



*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique*



*Université de Ghardaïa*

*N° d'enregistrement*

*/...../...../...../...../.....*

**Faculté des Sciences et Technologies**

**Département d'automatique et électromécanique**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**Domaine : *Sciences et Technologie***

**Filière : *Electromécanique***

**Spécialité : *Maintenance industrielle***

**Présenté par :**  
**GHADA Houssame eddine**  
**DEKHINISSA Messaoud**

**Thème**

**OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE DES MOTEURS 6  
CYLINDRES DES CAMIONS POIDS**

**Soutenu publiquement le : 21/06/2023**

**Devant le jury :**

AZZAOUI Mohammed	MCA	Université de Ghardaïa	Président
BENDAOUI Messaoud	MCB	Université de Ghardaïa	Examinateur
ZITANI Brahim	MAA	Université de Ghardaïa	Encadreur

**Année universitaire 2022/2023**



## **REMERCIEMENT**

En premier lieu, nous tenons à remercier notre Allah, qui nous a donné la force accomplir ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude et ma reconnaissance au Mr. ZITANI BRAHIM pour son encadrement et son soutien tout en long de ce travail m'offrant ainsi la possibilité de mener à bien ce mémoire de fin d'études.

Comme je tiens à exprimer ma profonde gratitude et sincères remerciements à Mr. AKERMI FAOUZI qui m'ont dirigé dans ce travail avec beaucoup de gentillesse beaucoup de bienveillance et d'une patience infinie envers moi en vue de surmonter mes difficultés pendant toute la durée notre travail, sans oublier de remercier tout le corps enseignant du département d'électromécanique de la faculté de sciences et technologie.

Sans oublier de remercier tout travailleur de l'atelier TRUCK TEC.

Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.



# *Dédicace*

*Je dédie ce travail à mes chers parents  
pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur  
tendresse, leur soutien et leurs prières tout  
au long de mes études*

*À ma chère sœur et mes frères pour  
leurs encouragements permanents, et leur  
soutien moral*

*À toute ma famille et mes amis de près ou  
de loin pour leur soutien tout au long de  
mon parcours universitaire*

**GHADA HOUSSAME EDDINE**

# Dédicace

*Nous dédions ce travail à ceux que nous aimons le plus, à nos chers parents qui ont toujours été avec nous et à nos estimés enseignants, et remercions mes parents pour tout le soutien qu'ils m'ont apporté malgré les circonstances difficiles que nous traversons. Tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin et à tous les sacrifices et conseils de tous mes amis religieux qui parfois m'encourageaient.*

**DEKHINISSA MESSAOUD**

## Liste des figures

<b>Figure I.1:</b> Principe de fonctionnement.....	2
<b>Figure I.2:</b> Les organes d'un moteur thermique. ....	2
<b>Figure I.3:</b> Le bloc cylindre. ....	3
<b>Figure I.4:</b> La culasse. ....	3
<b>Figure I.5:</b> Joint de culasse. ....	4
<b>Figure I.6:</b> Chemise de cylindre.....	4
<b>Figure I.7:</b> Carter. ....	4
<b>Figure I.8:</b> Collecteur d'échappement.....	5
<b>Figure I.9:</b> Piston.....	5
<b>Figure I.10:</b> La bielle. ....	6
<b>Figure I.11:</b> Le vilebrequin. ....	6
<b>Figure I.12:</b> Volant moteur. ....	7
<b>Figure I.13:</b> Soupapes.....	7
<b>Figure I.14:</b> Arbre à cames. ....	7
<b>Figure I.15:</b> Différentes étapes de fonctionnement d'un M.C.I 4 temps.....	10
<b>Figure I.16:</b> Cycle diesel théorique. ....	11
<b>Figure I.17:</b> L'injection directe.....	13
<b>Figure I.18:</b> Les structures des préchambres de combustion. ....	13
<b>Figure I.19:</b> Circuit de lubrification. ....	14
<b>Figure I.20:</b> Circuit de refroidissement. ....	15
<b>Figure II.1:</b> Types des maintenances. ....	18
<b>Figure II.2:</b> Maintenance préventive. ....	19
<b>Figure II.3:</b> Maintenance préventive systématique. ....	20
<b>Figure II.4:</b> Maintenance préventive conditionnelle.....	21
<b>Figure II.5:</b> Maintenance corrective.....	21
<b>Figure II.6:</b> Représentation des temps moyens.....	24
<b>Figure II.7:</b> Courbes paramétriques A) Répartition B) Fiabilité de la fiabilité. ....	26
<b>Figure II.8:</b> Papier de Weibull. ....	27
<b>Figure II.9:</b> Courbe théorique (densité de probabilité $f(t)$ ).....	27
<b>Figure II.10:</b> Courbe en baignoire.....	28

<b>Figure II.11:</b> Formes de $f(t)$ , $R(t)$ , $\lambda(t)$ en fonction de $\beta$ .....	29
<b>Figure II.12:</b> La Courbe ABC (Pareto). .....	31
<b>Figure II.13:</b> Représentation graphique du diagramme Ishikawa.....	33
<b>Figure III.1:</b> Représentant la Localisation De de L'atelier TRUCK TEC.....	34
<b>Figure III.2:Représentant la façade avant de l'atelier.</b> .....	35
<b>Figure III.3:</b> Représentant des stations d'arrêt des camions. ....	35
<b>Figure III.8:</b> Réparation de structures de camions.....	37
<b>Figure IV.1:</b> Papier de Wei bull. ....	42
<b>Figure IV.2:</b> La Courbe Densité De Probabilité. ....	45
<b>Figure IV.3:</b> La Courbe de Fonction Répartition.....	46
<b>Figure IV.4:</b> La Courbe de la Fonction Fiabilité.....	47
<b>Figure IV.5:</b> Le courbe taux de défaillance. ....	48
<b>Figure IV.6:</b> La Courbe de Maintenabilité. ....	49
<b>Figure IV.7:</b> La Courbe de disponibilité. ....	50
<b>Figure IV.8:</b> La courbe ABC (Pareto).....	52
<b>Figure IV.9:</b> Analyse Ishikawa Dégradation du rendement de moteur.....	53
<b>Figure IV.10:</b> Analyse Ishikawa Le moteur ne démarre pas. ....	53
<b>Figure IV.11:</b> Analyse Ishikawa arrêt de moteur MAN. ....	54

## Liste des Tableaux

<b>Tableau I-1</b> : Cycle diesel.....	12
<b>Tableau II-1</b> :Test de Kolmogorov-Smirnov, valeurs de $D_n.\alpha$ .....	30
<b>Tableau IV-1</b> :Historique des pannes du moteur MAN TGA 400.....	40
<b>Tableau IV-2</b> :Application du modèle de weibull. ....	41
<b>Tableau IV-3</b> :Test de Kolmogorov-Smirnov. ....	43
<b>Tableau IV-4</b> :Calcul la fonction de la densité de probabilité.....	44
<b>Tableau IV-5</b> :Calcul la Fonction de répartition.....	45
<b>Tableau IV-6</b> :Calcul de la fiabilité. ....	46
<b>Tableau IV-7</b> :Calcul le taux de défaillance. ....	47
<b>Tableau IV-8</b> :Calcul la maintenabilité.....	48
<b>Tableau IV-9</b> :Calcul la disponibilité instantanée. ....	50
<b>Tableau IV-10</b> :Les analyse ABC (Pareto).....	51

## Liste des abréviations

**MCI** : Moteur à combustion interne.

**PMH** : Point mort haut du piston.

**PMB** : Point mort bas du piston.

**AFNOR** : Association française de normalisation.

**MTBF** : (**MeanTime BetweenFailer**) Moyenne des temps entre défaillance.

**MTTR** : (**MeanTime To Repair**) Moyenne des Temps de réparation.

**MDT** : (**MeanDown Time**) : la duréemoyenned'indisponibilité.

**MUT** : (**MeanUp Time**)la durée moyenne de fonctionnement après réparation.

**FMD** :Fiabilité **M**aintenabilité **D**isponibilité.

**R(t)** : Fonction de fiabilité.

**F(t)** : Fonction de défaillances.

**f (t)** : Densité de probabilité.

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

**$\mu$**  :Temps de réparation.

# SOMMAIRE

REMERCIEMENT .....	I
DEDICACE .....	II
DEDICACE .....	III
Liste des figures .....	IV
Liste des Tableaux .....	V
Liste des abréviations .....	VI
Introduction générale .....	VII

## CHAPITRE I:RECHERCHE BIBLIOGRAPHIE

.I Généralités sur les moteurs thermiques : .....	1
I.1 Introduction : .....	1
I.2 Historique du moteur thermique : .....	1
I.3 Définition : .....	1
I.4 Le moteur thermique à combustion interne : .....	1
I.5 Ensemble d'un moteur thermique : .....	2
I.6 Architecture d'un moteur à combustion interne : .....	2
I.6.1 Les organes fixes : .....	3
I.6.1.1 Le bloc cylindre : .....	3
I.6.1.2 La culasse : .....	3
I.6.1.3 Joint de culasse : .....	3
I.6.1.4 Chemise de cylindre : .....	4
I.6.1.5 Carter : .....	4
I.6.1.6 Collecteurs d'admission et d'échappement : .....	5
I.6.2 Les organes mobiles : .....	5
I.6.2.1 Piston : .....	5
I.6.2.2 La bielle : .....	5
I.6.2.3 Le vilebrequin : .....	6
I.6.2.4 Volant moteur : .....	6
I.6.2.5 Soupapes : .....	7
I.6.2.6 Arbre à cames : .....	7
I.7 Catégorisation des moteurs à combustion interne.	
I.8 Comparaison entre le moteur Diesel et le moteur à explosion : .....	8
I.9 Principe de fonctionnement : .....	9
I.9.1 Moteurs quatre temps : .....	9
I.10 Principaux cycles du moteur à combustion interne : .....	10
I.10.1 Le cycle du Diesel : .....	11

I.11	Classification des moteurs diesel :	12
I.12	Les circuits complémentaires :	14
I.12.1	Le circuit de lubrification :	14
I.12.1.1	Le but des circuits de lubrification :	14
I.12.2	Le circuit de refroidissement :	15
I.12.2.1	Le rôle du circuit de refroidissement :	15
I.13	Conclusion :	16

## **CHAPITRE II: GÉNÉRALITÉS SUR LA MAINTENANCE**

<b>II.</b>	<b>Généralités sur la maintenance :</b>	<b>17</b>
II.1	Introduction :	17
II.2	Définition de la maintenance :	17
II.2.1	Les objectifs de la maintenance :	17
II.3	Les type des maintenances :	18
II.3.1	La maintenance préventive :	19
II.3.1.1	Les opérations de la maintenance préventive :	19
II.3.1.2	Buts de la maintenance préventive :	19
II.3.1.3	Maintenance préventive systématique :	20
II.3.1.4	Maintenance préventive conditionnelle :	20
II.3.1.5	Maintenance prévisionnelle :	21
II.3.2	Maintenance corrective :	21
II.3.2.1	La maintenance palliative :	21
II.3.2.2	La maintenance curative :	21
II.3.3	La maintenance d'amélioration :	22
II.4	Les niveaux de maintenance :	22
II.5	Les temps de la maintenance :	24
II.6	Etude de la fiabilité :	25
II.6.1	Définition de la fiabilité :	25
II.6.2	Objectifs de la fiabilité :	25
II.6.3	Représentation graphique de $F(t)$ , $R(t)$ :	25
II.7	Lois d'analyse usuelles de fiabilité :	26
II.7.1	Modèle de WEIBULL :	26
II.7.1.1	Estimation des paramètres du modèle de WEIBULL :	26
II.7.1.2	Echelles utilisées sur le papier de Weibull :	26
II.7.2	Preuve d'adéquation :	29
II.7.3	Test Kolmogorov Smirnov :	29
II.7.4	Maintenabilité :	30
II.7.4.1	Calcul de la maintenabilité :	30
II.7.5	Disponibilité :	31
II.7.5.1	Types de disponibilité :	31
II.7.6	Le diagramme ABC (PARETO) :	31
II.7.6.1	Les objectifs de la loi de Pareto :	32

II.7.7	Diagramme causes-effet (ou ISHIKAWA ou en ARETE DE POISSON ou 5M) ..32	32
II.7.7.1	But de méthode ISHIKAWA : .....	32
II.8	Conclusion : .....	33

### **CHAPITRE III :PRÉSENTATION DE L'ATELIER**

<b>III.</b>	<b>Introduction : .....</b>	<b>34</b>
<i>III.1</i>	<i>Les Service de l'atelier : .....</i>	<i>35</i>
III.1.1	Entretien d'un poids lourd : .....	35
III.1.2	Réparation mécanique : .....	36
III.1.3	Réparation électrique : .....	36
III.1.4	Scanner (diagnostic) : .....	36
III.1.5	Tôlerie.....	36
III.1.6	Petit magasin : .....	37
<i>III.2</i>	<i>Conclusion : .....</i>	<i>37</i>

### **CHAPITREIV :PARTIE D'APPLICATION**

<b>IV.</b>	<b>Introduction : .....</b>	<b>40</b>
IV.1	L'application Pratique des méthodes d'analyse : .....	40
<i>IV.2</i>	<i>Etude FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) : .....</i>	<i>41</i>
IV.2.1	Calcul les paramètres de Wei bull : .....	41
IV.2.2	Test (Kolmogorov Smirnov).....	42
IV.2.3	Exploitation les paramètres de WEIBULL : .....	43
IV.2.3.1	Le MTBF : .....	43
IV.2.3.2	La densité de probabilité en fonction de MTBF : .....	43
IV.2.3.3	La fonction de répartition en fonction de MTBF : .....	44
IV.2.3.4	La fiabilité en fonction de MTBF : .....	44
IV.2.3.5	Le taux de défaillance en fonction de MTBF : .....	44
IV.2.3.6	Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique : .....	44
IV.2.4	Étude de modèle de Wei bull : .....	44
IV.2.4.1	La fonction de la densité de probabilité : .....	44
IV.2.4.2	Fonction de répartition F(t) : .....	45
IV.2.4.3	La fiabilité R(t) : .....	46
IV.2.4.4	Le taux de défaillance : .....	47
IV.2.4.5	Calcul la Maintenabilité de la moteur MAN TGA 400 : .....	48
IV.2.4.6	Calcul la disponibilité du moteur MAN TGA 400 : .....	49
IV.2.4.6.1	Disponibilité intrinsèque théorique : .....	49
IV.2.4.6.2	Disponibilité instantanée : .....	49
<i>IV.3</i>	<i>Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto) » : .....</i>	<i>50</i>
IV.3.1	La courbe d'analyse ABC : .....	52
IV.3.2	Interprétation des résultats : .....	52
<i>IV.4</i>	<i>Diagramme causes-effet (Diagramme Ishikawa) : .....</i>	<i>53</i>
IV.4.1	Analyse d'intervention Dégradation du rendement de moteur : .....	53
IV.4.2	Analyse d'intervention Le moteur ne démarre pas : .....	53
IV.4.3	Analyse d'intervention arrêt de moteur MAN TGA 400 : .....	54
<i>IV.5</i>	<i>Conclusion : .....</i>	<i>54</i>

<b>Conclusion générale.....</b>	<b>56</b>
<b>Références Bibliographies .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Annexe I.....</b>	<b>IX</b>
<b>Annexe II.....</b>	<b>X</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>XI</b>

# Introduction générale

Les moteurs thermiques sont une composante essentielle de la société moderne et ont un rôle important dans notre vie quotidienne. Les deux types de moteurs thermiques les plus courants sont les moteurs à combustion interne et les turbines à vapeur, ces moteurs sont très efficaces et fiables.

les moteurs à combustion interne sont le type de moteur thermique le plus couramment utilisé. Ces moteurs se trouvent dans les voitures, les camions, les motos et d'autres types de véhicules.

Le but de ce travail est de connaître les composants du moteur à combustion interne en général et d'étudier le moteur diesel en particulier en raison de sa prévalence courante dans les véhicules lourds tels que les camions et les autobus, ainsi que dans les équipements industriels et agricoles.

Il faut également étudier les bases de la maintenance pour améliorer la fiabilité de ces moteurs grâce à la mise en place d'une stratégie de maintenance qui s'adapte à l'usine pour la sécurité des personnes, de l'environnement et des biens.

Nous proposons, pour ce faire, de structurer et de présenter notre travail dans ce manuscrit comme suit :

Le CHAPITRE 1 intitulé « RECHERCHE BIBLIOGRAPHIE » fournit une vue d'ensemble globale des moteurs à combustion interne.

Le CHAPITRE 2 s'intitule « GÉNÉRALITÉS Sur LA MAINTENANCE » est réservé à l'étude théorique sur la maintenance et quelques diagrammes (Pareto, Ishikawa) et des concepts FMD en maintenance, après avoir rappelé quelques notions et généralités sur la maintenance.

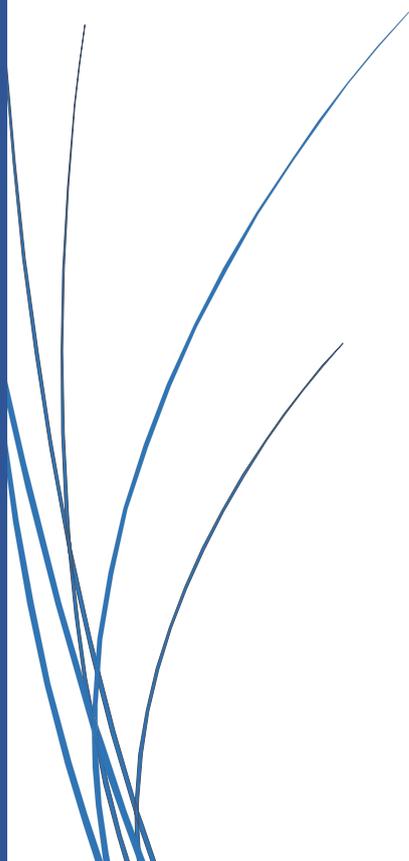
Le CHAPITRE 3 intitulé « PRÉSENTATION DE L'ATELIER » qui contient L'atelier TRUCK TEC situé dans la zone industrielle à Berriane a GHARDAIA.

Le CHAPITRE 4 intitulé « PARTIE D'APPLICATION » qui affiche l'application de maintenance préventive et l'approche de fiabilité pour le type de moteur MAN TGA 400, enfin les résultats et leurs discussions seront présentés à la fin du chapitre.

Finalement, une conclusion générale qui résumera tous les résultats obtenus dans notre travail pour sceller ce manuscrit.

## Chapitre I

# Recherche Bibliographique



# I. Généralités sur les moteurs thermiques

## I.1 Introduction

Un moteur thermique est un dispositif qui transforme l'énergie chimique de carburant en énergie thermique pour la convertir à un travail utile. Il peut être classé en deux types : moteur à combustion interne et moteur à combustion externe.

Le moteur à combustion interne fonctionne en brûlant du carburant à l'intérieur d'un cylindre pour produire de l'énergie mécanique. Le moteur à combustion interne est un élément essentiel des transports modernes, alimentant la grande majorité des voitures, camions et bus sur la route aujourd'hui. Il existe deux principaux types de MCI : les moteurs à essence et les moteurs diesel. Les deux types de moteurs fonctionnent en utilisant un mélange de carburant et d'air pour créer une explosion contrôlée qui entraîne un piston.

## I.2 Historique du moteur thermique

1824 : S. Carnot énonce le principe de l'évolution d'une masse de gaz suivant un cycle fermé. Ce cycle nommé " cycle de Carnot " constitue la base de fonctionnement des moteurs à combustion interne à piston. 1850 : Lenoir construit le premier moteur. Fonctionnant selon le cycle à 2 temps sans Compression. 1862 : Beau de Rochas développa le cycle de Carnot pour énoncer le principe d'un moteur à 4 temps avec compression préalable. 1876 : N. Otto construit le premier moteur fonctionnant au gaz d'après le cycle à 4 temps. Jusqu'à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, les moteurs fonctionnant selon le cycle Beau de Rochas ou à allumage commandé prédomine dans tous les secteurs, mais avec des puissances faibles. Du début du 20<sup>ème</sup> siècle à la fin de la 2<sup>ème</sup> guerre mondiale, ils connurent un développement considérable. Actuellement, ils sont employés principalement dans la traction automobile. 1893 : Rudolph Diesel propose le principe d'un moteur à compression constante. 1895 – 1897 : réalisation des premiers moteurs d'après le principe de Diesel dès le début du 20<sup>ème</sup> siècle, les moteurs fonctionnant d'après le cycle de Diesel surclassèrent les moteurs à volume constant dans le domaine des fortes puissances : secteurs industriels, traction ferroviaire, propulsion marine, installations de forage et de pompage, centrales électrique.

