterpillar3512).

\* Enfin, quatrième chapitre Les bases importantes de la prévention Industrielle ( Sécurité industriel HSE).

# Chapitre I :



## I.1 Introduction :

Les moteurs à combustion interne transforment l'énergie chimique emmagasinée dans un carburant en énergie mécanique grâce à l'expansion des gaz durant la combustion. Ils sont généralement utilisés pour :

Les véhicules de transport, les groupe électrogène ... etc. Le terme « interne » exprime le fait que la combustion ait lieu à l'intérieur du moteur et que le mélange air-carburant et les produits de la combustion sont les fluides de travail. Le transfert de travail a lieu entre ces gaz et les composants mécaniques du moteur (piston, cylindre) [1].

## I.2 Le moteur thermique à combustion interne :

Un moteur à combustion interne est un convertisseur d'énergie. il permet Convertit l'énergie calorifique (produite par la combustion d'un mélange de combustible lié aux oxydants) en énergie mécanique cinétique. Si la combustion a lieu à l'intérieur du moteur, le moteur est appelé à combustion interne, nous Si l'énergie est fournie au moteur à combustion externe via le liquide de colportage en dehors de celui-ci, par exemple dans le cas des turbines à vapeur. La génération d'énergie thermique commence par l'injection de combustible atomisé très La poudre fine se mélange à l'air pour former un mélange combustible à l'intérieur du cylindre. Cette phase constitue l'opération d'admission [2].

A ce stade d'introduction dans la bouteille, le mélange gazeux est à basse pression. si nous Cela l'énervait à l'époque, il ne pouvait pas fournir la pression nécessaire pour créer l'œuvre Trop c'est trop, pour cela il faut d'abord le compresser : c'est la phase de compression. Le mélange combustible comprimé est alors enflammé, créant une pression Capacité supplémentaire de pousser le piston, qui à son tour fournit la pression de transfert En raison de ce mécanisme, la force du moteur entraîne un mouvement de rotation de l'arbre du moteur manivelle. Enfin, pour pouvoir démarrer un nouveau cycle, les gaz de combustion sont L'atmosphère avant l'entrée du nouveau mélange frais dans le cylindre : c'est l'opération échappement [4].

## I.3 Définition:

Un moteur est un organe qui convertit la source d'énergie qui lui est fournie en travail mécanique.

- ✓ Si la source d'énergie est l'électricité, on parle alors de "moteur électrique".
- ✓ Si l'énergie est fournie par du carburant, on parle alors de "moteur thermique".

Dans un moteur thermique, si la combustion a lieu à l'intérieur du moteur : on parle de moteur thermique à combustion interne. C'est le cas de tous les moteurs thermiques actuellement utilisés dans les automobiles, où le travail mécanique est obtenu par explosion couplée à la détente de gaz à haute pression et haute température [4].

#### **I.4 Historique :**

Le premier moteur à combustion à un cylindre a été réalisé par les Eugenio Barsanti et Felice Matteucci en 1856. Le moteur à combustion à deux temps est réalisé par Étienne Lenoir en 1859. Le moteur à combustion à quatre temps est inventé par Beau de Rochas en 1862, puis développé par Nikolaus Otto en 1867, perfectionné par Gottlieb Daimler et Wilhelm Maybach en 1887, suivi par le moteur Diesel en 1893. Ce type de moteur est principalement utilisé pour la propulsion des véhicules de transport (tel qu'avions, automobiles, motos, camions, bateaux) mais aussi pour de nombreux outils mobiles tel que tronçonneuses, tondeuses à gazon ainsi que pour de nombreuses installations fixes (groupes électrogènes, pompes, etc.) [4].

#### **I.5 Principe de fonctionnement**

Le carburant très finement atomisé est mélangé à l'air pour former un mélange combustible qui est introduit dans le cylindre. Cette introduction correspond à l'opération d'admission. A ce stade d'introduction dans la bouteille, le mélange gazeux est à basse pression. S'il est allumé à ce moment, il ne peut faire qu'un travail insuffisant et doit d'abord être comprimé : c'est l'opération de compression. Le mélange enflammé se dilate ensuite en convertissant la force du moteur en mouvement de rotation sur l'arbre du moteur par l'intermédiaire d'un mécanisme bielle-manivelle. Enfin, les gaz brûlés doivent être expulsés avant que le nouveau mélange frais n'entre dans le cylindre : c'est l'opération d'échappement. Ces opérations sont ensuite répétées dans le même ordre pour former un cycle moteur [4].

#### **I.6 Comparaison entre le moteur Diesel et le moteur à explosion:**

Le moteur diesel se différencie du moteur à explosion par plusieurs points. Dans le moteur à explosion, le mélange air-essence est formé dans le carburateur à l'extérieur du cylindre. Par contre, dans le moteur Diesel, il se fait dans le cylindre, l'air étant aspiré et le combustible injecté ensuite, à l'aide d'un "injecteur" alimenté par une "pompe d'injection" qui lui communique une pression supérieure à celle régnant dans le cylindre en fin de compression pour permettre son introduction. Dans le moteur à explosion on essaie d'augmenter le taux de compression mais on est limité par le phénomène "d'auto-allumage". Dans le moteur Diesel, seul l'air est aspiré et on peut le comprimer sans inconvénient pour atteindre des pressions et des

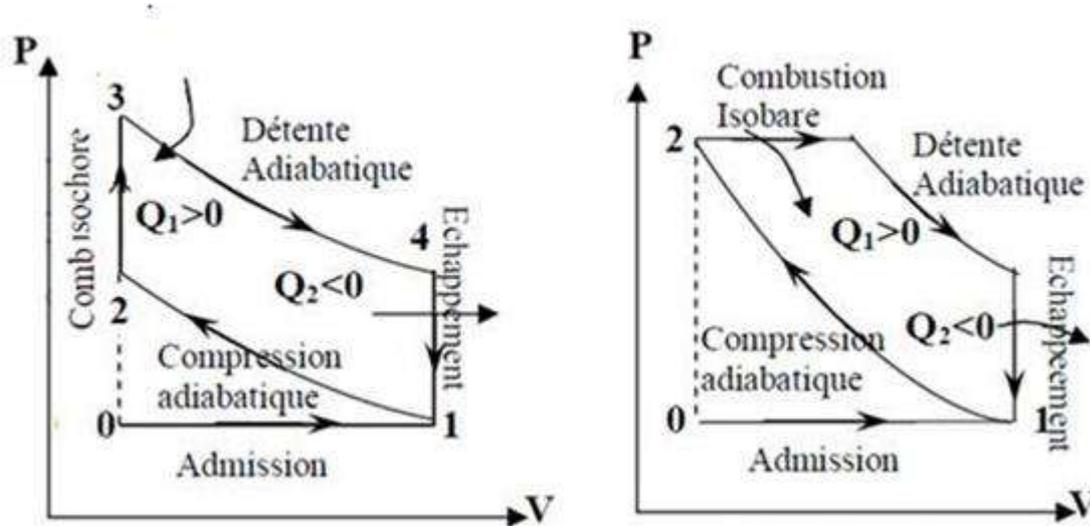
températures très élevées. Le taux de compression est plus élevé dans le moteur diesel que dans le moteur à explosion, ce qui permet d'obtenir un rendement de l'ordre de 35% alors que le rendement d'un moteur à explosion ne dépasse pas 25 %. C'est au contact de cet air comprimé que le combustible alors injecté s'enflamme. Comparativement au moteur à explosion, le moteur Diesel ne possède ni carburateur, ni système d'allumage, mais chaque cylindre a un système d'alimentation propre qui comprend : un injecteur et un élément de la pompe d'injection [4].

### I.7 Principaux cycles du moteur à combustion interne :

Les deux (02) principaux cycles du moteur à combustion interne peuvent être résumés de la manière suivante :

Cycle de **BEAU DE ROCHAS** (cycle à apport de chaleur à volume constant) utilisé dans les moteurs à allumage commandés (**Fig. I-a**).

Cycle **diesel pur** (cycle à apport de chaleur à pression constante) concerne les moteurs à allumage par compression (**Fig. I-b**).



a) cycle de BEAU DE ROCHAS.

C) cycle Diesel pur.

**Figure. I.1** les cycle thermodynamique d'un moteur a combustion interne.

L'étude de ces cycles peut être effectuée à l'aide du diagramme (P, V) et c'est ce type de diagramme que nous utiliserons par la suite [3].

### I.8 Classification des moteurs à combustion interne :

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

- ✓ Le mode de fonctionnement : Moteur à piston alternatif, moteur à piston rotatif, moteur

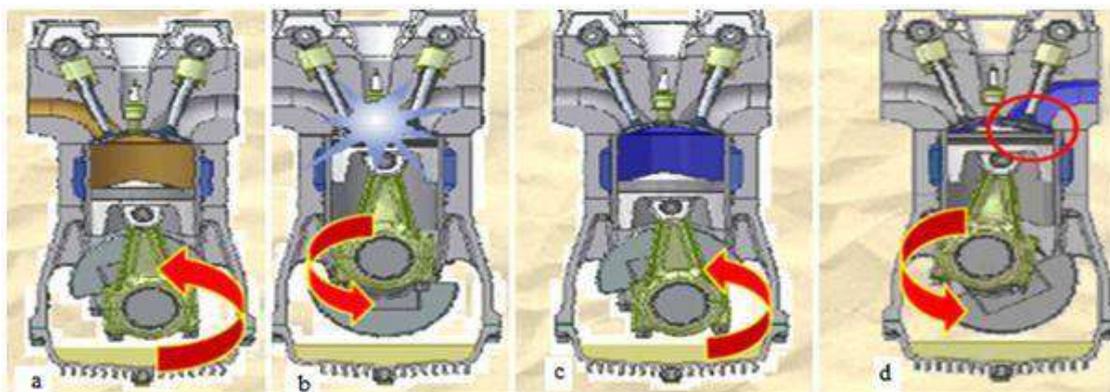
turbine, moteur mixte ;

- ✓ Le mode de remplissage du cylindre ;
- ✓ Le type de combustible ;
- ✓ Suivant le cycle adopté ;
- ✓ Le mode d'allumage ;
- ✓ La formation de mélange ;
- ✓ Le cycle de fonctionnement ;
- ✓ La disposition du cylindre ;
- ✓ La vitesse du piston ;
- ✓ La disposition des soupapes ;
- ✓ Le mode de refroidissement [5];

### I.9 Différents types de moteurs thermiques à combustion interne:

Dans les types de moteurs à combustion interne qui fournissent un couple sur l'arbre, nous passerons en revue les éléments de base des moteurs à combustion interne à pistons alternatifs, notamment [3] :

- ✓ Moteur à allumage commandé (moteur à essence)
- ✓ Gazole L'énergie mécanique est obtenue au moyen d'un moteur thermique généré par la combustion de gaz combustibles (combustibles) À travers le carter, le mouvement de translation est converti en un mouvement de rotation de l'arbre (vilebrequin) Nous obtenons différents étages sur le vilebrequin, qui détermine les quatre temps du cycle moteur, qui se compose de quatre étages, comme le montre la figure ci-dessous (Figure I.2)



**Figure. I.2** Décomposition du cycle a quatre temps du moteur thermique a piston alternatifs.

**Temps d'admission** (Fig. I.2-a) : Une soupape s'ouvre pour permettre à un mélange air/Carburant d'être aspiré par la descente mécanique du piston.

**Temps de compression** (Fig. I.2-b) : La soupape d'admission étant maintenant refermée, le piston remonte et comprime le mélange gazeux situé dans le cylindre.

**Temps de combustion-détente** (Fig. I.2-c) : Le piston arrivé pratiquement à sa fin de course de montée (point mort haut (PMH)), une étincelle produite par la bougie enflamme le mélange. Cette « explosion » repousse violemment le piston qui continue son mouvement vers le bas jusqu'à la fin de sa course (point mort bas PMB)).

Point mort haut - point mort bas : sont deux moments où le piston annule sa vitesse car il arrive à chaque fois au bout de sa course, avant de repartir en sens inverse.

- ✓ **Point mort haut** : Le piston est au point le plus haut, Ce point est souvent abrégé par PMH.
- ✓ **Point mort bas** : Le piston est au point le plus bas, Ce point est souvent abrégé par PMB.

**Temps échappement** (Fig. I.2.d) : La soupape d'échappement s'ouvre et permet au piston qui remonte d'expulser les gaz brûlés de la combustion hors du cylindre.

Il faut préciser que parmi les quatre temps considérés, seul le troisième temps fournit de l'énergie, c'est le temps moteur, les trois autres temps sont résistants.

Ces différentes phases peuvent être reprises dans un diagramme selon deux principaux cycles.

## **I.10 Moteurs thermiques à explosion ou à allumage commandé (Moteurs à essence) :**

Les moteurs à combustion interne sont largement utilisés dans les véhicules de transport, ainsi que plusieurs autres types et outils qui convertissent l'énergie potentielle stockée dans le carburant en travail (énergie mécanique) grâce à un processus de combustion rapide. Plus de cylindres de piston glissent en raison de la pression d'explosion en mouvement linéaire et alternatif, qui est convertie en rotation du vilebrequin par des bielles reliées aux pistons.

Un diagramme appelé cycle thermodynamique (Figure I.1).

### **I.10.1 Le cycle fonctionnement est divisé analytiquement en quatre étapes**

#### **1<sup>er</sup> temps : l'admission**

- ✓ le piston décrit une course descendante du PMH au PMB ;
- ✓ la soupape d'admission est ouverte ;
- ✓ le mélange air + carburant préalablement dosé pénètre dans le cylindre ;
- ✓ l'énergie nécessaire pour effectuer ce temps est fournie au piston par le vilebrequin par l'intermédiaire de la bielle [6].

**2<sup>ème</sup> temps : la compression**

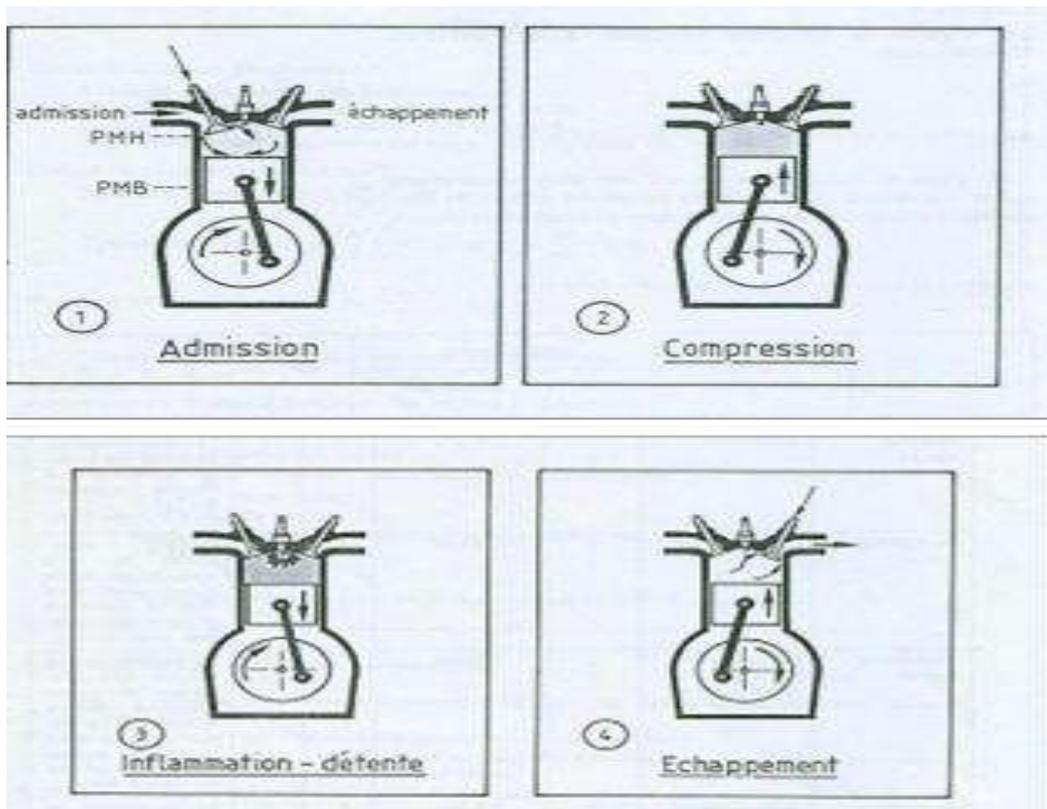
- ✓ les 2 soupapes sont fermées ;
- ✓ le piston est repoussé par vers le PMH par la bielle ;
- ✓ la pression et la température du mélange croissent [6].

