

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE GHARDAIA
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE ET ELECTROMECHANIQUE
MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER

SPECIALITE : MAINTENANCE INDUSTRIELLE

PAR : TEGGAR KADDOUR ABDELJALILE

THEME :

Étude de la fiabilité d'un moteur Diesel (6130-DE-01)
Au niveau de l'unité de production Oued Noumer à Ghardaia

SETENU PUBLIQUEMENT LE 14/06/2026

JURY :

Dr.Bouaraour Kamel	Pr	Université de Ghardaia	Président
Dr.Akermi Faouzi	MAA	Université de Ghardaia	Encadrant
Dr.Bougueffa Seif eddine	MCB	Université de Ghardaia	Examineur
Dr.Bouchelga Fatma	MCA	Université de Ghardaia	Examinatrice

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2025/2026

الملخص :

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل موثوقية محرك الديزل من خلال تحديد وتحليل الأعطال التي يمكن أن تؤثر على تشغيله وأدائه. تُستخدم محركات الديزل على نطاق واسع في المجالات الصناعية وقطاع النقل نظرًا لكفاءتها العالية ومتانتها، إلا أن التشغيل المستمر لها قد يؤدي إلى حدوث أعطال ميكانيكية وحرارية مختلفة، سواء بسبب ظروف الاستغلال القاسية أو نتيجة نقص الصيانة المناسبة.

يركّز هذا العمل على تحديد أكثر أنماط الأعطال شيوعًا التي تصيب محركات الديزل المستعملة في وحدة الإنتاج التابعة لسوناطراك بمنطقة واد نومر، حيث تحتل هذه المحركات مكانة أساسية في تشغيل مختلف المعدات الصناعية. ونظرًا لبعُد الموقع الجغرافي وغياب شبكة كهربائية موثوقة، يتم الاعتماد بشكل كبير على هذه المحركات لتوليد الطاقة عبر المولدات الكهربائية، مما يضمن تزويدًا مستمرًا وأمنًا لمختلف وحدات الإنتاج.

كما يتناول هذا البحث تحليل أسباب هذه الأعطال وتأثيراتها على موثوقية النظام، بالاعتماد على مجموعة من مؤشرات الموثوقية مثل متوسط الزمن بين الأعطال ومتوسط زمن الإصلاح، بهدف تقييم أداء المحرك.

وفي الأخير، تهدف هذه الدراسة إلى اقتراح استراتيجيات صيانة فعّالة تساهم في تحسين موثوقية وتوفير المحرك، مع تقليل التوقفات المفاجئة وضمان استمرارية الإنتاج.

الكلمات المفتاحية :

الموثوقية، محرك ديزل، الأعطال، الصيانة، توفر المحرك.

Résumé :

Cette étude vise à analyser la fiabilité d'un moteur Diesel à travers l'identification et l'analyse des défaillances pouvant affecter son fonctionnement et sa performance. Les moteurs Diesel sont largement utilisés dans les secteurs industriels et les transports en raison de leur rendement élevé et de leur robustesse. Cependant, leur fonctionnement continu peut provoquer diverses pannes mécaniques et thermiques dues aux conditions d'exploitation ou à un manque de maintenance adéquate.

Ce travail porte sur l'identification des modes de défaillance les plus fréquents affectant les moteurs Diesel utilisés dans l'unité de production de Sonatrach à Oued Noumer, ces moteurs occupent une place essentielle dans le fonctionnement global des équipements industriels. En raison de l'éloignement géographique du site et de l'absence d'un réseau électrique fiable, ces moteurs sont principalement utilisés pour la production d'énergie à travers des groupes électrogènes, assurant une alimentation continue et sécurisée des différentes unités de production.

Ainsi que sur l'analyse de leurs causes et de leurs impacts sur la fiabilité du système. L'étude s'appuie également sur l'utilisation de certains indicateurs de fiabilité tels que le temps moyen entre les pannes et le temps moyen de réparation afin d'évaluer les performances du moteur.

L'objectif final de cette recherche est de proposer des stratégies de maintenance efficaces permettant d'améliorer la fiabilité et la disponibilité du moteur tout en réduisant les arrêts imprévus.

Mots-clés :

Fiabilité, moteur Diesel, défaillance, maintenance, disponibilité.

Abstract :

This study aims to analyse the reliability of a Diesel engine through the identification and analysis of failures that may affect its operation and performance. Diesel engines are widely used in industrial sectors and transportation due to their high efficiency and robustness. However, their continuous operation can lead to various mechanical and thermal failures caused by operating conditions or inadequate maintenance.

This work focuses on identifying the most frequent failure modes affecting Diesel engines used in the production unit of Sonatrach in Oued Noumer. These engines play an essential role in the overall operation of industrial equipment. Due to the geographical remoteness of the site and the lack of a reliable electrical grid, these engines are mainly used for power generation through generator sets, ensuring continuous and secure power supply to the different production units.

The study also analyses the causes and impacts of these failures on system reliability. It is further based on the use of reliability indicators such as Mean Time Between Failures (MTBF) and Mean Time To Repair (MTTR) in order to evaluate engine performance.

The final objective of this research is to propose effective maintenance strategies aimed at improving engine reliability and availability while reducing unexpected downtime.

Keywords:

Reliability, Diesel engine, failure, maintenance, availability

Je dédie ce modeste travail ...

A mes chers parents ;

A ma famille ;

A tous mes amis chacun avec son nom ;

A tous mes enseignants ;

Mon infinie gratitude à ma reconnaissance.

Avant tout, nous remercions Dieu le Tout-Puissant de nous avoir donné la force, la patience et la volonté pour accomplir ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et notre sincère reconnaissance à notre encadrant Dr. FAOUZI AKERMI pour ses précieux conseils, son orientation, sa disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous adressons également nos remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail et de nous faire l'honneur de juger ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent aussi à tous les enseignants du DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE ET ELECTROMECHANIQUE à l'UNIVERSITE DE GHARDAIA pour les connaissances et la formation qu'ils nous ont apportées durant notre parcours universitaire.

Enfin, nous exprimons notre profonde reconnaissance à nos parents, nos familles et nos amis pour leur soutien moral, leur encouragement et leur patience tout au long de nos études.

À toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, nous adressons nos sincères remerciements.

Merci beaucoup à tous.

Liste des tableaux

CHAPITRE II

Tableau II -1 : La maintenabilité (Source : Documentation de maintenance industrielle) (Norme NF EN 13306).....	34
--	----

CHAPITRE III

Tableau III -1: Cycle diesel (Source: Christophe Des voies, « L'injection Diesel " Common Rail" Delphi », mémoire professionnel, Génie Mécanique Session 2003)	54
---	----

CHAPITRE IV

Tableau IV.1: fiche technique du moteur diesel (6130-DE-01).....	61
Tableau IV.2: L’historique des pannes du moteur diesel (6130-DE-01)	62
Tableau IV.3: Les couts de maintenance	63
Tableau IV.4 : les pannes fréquents et les causes possible.....	64
Tableau IV.5: Historique des défaillances et calcule des TTR et TBF.....	65
Tableau IV.6 : calcule de la maintenabilité	68
Tableau IV.7 : calcule de la disponibilité	70
Tableau IV.8 : L’analyse ABC (Pareto)	72

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure I-1: différents types de maintenance (**Source :** (Deghboudj Samir ; Université de Tébessa Maintenance des Moteurs Diesel ; May 2006)).....8

CHAPITRE II

Figure II-1 : Fonction de défaillance (**Source:** B.S. Dhillon, Ph.D. « Engineering Maintainability: How to Design for Reliability and Easy Maintenance » 257 pages Publisher: Elsevier Science & Technology Books I SBN: 088415257X Pub. Date: Jeune 1999)20

Figure II.2 : Fonction associée (**Source :** B.S. Dhillon, Ph.D. « Engineering Maintainability: How to Design for Reliability and Easy Maintenance » 257 pages Publisher: Elsevier Science & Technology Books I SBN: 088415257X Pub. Date: Jeune 1999)20

Figure II.3 : Composants en série (**Source :** Jan Claude Ligeron « cours de Fiabilité en Mécanique » M20S/IMdR2009 779 page)27

Figure II.4 : Composants en parallèle (**Source :** Jan Claude Ligeron « cours de Fiabilité en Mécanique » M20S/IMdR2009 779 page).....28

Figure II.5 : Evolution du taux de défaillance (**Source :** Pierre DAVID « Management des Risques Industriels Déploiement de la Sûreté de fonctionnement: Notions, Méthodes, Cycle de Vie » 209 pages, année 2010-2011).....30

Figure II.6 : Effet de la maintenance sur la fiabilité (**Source :** Pierre DAVID « Management des Risques Industriels Déploiement de la Sûreté de fonctionnement: Notions, Méthodes, Cycle de Vie » 209 pages, année 2010-2011)31

Figure II.7 : Les facteurs de la fiabilité (**source :** Documentation de maintenance industrielle) (Norme NF EN 13306).....32

CHAPITRE III

Figure III -1: Schéma d'un moteur Diesel à injection direct (**Source :** Christophe Des voies, « L'injection Diesel " Common Rail" Delphi » mémoire professionnel, Génie Mécanique Session 2003).....42

Figure III -2 : Les structures des préchambres de combustion (**Source :** Guy. Fillettaz, « classification des moteurs Diesel ».Document de la société Delphi 2002)44

Figure III -3: L'injection directe (Source : Guy. Fillettaz, « classification des moteurs Diesel ».Document de la société Delphi 2002).....	46
Figure III -4 : Injecteur piezo de Siemens (Source : Christophe Des voies, « L'injection Diesel " Common Rail" Delphi » mémoire professionnel, Génie Mécanique Session 2003).....	48
Figure III -5: L'admission d'air (Source : Serge Picard, « L'injection Diesel haute pression à rampe commune», dossier technique A.N.F.A « Association Nationale pour la Formation Automobile » édition 2001).....	50
Figure III -6 : La compression d'air (Source : Serge Picard, « L'injection Diesel haute pression à rampe commune», dossier technique A.N.F.A « Association Nationale pour la Formation Automobile » édition 2001).....	50
Figure III -7 : L'explosion (Source : Serge Picard, « L'injection Diesel haute pression à rampe commune», dossier technique A.N.F.A « Association Nationale pour la Formation Automobile » édition 2001)	51
Figure III -8 : L'échappement (Source : Serge Picard, « L'injection Diesel haute pression à rampe commune», dossier technique A.N.F.A « Association Nationale pour la Formation Automobile » édition 2001).....	51
Figure III -9 : Moteur en ligne [6] (Source : Moteurs à combustion description, Constructive, Bruxelles, 2012).....	54
Figure III -10 : Moteur en v [7] (Source : Moteurs à combustion description, Constructive, Bruxelles, 2012).....	55
Figure III -11 : Moteur boxer [6] (Source : http://moteur-a-explosion.e-monsite.com/pages/le-moteur-essence-et-le-moteur-diesel.html	56
Figure III -12 : Moteur en w [7] (Source : http://moteur-a-explosion.e-monsite.com/pages/le-moteur-essence-et-le-moteur-diesel.html).....	56
Figure III -13 : Moteur radiaux/ en étoile [8] (Source : Les organes de moteur, Technologie automobile, Académie de Nancy-Metz, 2008).....	57
Figure III -14 : Moteur en U [6] (Source : Les organes de moteur, Technologie automobile, Académie de Nancy-Metz, 2008).....	57

CHAPITRE IV

Figure IV -1: Les nombres des heures de travail de chaque type de maintenance.....	63
Figure IV-2: Les couts de chaque type de maintenance	63

Liste des graphes

CHAPITRE II

Graphe II.1 : Courbes caractéristiques du taux de défaillance (**Source :** B.S. Dhillon, Ph.D. « Engineering Maintainability: How to Design for Reliability and Easy Maintenance » 257 pages Publisher: Elsevier Science & Technology Books I SBN: 088415257X Pub. Date: Jeune 1999).....23

Graphe II.2 : La courbe en baignoire (**Source :** B.S. Dhillon, Ph.D. « Engineering Maintainability: How to Design for Reliability and Easy Maintenance » 257 pages Publisher: Elsevier Science & Technology Books I SBN: 088415257X Pub. Date: Jeune 1999).....23

Graphe II.3 : Courbe du taux de défaillance en mécanique (**Source :** Jan Claude Ligeron « cours de Fiabilité en Mécanique » M20S/IMdR2009 779 page).....25

Graphe II.4 : Courbes d'évolution des coûts en fonction de la fiabilité (**Source :** Jan Claude Ligeron « cours de Fiabilité en Mécanique » M20S/IMdR2009 779 page).....26

CHAPITRE III

Graphe III -1 : cycle diesel (**Source :** Guy. Fillettaz, « classification des moteurs Diesel ».Document de la société Delphi 2002).....53

CHAPITRE IV

Graphe IV-1 : La courbe De la fonction de la fiabilité66

Graphe IV-2 : La courbe De la fonction de la répartition66

Graphe IV-3 : La courbe de taux de défaillance67

Graphe IV-4 : La courbe de la maintenabilité en fonction de TTR69

Graphe IV-5 : La courbe de la disponibilité en fonction de TTR.....70

Graphe IV-6 : Diagramme de PARETO74

Liste des abréviations

- MTBF : Mean Time Between Failures (Temps Moyen entre Défaillances)
- MTTR : Mean Time To Repair (Temps Moyen de Réparation)
- TBF : Temps de Bon Fonctionnement
- TTR : Temps de Réparation
- $R(t)$: Fonction de fiabilité (Reliability)
- $F(t)$: Fonction de défaillance (Fonction de répartition)
- $\lambda(t)$: Taux de défaillance instantané
- $D(t)$: Disponibilité
- t : Temps
- NF EN 13306 : Norme européenne de la maintenance industrielle
- OMF : Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité
- BRKD : breakdown (panne totale).
- FMD : fiabilité, maintenabilité, disponibilité.

SOMMAIRE

Résumé :	II
Abstract :	III
Dédicace.....	IV
Remerciements.....	V
Liste des tableaux :	VI
Liste des figures :	VII
Liste des graphes :	IX
Liste des abréviations.....	XI
Introduction générale :	2
Chapitre I: Généralités sur la maintenance.....	7
Introduction :	7
I-Place et définition de la maintenance industrielle :	7
II-Définition de la maintenance industrielle :	7
III- 1-La maintenance préventive :	9
III- 1- 1 Définition :	9
III- 1-2 Les objectifs de la maintenance préventive :	9
III-1-3- Les opérations de la maintenance préventive :	9
III- 2-La maintenance préventive systématique :	10
III-2 -1-Définition :	10
III-2-2 La maintenance préventive conditionnelle :	10
III- 2-3- Avantage :	11
IV-La maintenance corrective :	12
IV -1-Définition :	12
IV-2- <i>Les opérations de la maintenance corrective:</i>	12
IV -3- Autre type de la maintenance :	13
La maintenance d'amélioration :	13
La rénovation :	13
La reconstruction :	13
La modernisation :	14
IV-3-Les niveaux de la maintenance :	14

Conclusion :	17
Chapitre II: Concepts généraux de la fiabilité.....	19
Introduction :	19
I- Définition:	19
II-Fiabilité et problématique :	19
II-2-Fonction de fiabilité $R(t)$ – Fonction de défaillance $F(t)$	19
II-2-Taux de défaillance instantané :	21
II-3-1-Temps moyen de bon fonctionnement :	22
II-4-Les différentes phases du cycle de vie d'un produit :	23
II-4-1-Taux de défaillance pour des composants électroniques :	24
II-4-2-Taux de défaillance pour des composants mécaniques :	24
II-4-2-1-Objectifs et intérêts de la fiabilité en mécanique :	25
II-4-2-2-Evolution des coûts en fonction de la fiabilité :	26
III-Fiabilité d'un système :	26
III-1-En série :	27
III-2-En parallèle :	28
III-3-La Relation entre la fiabilité et la maintenance :	29
III -3-1-Principales liaisons fiabilité –maintenance :	29
III-3-2- Rôle de la maintenance préventive constitue:.....	31
III-3-3- Taux de défaillance.....	32
IV- La maintenabilité :	33
IV-1-Définition :	33
V-Le concept de la disponibilité :	34
V-1- Définition :	34
V-2- Quantification de la disponibilité :	35
V-3- Disponibilité intrinsèque D_i :	35
V-4- Disponibilité opérationnelle D_o :	35
Conclusion :	35
Chapitre III: Description d'un moteur diesel.....	38
Introduction :	38

I - Rappel historique du moteur Diesel :	39
II- Les types de moteur Diesel :	39
II -1- Moteurs à injection indirecte :	39
II -2- Les Moteurs à injection directe :	41
II-3- Moteurs à rampe commune et Injecteur Pompe :	42
III- Comment ça marche le moteur Diesel :	44
III-1- Le Principe:	45
III -1-1- Les temps de la combustion :	46
III -2- Le démarrage d'un moteur Diesel:	48
III -3- Le cycle du Diesel :	49
III -4- Configurations Des Moteurs :	50
IV- Différence entre moteur diesel et essence :	53
IV-1- Avantages du moteur diesel:	54
IV- 2- Inconvénients du moteur diesel:	54
Conclusion :	55
 Chapitre IV: Représentation et discussion des résultats	57
 Introduction :	57
I - Schéma de fonctionnement :	58
II- Historique des pannes :	58
III - L'analyse de la fiabilité :	62
IV - L'analyse de La maintenabilité :	63
V- L'analyse de la disponibilité :	65
 V- 1- Disponibilité intrinsèque :	65
V-2- Disponibilité instantané :	66
 XIII- -1- Un plan de maintenance préventive systématique :	68
XIII- -2- Le diagramme de PARETO (ABC) :	68
XIII- -3- Interprétation des résultats :	70

XIII-4- Recommandations :	71
XIII- -5- Optimisation globale :.....	72
Conclusion :.....	73
Conclusion générale :	75
Références bibliographiques :.....	77
Annexes :.....	82

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale

Les moteurs Diesel constituent des équipements essentiels dans plusieurs secteurs industriels, notamment la production d'énergie et le transport, grâce à leur rendement élevé et leur robustesse. Leur fonctionnement repose sur la conversion de l'énergie de combustion en énergie mécanique, ce qui les rend indispensables dans de nombreuses applications industrielles.

Cependant, ces moteurs fonctionnent sous des contraintes sévères pouvant provoquer des défaillances au niveau de différents composants tels que l'injection, la lubrification ou les parties mécaniques internes, entraînant des arrêts imprévus et une diminution des performances.

Dans ce cadre, la fiabilité représente un outil fondamental en maintenance industrielle permettant d'évaluer le bon fonctionnement des équipements et d'identifier les causes de pannes afin d'améliorer leur disponibilité.

À cet égard, les moteurs diesel étudiés sont utilisés dans l'unité de production de Sonatrach à Oued Noumer, où ils assurent la production d'énergie à travers des groupes électrogènes en raison de l'éloignement du site et de l'absence d'un réseau électrique fiable.

Ainsi, ce travail vise à analyser la fiabilité d'un moteur Diesel à travers l'étude de ses défaillances et de leurs impacts, afin de proposer des stratégies de maintenance adaptées permettant d'optimiser son exploitation.

L'objectif principal de ce travail est donc d'étudier la fiabilité d'un moteur Diesel à travers l'analyse des défaillances et des paramètres influençant son fonctionnement. Cette étude vise également à proposer des solutions et des stratégies de maintenance adaptées afin d'améliorer la disponibilité du moteur et d'optimiser son exploitation.

Les moteurs Diesel utilisés dans les systèmes industriels assurent des fonctions critiques, notamment la production d'énergie et l'alimentation continue des équipements de production. Leur rôle devient encore plus important dans les sites isolés où la continuité de service dépend fortement de leur bon fonctionnement, comme c'est le cas de l'unité de production de Sonatrach à Oued Noumer.

Toutefois, ces équipements sont soumis à des conditions d'exploitation exigeantes caractérisées par des charges variables, des températures élevées et un fonctionnement prolongé. Ces contraintes accélèrent l'usure des composants et favorisent l'apparition progressive de défaillances techniques touchant différents sous-systèmes du moteur. Ces dysfonctionnements peuvent avoir des répercussions directes sur la continuité de service et engendrer des coûts de maintenance supplémentaires ainsi que des pertes de disponibilité.

Dans ce contexte, l'enjeu principal réside dans la compréhension du comportement de défaillance de ces moteurs et dans l'identification des causes profondes qui influencent leur fiabilité. Il devient donc nécessaire d'analyser les modes de défaillance les plus fréquents, ainsi que leur impact sur les performances globales du système.

Ce qui nous amène à s'interroger de :

Comment analyser de manière efficace les défaillances d'un moteur Diesel afin de comprendre leur impact sur sa fiabilité et d'améliorer sa disponibilité dans un environnement industriel contraignant ?

Afin de répondre à la problématique posée, les hypothèses suivantes peuvent être formulées :

- Les défaillances des moteurs Diesel sont principalement liées aux conditions d'exploitation sévères (charges variables, température élevée et fonctionnement continu).
- Les sous-systèmes tels que l'injection, la lubrification et les organes mécaniques constituent les zones les plus vulnérables aux pannes.
- Une analyse basée sur les indicateurs de fiabilité permet d'identifier les causes principales des défaillances et d'évaluer la performance réelle du moteur.
- L'amélioration des stratégies de maintenance contribue directement à l'augmentation de la disponibilité et à la réduction des arrêts imprévus.

L'objectif principal de ce travail est d'analyser la fiabilité d'un moteur Diesel en étudiant ses modes de défaillance et leur impact sur ses performances.

À cet effet, les objectifs spécifiques sont les suivants :

- Identifier les modes de défaillance les plus fréquents du moteur Diesel.
- Analyser les causes principales à l'origine de ces défaillances.
- Évaluer l'impact des pannes sur la fiabilité et la disponibilité du système.
- Utiliser des indicateurs de fiabilité tels que le MTBF et le MTTR pour quantifier les performances du moteur.
- Proposer des stratégies de maintenance adaptées afin d'améliorer la fiabilité et réduire les arrêts non planifiés.

Le présent travail se décompose en introduction générale et quatre chapitres suivis d'une conclusion générale comme suivant :

Le premier chapitre présente des notions de base et généralités sur la maintenance pour bien comprendre le sujet étudié.