## 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"

Si la combustion a lieu au sein d'un moteur thermique, on parle alors de moteur à combustion interne. Cette configuration est couramment utilisée dans les moteurs automobiles d'aujourd'hui, où la génération de travail mécanique se produit par l'explosion et l'expansion des gaz sous haute pression et température[1].

## I.4 Le moteur thermique à combustion interne

Dans les moteurs à combustion interne, c'est la combustion du fluide qui fournit la chaleur, aussi utilise-t-on le plus souvent, comme combustible, un dérivé d'hydrocarbure. La combustion se déroule dans un endroit fermé appelé "chambre de combustion". La réaction

chimique de combustion provoque l'accroissement de la pression et de la température. Un mécanisme approprié transforme cette pression en effort mécanique utile. La transformation en chaleur se produisant à l'intérieur même du moteur, nous appellerons celui-ci moteur MCI

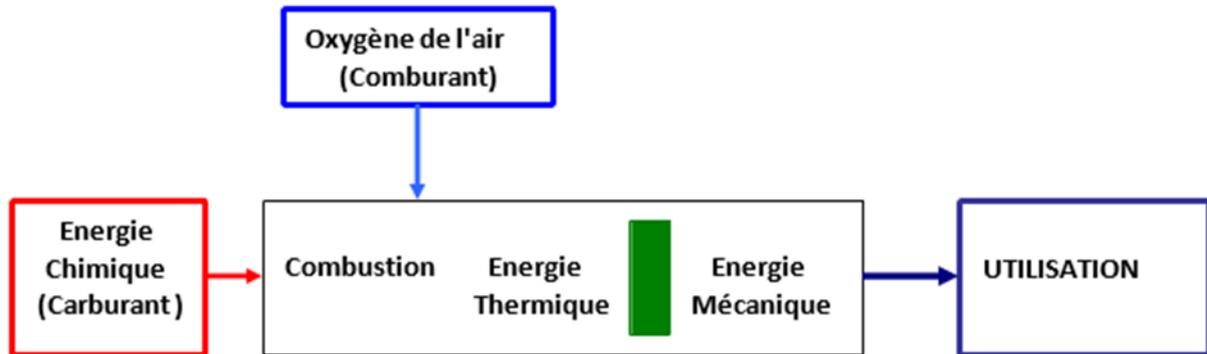


Figure I.1: Principe de fonctionnement.

### I.5 Ensemble d'un moteur thermique

Les organes d'un moteur thermique (figure I.2).

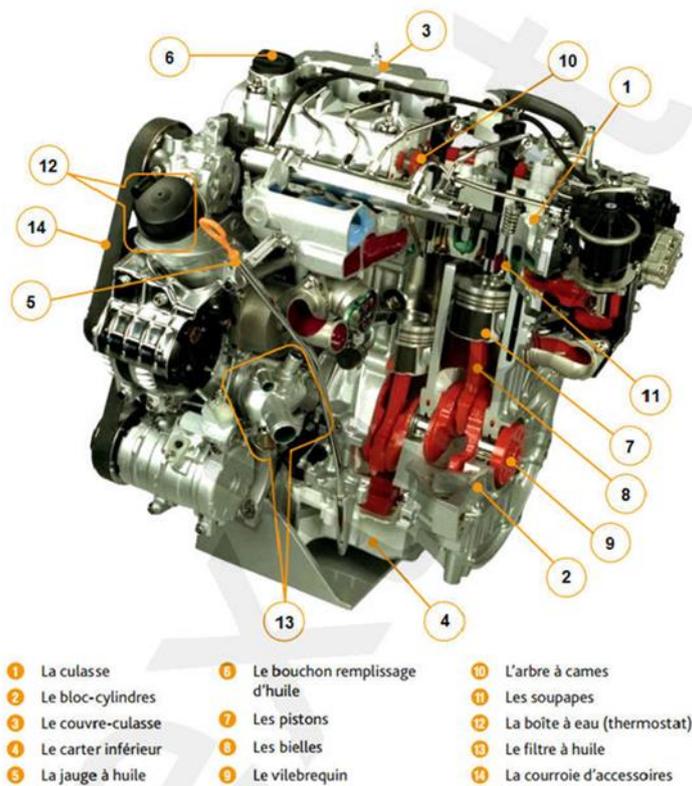


Figure I.2: Les organes d'un moteur thermique.

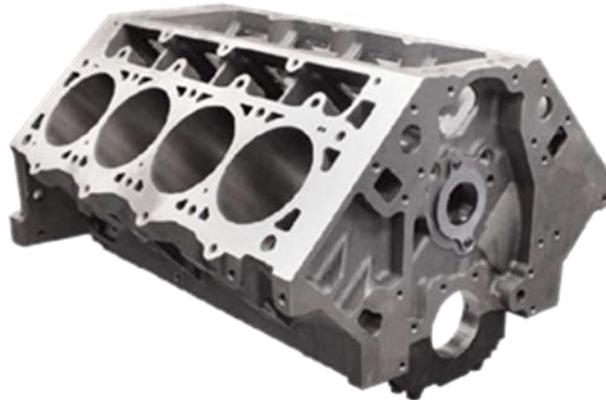
### I.6 Architecture d'un moteur à combustion interne

Ce moteur se compose de nombreux constituants, ayant chacun des fonctions bien définies.

## I.6.1 Les organes fixes

### I.6.1.1 Le bloc cylindre

Il s'agit de la composante principale du moteur, souvent réalisée en une seule pièce en fonte. Les cylindres peuvent être usinés ou forés pour accueillir des chemises. Un système de circulation d'eau est en place pour le refroidissement. Pour effectuer la vidange du liquide de refroidissement, un bouchon de vidange est positionné au point le plus bas du cylindre dans le bloc-cylindres.



**Figure I.3:**Le bloc cylindre.

### I.6.1.2 La culasse

La culasse est une composante statique située en haut du cylindre, elle assure la fermeture du cylindre et forme la chambre de combustion. Elle intègre les éléments de distribution, l'injecteur, ainsi que les conduits d'admission et d'échappement. En raison des importantes contraintes thermiques auxquelles elle est soumise, des passages d'eau sont nécessaires pour assurer son refroidissement.



**Figure I.4:**La culasse.

### I.6.1.3 Joint de culasse

Le joint de culasse, habituellement constitué de deux feuilles de cuivre entourant une feuille d'amiante, ou parfois réduit à une simple feuille de cuivre, a pour rôle d'assurer l'étanchéité entre la culasse et le bloc-cylindres.



**Figure I.5:**Joint de culasse.

**I.6.1.4 Chemise de cylindre**

Il se situe dans le bloc-cylindrique dans lequel se déplace le piston.

moteur et c'est l'élément



**Figure I.6:**Chemise de cylindre.

**I.6.1.5 Carter**

Le carter moteur est la partie en forme de bol qui renferme les têtes de vilebrequin et de bielle, ainsi que le réservoir d'huile de lubrification. Il est couramment fabriqué en utilisant une technique de tôle emboutie.



**Figure I.7:**Carter.

### I.6.1.6 Collecteurs d'admission et d'échappement

Le collecteur d'admission comprend des passages qui acheminent les gaz frais vers les soupapes d'admission, tandis que le collecteur d'échappement contient des passages qui dirigent les gaz d'échappement provenant des soupapes d'échappement.



Figure I.8:Collecteur d'échappement.

## I.6.2 Les Organes mobiles

### I.6.2.1 Piston

Le piston est un élément mobile qui glisse de haut en bas à l'intérieur du cylindre, créant ainsi un mouvement des gaz ou une variation de leur pression. Dans les machines où le piston a une forme cylindrique, il est relié au vilebrequin par une bielle ou tige de piston. Le piston est entouré de segments de piston qui garantissent une bonne étanchéité entre ses deux côtés.



Figure I.9:Piston.

### I.6.2.2 La bielle

Cette pièce relie le piston et le vilebrequin pour transmettre les forces de gaz du piston au vilebrequin. Les extrémités de la bielle sont les appelées petites extrémités et la grande extrémité. La petite extrémité est reliée au piston par un axe de piston et la grande extrémité est reliée au vilebrequin par un maneton.

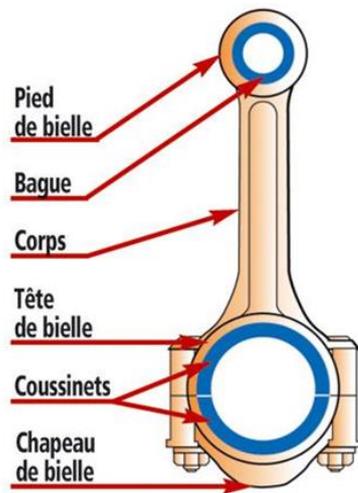


Figure I.10:La bielle.

**I.6.2.3 Le vilebrequin**

Il transmet l'énergie mécanique entre les bielles et le volant moteur, permet de démarrer le moteur avec un démarreur ou une manivelle, commande tous les mécanismes auxiliaires et alimente en huile sous pression les différentes têtes de bielles.



Figure I.11:Le vilebrequin.

**I.6.2.4 Volant moteur**

Le volant d'inertie stocke l'énergie pour la restituer dans les moments difficiles, régule la vitesse du vilebrequin, agit comme un stabilisateur pour l'ensemble du moteur, transmet l'énergie aux composants de la transmission, fournit la poussée du moteur à travers le démarreur à l'aide de la couronne dentée, sert de surface d'appui pour l'attelage. Plus un moteur a de cylindres, moins il a besoin de masse du volant moteur, car les temps de fonctionnement des moteurs sont plus rapprochés[4].



Figure I.12: Volant moteur.

I.6.2.5 Soupapes

Les soupapes d'admission ont en général un diamètre supérieur à celui des soupapes d'échappement. Leur fonction est de contrôler le débit de gaz à l'extérieur de la bouteille. [6]



Figure I.13: Soupapes.

I.6.2.6 Arbre à cames

Il contient une série de cames, chacune actionnant une soupape. Comprend également des goupilles et des pignons excentriques et actionne également le robinet de carburant, le delco et la pompe à huile. Il est en acier forgé et matricé.

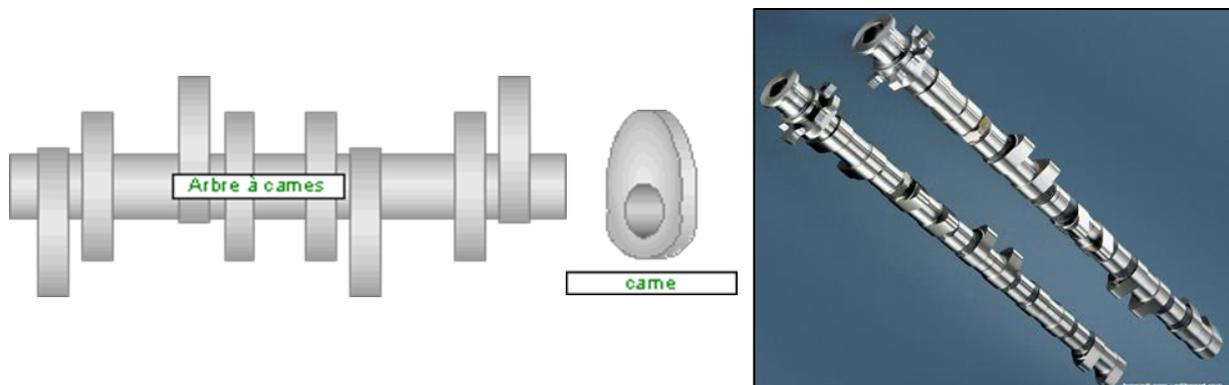
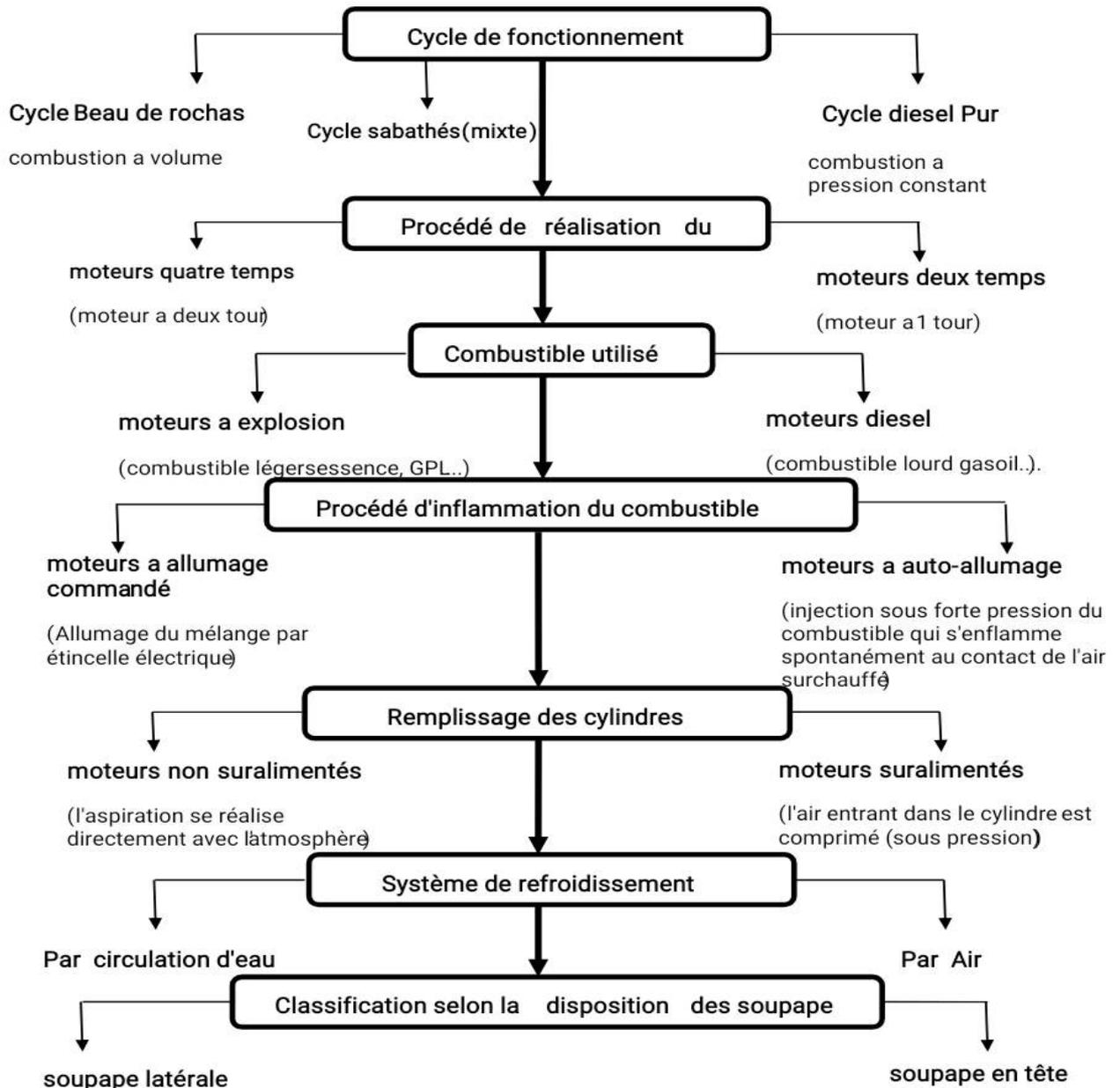


Figure I.14: Arbre à cames.

### I.7 Catégorisation des moteurs à combustion interne



### I.8 Comparaison entre le moteur Diesel et le moteur à explosion

Le moteur diesel présente plusieurs différences par rapport au moteur à essence. Dans le moteur à essence, le mélange air-essence est formé à l'extérieur du cylindre, dans le carburateur. En revanche, dans le moteur diesel, le mélange se forme directement dans le cylindre, où l'air est aspiré et le carburant est injecté ultérieurement à l'aide d'un injecteur alimenté par une pompe d'injection. Cette pompe lui confère une pression supérieure à celle qui règne dans le cylindre en fin de compression, facilitant ainsi son introduction. Dans le

moteur à essence, on cherche à augmenter le taux de compression, mais cela est limité par le phénomène d'auto-allumage. En revanche, dans le moteur diesel, seul l'air est aspiré et peut être comprimé sans inconvénient, atteignant des pressions et des températures très élevées. Le taux de compression est plus élevé dans le moteur diesel par rapport au moteur à essence, ce qui permet d'obtenir un rendement d'environ 35 %, tandis que le rendement d'un moteur à essence ne dépasse pas 25 %. C'est au contact de cet air comprimé que le carburant injecté s'enflamme. Comparativement au moteur à essence, le moteur diesel ne possède ni carburateur ni système d'allumage. Chaque cylindre du moteur diesel dispose d'un système d'alimentation distinct comprenant un injecteur et un composant de la pompe d'injection [1].

## I.9 Principe de fonctionnement

### I.9.1 Moteurs quatre temps

Le moteur est désigné comme un moteur à quatre temps en raison de ses quatre mouvements de piston avant de terminer le processus de combustion. Les quatre phases de course permettent d'accomplir un cycle thermodynamique complet. Le schéma du moteur à quatre temps est illustré dans la (**figure I.15**).

Le cycle fonctionnement est divisé analytiquement en quatre étapes :

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

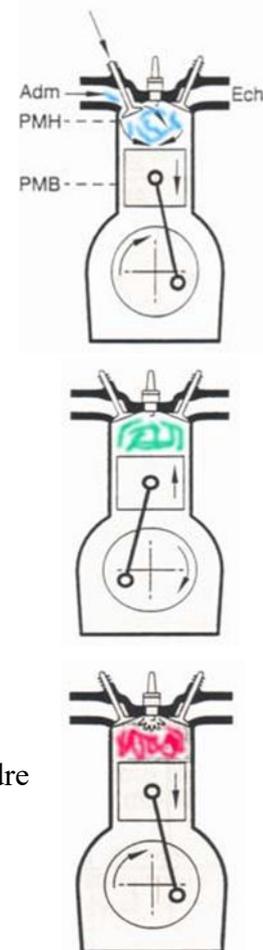
- Le piston décrit une course descendante du PMH au PMB ;
- La soupape d'admission est ouverte ;
- Le mélange air + carburant préalablement dosé pénètre dans le cylindre ;
- L'énergie nécessaire pour effectuer ce temps est fournie au piston par le vilebrequin par l'intermédiaire de la bielle.

#### 2<sup>-ème</sup> temps : la compression

- Les 2 soupapes sont fermées ;
- Le piston est repoussé vers le PMH par la bielle ;
- La pression et la température du mélange croissent.

#### 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.



4 -ème temps : l'échappement

- La soupape d'échappement s'ouvre ;
- Le piston remonte vers le PMH en expulsant les gaz brûlés.