**3<sup>ème</sup> temps : la combustion, détente**

- ✓ un peu avant le PMH, une étincelle électrique déclenche le processus de combustion ;
- ✓ l'accroissement de la pression qui s'exerce sur le piston engendre un effort sur la bielle et donc un moment moteur sur le vilebrequin ;
- ✓ le piston redescend au PMB [6].

**4<sup>ème</sup> temps : l'échappement**

- ✓ la soupape d'échappement s'ouvre ;
- ✓ le piston remonte vers le PMH en expulsant les gaz brûlés [7].



**Figure. I.3.** Déroulement du cycle.

## **I.11 Moteurs thermiques à allumage par compression (moteur diesel) :**

### **I.11.1 Principe du Moteur Diesel :**

Le moteur diesel est un moteur à combustion dans le combustible est injecté et s'allume sous l'action de la chaleur de l'air comprimé porté à haute pression, le travail de la compression le transforme en chaleur accompagnée d'élévation de sa température, la compression doit être suffisante pour obtenir une température nécessaire à l'allumage de la charge de combustible injecté [7].

#### **1er temps: ADMISSION 0 → 1:**

Le piston descend du PMH au PMB. Avec les soupapes d'admission et d'échappement fermé, le mouvement du piston provoque l'aspiration d'air pur.

#### **2ème temps: Compression 1 → 2:**

Le piston monte du PMB au PMH. les soupapes d'admission et d'échappement fermée, la montée du piston provoque la compression de l'air accompagnée d'une forte élévation de température (500 à 750) °C environ.

#### **3ème temps: Combustion détente 2 → 3**

Le piston descend du PMH au PMB. Soupape admission fermée - soupape échappement fermée ⇒ On injecte le carburant dans l'air porté à haute température. Celui-ci s'enflamme à son contact. L'augmentation de pression qui en résulte provoque le refoulement du piston. C'est le temps moteur.

#### **4ème temps: Echappement 4 → 1**

Le piston monte du PMB au PMH: Soupape admission fermée - soupape échappement ouverte Les gaz brûlés sont chassés à l'extérieur. Afin de distinguer les deux cycles explicités précédemment, nous reprenons les différentes phases pour les deux cycles sur le tableau comparatif suivant [8].

## **I.12 Moteur diesel Caterpillar 3512 :**

Le moteur CAT 3512 en "V" est un moteur Diesel à quatre temps à injection directe suralimentée par deux turbocompresseurs qui tournent à une vitesse de 45000 à 60000 tr/mn. Chaque culasse comporte deux soupapes d'admission et deux soupapes d'échappement. L'arbre à came actionne mécaniquement les culbuteurs et les soupapes par l'intermédiaire de poussoirs. Le gas-oil est injecté directement dans le cylindre par les injecteurs pompes (un par cylindre) [10].



**Image. I.1 : CATERPILLAR**

### **I.12.1 Description et principe de fonctionnement :**

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.
- ✓ L'air d'admission est filtré par le filtre à air. L'air est comprimé par le turbocompresseur avant de pénétrer dans les cylindres. Le turbocompresseur est entraîné par les gaz d'échappement du moteur.
- ✓ Le liquide de refroidissement du refroidisseur est mis en circulation par la pompe à eau dans le bloc cylindres [9].

## I.12.2 Les organes principaux du moteur :

### I.12.2.1 Les organes fixes :

#### a) Le bloc moteur :

C'est le cœur du moteur, généralement les moteurs CAT 3500 et 3600 sont en alliage de fonte d'une seule pièce, le cylindre peut être usiné ou évidé pour loger la chemise, et les circuits de lubrification et de refroidissement sont intégrés au bloc (Fig. I-5)

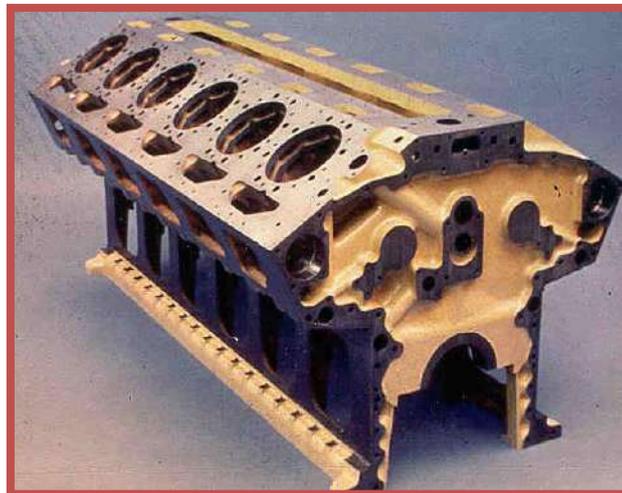
Le bloc moteur doit remplir plusieurs fonctions :

Résistera pression des gaz, qui tendent à dilater et à repousser la culasse.

Assurer circulations d'huile de graissage et l'eau de refroidissement à l'intérieur.

Guider le piston.

Les blocs des séries CAT 3500 et 3600 comportent des portes de visite qui autorisent l'accès aux embiellages, aux paliers de vilebrequin et aux arbres à came [9.10].



**Image I-2** : Bloc moteur CAT3512.

#### b) La chemise(Cylindre) :

Les chemises de moteur CAT sont en fonte centrifuge et amovibles. Chaque manchon comprend trois joints toriques inférieurs et un emplacement pour un joint supérieur - le supérieur est maintenu en place par un collier vissé entre la culasse et le bloc moteur - l'inférieur est guidé dans le bloc et le O assure le joint torique .

-La surface extérieure est recouverte d'un traitement anti-oxydation.

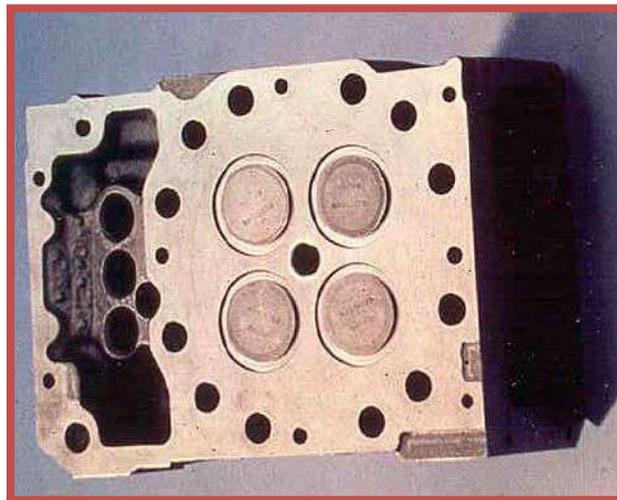
La surface intérieure est pierreuse (voir Fig. I-6) [10].



**Image. I-3 :** Chemise

**C) La culasse :**

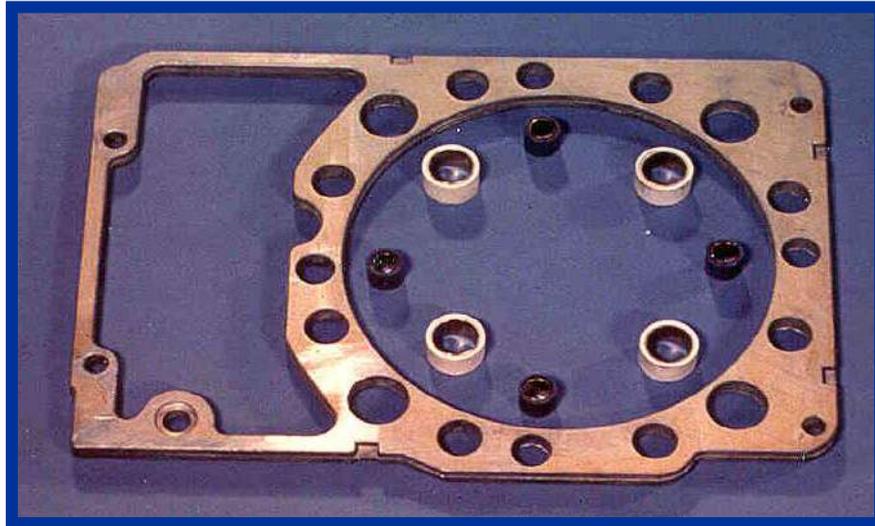
La culasse CAT est en fonte et la culasse de la série 3500 est de type indépendant. Chaque cylindre est équipé de quatre soupapes, qui sont disposées à l'extrémité supérieure du cylindre pour fermer le cylindre et former la chambre de combustion. Il comprend des éléments de distribution, des injecteurs, des tuyaux d'admission et d'échappement. D'un point de vue thermique, la pression est très élevée et une chambre à eau est nécessaire à son refroidissement. (Voir Figure I-7) [9.10].



**Image. I-4:** Culasse.

**d) Joint de culasse :**

Généralement constituée, 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. (Voir Fig. I-8) ;



**Image. I-5:**Joint du Culasse.

**e) Le carter :**

sert de réserve pour l'huile de graissage et participe à son refroidissement. Moulés en alliage léger. Ils constituent des caches ou des couvercles qui ferment les différentes faces du moteur.

**I.12.2.2 Les organes mobiles :**

La transmission du couple moteur est assurée par un système dynamique composé de trois éléments principaux : piston, bielle et vilebrequin. Cet ensemble constitue le crochet mobile [9].

**a) Piston:**

Entraîné par un mouvement linéaire alternatif, le piston est en fonte alliée. La tête de piston fait partie de la chambre de combustion. A ce titre, il est parfois creusé de cavités destinées à créer des turbulences favorisant la combustion. Le segment est installé sur la partie supérieure du piston, la tête, pour assurer l'étanchéité de la chambre de combustion. Il existe une distinction entre les anneaux coupe-feu, les anneaux d'étanchéité et les anneaux racleurs, dont l'un est généralement situé sous l'axe de piston. Les coupe-feu sont le plus souvent chromés. Il est placé suffisamment loin du bord du piston pour éviter qu'il ne soit directement affecté par la chaleur dégagée lors de la combustion [10].



**Image. I.6:** Piston d'un moteur CAT.

**c) Les bielle:**

La bielle assure la liaison mécanique entre le piston à déplacement linéaire et le vilebrequin à déplacement rotatif. Il est en acier et doit pouvoir résister à des efforts de compression très élevés. Pour cette raison, les fabricants utilisent généralement des profilés en H en acier forgé avec des roulements à alésage lisse en aluminium. (Voir Figure I-10) La section transversale de la grande extrémité de la bielle est souvent inclinée pour faciliter le retrait de l'ensemble bielle et piston du haut du cylindre. La bielle comporte trois parties de base :

- Pieds articulés sur l'axe du piston ;
- Tête articulée sur l'axe de vilebrequin ;
- Un corps qui transmet la force entre les articulations [11];

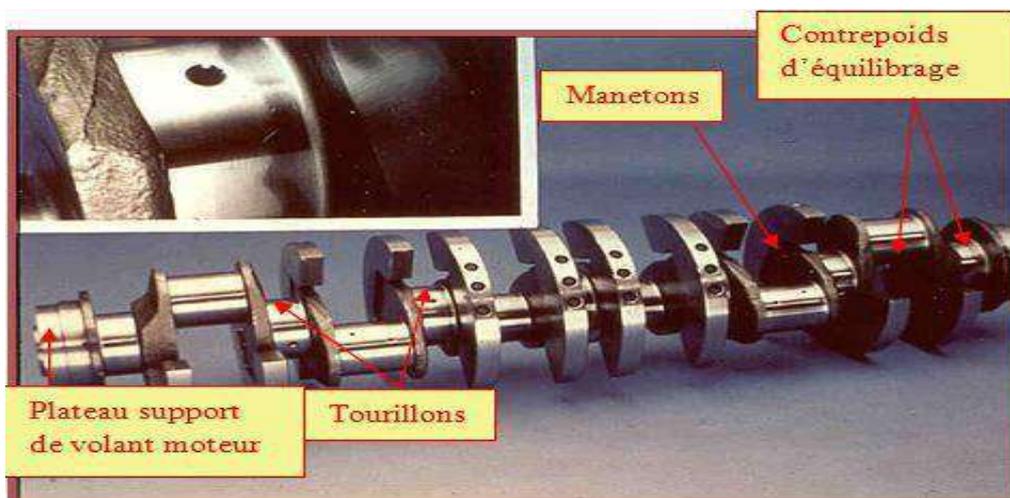


**Image. I.7:** Bielle d'un moteur CAT.

**d) Arbre moteur:**

Il se compose d'un vilebrequin et d'un volant d'inertie et transfère l'énergie générée lors du processus de combustion sous forme de couple. Le réglage de l'équilibre de fonctionnement du moteur avec la rotation du vilebrequin est effectué par le volant. Le vilebrequin est en acier au nickel-chrome, et l'usinage de précision, le traitement thermique et l'équilibrage des pièces rotatives font du vilebrequin le cœur du moteur et l'un de ses composants les plus coûteux. Parmi les principaux éléments du vilebrequin, on peut distinguer:

- tourillons permettant à l'arbre de reposer sur le logement ;
- Les manetons sur lesquels s'articulent les bielles [10].

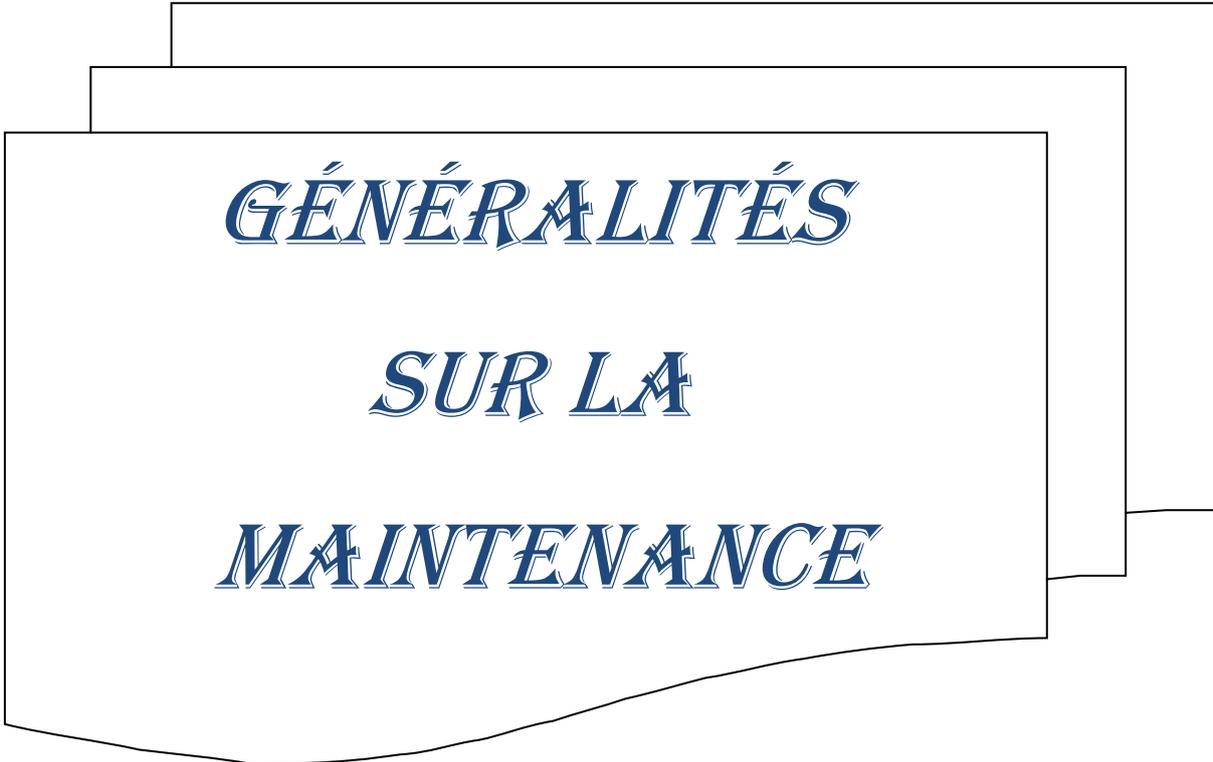


**Image. I.8 :** Vilebrequin ou Arbre manivelle d'un moteur CAT.

**I.5 Conclusion :**

Un chapitre donne un aperçu du principe de fonctionnement du moteur à combustion interne, la structure, les principaux éléments. peut dire que le moteur Diesel à injection directe, alimenté par un système d'injection haute pression, offre un rendement supérieur à tous les autres moteurs thermiques, avec une diminution de la consommation et une réduction des émissions polluantes.