Le deuxième chapitre présente des concepts généraux de la fiabilité d'étude et les principales lois de la fiabilité et ces objectifs ces coûts et la relation entre elle et la maintenance.

Le troisième chapitre présente le moteur diesel de notre cadre d'étude leur types et le principe de fonctionnement et leur utilisation dans le domaine industrielle et les avantages, les inconvénients de ce moteur.

Le quatrième chapitre présente des représentations et discussion des résultats, étudie l'historique des pannes de moteur diesel, analyse FMD et des solutions pour optimiser la performance de ce type de moteur.

CHAPITRE I
GENERALITES SUR
LA MAINTENANCE

Introduction

La maintenance industrielle joue un rôle essentiel dans le bon fonctionnement des systèmes de production modernes. Elle regroupe l'ensemble des actions techniques, administratives et de management destinées à maintenir ou à rétablir un équipement dans un état lui permettant d'assurer la fonction requise. Avec l'évolution rapide des technologies et l'automatisation des procédés industriels, la maintenance est devenue un élément stratégique pour garantir la fiabilité, la disponibilité et la performance des installations industrielles.

Aujourd'hui, les exigences de production imposent une réduction des arrêts non planifiés et une optimisation continue des performances des machines. Dans ce contexte, la maintenance ne se limite plus aux interventions correctives après panne, mais s'oriente de plus en plus vers des approches préventives, conditionnelles et prédictives, basées sur la surveillance en temps réel et l'analyse des données de fonctionnement.

Ainsi, la maintenance industrielle contribue directement à la réduction des coûts d'exploitation, à l'amélioration de la productivité, à la sécurité des opérateurs, ainsi qu'à la prolongation de la durée de vie des équipements. Elle constitue donc un levier fondamental dans la gestion efficace des systèmes de production modernes.

I-Place et définition de la maintenance industrielle

Pour être et demeurer compétitive, une entreprise doit produire toujours mieux (qualité) et au coût le plus bas. Pour minimiser ce coût, on fabrique plus vite et sans interruption des produits sans défaut afin d'atteindre la production maximale par unité de temps.

L'automatisation et l'informatique ont permis d'accroître considérablement cette rapidité de production. Cependant, les limitations technologiques des moyens de production ne permettent pas d'augmenter continuellement les cadences.

De plus, produire plus sous-entend produire sans ralentissements, ni arrêts. Pour cela, le système de production ne doit subir qu'un nombre minimum de temps de non production. Exceptés les arrêts inévitables dus à la production elle-même (changements de production, montées en température, etc.), les machines ne doivent jamais (ou presque) connaître de défaillances tout en fonctionnant à un régime permettant le rendement maximal. [1].

Cet objectif est un des buts de la fonction maintenance d'une entreprise. Il s'agit de maintenir un bien dans un état lui permettant de répondre de façon optimale à sa fonction.

II-Définition de la maintenance industrielle

La maintenance industrielle est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. Bien maintenir c'est assurer l'ensemble de ses opérations au coût optimal.[1].

La définition de la maintenance fait donc apparaître 3 notions :

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

Le rôle de la fonction maintenance dans une entreprise (quel que soit son type et son secteur d'activité) est donc de : garantir la plus grande disponibilité des équipements au meilleur rendement tout en respectant le budget alloué.[1].

III- Types de maintenance

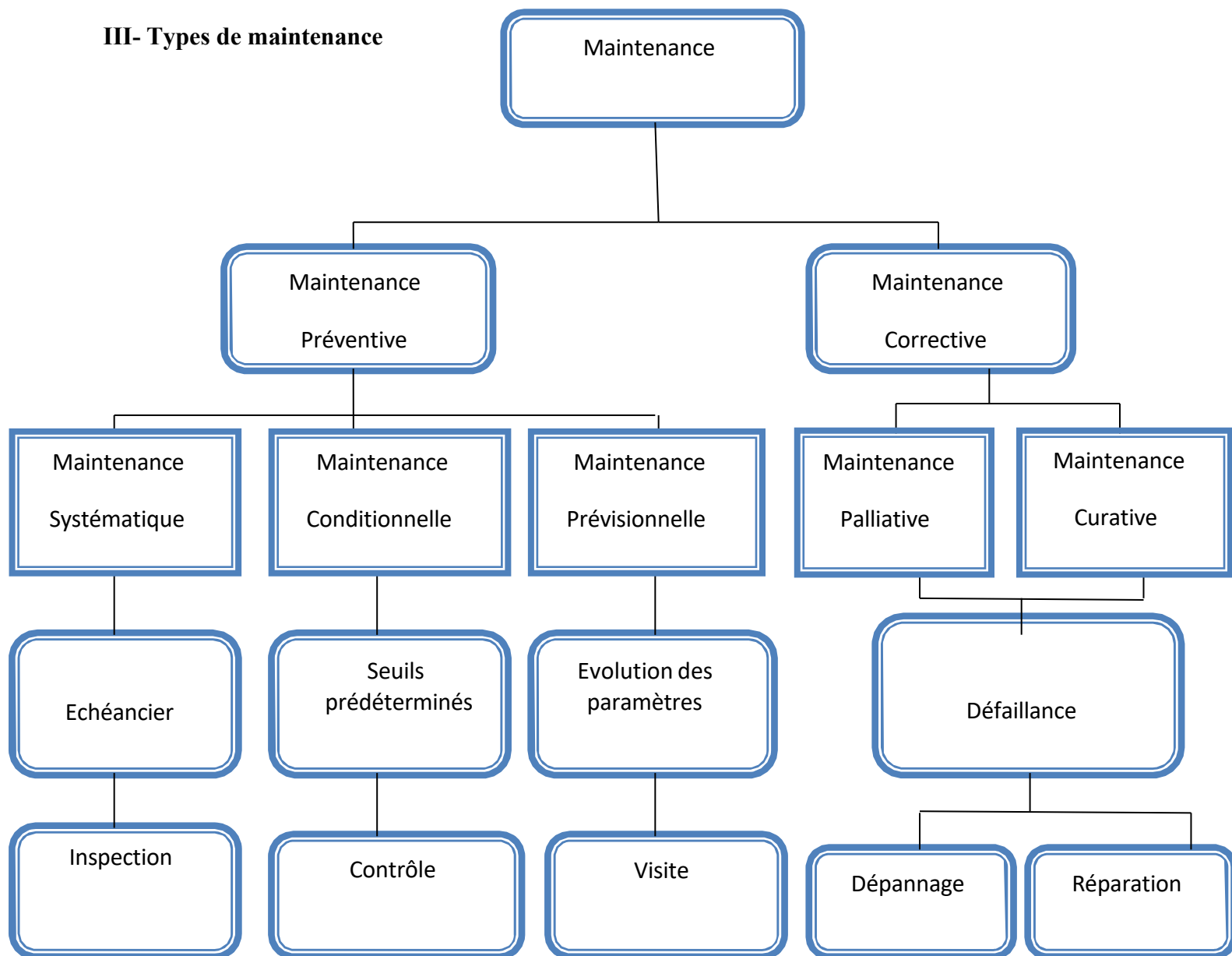


Figure I-1 : différents types de maintenance.

III- 1-La maintenance préventive

III- 1- 1 Définition

Est une maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.[2].

C'est donc une intervention de maintenance prévue, préparée et programmée avant la date probable d'apparition d'une défaillance.

III- 1-2 Les objectifs de la maintenance préventive

Les objectifs visés par la maintenance préventive sont les suivants :

- Augmenter la fiabilité d'un équipement, donc réduire les défaillances en service :
.Réduction des coûts de défaillance, amélioration de la disponibilité.
- Augmenter la durée de vie efficace d'un équipement.
- Améliorer l'ordonnancement des travaux, donc les relations avec la production.
- Réduire et régulariser la charge de travail.
- Faciliter la gestion des stocks (consommations prévues).
- Assurer la sécurité (moins d'improvisations dangereuses).
- Plus globalement, en réduisant la part « d'imprévu », améliorer le climat des relations humaines (une panne imprévue est toujours source de tension).

III-1-3- Les opérations de la maintenance préventive

Elles peuvent être regroupées en 3 familles : les inspections, les contrôles, les visites. Elles permettent de maîtriser l'évolution de l'état réel du matériel. Elles peuvent être effectuées de manière continue ou à d'intervalles, prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.[2].

L'inspection

Activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. Elle n'est pas obligatoirement limitée à la comparaison avec des données préétablies. Pour la maintenance, cette activité s'exerce notamment au moyen des rondes. Ex : inspection des extincteurs, écoute de bruits dans un compresseur. Les activités d'inspection sont en général exécutées sans outillage spécifique et ne nécessitent pas d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

La visite

Opération de maintenance préventive qui se traduit par un examen détaillé et prédéterminé de tout ou partie du bien. Ex : visite périodique des ascenseurs, des équipements électriques et mécaniques d'un engin de levage. Ces activités peuvent entraîner des démontages partiels des éléments à visiter (et donc d'entraîner une immobilisation du matériel) ainsi que des opérations de maintenance corrective.

Le contrôle

Vérifications de conformité par rapport à des données préétablies, suivies d'un jugement. Le contrôle peut comporter une activité d'information, inclure une décision (acceptation, rejet, ajournement), déboucher sur des actions correctives. La périodicité du contrôle peut être constante (durant la phase de fonctionnement normal du matériel) ou variable (et de plus en plus courte dès que le matériel rentre dans sa phase d'usure).

La Révision

Ensemble des actions d'examen, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné.

Il faut distinguer suivant l'étendue des opérations à effectuer les révisions partielles et les révisions générales. Dans les 2 cas, cette opération nécessite la dépose de différents sous-ensembles.

Le terme révision ne doit en aucun cas être confondu avec les termes visites, contrôles, inspections. Les 2 types d'opérations définis (révision générale ou partielle) relèvent du 4ème niveau de maintenance.

Les échanges standards

Reprise d'une pièce ou d'un organe ou d'un sous-ensemble usagé, et vente au même client d'une pièce ou d'un organe ou d'un sous-ensemble identique, neuf ou remis en état conformément aux spécification du constructeur, moyennement le paiement d'une soulte dont le montant est déterminé d'après le coût de remise en état.

Soulte : somme d'argent qui, dans un échange ou dans un partage, compense l'inégalité de valeur des lots ou des biens échangés.

III- 2-La maintenance préventive systématique

III-2 -1-Définition

Est une maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage.

Le but est de maintenir le système dans l'état de ses performances initiales. Pour cela, il est procédé lors de ces interventions à différentes opérations. [1]

III-2-2 La maintenance préventive conditionnelle

Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. La surveillance du fonctionnement et des paramètres peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue.[1].

Remarque : la maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendante de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel.

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant le cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et, à partir de là, de décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint. Mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs.

Tous les matériels sont concernés. Cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

Les paramètres mesurés peuvent porter sur :

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

De tous les paramètres énumérés, l'analyse vibratoire est de loin la plus riche quant aux informations recueillies. Sa compréhension autorise la prise de décisions qui sont à la base d'une maintenance préventive conditionnelle.

La surveillance est soit périodique, soit continue.

III- 2-3- Avantage

La connaissance du comportement se fait en temps réel à condition de savoir interpréter les résultats. A ce niveau, l'informatique prend une place primordiale.

Le matériel nécessaire pour assurer la maintenance préventive conditionnelle devra être fiable pour ne pas perdre sa raison d'être. Il est souvent onéreux, mais pour des cas bien choisis il est rentabilisé rapidement.

Cette méthode de maintenance, pour être efficace, doit dans tous cas être comprise et admise par les responsables de production et avoir l'adhésion de tout le personnel.

Ces méthodes doivent être dans la mesure du possible standardisées entre les différents secteurs (production et périphériques) ; ce qui n'exclut pas l'adaptation essentielle de la méthode au matériel.

Avec l'évolution actuelle des matériels et leurs tendances à être de plus en plus fiables, la proportion des pannes accidentelles sera mieux maîtrisée. La maintenance préventive diminuera quantitativement d'une façon systématique mais s'améliorera qualitativement par la maintenance conditionnelle.[2].

IV-La maintenance corrective

IV -1-Définition

La maintenance corrective appelée parfois curative (terme non normalisé) a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation.[1].

Définitions :

❖ **Défaillance:** altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

Il existe 2 formes de défaillance :

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

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

❖ La maintenance corrective peut être :

A) Différée : maintenance corrective qui n'est pas exécutée immédiatement après la détection d'une panne, mais est retardée en accord avec des règles de maintenance données.

B) D'urgence : maintenance corrective exécutée sans délai après détection d'une panne afin d'éviter des conséquences inacceptables.

IV-2-Les opérations de la maintenance corrective

Le dépannage

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

Le dépannage n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation n'est pas indispensable même si cette connaissance permet souvent de gagner du temps.[3].

Souvent, les opérations de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses.

De ce fait, les services de maintenance soucieux d'abaisser leurs dépenses tentent d'organiser les actions de dépannage. Certains indicateurs de maintenance (pour en mesurer son efficacité) prennent en compte le problème du dépannage. Ainsi, le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

La réparation

Actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.[3].

❖ Remarque :

- la réparation correspond à une action définitive.
- L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu.
- Tous les équipements sont concernés. [3].

IV -3- Autre type de la maintenance

Ces activités complètent les actions de maintenance citées précédemment et participent pour une part non négligeable à l'optimisation des coûts d'exploitation.

La maintenance d'amélioration

L'amélioration des biens d'équipements consiste à procéder à des modifications, des changements, des transformations sur un matériel. Dans ce domaine, beaucoup de choses restent à faire. Il suffit de se référer à l'adage suivant : « on peut toujours améliorer ». C'est un état d'esprit qui nécessite une attitude créative. Cependant, pour toute maintenance d'amélioration une étude économique sérieuse s'impose pour s'assurer de la rentabilité du projet.[4].

Les améliorations à apporter peuvent avoir comme objectif l'augmentation des performances de production du matériel ; l'augmentation de la fiabilité (diminuer les fréquences d'interventions) ; l'amélioration de la maintenabilité (amélioration de l'accessibilité des sous-systèmes et des éléments à haut risque de défaillance) ; la standardisation de certains éléments pour avoir une politique plus cohérente et améliorer les actions de maintenance, l'augmentation de la sécurité du personnel.

La rénovation

La rénovation est l'inspection complète de tous les organes, reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, vérification des caractéristiques et éventuellement réparation des pièces et sous-ensembles défectueux, conservation des pièces bonnes. La rénovation apparaît donc comme l'une des suites possibles d'une révision générale.[4].

La reconstruction

Remise en l'état défini par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes. La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications[4].

Les modifications apportées peuvent concerner, en plus de la maintenance et de la durabilité, la capacité de production, l'efficacité, la sécurité, etc.

Remarque : Actuellement entre la rénovation et la reconstruction, se développe une forme **intermédiaire** : « la cannibalisation ». Elle consiste à récupérer, sur du matériel rebuté, des éléments en bon état, de durée de vie connue si possible, et à les utiliser en rechanges ou en éléments de rénovation.

La modernisation

Remplacement d'équipements, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciel apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien. Cette opération peut aussi bien être exécutée dans le cas d'une rénovation, que dans celui d'une reconstruction.

La rénovation ou la reconstruction d'un bien durable peut donner lieu pour certains de ses sous-ensembles ou organes à la pratique d'un échange standard.[4].

IV-3-Les niveaux de la maintenance

La maintenance et l'exploitation d'un bien s'exercent à travers de nombreuses opérations, parfois répétitives, parfois occasionnelles, communément définies jusqu'alors en 5 niveaux de maintenance.

Le classement de ces opérations permet de les hiérarchiser de multiples façons. Ce peut être en fonction des critères suivants :

❖ Définir qui fait quoi au regard de chacun des niveaux de maintenance :

- Le personnel de production.
- Le personnel de maintenance en tenant compte de la qualification de l'intervenant.
- Le personnel de l'entreprise ou un sous-traitant.
- Une combinaison des 3.

1^{er} niveau

Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien. Ce type d'opération peut être effectué par l'utilisateur du bien avec, le cas échéant, les équipements de soutien intégrés au bien et à l'aide des instructions d'utilisation[1].

Commentaire : Ce type d'intervention peut être effectué par l'exploitant du bien, sur place, sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation. Le stock de pièces consommables nécessaires est très faible.

Exemples en maintenance préventive : ronde de surveillance d'état, graissages journaliers, man œuvre manuelle d'organes mécaniques, relevés de valeurs d'état ou d'unités d'usage, test de lampes sur pupitre, purge d'éléments filtrants, contrôle d'encrassement des filtres.

Exemples en maintenance corrective : remplacement des ampoules, ajustage, remplacement d'éléments d'usure ou détériorés, sur des éléments composants simples et accessibles.

2^{ème} niveau

Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en œuvre simple. Ce type d'actions de maintenance est effectué par un personnel qualifié avec les procédures détaillées et les équipements de soutien définis dans les instructions de maintenance.[1].

Un personnel est qualifié lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur un bien présentant certains risques potentiels, et est reconnu apte pour l'exécution des travaux qui lui sont confiés, compte tenu de ses connaissances et de ses aptitudes.

Commentaire : Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité de qualification moyenne, sur place, avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance, et à l'aide de ces mêmes instructions.

On peut se procurer les pièces de rechange transportables nécessaires sans délai et à proximité immédiate du lieu d'exploitation.

Exemples en maintenance préventive : contrôle de paramètres sur équipements en fonctionnement, à l'aide de moyens de mesure intégrés au bien ; réglages simples (alignement de poulies, alignement pompe moteur, etc.) ; contrôle des organes de coupure (capteurs, disjoncteurs, fusibles), de sécurité, etc. ; graissage à faible périodicité (hebdomadaire, mensuelle) ; remplacement de filtres difficiles d'accès.

Exemples en maintenance corrective : remplacement par échange standard de pièces (fusibles, courroies, filtres à air, etc.) ; remplacement de tresses, de presse-étoupe, etc. ; lecture de logigrammes de dépannage pour remise en cycle ; remplacement de composants individuels d'usure ou détériorés par échange standard (rail, glissière, galet, rouleaux, chaîne, fusible, courroie,...).

3^{ème} niveau

Opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en œuvre complexes. Ce type d'opération de maintenance peut être effectué par un technicien qualifié, à l'aide de procédures détaillées et des équipements de soutien prévus dans les instructions de maintenance.[1].

Commentaire : Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans le local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipements et en utilisant l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance du bien ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin.

Exemples en maintenance préventive : contrôle et réglages impliquant l'utilisation d'appareils de mesure externes aux biens ; visite de maintenance préventive sur les équipements complexes ; contrôle d'allumage et de combustion (chaudières) ; intervention de maintenance préventive intrusive ; relevé de paramètres techniques d'état de biens à l'aide de mesures effectuées d'équipements de mesure individuels

(prélèvement de fluides ou de matière, etc.).

Exemples en maintenance corrective : diagnostic ; réparation d'une fuite de fluide frigorigène (groupe de froid) ; reprise de calorifuge ; remplacement d'organes et de composants par échange standard de technicité générale, sans usage de moyens de soutien communs ou spécialisés (carte automate, vérin, pompe, moteurs, engrenage, roulement, etc.) ; dépannage de moyens de production par usage de moyens de mesure et de diagnostics individuels.

4^{ème} niveau

Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés. Ce type d'opération de maintenance est effectué par un technicien ou une équipe spécialisée à l'aide de toutes instructions de maintenance générales ou particulières.[1].

Commentaire : Ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé doté d'un outillage général (moyens mécaniques, de câblage, de nettoyage, etc.) et éventuellement des bancs de mesure et des étalons de travail nécessaires, à l'aide de toutes documentations générales ou particulières.

Exemples en maintenance préventive : révisions partielles ou générales ne nécessitant pas le démontage complet de la machine ; analyse vibratoire ; analyse des lubrifiantes thermographies infrarouge ; relevé de paramètres techniques nécessitant des moyens de mesure collectifs (oscilloscope, collecteur de données vibratoires) avec analyse des données ; révision d'une pompe en atelier, suite à dépose préventive.

Exemples en maintenance corrective : remplacement de clapets de compresseur ; remplacement de tête de câble en BTA ; réparation d'une pompe sur site, suite à une défaillance ; dépannage de moyens de production par usage de moyens de mesure ou de diagnostics collectifs et/ou de forte complexité (valise de programmation automate, système de régulation et de contrôle des commandes numériques, variateurs, etc.).

5^{ème} niveau

Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriels.

Par définition, ce type d'opérations de maintenance (rénovation, reconstruction, etc.) est effectué par le constructeur ou par un service ou société spécialisée avec des équipements de soutien définis par le constructeur et donc proches de la fabrication du bien concerné.[1].

Exemples : révisions générales avec le démontage complet de la machine ; reprise dimensionnelle et géométrique ; réparations importantes réalisées par le constructeur ; reconditionnement du bien; remplacement de biens obsolètes ou en limite d'usure.

Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les notions fondamentales de la maintenance industrielle ainsi que son importance dans le bon fonctionnement des équipements de production. Les différents types de maintenance, leurs objectifs et leurs domaines d'application ont été abordés, tout comme les différents niveaux d'intervention. Cette étude montre que la maintenance joue un rôle essentiel dans l'amélioration de la fiabilité, de la disponibilité et de la durée de vie des équipements, tout en contribuant à la réduction des coûts et des arrêts de production.

CHAPITRE II
CONCEPTS GENERAUX
DE LA FIABILITE

Introduction

Le développement des systèmes techniques et l'augmentation de leur complexité, il devient indispensable d'assurer leur bon fonctionnement pendant une durée déterminée tout en minimisant les risques de défaillance. La fiabilité constitue ainsi un critère essentiel pour garantir la performance, la sécurité et la continuité de service des équipements.

Dans ce contexte, l'étude de la fiabilité permet d'analyser le comportement des systèmes face aux pannes, de prévoir leur durée de vie et d'améliorer leur conception ainsi que leur maintenance. Elle s'appuie sur des méthodes statistiques et probabilistes afin d'évaluer et d'optimiser le fonctionnement des composants et des systèmes.

Ainsi, les concepts généraux de la fiabilité représentent une base fondamentale pour comprendre et maîtriser les phénomènes de défaillance, et pour mettre en place des stratégies efficaces visant à améliorer la qualité et la disponibilité des systèmes industriels.

