

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



Faculté des Sciences de L'Ingénieur
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en :

Filière : Electromécanique

Option : Maintenance Industrielle

THEME

*Analyse des défaillances d'un groupe électrogène
Caterpillar 350 par la méthode AMDEC*

Présenté par :

AMMOUR Ali
MEDDAH Djamel

Promoteur :

Dr. CHELLIL

Encadreur :

Mr. BELHADJ

Promotion 2017-2018

Résumé

Notre projet s'inscrit en premier lieu à l'étude technique d'un groupe électrogène Caterpillar 350 avec une description des différents organes et circuits du moteur et d'alternateur, et l'importance de la fonction maintenance pour assurer une bonne exploitation de ce groupe, en suite l'étude de fiabilité qui vise essentiellement à démontrer que la durée de vie d'un équipement est une variable aléatoire et que les caractéristiques de ce dernier se dégradent avec l'usage et en finie par l'analyse des défaillances par la méthode AMDEC qui consacré à déterminer un plan de maintenance pour notre équipement.

Abstract

Our project is primarily the technical study of a Caterpillar 350 genset with a description of the different components and circuits of the engine and alternator, and the importance of the maintenance function to ensure a good exploitation of this engine. group, followed by the reliability study which aims essentially to demonstrate that the life of an equipment is a random variable and that the characteristics of the latter are degraded with use and ended by the analysis of failures by the AMDEC method that is dedicated to determining a maintenance plan for our equipment.

ملخص

هنا البحث هو بالدرجة الأولى الدراسة التقنية لمولد Caterpillar 350 مع وصف للمكونات والدوائر المختلفة للمحرك والمولد، وأهمية وظيفة الصيانة لضمان الاستغلال الجيد لهذا المحرك المجموعة ، تليها دراسة الموثوقية التي تهدف في الأساس إلى إثبات أن حياة المعدات هي متغير عشوائي وأن خصائص الأخير تتحلل مع الاستخدام وينتهي بها تحليل الفشل بواسطة طريقة تحليل أنماط الفشل لآثارها وضروراتها (AMDEC) التي تم تخصيصها لتحديد خطة صيانة لمعداتنا.

Remerciements

Notre remerciement s'adresse en premier lieu à Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur Mr. CHELIL qui a bien voulu diriger ce travail et à notre encadreur au niveau de l'ENGT Mr. BELHADJ.

Nos remerciements vont aussi à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation et à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutien moral et matériel.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire de mon très cher père,

A ma chère mère,

A ma sœur et à mes frères,

A mon binôme Ammour Ali,

Ainsi que tous mes amis et amies sans exception.

DJAMEL

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A mon très cher père,
A la mémoire de ma chère mère que Dieu l'accueille
dans son vaste paradis,
A ma fiancée
A mes frères,
A mes sœurs,
A mon binôme Djamel,
Ainsi que tous mes amis et proches.*

Ammour Ali

Sommaire

Sommaire

1. Présentation générale de l'entreprise	1
2. Historique de l'ENGTP	1
3. Organigramme de l'entreprise (ENGTP)	2
4. Activités de L'ENGTP	3
5. Principales réalisations (2009-2015)	4
6. Objectifs de GTP	4
7. Ressources de l'entreprise	5

Chapitre I : Généralités sur le groupe électrogène

I.1. Introduction	6
I.2. Description du moteur 3406	7
I.3. Les organes fixes	8
I.3.1. Le bloc cylindre	8
I.3.2. la culasse	9
I.3.3. le joint de culasse	9
I.3.4. Le cylindre	10
I.3.5. Carter inférieur	10
I.2. Les organes mobiles	11
I.2.1. Le piston	11
I.2.2. La bielle	12
I.2.3. Le vilebrequin	13
I.2.4. le volant moteur	13
I.2.5. L'arbre à cames	14
I.2.6. Les culbuteurs	14
I.2.7. Les soupapes	15
I.3. Les différents circuits du moteur	16
I.3.1. Le circuit de lubrification	16
I.3.1.1. Les constituants de circuit de lubrification	17
I.3.1.2. Le rôle du circuit de graissage	18
I.3.2. Le circuit de gas-oil	18
I.3.2.1. Les différents composants de circuit	19
I.3.3. Le circuit de suralimentation	21
I.3.3.1. Les différents composants de circuit	21
I.3.4. Le circuit de refroidissement	22
I.3.4.1. Les différents composants de circuit de refroidissement	23
I.4. Le fonctionnement du moteur diesel	24
I.4.1. Le cycle à quatre temps	24
I.5. L'alternateur synchrone	25
I.5.1. Définition	25
I.5.2. Description de l'alternateur	27
I.5.2.1. Le stator (l'induit)	28
I.5.2.2. Rotor (l'inducteur)	28

I.5.2.3. L'excitatrice	29
I.5.2.4. Le pont de diodes	30
I.5.2.4. Le pont de diodes	30
I.6.Conclusion	31