## Chapitre II :



*GÉNÉRALITÉS*

*SUR LA*

*MAINTENANCE*

## **II.1 Introduction :**

La maintenance s'inscrit parmi les contraintes que rencontre tout exploitant d'une installation industrielle. Plus généralement, une installation de production nécessitant un ensemble de moyens matériels et humains n'est en mesure d'assurer le service qu'on lui demande qu'après avoir surmonté diverses contraintes, dont la maintenance des équipements de production utilisés. Construire une usine ou un atelier ne sert à rien en l'absence de production significative, ou de personnel qualifié, ou d'un système d'organisation permettant le maintien en état des installations [11].

## **II.2 La maintenance :**

### **II.2.1 Définition de la maintenance :**

D'après la norme AFNOR X 60-000 (Association française de normalisation), La maintenance est l'ensemble des actions techniques, administrative et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise [12].

### **II.2.2 Importance et rôle de la maintenance:**

L'importance et le rôle de la maintenance sont illustrés par la nécessité d'assurer la disponibilité permanente et le bon fonctionnement des installations matérielles de production. Le rôle de la maintenance serait, en définitive, de permettre aux autres services de l'entreprise de remplir leurs fonctions en obtenant le rendement optimum des investissements [13].

### **II.2.3 Les objectifs de la maintenance :**

C'est la nature de l'entreprise qui dicte les objectifs du service de maintenance clairement définis par une politique bien déterminée à partir de la prise en compte de trois facteurs essentiels :

- ✓ Facteur technique.
- ✓ Facteur économique.
- ✓ Facteur humain et écologique [13].

#### **a) Objectifs techniques (opérationnels) :**

- Assurer la disponibilité maximale des installations et de l'équipement à un prix rationnel.
- Fournir un service qui élimine les pannes à tout moment et à tout prix.

- Pousser à la dernière limite la durée de vie de l'installation (notion de durabilité).
- Assurer une performance de haute qualité.
- Maintenir une installation d'une propreté absolue à tout moment.

#### b) Objectifs économiques :

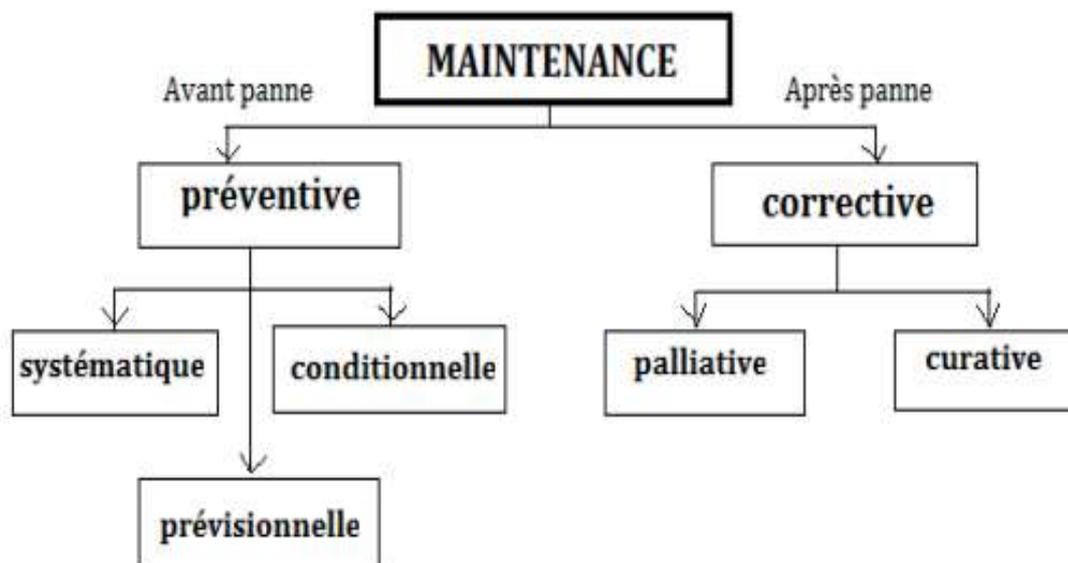
- Réduire au minimum les dépenses de maintenance et maximiser les profits .
- Assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget .
- Avoir des dépenses de maintenance portant sur le service exigé par les installations et l'appareillage en fonction de son âge et de son taux d'utilisation.

#### c) Objectifs humains et écologiques :

- Réduire les accidents de fonctionnement (Notion de sécurité) et améliorer les conditions de travail.
- Étudier toute modification, protection à effectuer sur les matériels pour diminuer les risques d'accidents
- Lutter contre la nuisance et préserver l'environnement (échappement de gaz, bruits inhérents, fuites d'huile, ...etc.).

#### II.2.4 Les type des maintenances :

On distingue deux types de La maintenance, donnée ( Fig. II.1) suivant :



**Figure. II.1** : Les types des maintenances [12].

**II.2.4.1 La maintenance préventive :**

Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. Selon l'AFNOR : « La maintenance préventive est une maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ». La fig (II.2) représente la courbe de la maintenance préventive. La maintenance préventive se subdivise en trois types [12].

**a) Maintenance systématique Selon l'AFNOR :**

« Maintenance effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou un nombre prédéterminé d'unités d'usage ».

**b) Maintenance conditionnelle Selon l'AFNOR :**

« Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé ». Ces indicateurs sont généralement les vibrations, pression, bruit, température, ...etc

**c) Maintenance prévisionnelle :**

Parfois appelée « maintenance prédictive», la maintenance prévisionnelle est, selon l'AFNOR, « Maintenance exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ». Elle est basée sur l'analyse de l'évolution des paramètres techniques qui permettent de quantifier l'état du bien et de déceler les dégradations potentielles dès leur apparition, elle permet d'anticiper et de prévoir au mieux le moment où l'intervention devra être réalisée.

**II.2.4.2 Maintenance corrective :**

Selon toujours la norme AFNOR « Ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement, ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification, le contrôle du bon fonctionnement ». Il y a deux types de Maintenance corrective [12]:

**a) Maintenance palliative (Dépannage) :**

C'est une remise en état de fonctionnement effectuée in-situ parfois sans interruption du fonctionnement de l'ensemble concerné. Elle a un caractère « Provisoire» et doit être suivie par une action corrective durable

**b) Maintenance curative :**

Il s'agit des réparations faites in-situ ou en atelier central parfois après dépannage, ce type de maintenance a un caractère « définitif »

## **II.2.6 Les opérations de maintenance:**

Ces opérations trouvent leur définition dans la norme FN X 60-010 et NF EN 13306) [12].

### **II.2.6.1 Les opérations de maintenance corrective :**

C'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue la remettre en état de fonctionnement.

#### **a) Le dépannage :**

C'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue la remettre en état de fonctionnement.

Cette action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de cout et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

Souvent les interventions de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses et n'exigent pas la connaissance du comportement des équipements et des modes de dégradation.

#### **b) La réparation :**

C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu.

### **II.2.6.2 Les opérations de maintenance préventive :**

#### **a) Les inspections :**

Ce sont des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements [14].

#### **b) Les visites :**

Ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée.

#### **c) Les contrôles :**

Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivis d'un jugement.

## **II.3 La fiabilité :**

### **II.3.1 Définition :**

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné[15].

### **II.3.2 Objectifs de la fiabilité :**

La fiabilité a pour objectif de :

- ✓ Mesurer une garantie dans le temps ;
- ✓ Evaluer rigoureusement un degré de confiance ;
- ✓ Déchiffrer une durée de vie ;
- ✓ Evaluer avec précision un temps de fonctionnement ;
- ✓ Déterminer la stratégie de l'entretien ;
- ✓ Choisir le stock.

### **II.3.3 Les Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité :**

dans les études de fiabilité des différents équipements, une variable aléatoire continue ou discrète peut être distribuée suivant diverses lois qui sont principalement [15]:

- ✓ La loi exponentielle.
- ✓ La loi de WEIBULL.
- ✓ La loi normale.
- ✓ La loi log-normale (ou loi de GALTON).
- ✓ La loi binomial.
- ✓ La loi de POISSON ou loi de faibles probabilités.

### **II.3.4 Modèle de WEI BULL :**

C'est la plus populaire des lois, utilisées dans plusieurs domaines (électronique, mécanique,...). Elle permet de modéliser en particulier de nombreuses situations d'usure de matériel. Elle permet de caractériser le comportement du système dans les trois phases de vie, période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement. Dans sa forme la plus générale, la distribution de weibull dépend des trois paramètres suivants :  $\beta$ ,  $\gamma$  et  $\eta$  [11].

### **II.4.5 Estimation des paramètres du modèle de WEI BULL :**

Un des problèmes essentiel est l'estimation des paramètres  $(\beta, \eta, \gamma)$  de cette loi, pour cela, nous disposons de la méthode suivante :

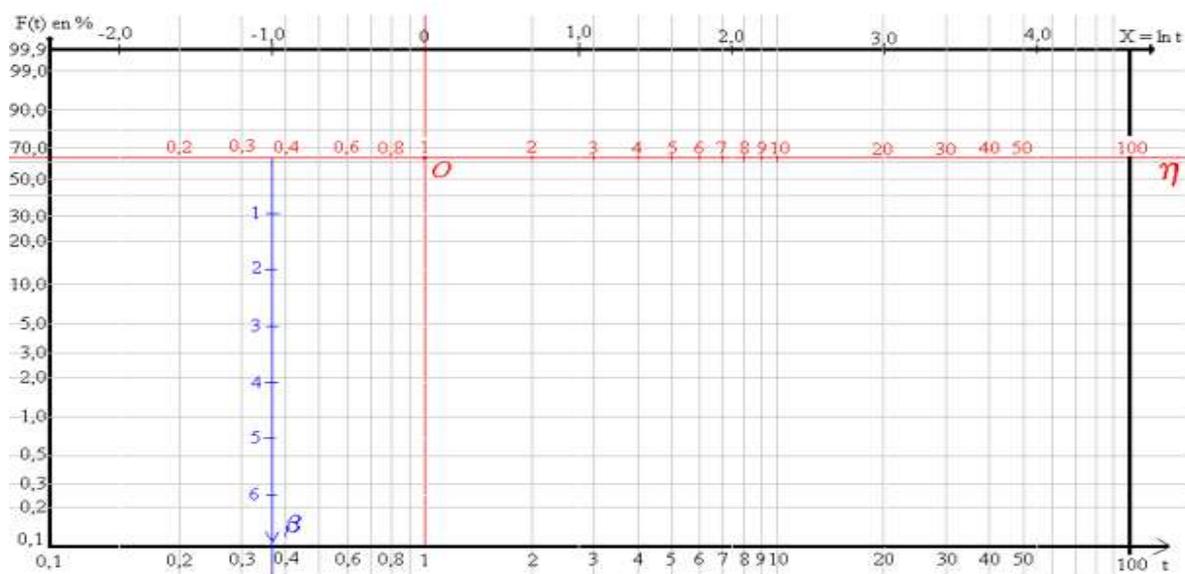
### a) Graphique à échelle fonctionnelle :

Pour la distribution de Weibull à 3 paramètres, on fait la transformation.

Le paramètre de position  $\gamma$  qui représente le décalage pouvant exister entre le début de l'observation (date à laquelle on commence à observer un échantillon) et le début du processus que l'on observe (date à laquelle s'est manifesté pour la première fois le processus observé).

Le paramètre d'échelle  $\eta$  qui, comme son nom l'indique, nous renseigne sur l'étendue de la distribution.

Le paramètre de forme  $\beta$  qui est associé à la cinétique du processus observé.



**Figure. II.03 :** Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull (graphique d'Allan Plait).

### b) La densité de probabilité :

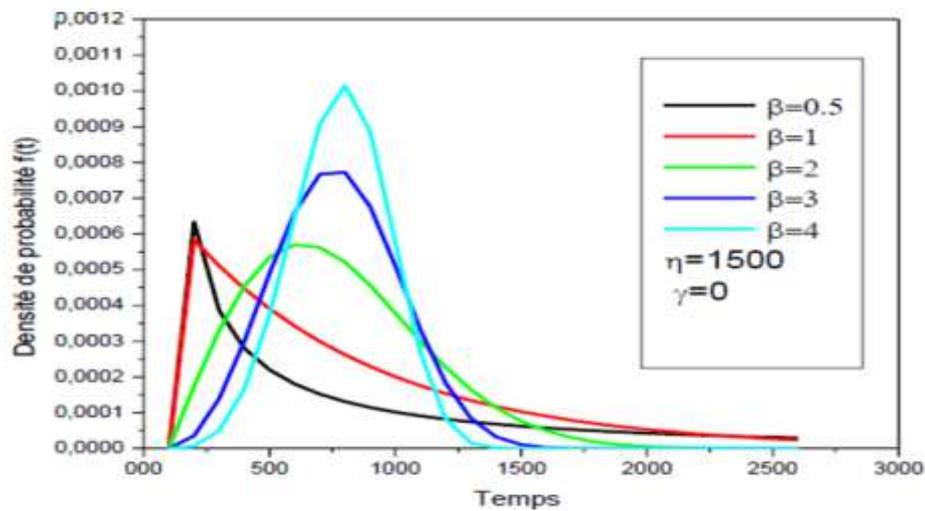
La densité de probabilité d'une loi de weibull a pour expression :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad \text{avec} \quad t \geq \gamma \quad (\text{II.1})$$

Ou :  $\beta$  est le paramètre de forme ( $\beta > 0$ ).

$\eta$  est le paramètre de d'échelle ( $\eta > 0$ ).

$\gamma$  est le paramètre de position ( $-\infty \leq \gamma \leq +\infty$ ) [14].

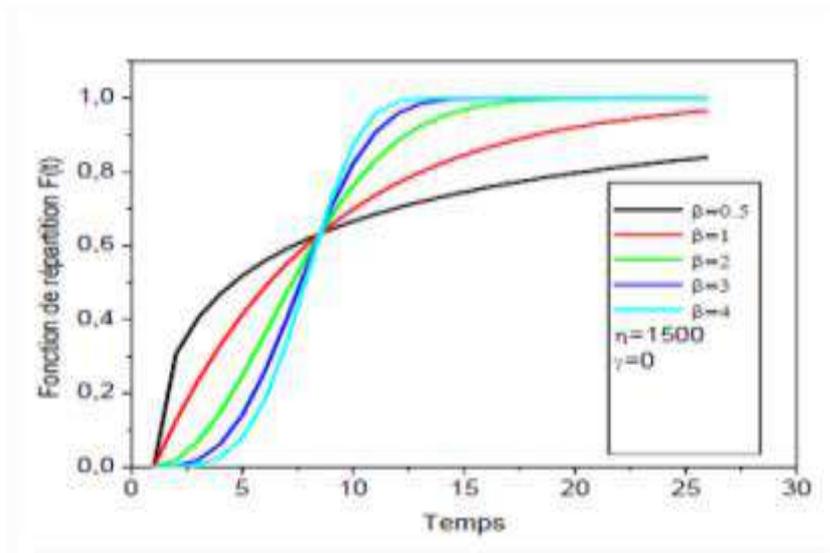


**Figure. II.4:** Courbe théorique (densité de probabilité  $f(t)$ ) [14].

**c) La fonction de répartition La fonction de répartition s'écrit :**

La fonction de répartition s'écrit :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.2})$$



**Figure. II.6 :** Courbe théorique (fonction de répartition) [14].

**d) La fonction de fiabilité  $R(t)$  :**

la fonction de fiabilité s'écrit ;

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.3})$$

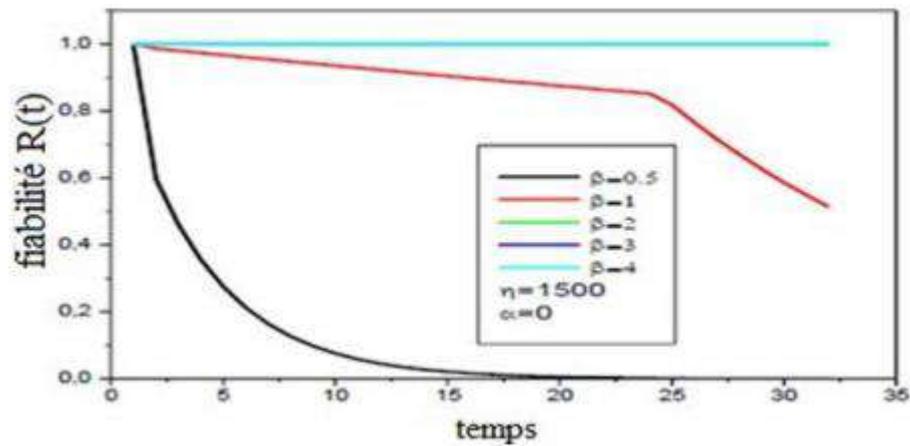


Figure. II.6 : Courbe théorique (Fiabilité) [14].