I- Définition

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné.[9].

II-Fiabilité et problématique

La fiabilité a sans doute pris son développement depuis la dernière guerre mondiale. Elle est vite devenue une science à part entière dans les applications appartenant à de nombreux domaines. Elle a pour fondements mathématiques la statistique et le calcul des probabilités qui sont nécessaires à la compréhension et à l'analyse des données de fiabilité.

La défaillance (la non fiabilité) augmente les coûts d'après-vente (application des garanties, frais judiciaires,...etc.).

Construire plus fiable augmente les coûts de conception et de production, en pratique, le coût total d'un produit prend en compte ces deux tendances.

II-2-Fonction de fiabilité $R(t)$ – Fonction de défaillance $F(t)$

Considérons un matériel dont on étudie la fiabilité. Soit Z la variable aléatoire qui à chaque matériel associe son temps de bon fonctionnement. On choisit un de ces matériels au hasard. Soit les événements A : « Le matériel est en état de bon fonctionnement à l'instant t » et B :

« Le matériel est défaillant à l'instant $t + \Delta t$ » On a alors :

$$(A) = (T > t) \text{ et } (B) = (T \leq t + \Delta t)$$

Donc :

$$p(A \cap B) = p(t < T < t + \Delta t)$$

$$\begin{aligned}
 &= (t + \Delta t) - (t) \\
 &= (1 - (t + \Delta t)) - (1 - (t)) \\
 &= R(t) - R(t)
 \end{aligned}$$

On appelle fonction de défaillance la fonction F définie pour tout $t \geq 0$

$$F(t) = P(T \leq t)$$

Le nombre $F(t)$ représente la probabilité qu'un dispositif choisi au hasard ait une défaillance avant l'instant t . La figure II.1 donne l'allure de cette fonction.

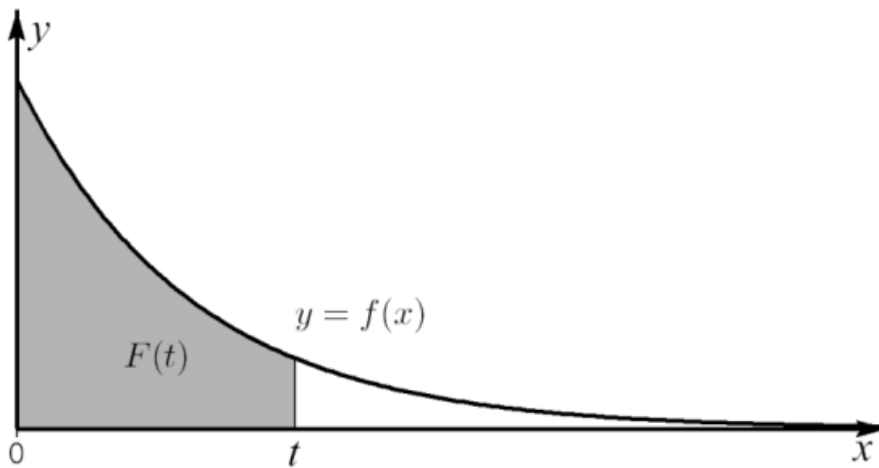


Figure II.1. Fonction de défaillance.

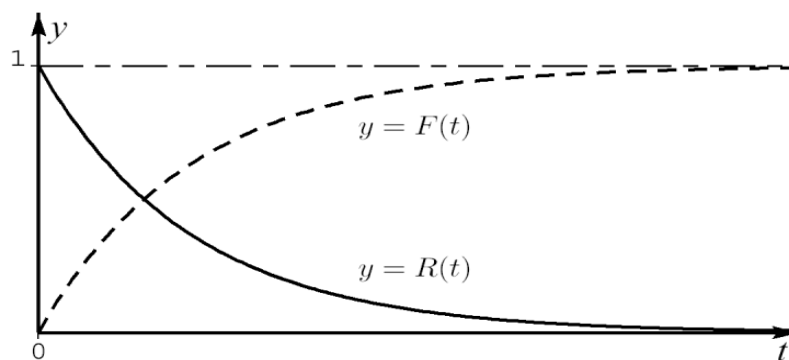


Figure II.2. Fonction associée.

Le taux d'avarie moyen dans l'intervalle de temps $[t, t+\Delta t]$ est alors :

$$\frac{R(t) - R(t+\Delta t)}{R(t)} \times \frac{1}{\Delta t}$$

II-2-Taux de défaillance instantané

C'est la probabilité ($0 \leq R \leq 1$) ; un produit doit accomplir de manière satisfaisante une fonction requise, sous des conditions données et pendant une période de temps donné.[9].

L'écriture mathématique du taux de défaillance à l'instant t , noté $\lambda(t)$, défini sur (I. 4)

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \right)$$

Physiquement le terme $\lambda(t) \cdot \Delta t$, mesure la probabilité qu'une défaillance d'un dispositif se produise dans l'intervalle de temps $[t, t+\Delta t]$ sachant que ce dispositif a bien fonctionné jusqu'à l'instant t

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= - \frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} \\ &= \frac{dF(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} \\ &= \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-R(t)} \end{aligned}$$

où R est la fonction de fiabilité de ce matériel.

On est alors amené à résoudre une équation différentielle du 1^{er} ordre. En effet si λ est connu, la résolution de l'équation différentielle linéaire du 1^{er} ordre :

$$R'(t) + R(t) = 0$$

Donne la fonction de fiabilité R du matériel. On déduit alors la fonction de défaillance F qui est la fonction de répartition de la variable Z puis la densité de probabilité f de Z qui est la dérivée de F .

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x) dx} \quad \text{et} \quad F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(x) dx}$$

On alors : $\lambda(t) = e$

II-3- Indicateurs de fiabilité (λ) et (MTBF)

Précédemment le taux de défaillance λ a été défini par des expressions mathématiques à travers un calcul de probabilité. On peut également l'exprimer par une expression physique. Il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps. La durée de bon fonctionnement est égale à la durée totale en service moins la durée des défaillances.[9].

$$\lambda = \frac{\text{nombre total de défaillances pendant le service}}{\text{durée totale de bon fonctionnement}}$$

II-3-1-Temps moyen de bon fonctionnement

Le MTBF (Mean Time Between Failure) est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances. En d'autres termes, Il correspond à l'espérance de la durée de vie t .

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

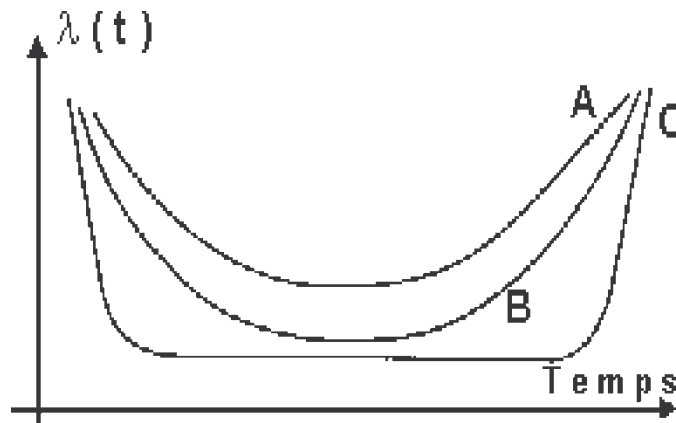
Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps.

$$MTBF = \frac{\text{somme des temps de fonctionnement entre les (n) défaillances}}{\text{nombre d'intervention de maintenance avec immobilisation}}$$

$$\text{Si } \lambda \text{ est constant : } MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Par définition le MTBF est la durée de vie moyenne du système.

La courbe ci-dessous montre l'évolution du taux des défaillances pour les différentes entités.



Graph II.1. Courbes caractéristiques du taux de défaillance

Les courbes du taux de défaillance, ont une même forme générale dite en baignoire, mais présentent néanmoins des différences suivant la technologie principale du système étudié:

- A. en mécanique.
- B. en électronique.

II-4-Les différentes phases du cycle de vie d'un produit

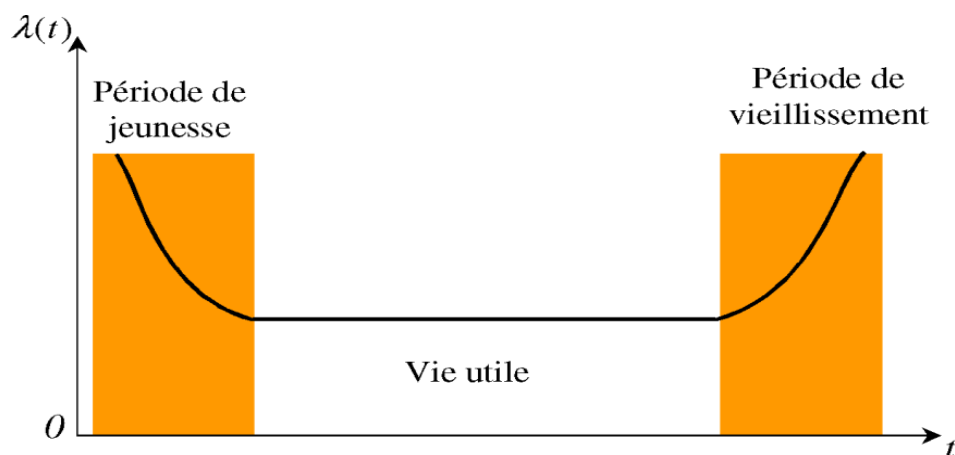
L'évolution du taux de défaillance d'un produit pendant toute sa durée de vie est caractérisée par ce qu'on appelle en analyse de fiabilité la courbe en baignoire.[9].

Le taux de défaillance est élevé au début de la vie du dispositif.

Ensuite, il diminue assez rapidement avec le temps (taux de défaillance décroissant), cette phase de vie est appelée période de jeunesse.

Après, il se stabilise à une valeur qu'on souhaite aussi basse que possible pendant une période appelée période de vie utile (taux de défaillance constant).

A la fin, il remonte lorsque l'usure et le vieillissement font sentir leurs effets, c'est la période de Vieillessement (taux de défaillance croissant):



Graph II.2. La courbe en baignoire.

De nombreux éléments, tels que les composants électroniques, ont un taux de défaillance qui évolue de cette manière-là. Pour souligner la particularité des composants mécaniques dans l'analyse de la fiabilité par rapport aux composants mécaniques, nous allons comparer l'évolution du taux de défaillance dans les deux cas.

II-4-1-Taux de défaillance pour des composants électroniques

L'expérience a montré que pour des composants électroniques la courbe, représentant le taux de défaillance en fonction du temps t , a la même allure que la courbe en baignoire. Elle est donc composée de trois phases :

Phase 1

La première phase définit la période de jeunesse, caractérisée par une décroissance rapide du taux de défaillance. Pour un composant électronique cette décroissance s'explique par l'élimination progressive de défauts dus aux processus de conception ou de fabrication mal maîtrisé ou à un lot de composants mauvais. Cette période peut être minimisée pour les composants vendus aujourd'hui. En effet, les fabricants de composants électroniques se sont engagés à vérifier la qualité de leurs produits en sortie de fabrication.[9].

Phase 2

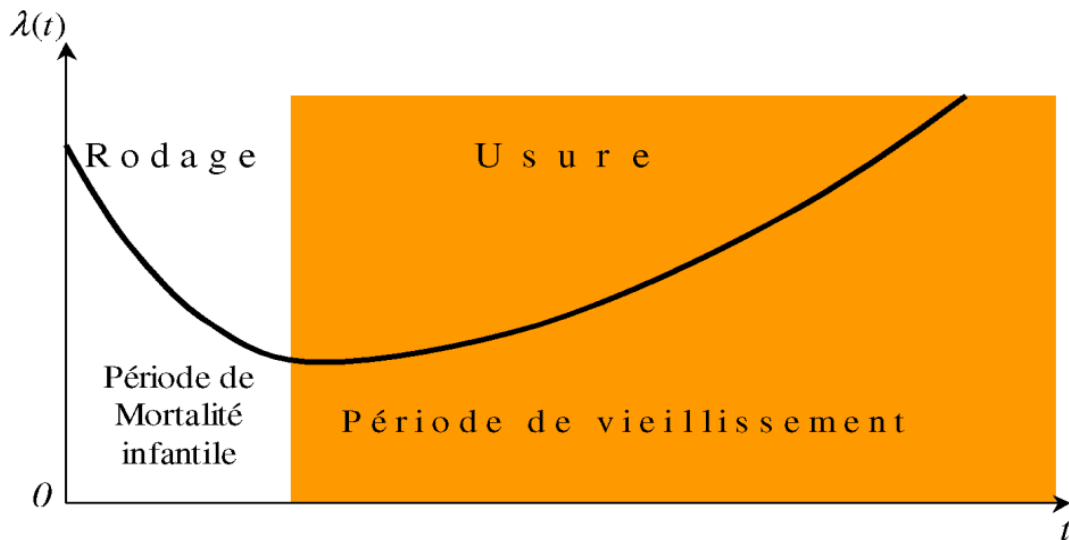
La deuxième phase définit la période de vie utile généralement très longue. Le taux de défaillance est approximativement constant. Le choix de la loi exponentielle, dont la propriété principale est d'être sans mémoire, est tout à fait satisfaisant. Les pannes sont dites aléatoires, Leur apparition n'est pas liée à l'âge du composant mais à d'autres mécanismes d'endommagement. Les calculs prévisionnels de fiabilité se font presque souvent dans cette Période de vie utile.[9].

Phase 3

La dernière phase est la période de vieillissement, elle est caractérisée par une augmentation progressive du taux de défaillance avec l'âge du dispositif. Ceci est expliqué par des phénomènes de vieillissement tels que l'usure, l'érosion, etc. Cette période est très nettement au-delà de la durée de vie réelle d'un composant électronique. Parfois, on réalise des tests de vieillissement accélérés pour révéler les différents modes de défaillance des composants[.9].

II-4-2-Taux de défaillance pour des composants mécaniques

Les composants mécaniques sont soumis, dès le début de leur vie, au phénomène d'usure ou de vieillissement. Si on trace la courbe du taux de défaillance, en fonction du temps, on obtient une courbe qui ne présente pas le plateau de la période de vie utile (taux de défaillance constant) n'existe pas ou elle est réduite. Le taux de défaillance du dispositif est une fonction non linéaire du temps et ceci dans chaque phase de sa vie. [10].



Graphie II.3. Courbe du taux de défaillance en mécanique.

Phase 1

La première phase définit la période de mortalité infantile. C'est une durée de vie en principe très courte Elle décrite par une décroissance progressive du taux de défaillance avec le temps dû à une amélioration des caractéristiques internes (caractéristiques de défauts) et des interfaces, par un rodage préalable des pièces. Par conséquent il n'est pas souhaitable de tester les composants mécaniques.

Phase 2

La dernière phase définit la période de vieillissement qui comporte la majorité de la vie du dispositif. Elle est caractérisée par une augmentation progressive du taux de défaillance.

Les pièces mécaniques sont soumises à des phénomènes de vieillissement multiples qui peuvent agir en combinaison: corrosion, usure, déformation, fatigue, et finalement perte de résilience ou fragilisation. Contrairement aux composants électroniques les calculs de la fiabilité pour des composants mécaniques se font essentiellement dans la période de vieillissement, en utilisant des lois de Probabilité dont le taux de défaillance est fonction du temps telles que la loi Log-normale, Weibull, ... etc.

II-4-2-1-Objectifs et intérêts de la fiabilité en mécanique

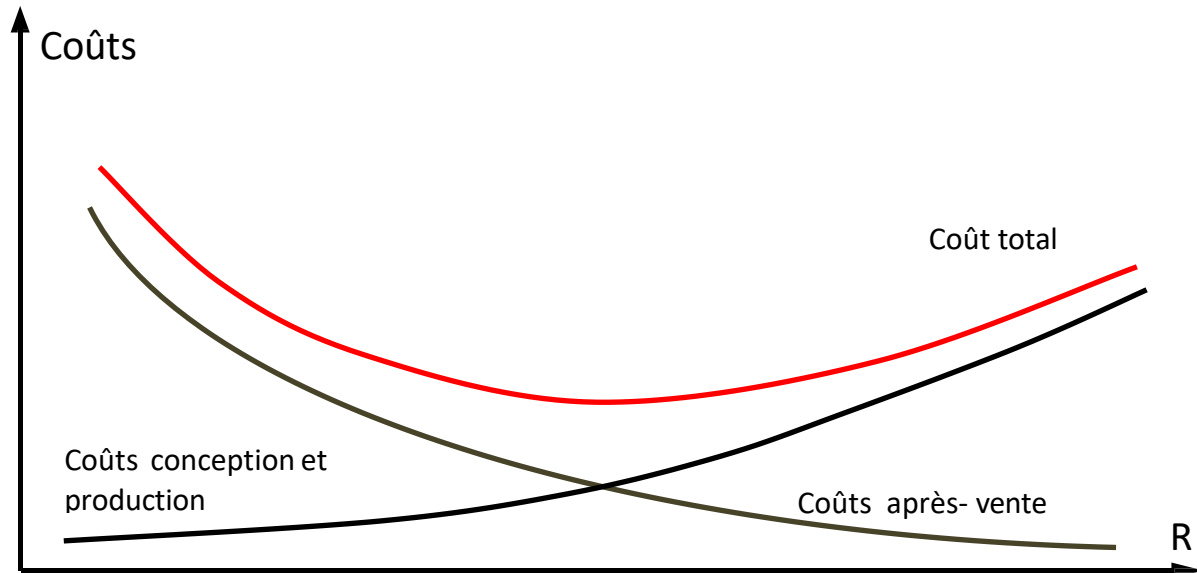
L'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement. A l'origine, la fiabilité concernait les systèmes à haute technologie (centrales nucléaires, aérospatial). Aujourd'hui, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et d'aide à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus "grand public": Transport, énergie, bâtiments, composants électroniques, composants mécaniques....

De nombreux industriels travaillent à l'évaluation et l'amélioration de la fiabilité de leurs produits au cours de leur cycle de développement, de la conception à la mise en service (conception, fabrication et exploitation) afin de développer leurs connaissances sur le rapport Coût/Fiabilité et maîtriser les sources de défaillance L'analyse de la fiabilité dans le domaine de la mécanique est un outil très important pour caractériser le comportement du produit dans les différentes phases de vie, mesurer l'impact des

modifications de conception sur l'intégrité du produit, qualifier un nouveau produit et améliorer ses performances tout au long de sa mission.[10].

II-4-2-2-Evolution des coûts en fonction de la fiabilité

Le non fiabilité augmente les coûts d'après-vente (garanties, frais judiciaires). Construire plus fiable, augmente les coûts de conception et de production. Le coût total prend en compte ces deux contraintes.[10].



Graphes II.4. Courbes d'évolution des coûts en fonction de la fiabilité.

La fiabilité d'une machine a tendance à diminuer avec le nombre de ses composants ou de leurs complexités. La maîtrise de la fiabilité devient donc plus délicate.

Une très haute qualité pour chaque composant, n'entraîne pas nécessairement une grande fiabilité. Après assemblage, les interactions entre les composants diminuent la capacité de l'ensemble.

Une grande fiabilité sous certaines conditions, n'implique pas une grande fiabilité sous d'autres conditions (exemple: une huile moteur de synthèse prévue pour des moteurs moderne (multisoupapes et turbo) ne convient pas forcément pour un moteur de conception plus rudimentaire (tondeuse, moteur usé, voiture ancienne).

III-Fiabilité d'un système

La détermination de la fiabilité d'un système électronique, mécanique ou autre nécessite tout d'abord de connaître chacun des composants intervenant dans le système.[10].

Ceci est simple pour certains types de systèmes tels que les systèmes électroniques, or ce n'est pas le cas pour des systèmes mécaniques à cause de la complexité de la structure du système étudié. Les systèmes mécaniques sont des ensembles d'éléments technologiques liés par des relations statiques et dynamiques assez complexes.

Pour un système électronique chaque composant a un poids important dans la fiabilité du système, la fiabilité du système est donc calculé en fonction de la fiabilité de tous ses composants. Les calculs sont

effectués sous l'hypothèse que les taux de défaillance sont constants dans le temps, une hypothèse acceptable pour la plupart des composants, ce qui rend les calculs beaucoup plus simple. La détermination des taux de défaillance des composants est effectuée soit à partir des modèles développés dans des bases de données disponibles, soit à partir d'essais effectués sur les composants ou bien à partir des résultats d'exploitation des produits.

La fiabilité d'un système mécanique, contrairement à l'électronique, repose sur la fiabilité de quelques composants élémentaires responsables de son dysfonctionnement, dits composants "responsables" ou "critiques" (parfois un seul).

Fiabilité de système constitué de plusieurs composants :

III-1-En série

La fiabilité R_S d'un ensemble de n constituants connectés en série est égale au produit des fiabilités respectives R_A, R_B, R_C, R_n de chaque composant.

$$R_S = R_A * R_B * R_C * ... * R_n$$

Si les " n " composants sont identiques avec une même fiabilité R la formule sera la suivante :

$$R(s) = R_n$$

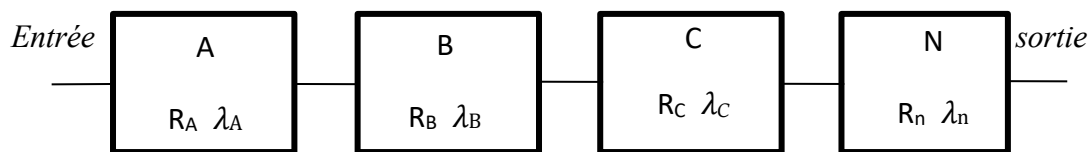


Figure II.3. Composants en série.

Si les taux de défaillances sont constants au cours du temps la fiabilité sera calculée suivant la formule:

$$R(s) = (e^{-\lambda_A t}) * (e^{-\lambda_B t}) * (e^{-\lambda_C t}) * ... * (e^{-\lambda_n t})$$

Avec :

$$MTBF(s) = \frac{1}{\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + ... + \lambda_n}$$

Si en plus, les composants sont identiques: $\lambda_A = \lambda_B = \lambda_C = ... = \lambda_n$

Alors:

$$R(s) = (e^{-\lambda n t}) \quad \text{et} \quad \text{MTBF} = \frac{1}{n \times \lambda}$$

III-2-En parallèle

La fiabilité d'un système peut être augmentée en plaçant les composants en parallèle. Un dispositif constitué de **n** composants en parallèle ne peut tomber en panne que si les **n** composants tombent en panne au même moment.