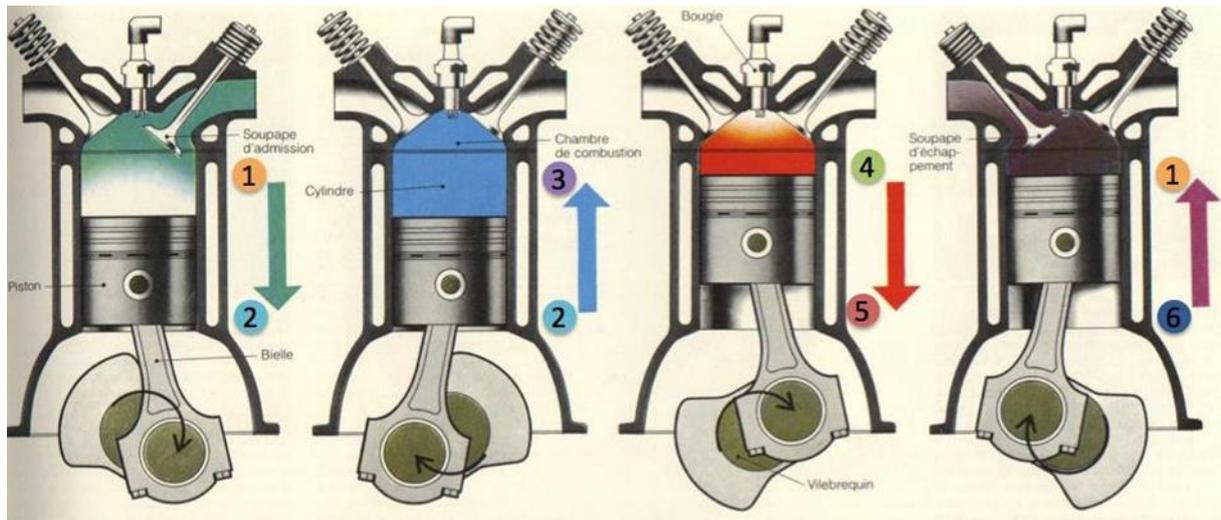
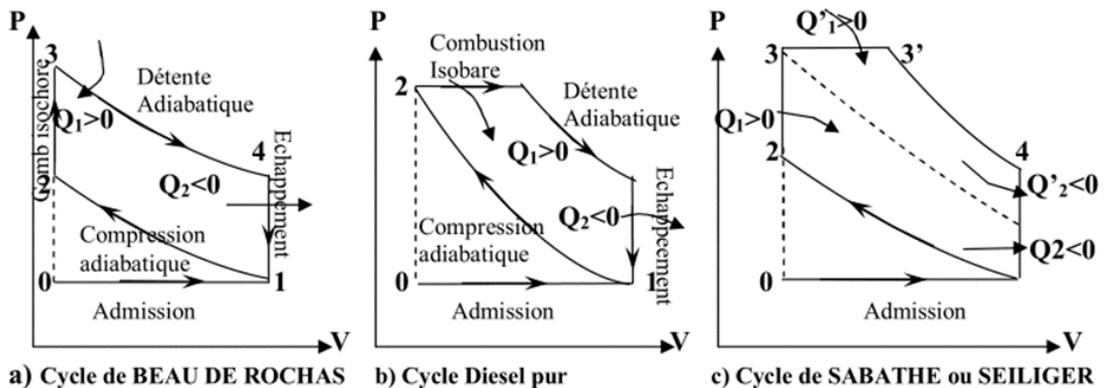


Figure I.15: Différentes étapes de fonctionnement d'un M.C.I 4 temps.

I.10 Principaux cycles du moteur à combustion interne

Les trois (03) 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-a).
- Cycle diesel pur (cycle à apport de chaleur à pression constante) concerne les moteurs à allumage par compression (Fig-b).
- Cycle de SABATHE ou cycle mixte appelé aussi cycle de SEILIGER. C'est une combinaison des cycles de BEAU DE ROCHAS et DIESEL pur (Fig-c) [3].



### I.10.1 Le cycle du Diesel

Le cycle diesel thermodynamique est un processus utilisé dans les moteurs diesel pour produire de l'énergie à partir de la combustion de carburant.

Selon la proposition initiale de Rudolf Diesel, le cycle de fonctionnement du moteur à quatre temps incluait une phase théorique de combustion à pression constante.

Ce cycle se compose de quatre étapes principales :

- a) **Admission** : la première étape du cycle diesel thermodynamique est l'admission. Pendant cette étape, de l'air est aspiré dans le cylindre du moteur en ouvrant la soupape d'admission, créant ainsi une pression inférieure à l'extérieur du cylindre qui force l'air à entrer.
- b) **Compression** : la deuxième étape du cycle diesel thermodynamique est la compression. Pendant cette étape, le piston se déplace vers le haut, comprimant l'air dans le cylindre jusqu'à ce qu'il atteigne une température élevée.
- c) **Combustion** : la troisième étape du cycle diesel thermodynamique est la combustion. Pendant cette étape, le carburant est injecté dans le cylindre, où il réagit avec l'air chaud et comprimé pour produire une explosion contrôlée qui pousse le piston vers le bas.
- d) **Échappement** : la quatrième et dernière étape du cycle diesel thermodynamique est l'échappement. Pendant cette étape, les gaz d'échappement sont expulsés du cylindre par l'ouverture de la soupape d'échappement, créant ainsi une pression inférieure qui force les gaz à sortir du cylindre.

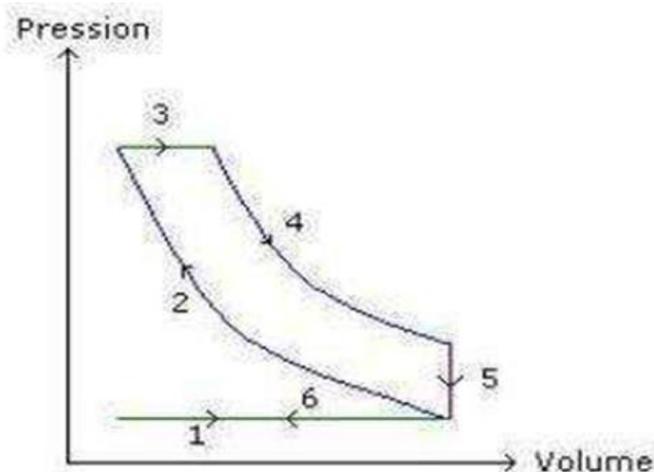


Figure I.16: Cycle diesel théorique.

**Tableau I-1:** Cycle Diesel.

1	Aspiration de l'air.	Transformation isobare (pression constant).
2	Compression de l'air élevé à la température de 600°C.	Transformation adiabatique (sans échange de chaleur avec le milieu extérieur).
3	Injection du gazole qui s'enflamme spontanément (combustion) grâce à la chaleur dégagée lors de la compression.	Transformation isobare.
4	Détente fournissant un travail moteur.	Transformation adiabatique.
5	Diminution de la pression.	Transformation isochore (volume constant).
6	Echappement des gaz brûlés.	Transformation isobare.

### I.11 Classification des moteurs diesel

Dans un moteur diesel, il est essentiel que la combustion soit aussi complète que possible afin de générer une quantité maximale d'énergie tout en minimisant la consommation de carburant et les émissions polluantes [7]. Le rôle des chambres de combustion est d'une importance capitale pour le fonctionnement et le rendement du moteur diesel, et différentes technologies sont utilisées en fonction des exigences thermodynamiques et des choix des constructeurs.

Il se dégage deux grandes familles de types de combustion :

- L'injection directe, qui désigne tous les procédés ne comportant pas de fractionnement de la chambre de combustion (l'injecteur pulvérise le combustible directement dans la chambre principale du cylindre) [7].

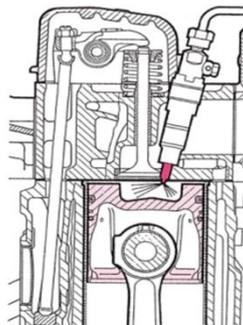


Figure I.17: L'injection directe [7]

- L'injection indirecte, regroupant les différentes solutions de chambres de combustion divisées (l'injecteur pulvérise le carburant dans une chambre auxiliaire où a lieu le début de combustion.), les gaz rejoignent ensuite la chambre de combustion principale à travers un passage ou des canaux de liaison [7].

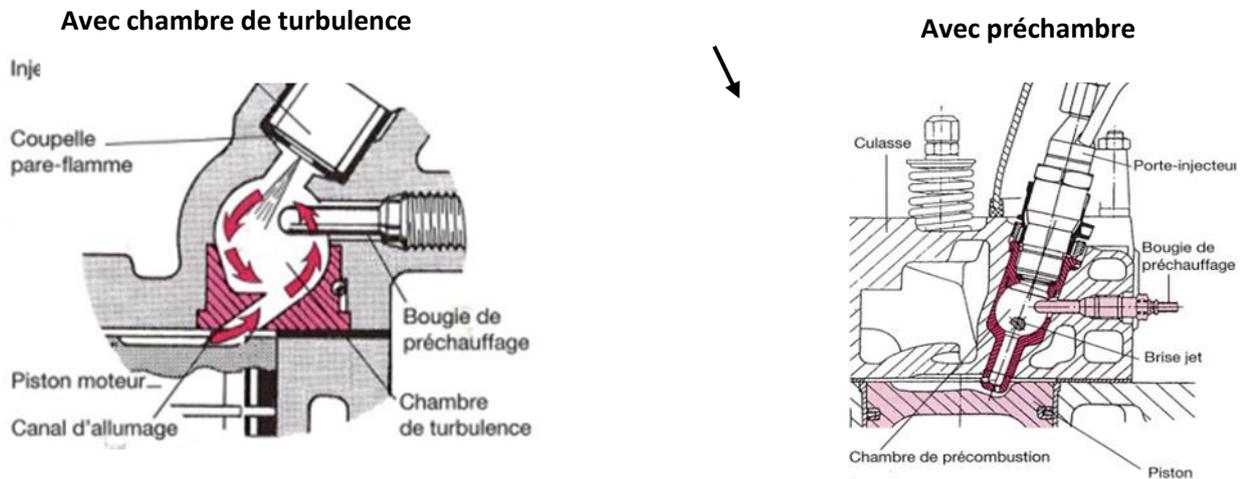


Figure I.18: Les configurations des préchambres de combustion.

➤ **Avantages du moteur diesel**

- Les moteurs diesel offrent un rendement supérieur à celui des moteurs à essence (en augmentant le taux de compression, la combustion devient plus complète et la consommation spécifique est réduite).
- Le couple moteur est plus élevé et reste constant à basse vitesse.
- Le risque d'incendie est réduit car le point d'inflammation du gazole est supérieur à celui de l'essence.
- Les émissions des gaz d'échappement sont moins toxiques car elles contiennent moins de monoxyde de carbone.

➤ **Inconvénients du moteur diesel**

- Les composants mécaniques doivent être dimensionnés de manière importante pour supporter des pressions et des températures extrêmement élevées.
- Le fonctionnement du moteur génère un bruit élevé (l'explosion du mélange air-carburant provoque une onde de choc audible).
- Les chambres de combustion atteignent des températures élevées, nécessitant ainsi un système de refroidissement efficace.

- Impact environnemental (produisent des émissions plus élevées de particules fines et d'oxydes d'azote), qui peut être nocif pour la santé humaine et contribue au changement climatique.

## I.12 Les circuits complémentaires

### I.12.1 Le circuit de lubrification

On utilise deux systèmes de lubrification dans les moteurs à combustion interne : le barbotage et l'alimentation sous pression. L'alimentation sous pression, avec quelques variantes, demeure le plus répandu dans les automobiles modernes. On utilise le barbotage dans la plupart des moteurs de tondeuses à gazon et de hors-bord.

**L'alimentation sous pression :** Dans la lubrification sous pression, l'huile est propulsée par la pompe à huile à travers des canalisations et des rampes de lubrification. Cette huile, pénétrant sous pression dans les rampes perforées, assure la lubrification nécessaire des coussinets de paliers de vilebrequin, coussinets de tête et de pied de bielle, coussinets d'arbre à cames, poussoirs de soupape, tiges de poussoir et goujons de culbuteur. L'huile qui circule dans les canalisations de lubrification est dirigée vers les pignons de distribution et les axes de culbuteur afin de les lubrifier. Les parois de cylindre sont lubrifiées par l'huile projetée à partir des coussinets de tête et de pied de bielle. Dans certains moteurs, les bielles sont munies d'orifices de lubrification qui viennent s'aligner, à chaque tour du moteur, avec ceux qui sont percés dans le maneton du vilebrequin et envoient un jet d'huile sur les parois de cylindre [8].

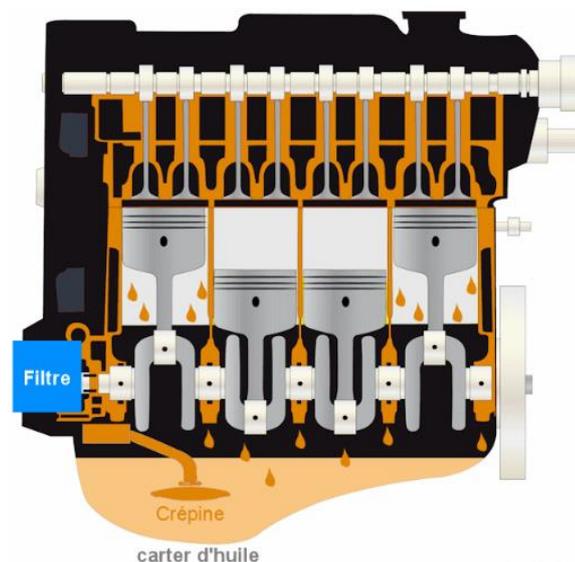


Figure I.19: Circuit de lubrification.

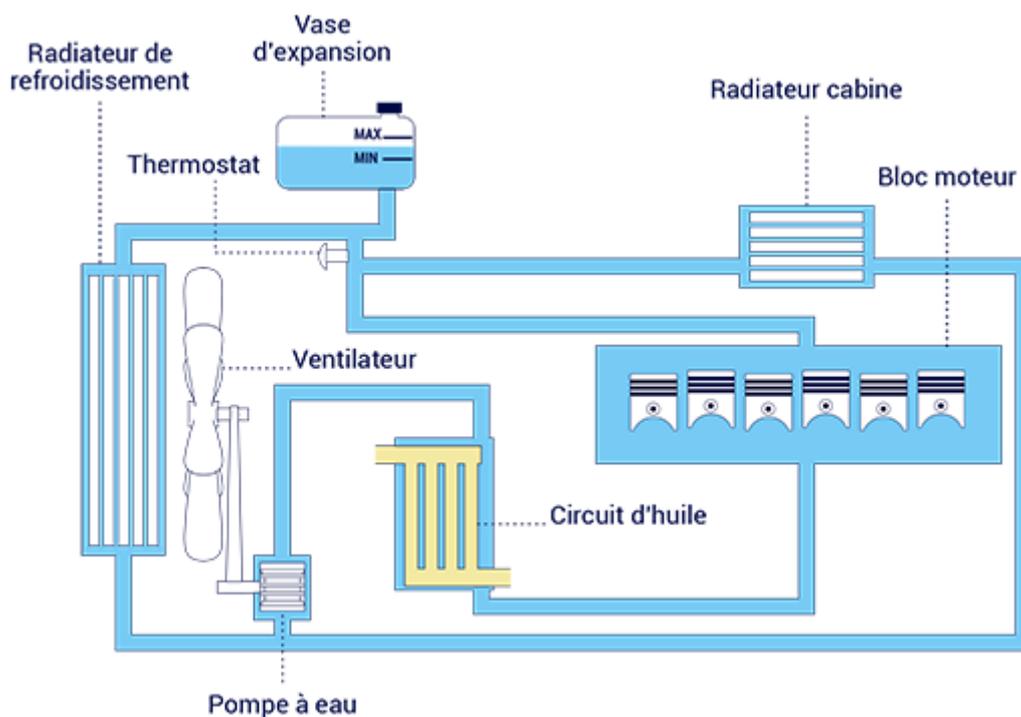
#### I.12.1.1 Le but des circuits de lubrification

- ✓ De diminuer les frottements et les bruits des pièces ;
- ✓ De favoriser l'étanchéité entre les segments et les pistons ;
- ✓ De protéger les pièces contre la corrosion.

### I.12.2 Le circuit de refroidissement

Le système de refroidissement du moteur sert à dissiper la chaleur contenue dans les parties métalliques qui entourent la chambre de combustion.

On utilise généralement deux modes de refroidissement : le refroidissement par eau et le refroidissement par air, le premier, demeurant le plus répandu. Les moteurs refroidis par air possèdent habituellement des cylindres moulés séparément afin de permettre à l'air de circuler autour de chaque cylindre pour dissiper la chaleur. De plus, les cylindres et les culasses sont munis d'ailettes en vue d'offrir une plus grande surface pour la dissipation de la chaleur. Dans le cas du système de refroidissement par eau, le liquide de refroidissement circule autour des pièces les plus chaudes afin d'éliminer le surplus de chaleur. Ce liquide transmet la chaleur des parties métalliques du moteur au radiateur où celle-ci sera dégagée dans le milieu de refroidissement, soit l'air.



**Figure I.20:**Circuit de refroidissement.

#### I.12.2.1 Le rôle du circuit de refroidissement

- ✓ Il réchauffe l'huile ;
- ✓ Il maintient le moteur à une température de fonctionnement entre 75 et 90 °C afin d'éviter toute surchauffe ;
- ✓ Il assure le chauffage de la cabine du véhicule à l'aide des commandes de réglage situées sur le tableau de bord.

### **I.13 Conclusion**

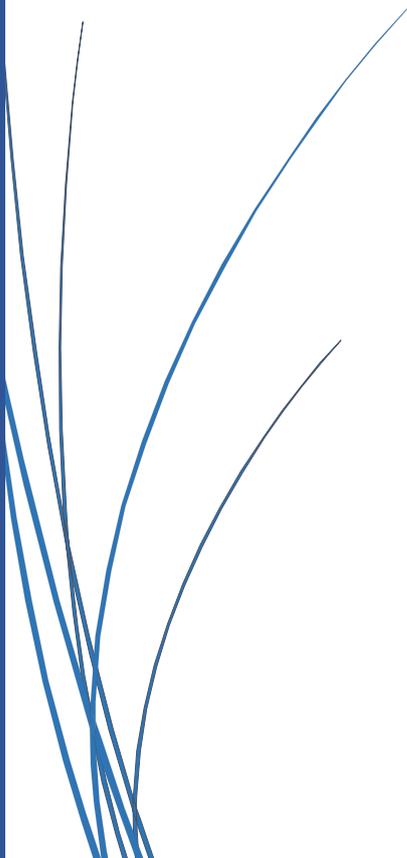
Le premier chapitre présente un aperçu du principe de fonctionnement du moteur à combustion interne, de sa structure et des principaux composants fixes et mobiles, chacun se complétant mutuellement.

Le principe de fonctionnement dépend du nombre de cylindres et du cycle thermodynamique et de leurs caractéristiques.

On peut dire qu'un moteur diesel alimenté par un système d'injection de carburant à haute pression offre de meilleures performances que tous les autres moteurs à combustion interne tout en réduisant la consommation de carburant et les émissions.

## Chapitre II

# Généralités Sur La Maintenance



## II. Généralités Sur La Maintenance

### II.1 Introduction

Le développement croissant de structures industrielles complexes est accompagné d'exigences croissantes en termes de disponibilité et de sécurité. En effet, la construction de systèmes de plus en plus complexes serait économiquement futile s'ils étaient sujets à des pannes fréquentes et présentaient des risques pour les personnes, l'environnement et les biens. L'amélioration de la disponibilité peut être obtenue non seulement en renforçant la fiabilité des composants fonctionnels, mais aussi en mettant en œuvre une stratégie de maintenance appropriée pour les installations testées[9].

### II.2 Définition de la maintenance

D'après la norme NF EN 13306 X 60-319 de l'AFNOR, la maintenance est définie comme : "L'ensemble des actions techniques, administratives et de gestion réalisées tout au long du cycle de vie d'un bien, dans le but de le maintenir ou de le rétablir dans un état permettant d'accomplir la fonction requise".

Assurer une maintenance efficace permet de réaliser toutes les opérations associées à un coût optimal.

Ainsi, la définition de la maintenance met en évidence trois notions principales :

- **Maintenir** implique un suivi et une surveillance.
- **Rétablir** implique une correction de défaut.
- **Coût optimal** est essentiel pour garantir l'efficacité économique de toutes les opérations.

#### II.2.1 Les Objectifs De La Maintenance

Les objectifs de maintenance dépendent de la politique de maintenance de l'entreprise :

- Aspect technique.
- Aspect économique.
- Aspect humain et environnemental.

##### a) Objectifs Techniques (opérationnels)

- Garantir la disponibilité optimale des installations et des équipements à un coût Raisonnable.
- Fournir un service qui élimine les pannes à tout moment et à tout prix.
- Prolonger au maximum la durée de vie de l'installation (promouvoir la durabilité).
- Assurer une performance de haute qualité.
- Maintenir l'installation constamment propre.

##### b) Objectifs Economiques

- Minimiser les coûts de maintenance et maximiser les profits.
- Fournir des services de maintenance dans les limites budgétaires.  
Avoir des dépenses de maintenance proportionnelles aux besoins des installations et des équipements en fonction de leur âge et de leur taux d'utilisation.