**d) Le taux de défaillance (Taux d'avarie) :**

Le taux de défaillance donné par [14]:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \cdot \frac{1}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{II.4})$$

Avec  $\lambda(t)$  taux de défaillance de la pièce d'âge  $t$ .

$$\text{On a donc : } \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (\text{II.5})$$

$\lambda(t)$  S'exprime également par l'inverse d'un temps, mais n'est pas une densité de probabilité

L'expérience montre que pour la plupart des composants, le taux de défaillance suit une courbe en baignoire représenté sur la figure suivante :

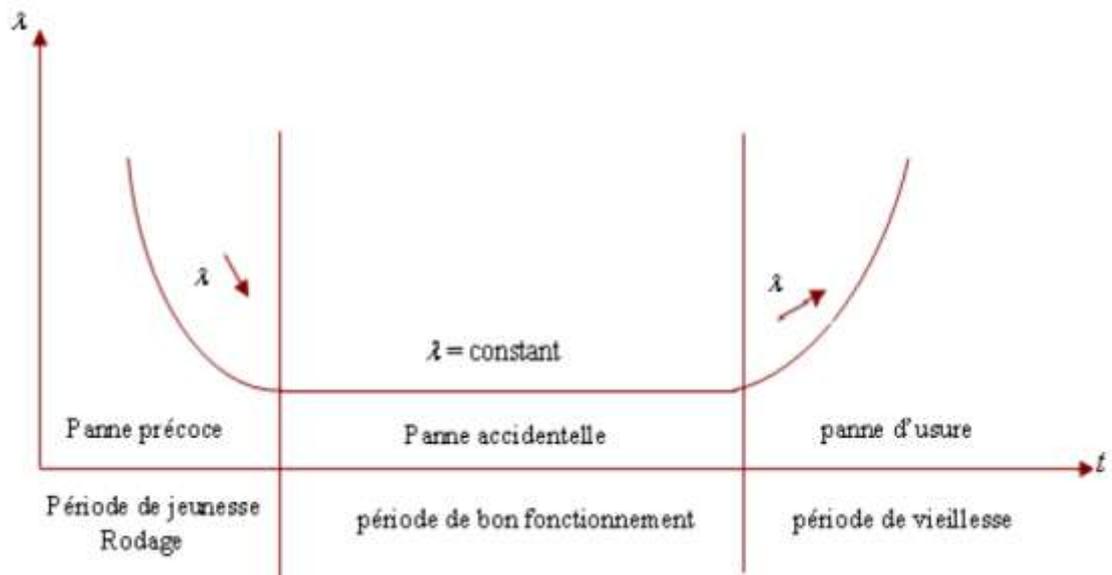


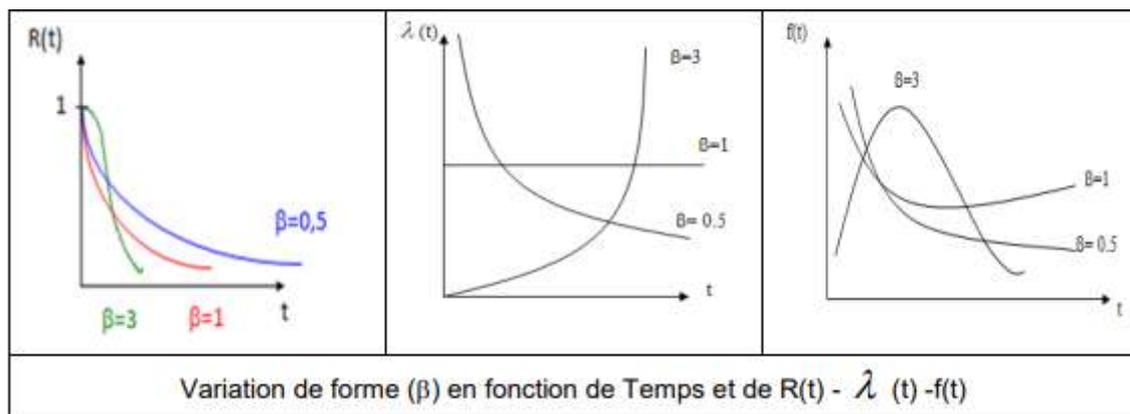
Figure. II.7 : Courbe en baignoire [16].

### Paramètre de forme $\beta$

- Si  $\beta > 1$ , le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse ;
- $1,5 < \beta < 2,5$  : fatigue ;
- $3 < \beta < 4$  : usure, corrosion ;

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

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



## II.5 La Maintenabilité :

### II.5.1 Définition :

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits [15].

#### **Maintenabilité = être rapidement dépanné**

C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

A partir de ces définitions, on distingue :

**II.5.2.1 La maintenabilité intrinsèque** : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc.).

**II.5.2.2 La maintenabilité prévisionnelle** : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.

**II.5.2.3 La maintenabilité opérationnelle** : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.

L'analyse de maintenabilité permettra d'estimer la MTTR ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité (sur les mêmes modèles que la fiabilité).

#### **Calcul de la maintenabilité :**

$$M(t = \text{MTTR}) = 1 - e^{-\mu t} \quad (\text{II.6})$$

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR.

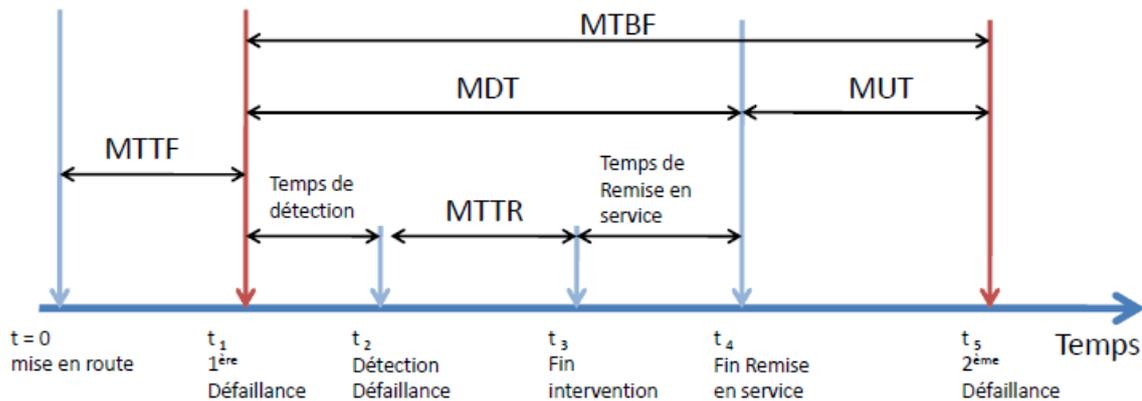
**MTTR** : Moyenne des Temps Techniques de Réparation.

$$\text{MTTR} = \frac{\sum \text{Temps d'intervention pour } n \text{ pannes}}{\text{Nombre de pannes}} \quad (\text{II.7})$$

#### **Taux de réparation $\mu$**

$$\mu = \left[ \frac{1}{\text{MTTR}} \right] \quad (\text{II.8})$$

La figure ci-dessous schématise les états successifs que peut prendre un système réparable :



**Figure. II.8 :** schématise les états successifs.

## II.6 La disponibilité :

### II.6.1 Définition :

La disponibilité est « l'aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées » [15].

Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- \* avoir le moins possible d'arrêts de production,
- \* être rapidement remis en état s'il est défaillant.

La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité.

### II.6.2 Types de disponibilité :

#### II.6.2.1 Disponibilité intrinsèque :

cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne.

$$Di = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{II.9})$$

#### II.6.2.2 Disponibilité instantanée :

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance  $\lambda$  constante et d'un taux de réparation  $\mu$  constant, la disponibilité instantanée est :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (\text{II.10})$$

La relation entre MUT, MTBF, et MTTR :

$$MTBF = MUT + MTTR \quad (\text{II.11})$$

- En général, on utilise les sigles d'origine américaine MTBF, MTTR et MUT, avec le risque de mal se comprendre évoqué au début du paragraphe ; on peut proposer les expressions françaises suivantes pour utiliser exactement les mêmes notions en levant les ambiguïtés :

- ✓ TTR temps de réparation,
- ✓ TBF temps de bon fonctionnement,
- ✓ UT temps entre défaillances.

## II.7 Le diagramme A.B.C (PARETO) :

### II.7.1 Définition :

Méthode objective et efficace de choix basés sur la connaissance d'une période antérieure. Les résultats se présentent sous forme d'une courbe dite «Courbe A.B.C. » [16].

### II.7.2 But :

Le diagramme A.B.C (PARETO) permet de visualiser l'importance relative des différentes parties ou catégories d'un ensemble précédemment analysé et chiffré sous la forme d'un classement et d'une hiérarchisation [16].

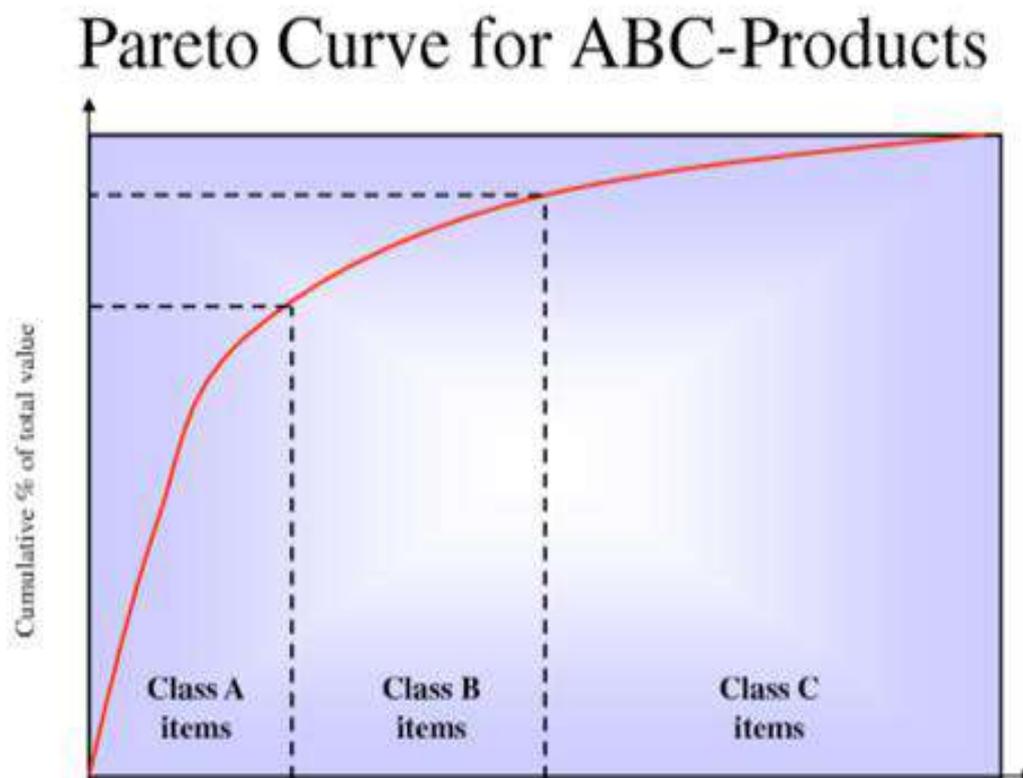


Figure. II.9 «Courbe A.B.C.».

**Zone A :** Pertes devant engendrer des actions prioritaires .

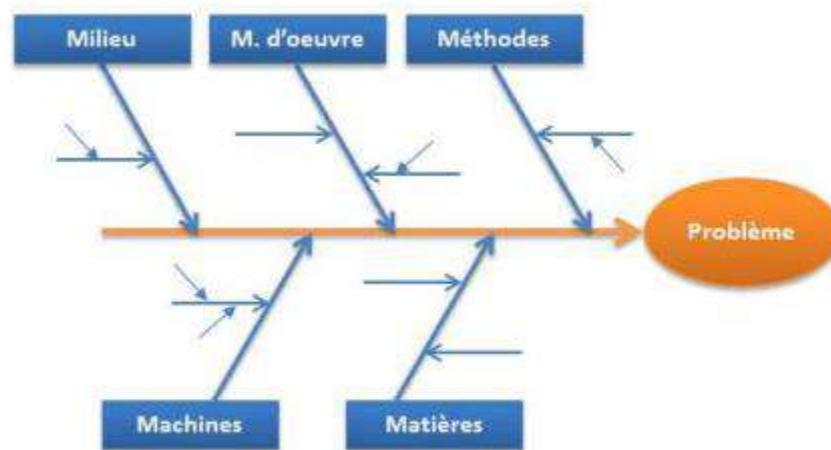
**Zone B :** Pertes à prendre en compte si solutions peu coûteuses .

**Zone C :** Pertes ne justifiant pas d'action.

## II.8 diagramme d'Ishikawa (Ishikawa ou Arête De Poisson):

### II.8.1 définition :

Le diagramme de cause à effet ou diagramme d'Ishikawa ou encore méthode des 5M est une démarche qui permet d'identifier les causes possibles d'un problème ou un défaut (effet). Il convient ensuite d'agir sur ces causes pour corriger le défaut en mettant en place des actions correctives appropriées [16].



**Figure. II.10:** Diagramme de causes-effet.

### II.8.2 But :

Analyser et visualiser le rapport existant entre un problème (effet) et toutes ses causes possibles. Le diagramme d'Ishikawa est un outil graphique qui sert à comprendre les causes d'un défaut de qualité [16].

### II.8.3 Construction du diagramme :

Le diagramme d'Ishikawa se présente sous la forme d'un graphe en arêtes de poisson. Dans ce dernier, sont classées par catégorie les causes selon la loi des 5 M (Matière, Main d'œuvre, Matériel, Méthode, Milieu).

Il se construit en cinq étapes :

**Étape 1.** Placer une flèche horizontalement, pointée vers le problème identifié ou le but recherché.

**Etape 2.** Regrouper à l'aide de la méthode de « brainstorming » par exemple, les causes potentielles en familles, appelées communément les 5M :

**M1 - Matières :** matières premières, pièces, ensembles, fournitures, identification, stockage, qualité, manutention .

**M2 - Matériel :** Recense les causes probables ayant pour origine les supports techniques et les produits utilisés. Machines, outils, équipements, capacité, âge, nombre, maintenance

**M3 - Main d'œuvre :** directe, indirecte, motivation, formation, absentéisme, expérience, problème de compétence, d'organisation, de management

**M4 - Milieu :** environnement physique, éclairage, bruit, aménagement, relations, température, climat, marché, législation

**M5 - Méthodes :** instructions, manuels, procédures, modes opératoires

**Etape 3.** Tracer les flèches secondaires correspondant au nombre de familles des causes potentielles identifiées, et les raccorder à la flèche principale. Chaque flèche secondaire identifie une des familles de causes potentielles.

**Etape 4.** Inscrire sur des minis flèches, les causes rattachées à chacune des familles. Il faut veiller à ce que toutes les causes potentielles apparaissent.

**Etape 5.** Rechercher parmi les causes potentielles exposées, les causes réelles du problème identifié. Ce sera notamment la cause la plus probable qu'il restera à vérifier dans la réalité et à corriger [17].

## **II .9 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons fourni des généralisations sur des concepts de base de la maintenance en calculant de la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et par l'analyse fonctionnelle et méthode d'Ishikawa pour l'absence de défauts causés par ces moteur Caterpillar en raison de leur importance dans entreprise.