Si **F_i** est la probabilité de panne d'un composant, la fiabilité associée **R_i** est son complémentaire:

$$F_i = 1 - R_i$$

F_i représentant la fiabilité associée.

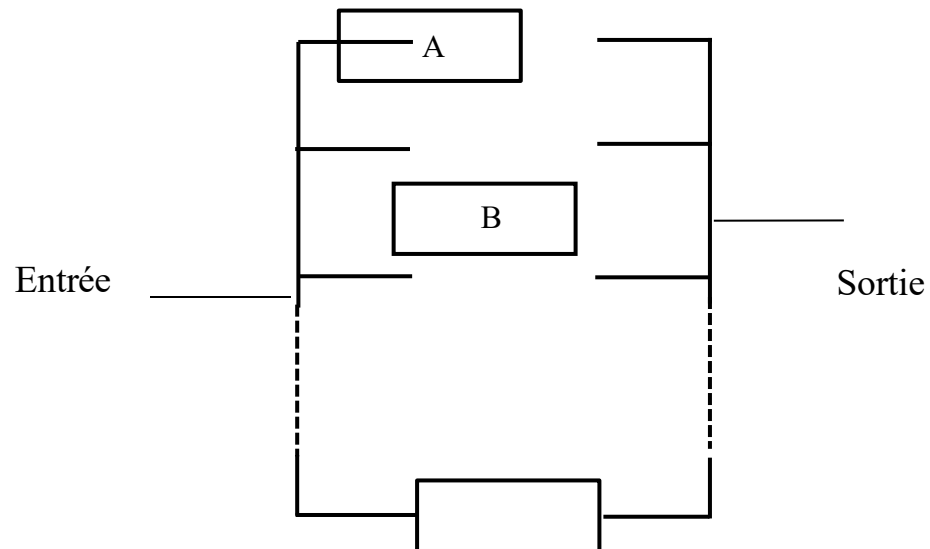


Figure II.4. Composants en parallèle.

Soit les “n” composants de la figure ci-dessous montés en parallèle. Si la probabilité de panne pour chaque composant repéré (i) est notée **F_i** alors:

$$R(s) = 1 - (1 - R)^n$$

Le cas particulier de deux dispositifs en parallèle si λ est constant R_S est obtenu par :

$$R_S = 1 - (1 - R_A) \cdot (1 - R_B) = R_A + R_B - R_A \cdot R_B = e^{-\lambda_A t} + e^{-\lambda_B t} - e^{-(\lambda_A + \lambda_B)t}$$

III-3-La relation entre la fiabilité et la maintenance

Tous les équipements d'une installation industrielle sont soumis à des mécanismes de dégradation dus aux conditions de fonctionnement et/ou d'environnement : usure, fatigue, vieillissement. Face aux défaillances qui en résultent, on peut se contenter de pratiquer une maintenance corrective, mais on n'évite pas ainsi les conséquences des pannes que l'on subit. Une attitude plus défensive consiste à mettre en œuvre une maintenance préventive destinée à limiter, voire à empêcher, ces défaillances, mais on court alors le risque de dépenses excessives et d'indisponibilités inutiles.

Devant cette situation, le responsable de maintenance ne doit plus se contenter de surveiller et de réparer, il doit envisager des stratégies. Une part de son travail consiste à prévoir les événements et à évaluer les différentes alternatives qui s'offrent à lui pour trouver la solution optimale, ou tout au moins pour s'en rapprocher. Les forces dont il dispose, limitées par ses moyens techniques et financiers, doivent être placées aux bons endroits.[10].

C'est dans ce contexte que la maintenance s'est dotée de méthodes qui considèrent à la fois, et plus ou moins, la technique et l'organisation. Les industries de processus ont générale appliquée des démarches alliant une évaluation des risques, une analyse du retour d'expérience, et une logique de sélection de tâches de maintenance. L'Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité (OMF).

III -3-1-Principales liaisons fiabilité –maintenance

Les principales hypothèses retenues :

Nous remarquons tout d'abord que les études de fiabilité et de maintenance sont faites en parallèle à différents stades (établissement du projet, fabrication, réception, transport, exploitation et renouvellement) ces études étant établies d'un point de vue à la fois technique et économique.

Les opérations de maintenance, quel que soit le genre considéré, sont liées au caractère aléatoire de la durée de vie de l'élément et par suite, aux caractéristiques de fiabilité de l'élément : fonction de fiabilité, MTBF, taux de défaillance à l'instant t ,... etc.

La fréquence des opérations de maintenance corrective est fonction des taux de panne ou risques de panne. De plus, nous pouvons dire que la maintenance corrective, faisant diminuer le taux de panne, améliore la fiabilité. [10].

Considérons le problème suivant : dans une entreprise, on se fixe un nombre $N(t)$ d'équipements identiques qu'on veut maintenir en service à chaque instant; on se demande alors comment réaliser cet objectif ? Grâce à la fiabilité, on peut donner une réponse à cette question. Dans le cas particulier où :

$$N(t) = N_0 = C^{te} \text{ et } \lambda(t) = C^{te}$$

Le nombre d'équipements à remplacer, depuis l'instant zéro jusqu'à l'instant θ .

Intéressons-nous à un élément mis en fonctionnement à l'instant zéro et demandons-nous combien peut-il y avoir de renouvellements dans l'intervalle de temps $(0, t)$? Evidemment, cette question est sans réponse stricte ; mais, lorsqu'on connaît la fiabilité de l'élément on peut calculer la probabilité pour qu'il y ait ou bien 1 ou bien 2 ou bien 3,..., renouvellements. On peut aussi calculer le nombre moyen de renouvellement dans $(0, t)$. Dans le cas particulier où le taux de panne est constant, le nombre de renouvellements dans $(0, t)$ est distribué selon la loi de Poisson.

Les opérations de maintenance préventive sont à effectuer lorsque la fonction risque de panne est croissante, les époques de renouvellement sont alors déterminées à partir des caractéristiques de fiabilité des éléments considérés.

Lorsque le taux de panne est constant, il est évident qu'il ne faut pas faire de renouvellement préventif. La figure de la courbe en baignoire ci-après explique les différentes causes et remèdes de défaillances liées aux trois phases de la durée de vie du matériel. [10].

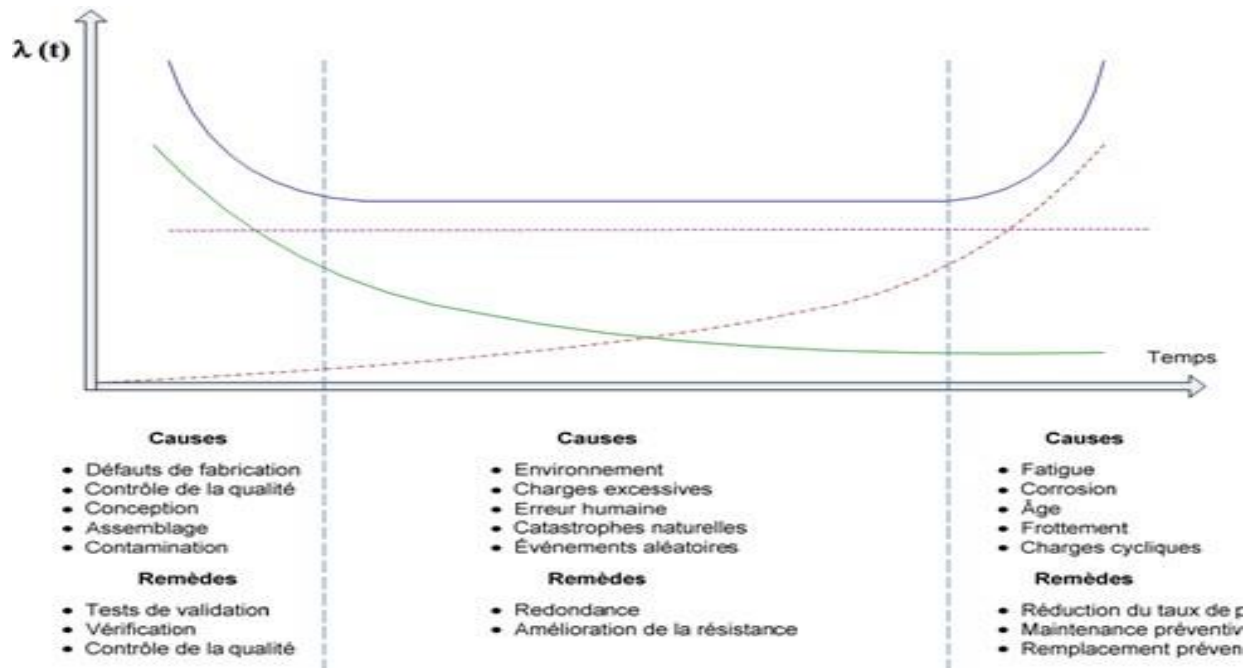


Figure II.5. Evolution du taux de défaillance.

III -3-2-Rôle de La maintenance préventive constituée

On examine les effets de la maintenance préventive sur la fiabilité d'un système ou un composant.

Maintenance idéale

Elle permet la réalisation de deux tâches principales :

Le système (composant) est rétabli dans un état aussi bon que le neuf.

Il n'y a pas d'erreurs commises lorsque la maintenance préventive est exécutée $R(t)$ = fiabilité du système t = temps d'opération

$R_m(t)$ = fiabilité du système maintenu

T = temps auquel on effectue la maintenance

$$0 \leq t \leq T \Rightarrow R_m = R(T)$$

La maintenance n'a aucun effet sur la fiabilité du système entre $[0 \text{ et } T]$

Au temps T, on effectue la maintenance. Le système devient aussi bon que neuf. Effet de la maintenance idéale sur la fiabilité est représenté sur la figure suivante :

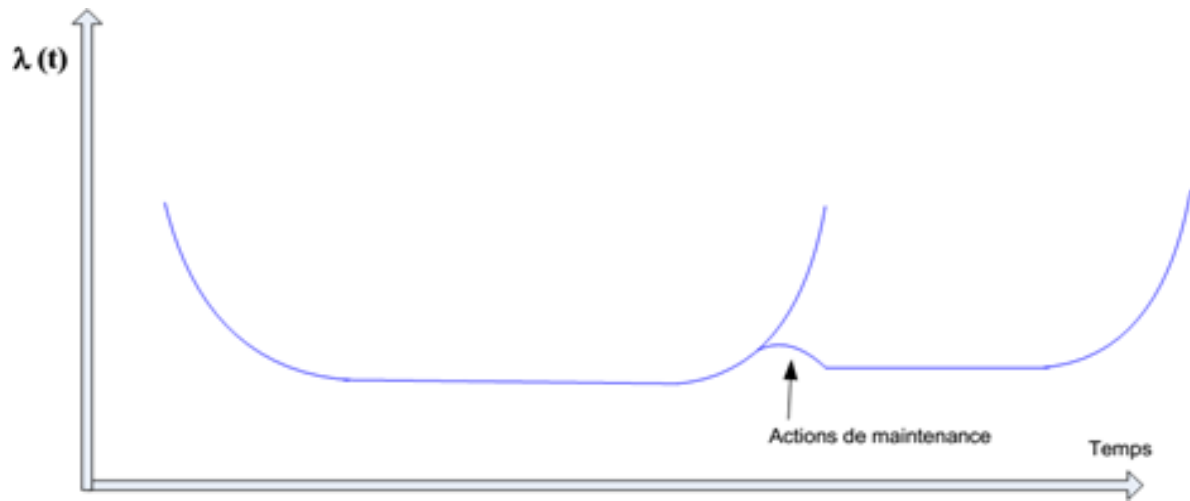


Figure II.6. Effet de la maintenance sur la fiabilité.

La fiabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

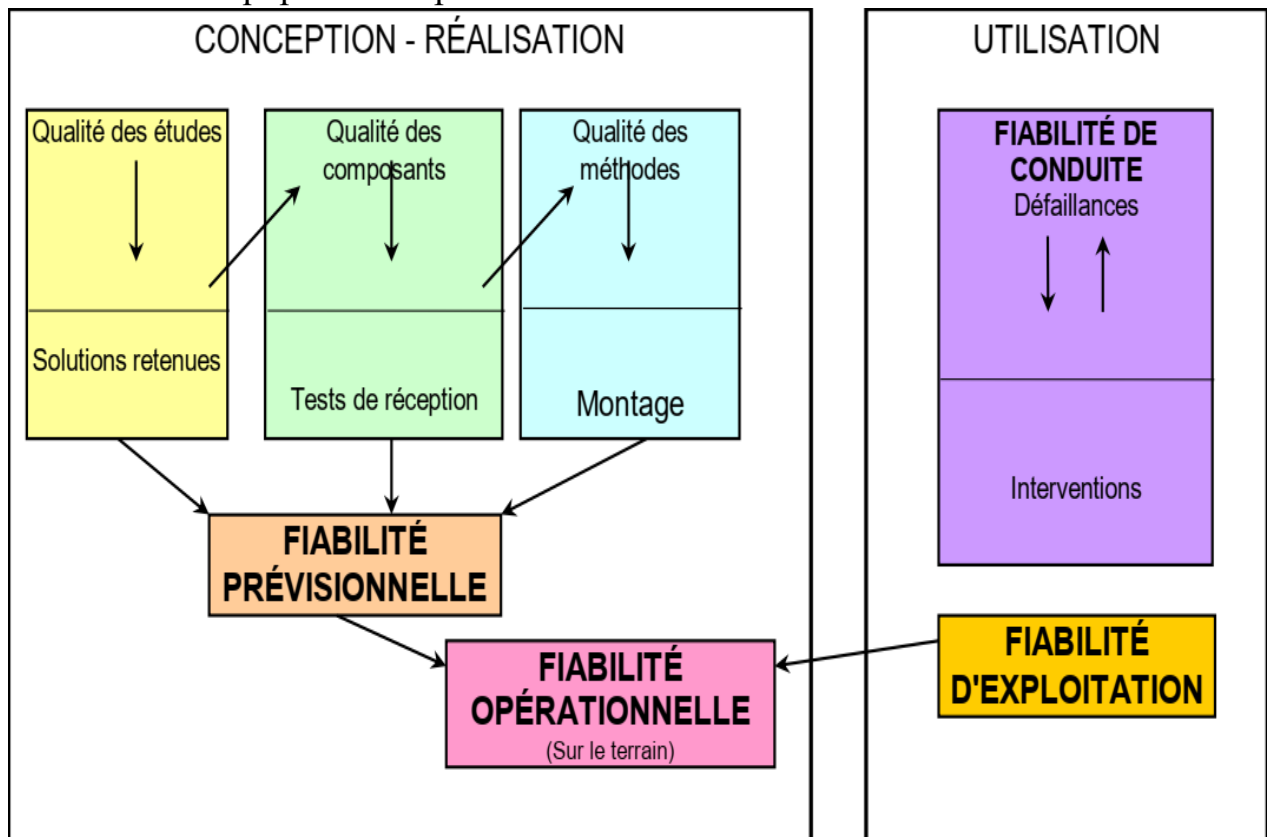


Figure II.7. Les facteurs de la fiabilité.

III-3-3-Le taux de défaillance

Pour un système réparable, le taux de défaillance se traduit souvent par une courbe mettant en évidence 3 époques :

- **Jeunesse** (mortalité infantile, défaillance précoce) : en état de fonctionnement à l'origine (mise en service), période de rodage (pré usure), présélection des composants électroniques (déverminage).
- **Maturité** (période vie utile, de défaillances aléatoires) : période de rendement optimal du matériel, taux de défaillance constant. Les défaillances apparaissent sans dégradations préalables visibles, par des causes diverses.
- **Obsolescence** (vieillesse, usure). Un mode défaillance prédominant, généralement visible, entraîne une dégradation accélérée, à taux de défaillance croissant (pour un mécanisme). Souvent on trouve une usure mécanique, de la fatigue, une érosion ou une corrosion. A un certain seuil de $\lambda(t)$, le matériel est « mort ». Il est alors déclassé, puis rebuté ou parfois reconstruit. La détermination de T (seuil de réforme), est obtenue à partir de critères technico-économiques.[9].

L'évolution de la durée de vie d'un équipement peut être tracée selon une courbe appelée courbe en baignoire. Selon que l'équipement, soit de type électronique ou mécanique, les allures du taux de défaillance sont différentes.

- ☐ Zone A $\Rightarrow$ Epoque de jeunesse
- ☐ Zone C $\Rightarrow$ Epoque d'obsolescence, défaillances d'usure ou pannes de vieillesse.

Le taux de défaillance, noté $\lambda(t)$, est un indicateur de la fiabilité. Il représente une proportion de dispositifs survivants à un instant t.

IV- LA MAINTENABILITE

IV-1-Définition

« Dans les conditions d'utilisation données pour lesquelles il a été conçu, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits. » (NF EN 13306).

Commentaires :

La maintenabilité caractérise la facilité à remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement. Cette notion ne peut s'appliquer qu'à du matériel maintenable, donc réparable.

« Les moyens prescrits » englobent des notions très diverses : moyens en personnel, appareillages, outillages, etc.

La maintenabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

Tableau II -1 : La maintenabilité :

Facteurs liés à l'EQUIPEMENT		Facteurs liés au CONSTRUCTEUR		Facteurs liés à la MAINTENANCE
- documentation - aptitude au démontage - facilité d'utilisation		- conception - qualité du service après-vente - facilité d'obtention des pièces de rechange - coût des pièces de rechange		- préparation et formation des personnels - moyens adéquats - études d'améliorations (maintenance améliorative)

Remarques : on peut améliorer la maintenabilité en :

Développant les documents d'aide à l'intervention.

Améliorant l'aptitude de la machine au démontage (modifications risquant de coûter cher)

Améliorant l'interchangeabilité des pièces et sous ensemble.

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

V -LE CONCEPT DE DISPONIBILITE

V-1- Définition

Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée.

Cette aptitude dépend de la combinaison de la fiabilité, de la maintenabilité et de la logistique de maintenance.

Les moyens extérieurs nécessaires autres que la logistique de maintenance n'affectent pas la disponibilité du bien (NF EN 13306).

La disponibilité allie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité

Augmenter la disponibilité passe par :

L'allongement de la MTBF (action sur la fiabilité)

La notion de le MTTR (action sur la maintenance)

V-2- Quantification de la disponibilité

La disponibilité moyenne sur un intervalle de temps donné peut être évaluée par le rapport :

$$\frac{\text{Temps de disponibilité}}{\text{Temps de disponibilité} + \text{temps d'indisponibilité}}$$

En l'exprimant par rapport à des temps moyens, la disponibilité moyenne s'écrit :

$$\frac{\text{Temps moyen de disponibilité}}{\text{Temps moyen de disponibilité} + \text{temps moyen d'indisponibilité}} = \frac{\text{TMD}}{\text{TMD} + \text{TMI}}$$

En anglais: TMD = MUT (Mean Up Time) et TMI = MDT (Mean Down Time).

V-3- Disponibilité intrinsèque D_i

Elle exprime le point de vue du concepteur. Ce dernier a conçu et fabriqué le produit en lui donnant un certain nombre de caractéristiques intrinsèques, c'est à dire des caractéristiques qui prennent en compte les conditions d'installation, d'utilisation, de maintenance et d'environnement, supposées idéales.

Le calcul de la disponibilité intrinsèque D_i fait appel à 3 paramètres :

- ⇒ TBF : temps de bon fonctionnement
- ⇒ TTR : temps techniques de réparation
- ⇒ TTE : temps techniques d'exploitation

$$D_i = \frac{\text{TBF}}{\text{TBF} + \text{TTR} + \text{TTE}}$$

V-4- Disponibilité opérationnelle D_o

Il s'agit de prendre en compte les conditions réelles d'exploitation et de maintenance. C'est la disponibilité du point de vue de l'utilisateur.

Le calcul de D_o fait appel aux mêmes paramètres TBF, TTR et TTE sauf que ces 3 paramètres ne sont plus basés sur les conditions idéales de fonctionnement mais sur les conditions réelles (historiques d'exploitation).

Conclusion

Ce chapitre présente la fiabilité qui constitue un aspect fondamental dans l'étude et l'évaluation des systèmes. Elle permet d'analyser la capacité d'un système à fonctionner correctement sans défaillance pendant une durée déterminée. L'amélioration de la fiabilité contribue non seulement à augmenter la performance des systèmes, mais aussi à réduire les pannes et les coûts de maintenance. Ainsi, la prise en compte de la fiabilité reste essentielle pour garantir la sécurité, la continuité et l'efficacité de fonctionnement dans différents domaines industriels et technique.

CHAPITRE III
DESCRIPTION D'UN
MOTEUR
DIESEL

Introduction

Un moteur Diesel fonctionne différemment d'un moteur à essence. Même si leurs principaux organes sont semblables et s'ils respectent le même cycle à quatre temps, un moteur diesel et un moteur à explosion présentent des différences sensibles, en particulier dans la façon dont le mélange carburé y est enflammé et dans la manière dont la puissance délivrée y est régulée. Dans un moteur à essence, le mélange carburé est enflammé par une étincelle électrique. Dans un moteur diesel, l'allumage est obtenu par une auto-inflammation du carburant à la suite de l'échauffement de l'air sous l'effet de la compression.