**c) Objectifs Humains Et Ecologiques**

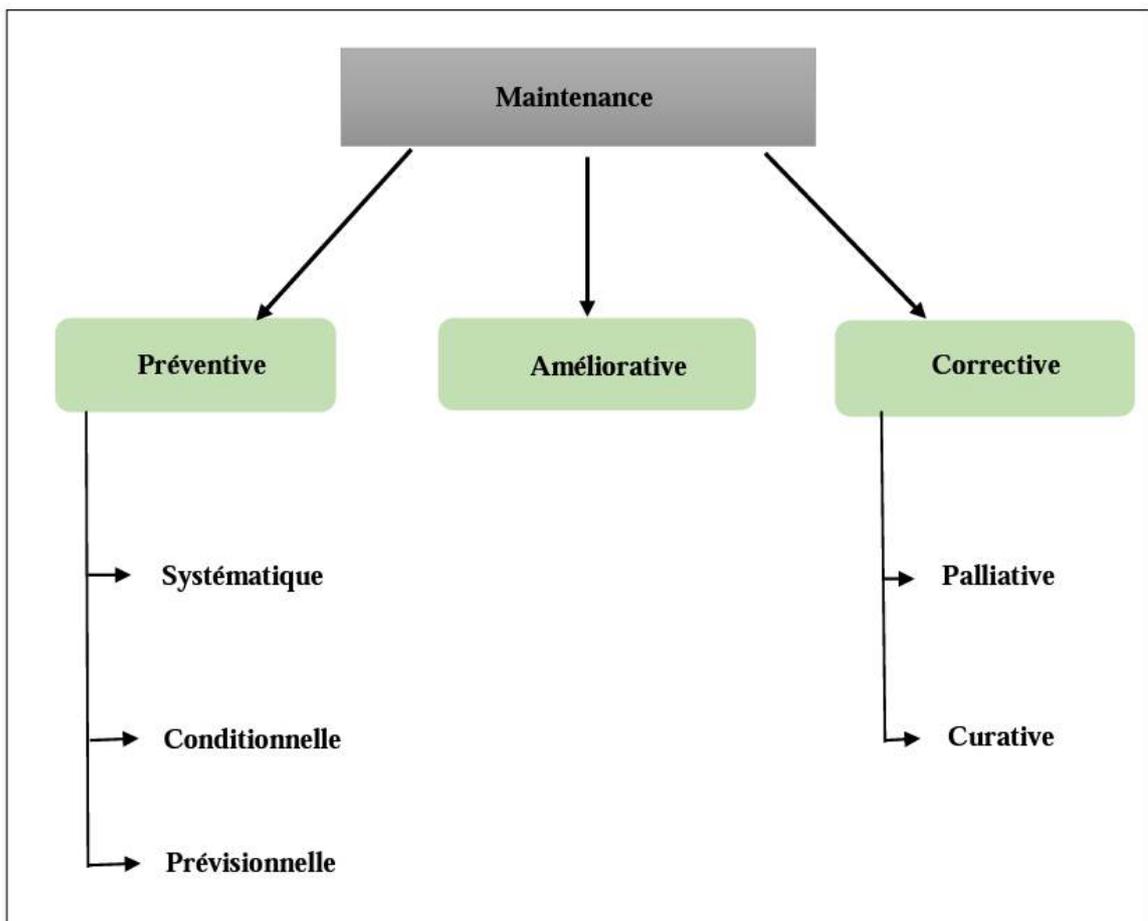
- Réduire les incidents de fonctionnement (sécurité) et améliorer les conditions de travail.

Évaluer les modifications et protections nécessaires sur les équipements pour réduire les risques d'accidents.

Lutter contre les nuisances et préserver l'environnement (émissions de gaz, bruits indésirables, fuites d'huile, etc.).

**II.3 Les type des maintenances**

Les types, ou stratégies, de maintenance sont classés par la norme (NF EN 13306) comme suite :



**Figure II.1:**Types des maintenances.

### II.3.1 La maintenance préventive

Selon l'AFNOR : « la maintenance préventive vise à minimiser les chances de défaillance ou de détérioration d'un bien ».

La maintenance préventive est réalisée dans le but de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou de dégradation d'un service rendu.

Elle consiste en une intervention de maintenance planifiée, préparée et programmée avant la date probable d'apparition d'une défaillance.

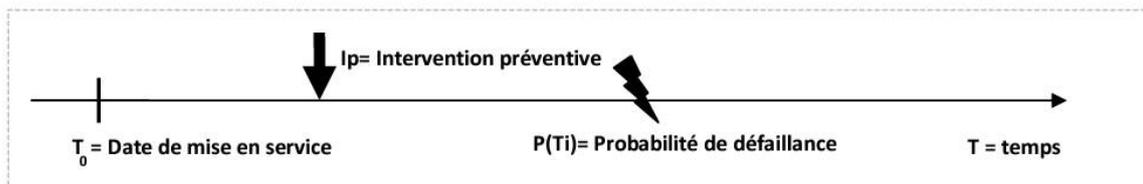


Figure II.2: Maintenance Préventive.

#### II.3.1.1 Les opérations de la maintenance préventive

Ils peuvent être divisés en trois catégories : inspections, contrôles et visites. Ils permettent de suivre l'évolution de l'état réel du matériel. Ils peuvent être effectués en continu ou à intervalles fixes ou non calculés en fonction du temps ou du nombre d'unités de consommation.

##### ✓ L'inspection

L'activité de surveillance consiste à observer et vérifier dans le cadre d'une mission spécifique, sans nécessairement se limiter à une comparaison avec des données préétablies. Dans le domaine de la maintenance, cette activité est souvent réalisée lors de rondes, telles que l'inspection des extincteurs ou l'écoute des bruits d'un compresseur. Les inspections sont généralement effectuées sans outillage spécifique et n'impliquent pas l'arrêt de la production ou des équipements.

##### ✓ La visite

L'inspection est une opération de maintenance préventive qui implique un examen détaillé et planifié de tout ou d'une partie spécifique d'un bien. Par exemple, la visite périodique des ascenseurs ou des équipements électriques et mécaniques d'un engin de levage. Ces activités peuvent nécessiter le démontage partiel des éléments à inspecter, ce qui entraîne une immobilisation du matériel, ainsi que des interventions de maintenance corrective si nécessaire.

##### ✓ Le contrôle

Les vérifications consistent à comparer les résultats obtenus avec des données préétablies, suivies d'une évaluation. Par exemple, le contrôle du niveau d'isolement d'une installation basse tension ou le contrôle du jeu fonctionnel dans un mécanisme. Le contrôle peut inclure des activités d'information, impliquer une décision telle que l'acceptation, le rejet ou le report, et conduire à des actions correctives si nécessaire. La fréquence des contrôles peut être constante pendant la phase de fonctionnement normal du matériel ou variable, devenant de plus en plus fréquente à mesure que le matériel s'use [10].

#### II.3.1.2 Buts de la maintenance préventive

- ✓ Augmenter la durée de vie efficace d'un équipement.
- ✓ Prolonger la durée de vie utile d'un équipement.

- ✓ Réduction et régulation de la charge de travail.
- ✓ Augmenter la fiabilité des systèmes et ainsi réduire le taux de panne pendant le fonctionnement : réduction des coûts d'immobilisation, amélioration de la disponibilité.
- ✓ Simplifier la gestion des stocks (consommation prévue).
- ✓ Assurant la sécurité (improvisations moins dangereuses).

### II.3.1.3 Maintenance Préventive Systématique

Selon la norme AFNOR X 60 - 100, la maintenance systématique se définit comme « une forme de maintenance qui est réalisée en suivant des critères préétablis dans le but de diminuer la probabilité de défaillance d'un bien »

Cette maintenance est systématique, si elle est effectuée selon un échéancier établi ou selon le temps écoulé ou le nombre d'unités produites, mais sans contrôle préalable de l'état de l'équipement [9].

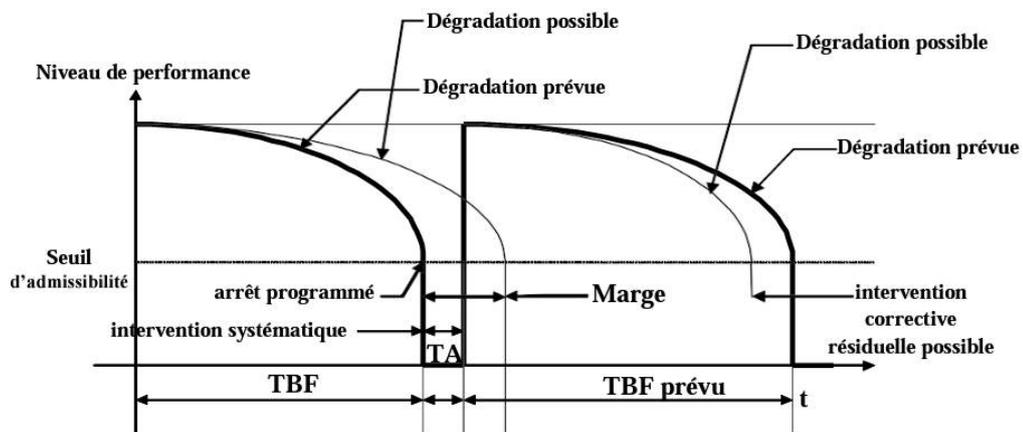


Figure II.3: Maintenance préventive systématique.

### II.3.1.4 Maintenance Préventive Conditionnelle

Selon la norme AFNOR X 60 - 100, la maintenance conditionnelle est définie comme une forme de maintenance préventive qui est déclenchée par un événement spécifique prédéterminé (tel qu'un autodiagnostic, une information provenant d'un capteur ou une mesure d'usure), révélant ainsi l'état de dégradation du bien.

Elle est étroitement liée à la surveillance et au diagnostic du système, et n'implique une intervention de réparation que si une panne actuelle ou future est détectée.

Les mesures peuvent être effectuées sur les aspects suivants :

- Le niveau et la qualité de l'huile.
- Les températures et les pressions.
- La tension et l'intensité des équipements électriques.
- Les vibrations et les jeux mécaniques[9].

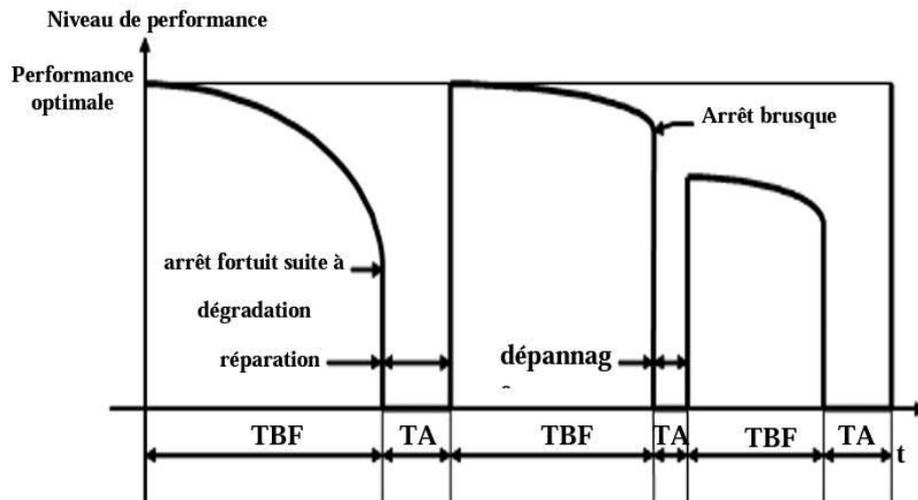


Figure II.4: Maintenance préventive conditionnelle.

**II.3.1.5 Maintenance Prévisionnelle**

Parfois désignée sous le nom de "maintenance prédictive", la maintenance prévisionnelle est définie par l'AFNOR comme étant "une maintenance réalisée en se basant sur les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien". Elle repose sur l'analyse de l'évolution des paramètres techniques qui permettent de mesurer l'état du bien et de détecter les dégradations potentielles dès leur apparition, ce qui permet d'anticiper et de prévoir au mieux le moment où l'intervention devra être effectuée.

**II.3.2 Maintenance Corrective**

La norme (NF EN 13 306) définit ainsi la maintenance corrective : « Exécutée après détection d'une panne, elle vise à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ».

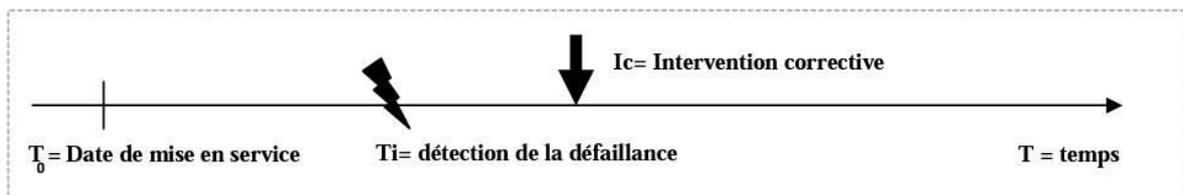


Figure II.5: Maintenance corrective.

**II.3.2.1 La maintenance palliative**

Action de maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelée couramment « dépannage », la maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui doivent être suivies d'actions curatives.

**II.3.2.2 La maintenance curative**

La maintenance est curative, lorsque l'action de maintenance corrective a un caractère permanent et a pour objet de rétablir l'équipement dans un état spécifié pour lui permettre d'accomplir une fonction requise.

### II.3.3 La Maintenance D'amélioration

Procéder à des modifications, des changements et des transformations sur un équipement constitue une amélioration des biens d'équipements. Dans ce domaine, il reste encore beaucoup à accomplir, comme le dit l'adage : "On peut toujours s'améliorer". Cela nécessite une mentalité créative et une approche proactive. Cependant, avant d'entreprendre toute maintenance d'amélioration, il est essentiel de mener une étude économique approfondie afin de garantir la rentabilité du projet. Les améliorations à apporter peuvent viser plusieurs objectifs, tels que l'augmentation des performances de production de l'équipement, l'amélioration de sa fiabilité (en réduisant les fréquences d'interventions), l'amélioration de sa maintenabilité (en améliorant l'accessibilité des sous-systèmes et des éléments à haut risque de défaillance), la standardisation de certains éléments pour une politique plus cohérente et une amélioration des actions de maintenance, ainsi que l'augmentation de la sécurité du personnel[10].

## II.4 Les Niveaux De Maintenance

### 1<sup>er</sup>Niveau

Il s'agit d'effectuer des opérations simples, essentielles au bon fonctionnement de l'équipement, sur des composants facilement accessibles et en toute sécurité, en utilisant des dispositifs auxiliaires intégrés à l'équipement lui-même. Ces opérations peuvent être réalisées par l'utilisateur de l'équipement, si nécessaire, en utilisant les dispositifs auxiliaires intégrés à l'équipement et en se référant au manuel d'utilisation.

- **Remarque :** Ce type d'intervention peut être effectué par l'exploitant du système sur site sans outils et conformément aux instructions d'utilisation. L'approvisionnement en consommables requis est très faible.

**Exemples de maintenance préventive :** vérification des conditions de fonctionnement, graissage quotidien, fonctionnement manuel des composants mécaniques, lecture des indicateurs d'état ou d'usure, vérification des voyants du pupitre, rinçage des éléments filtrants, vérification du colmatage des filtres.

**Exemples de maintenance corrective :** remplacement de lampe, réglages, remplacement de composants usés ou endommagés sur des composants faciles et accessibles.

### 2<sup>-ème</sup>Niveau

Il s'agit d'activités qui requièrent des procédures simples et/ou des équipements de soutien (sur site ou hors site) faciles à utiliser ou à mettre en place. Ce type de maintenance est effectué par du personnel qualifié utilisant les procédures détaillées et les équipements auxiliaires spécifiés dans les manuels de maintenance. Le personnel est qualifié lorsqu'il a reçu une formation lui permettant d'intervenir en toute sécurité sur des marchandises présentant certains risques potentiels et lorsque, compte tenu de ses connaissances et compétences, il a été jugé apte à effectuer les travaux qui lui sont confiés.

- **Remarque :** Ce type de maintenance peut être réalisé sur place par un technicien qualifié de niveau intermédiaire, qui utilise les outils à main spécifiés dans les manuels d'entretien et suit les instructions fournies. Les pièces de rechange nécessaires doivent être disponibles immédiatement et à proximité du site d'intervention.

**Exemples de maintenance préventive :** Contrôle des paramètres de fonctionnement des équipements à l'aide de mesures intégrées à l'installation ; ajustements simples tels que l'alignement des poulies, le réglage de la pompe-moteur, etc. ; vérification des dispositifs de coupure tels que capteurs, interrupteurs, fusibles, ainsi que des dispositifs de sécurité ; lubrifica-

tion à des intervalles rapprochés tels qu'hebdomadaire ou mensuel ; remplacement des filtres difficiles d'accès.

**Exemples de maintenance corrective :** remplacement par remplacement standard de pièces (fusibles, courroies, filtres à air, etc.) ; remplacement des torons, presse-étoupes, etc. ; lire les tableaux de dépannage du recyclage ; remplacement des éléments individuels usés ou endommagés par des éléments standards (rail, galet, galets, chaîne, fusible, courroie, etc.).

### 3<sup>-ème</sup> niveau

Opérations nécessitant des procédures complexes et/ou des équipements de support portables, une utilisation ou une mise en œuvre compliquée. Ce type de maintenance ne doit être effectué que par un technicien qualifié utilisant les procédures détaillées et les équipements auxiliaires spécifiés dans les manuels de maintenance.

- **Remarque :** ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé aussi bien sûr site qu'en salle de maintenance, à l'aide des outils et appareils de mesure et de contrôle prévus dans le manuel de maintenance et éventuellement des bancs de travail du bâtiment et des pièces fournies par le magasin sont nécessaires.

**Exemples de maintenance préventive :** inspections et réglages avec jauges extérieures au bien ; visite de maintenance préventive pour les équipements complexes ; contrôle de l'allumage et de la combustion (chaudières); interventions de maintenance préventives et invasives ; enregistrement des paramètres techniques de l'état des marchandises par des mesures avec des appareils de mesure individuels (prélèvement d'échantillons de liquide ou de matière, etc.).

**Exemples de maintenance corrective :** diagnostics ; réparation de fuite de réfrigérant (radiateur) ; régénération de l'isolation thermique ; remplacement d'organes et de composants par remplacement générique standard, sans l'utilisation d'outils courants ou professionnels (carte l'automate, vérin, pompe, moteurs, engrenages, roulements, etc.) ; éliminez les défaillances de l'usine de production avec des mesures et des diagnostics individuels.

### 4<sup>-ème</sup> niveau

Opérations dont les procédés nécessitent la maîtrise d'une technique ou d'une technologie particulière et/ou l'installation d'équipements de soutien spécialisés. Ce type de maintenance est réalisé par un technicien ou une équipe spécialisée selon des consignes de maintenance générales ou spécifiques.

- **Remarque :** ce type d'intervention peut être réalisé par une équipe de personnel technique hautement spécialisé dans un atelier spécialisé équipé d'outillage général (mécanique, électrique, détergents, etc.) et éventuellement de tableaux dimensionnels et de normes de travail nécessitant une documentation générale ou détaillée.

**Exemples de maintenance préventive :** révisions partielles ou majeures ne nécessitant pas le démontage complet de la machine ; analyse vibratoire ; analyse des lubrifiants ; thermographie infrarouge ; une liste des paramètres techniques qui nécessitent des mesures de collecte de mesures (oscilloscope, collecteur de données vibratoires), ainsi que l'analyse des données ; réparation de la pompe en atelier après démontage préventif.