## Chapitre III :

*EXEMPLES*

*D'APPLICATION*

### III.1. Introduction :

Positionner la maintenance au sein de l'appareil de production est un exercice difficile, comme il est toujours difficile de faire simple dans un environnement complexe. C'est l'objectif du dernier chapitre où on tente par l'exploitation de l'historique de panne de la moteur Caterpillar 3512 de faire face à l'étude expérimentale des analyses fonctionnelles, des indicateurs FMD, la méthode (A.B.C) , la diagramme Ichikawa.

### III.2 L'application Pratique des méthodes d'analyse :

#### ◆ Exploitation de l'historique :

L'historique de panne

Le traitement des données brutes de l'historique (tableau suivant), passe par :

- ✓ Le calcul des Temps technique réparation suite à des pannes (TTR) qui résultent des différences entre les dates d'arrêt et de démarrage.
- ✓ Le calcul des jours de bon fonctionnement (TBF), de la démarcation à la toute fin du délabrement.

**Tableau III.1:** Dossier historique de moteur Caterpillar 3512 (enafor Grop sonatrach) .

N°	Date d'exploitation	Date d'arrêt	TBF(j)	TTR(j)	Pannes
1	05/08/2000	03/12/2000	120	14	Fumée bleu à l'échappement
2	17/12/2000	21/04/2003	855	48	Ratés ou marche irrégulières
3	08/06/2003	05/11/2003	150	12	Présence d'eau dans le carter d'huile
4	17/11/2003	06/01/2004	50	9	Cognement du moteur
5	15/01/2004	18/02/2005	400	38	Cliquetis des soupapes
6	28/03/2005	07/01/2007	650	6	Vibration excessives
7	13/01/2007	29/12/2007	350	240	Le moteur ne démarre pas
8	25/08/2008	22/03/2011	940	8	Fumée noire à l'échappement
9	30/03/2011	18/06/2011	80	16	Consommation excessive d'huile
10	04/07/2011	04/08/2014	1127	18	Pression d'huile insuffisant
11	22/08/2014	04/01/2016	500	80	Consommation exagère du gas-oil
12	24/03/2016	26/08/2019	1250	60	Manque de puissance
13	25/10/2019	13/12/2021	780	24	Fumée blanche à l'échappement

**III.2.1 Etude FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) :****III.2.1.1 calcul les paramètres de Wei bull :**

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la méthode des rangs médians  $F(i) = \frac{\sum ni - 0.3}{N + 0.4}$  (Dans notre cas  $N = 13 \leq 20$ ) et on trace la courbe de Wei Bull :

**Tableau III.2:** Fonction de réparation réelle

N°	TBF(j)	Ln(TBF)j	N	$\sum ni$	F(i)	F(i)%	$\text{Ln}[\text{Ln}(1/(1 - F(i)))]$
1	50	3.912	1	1	0.0522	5.22	-2.92
2	80	4.382	1	2	0.1268	12.68	-1.99
3	120	4.787	1	3	0.2014	20.14	-1.49
4	150	5.010	1	4	0.2761	27.61	-1.12
5	350	5.857	1	5	0.3507	35.07	-0.84
6	400	5.991	1	6	0.4253	42.53	-0.59
7	500	6.214	1	7	0.5	50	-0.36
8	650	6.476	1	8	0.5746	57.46	-0.15
9	780	6.659	1	9	0.6492	64.92	0.046
10	855	6.751	1	10	0.7238	72.38	0.25
11	940	6.845	1	11	0.7985	79.85	0.47
12	1127	7.027	1	12	0.8731	87.31	0.72
13	1250	7.130	1	13	0.9477	94.77	1.08

### III.2.1.2 La Courbe de Wei bull :

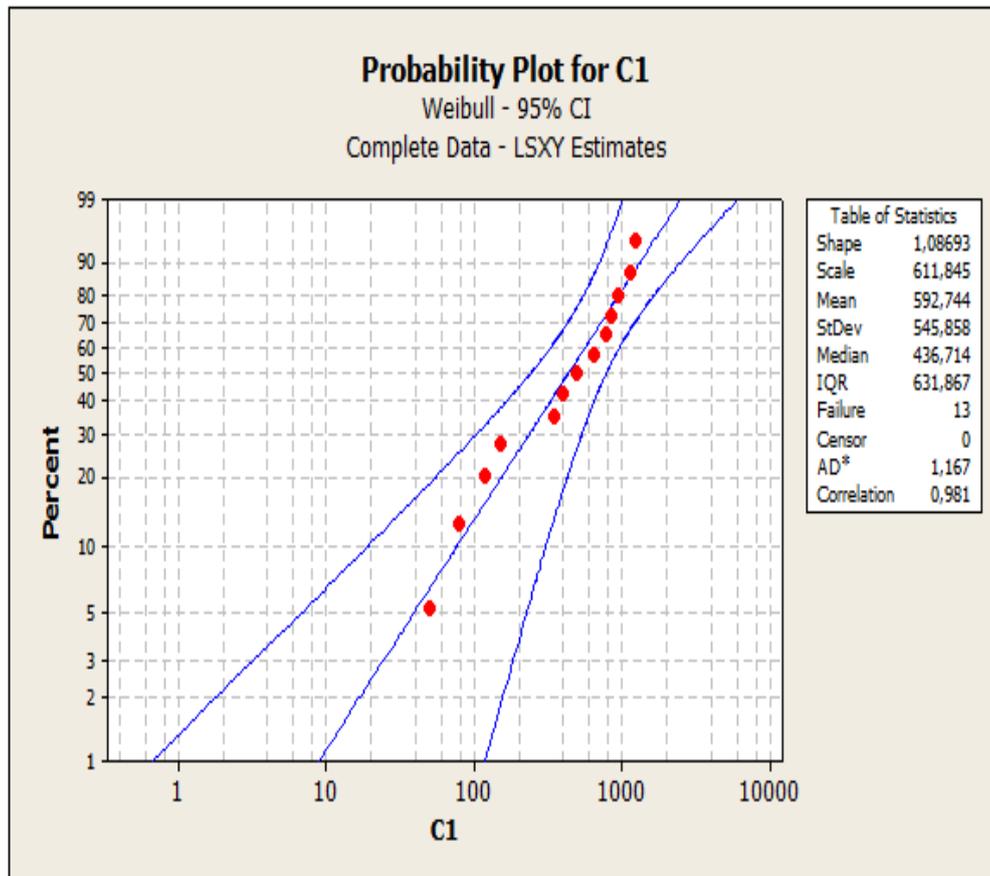


Figure. III.1: papier de Wei bull(logiciel Mini table 2016).

$$\beta = 1.086 \quad \eta = 611.84 j \quad \gamma = 0$$

### III.2.1.3 Test (Kolmogorov Smirnov) :

Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de K-S avec un seuil de confiance de  $\alpha = 20\%$ . Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique  $F(i)$  et la fonction réelle  $F(t)$  et prendre le maximum en valeur absolue  $Dn.max$ .

Cette valeur est comparée avec  $Dn.\alpha$  Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir sur table Annexe 1). Si  $Dn.max > Dn.\alpha$  On refuse l'hypothèse.

**Tableau K-S****Tableau III.3:** test de Kolmogorov-Smirnov ;

N°	TBF(j)	F(i)	F(t)	Dn.max F(i) – F(t)
1	50	0.0522	0.07	0.0178
2	80	0.1268	0.11	0.0168
3	120	0.2014	0.16	0.0414
4	150	0.2761	0.20	0.0761
5	350	0.3507	0.43	0.0793
6	450	0.4253	0.47	0.0447
7	500	0.5	0.56	0.06
8	650	0.5746	0.66	0.0854
9	780	0.6492	0.73	0.0808
10	855	0.7238	0.77	0.0462
11	940	0.7985	0.80	0.0015
12	1127	0.8731	0.86	0.0131
13	1250	0.9477	0.89	0.0577

D'après la table de K-S:

**Dn.max < Dn.α** Ce qui veut dire que le modèle de Wei Bull est accepté.

Nous avons pris la valeur maximale **Dn.max = |F i – F t |**.

**Dn.max =0.0854** tandis que **Dn.α= D13 . 20 = 0,284** (voir annexe tab.1).

**0.0854<0.284** donc l'hypothèse du modèle de Wei Bull est acceptable

**III.2.1.4 Exploitation les paramètres de WEIBULL :****III.2.1.4.1 Le MTBF :**

Le tableau de MTBF donne **A=0.9649 ; B=0.878** (voir annexe 02).

$$\text{MTBF} = A \cdot \eta + \gamma$$

$$\text{MTBF} = 0.9649 \times 611.84 + 0$$

$$\text{MTBF} = 590.364 \text{ j}$$

**III.2.1.4.2 La densité de probabilité en fonction de MTBF :**

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

$$f(590.364) = \frac{1.086}{611.84} \left( \frac{590.364}{611.84} \right)^{1.086-1} \times e^{-\left( \frac{590.364}{611.84} \right)^{1.086}} = 0.0006007 = 0.06007\%$$

**III.2.1.4.3 La fonction de répartition en fonction de MTBF :**

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

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{590.364}{611.84}\right)^{1.086}} = 0.6492 = 64.92\%$$

**III.2.1.4.4 La fiabilité en fonction de MTBF :**

$$R(t = \text{MTBF}) = 1 - F(t = \text{MTBF}) = 1 - 0.6492$$

$$R(\text{MTBF}) = 35.08\%$$

**III.2.1.4.5 Le taux de défaillance en fonction de MTBF :**

$$\lambda(t = \text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

$$\lambda(t = \text{MTBF}) = \frac{1.086}{611.84} \left(\frac{590.364}{611.84}\right)^{1.086-1} = 0.00017693 \text{ panne/jour.}$$

**III.2.1.4.6 Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique :**

$$R(t) = 80\% \quad \Rightarrow \quad t = ??? \quad R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

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

$$t = 611.84 * \left[\ln\left(\frac{1}{0.8}\right)\right]^{\frac{1}{1.086}} = 153.74 \text{ jour.}$$

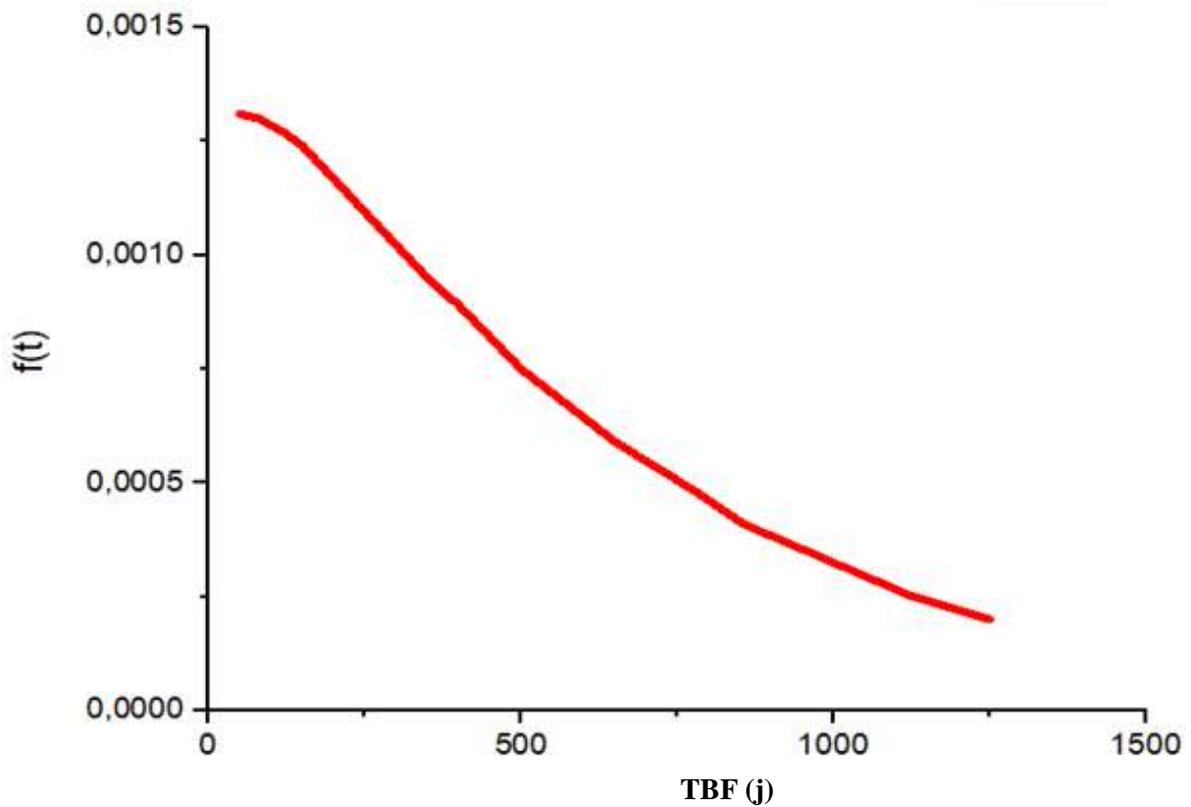
**III.2.1.5 Étude de modèle de Wei bull :****III.2.1.5.1 La fonction de la densité de probabilité :**

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

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t)$$

**Tableau III.4:** Calcul la fonction de la densité de probabilité.

TBF(j)	50	80	120	150	350	400	500	650	780	855	940	1127	1250
f(t)10 <sup>-3</sup>	1.31	1.30	1.27	1.24	0.95	0.89	0.75	0.59	0.48	0.41	0.36	0.25	0.20

a) Courbe de la densité de la probabilité  $f(t)$  :

**Figure III.2:** La Courbe Densité De Probabilité( logiciel origin 2018 64Bit).

## b) Analyse de la courbe :

Nous pouvons voir sur la courbe que  $f(t)$  diminue constamment avec l'augmentation de la valeur de TBF, c'est-à-dire au fil du temps.

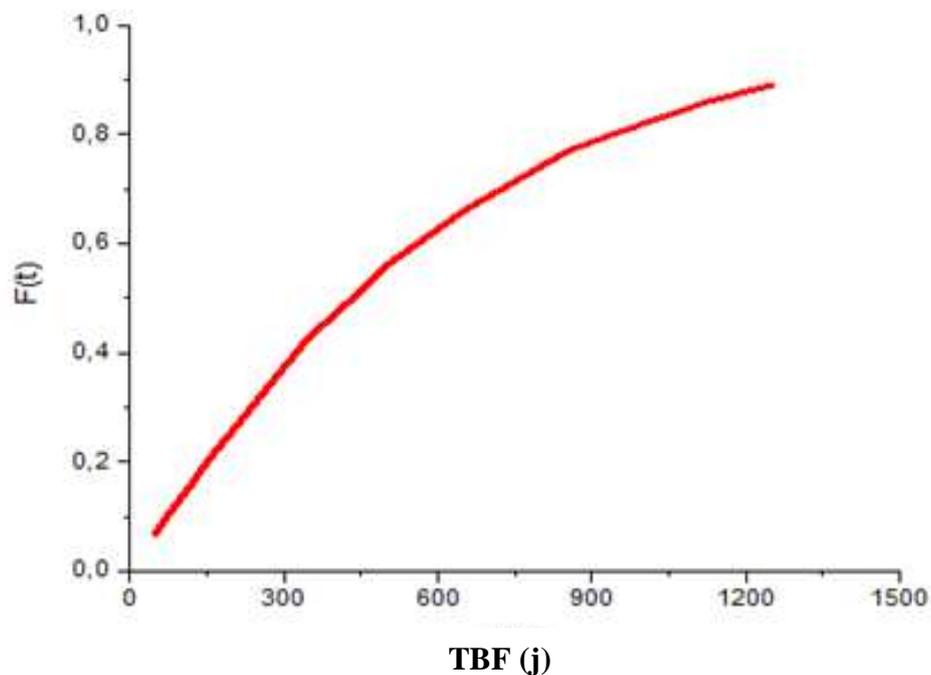
III.2.1.5.2 Fonction de répartition  $F(t)$  :

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

**Tableau III 5:** Calcul la Fonction de répartition.

<b>TBF(j)</b>	50	80	120	150	350	400	500	650	780	855	940	1127	1250
<b>F(t)</b>	.007	0.11	0.16	0.20	0.43	0.47	0.56	0.66	0.73	0.77	0.80	0.86	0.89

## a) Courbe fonction de répartition F(t) :



**Figure. III.3:** La Courbe De Fonction Répartition(logiciel origin 2018 64Bit).

## b) Analyse de la courbe :

De cette courbe, nous voyons que la valeur de F (t) augmente avec l'augmentation de la valeur de TBF au fil du temps.