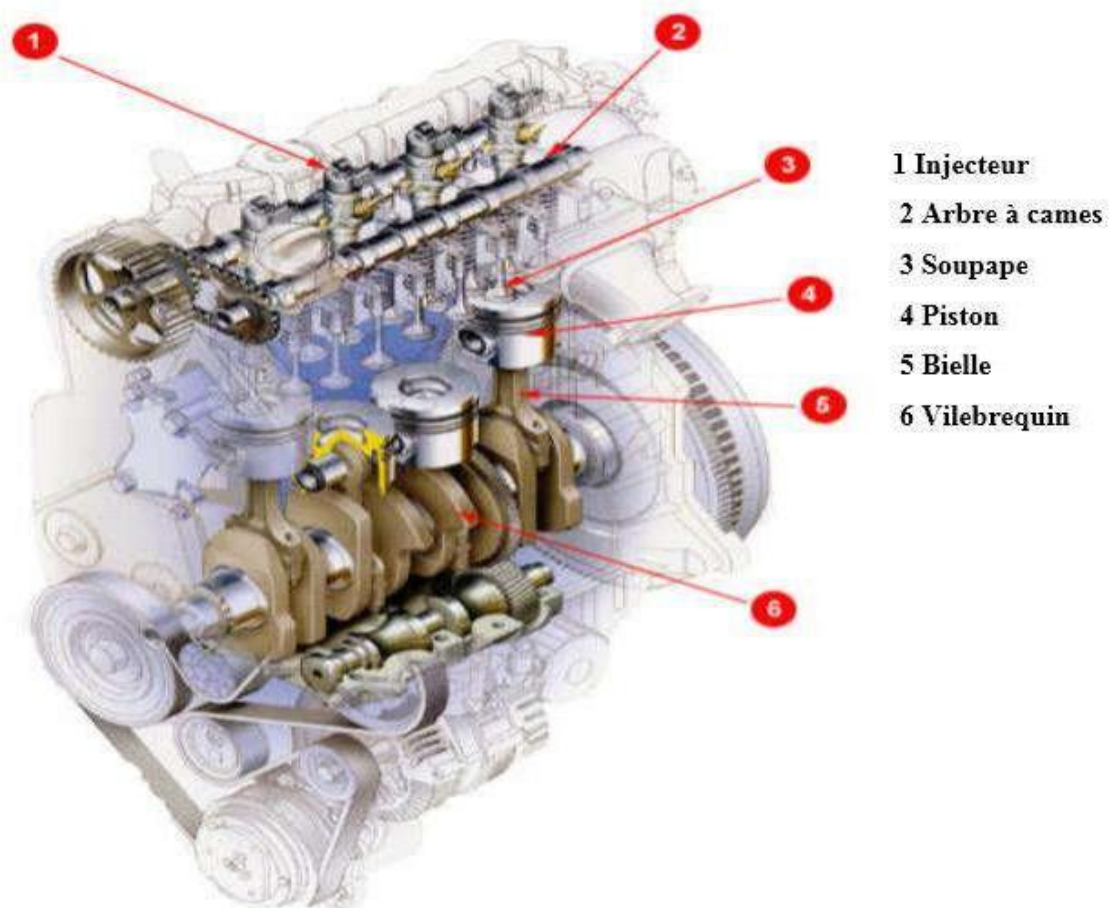


Figure III-1: Schéma d'un moteur Diesel à injection directe.

Un moteur à combustion interne fut conçu dès 1678 par le scientifique hollandais Christiaan Huygens. Cependant, il ne fut effectivement construit que beaucoup plus tard. Depuis la carriole motorisée du Suisse Isaac de Rivas en 1805, en passant par la voiture construite par Étienne Lenoir à Paris en 1863 et fonctionnant au gaz

d'éclairage, il a fallu attendre le milieu des années 1880 pour que le moteur à combustion interne puisse être utilisable dans un véhicule destiné au transport des personnes. En 1862, le Français Beau de Rochas inventa le premier cycle à quatre temps.

En 1866, les deux ingénieurs allemands Eugen langen et August Otto, mirent au point un moteur à gaz et, en 1876, Otto construisit un moteur à quatre temps, à l'origine de la plupart des moteurs à combustion interne ultérieurs. [12].

I - Rappel historique du moteur Diesel

Le moteur Diesel qui équipe les automobiles que nous connaissons à ce jour est le fruit d'une évolution constante. Cette évolution a subi des accélérations en fonction de circonstances telles que le premier choc pétrolier et l'apparition des normes antipollution.[12].

1897 : Le premier moteur conçu par un ingénieur thermicien, Rudolf Diesel fonctionne en Allemagne. Il résulte de travaux théoriques destinés à améliorer le rendement thermodynamique. Ce moteur, qui a un rendement de 26,2 % (comparé aux 20 % du moteur à essence de l'époque), développe une puissance de 27 KW.

1936 : Mercedes produit en petite série la première voiture à moteur Diesel, la 260D. 1938 : Peugeot réalise une série d'un millier de modèle 402 Diesel.

1973 : La crise pétrolière favorise la généralisation des voitures à moteur Diesel.

1988 : Fiat produit la première voiture de série équipée d'un moteur à injection directe.

1989 : Audi présente la première voiture équipée d'un moteur à injection directe à régulation électronique.

1998 : Premières applications de l'injection directe à rampe commune réalisée par Bosch sur des véhicules de série.

2000 : Plusieurs constructeurs européens produisent une version de leur véhicule de prestige équipé d'un moteur V8 Diesel à injection directe à rampe commune.

II- Les types de moteur Diesel

Dans le monde actuel il existe trois types de moteur Diesel :

II -1- Moteurs à injection indirecte

Pour qu'un moteur à combustion interne fonctionne avec régularité et ait un bon rendement, le carburant et l'air doivent être correctement mélangés. Les problèmes posés par le mélange air-carburant sont particulièrement compliqués dans un moteur

Diesel, car ces composants y sont introduits dans les cylindres à des moments du cycle différents. Il existe deux types d'injection l'injection directe et l'injection indirecte. [2], [3]

Traditionnellement, c'est la solution de l'injection indirecte qui a été employée, car elle constitue le moyen le plus simple de créer une turbulence qui assure un mélange intime de la dose de carburant avec l'air déjà fortement comprimé dans la chambre de combustion.[12].

Aussi, dans un moteur à injection indirecte, le carburant n'est pas injecté directement dans la chambre de combustion principale, mais il est envoyé dans une petite chambre de turbulence en spirale (appelée aussi chambre de précombustion) où s'amorce en réalité la combustion voir (figure III -2).

L'inconvénient de ce système réside dans le fait que la chambre de turbulence est en fin de compte une annexe de la chambre de combustion, avec laquelle elle constitue un ensemble de forme peu propice à l'obtention d'une combustion réellement totale et régulière, la figure III -2 démontre deux types de ces moteurs

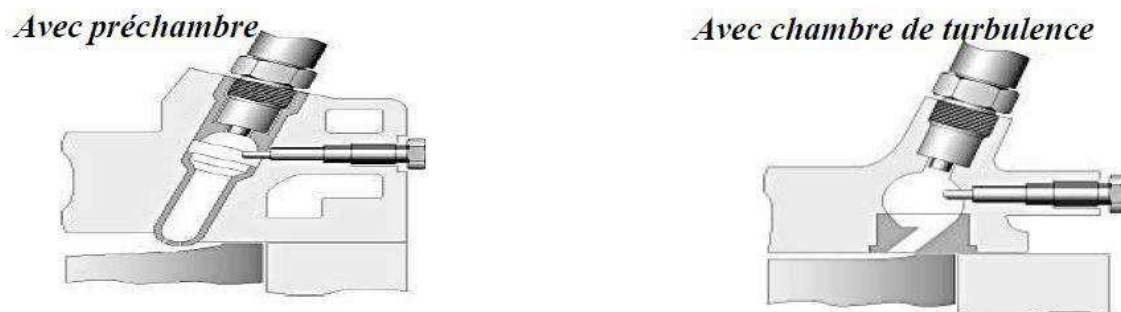


Figure III -2 : Les structures des préchambres de combustion.

Dans ces deux cas, la combustion se déroule dans deux volumes séparés : une chambre, représentant 30 à 60% du volume total, qui reçoit l'injection du carburant et où s'amorce la combustion, et une chambre principale dans laquelle elle s'achève.

L'injection du carburant dans ce petit volume relativement chaud permet de réduire le délai d'allumage du combustible. Seule la quantité minimum de combustible nécessaire à l'amorçage de la combustion s'enflamme, le reste se trouve chassé de la préchambre

par l'augmentation de pression et la combustion se poursuit dans la chambre principale. Les moteurs à injection indirecte remplissent les conditions requises pour son application à l'automobile, à savoir un relatif silence de fonctionnement et un faible taux d'émissions de NOx. Le second choc pétrolier en 1973 et les normes de dépollution toujours plus sévères ont amené les constructeurs à repenser le moteur Diesel en termes d'économie et de faible pollution.

Ces véhicules sont équipés d'une pompe injection rotative HP (haute pression) semi-automatique (ou un peu d'électronique) qui distribue le carburant successivement à chaque cylindre en ouvrant les injecteurs les uns après les autres par la pression du gasoil qui est d'environ 130 bar.[12].

Inconvénients:

- Le réglage de régime de ralenti.
- La pollution effectuée par cette série de moteur.
- La consommation élevée de gasoil.

II -2-Les Moteurs à injection directe

Le moteur à injection directe s'impose pour son rendement supérieur à ceux des moteurs à injection indirecte.

En effet, le rapport entre la surface et le volume de la chambre de combustion est nettement plus faible pour un moteur à chambre à espace mort unique (injection directe voir figure III-3) que pour un moteur à préchambre (injection indirecte voir figure III -2) ; de plus, la durée de la combustion est plus courte dans un moteur à injection directe.

Ces deux paramètres diminuent les échanges thermiques entre la chambre de combustion et le système de refroidissement, facteurs de perte de rendement les problèmes liés à l'injection directe sont de deux ordres : bruits de combustion et émission d'oxyde d'azote (NOx). [2], [3]

L'apparition de la régulation électronique dans les systèmes d'injection a permis de stabiliser et d'affiner les réglages de base, tant au niveau du moment d'injection que du débit de combustible. Ces différents systèmes d'injection mécaniques par pompe distributrice, régulés ou non de manière électronique, présentent comme caractéristique commune la variation de la pression d'injection en fonction de la vitesse de rotation du moteur. Cette variation de pression d'injection rend difficile une maîtrise totale de la combustion.[13].



Figure III -3 : L'injection directe.

Les TDI dans le groupe W.W., les "anciens moteurs" 90 et 110 CV des Golf et Passât par exemple, les DTI chez Renault, et les TDDI (ou les transit) chez Ford, les Iveco et les Fiat TDI équipés des moteurs SOFIM sont des moteurs Diesel à injection directe (direct injection en anglais). Ils sont équipés d'une pompe injection rotative HP semi-automatique (avec des éléments électroniques et parfois même un calculateur). La pompe à injection distribue le carburant successivement à chaque cylindre en ouvrant les injecteurs les uns après les autres par la pression du gazoil mais l'injecteur injecte directement dans le cylindre. Leur pression d'injection est comprise entre 180 et 250 bars. Ces moteurs ne sont pas (en général) équipés de bougies de préchauffage, il n'est pas nécessaire de préchauffer le moteur pour démarrer ils sont par contre souvent équipés d'un Thermostat situé dans la pipe d'échappement pour réchauffer l'entrée d'air (au démarrage). [13].

Avantage

Consommation plus faible, très fiables, moins de ruptures des joints déculasses sur le Sofim.

Inconvénients

Ils sont "assez bruyants" on les reconnaît à leur claquement particulier lié à la pression d'injection plus élevée et ils auraient eu du mal à remplir les conditions des lois anti-pollution futures (surtout les modèles sans turbo).

II-3- Moteurs à rampe commune et Injecteur Pompe

Le système d'injection haute pression à rampe commune consiste à alimenter, à l'aide d'une pompe haute pression pilotée électroniquement, une rampe commune (soit Common-rail en anglais) qui assure la fonction d'accumulateur du carburant. Cette rampe est connectée à des injecteurs qui assurent une pulvérisation très fine directement

dans la chambre de combustion grâce à une pression comprise entre 1350 et 1400 bars (contre 900 bars pour une pompe d'injection normale).

Cette pulvérisation très fine permet d'améliorer la combustion pour plus du détail. [2], [4]

Contrairement aux systèmes à pompe distributrice, la pression d'injection est indépendante de la vitesse de rotation du moteur et demeure constante pendant la phase d'injection. Le pilotage de l'injection par un calculateur électronique laisse une grande latitude de programmation Aux motoristes. La quantité de combustible injecté peut être fractionnée pour réaliser un pré injection, ce qui permet De réduire les bruits de combustion et la formation de NOx.

Cette faible quantité de carburant (1 à 4 mm³) permet de préparer, par une augmentation de la Température et de la pression dans la chambre de combustion, l'inflammation du combustible lors de L'injection principale.

Les véhicules équipés de filtres à particules présentent une phase de nettoyage qui nécessite une Post-injection, rendue possible grâce au pilotage des injecteurs par un calculateur électronique.

Le pilotage par une électronique numérique de tous les paramètres de l'injection permet d'optimiser le Fonctionnement du moteur La réduction des émissions de rejets polluants est devenue une nécessité pour les constructeurs.

Le calcul de la pollution émise par un véhicule prend en compte la puissance fournie et non un pourcentage des gaz émis, ce qui favorise le moteur qui a le meilleur rendement.

Une des solutions pour atteindre cet objectif passe par une diminution de la consommation et par une maîtrise de la combustion.

Le moteur diesel à injection directe, alimenté par un système d'injection haute pression à gestion électronique, offre un rendement supérieur à tous les autres moteurs thermiques. Grâce à sa relative simplicité d'adaptation sur les moteurs existants, le système d'injection diesel haute pression à rampe commune constitue la solution actuelle la plus facilement industrialisable.[13].

L'apparition de l'injection à rampe commune pour les moteurs diesel a ouvert un nouvel espace de liberté aux motoristes. Les progrès sur le plan du confort, de la Consommation et de la diminution de la pollution en sont les conséquences directes.

Les JTD du groupe Fiat, HDI du groupe PSA, DCI Renault, CDI Mercedes, D4D Toyota sont quant à eux des moteurs dits Commons rail C'est à dire qu'ils sont équipés

d'une pompe rotative qui alimente un tube commun (rampe commun) et les injecteurs sont alimentés par ce tube, l'ouverture de chaque injecteur se fait par une électrovanne (source de panne) et un calculateur pour donner l'ordre aux injecteurs de s'ouvrir).

Une technique Fiat qui a été transférée chez Bosch. (Dans le futur, les électrovannes devraient être remplacées par des systèmes piézoélectriques « électropneumatique » voir figure III -4).

Il y a une variante qui apparaît sur les moteurs plus petits (les Diesels Renault, PSA et Ford) développée par ex Lucas et maintenant Delphi qui remplace le tube par une sphère mais le fonctionnement est le même.

Le groupe VW complice avec leur TDI nouvelle formule: les 100 et 130 CV des Golfs et Passat qui eux sont équipés d'un système dit injecteur pompe c'est à dire qu'il n'y a plus de pompe rotative mais par contre la pompe est intégrée dans l'injecteur. Quand il y a panne on change le tout (sur un cylindre).



Figure III -4 : Injecteur piezo de Siemens.

Leurs avantages :

Avec les deux systèmes ce sont des moteurs très puissants.

- Ils polluent moins surtout dans les phases transitoires d'accélération (tant que le calculateur fera bien son boulot).

Les clients sont "captifs" on ne peut pas faire réparer n'importe où.

Inconvénients :

L'introduction de l'électronique peut provoquer une infinité des pannes provenant de système de commande électrique.

III- Comment ça marche le moteur Diesel

Le moteur diesel était considéré, jusqu'à une époque récente, comme un moteur bruyant, polluant et lourd, réservé en principe aux camions, camionnettes et taxis.

Mais, avec l'avènement des Diesel légers, rapides et puissants et le raffinement de leurs systèmes d'injection, la situation a changé dans les années 1980. Le diesel acquis ses lettres de noblesse. On le présente même parfois comme le moteur du futur. L'avantage principal du moteur Diesel par rapport au moteur à étincelle est son faible coût d'utilisation. Ce résultat est dû en partie au meilleur rendement du diesel - résultant du fait qu'il fonctionne avec un taux de compression élevé- en partie au prix inférieur du carburant par rapport à celui de l'essence, surtout en Algérie.[14].

III-1- Le Principe

Un moteur diesel fonctionne différemment d'un moteur à essence. Même si leurs principaux organes sont semblables et s'ils respectent le même cycle à quatre temps, un moteur diesel et un moteur à explosion présentent des différences sensibles, en particulier dans la façon dont le mélange carburé y est enflammé et dans la manière dont la puissance délivrée y est régulée. Dans un moteur à essence, le mélange carburé est enflammé par une étincelle électrique. Dans un moteur Diesel, l'allumage est obtenu par une auto-inflammation du carburant à la suite de l'échauffement de l'air sous l'effet de la compression. Un rapport volumétrique normal est de l'ordre de 20 à 1 pour un moteur diesel (alors qu'il est de 9 à 1 pour un moteur à essence). Un tel taux de compression porte la température de l'air dans le cylindre à plus de 450 °C. Cette température étant celle de l'auto-inflammation du gasoil, celui-ci s'enflamme spontanément au contact de l'air, sans qu'il y ait besoin d'une étincelle, et, par conséquent, sans système d'allumage.[14].

Un moteur à essence admet une masse de mélange carburé variable d'un cycle à l'autre en fonction de l'ouverture du papillon des gaz. Un moteur Diesel, au contraire, aspire toujours la même masse d'air (à régime égal) par un conduit de section constante dans lequel seule s'interpose la soupape d'admission (il n'y a ni carburateur, ni papillon). A la fin de la phase d'admission, la soupape d'admission se ferme, puis le piston, soumis à l'inertie de l'ensemble vilebrequin-volant moteur, remonte vers le haut du cylindre en comprimant l'air dans environ 1/20 de son volume initial. C'est à la fin de cette phase de compression qu'une quantité précisément dosée de carburant (gasoil) est injectée dans la chambre de combustion. En raison de la température élevée de l'air comprimé, ce carburant s'enflamme immédiatement et les gaz chauds, en se dilatant, repoussent le piston avec force. Quand le piston remonte dans le cylindre, lors de la phase

d'échappement, la soupape d'échappement s'ouvre pour laisser les gaz brûlés et dilatés s'évacuer dans le système d'échappement.

A la fin de la phase d'échappement, le cylindre est prêt à admettre une nouvelle charge d'air frais afin que le cycle complet recommence.

III -1-1-Les temps de la combustion

Le fonctionnement est fait temps par temps dans chaque cylindre nous avons donc :

1er Temps L'admission:

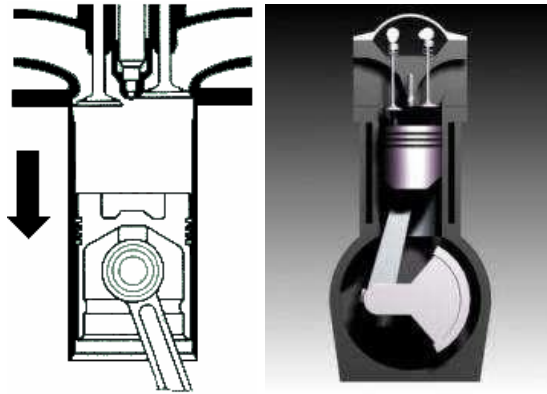


Figure III -5 :L'admission d'air.

La soupape d'admission s'ouvre alors que le piston descend du point mort haut au point mort bas. L'air poussé par la pression atmosphérique entre dans la culasse.

2ème Temps La compression:

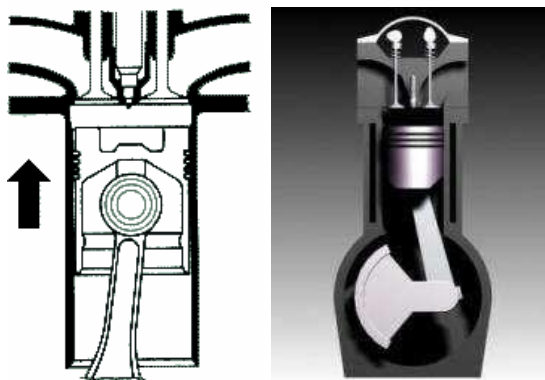


Figure III-6 : La compression d'air.

Les deux soupapes sont fermées; le piston monte du point mort bas au point mort haut. Il comprime alors l'air admis dans le cylindre lors du temps précédent. L'air contenu dans le cylindre est porté à une température d'environ, 440°C par le fait qu'on le comprime.[14].

3ème Temps L'explosion ou temps moteur

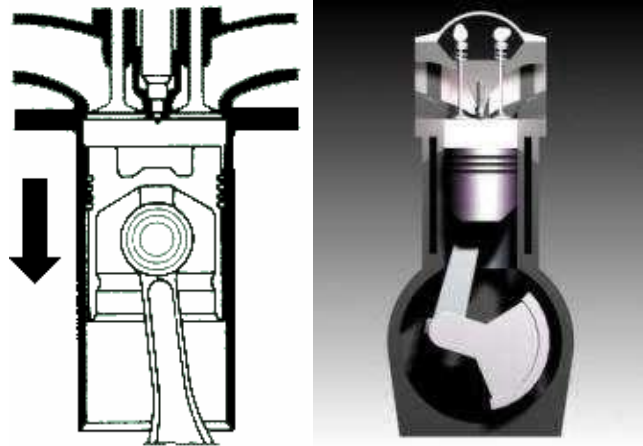


Figure III -7 : L'explosion.

Lorsque le piston arrive au point mort haut le gasoil est introduit sous pression dans le cylindre. La haute température de l'air comprimé provoque l'inflammation spontanée du carburant ce qui repousse le piston vers le bas.

4ème Temps L'échappement

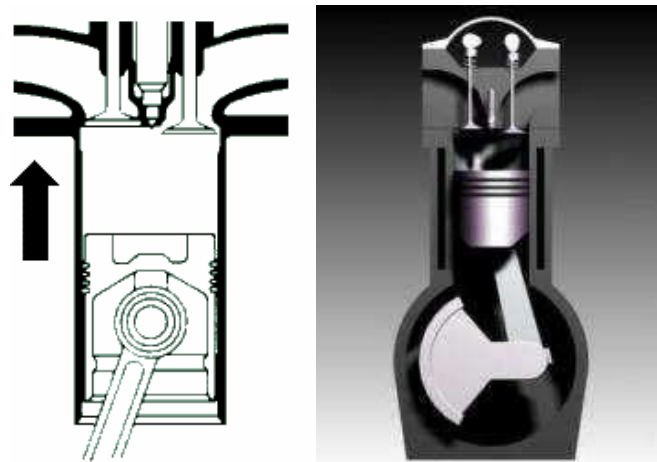


Figure III -8 : L'échappement.