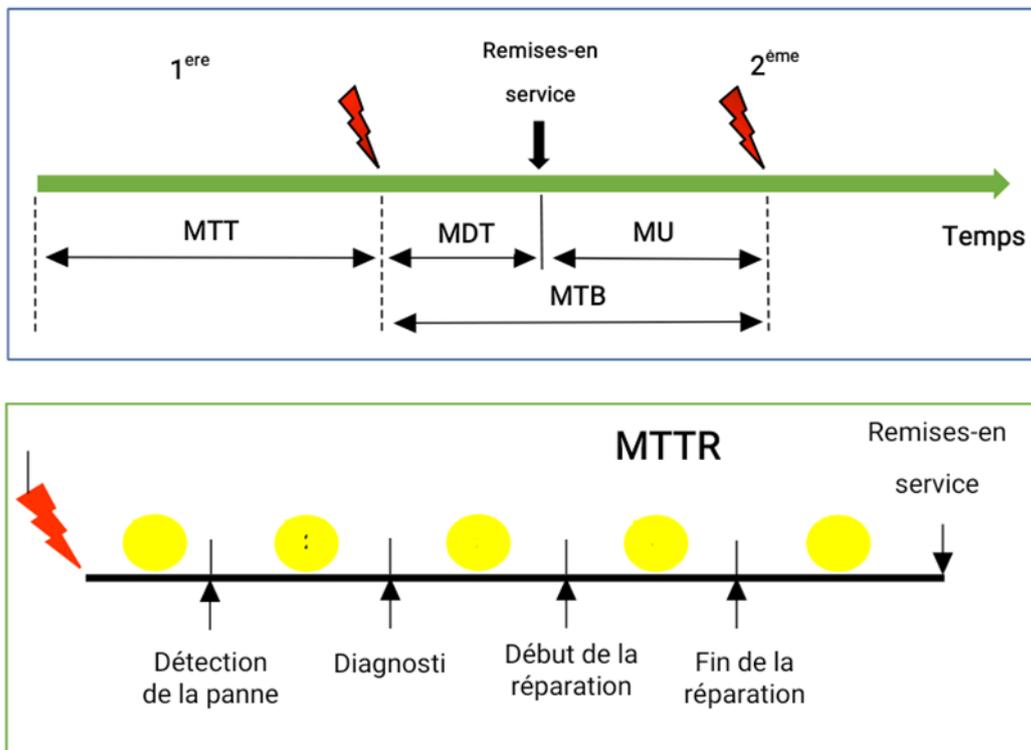
**Exemples de maintenance corrective :** remplacement des Vannes des compresseurs ; remplacement de tête de câble dans BTA ; réparation sur place de la pompe après une panne ; la correction de production signifie des erreurs de mesure ou des diagnostics collectifs et/ou très complexes (automate de programmation, système numérique de commande et de régulation, variateurs, etc.).

### 5<sup>-ème</sup> niveau

Opérations dont les opérations nécessitent une expertise dans des techniques ou technologies spécifiques, des processus et/ou des équipements de support industriels. Par définition, ce type d'entretien (rénovation, reconstruction, etc.) est réalisé par le fabricant ou par un service spécialisé ou par une entreprise disposant d'équipements annexes spécifiés par le fabricant et donc proches de la production de l'article [10].

**Exemples :** révisions générales avec démontage complet de la machine ; restauration dimensionnelle et géométrique ; grosses réparations par le constructeur ; rénovations de bien ; remplacement de pièces obsolètes ou usées.

### II.5 Les temps de la maintenance



**Figure II.6:** Représentation des temps moyens.

Le **MTTF (MeanTime To Failure)** :

La durée moyenne de fonctionnement avant la première défaillance est l'estimation de la durée moyenne s'écoulant entre la mise en service du système et la survenance de la première panne.

Le **MTTR (MeanTime To Repair)** :

Durée moyenne de réparation. Cet indicateur représente le temps moyen d'immobilisation entre la détection et la remise en service de l'équipement.

Le **MDT (MeanDown Time)** :

La durée moyenne d'indisponibilité est le temps moyen séparant la survenance d'une panne et la remise en état opérationnel du system.

Le **MUT (MeanUp Time)** :

Le temps moyen qui sépare une remise en service opérationnel du système de la survenance de la panne suivante.

Le **MTBF** (**MeanTime BetweenFailures**) :

La somme MUT+MDT représente le temps moyen qui sépare deux pannes consécutives du système.

## II.6 Étude de la fiabilité

### II.6.1 Définition De La Fiabilité

Selon la norme AFNOR X 06 - 501, la fiabilité désigne la propriété d'un dispositif, exprimée par la probabilité que ce dispositif exécute une fonction requise dans des conditions d'utilisation spécifiques et pendant une durée prédéterminée.

### II.6.2 Objectifs de la fiabilité

- Évaluer la durée de garantie sur une période donnée ;
- Effectuer une évaluation rigoureuse du niveau de confiance ;
- Estimer la durée de vie de manière précise ;
- Évaluer avec exactitude le temps de fonctionnement ;
- Établir la stratégie d'entretien appropriée ;
- Sélectionner le stock adéquat.

### II.6.3 Représentation graphique de F(t),R(t)

Un dispositif mis en marche pour la première fois à (t0) tombera en panne à un instant non connu à priori "t" : date de la panne est une variable aléatoire de la fonction de répartition "F(t)".

F(t) est la probabilité d'une défaillance avant l'instant (ti) ;

R(t) est la probabilité de bon fonctionnement à (ti), c'est une fonction monotone décroissante[11].

**R(t) : Fonction Fiabilité**  $R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(u).du}$

**F(t) : Fonction de répartition**  $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(u).du}$

R(t) et F(t) sont des probabilités complémentaires telle que :

$$R(t) + F(t) = 1 \text{ ou } \int_0^t f(t)dt + \int_t^\infty f(t)dt = 1$$

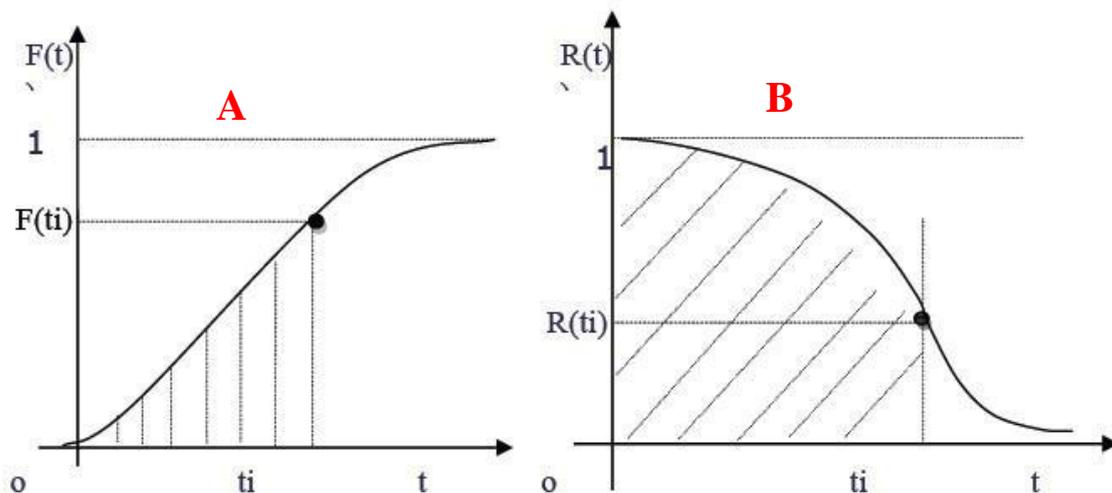


Figure II.7: Courbes paramétriques A) Répartition B) Fiabilité de la fiabilité.

## II.7 Lois d'analyse usuelles de fiabilité

### II.7.1 Modèle de WEIBULL

La distribution de Weibull est largement utilisée dans différents domaines tels que l'électronique et la mécanique, et elle est considérée comme la loi la plus couramment utilisée. Cette distribution est particulièrement adaptée pour modéliser de nombreuses situations d'usure des matériaux. Elle permet de caractériser le comportement d'un système à travers trois phases de vie distinctes : la jeunesse, l'utilisation et l'usure ou le vieillissement. Dans sa forme la plus générale, la distribution de Weibull dépend de trois paramètres :  $\beta$ ,  $\gamma$  et  $\eta$ , qui influencent la forme et la fiabilité de la distribution.

#### II.7.1.1 Estimation des paramètres du modèle de WEIBULL

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

#### II.7.1.2 Echelles utilisées sur le papier de Weibull

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.

Sur l'axe des ordonnées à gauche, nous représentons les valeurs de F(t) en pourcentage à l'échelle  $\ln(-\ln(1 - F(t)))$ .

Ordonnée sur l'axe X = -1 (lecture du paramètre  $\beta$ ) : ce sont les valeurs  $\ln(-\ln(1 - F(t)))$  [11].

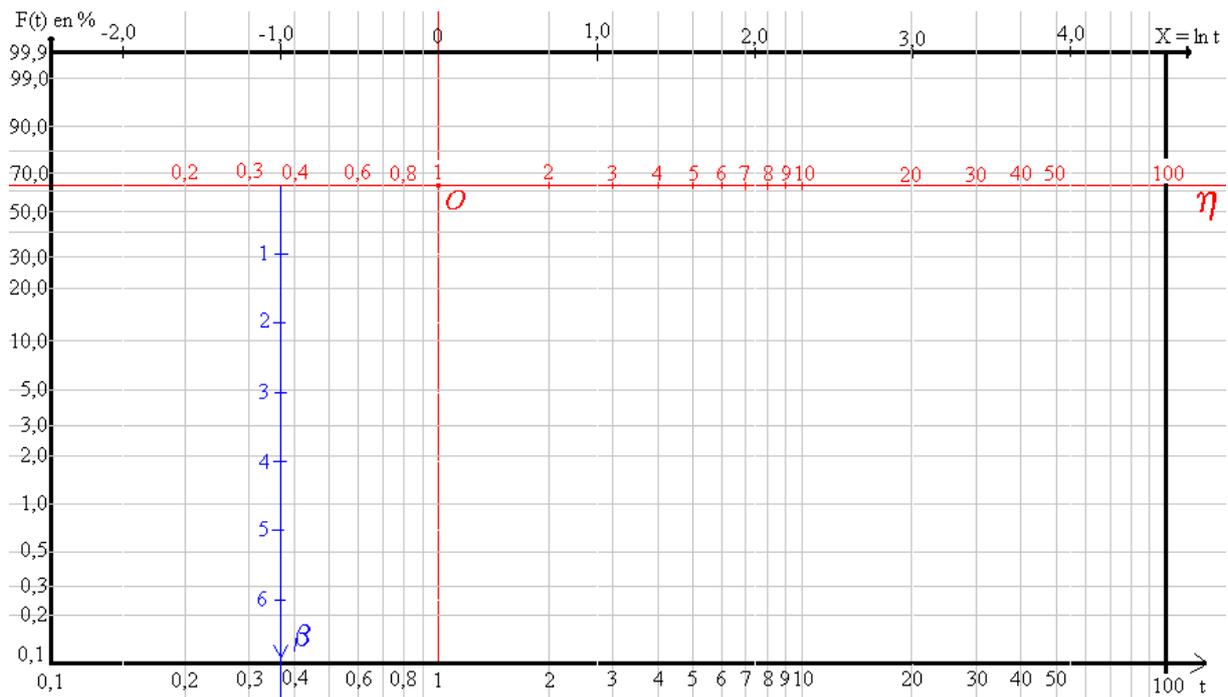


Figure II.8: Papier de Weibull.

**a) Densité de probabilité f (t)**

En fiabilité, elle représente la probabilité instantanée de défaillance (juste au temps t).

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

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

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

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

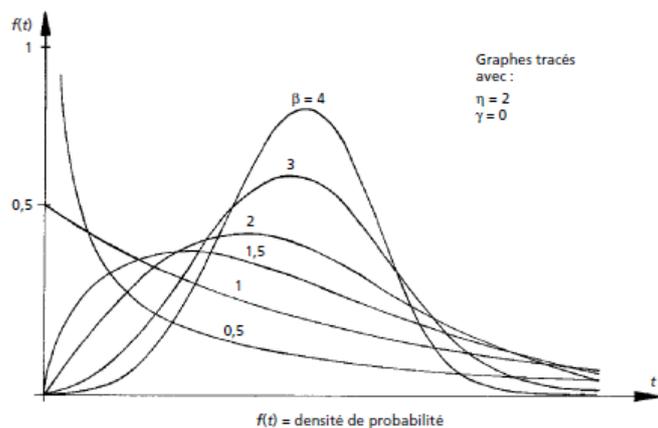


Figure II.9: Courbe Théorique f (t)(densité de probabilité).

**b) La Fonction De Répartition F (t)**

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

**c) La Fonction De Fiabilité R (t)**

C'est la probabilité de non défaillance au-delà du temps t.

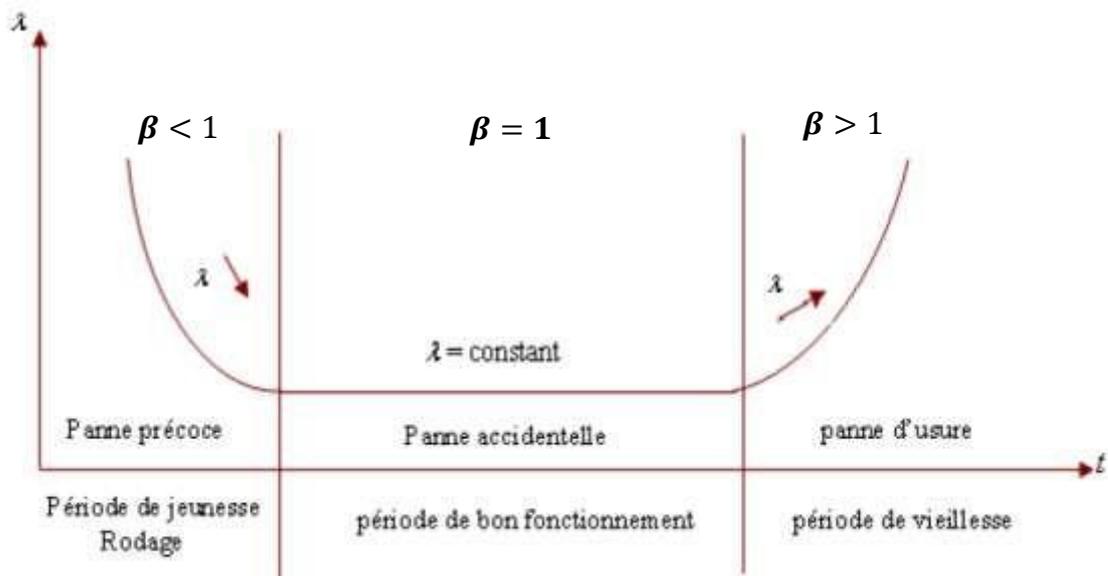
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

**d) Le Taux De Défaillance (Taux d'avarie) λ (t)**

C'est la probabilité de défaillance à l'instant (t+dt), sachant que le dispositif était bon à l'instant t.

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

λ(t) peut également être exprimé comme l'inverse d'une durée, mais il ne représente pas une densité de probabilité L'expérience démontre que, pour la plupart des composants, le taux de défaillance suit une courbe en forme de baignoire, comme illustré dans le graphique ci-dessous.



**Figure II.10:** Courbe en baignoire.

**✚ Paramètre de forme β**

(β < 1) Correspond à la partie descendante de la courbe, représentant la période initiale d'installation et de rodage de l'équipement (période de jeunesse).

(β = 1) Correspond à la partie où le taux de défaillance est pratiquement constant, ce qui indique la période de défaillance aléatoire sans symptôme préalable de dégradation (vie utile). C'est généralement la période la plus longue.

( $\beta > 1$ ) Correspond à la partie ascendante rapide de la courbe, représentant la période de vieillissement causée par l'usure mécanique.

✚ Paramétré D'échelle  $\eta$

En une unité qui est liée à l'échelle utilisée sur le graphique, nous pouvons observer.

✚ Paramétré De Position  $\gamma$

Il permet de déterminer la date d'apparition de la défaillance ; son unité correspond à celle du temps :

( $\gamma < 0$ ) Indique que les défaillances ont commencé avant le début du temps ;

( $\gamma = 0$ ) Signifie que les défaillances ont commencé dès le début du temps ;

( $\gamma > 0$ ) Indique une période de survie totale entre  $t=0$  et  $t=\gamma$ .

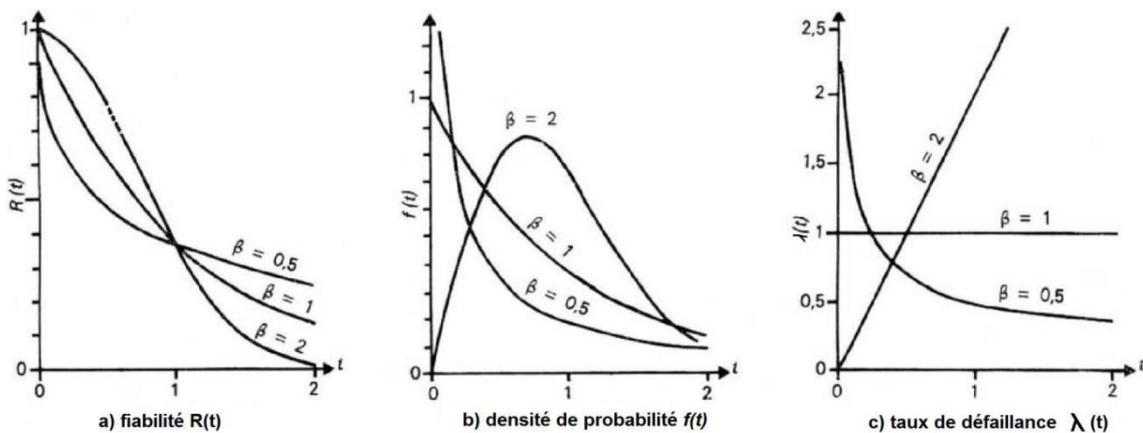


Figure II.11: Formes de  $f(t)$ ,  $R(t)$ ,  $\lambda(t)$  en fonction de  $\beta$ .

II.7.2 Preuve d'adéquation

Un modèle qui peut être construit en termes de fiabilité est tiré d'un échantillon de la population, et nous supposons donc qu'il obéit à une loi (dans notre cas, la loi de Weibull) ; par conséquent, la légitimité de ce droit reste à vérifier ; la vérification est effectuée au moyen d'un test d'aptitude.

Il existe un faible risque d'erreur ( $\alpha$ ) dans l'utilisation de la statistique, et il se situe à ce seuil de signification (il correspond à la probabilité de se tromper sur ce test.).

II.7.3 Test Kolmogorov Smirnov

Ce test implique le calcul de la différence entre la fonction théorique  $F(i)$  et la fonction réelle  $F(t)$ , puis la sélection de la valeur maximale en valeur absolue, notée  $Dn.max$ . Cette valeur est ensuite comparée à  $Dn.\alpha$ , qui est obtenue à partir de la table de Kolmogorov Smirnov.

Si  $Dn.max > Dn.\alpha$ , cela conduit au rejet de l'hypothèse .se.

$F(i)$  elle peut être obtenue par la méthode des rangs moyens :  $F(i) = \frac{\sum ni - 0.3}{N + 0.4}$  Si  $N \leq 20$

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

Tableau II-1: Test de K-S, valeurs de (Dn.α.)

N	α			
	0.20	0.10	0.05	0.01
2	0.684	0.776	0.842	0.929
4	0.494	0.564	0.624	0.733
6	0.410	0.470	0.521	0.618
8	0.358	0.411	0.457	0.543
10	0.322	0.368	0.410	0.490
12	0.295	0.338	0.375	0.450
14	0.274	0.314	0.349	0.418
16	0.258	0.295	0.328	0.392
18	0.244	0.278	0.309	0.371
20	0.231	0.264	0.294	0.356
25	0.210	0.240	0.270	0.320
30	0.190	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.210	0.230	0.270
>35	$1.07/\sqrt{N}$	$1.22/\sqrt{N}$	$1.36/\sqrt{N}$	$1.63/\sqrt{N}$

**II.7.4 Maintenabilité**

Selon l'AFNOR X60-010, la maintenabilité est définie comme "dans des conditions d'utilisation spécifiées, l'aptitude d'un bien à être maintenu pendant la maintenance ou à être remis dans un état dans lequel il peut remplir sa fonction requise." dans des conditions spécifiées, en utilisant des procédures spécifiées et mesures.

Dans les conditions données d'utilisation, la maintenabilité est l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie, sur un intervalle de temps donné dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrits (Aptitude à la réparation)[12].

**II.7.4.1 Calcul de la maintenabilité**

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

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

Taux de réparation μ :  $\mu = \left[ \frac{1}{MTTR} \right]$

**II.7.5 Disponibilité**

Selon la norme AFNOR X60-500, la disponibilité peut être définie comme la capacité de l'entreprise à exécuter la fonction requise dans des conditions précises, à un moment précis ou dans une période de temps déterminée, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires de maintenance soit assurée ».

**II.7.5.1 Types de disponibilité**

• **Disponibilité intrinsèque théorique**

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes des temps de bon fonctionnement et les moyennes de réparations, ce qui donne :

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

• **Disponibilité instantanée :**

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance  $\lambda$  constant et d'un taux de réparation  $\mu$  constant, on montre que la disponibilité instantanée a pour expression :

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

**II.7.6 Le diagramme ABC (PARETO)**

Cette méthode est utilisée dans la phase d'analyse des événements indésirables déclarés et permet de classer et de visualiser l'importance relative des différents événements afin de les classer par ordre décroissant de fréquence, établissant ainsi des priorités.