## III.2.1.5.3 La fiabilité R(t) :

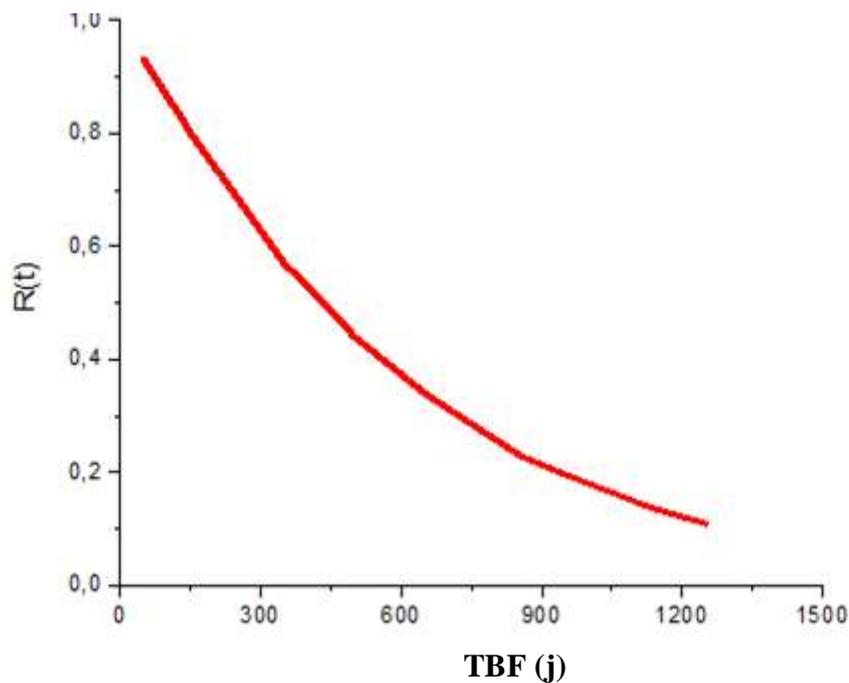
La fonction fiabilité de celle de répartition :  $R(t) = 1 - F(t)$ , après calcul de la fiabilité du moteur Caterpillar au temps  $t = \text{MTBF}$ , on trouve que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que le moteur Caterpillar n'est pas fiable à  $t = \text{MTBF}$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad R(t = \text{MTBF}) = 0.38$$

**Tableau III.6:** Calcul de la fiabilité.

TBF(j)	50	80	120	150	350	400	500	650	780	855	940	1127	1250
R(t)	0.93	0.89	0.84	0.80	0.57	0.53	0.44	0.34	0.27	0.23	0.2	0.14	0.11

## a) Courbe de la fiabilité :



**Figure. III.4:** La Courbe De la Fonction Fiabilité(logiciel origin 2018 64Bit).

## b) Analyse de la courbe :

Le courbe décroissant en fonction du temps, que s'explique par le phénomène de détérioration. L'amélioration de la fiabilité du moteur Caterpillar passe nécessairement par une l'analyse des pannes avec une étude détaillée de leurs causes, schémas et conséquences.

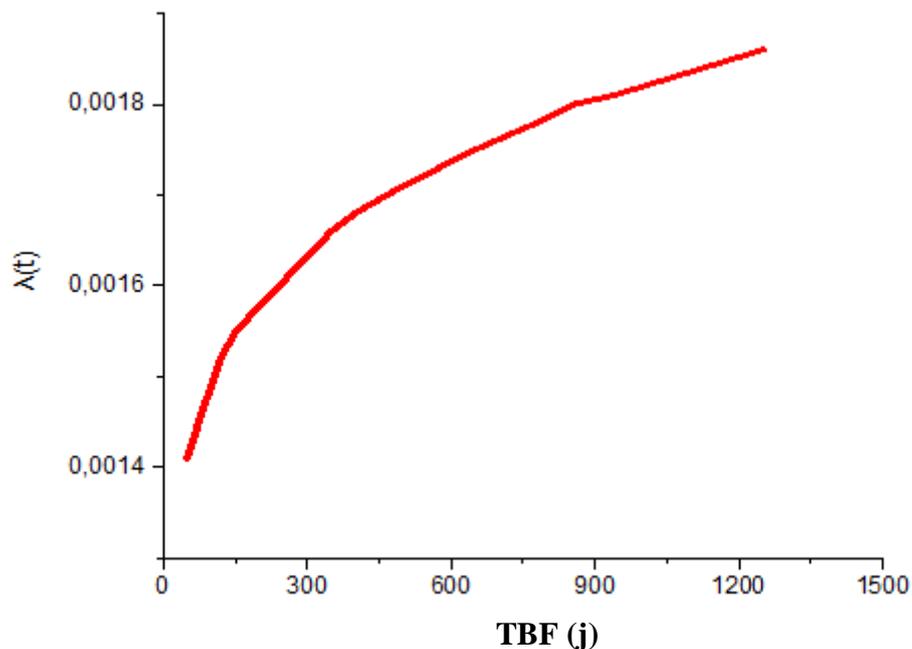
## III.2.1.5.4 Le taux de défaillance :

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

**Tableau III.7 :** Calcul le taux de défaillance.

TBF(j)	50	80	120	150	350	400	500	650	780	855	940	1127	1250
$\lambda(t)10^{-3}$	1.41	1.46	1.52	1.55	1.66	1.68	1.71	1.75	1.78	1.8	1.81	1.84	1.86

## a) Courbe du taux de défaillance :



**Figure. III.5:** Le courbe taux de défaillance (logiciel origin 2018 64Bit).

## b) Analyse de la courbe :

Le taux d'échec augmente avec temps, c'est-à-dire TBF.

### III.2.1.5.5 Calcul la Maintenabilité de la moteur Caterpillar :

D'après l'historique des pannes de la moteur Caterpillar :

$$MTTR = \Sigma TTR / N.$$

TTR : temps de réparation.

N : nombre de panne.

$$MTTR = 573 / 13 = 44.07 \text{ Jour}$$

$$\text{Avec } \mu = 1 / MTTR = 1 / 44.07 = 0.02269 \text{ intervention / Jour.}$$

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

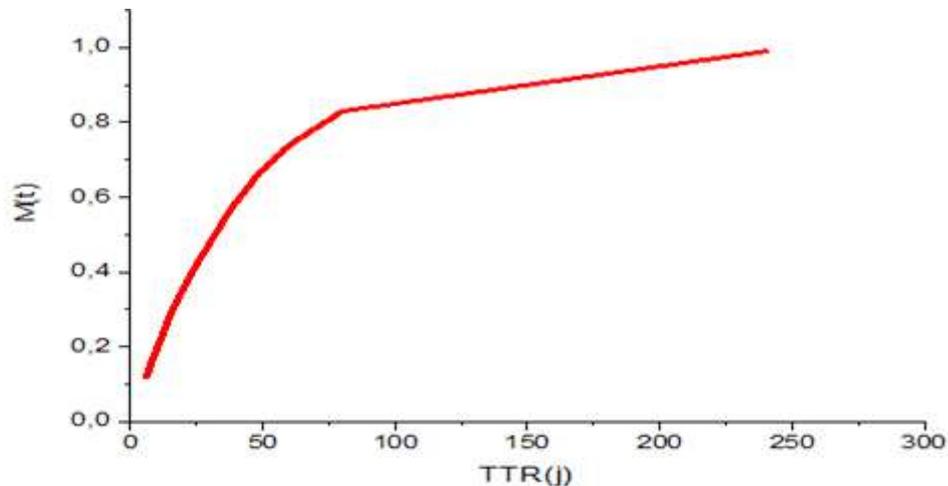
$$M(t = MTTR) = 1 - e^{-44.07 * 0.02269} = 0.63$$

$$M(t = MTTR) = 63\%$$

**Tableau III.8:** La maintenabilité

TTR(j)	6	8	9	12	14	16	18	24	38	48	60	80	240
M(t)	0.12	0.16	0.18	0.23	0.27	0.30	0.33	0.41	0.57	0.66	0.74	0.83	0.99

## a) Courbe de maintenabilité :

**Figure III.6:** La Courbe de Maintenabilité (logiciel origin 2018 64Bit).

## b) Analyse de la courbe :

La valeur de la maintenabilité augmente avec le temps, puis devient presque fixe avec le temps.

**III.2.1.5.6 Calcul la disponibilité du moteur Caterpillar :****III.2.1.5.6.1 Disponibilité intrinsèque au asymptotique :**

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{590.364}{590.364 + 44.07} = \mathbf{0.930}$$

**III.2.1.5.6.2 Disponibilité instantané :**

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

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{590.364} = \mathbf{0.00169}$$

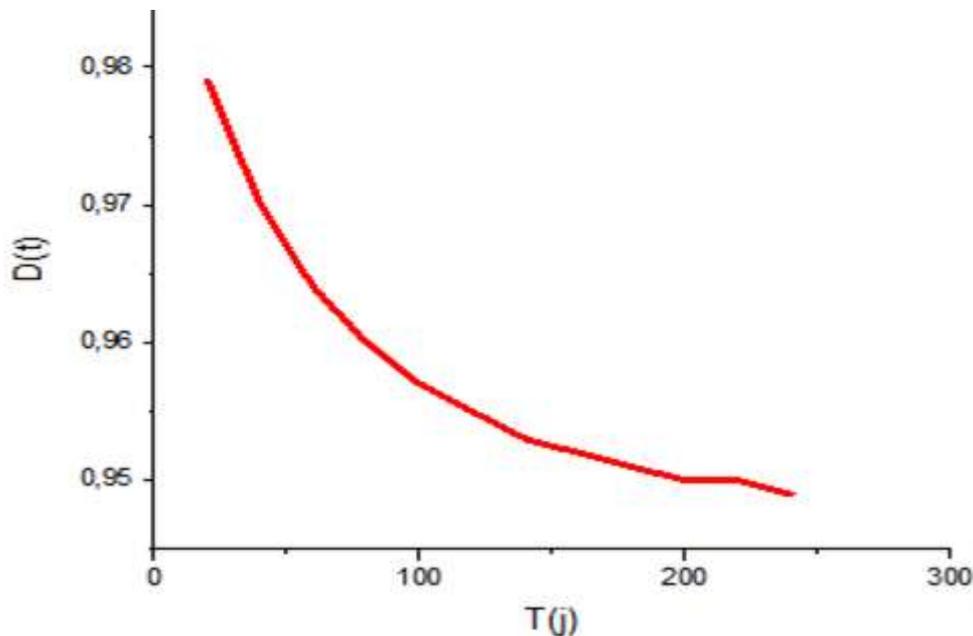
$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad \Rightarrow \quad \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{44.07} = \mathbf{0.02267}$$

$$\lambda + \mu = 0.00158 + 0.02267 = \mathbf{0.02425}$$

$$D(t) = \frac{0.02267}{0.02425} + \frac{0.000158}{0.02425} e^{-(0.00158 + 0.02267)t}$$

**Tableau III.9:** Calcul la disponibilité instantané.

<b>T(j)</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>38</b>	<b>48</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>240</b>
<b>D(t)</b>	0.979	0.97	0.964	0.96	0.957	0.955	0.953	0.952	0.951	0.95	0.95	0.949

**a) Courbe fonction de la disponibilité :****Figure. III.7:** La Courbe de disponibilité (logiciel origin 2018 64Bit).**b) Analyse de la courbe :**

La disponibilité est décroissante en fonction de temps, pour augmenter la disponibilité d'un moteur Caterpillar3512 consiste à diminuer le nombre de ses arrêts (augmentée sa fiabilité) et réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci (augmenté sa Maintenabilité).

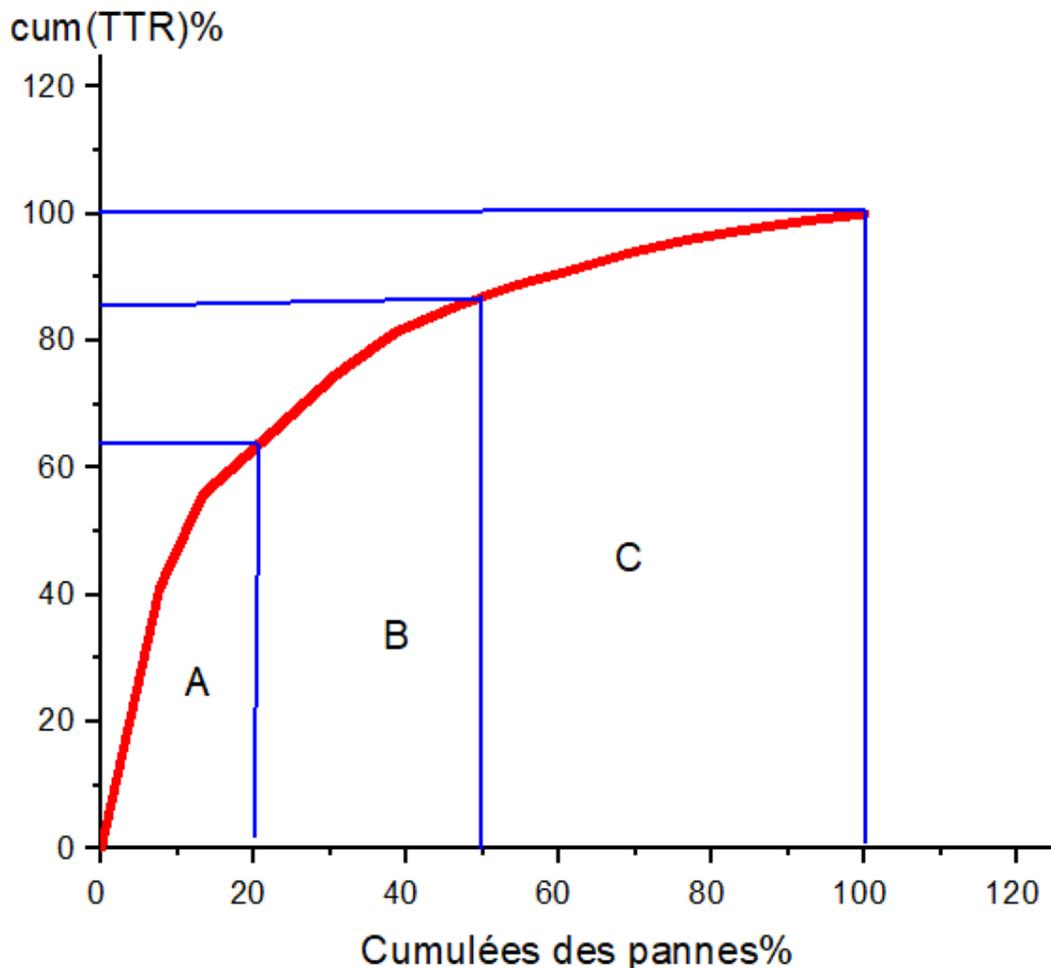
**III.2.2 Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto) » :**

Pour l'application de la méthode ABC, il faut en premier lieu faire un classement des pannes par ordre décroissant des jours des pannes puis procéder à l'établissement d'un graphe de Pareto.