La soupape d'échappement s'ouvre alors que le piston remonte du point mort bas vers le point mort haut, les gaz brûlés sont alors chassés par le piston.

III -2-Le démarrage d'un moteur Diesel

Comme les moteurs à essence, les moteurs Diesel sont lancés par un moteur électrique (démarreur) qui amorce le cycle compression-inflammation.

A froid, cependant, les Diesel sont difficiles à démarrer. Pour faciliter le départ à froid on élève la température des parois de la chambre de combustion et de l'air admis, les Diesel sont équipés de bougies de préchauffage. Ces organes, qui ressemblent à des bougies d'allumage mais qui sont plus courts et plus épais, sont connectés à l'alimentation électrique du véhicule; ils comprennent une résistance intérieure qui s'échauffe très rapidement dès qu'elle est mise sous tension. Les bougies de préchauffage sont mises en fonction par la clé de contact-démarrage-antivol. Sur les moteurs les plus récents, elles sont mises automatiquement hors circuit dès que le moteur est lancé et accéléré au-dessus de son régime de ralenti.

Ce problème de démarrage à froid a au moins deux raisons, d'une part, ils opposent, du fait de leur taux de compression élevé, une forte résistance à l'entraînement, d'autre part, la seule compression de l'air froid ne permet pas d'atteindre une température suffisamment élevée pour que le carburant s'enflamme spontanément. Le contrôle du régime.[12].

Le contrôle du régime Un moteur Diesel n'est pas régulé comme un moteur à essence, car la masse d'air aspirée à chaque cycle y est toujours la même quel que soit l'effort qui lui est demandé. Le régime du moteur est uniquement régulé par la quantité de carburant pulvérisé dans la chambre de combustion une quantité supérieure de gasoil injecté donne une combustion plus vive et produit une force plus importante. La pédale d'accélération est reliée au dispositif de dosage (le régulateur) du système d'injection et non pas, comme dans un moteur à essence, à un papillon d'admission d'air. Si l'arrêt d'un Diesel s'obtient maintenant par la manœuvre d'une clé semblable à une clé de " contact ", il s'agit de couper non pas un circuit assurant la production d'étincelles, mais un circuit assurant l'alimentation électrique d'une électrovanne qui contrôle l'arrivée de carburant à la pompe d'injection du système de dosage et de distribution.

III -3- Le cycle du Diesel

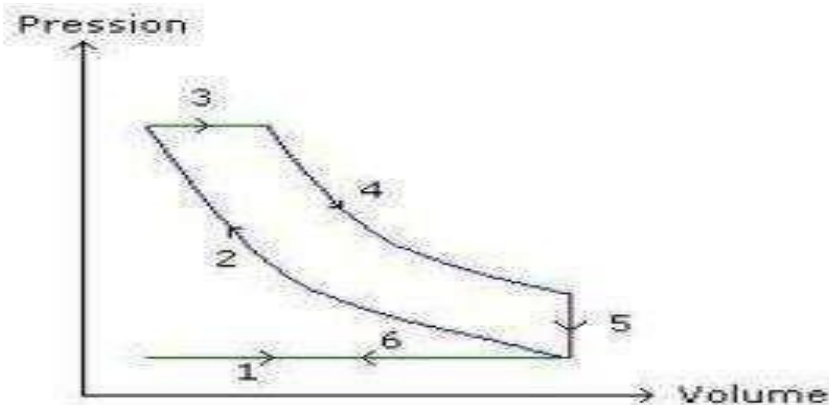
C'est le cycle de fonctionnement des moteurs à allumage par compression.

Le cycle théorique se compose d'une détente isobare, d'une détente adiabatique et d'une transformation isochore) .[12].

Dans les débuts, le cycle de fonctionnement comportait une phase théorique de combustion à pression constante, comme Rudolf Diesel en avait eu l'idée. Pour un fonctionnement à quatre temps du moteur, c'est à dire pour un cycle se déroulant pendant deux tours de vilebrequin et quatre courses du piston, les opérations à réaliser étaient les suivantes :

- Introduction de l'air dans le cylindre (par aspiration naturelle ou mécanique au moyen d'un compresseur).
- Compression de la charge d'air et, allumage spontané de ce combustible.
- Combustion du mélange à pression presque constante, suivie de la détente proprement dite des gaz brûlés, avec production de travail.

Expulsion mécanique des produits de la combustion par l'action de poussée du piston pendant sa remontée. Le rendement thermique était caractérisé par les valeurs de deux rapports caractéristiques.



Graphe III -1 : cycle diesel.

Tableau III-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.

III -4- Configurations Des Moteurs

Moteur en ligne

Les cylindres sont placés les uns à côté des autres, dans l'industrie automobile, les moteurs de petite cylindrée sont souvent des moteurs avec cylindres en ligne, depuis plus de 30 ans, les moteurs à quatre cylindres en lignes sont devenus la norme dans l'industrie automobile (Figure III -9).

Ces moteurs sont réputés pour leur douceur de fonctionnement. [5]

Il existe des moteurs à 2, 3, 4, 5 et 6 cylindres en ligne. Les moteurs en ligne peuvent être montés dans le sens de la longueur ou de la largeur.[14].



Figure III -9 : Moteur en ligne [6]

Moteur en V

Les cylindres sont alignés en deux rangs décalés d'un certain angle (de 15° à 135°), ce type de moteur est plus compact qu'un moteur en ligne, ce moteur est aussi robuste, il est aussi plus large, mais plus petit en hauteur et longueur (figure III -10).

Les moteurs en V peuvent également être montés dans le sens de la longueur ou de la largeur, le nom de moteur en V est du au fait que les rangées de cylindres peuvent être agencées en forme de V. [6]

Un moteur en V peut être plus ou moins droit ou couché, lorsque l'angle est de 90° et qu'un des deux cylindres est à l'horizontale, on parle volontiers de « cylindres en L ».

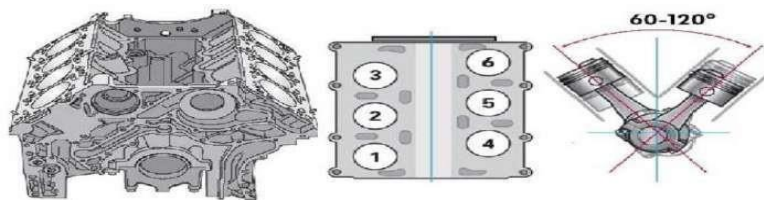


Figure III -10 : Moteur en v [7]

Sans que le moteur soit vraiment différent d'un moteur en V.

Exemple d'utilisation :

En généralement les moteurs en V montés sur des motocyclettes.

- Moteurs Ducati d'angle 90° .
- Moteurs de Moto Guzzi d'angle 90° .
- Moteurs Harley-Davidson et Buell d'angle 45° .

Moteur Boxer ou en « I »

Les cylindres sont opposés et à l'horizontale (Les cylindres sont face à face), appelés « Boxer » ces moteurs permettent d'abaisser le centre de gravité des voitures. Les pistons se déplaçant dans un même plan horizontal mais dans des directions opposées, les forces d'inertie du premier et du second ordre sont équilibrées. Par contre dans un bicylindre, les couples d'inertie du premier et du second ordre ne sont pas équilibrés en raison du fait que les cylindres opposés ne sont pas dans le même plan transversal (figure III -11).

Dans le cas d'un 4-cylindres, tant les forces que les couples d'inertie du premier ordre sont équilibrés. [7]

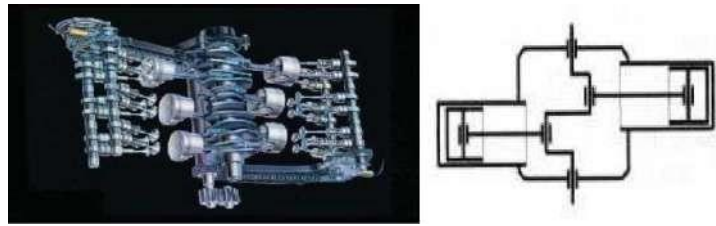


Figure III -11: Moteur boxer [6]

Exemple d'utilisation :

- Les moteurs Citroën 2 CV pour les deux-cylindres.
- Les moteurs « Coccinelle » et Combi Volkswagen.
- Les moteurs Porsche 911.
- Les moteurs Ferrari et son douze-cylindres à plat de 5 litres.

Moteur en W

Ils peuvent être :

- **À trois cylindres** : chaque cylindre est décalé par rapport à l'autre d'un certain angle, par **Exemple** : angle du premier par rapport au deuxième : 15° , angle du troisième par rapport au premier : 30° . Appelé aussi moteur « en éventail ». [5]
- **En V** : les cylindres des deux lignes sont eux-mêmes disposés en quinconce, permettant de diminuer un peu la longueur du bloc. [5]

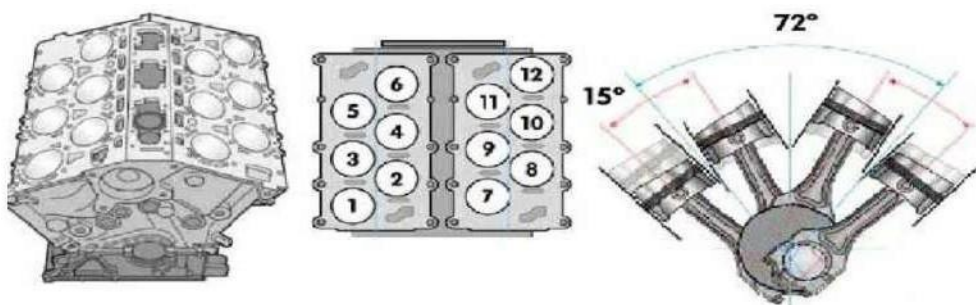


Figure III -12: Moteur en w [7]

Exemple d'utilisation :

- Les moteurs W12 (12 cylindre).
- Les moteurs Bugatti Veyron 16.4 et son W16 (de 16 cylindres).

Moteurs radiaux / en étoile

Aujourd'hui, ce type de moteur est surtout utilisé dans les avions à hélices, sur les avions, il est très important que le moteur puisse être refroidi directement (figure III - 13). Ce moteur fournit une très grande puissance, ce que nécessite justement un avion.

[5]

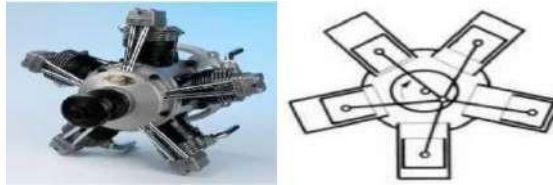


Figure III -13 : Moteur radiaux/ en étoile [8]

Moteur en U

Le moteur en U est un type de moteur à combustion caractérisé par un agencement des cylindres en forme de U les uns par rapport aux autres et par rapport aux vilebrequins, on obtient ce type de moteur quand on combine et relie entre eux deux moteurs en ligne. [6]

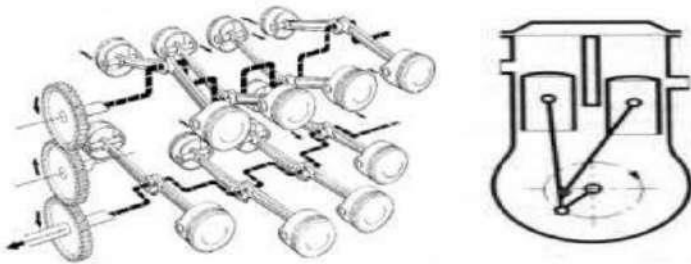


Figure III -14 : Moteur en U [6]

IV- Différence entre moteur diesel et essence

A part le combustible utilisé, les moteurs essences et les moteurs diesels possèdent une principale différence qui réside dans le mode d'inflammation du carburant.

L'essence a besoin d'une étincelle pour s'enflammer (étincelle produite par la bougie) tandis que le diesel fonctionne par auto-inflammation (le fluide s'enflamme spontanément lorsqu'il atteint environ 250°C).

La méthode d'inflammation n'étant pas la même selon le combustible, la phase d'explosion ne se déroule donc pas de la même manière:

Phase d'explosion d'un moteur essence : le combustible comprimé dans la chambre de combustion est enflammé par une étincelle électrique (c'est le rôle de la bougie).

Phase d'explosion d'un moteur diesel : le diesel a besoin d'atteindre le point d'auto-inflammation qui est d'environ 250°C. La chambre de combustion est remplie d'air fortement comprimée (la pression atteint les 35 bars et la température est alors de 600°C, bien au-dessus du point d'auto-inflammation du diesel). Au moment approprié, l'injecteur s'ouvre et un brouillard de carburant pénètre dans le cylindre. L'air chaud vaporise le carburant qui s'enflamme (IE: la bougie est alors remplacée par l'injecteur de carburant). [13].

Cette différence de combustion provoque certains avantages et inconvénients aux différents carburants. Nous nous baserons sur un moteur diesel, les avantages de celui-ci correspondent donc aux inconvénients du moteur essence et vice-versa.

IV-1- Avantages du moteur diesel

- Le couple moteur est plus important et il reste constant pour des vitesses faibles;
- Meilleur rendement (grâce à l'augmentation du rapport volumétrique la combustion est plus complète et la consommation spécifique est réduite).
- Les risques d'incendies sont plus faibles car le point d'inflammation est beaucoup plus élevé que celui de l'essence.[13].
- Les gaz d'échappement sont moins toxiques car ils contiennent moins d'oxyde de carbone.

IV-2- Inconvénients du moteur diesel

- Les composants mécaniques doivent être surdimensionnés (très hautes pressions et températures).
- Le bruit de fonctionnement est plus important (l'explosion du mélange air-carburant provoque l'onde de choc qui constitue le bruit du moteur que nous pouvons entendre).
- Nécessite d'un refroidissement plus efficace.
- Le démarrage à froid est moins bon qu'un moteur à allumage commandé. [13] .

Conclusion

Ce chapitre a présenté les principes fondamentaux du moteur Diesel ainsi que son mode de fonctionnement basé sur l'auto-inflammation par compression de l'air. Les différents types d'injection (indirecte, directe et common rail) ont été abordés, en mettant en évidence leurs caractéristiques principales et leurs évolutions technologiques.

L'étude a également permis de comprendre les différentes configurations des moteurs ainsi que les principales différences entre le moteur Diesel et le moteur à essence.

En résumé, le moteur Diesel moderne se distingue par son bon rendement, sa robustesse et son efficacité énergétique, ce qui explique son utilisation large dans le domaine industriel et automobile.

CHAPITRE IV
REPRESENTATION
ET DISCUSSION DES
RESULTATS

Introduction

Dans le cadre de la maintenance industrielle, l'analyse des performances des équipements est essentielle pour évaluer leur comportement en exploitation et identifier les causes de défaillance, dans le but d'améliorer la fiabilité et la disponibilité des systèmes.

Dans ce contexte, l'unité de production d'Oued Noumer repose sur des installations spécifiques assurant la continuité de ses activités. En raison de l'éloignement du site et de l'absence d'un réseau électrique fiable, l'alimentation en énergie est assurée principalement par des groupes électrogènes, garantissant ainsi l'autonomie énergétique et la continuité de la production.

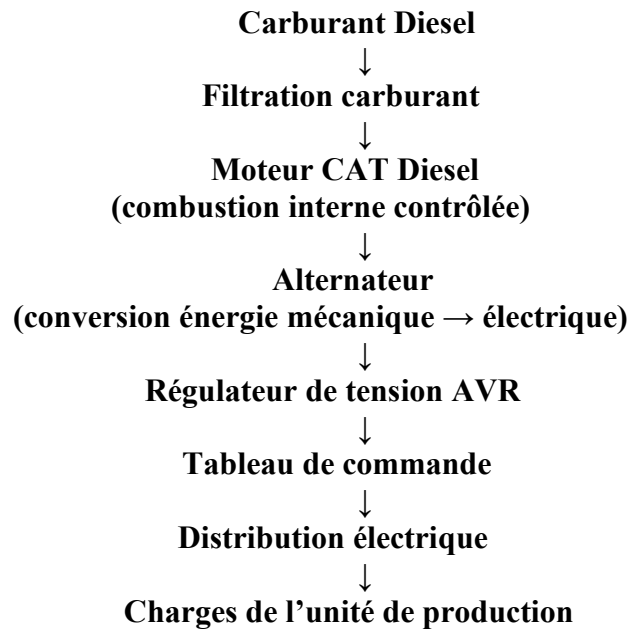
Ce chapitre présente et discute les résultats issus de l'exploitation des données historiques du moteur diesel (6130-DE-01). L'étude s'appuie sur les indicateurs de la fiabilité, à savoir la maintenabilité et la disponibilité, calculés à partir des temps de bon fonctionnement (TBF) et des temps de réparation (TTR).

Une analyse complémentaire basée sur la méthode ABC (Pareto) est également réalisée afin d'identifier les défaillances critiques et de hiérarchiser les actions de maintenance. L'objectif est de mettre en évidence les points faibles du système et de proposer des améliorations adaptées pour optimiser les performances globales de l'équipement.

Tableau IV- 1-Fiche technique – Groupe électrogène Cummins (6130-DE-01) :

Élément	Données
Désignation	Groupe électrogène diesel moteur
Code équipement	6130-DE-01
Constructeur	Cummins
Origine	États-Unis
Type moteur	Diesel 4 temps, turbocompressé
Fonction	Production d'énergie électrique
Puissance nominale	1000 kVA
Puissance active	800 – 1600 kW
Fréquence	50 Hz
Tension	380V
Cylindres	16 cylindres
Système de refroidissement	Eau (radiateur intégré)
Système d'injection	Injection directe électronique
Démarrage	Électrique (batteries)
Lubrification	Circuit d'huile sous pression
Application	Alimentation de l'unité de production Oued Noumer

I - Schéma de fonctionnement



II- Historique des pannes

D'après l'historique des pannes d'une année (2024/2025) de la machine choisie (le moteur diesel 6130-DE-01) on résume les dates et les temps de début et de fin des défaillances dans le tableau suivant :

Tableau IV -2 L'historique des pannes du moteur diesel (6130-DE-01) :

Curative durant année 2024/2025								
Equipement	N° OT	MN	Fin Travaux	HH Réa	M.O Interne	Pièce		Total /DA
6130-DE-01	61522	CUR-Y	12-12-2024 au 16-01-2025	420	2 520 000,00	0,00		2 520 000,00
6130-DE-01	61751	CUR-Y		1070	6 420 000,00	250 651,99		6 670 651,99
6130-DE-01	61915	CUR-Y		395	2 370 000,00	30 927,27		2 400 927,27
6130-DE-01	61703	CUR-Y		10	60 000,00	9 959,36		69 959,36
Total en DA								11 661 538,62
Préventive durant année 2025								
Equipement	N° OT	MN	Fin Travaux	HH Réa	M.O Interne	Pièce	Consom.	Total /DA
6130-DE-02	61520	CUR-Y	01-01-2025 au 31-01-2025	970	72 000 ,00	0,00	1500	2 628 000,00
Total en DA								2 628 000,00

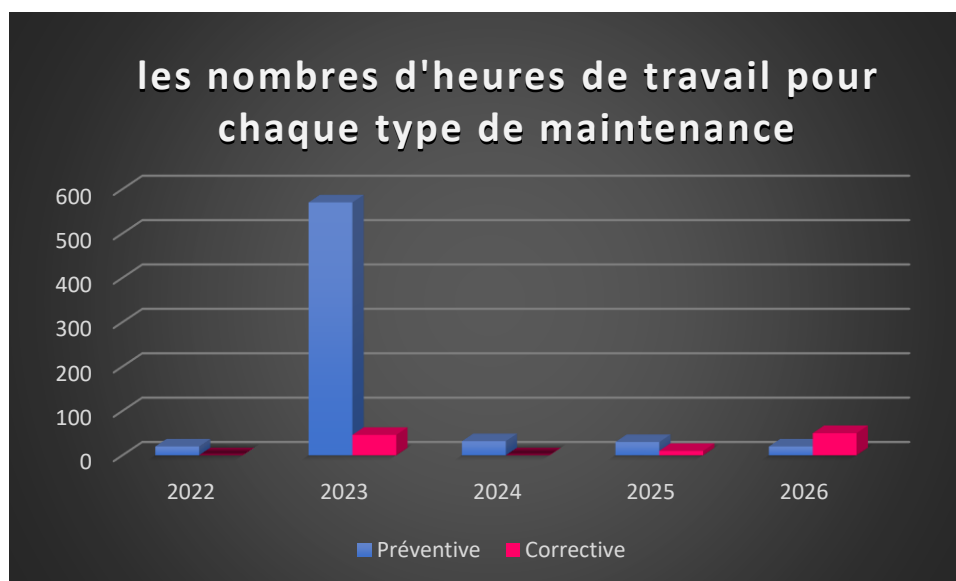


Figure IV -1 Les nombres des heures de travail de chaque type de maintenance.

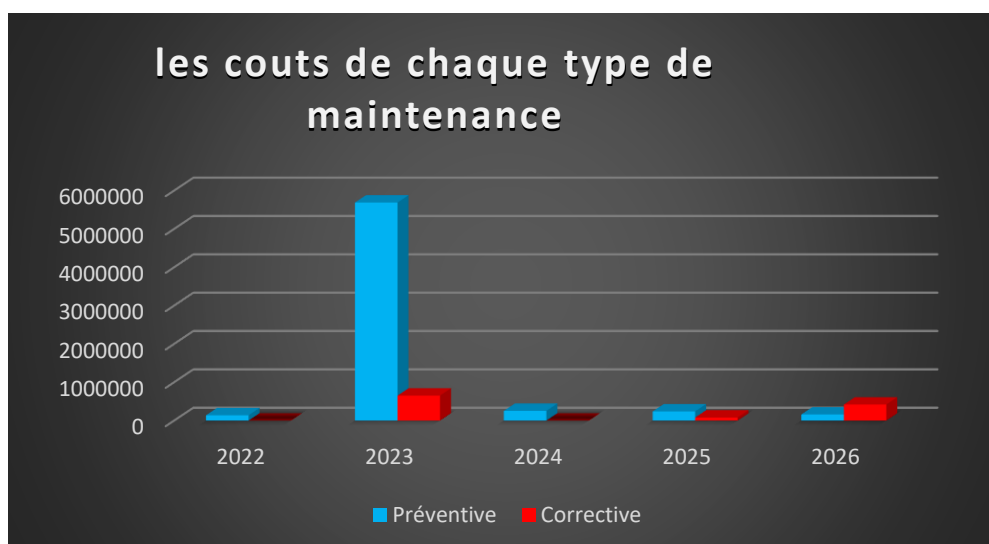


Figure IV -2 Les couts de chaque type de maintenance.