Méthodologie elle consiste à classer les pannes par ordre décroissant de coût, chaque panne par machine ou section, puis à créer un tableau correspondant au pourcentage du coût, chaque panne par machine ou section.

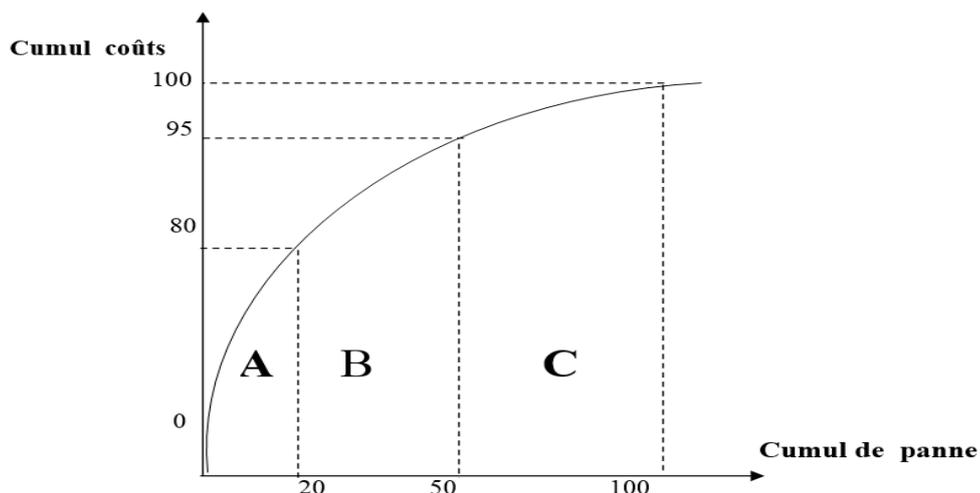


Figure II.12: La Courbe ABC (Pareto).

**Zone A :** Pertes nécessitant des actions prioritaires.

**Zone B :** Pertes à considérer si des solutions peu coûteuses sont disponibles.

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

### II.7.6.1 Les objectifs de la loi de Pareto

- ✓ Diminuer les coûts de maintenance.
- ✓ Améliorer la fiabilité des systèmes.
- ✓ Justifier la mise en place d'une politique de maintenance.

### II.7.7 Diagramme causes-effet (ou ISHIKAWA ou en ARETE DE POISSON ou 5M)

La méthode 5M est une approche analytique permettant d'identifier et de regrouper plusieurs causes potentielles d'un problème. Elle a été développée par le Professeur KAORU ISHIKAWA (1915-1989), d'où son nom de "Méthode Ishikawa ». La méthode Ishikawa utilise un diagramme graphique en forme de poisson pour représenter de manière structurée la relation de cause à effet entre un problème donné (défaut, panne, dysfonctionnement, etc.). Ce diagramme est également connu sous le nom de "diagramme en arête de poisson" ou "diagramme de cause à effet ». L'approche d'Ishikawa met en évidence les caractéristiques et la méthode de cette approche. Ishikawa classe les différentes causes d'un problème en cinq grandes catégories :

**Matière :** Il s'agit de toutes les causes liées aux éléments utilisés dans le processus de production, tels que : l'utilisation de matières premières périmées, de consommables de qualité inférieure ou de pièces défectueuses.

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

**Méthodes :** Y a-t-il des problèmes avec votre façon de travailler ? Ce faisant, nous examinons : les éventuelles défaillances ou ralentissements dans les processus de travail et les méthodes de gestion, les erreurs dans les instructions ou les manuels d'utilisation.

**Matériel :** Nous vérifions les appareils, machines, outils et logiciels pour voir s'ils sont défectueux, obsolètes ou inadéquats.

**Main d'œuvre :** Dans ce cas, nous examinons les ressources humaines pour déterminer si elles manquent de compétences et de formation, si elles n'ont pas été mal informées sur la bonne exécution de leurs fonctions, etc[13].

#### II.7.7.1 But de méthode ISHIKAWA

Analysez et visualisez le lien entre le problème (impact) et toutes les causes possibles. Le diagramme d'Ishikawa est une aide graphique pour comprendre les causes d'un défaut de qualité.

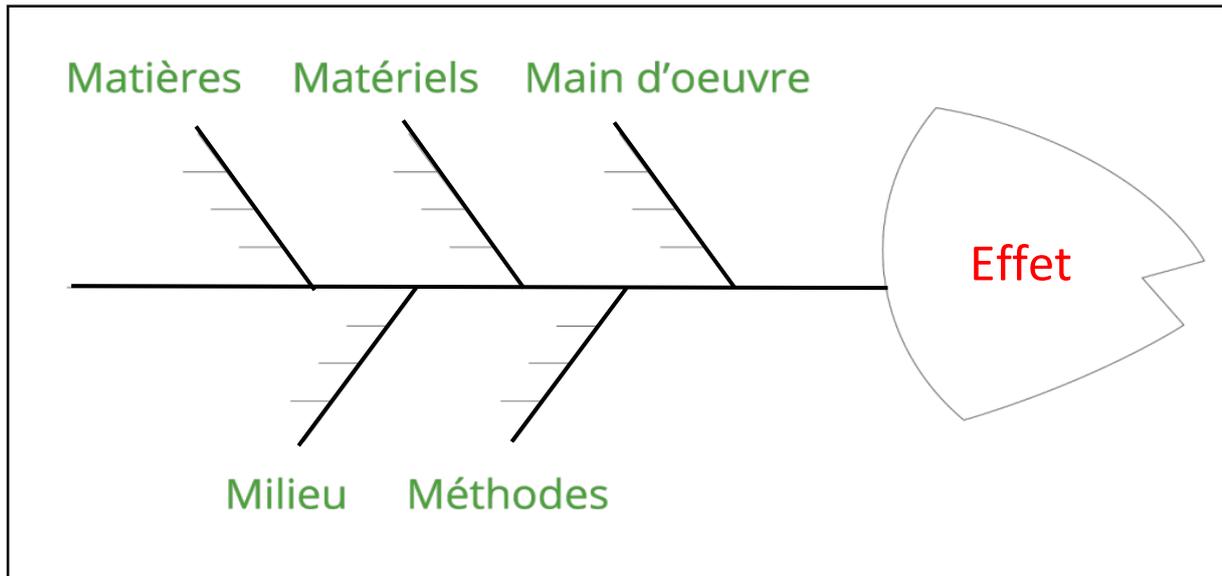


Figure II.13: Représentation graphique du diagramme Ishikawa.

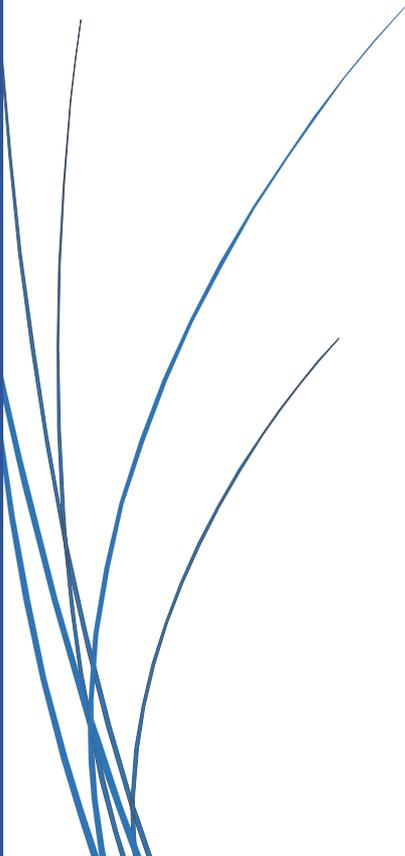
## II.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons généralisé les concepts de maintenance de base et brièvement présenté la théorie de la fiabilité, qui servira de base pour le calcul de la fiabilité du moteur MAN (TGA 400). Nous avons également présenté les deux distributions les plus courantes : ABC (Pareto) et Weibull, ainsi que le diagramme d'Ishikawa.

Nous traiterons les pannes du moteur MAN (TGA 400) en utilisant ces méthodes dans le sujet du chapitre IV.

## Chapitre III

# Présentation De L'atelier



### III. Introduction

Ces dernières années ont vu un essor ou un développement des services dans le domaine des poids lourds et des camions avec remorques, après l'implantation de quelques ateliers, dont TRUCK TEC.

L'atelier TRUCK TEC a été créé en 2010, situé dans la zone industrielle du Soudan à Berriane a GHARDAIA, et il est spécialisé dans les services de maintenance pour les poids lourds et les camions.



**Figure III.1:** Représentant la Localisation De de L'atelier TRUCK TEC.

Aujourd'hui, TRUCK TEC c'est 10 collaborateurs mobilisés autour des métiers de service que sont : contrat d'entretien, gestion de flotte, formation à la consommation, etc.), entretien et réparation poids lourds, vente de pièces et prestations châssis remorques (tôlerie, sablage, peinture, mise à niveau de banc ...)



**Figure III.2:** Représentant la façade avant de l'atelier.

L'atelier contient également un parking pour les camions qui ont besoin d'entretien



**Figure III.3:** Représentant des stations d'arrêt des camions.

### III.1 Les Service de l'atelier

#### III.1.1 Entretien d'un poids lourd

- Vidanger l'huile moteur,
- Changer les éléments filtrants par des équivalents neufs (filtre à huile, filtre à air, filtre à carburant, etc.),
- Remplir le réservoir moteur avec une huile neuve, propre et fluide

### III.1.2 Réparation mécanique

Un mécanicien est un technicien d'atelier qui effectue l'entretien (pression des pneus, vidanges, inspection des pièces, analyse d'huile, etc.) et répare les véhicules. Le mécanicien prévient les pannes, les diagnostique, effectue les réglages, répare, assemble les pièces défectueuses, effectue des essais routiers.

### III.1.3 Réparation électrique

Il prend en charge le système électrique du véhicule (batterie, démarreur, alternateur, fusibles, câbles et connectiques) et tous les appareils, consommateurs d'électricité : phares et circuits d'éclairage, système d'alarme intrusion, GPS, climatisation, fermeture centralisée, écrans et platines numériques, serrures de fenêtre, rétroviseurs et sièges électriques.

### III.1.4 Scanner (diagnostic)

Le rôle assigné au technicien en diagnostic n'est plus comme le mécanicien de l'époque où il avait en permanence le nez dans le moteur et les mains dans le cambouis pour remplacer un piston gommé, une bielle cassée ou un joint de culasse. Pour lui c'est fini la réparation lourde.

Dans le véhicule, le plus important est le diagnostic de l'électronique. Ce technicien est un spécialiste du dépannage et de la vérification des composants électroniques. Le "scanner" communique avec les calculateurs du véhicule via l'appareil de diagnostic et compare l'état des systèmes électroniques avec les données d'origine.

Cela permet de savoir exactement quelles sont les erreurs et de localiser les éventuelles interventions.

### III.1.5 Tôlerie

Dans l'environnement industriel, de nombreuses machines telles que des découpeuses au laser, des presses plieuses, des cisailles à guillotine et d'autres équipements de traitement sont utilisées dans le traitement de la tôle. L'utilisation de ces machines nécessite l'utilisation de plombiers, de techniciens de fabrication et de traceurs pour couper ou façonner le métal.



**Figure III.4:**Réparation de structures de camions.

### **III.1.6 Petit magasin**

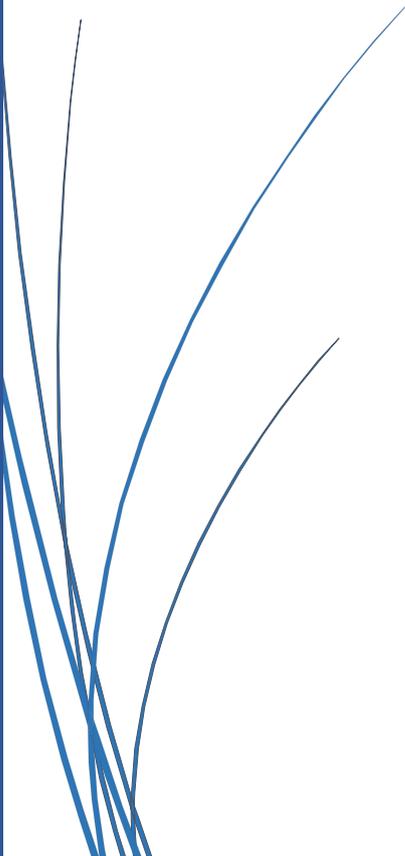
Il a des pièces de rechange de camion.

### **III.2 Conclusion**

Le stage pratique qui on a fait à la station L'atelier TRUCK TEC a permis d'avoir des connaissances pratiques sur leur fonctionnement et leur maintenance de ses différents équipements.

## Chapitre IV

## Partie D'application



## IV. Introduction

Placer la maintenance au sein de l'appareil de production est un défi complexe, car il est toujours difficile de simplifier dans un environnement complexe. C'est l'objectif du dernier chapitre, où nous tentons d'utiliser l'historique des pannes du moteur MAN TGA 400 pour mener une étude expérimentale sur les analyses fonctionnelles, les indicateurs et la méthode (A.B.C), diagramme

### IV.1 L'application Pratique des méthodes d'analyse

- **Historique des pannes du moteur MAN TGA 400**

Nous avons classé le tableau ci-dessous selon TBF et TTR, afin que ces pannes aient été enregistrées pour un camion lourd (MAN TGA 400) en environ 11 ans et cinq mois.

**Tableau IV-1:**Historique des pannes du moteur MAN TGA 400.

N °	Pannes	TBF(j)	TTR(h)
01	Tube boitier thermostat (Augmentation de la c°)	120	1
02	Pompe à eau (Augmentation de la température)	400	1
03	Filtre à l'huile (Manque de graissage)	150	0.5
04	Culasse (Culasse Augmentationde la température)	360	2
05	Pompe à l'huile (Dégradation graissage)	550	2
06	Refroidisseur (Augmentation de la de moteur)	80	2
07	Carter(Perte d'huile)	315	0.5
08	Injecteurs (Dégradation fonctionnement du moteur)	620	2
09	Vilebrequin (Moteur arrêté de fonctionner)	260	9
10	Coussinet de palier (Blocage de moteur)	105	4
11	Coussinet bielle (Freinage de moteur)	415	4
12	Bielle moteur (Blocage de moteur)	50	6
13	Piston moteur (Recul dans la courseà la pression)	160	6
14	Chemise piston (Perte d'huile)	90	7
15	Bloc moteur (Diminution du couple moteur)	470	14

**IV.2 Etude FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité)**

**IV.2.1 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 ranges médians  $F(i) = \frac{\sum ni - 0.3}{N + 0.4}$  (Dans notre cas N =15 ≤ 20) et on trace la courbe de Wei Bull :

**Tableau IV-2:**Application du modèle de weibull.

N °	TBF(j)	Ln(TBF)	N	$\sum ni$	F(i)	F(i)%	$Ln[Ln(1/(1 - F(i)))]$
1	50	3.912	1	1	0.045	4.5	-3.078
2	80	4.382	1	2	0.110	11	-2.149
3	90	4.499	1	3	0.175	17.5	-1.648
4	105	4.653	1	4	0.240	24	-1.293
5	120	4.787	1	5	0.305	30.5	-1.011
6	150	5.010	1	6	0.370	37	-0.772
7	160	5.075	1	7	0.435	43.5	-0.560
8	260	5.560	1	8	0.5	50	-0.366
9	315	5.752	1	9	0.564	56.4	-0.186
10	360	5.886	1	10	0.629	62.9	-0.008
11	400	5.991	1	11	0.694	69.4	0.169
12	415	6.028	1	12	0.759	75.9	0.352
13	470	6.152	1	13	0.824	82.4	0.552

14	550	6.309	1	14	0.889	88.9	0.787
15	620	6.429	1	15	0.954	95.4	1.124

On déduire les paramètres :  $\beta, \eta, \gamma, MTBF, \dots$  :

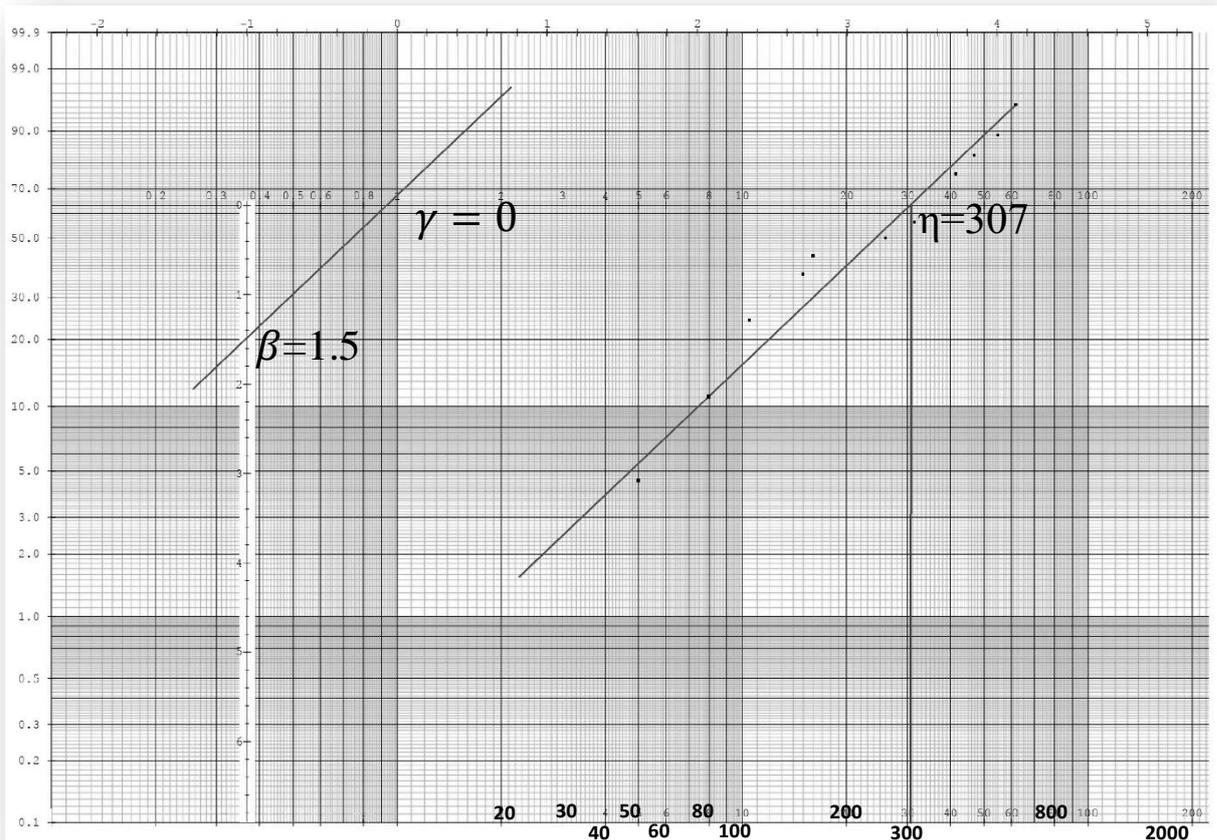


Figure IV.1: Papier de Wei bull.

On a trouvé les résultats suivants :

$\beta$	$\eta$	$\gamma$
1.5	307	0

IV.2.2 Test (Kolmogorov Smirnov)

Avant de valider les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse afin de déterminer si le modèle proposé par le test K-S est acceptable avec un niveau de confiance de  $\alpha = 20\%$ . Ce test implique de calculer la différence entre la fonction théorique  $F(i)$  et la fonction réelle  $F(t)$  pour trouver la valeur maximale en valeur absolue, notée  $D_n.max$ .

Cette valeur est ensuite comparée à  $D_{n,\alpha}$ , qui est fournie dans la table de Kolmogorov-Smirnov

Si  $D_{n,max} > D_{n,\alpha}$ , alors l'hypothèse est rejetée.

Tableau IV-3: Test de K-S.