**Tableau III.10:** les analyse ABC (Pareto).

°N	Pannes	TTR(j)	cumul	Cum(TTR)%	Nombre donnes	Cumulées Des panes	Cumulées des pannes%
1	Le moteur ne démarre pas	240	240	41.18	1	1	7.69
2	Consommation excessive d'huile	80	320	55.84	1	2	13.38
3	Présence d'eau dans le carter d'huile	60	380	66.31	1	3	23.07
4	Fumée blanche à l'échappement	48	428	74.69	1	4	30.76
5	Cliquetis des soupapes	38	466	81.32	1	5	38.46
6	Ratés ou marche irrégulières	24	490	85.31	1	6	46.15
7	Pression d'huile insuffisant	18	508	88.65	1	7	53.84
8	Consommation exagère du gas-oil	16	524	91.14	1	8	61.53
9	Fumée bleu à l'échappement	14	538	93.89	1	9	69.23
10	Manque de puissance	12	550	95.98	1	10	76.92
11	Cognement du moteur	09	559	97.55	1	11	84.61
12	Fumée noire à l'échappement	08	567	98.95	1	12	92.30
13	Vibration excessives	06	573	100	1	13	100

### III.2.2.1 La courbe d'analyse ABC :



**Figure. III.8:** La courbe d'analyse ABC(logiciel origin 2018 64Bit).

### III.2.2.2 Interprétation des résultats :

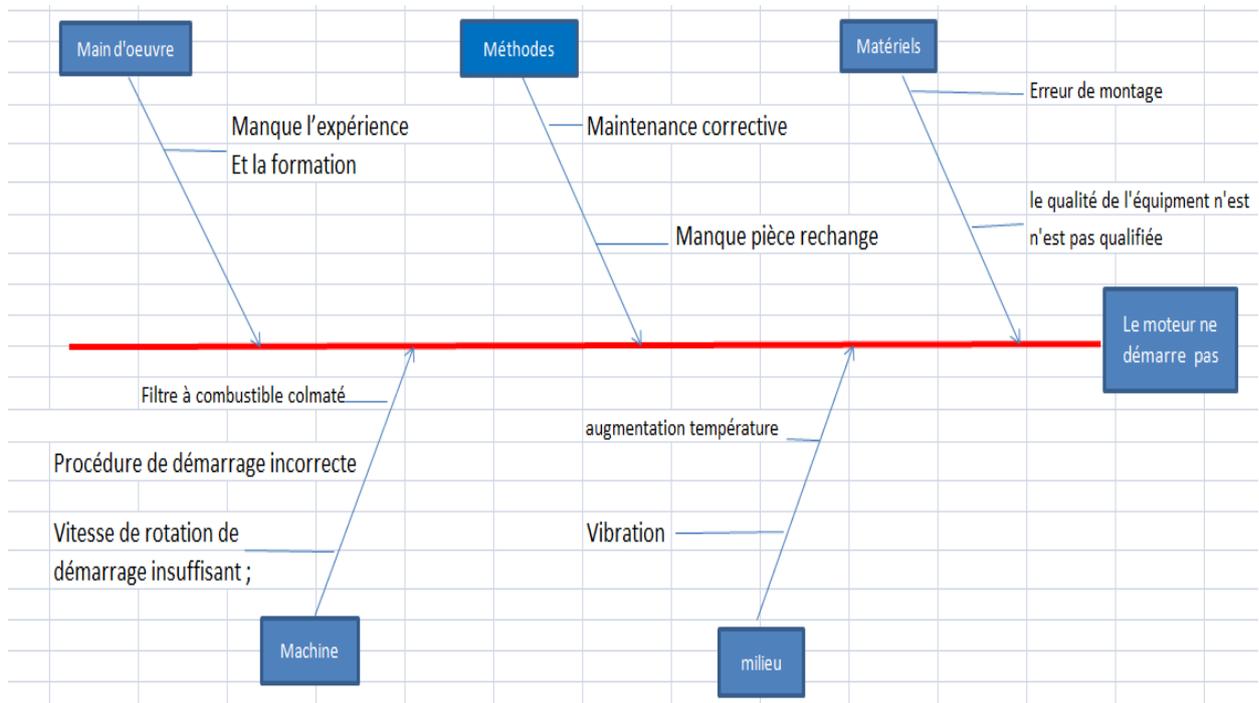
**Zone "A" :** Dans cette zone, on constate que environ **20%** des interventions représente **62%** des jours de réparation, ceci constitue la zone A. zone des priorités (Le moteur ne démarre pas , Consommation excessive d'huile, Présence d'eau dans le carter d'huile).

**Zone "B" :** Dans cette tranche les **30%** des interventions représentent **21%** supplémentaire. (Fumée blanche à l'échappement- Cliquetis des soupapes- Ratés ou marche irrégulières- Pression d'huile insuffisant).

**Zone "C" :** Dans cette zone les **50%** des interventions restantes ne représentent qu'ont **17%** des jours de réparation. (Cognement du moteur- Fumée noire à l'échappement- Vibration excessives Consommation exagère du gas-oil - Manque de puissance - Consommation exagère du gas-oil- Pression d'huile insuffisant).

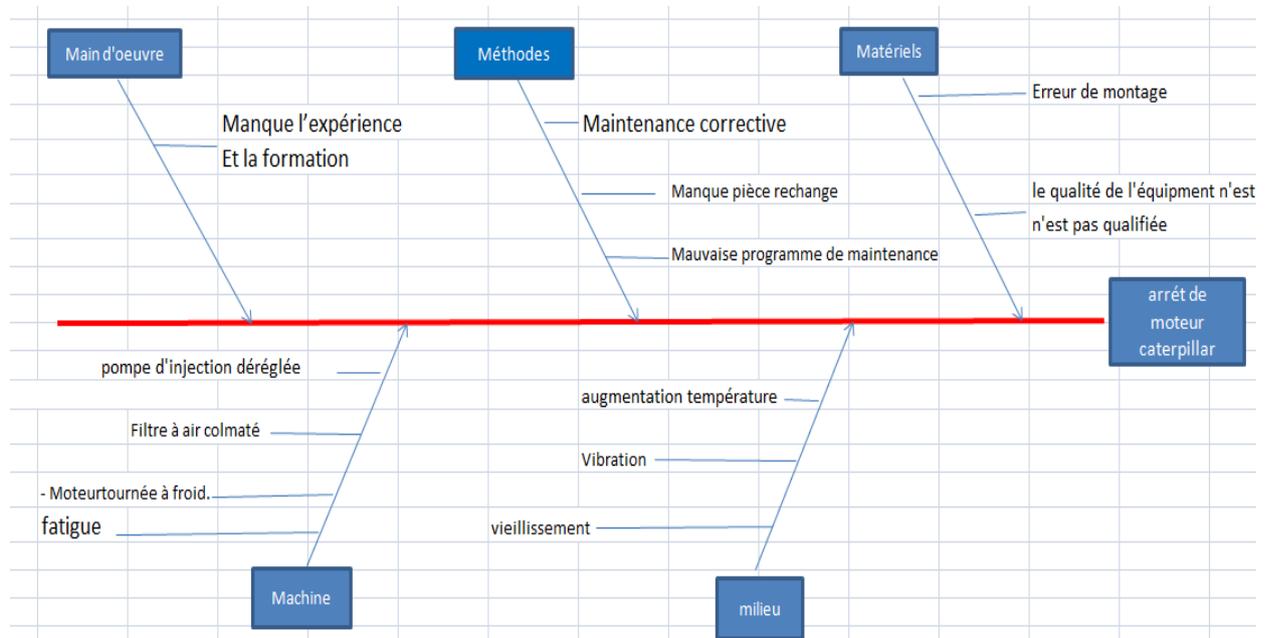
**III.2.3. Diagramme causes-effet : (les causes qui augmente les temps d'arrêt):**

**III.2.3.1 Analyse d'intervention Le moteur ne démarre pas:**



**Figure. III.9:** Analyse d'intervention Le moteur ne démarre pas.

**III.2.3.2 :Analyse d'intervention arrêt de mateur Caterpillar :**



**Figure. III.10:** Analyse d'intervention arrêt de mateur Caterpillar.

**III.3.2.6 tableau « causes-remèdes »:**

Pour minimiser les temps d'intervention nous avons propose quelque remèdes selon chaque cause dans le tableau « causes-remèdes » suivant:

**Tableau III.11 « causes-remèdes »:**

N°	Causes possibles	Remèdes
1	Maintenance corrective	Maintenance préventive
2	Manque pièce rechange	Organiser les stockes des pièces rechange
3	Manque l'expérience et la formation	Mise en place de cours de formation
4	Mauvaise programme de maintenance	Réalignement
5	Erreur de montage	Réassembler correctement les pièces
6	Moteur tournée à froid.	Thermostat
7	Pompe d'injection déréglée	Vérifiez le circuit d'échappement
8	Fatigue	Changer les pièces Fatiguées
9	augmentation température	Améliorer l'adaptation de l'atelier
10	Filtre à air colmaté	Changez la cartouche du filtre à air
11	Vibration	serrage de système de fixation
12	Vieillessement	Changer les pièces usées
13	Le qualité l'Equipment n'est pas qualifiée	Fournir du matériel qualifié
14	Filtre à combustible colmaté	Remplacer la cartouche filtrante
15	Procédure de démarrage incorrecte	Passer en revue la procédure de démarrage.
16	Vitesse de rotation de démarrage insuffisant	Vérifiez le compresseur, le circuit d'air da démarrage, la qualité de l'huile motet

**III. conclusion :**

Nous avons utilisé l'histoire des pannes de moteur Caterpillar, pour étudier la FMD Nous avons fait le diagramme ABC , et après avoir identifié ses composants que les travaux de besoin et d'entretien, puis nous avons fait le diagramme d'Ishikawa, grâce à cela, nous avons identifié les causes et proposé des solution et résolu les résultats suivants.

- ✓ Nous avons trouvé  $\beta = 1.086$  donc le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse.
- ✓  $\gamma = 0$  indique que les défaillances commencées au début dans la mise en Service à moteur Caterpillar.
- ✓ MTBF= 590.364 j.
- ✓ la fiabilité de la moteur Caterpillar est faible : 35.08 %.
- ✓ 22.34% des interventions représente 30.77% des jours d'intervention.
- ✓ Pour garder la fiabilité des moteur Caterpillar 80% il faut intervenir chaque temps systématique 153.74j nous faisons quelques actions préventifs de moteur Caterpillar.
- ✓ Extraire les causes possibles a contribué à augmenter les temps d'arrêt.

# Chapitre VI



### IV.1 Introduction :

La sécurité au travail est l'un des enjeux importants pour la personne qui s'occupe d'équipements d'ingénierie pour effectuer ses différentes activités afin de répondre à ses besoins de produits de base ou de services . Ces activités accompagnent généralement ces activités quels que soient les risques.

### IV.2 le rôle du HSE:

L'animateur, le préventeur ou le responsable HSE (Hygiène-Sécurité-Environnement) se place dans le rôle de l'animateur. Il n'est pas seul à parler mais cherche à faire parler tous les participants. Il répartit les temps de parole entre les participants et veille à ce qu'ils restent concentrés sur le sujet [17].

### IV.3 Objectifs du service HSE :

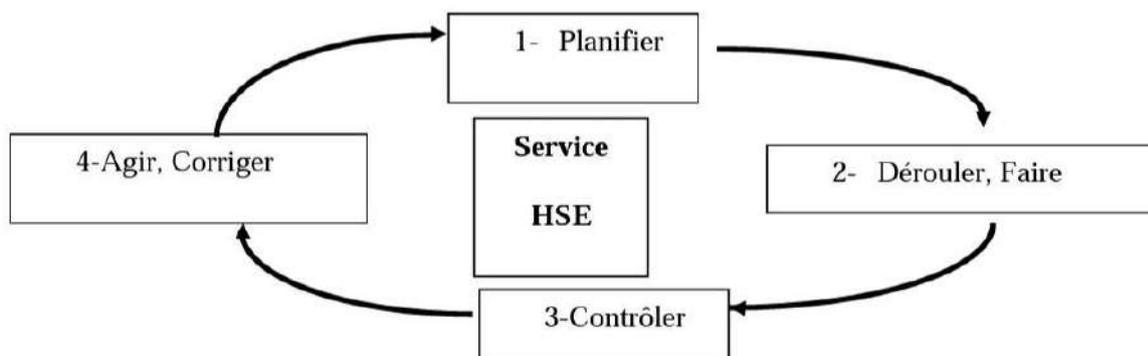


Figure. IV.1 Cycle d'amélioration continue (roue de Deming) [17].

### IV.2 Principes de base de la sécurité industrielle :

#### IV.2.1 Etude des accidents et de leurs causes :

- a) Recherche et diagnostic des erreurs.
- b) Étudier les conditions de travail et rechercher et étudier les causes des conditions malsaines.
- c) Étudier les méthodes de traitement pour améliorer la sécurité [18].

#### IV.2.2 Développer des méthodes de prévention des accidents et des moyens de les mettre en œuvre :

- a) protection.
- b) Améliorer les conditions de travail ..
- c) Former et accroître l'efficacité des travailleurs [18].

**IV.2.3 Utilisation des méthodes d'analyse et de mesure de la sécurité et leurs applications :**

- a) Méthodes analytiques, études comportementales et fonctionnelles.
- b) Méthodes quantitatives pour évaluer le degré de risque.
- c) Mesure des performances administratives et techniques en matière de sécurité [18].

**IV.3 L'importance et la mission de la sécurité:**

- a) Protection contre les accidents risques professionnels et sanitaires.
- b) Amélioration de l'efficacité des installations et ses composants de produit.
- c) Reconnaître les causes Accidents et faire le contrôle dans leur apparition et trouver .
- d) des moyens approprié pour prévenir ou réduire [18].

**IV.4 Raisons de l'accident:**

Le fait qu'un événement se produise ou non dépend de plusieurs caractéristiques :

**IV.4.1 Caractéristiques humaines :**

- a) sens et leur réponse
- b) cognition et ses dimensions
- c) formation et expérience préparation personnelle [18].

**IV.4.2 Caractéristiques techniques :**

- a) Conception et prise en compte de la disponibilité des moyens de sécurité dans celle-ci
- b) État opérationnel et mesure dans laquelle la maintenance et les audits sont effectués Bien tourner et sérieusement [18].

**IV.4.3 Caractéristiques organisationnelles :**

- a) Procédures de planification .
- b) Procédures de suivi et de contrôle.

**IV.5 Objectifs des organismes techniques spécialisés pour atteindre la sécurité:**

- a. Établir des règles, des procédures et des conditions de sécurité industrielle obligatoires et volontaires.
- b. Les règles et les lois en matière d'indemnisation, d'assurance, de responsabilité et de pénalités sont établies.
- c. Développer des programmes de sécurité et des moyens de les mesurer et de les suivre.
- D. Élaborer des programmes de formation, de réadaptation et de sensibilisation à la sécurité et leurs spécifications.

- e. Développer des programmes de recherche et développement dans les études de sécurité, les causes et les types de risques.
- f. Fournir des informations standard et des normes en matière de sécurité industrielle.
- g. Développement d'équipements et de systèmes de protection pour le personnel, l'équipement, les matériaux et le lieu [18].

#### IV.6 Tâches de sécurité personnelle :

L'équipement de protection individuelle est considéré comme un bouclier pour protéger les travailleurs sur le lieu de travail contre les sources de danger ou de dommage, il est donc nécessaire d'essayer d'éliminer ou d'isoler le danger, puis de recourir à des travaux de contrôle technique pour les sources de danger ou de dommage.

##### IV.6.1 L'équipement de protection individuelle peut être divisé selon les parties du corps en :

###### a) protection de la tête :

Un casque rigide est utilisé pour protéger la tête des chocs causés par des objets lourds tombant de haut sur le travailleur. Où de nombreux travailleurs dans le domaine de la construction sont exposés à ces dangers Travaux de démolition et de protection civile dans le domaine minier A cet effet, le casque sert à résister aux chocs [19].

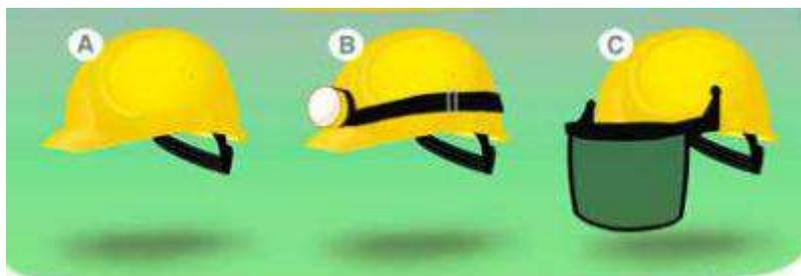
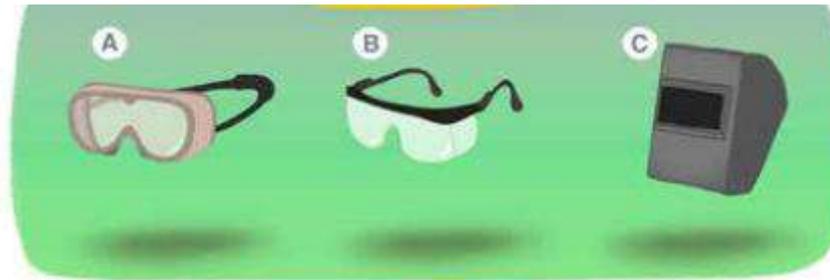


Image. IV.1 : protection de la tête.