Tableau IV -3 Les couts de maintenance :

Années	Préventive/DA	Corrective /DA
2022	140000	0
2023	56895686	651867,04
2024	256000	0
2025	240000	80000
2026	160000	419 378,70

Tableau IV-4 les pannes fréquents et les causes possible :

Type de panne	Désignation	Causes possibles	Solutions / Actions
CUR-X / CUR-Y	Court-circuit	Usure câbles, humidité, défaut isolation	Vérification câblage, remplacement fils
PRV-P	Problème de pression	Pompe défaillante, fuite, vanne bloquée	Contrôle pression, réparer fuite
PRV-T	Problème thermique	Surchauffe, défaut refroidissement	Nettoyage radiateur, vérifier pompe à eau
Injection	Défaut injecteur	Encrassement, mauvaise qualité carburant	Nettoyage ou remplacement injecteurs
Lubrification	Pression d'huile faible	Fuite huile, filtre bouché	Changer filtre, vérifier pompe huile
Refroidissement	Surchauffe moteur	Radiateur bouché, manque liquide	Nettoyage + remplissage liquide
Mécanique	Usure pièces (piston, segments)	Fonctionnement prolongé	Maintenance préventive, remplacement
Électrique	Batterie / alternateur	Batterie faible, panne alternateur	Tester batterie, réparer alternateur
BRKD	Panne totale	Défaillance majeure	Arrêt + maintenance corrective lourde

Tableau IV-5 Historique des défaillances et calcul des TTR et TBF :

N°	Début de la défaillance	fin de la défaillance	TTR(heure)	TBF(heure)
1	5/1/25 9:40 AM	5/1/25 10:50 AM	1,17	169,5
2	12/1/25 11:10 AM	12/1/25 11:40 AM	0,50	483,3
3	1/2/25 2:30 PM	1/2/25 4:30 PM	2,00	169,6
4	8/2/25 4:05 PM	8/2/25 5:35 PM	1,50	427,6
5	26/2/25 11:40 AM	26/2/25 3:50 PM	4,17	123,5
6	2/3/25 3:10 PM	2/3/25 3:45 PM	0,58	162,2
7	9/3/25 9:20 AM	9/3/25 9:50 AM	0,50	128,5
8	14/3/25 5:50 PM	14/3/25 6:50 PM	1,00	186,7
9	22/3/25 12:30 PM	22/3/25 5:20 PM	4,83	1057,7
10	5/5/25 2:15 PM	5/5/25 3:25 PM	1,17	290,3
11	17/5/25 4:30 PM	17/5/25 5:00 PM	0,50	88,3
12	21/5/25 8:45 AM	21/5/25 9:25 AM	0,67	31,6
13	22/5/25 4:20 PM	22/5/25 4:45 PM	0,42	185,7
14	30/5/25 10:00 AM	30/5/25 10:20 AM	0,33	56,1
15	1/6/25 6:05 PM	1/6/25 6:25 PM	0,33	158,4
16	8/6/25 8:30 AM	8/6/25 9:30 AM	1,00	145,5
17	14/6/25 10:00 AM	14/6/25 2:00 PM	4,00	1277,3
18	6/8/25 3:20 PM	6/8/25 3:50 PM	0,50	88,2
19	10/8/25 7:30 AM	10/8/25 8:20 AM	0,83	28,3
20	11/8/25 11:50 AM	11/8/25 1:00 PM	1,17	261,2
21	22/8/25 9:00 AM	22/8/25 12:10 PM	3,17	246,5
22	1/9/25 3:30 PM	1/9/25 5:30 PM	2,00	306,6
23	14/9/25 10:05 AM	14/9/25 8:05 PM	10,00	404,9
24	1/10/25 7:00 AM	1/10/25 8:00 AM	1,00	11,5
25	1/10/25 6:30 PM	1/10/25 7:00 PM	0,50	328,7
26	15/10/25 11:15 AM	16/10/25 2:15 AM	15,00	52,3
27	17/10/25 3:30 PM	17/10/25 4:15 PM	0,75	21,7
28	18/10/25 1:10 PM	18/10/25 2:10 PM	1,00	93,5
29	22/10/25 10:40 AM	22/10/25 12:10 PM	1,50	198,2
30	30/10/25 4:50 PM	30/10/25 5:05 PM	0,25	40,5
31	1/11/25 9:20 AM	1/11/25 9:50 AM	0,50	296,2
32	13/11/25 5:30 PM	13/11/25 6:30 PM	1,00	17,5
33	14/11/25 11:00 AM	14/11/25 12:00 PM	1,00	188,2
34	22/11/25 7:10 AM	22/11/25 8:40 AM	1,50	366,9
35	7/12/25 2:05 PM	7/12/25 3:05 PM	1,00	20,2
36	8/12/25 10:15 AM	8/12/25 12:00 PM	1,75	96,6
37	12/12/25 10:50 AM	12/12/25 4:50 PM	6,00	389,1
38	28/12/25 3:55 PM	28/12/25 4:25 PM	0,50	79,9

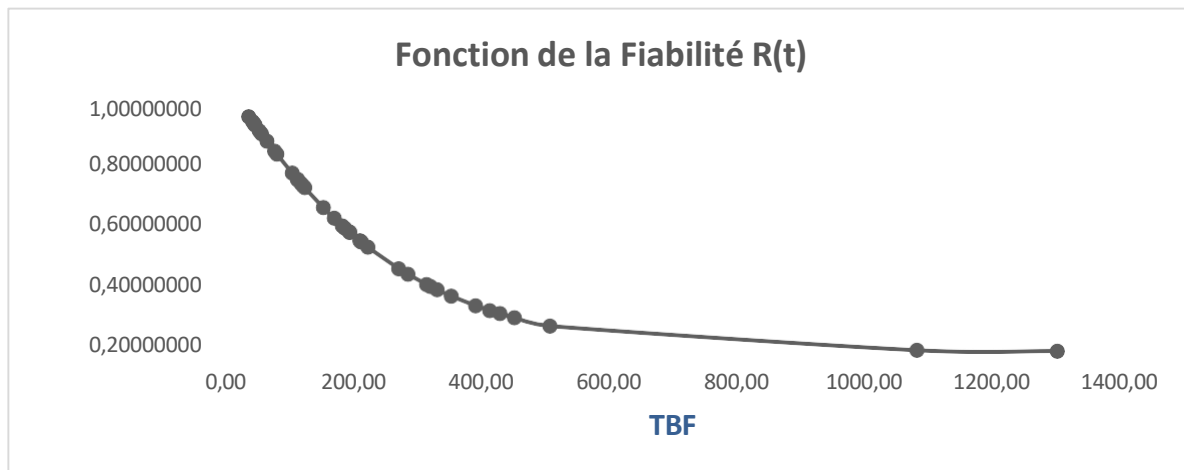
Rappel des formules

$TBF = ([\text{Date ET heure de début de } (N_{eme}+1) \text{ défaillance}] - [\text{Date ET heure de début de } (N_{eme}) \text{ défaillance}]) * 24$

$TTR = ([\text{Date ET heure de fin défaillance}] - [\text{Date ET heure de début défaillance}]) * 24$

EX: $TBF1 = 12/1/25 \ 11:10 \text{ AM} - 5/1/25 \ 9:40 \text{ AM} = 169,5 \text{ h}$

$TTR1 = 5/1/25 \ 9:40 \text{ AM} - 5/1/25 \ 10:50 \text{ AM} = 1,17 \text{ h}$

III - L'analyse de la fiabilité**a)- la courbe de la fiabilité**

Graphe IV-1 La courbe De la fonction de la fiabilité.

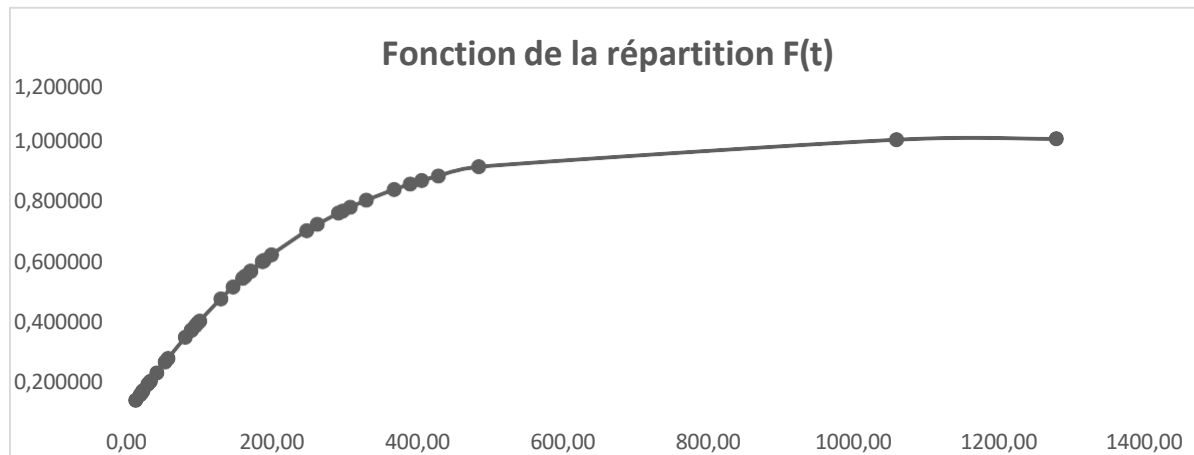
Analyse de courbe

On remarque dans la courbe de la fiabilité $R(t)$, que la probabilité de non défaillance à l'instant T compris entre $[0.1277.33h]$ de la machine décroît en fonction de TBF, c'est tout à fait logique parce que par l'augmentation de TBF on a diminué dans l'autre part le nombre des défaillances.

$$MTBF = \sum TBF / N$$

$$\sum TBF = 8678,5 \text{ h} / 38$$

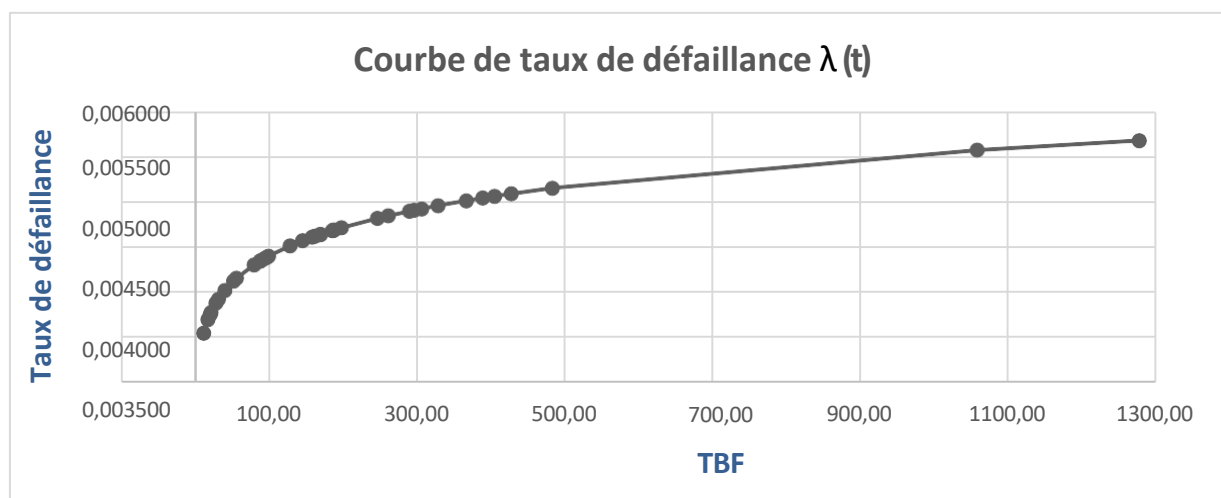
$$MTBF = 228,381 \text{ h}$$

b)-La courbe de la fonction de répartition $F(t)$ 

Graphe IV-2 La courbe De la fonction de la répartition.

Analyse de la courbe

On peut voir dans cette courbe de la fonction de répartition $F(t)$, la probabilité que la machine subir une défaillance à l'instant T compris entre $[0 ; 1277.33h]$, augmente avec l'augmentation du temps de bon fonctionnement, c'est-à-dire qu'il est très probable d'avoir plusieurs défaillances lorsque la machine marche sans arrêt et sans avoir une stratégie de maintenance pour intervenir faiblement.

c)-La courbe du taux de défaillance

Graphe IV-3 La courbe de taux de défaillance.

Analyse de la courbe

A partir de la courbe obtenue, on remarque que le taux de défaillance $\lambda(t)$ augmente progressivement avec le temps de fonctionnement. Cela signifie que la machine devient de plus en plus sujette aux pannes au fur et à mesure de son utilisation.

Cette évolution indique une phase d'usure des composants mécaniques, correspondant à une période de vieillissement de la machine. En conséquence, l'augmentation du taux de défaillance entraîne une diminution de la fiabilité du système au cours du temps.

IV - L'analyse de La maintenabilité

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR (Moyenne des Temps Technique de Réparation).

$$\text{MTTR} = (\text{Somme des temps d'intervention pour } n \text{ pannes}) / (\text{Nombre de pannes } n)$$

$$\text{MTTR} = (\text{Somme des TTR}) / (\text{Nombre de pannes } N)$$

$$\text{MTTR} = 75.583 / 38 = 1.989 \text{ h/panne}$$

Le taux de réparation :

$$\mu = 1 / \text{MTTR} = 1 / 1.989 = 0.5 \text{ intervention h}^{-1}$$

La fonction de maintenabilité est :

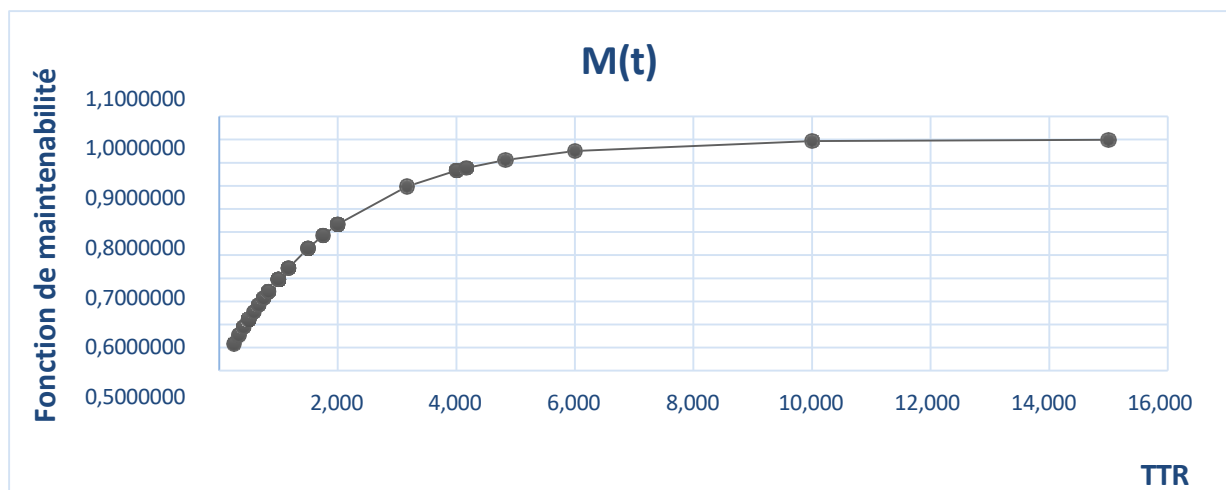
$$M(t) = 1 - e^{(-\mu t)}$$

$$M(\text{MTTR}) = 1 - e^{(-(0.5 \times 1.989))} = 63 \%$$

Le tableau ci-dessous résume les calculs de la maintenabilité, pour N=38 pannes d'après l'historique précédent.

Tableau IV-6 calcul de la maintenabilité :

Range	TTR (heure)	M(t)	Range	TTR (heure)	M(t)
1	0,250	0,1181109	20	1,000	0,3951386
2	0,333	0,1541538	21	1,000	0,3951386
3	0,333	0,1541538	22	1,000	0,3951386
4	0,417	0,1891314	23	1,167	0,4438495
5	0,500	0,2222717	24	1,167	0,4438495
6	0,500	0,2222717	25	1,167	0,4438495
7	0,500	0,2222717	26	1,500	0,5295822
8	0,500	0,2222717	27	1,500	0,5295822
9	0,500	0,2222717	28	1,500	0,5295822
10	0,500	0,2222717	29	1,750	0,5851437
11	0,500	0,2222717	30	2,000	0,6341427
12	0,583	0,2540575	31	2,000	0,6341427
13	0,667	0,2849038	32	3,167	0,7965283
14	0,750	0,3141299	33	4,000	0,8661485
15	0,833	0,3421615	34	4,167	0,8769278
16	1,000	0,3951386	35	4,833	0,9119473
17	1,000	0,3951386	36	6,000	0,9510294
18	1,000	0,3951386	37	10,000	0,9934452
19	1,000	0,3951386	38	15,000	0,9994693



Graphique IV-4 La courbe de la maintenabilité en fonction de TTR.

Analyse de la courbe : On remarque l'augmentation de la Maintenabilité en fonction du temps de réparation, est tout à fait logique, puisque la probabilité de l'aptitude d'être la machine maintenue, augmente avec l'augmentation des TTR, mais notre objectif c'est on diminue le temps de réparation.

V- L'analyse de la disponibilité

V- 1- Disponibilité intrinsèque : On peut calculer la disponibilité intrinsèque par l'équation suivante :

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

On a : $\text{MTBF} = 228.381 \text{ h}$ et $\text{MTTR} = 1.989 \text{ h}$

$$D_i = 228.381 / (228.381 + 1.989)$$

$$D_i = 228.381 / 230.370$$

$$D_i = 0.9914 \approx 99.14 \%$$

V-2-Disponibilité instantané

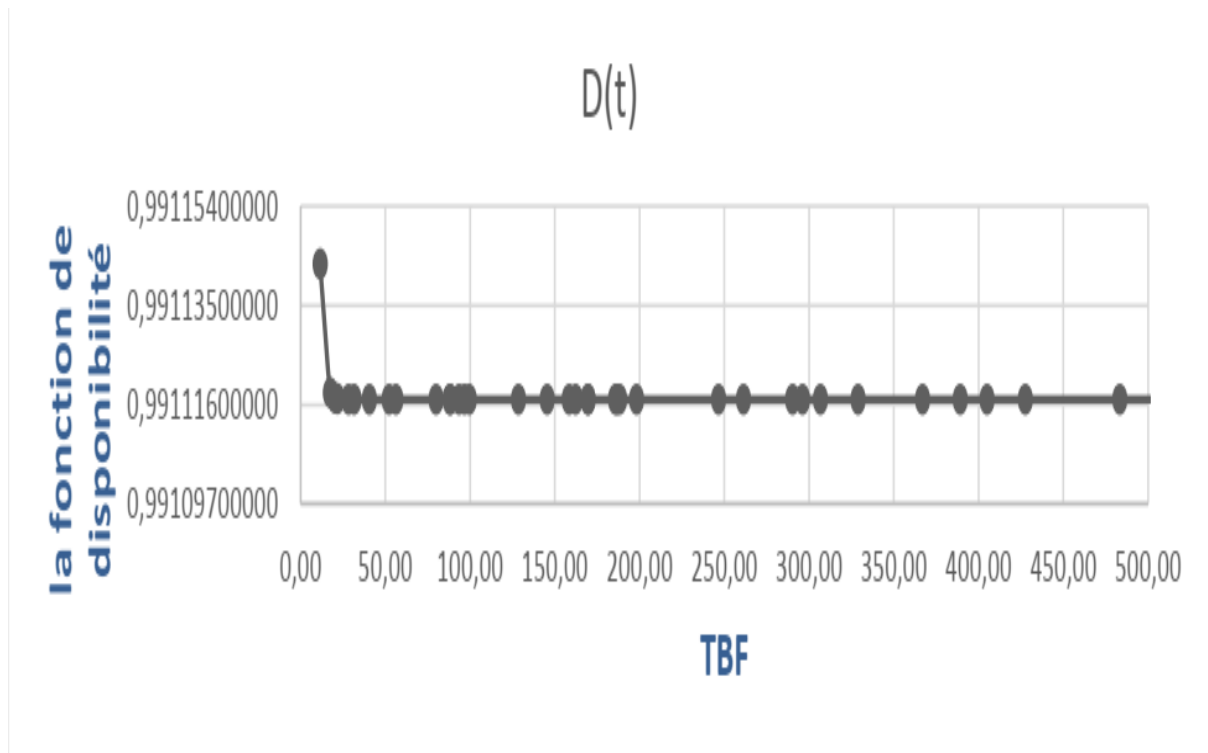
$$D(t) = (\lambda / (\lambda + \mu)) + (\mu / (\lambda + \mu)) e^{-(\lambda + \mu)t}$$

$$\mu = 1 / \text{MTTR} = 1 / 1.989 = 0.5 \text{ h}^{-1}$$

$$\lambda = 1 / \text{MTBF} = 1 / 228.381 = 0.004379 \text{ h}^{-1}$$

Tableau IV-7 calcul de la disponibilité:

Range	TBF(heure)	D(t)	Range	TBF(heure)	D(t)
1	11,50	0,99114305717	20	169,50	0,99111705000
2	17,50	0,99111828961	21	169,58	0,99111705000
3	20,17	0,99111736995	22	185,67	0,99111705000
4	21,67	0,99111719950	23	186,67	0,99111705000
5	28,33	0,99111705510	24	188,17	0,99111705000
6	31,58	0,99111705098	25	198,17	0,99111705000
7	40,50	0,99111705001	26	246,50	0,99111705000
8	52,25	0,99111705000	27	261,17	0,99111705000
9	56,08	0,99111705000	28	290,25	0,99111705000
10	79,92	0,99111705000	29	296,17	0,99111705000
11	88,17	0,99111705000	30	306,58	0,99111705000
12	88,25	0,99111705000	31	328,75	0,99111705000
13	93,50	0,99111705000	32	366,92	0,99111705000
14	96,58	0,99111705000	33	389,08	0,99111705000
15	99,50	0,99111705000	34	404,92	0,99111705000
16	128,50	0,99111705000	35	427,58	0,99111705000
17	145,50	0,99111705000	36	483,33	0,99111705000
18	158,42	0,99111705000	37	1057,75	0,99111705000
19	162,17	0,99111705000	38	1277,33	0,99111705000



Graphe IV-5 La courbe de la disponibilité en fonction de TTR.