N <sup>o</sup>	TBF(j)	F(i)	F(t)	D <sub>n,max</sub>  F(i) - F(t)
1	50	0.045	0.063	0.018
2	80	0.110	0.124	0.014
3	90	0.175	0.146	0.029
4	105	0.240	0.181	0.059
5	120	0.305	0.216	0.089
6	150	0.370	0.289	0.081
7	160	0.435	0.313	0.122
8	260	0.5	0.541	0.041
9	315	0.564	0.646	0.082
10	360	0.629	0.719	0.09
11	400	0.694	0.774	0.08
12	415	0.759	0.792	0.033
13	470	0.824	0.849	0.025
14	550	0.889	0.909	0.02
15	620	0.954	0.943	0.011

$\alpha = 0.2 = 20\%$

$D_{n,\alpha} = D_{15, 0.20} = 0.266$  Pour la valeur  $D_{n,\alpha}$  ( voir le tableau sue l'annexe I )

$D_{n,max} = 0.122$

$0.122 < 0.266 \Rightarrow D_{n,max} < D_{n,\alpha}$  on peut conclure que l'hypothèse du modèle de Weibull est valide.

IV.2.3 Exploitation Les Paramètres de WEIBULL

IV.2.3.1 MTBF :

A partir de tableau numériques pour une loi de Weibull (en annexe 02) selon la valeur de  $\beta$

On a déduit  $\Rightarrow A=0.9027 ; B=0.613$  (voir annexe II).

Selon l'équation  $MTBF = A \cdot \eta + \gamma$  on trouve que :

$$MTBF = 0 + 0.9027 \cdot 307 = 277,1289j$$

IV.2.3.2 La Densité De Probabilité En Fonction De MTBF

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

$$f(277,1289) = \frac{1.5}{307} \left(\frac{277.1289}{307}\right)^{1.5-1} \cdot e^{-\left(\frac{277.1289}{307}\right)^{1.5}} = 0.001969 = 0.1969\%$$

**IV.2.3.3 La Fonction De Répartition En Fonction De MTBF**

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

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{277.1289}{307}\right)^{1.5}} = 0.5758 = 57.58\%$$

**IV.2.3.4 La Fiabilité En Fonction De MTBF :**

$$R(t=MTBF) = 1 - F(t = MTBF) = 1 - 0.5758$$

$$R(t=MTBF) = 0.4242 = 42.42\%$$

**IV.2.3.5 Le taux de défaillance en fonction de MTBF**

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

$$\lambda(t = MTBF) = \frac{1.5}{307} \left(\frac{277.1289}{307}\right)^{1.5-1} = 0.004642 \text{ panne/jour}$$

**IV.2.3.6 Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique**

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

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

$$t = 307 \times \left[\ln\left(\frac{1}{0.8}\right)\right]^{\frac{1}{1.5}} = 112.94351 \text{ jour}$$

**IV.2.4 Étude de modèle de Wei bull :**

**IV.2.4.1 La fonction de la densité de probabilité**

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

**Tableau IV-4:** Calcul la fonction de la densité de probabilité.

TBF(j)	50	80	90	105	120	150	160	260	315	360	400	415	470	550	620
f(t)10 <sup>-3</sup>	1.84	2.18	2.25	2.33	2.39	2.42	2.42	2.06	1.75	1.48	1.26	1.17	0.90	0.059	0.39

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

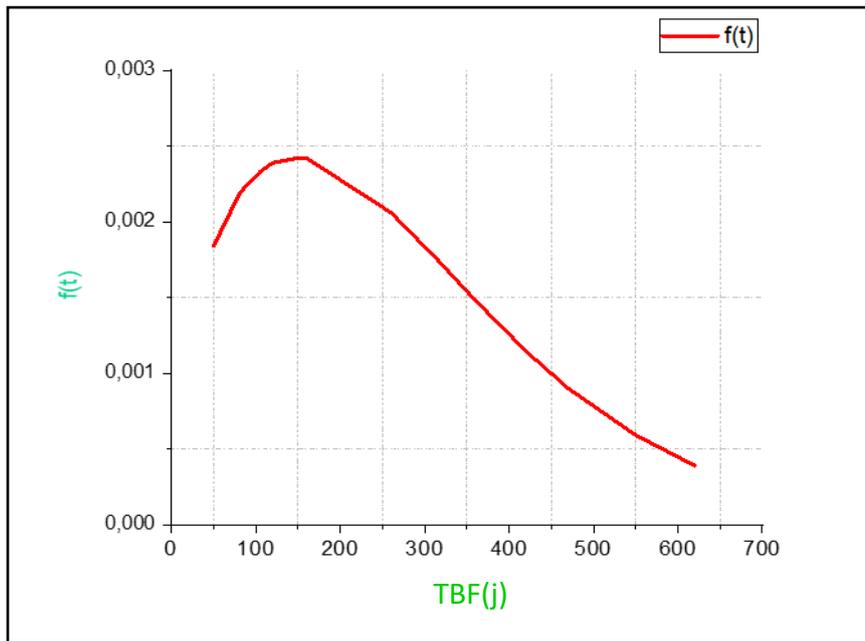


Figure IV.2:La Courbe Densité De Probabilité.

Analyse de courbe :

La courbe montre que f(t) diminue constamment avec l'augmentation du TBF, c'est-à-dire avec le temps.

IV.2.4.2 Fonction de répartition F(t)

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

Tableau IV-5:Calcul la Fonction de répartition.

TBF(j)	50	80	90	105	120	150	160	260	315	360	400	415	470	550	620
F(t)	0.06	0.12	0.14	0.18	0.21	0.28	0.31	0.54	0.64	0.71	0.77	0.79	0.84	0.90	0.94

b) Courbe fonction de répartition F(t)

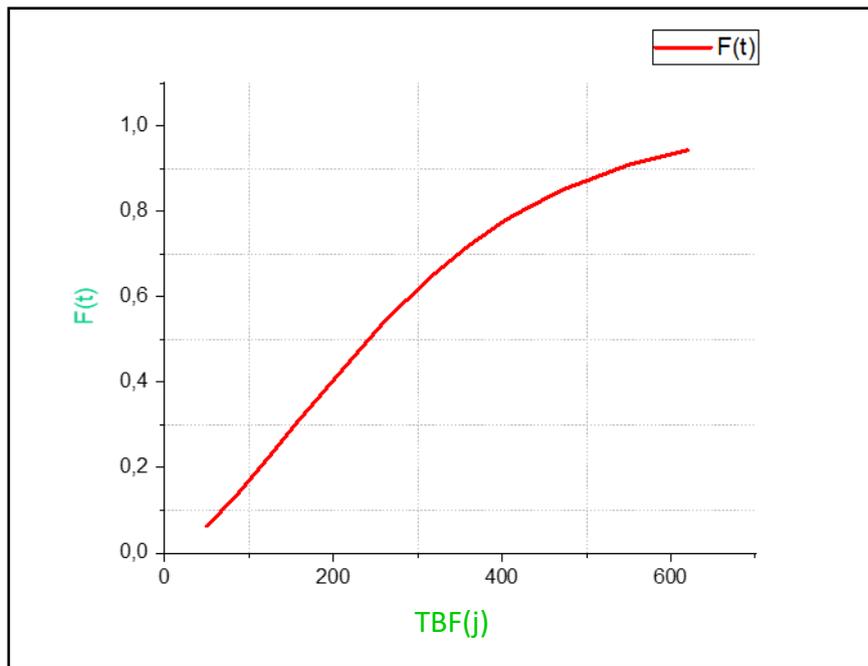


Figure IV.3:La Courbe de Fonction Répartition.

Analyse de courbe :

À partir de cette courbe, on peut voir que la valeur de F(t) augmente à mesure que la valeur de TBF augmente avec le temps.

**IV.2.4.3 La fiabilité R(t)**

La fonction fiabilité de celle de répartition : $R(t) = 1 - F(t)$ , après calcul de la fiabilité du moteur MAN TGA 400 au temps  $t=MTBF$ , on trouve que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que le moteur MAN TGA 400 n'est pas fiable à  $t=MTBF$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad R(t=MTBF) = R(277.1289) = 0.4241$$

(Soit une fiabilité de 42.41 %)

Tableau IV-6:Calcul de la fiabilité.

TBF(j)	50	80	90	105	120	150	160	260	315	360	400	415	470	550	620
R(t)	0.93	0.87	0.85	0.81	0.78	0.71	0.68	0.46	0.35	0.28	0.22	0.20	0.15	0.09	0.05

c) Courbe de la fiabilité

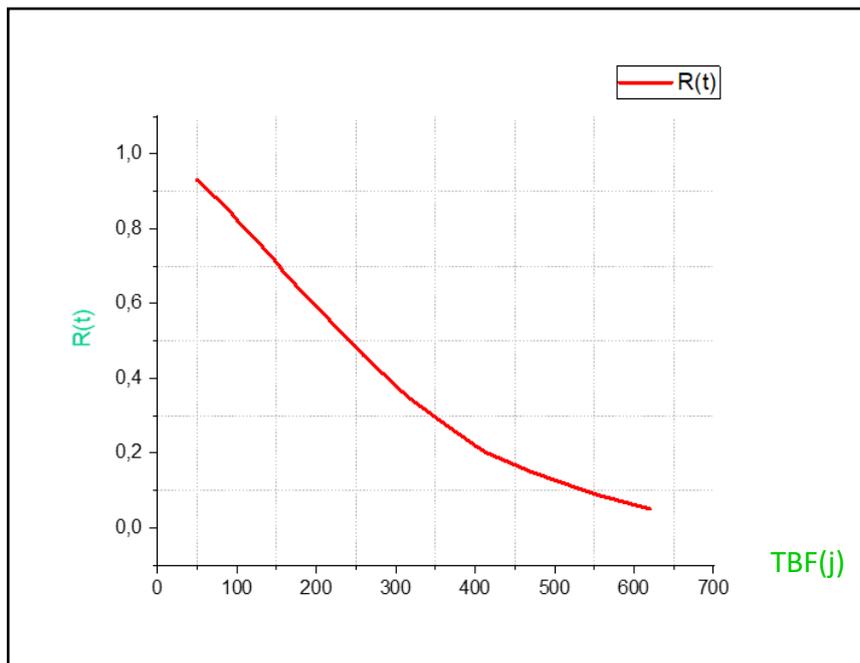


Figure IV.4:La Courbe de la Fonction Fiabilité.

Analyse de courbe :

Courbe décroissante en fonction du temps, ce qui peut s'expliquer par le phénomène de dégradation. L'amélioration de la fiabilité du moteur MAN TGA 400 nécessite inévitablement une analyse des pannes avec une étude détaillée de leurs causes, schémas et conséquences.

IV.2.4.4 Le taux de défaillance

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

Tableau IV-7:Calcul le taux de défaillance.

TBF(j)	50	80	90	105	120	150	160	260	315	360	400	415	470	550	620
$\lambda(t)10^{-3}$	1.9	2.4	2.6	2.8	3.0	3.4	3.5	4.4	4.9	5.2	5.5	5.6	6.0	6.5	6.9

d) Courbe du taux de défaillance  $\lambda (t)$

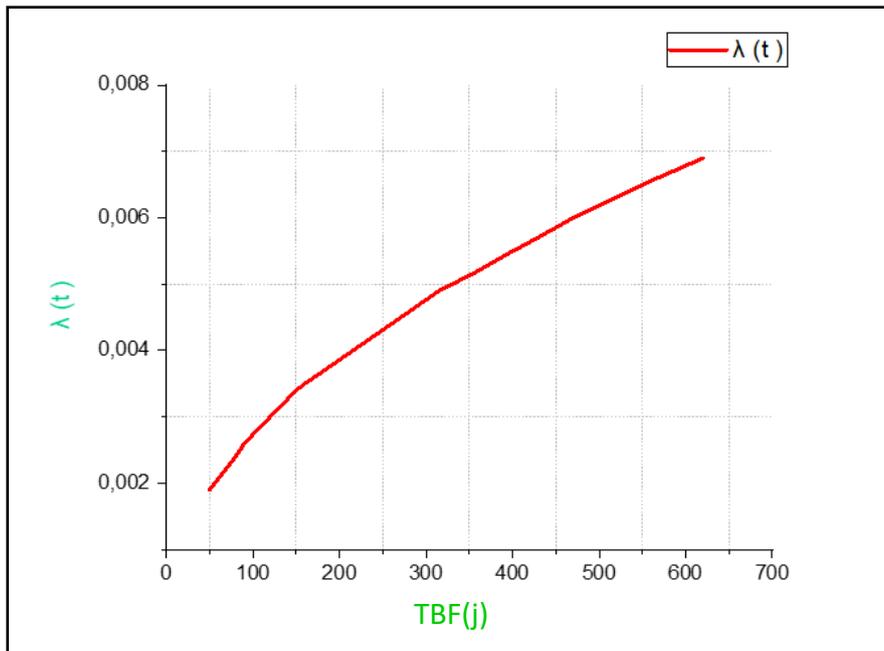


Figure IV.5:Le courbe taux de défaillance.

Analyse de courbe :

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

IV.2.4.5 Calcul la Maintenabilité de la moteur MAN TGA 400

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \Rightarrow \frac{61}{15} \Rightarrow MTTR = 4.066 \text{ h} = 0.1694 \text{ j}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \Rightarrow \frac{1}{4.066} \Rightarrow \mu = 0.245$$

$$M(t = MTTR) = 1 - e^{-\mu t} \Rightarrow 1 - e^{-4.066 \cdot 0.245} = 0.63$$

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

Tableau IV-8:Calcul la maintenabilité.

TTR(h)	0.5	1	2	4	6	7	9	14
M(t)	0.11	0.21	0.38	0.62	0.70	0.82	0.88	0.96

e) Courbe de maintenabilité

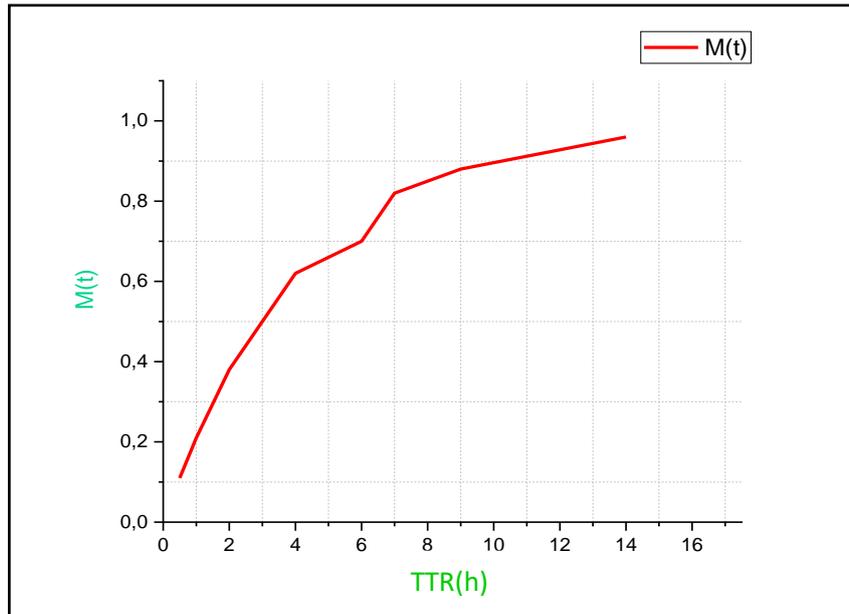


Figure IV.6: La Courbe de Maintenabilité.

Analyse de courbe :

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

**IV.2.4.6 Calcul la disponibilité du moteur MAN TGA 400**

**IV.2.4.6.1 Disponibilité intrinsèque théorique**

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{277.1289}{277.1289 + 0.1694} = 0.9993$$

**IV.2.4.6.2 Disponibilité instantanée :**

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

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{277.1289 \times 24} = 0.00015$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{4.066} = 0.2459$$

$$\lambda + \mu = 0.00015 + 0.2459 = 0.2461$$

$$D(t) = \frac{0.2459}{0.2461} + \frac{0.00015}{0.2461} e^{-(0.2461)t}$$

Tableau IV-9:Calcul la disponibilité instantanée.

TTR(h)	0.5	1	2	4	6	7	9	14
D(t)* 10 <sup>-3</sup>	999.726	999.664	999.56	999.415	999.327	999.296	999.254	999.207

f) Courbe fonction de la disponibilité

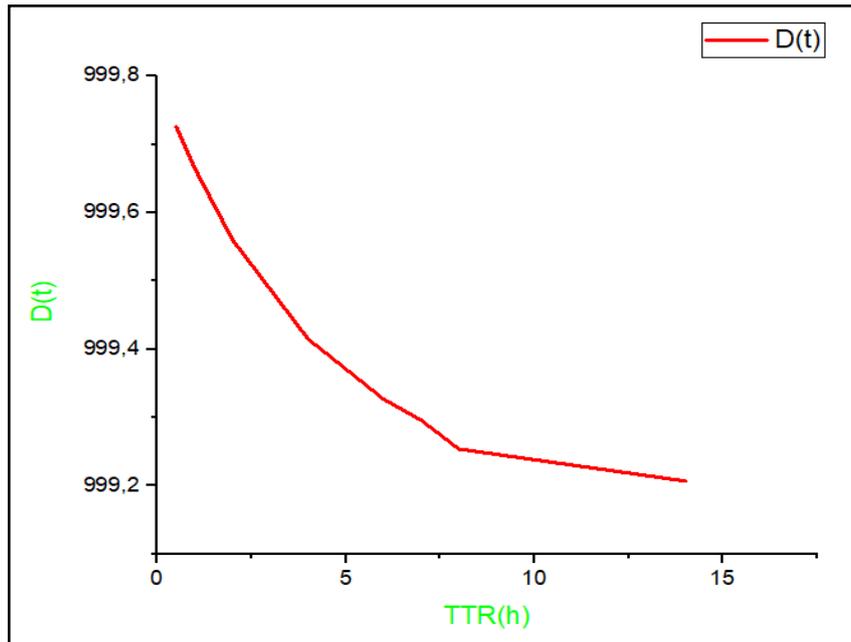


Figure IV.7:La Courbe de disponibilité.

Analyse de la courbe :

La disponibilité du moteur MAN TGA 400 diminue au fil du temps. Pour accroître sa disponibilité, il est nécessaire de réduire le nombre d'arrêts du moteur (ce qui augmente sa fiabilité) et de diminuer le temps nécessaire pour résoudre les causes de ces pannes (ce qui améliore sa maintenabilité).

**IV.3 Méthodes D'analyse Prévisionnelle « ABC (Pareto) »**

Pour utiliser la méthode ABC, nous allons classer des pannes par ordre décroissant des heures des pannes, puis procéder à la création du diagramme de Pareto.