###### b) Protection des yeux :

On utilise surtout des lunettes de type coupelle, qui ont des fentes des deux côtés pour protéger les yeux des produits chimiques résultant de la dispersion de matières liquides lors d'un déversement, et leurs lentilles peuvent être en verre ou en plastique transparent [19].



**Image. IV.2:** Protection des yeux.

**c) Protection du visage:**

Un écran facial de protection est utilisé contre les produits chimiques, et un «écran de protection» est fait de plastique spécialement traité pour faire face aux produits chimiques corrosifs et à leurs vapeurs [19].

**f) protection auditive:**

boules Quiets :Il est fait de matériaux compressibles comme le caoutchouc et réduit le niveau sonore de 10 à 15 décibels.

Casque de protection : Ces casques sont utilisés lorsque le niveau de bruit est élevé à un degré élevé, où la tête "les os de la tête" doivent être protégés des bruits forts. Plastique à haute résistance, doublé de caoutchouc mousse à l'intérieur, et équipé de cache-oreilles, réduisant le niveau sonore de plus de 35 décibels [19].

**h) Prévention suite à une chute de hauteur :**

Les personnes qui travaillent dans le domaine de la construction et travaillent sur des échafaudages et des préposés à l'entretien d'équipements d'usine géants et de réservoirs de stockage sont exposées à des chutes depuis des hauteurs en raison d'un manque d'expérience, d'un manque d'informations ou de l'ère moderne [19].

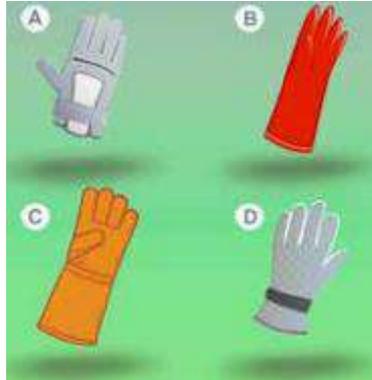
**e) Protection des mains :**

Pour protéger la main des risques chimiques et électriques graves, différents types de gants sont utilisés pour les raisons suivantes :

- ✓ Pour se protéger des risques mécaniques, utiliser des gants en cuir.
- ✓ Pour vous protéger des dangers des produits chimiques, utilisez des gants en caoutchouc ou en plastique.
- ✓ Pour vous protéger des risques électriques, utilisez des gants en caoutchouc entièrement sans carbone et testez à 20 000 volts.
- ✓ Pour se protéger des objets tranchants, des gants en cuir et doublés d'un grillage

métallique sont utilisés.

- ✓ Pour se protéger de la chaleur, utiliser des gants en amiante ou en cuir [19].



**Image. IV.3 :** Protection des mains.

#### k) protection des pieds :

Des chaussures de protection faites de différents matériaux, variant selon la nature du travail, sont utilisées pour protéger le pied contre la chute d'objets lourds ou Risques d'exposition à des produits chimiques, à des risques électriques ou à des risques de glissade d'où :

- ✓ Les chaussures à bout dur sont utilisées pour empêcher les objets lourds de tomber.
- ✓ Des bottes en caoutchouc sont utilisées pour prévenir les risques électriques.
- ✓ Les chaussures à semelle utilisent du caoutchouc sans carbone pour se prémunir contre les risques électriques.
- ✓ Les chaussures à semelles en caoutchouc en feuille métallique sont utilisées pour protéger le travailleur des objets durs [19].



**Image. IV.4.**protection des pieds.

**g) protection du corps :**

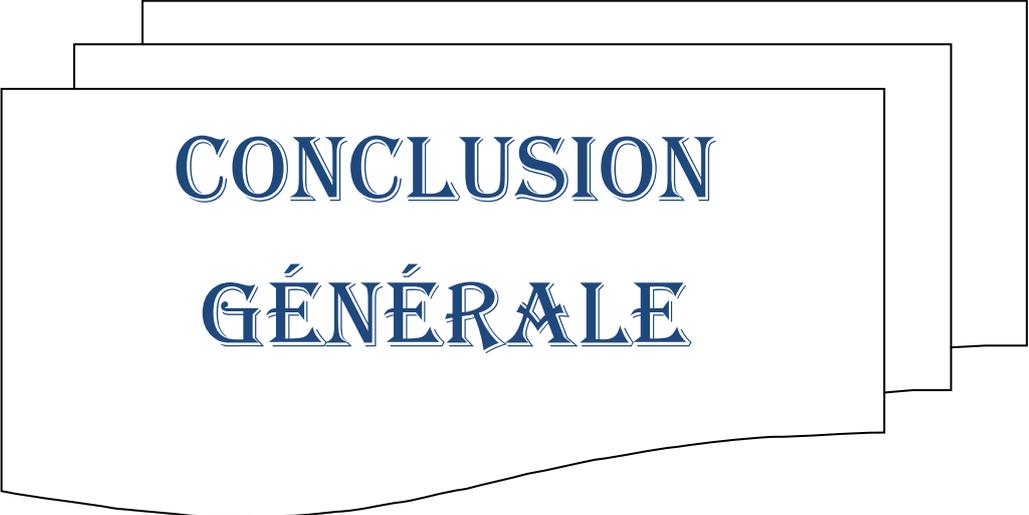
- ✓ Les pantalons en caoutchouc ou en plastique sont utilisés pour se protéger contre les risques électriques et chimiques.
- ✓ Des pantalons en cuir ou en amiante sont utilisés dans le cas de la prévention des incendies, et des matériaux alternatifs à l'amiante ont été utilisés.
- ✓ Une combinaison complète d'amiante est utilisée recouverte d'une feuille d'aluminium, où ces feuilles ont une surface brillante qui reflète la chaleur du rayonnement en cas d'exposition aux rayons X ou gamma [20].



**Image. IV.5** protection du corps.

**IV.7 Conclusion :**

HSE est la discipline qui contribuera le plus à gérer efficacement les risques traditionnels chroniques encore loin d'être suffisamment compétent, que ce soit dans les pays en développement ou dans d'autres pays industriels. Cependant, il est important que les principes de la santé au travail soient appliqués. Elle se fait dans une perspective plus large où la question de la santé globale et du bien-être des travailleurs sont pris en compte [19].



**CONCLUSION  
GÉNÉRALE**

### Conclusion générale

La maintenance industrielle périodique a pour objectif de chercher loin à assurer le bon fonctionnement de l'équipement, ce qui à son tour réduit les pertes et les coûts de production, en particulier pour les établissements industriels.

De plus, cela réduit les coûts directs, et il est également possible de contribuer à la valorisation de certains matériaux, et la question de la maintenance industrielle affecte la qualité de la production.

Les ouvriers de maintenance industrielle ont besoin de connaître les pannes les plus importantes à traiter, dont certaines ne sont pas importantes en termes de mémorisation des effets et de coût. L'historique de fonctionnement nous a permis d'utiliser le diagramme de Pareto qui nous permet de sélectionner plusieurs problèmes à traiter en priorité, à nous apporter comme suit : fois Les grosses réparations du moteur Caterpillar qui nécessitent une intervention sont majoritairement réalisées par ceux qui le sont le moins.

L'analyse cause-effet par la méthode ISHIKAWA nous a permis d'identifier les causes possibles des pannes selon la loi des 5 M, après avoir réalisé l'analyse de l'arbre de panne, nous avons proposé quelques traitements pour les causes identifiées par la méthode Ishikawa dans un tableau appelé (causes et remèdes).

## Annexe 01

**Tableau : DETERMINATION LA VALEUR ( $D_n \alpha$ ) DE TEST (KOLMOGOROV SMIRNO).**

N	Seuils critiques $D\alpha$ (n)				
	a= 0.20	a= 0.15	a = 0.10	a = 0.05	a= 0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.210	0.220	0.240	0.270	0.320
30	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.190	0.210	0.230	0.270
>35	$1.07 / \sqrt{n}$	$1.14 / \sqrt{n}$	$1.22 / \sqrt{n}$	$1.36 / \sqrt{n}$	$1.63 / \sqrt{n}$

## Annexe 02

<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>β</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
<b>0,2</b>	120	1901	<b>1,7</b>	0,8922	0,54	<b>4,4</b>	0,9146	0,235
<b>0,25</b>	24	199	<b>1,75</b>	0,8906	0,525	<b>4,5</b>	0,9125	0,23
<b>0,3</b>	9,2625	50,08	<b>1,8</b>	0,8893	0,511	<b>4,6</b>	0,9137	0,226
<b>0,35</b>	5,291	19,98	<b>1,85</b>	0,8882	0,498	<b>4,7</b>	0,9149	0,222
<b>0,4</b>	3,3234	10,44	<b>1,9</b>	0,8874	0,486	<b>4,8</b>	0,9116	0,218
<b>0,45</b>	2,4686	6,46	<b>1,95</b>	0,8867	0,474	<b>4,9</b>	0,9171	0,214
<b>0,5</b>	2	4,47	<b>2</b>	0,8862	0,463	<b>5</b>	0,9162	0,21
<b>0,55</b>	1,7024	3,35	<b>2,1</b>	0,8857	0,443	<b>5,1</b>	0,9192	0,207
<b>0,6</b>	1,546	2,65	<b>2,2</b>	0,8856	0,425	<b>5,2</b>	0,9202	0,203
<b>0,65</b>	1,3663	2,18	<b>2,3</b>	0,8859	0,409	<b>5,3</b>	0,9213	0,2
<b>0,7</b>	1,2638	1,85	<b>2,4</b>	0,8865	0,393	<b>5,4</b>	0,9222	0,197
<b>0,75</b>	1,1906	1,61	<b>2,5</b>	0,8873	0,38	<b>5,5</b>	0,9232	0,194
<b>0,8</b>	1,133	1,43	<b>2,6</b>	0,8882	0,367	<b>5,6</b>	0,9241	0,191
<b>0,85</b>	1,088	1,29	<b>2,7</b>	0,8893	0,355	<b>5,7</b>	0,9251	0,186
<b>0,9</b>	1,0522	1,17	<b>2,8</b>	0,8905	0,344	<b>5,8</b>	0,9226	0,165
<b>0,95</b>	1,0234	1,08	<b>2,9</b>	0,8919	0,334	<b>5,9</b>	0,9269	0,183
<b>1</b>	1	1	<b>3</b>	0,893	0,316	<b>6</b>	0,9277	0,18
<b>1,05</b>	0,9803	0,934	<b>3,1</b>	0,8943	0,325	<b>6,1</b>	0,9266	0,177
<b>1,1</b>	0,9649	0,878	<b>3,2</b>	0,8957	0,307	<b>6,2</b>	0,9294	0,175
<b>1,15</b>	0,9517	0,83	<b>3,3</b>	0,897	0,299	<b>6,3</b>	0,9302	0,172
<b>1,2</b>	0,9407	0,787	<b>3,4</b>	0,8984	0,292	<b>6,4</b>	0,9331	0,17
<b>1,25</b>	0,99314	0,75	<b>3,5</b>	0,8997	0,285	<b>6,45</b>	0,9313	0,168
<b>1,3</b>	0,9236	0,716	<b>3,6</b>	0,9011	0,278	<b>6,5</b>	0,9316	0,167
<b>1,35</b>	0,917	0,667	<b>3,7</b>	0,9025	0,272	<b>6,55</b>	0,9321	0,166
<b>1,4</b>	0,9114	0,66	<b>3,8</b>	0,9083	0,266	<b>6,6</b>	0,9325	0,166
<b>1,45</b>	0,9067	0,635	<b>3,9</b>	0,9051	0,26	<b>6,65</b>	0,9329	0,164
<b>1,5</b>	0,9027	0,613	<b>4</b>	0,9064	0,254	<b>6,7</b>	0,9335	0,163
<b>1,55</b>	0,8994	0,593	<b>4,1</b>	0,9077	0,249	<b>6,75</b>	0,9336	0,162
<b>1,6</b>	0,8966	0,574	<b>4,2</b>	0,9086	0,244	<b>6,8</b>	0,9334	0,161
<b>1,65</b>	0,8942	0,556	<b>4,3</b>	0,9102	0,239	<b>6,9</b>	0,9347	0,15

**Distribution de Weibull** : valeurs des coefficients A et B en fonction du paramètre de forme.

## Bibliographies

- [1]. **Zahi sabeh** . doctorat de l'Institut national polytechnique de lorraine (Application `a un moteur diesel suralimenté a injection directe) décembre 2006 à vandoeuvre .
- [2]. **Dr.henni. mansour. Z**, Thermo propulsion I. chapitre III- Moteurs thermiques.tiré de l'internet
- [3]. **Pr. Merzoug**, Simulation d'un moteur à combustion interne hcci avec méthane comme carburant, université badji mokhtar annaba.
- [4]. **Abdelmadjid chehhat**. Moteurs à combustion interne (Cours et exemples résolus à l'usage des étudiants en graduation). 2017/2018 université abes laghrour de khenchela.
- [5]. **Site internet educauto.org**, classification des moteurs diesels, mai 2017.
- [6]. **A. taieb / Ben salem theme** : machines thermiques / chapitre 4.
- [7]. **G.lemasson**, les machines transformatrices d'énergie tome II : turbomachines et machine alternatives..
- [8]. **Didier golivet**, le moteur diesel, éditeurs chotard et associés, 1986
- [9]. Document de l'entreprise ENAFOR (Moteur caterpillar série 3500).
- [10]. Site internet de l'entreprise Caterpillar [www.CAT.com](http://www.CAT.com).
- [11]. **Douaba najji**, berouba Slimane thème (Analyse analytique FMD et AMDEC d'un compresseur) université ouargla 2016-2017.
- [12]. **A. belhomme**, Cours de stratégie de maintenance 2010/2011.
- [13]. **Rezgi imane**, cour maintenance industriel univ-ouargla 2017.
- [14]. **Hathat abdelkader**, Deblaoui hicham mémoire (Etude analytique FMD d'une turbine DR990) université kasdi merbah – ouargla 2014/2015.
- [15]. Polycopie FMD 2013 (Fiabilité maintenabilité disponibilité).
- [16]. **ToumiO ouail.akermi said** thème " Etude analytique de la maintenance préventive d'une turbine à gaz GE10/2 " Universte kasdi merbah ouargla 2018/2019 .
- [17]. **AIT ahmed ourida. Maitre de conférence B « USTO »**. cours d'hygiène, sécurité et d'environnement « HSE». Université des sciences et de la technologie d'oran MB.
- [18]. **Abdelatif Rachad Al-samarrai** Sécurité industriel HSE.
- [19]. Manuel thechnique pour la formation des inspecteurs de la sécurité et de la santé au travail.

## الملخص :

لمحرك الكاتربيلار اهمية كبيرة جدا في المجال الصناعي وذلك من حيث الدور الهام الذي تلعبه في المصانع بشكل عام وهو الامر الذي يستدعي مراقبتها بصفة مستمرة ومنتظمة من اجل ضمان الاداء الجيد استمرارية الانتاج.

اثبتت لدراسات ان طريقة ABC فعالة جدا في ايجاد الاسباب الرئيسية للاعطاب كما ل ICHIKAWA نتائج جيدة من حيث دراسة الاعطاب و ضمان صيانة المحرك.

الكلمات الدالة : صيانة , قابلية الصيانة , الموثوقية, الوفرة

## Résumé :

Le moteur Caterpillar a une très grande importance dans le domaine industriel de par le rôle important qu'il joue dans les usines en général, ce qui nécessite sa surveillance continue et régulière afin d'assurer de bonnes performances et une continuité de production.

Des études ont prouvé que la méthode ABC est très efficace pour trouver les principales causes de pannes, car ICHIKAWA a de bons résultats en termes d'étude des pannes et d'assurance de la maintenance des moteurs.

**Mots clés :** maintenance, maintenabilité, fiabilité , disponibilité.

## Abstract :

The Caterpillar engine has a very great importance in the industrial field in terms of the important role it plays in factories in general, which calls for its continuous and regular monitoring in order to ensure good performance and production continuity.

Studies have proven that the ABC method is very effective in finding the main causes of faults, as ICHIKAWA has good results in terms of studying faults and ensuring engine maintenance.

**Keys:** Maintenance, maintainability, reliability, availability.