Analyse de la courbe

On remarque que la courbe de la disponibilité se fait un petit décroissement jusqu'à $TBF = 40h$ et puis se stabilise par rapport le temps de bon fonctionnement, c'est-à-dire que quand on augmente le MTBF, la machine être en meilleur état pour accomplir leur fonction requise.

67- L'optimisation de la performance de la machine

Dans l'unité de production d'Oued Noumer repose sur des installations spécifiques assurant la continuité de ses activités. En raison de l'éloignement du site et de l'absence d'un réseau électrique fiable, l'alimentation en énergie est assurée principalement par des groupes électrogènes, garantissant ainsi l'autonomie énergétique et la continuité de la production.

La maintenance préventive représente actuellement seulement 5 % du temps total de réparation. Elle consiste en général en nettoyage, graissage et vérification visuelle des composants critiques (injecteurs, filtres, turbocompresseur), effectuée sans étude préalable et réalisée environ deux fois par an.

Ainsi, la machine repose principalement sur la maintenance corrective, qui absorbe 95 % du temps total de réparation, ce qui peut entraîner des arrêts non planifiés et une baisse de la disponibilité.

Pour améliorer la performance du moteur diesel 6130-DE-01 à Oued Noumer, deux solutions efficaces sont proposées :

1)- Renforcement de la maintenance préventive

*Planification régulière des inspections et interventions sur les composants critiques.

*Analyse préalable des points faibles et suivi des indicateurs de performance (MTBF, MTTR, disponibilité).

2)-Formation et capitalisation des compétences du personnel

*Former les opérateurs et techniciens sur les bonnes pratiques de maintenance préventive.

*Documenter les procédures et standardiser les interventions pour réduire les erreurs et augmenter l'efficacité.

La mise en œuvre de ces mesures permettra :

- d'augmenter la disponibilité de la machine ($D(t)$).
- de réduire les pannes non planifiées, Et d'optimiser l'efficacité globale et la durée de vie de la machine à la station industrielle.

68-1- Un plan de maintenance préventive systématique

L'objectif de cette étude est d'améliorer la fiabilité de la machine afin d'atteindre un niveau de performance plus élevé. Actuellement, le taux de fiabilité obtenu reste relativement faible, ce qui indique une fréquence importante des défaillances.

Pour améliorer cette fiabilité, il est nécessaire d'augmenter le temps moyen de bon fonctionnement (MTBF) et de réduire le nombre des pannes à travers une maintenance préventive efficace, un meilleur suivi des équipements et une intervention rapide en cas de défaillance.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{Avec : } \lambda = 0,004379 \text{ h}^{-1}$$

$$\text{Pour : } R(t) = 0,9$$

$$\text{On obtient : } 0,9 = e^{-0,004379 t}$$

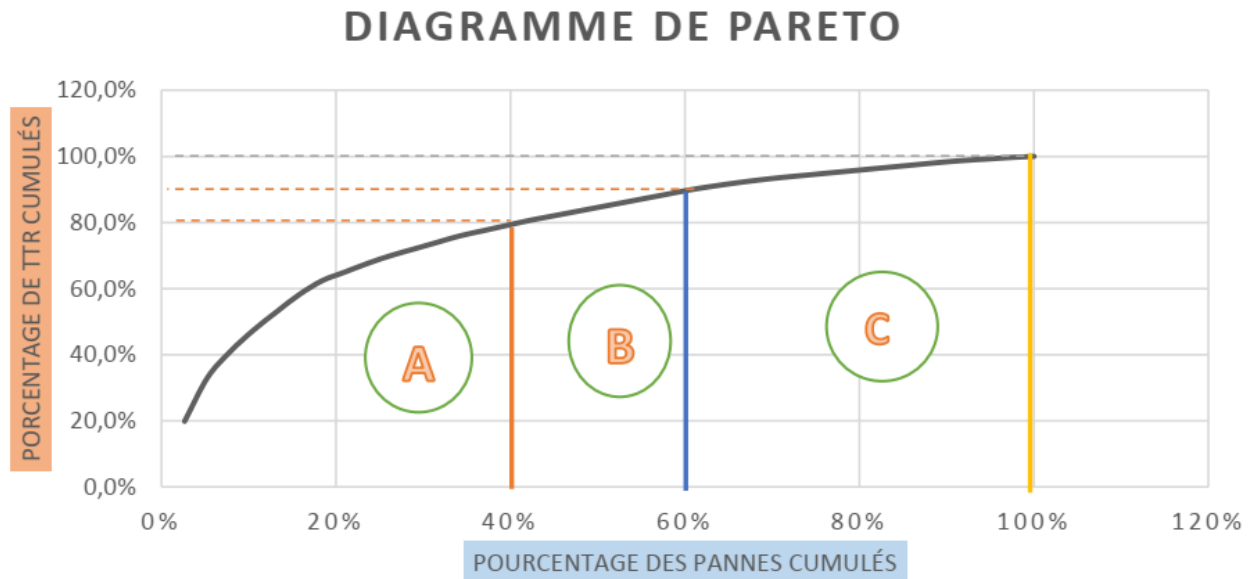
$$\text{Après calcul : } t = 24,06 \text{ h}$$

Donc, la machine peut assurer un fonctionnement fiable de 90 % pendant environ 24 heures de fonctionnement.

69-2- Le diagramme de PARETO (ABC) : On propose cette solution qui nous permet de visualiser les défaillances par importance décroissante par apport leur temps d'intervention, de causes ou de dysfonctionnements afin de déterminer lesquels sont prioritaires.

Tableau IV-8 L'analyse ABC (Pareto) :

Équipement	Type de panne	Description panne	Fréquence	TA (h)	Fréquence cumulée	TA cumulée (h)	Cumulé TA (%)	Classe ABC
6130-DE-01	CUR-X, CUR-Y	Court-circuit	2	40,32	2	72	12.4%	A
6800-K-01A	PRV-P	Problème de pression	2	30,30	4	132	22.7%	A
7002-B-NVX2.111	CUR-Y	Court-circuit	1	25	5	157	27.0%	A
U031	CUR-X	Court-circuit	1	37	6	194	33.4%	A
6130-DE-02	PRV-P	Problème de pression	1	20	7	214	36.8%	B
6100-B-01	PRV-T	Problème thermique	1	5	8	219	37.7%	B
6091-PD-109	PRV-P	Problème de pression	1	40	9	259	44.6%	B
CP-ONR	CUR-X	Court-circuit	1	40	10	299	51.5%	B
7000-P-04B	CUR-X	Court-circuit	1	36	11	335	57.7%	B
6031-AV-02A	CUR-X	Court-circuit	1	6	12	341	58.7%	C
6033-KG-01	CUR-X	Court-circuit	1	30	13	371	63.8%	C
6020-P-02B	CUR-Y	Court-circuit	1	30	14	401	69.0%	C
6400-A-04C	CUR-X	Court-circuit	1	30	15	431	74.2%	C
6300-AV-02B	CUR-X	Court-circuit	1	30	16	461	79.4%	C
6251-DE-03	PRV-P	Problème de pression	1	30	17	491	84.5%	C
6800-K-01B	PRV-P	Problème de pression	1	30	18	521	89.7%	C
6020-S-301	BRKD	Panne totale	1	30	19	551	94.8%	C
7009-PD-06	PRV-P	Problème de pression	1	30	20	581	100%	C



Graphe IV-6 Diagramme de PARETO.

70-3- Interprétation des résultats

Équipements à haute priorité (**Classe A**) :

Contribution principale au temps d'arrêt : 72 à 194 heures sur un total de 581 heures.

Types de pannes dominants : Court-circuit et Problème de pression.

Interprétation : Ces équipements doivent faire l'objet d'une maintenance préventive prioritaire, car ils représentent plus de 33 % du temps d'arrêt total.

Équipements à priorité moyenne (**Classe B**) :

Contribution : de 214 à 335 heures (environ 37,7 % – 57,7 % du TA total).

Interprétation : Ces pannes nécessitent une maintenance planifiée et surveillance régulière, moins critique que la classe A.

Équipements à faible priorité (**Classe C**) :

Contribution : de 341 à 581 heures, soit environ 42,3 % du temps total d'arrêt.

Types de pannes : principalement Court-circuit et Problème de pression, avec un cas de panne totale.

Interprétation : La maintenance peut être effectuée de manière conditionnelle ou périodique, selon la disponibilité des ressources.

* Observations générales

Les pannes Court-circuit et Problème de pression sont les plus fréquentes et critiques.

Le principe de Pareto est confirmé : environ 25 % des équipements causent plus d'un tiers du temps d'arrêt total.

Cette analyse permet de prioriser les interventions sur les équipements les plus critiques pour améliorer la disponibilité du système.

71-4- Recommandations

Mettre en place une maintenance préventive ciblée sur les équipements **Classe A**.

Analyser les causes profondes des pannes répétitives pour réduire leur fréquence.

Surveiller régulièrement les équipements Classe B et C pour optimiser les ressources de maintenance.

Afin d'assurer une performance optimale et de prolonger la durée de vie du moteur diesel 6130-DE-01, il est recommandé de mettre en place plusieurs mesures de maintenance et d'exploitation adaptées, basées sur les observations de fiabilité et l'analyse des pannes.

Maintenance préventive régulière

Système d'injection : Vérification et nettoyage périodique des injecteurs et du circuit d'alimentation pour éviter les dépôts et maintenir un rendement optimal.

Lubrification : Contrôle régulier du niveau et de la qualité de l'huile moteur, inspection des filtres et du système de lubrification pour prévenir l'usure des organes mécaniques.

Refroidissement : Inspection et entretien du système de refroidissement afin d'éviter les surchauffes, les déformations des pistons et les dommages au bloc-cylindres.

Autres organes : Contrôle périodique des courroies, des joints et des accessoires mécaniques essentiels pour prévenir les pannes inattendues.

Suivi de la fiabilité

MTBF (Mean Time Between Failures) : Calcul régulier pour suivre la performance et détecter toute tendance à la dégradation.

Paramètre et fréquence des pannes : Analyse continue pour identifier les signes précoces de vieillissement ou de fatigue mécanique, permettant d'anticiper les interventions avant que des défaillances critiques ne surviennent.

Analyse ABC des pannes

Prioriser les interventions sur les composants critiques (Classe A) tels que le système d'injection, le vilebrequin et les pistons.

Mettre en place des stratégies de maintenance différenciées pour les composants de Classe B et C, afin d'optimiser les ressources et réduire les coûts d'entretien sans compromettre la sécurité.

Formation et sensibilisation du personnel

Former les opérateurs aux bonnes pratiques de conduite et d'exploitation, notamment l'utilisation correcte des cycles de démarrage et d'arrêt.

Développer des procédures standardisées pour la détection précoce des anomalies, l'entretien quotidien et les interventions d'urgence.

Documentation et suivi

Tenir un registre détaillé des interventions, réparations et pannes afin de permettre une analyse historique.

Utiliser ces données pour planifier la maintenance préventive, évaluer la fiabilité du moteur et ajuster les stratégies de maintenance selon l'évolution du matériel.

72-5- Optimisation globale

Évaluer périodiquement les performances du moteur et adapter les cycles de maintenance selon les conditions d'exploitation réelles.

Intégrer les indicateurs de fiabilité dans un système de gestion de maintenance assistée par ordinateur (GMAO) pour améliorer le suivi, la planification et la prise de décision.

Ces recommandations visent non seulement à améliorer la disponibilité et la durée de vie du moteur, mais également à réduire les coûts opérationnels, prévenir les arrêts non planifiés et garantir un fonctionnement sûr et fiable dans un environnement industriel exigeant.

L'approche proposée repose sur une combinaison de maintenance préventive, de suivi de la fiabilité, de formation du personnel et d'analyse continue des données opérationnelles.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploité les données du moteur Diesel utilisé dans l'unité de production de Sonatrach à Oued Noumer. Ce moteur est utilisé principalement pour la production d'énergie électrique à travers des groupes électrogènes, en raison de l'absence d'un réseau électrique fiable sur le site.

L'étude de l'historique des pannes nous a permis d'analyser le fonctionnement du moteur (6130-DE-01) en conditions réelles d'exploitation. Nous avons ensuite calculé les indicateurs de fiabilité, notamment le temps moyen entre les pannes (TBF) et le temps moyen de réparation (TTR), afin d'évaluer ses performances.

Par ailleurs, l'évaluation de la maintenabilité et de la disponibilité a permis de mieux comprendre le comportement du système et son niveau de fonctionnement.

Enfin, cette étude montre que l'amélioration de la fiabilité et de la disponibilité du moteur passe par l'application d'une maintenance préventive systématique, permettant de réduire les arrêts et d'assurer la continuité du fonctionnement.

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire répond aux objectifs fixés, à savoir l'étude de la maintenance et de la fiabilité des équipements industriels.

Nous avons présenté les concepts généraux de la maintenance, ses types, ses niveaux et ses opérations, ainsi que les notions fondamentales de la fiabilité. Nous avons également étudié le moteur diesel (6130-DE-01), sa composition, ainsi que son historique de fonctionnement. Enfin, nous avons abordé les méthodes d'optimisation de la performance de la machine afin d'améliorer sa disponibilité et sa fiabilité.

Durant notre stage au centre de production d'Oued Noumer (Sonatrach) nous avons étudié le moteur diesel 6130-DE-01, un équipement critique pour le fonctionnement des installations. L'analyse de l'historique des pannes a montré que la fiabilité actuelle reste limitée principalement en raison de la prédominance de la maintenance corrective et de la fréquence élevée des arrêts.

Il est également important de souligner que ce groupe électrogène assure un rôle essentiel dans l'alimentation électrique de l'unité de production. En effet, en raison de l'absence d'un réseau électrique fiable, il constitue la principale source d'énergie du site, garantissant la continuité de service et la stabilité de l'exploitation industrielle.

Cette étude met en évidence l'importance de la mise en place d'une maintenance préventive structurée, accompagnée d'un suivi régulier des indicateurs de performance, afin d'améliorer la disponibilité du système, de réduire les coûts de maintenance et de garantir un fonctionnement fiable et sécurisé.

Les recommandations proposées visent à orienter la gestion de l'équipement vers des pratiques optimales de maintenance et d'exploitation, tout en respectant les contraintes industrielles du site.

REFERENCES

ET

BIBLIOGRAPHIQUES

Références et bibliographiques

- [1] (Deghboudj Samir ; Université de Tébessa Maintenance des Moteurs Diesel ; May 2006).
- [2] (Monchy, F. Maintenance Méthodes et Organisations (2e édition). Paris : Dunod (2003).
- [3] (R. Dekker, Applications of maintenance optimization models: a review and analysis, Reliability Engineering and System Safety 51(1996), 229–240).
- [4] (Benedetti, C. A. (2002). Introduction à la gestion des opérations (4e éd). Québec : Sylvain Ménard. 2002).
- [5] (Jean Héng , pratique de la maintenance préventive (4e éd) . Paris: Dunod(2017).
- [6] (I.W Burr. Statistical quality control methods. Marcel Dekker, 1976).
- [7] (E. Deloux, B. Castanier, and C. Bérenguer. Construction d'un schéma de maintenance pour des systèmes soumis à des contraintes de stress. In 7ème Journée des Doctorants de l'Ecole Doctorale S.T.I.M., 2007).
- [8] (Monchy, F. Maintenance Méthodes et Organisations (2e édition). Paris: Dunod (2003).
- [9] (B.S. Dhillon, Ph.D. « Engineering Maintainability: How to Design for Reliability and Easy Maintenance » 257 pages Publisher: Elsevier Science & Technology Books I SBN: 088415257X Pub. Date: June 1999).
- [10] (Jan Claude Ligeron « cours de Fiabilité en Mécanique » M20S/IMdR 2009 779 page).
- [11] (Pierre DAVID « Management des Risques Industriels Déploiement de la Sûreté de fonctionnement: Notions, Méthodes, Cycle de Vie » 209 pages, année 2010-2011).
- [12] (Christophe Des voies, « L'injection Diesel " Common Rail" Delphi »,
- [13] (Guy. Fillettaz, « classification des moteurs Diesel ».Document de la société Delphi 2002).
- [14] (Serge Picard, « L'injection Diesel haute pression à rampe commune», dossier technique A.N.F.A « Association Nationale pour la Formation Automobile » édition 2001).
- [15] (Gérard Delville, « Common rail», étude de conception dans La revue auto concept 2002).

- [16] (Moteurs à combustion description, Constructive, Bruxelles, 2012).
- [17] <http://www.techautoalgerie.wordpress.com>. (2012)
- [18] (Les organes de moteur, Technologie automobile, Académie de Nancy-Metz, 2008).
- [19] <http://moteur-a-explosion.e-monsite.com/pages/le-moteur-essence-et-le-moteur-diesel.html> (2008)
- [20] (Barger P. Evaluation et Validation de La Fiabilité et de la disponibilité des Systèmes D'Automatisation à Intelligence Distribuée, en Phase Dynamique. Thèse de Doctorat de l'UHP Nancy 1, France, 2003).
- [21] (P. Lyonnet. Ingénierie de la Fiabilité. Edition Tec et Doc, Lavoisier, Paris 2006).
- [22] (O. Basile. Thèse de Doctorat, Université de Mons, Belgique. Prise en compte de l'incertitude dans les modèles fiabilistes de maintenance industrielle. Extensions aux sollicitations variables, 2007).
- [23] (A. Lesage et P. Dehombreux. Maintenance and Quality Control: A First Methodological Approach for Maintenance Policy Optimization. Proceeding of the 14th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Bucharest (Romania), 2012).
- [24] (Alhouaij Ahmad, Contribution à l'optimisation de la maintenance dans un contexte distribué. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2010).
- [25] ("Manuel de maintenance", NAPHTOGAZ, HMD, (2001).
- [26] (Optimisation de la fiabilité d'un système électromécanique. Thèse de Master, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF –M'SILA 2017/2018).
- [27] (HATHAT ABDELKADER, DEBLAOUI HICHAM, Mémoire (Etude analytique FMD d'une turbine DR 990) université Kasdi Merbah, Ouargla 2014/2015).
- [28] (A. Kaufman, D. Grouchko, R. Cruon. Modèles mathématiques pour l'étude de la fiabilité des systèmes. Edition Masson. 1975).
- [29] (H. Procaccia, E. Fertou, and M. Procaccia., Fiabilité et maintenance des matériels industriels réparables et non réparables. Tec et Doc ,2011).
- [30] (R.E. Barlow, F. Proschan, Theory for maintained system: distribution of time to first failure. Math. Oper. Res. pp.32–42.1976).
- [31] (Mathieu.G, « Modélisation des coûts de cycle de vie prévision des coûts de

maintenance et de la fiabilité Application à l'aéronautique », Thèse de doctorat d'Ecole centrale de Lyon, 2005).

[32] (M. KADI, Etude et amélioration FMD d'une motopompe centrifuge, Mémoire de master professionnel, Université de Ouargla, (2014).

Annexes

Annexe

Équipement	Type de panne	Description panne	Fréquence	TA (h)	Fréquence cumulée	TA cumulée (h)	Cumulé TA (%)	Classe ABC
6130-DE-01	CUR-X, CUR-Y	Court-circuit	2	40, 32	2	72	12.4%	A
6800-K-01A	PRV-P	Problème de pression	2	30, 30	4	132	22.7%	A
7002-B-NVX2.111	CUR-Y	Court-circuit	1	25	5	157	27.0%	A
U031	CUR-X	Court-circuit	1	37	6	194	33.4%	A
6130-DE-02	PRV-P	Problème de pression	1	20	7	214	36.8%	B
6100-B-01	PRV-T	Problème thermique	1	5	8	219	37.7%	B
6091-PD-109	PRV-P	Problème de pression	1	40	9	259	44.6%	B
CP-ONR	CUR-X	Court-circuit	1	40	10	299	51.5%	B
7000-P-04B	CUR-X	Court-circuit	1	36	11	335	57.7%	B
6031-AV-02A	CUR-X	Court-circuit	1	6	12	341	58.7%	C
6033-KG-01	CUR-X	Court-circuit	1	30	13	371	63.8%	C
6020-P-02B	CUR-Y	Court-circuit	1	30	14	401	69.0%	C
6400-A-04C	CUR-X	Court-circuit	1	30	15	431	74.2%	C
6300-AV-02B	CUR-X	Court-circuit	1	30	16	461	79.4%	C
6251-DE-03	PRV-P	Problème de pression	1	30	17	491	84.5%	C
6800-K-01B	PRV-P	Problème de pression	1	30	18	521	89.7%	C
6020-S-301	BRKD	Panne totale	1	30	19	551	94.8%	C
7009-PD-06	PRV-P	Problème de pression	1	30	20	581	100%	C



غرداية في 30/06/2026

شعبة: كهروميكانيك
تخصص: صيانة صناعية

شهادة ترخيص بالتصحيح والاياداع:

انا الاستاذ(ة): لسرع عبد الرحمان

بصفتي المشرف المسؤول عن تصحيح مذكرة تخرج (ليسانس/ماستر/دكتورا) المعنونة بـ:

"Etude de la fiabilité d'un moteur diesel

(6130-DE-01) au niveau de l'unité de production oued Nour
من انجاز الطالب (الطالبة):
à Ghardaïa".

تقار عبد الرحمان الجليل

التي نوقشت بتاريخ: 2026/06/11

اشهد ان الطالب/الطالبة قد قام/قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة المناقشة وقد تم التحقق من ذلك من طرفنا

وقد استوفت جميع الشروط المطلوبة.

مصادقة رئيس القسم

امضاء المسؤول عن التصحيح

رئيس قسم الآلية والكهروميكانيك

عزوي محمد



[Signature]