**Tableau IV-10:Les analyse ABC (Pareto).**

<b>N °</b>	<b>Pannes</b>	<b>TTR(h)</b>	<b>Cumul</b>	<b>Cumul De (TTR)%</b>	<b>Nombre Donnes</b>	<b>Cumulées Des panes</b>	<b>Cumulées Des Pannes%</b>
<b>1</b>	Diminution du couple moteur	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>22.95</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>6.6</b>
<b>2</b>	Moteur arrêté de fonctionner	<b>09</b>	<b>23</b>	<b>37.70</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>13.3</b>
<b>3</b>	Perte d'huile	<b>07</b>	<b>30</b>	<b>49.18</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	Blocage de moteur( <b>Bielle</b> )	<b>06</b>	<b>36</b>	<b>59.01</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>26.6</b>
<b>5</b>	Recul dans la course à la pression	<b>06</b>	<b>42</b>	<b>68.85</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>33.3</b>
<b>6</b>	Blocage de Moteur( <b>palier</b> )	<b>04</b>	<b>46</b>	<b>75.40</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	Freinage de moteur	<b>04</b>	<b>50</b>	<b>81.96</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>46.6</b>
<b>8</b>	Culasse Augmentation de la température	<b>02</b>	<b>52</b>	<b>85.24</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>53.3</b>
<b>9</b>	Dégradation graissage	<b>02</b>	<b>54</b>	<b>88.52</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>60</b>
<b>10</b>	Augmentation de la température de moteur	<b>02</b>	<b>56</b>	<b>91.80</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>66.6</b>
<b>11</b>	Dégradation fonctionnement de moteur	<b>02</b>	<b>58</b>	<b>95.08</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>73.3</b>
<b>12</b>	Augmentation de la température( <b>thermostat</b> )	<b>01</b>	<b>59</b>	<b>96.72</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>80</b>
<b>13</b>	Pompe à eau Augmentation de la température	<b>01</b>	<b>60</b>	<b>98.36</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>86.6</b>
<b>14</b>	Perte d'huile( <b>Carter</b> )	<b>0.5</b>	<b>60.5</b>	<b>99.18</b>	<b>1</b>	<b>14</b>	<b>93.3</b>
<b>15</b>	Manque degraissage	<b>0.5</b>	<b>61</b>	<b>100</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>100</b>

IV.3.1 La Courbe D'analyse ABC

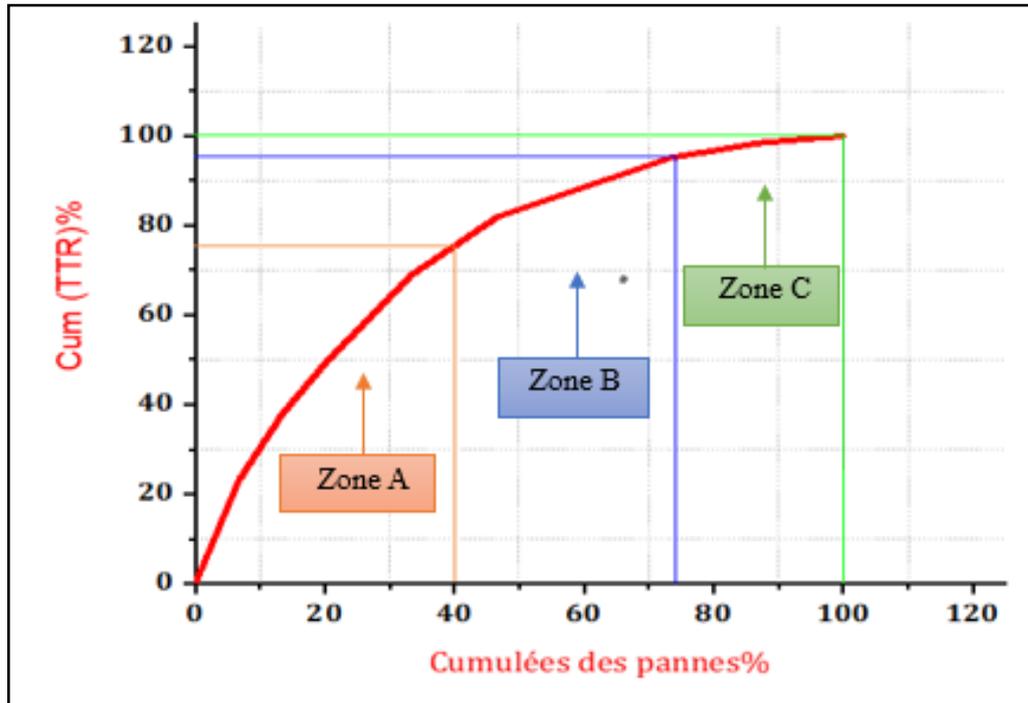


Figure IV.8:La courbe ABC (Pareto).

IV.3.2 Interprétation Des Résultats

D'après cette figure, on observe que la courbe ABC contient trois zones d'où :

**Zone "A"** : les 75.40% des heures de panne représentent 40% de nombre donne de panne, cette zone contient les éléments les plus tombent en panne : (Diminution du couple moteur, Moteur arrêté de fonctionner, Perte d'huile, Blocage de moteur (Bielle), Recul dans la course à la pression, Blocage de moteur (palier)).

**Zone "B"** : les 19.68% des heures de panne représentent 33.3% de nombre donne de panne (Freinage de moteur, Culasse Augmentation de la température, Dégradation graissage, Augmentation de la température de moteur, Dégradation fonctionnement de moteur).

**Zone "C"** : les 4.92% des heures de panne représentent 26.7% de nombre donne de panne (Augmentation de la température (thermostat), Pompe à eau Augmentation de la température, Perte d'huile (Carter), Manque de graissage).

IV.4 Diagramme causes-effet (Diagramme Ishikawa)

IV.4.1 Analyse d'intervention Dégradation du rendement de moteur

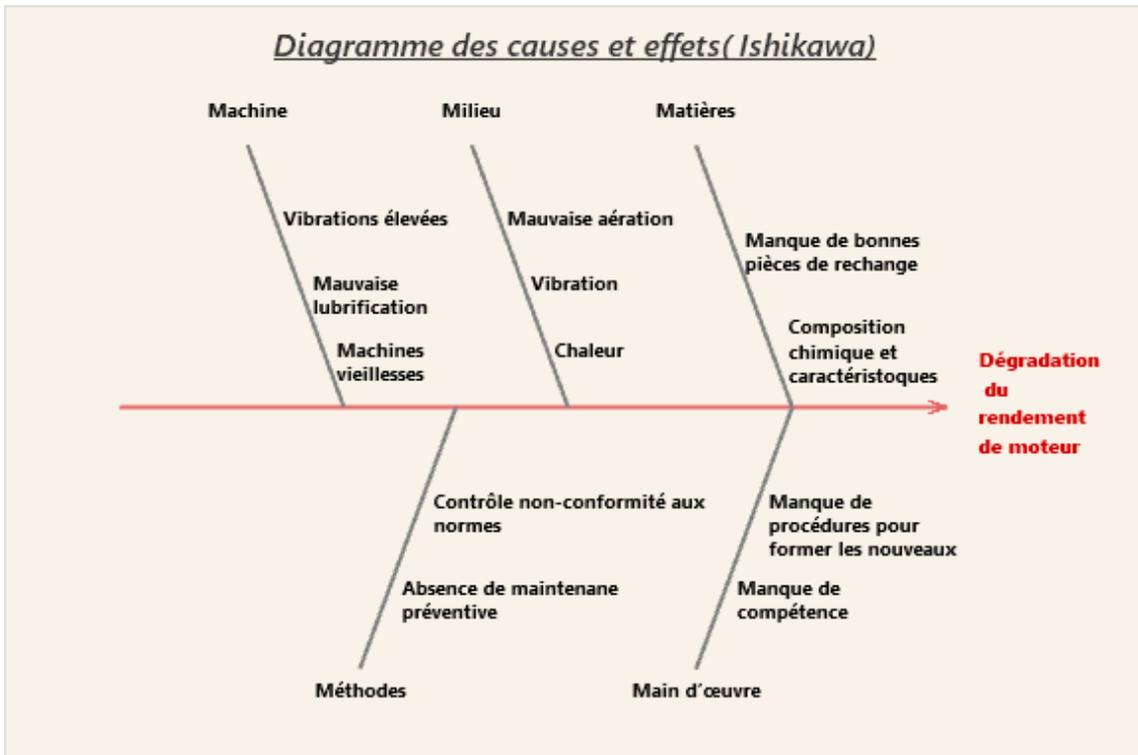


Figure IV.9:Analyse Ishikawa Dégradation du rendement de moteur.

IV.4.2 Analyse d'intervention Le moteur ne démarre pas

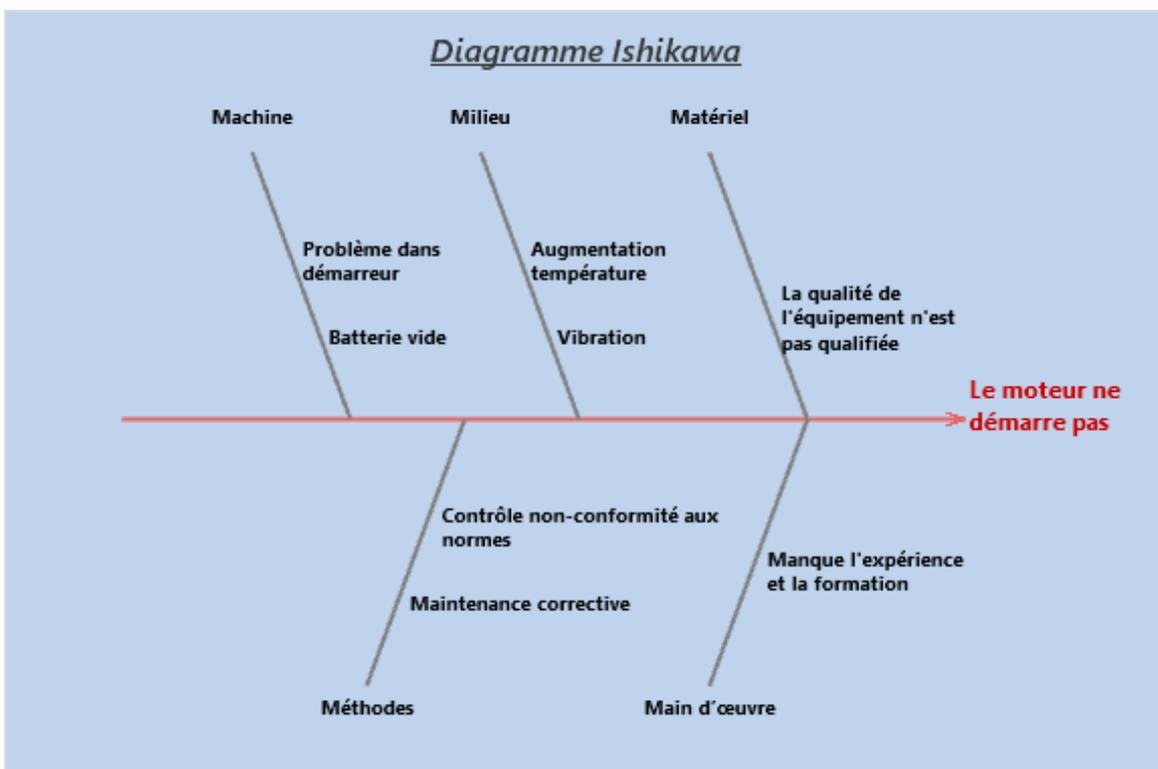


Figure IV.10:Analyse Ishikawa Le moteur ne démarre pas.

IV.4.3 Analyse d'intervention arrêt de moteur MAN TGA 400

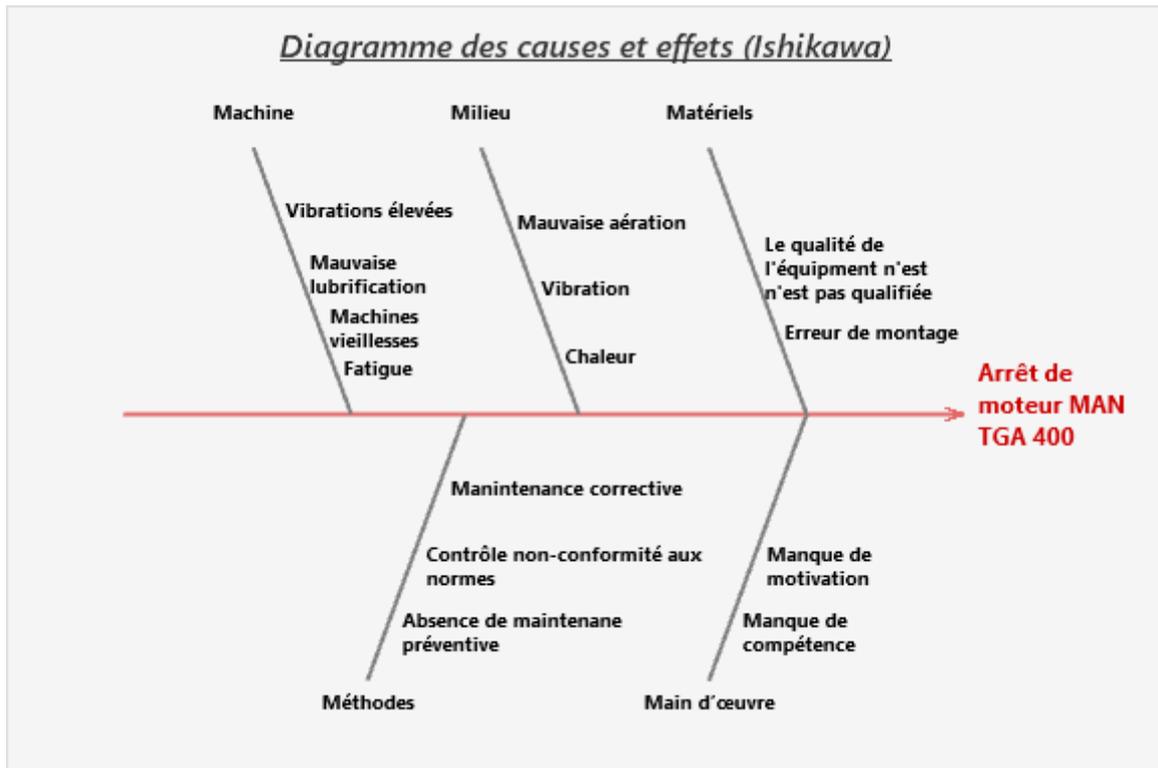


Figure IV.11:Analyse Ishikawa arrêt de moteur MAN.

IV.5 Conclusion

Nous avons utilisé de panne de moteur de camion lourd (MAN TGA 400) et nous avons étudié ces valeurs par FMD appliqué le schéma ABC (Pareto) et à travers lui, nous avons identifié les composants nécessitant une maintenance, nous sommes passés au schéma Ishikawa, grâce auquel nous avons identifié les causes primaires et secondaires et les résultats étaient les suivants :

- Nous avons trouvé  $\beta = 1.5$  donc le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse.
- MTBF = 277.1289 j.
- Pour maintenir la fiabilité du moteur MAN TGA 400 à 80%, il est nécessaire d'intervenir systématiquement tous les 112.94351 jours en effectuant des actions préventives sur le moteur MAN TGA 400.
- La fiabilité de la moteur MAN TGA 400 : 42.42%
- La courbe d'analyse ABC :

Faites plus attention aux dysfonctionnements de la zone A et donnez-lui la priorité dans la maintenance en appliquant :

- ✓ Faites un formation exercice sur ces dysfonctionnements pour éviter les erreurs inutiles.

- ✓ Apportez des pièces de rechange originales et certifiées pour ces dysfonctionnements.
  - ✓ Travaux de maintenance par des personnes compétentes et certifiées et expérimentées dans ces dysfonctionnements.
  - ✓ Travaux de maintenance préventive en temps opportun pour éviter les pannes majeures.
- Le diagramme de cause à effet est un indicateur de cause première qui vise à identifier les causes primaires et secondaires afin d'éliminer les problèmes trouvés. Il ne reflète pas directement les solutions adoptées, mais permet tout de même d'évaluer une solution correcte afin de classer le problème.

## 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, les coûts directs sont réduits et cela peut contribuer à la valorisation de certaines matières, et la question de la maintenance industrielle affecte la qualité de la production.

En étudiant les composants du moteur à combustion interne et leur fonctionnement, ainsi qu'en mettant en place une maintenance rigoureuse, nous avons démontré que les pannes du moteur ne sont pas inévitables, mais peuvent être maîtrisées grâce à une maintenance bien organisée. Cela permet d'améliorer l'état des équipements et de réduire les coûts de réparation, en assurant le fonctionnement continu du moteur et en évitant les arrêts complets. Cette approche constitue le fondement de la maintenance visant à éviter les temps d'arrêt total.

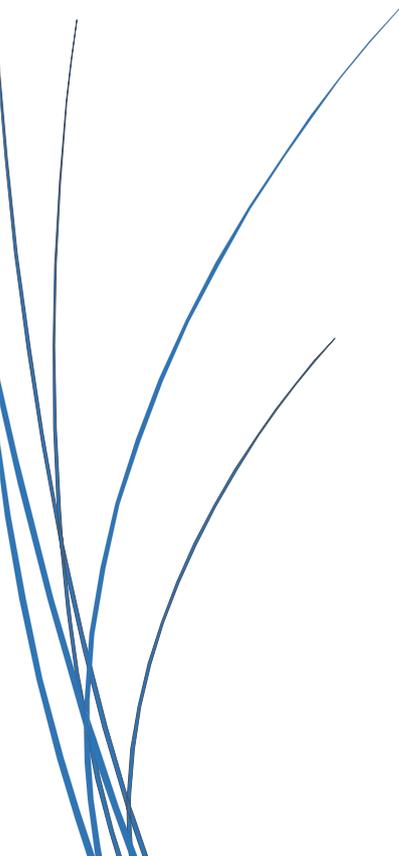
En utilisant l'historique des pannes du moteur MAN, nous avons appliqué la méthode ABC pour identifier les éléments les plus sujets aux pannes. Sur la courbe résultante, les éléments de la zone A sont les plus susceptibles de tomber en panne. Pour choisir les méthodes de calcul de la fonction de répartition, de la fiabilité, de la densité de probabilité et du taux de défaillance, nous avons effectué le test de Kolmogorov-Smirnov. Selon les résultats de ce test, la méthode acceptée à utiliser est la méthode de Weibull.

En outre, nous avons utilisé la méthode Ishikawa, également connue sous le nom de diagramme de causes et effets, pour analyser les causes possibles des pannes en appliquant la loi des 5 M. À partir de cette analyse, nous avons pu construire un arbre de pannes pour identifier

Les facteurs contribuant aux pannes.



## **Références Bibliographiques**



## Références Bibliographies

- [1] **Abdelmadjid Chehhat**. Moteurs à combustion interne (Cours et exemples résolus à l'usage des étudiants en graduation). 2017/2018 université abeslaghrour de kenchela.
- [2] **G. Maillard**, Technologie de l'automobile, juin 1986.
- [3] **Dr. Henni. Mansour. Z**, Thermo propulsion I. chapitre III- Moteurs thermiques. Tiré de l'internet
- [4] Technique automobile Gendarmerie Royale S. C. P. A. M.
- [5] Les organes de moteur, Technologie automobile, Académie de Nancy-Metz, 2008.
- [6] <https://www.toutsurlamoto.com/le-piston.html>
- [7] Moteurs diesels, Technologie générale
- [8] **Frederick Nash**. Technologie Automobile
- [9] **M. GRAD Hicham**. Sous le thème Apport de la MCSA par rapport à l'analyse vibratoire pour le suivi de l'état de la machine Asynchrone Université Mohammed V–Soussi 2012/2013.
- [10] **Deghboudj Samir**. Université de Tébessa Maintenance des Moteurs Diesel ; May 2006
- [11] <https://homeomath2.immingo.net/loiweibull2.htm>
- [12] **A. Rabia Laichi. I**, « Etude de la sureté de fonctionnement par analyse FMD application (PRESSE2500T) », Thèse d'ingénieur d'université m'silla, 2010.
- [13] **Nathalie Pouillard**. Diagramme d'Ishikawa et les 5 M, Le 4 novembre 2021.

## Annexe I

Tableau de loi Kolmogorov-Smirnov

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 II

Tableau de Distribution de Wei bull

$\beta$	A	B	$\beta$	A	B	$\beta$	A	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>37</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

## **ملخص:**

يكرس عملنا تحسين الصيانة الوقائية والموثوقية، لأن دراسة كل منها تجعل من الممكن تحسين استخدام الجهاز، وزيادة عمر الخدمة وتجنب عدم توفره الدائم. في مشروعنا، استشهدنا بأساليب التحليل المستخدمة في الموثوقية، ولا سيما قانون "ABC" وقانون "Weibull"، بالإضافة إلى "Diagramme Ishikawa"، حيث حددنا معلمات الموثوقية التي تجعل من الممكن تقييم معدل الفشل والفترة المثلى للصيانة الوقائية للمعدات قيد التشغيل. لقد انتهينا أخيراً من عملنا بدراسة حالة عملية لمحرك MAN. سمحت لنا هذه الدراسة بإيجاد نتائج تعمل على تحسين الموثوقية وقابلية الصيانة.

## **Abstract:**

Our work is dedicated to improving preventive maintenance and reliability, because the study of each of them makes it possible to optimize the use of the device, to increase its service life and to avoid its permanent unavailability.

In our project, we cited the analysis methods used in reliability, in particular the ABC law and Weibull's law, as well as the Ishikawa diagram, where we determined the reliability parameters that make it possible to evaluate the failure rate and the optimal period of preventive maintenance of equipment in operation. We have finally finished our work with a practical case study of the MAN engine. This study allowed us to find results that improve reliability and maintainability.

## **Résumé :**

Notre travail est dédié à l'amélioration de la maintenance préventive et de la fiabilité, car l'étude de chacune d'elles permet d'optimiser l'utilisation de l'appareil, d'augmenter sa durée de vie et d'éviter son indisponibilité permanente.

Dans notre projet, nous avons cité les méthodes d'analyse utilisées en fiabilité, notamment la loi ABC et la loi de Weibull, ainsi que le diagramme d'Ishikawa, où nous avons déterminé les paramètres de fiabilité qui permettent d'évaluer le taux de défaillance et la période optimale de maintenance préventive des équipements en fonctionnement. Nous avons enfin terminé notre travail avec une étude de cas pratique du moteur MAN. Cette étude nous a permis de trouver des résultats qui améliorent la fiabilité et la maintenabilité.