Chapitre II : Notion sur la Maintenance

II.1. Introduction	32
II.2. Définition	32
II.3. But de la maintenance	32
II.4. Les objectifs de la maintenance	32
II.4.1. Objectifs économique	32
II.4.2. Objectifs opérationnels	33
II.5. Organigramme de la maintenance	33
II.5.1. Maintenance préventive	33
II.5.1.1. La maintenance préventive systématique	34
II.5.1.2. La maintenance préventive conditionnelle	35
II.5.1.2. La maintenance préventive conditionnelle	35
II.5.2.1.les types de maintenance corrective	35
II.5.2.1.1.Maintenance palliative	35
II.5.2.1.2.Maintenance curative	35
II.6. Les niveaux de la maintenance	37
II.9-Conclusion	38

Chapitre III : Etude de Fiabilité

III.1 Introduction	39
III.2.La fiabilité	39
III.2.1.Notions sur la fiabilité	39
III.2.2.L'objectif de fiabilité	39
III.2.3. Caractéristiques de la fiabilité	39
III.2.4. La fonction de défaillance	40
III.2.5. La fonction de fiabilité	40
III.2.6. Temps moyen de bon fonctionnement.....	40
III.2.7. Le taux de défaillance	40
III.2.8. La courbe en baignoire	41
III.2.9. Classement des données	42
III.2.9.1. La variable aléatoire (v.a)	42
III.2.9.2. Approximation de la fonction de répartition F(t)	42
III.2.10. Le modèle de Weibull	42
III.2.10.1. Domaine d'utilisation	42
III.2.10.2. Expressions mathématiques	43
III.2.10.3. Détermination graphique des paramètres de Weibull	43
III.3.La maintenabilité	43
III.3.1.Définition	43
III.3.2.Les temps techniques de réparation (TTR)	43

III.4.La disponibilité	44
III.4.1.Définition	44
III.5.Calcul de fiabilité, disponibilité, maintenabilité	44
III.5.3.2.Exploitation des paramètres	46
III.5.3.3.Recherche de MTBF du groupe	46
III.5.3.4.La fiabilité associée à la MTBF	46
III.5.3.5.Recherche de la maintenabilité MTTR	46
III.5.3.6.Recherche de la disponibilité D	46
III.6.Interprétation des résultats	46
III.7.Conclusion	47

Chapitre IV : Analyse AMDEC

IV.1. Introduction	48
IV.2.Définition de la défaillance.....	48
IV.3.Causes de défaillances	48
IV.4.Classification des défaillances	49
IV.4.1. Classification en fonction de leur manifestation	49
IV.4.2. Classification des défaillances	49
IV.4.3. Classification en fonction de leur manifestation	49
IV.4.3-Classification en fonction de la vitesse d'apparition et du degré	49
IV.4.4- Classification des défaillances par rapport aux conséquences	50
IV.5-Modes de défaillances	50
IV.5.1-Pannes	50
IV.5.2-Défauts	50
IV.5.3-Dégradation	51
IV.5.4-L'état dégradé	51
IV.6-Analyse les défaillances par la méthode AMDEC	51
IV.6.1-Définition AFNOR (X-510)	51
IV.6.2. Les objectifs de l'étude AMDEC	51
IV.6.3. Les différents types d'AMDEC	52
IV.6.4. Démarche pratique de l'AMDEC machine	53
IV.1.5. Application de l'AMDEC machine sur groupe électrogène	55
IV.1.5.1. Initialisation	55
IV.1.5.2.décomposition fonctionnelle	57
IV.1.5.3. Analyse AMDEC	59
IV.1.7. Synthèses	75
IV.7. Plan de maintenance préventive appliqué sur les GE	76
IV.8.Conclusion	77

Conclusion générale

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur le groupe électrogène

Figure. I.1 : le groupe électrogène stationnaire	6
Figure. I.2 : composition du moteur CAT 3406	7
Figure I.3 : le bloc cylindre	8
Figure. I.4 : la culasse	9
Figure.1.5 : le joint de culasse	9
Figure.1.6 : le cylindre	10
Figure. I.7 : le carter inferieur	10
Figure. I.8 : le piston	11
Figure. I.9 : la bielle e	12
Figure. I.10 : le vilebrequin	13
Figure. I.11 : le volant moteur	13
Figure. I.12 : arbre à cames	13
Figure. I.13 : le culbuteur	15
Figure. I.14 : la soupape	15
Figure. I.15 : le circuit de lubrification	16
Figure. I.16 : pompe de lubrification à engrenage	17
Figure. I.17 : le circuit de gas-oil	18
Figure. I.18 : pompe d'injection	19
Figure. I.19 : pompe d'alimentation	19
Figure. I.20 : L'injecteur	20
Figure. I.23 : le circuit de suralimentation	21
Figure. I.24 : le turbocompresseur	22
Figure. I.25 : le circuit de refroidissement	23
Figure. I.25 : pompe à eau	23
Figure. I.27 : le radiateur	24
Figure. I.28 : le ventilateur	24
Figure. I.29 : le cycle à quatre temps	25
Figure. I.30 : l'alternateur	26
Figure. I.31 : composition de l'alternateur	27
Figure. I.32 : L'induit (stator de puissance)	28
Figure. I.33 : L'inducteur (rotor de puissance)	29
Figure. I.34 : L'inducteur et l'induit d'excitatrice	29
Figure. I.35 : le pont diodes	30
Figure. I.36 : le régulateur de tension	30

Chapitre II : Notion sur la Maintenance

Figure II.1 : Organigramme de la maintenance	33
Figure II. 2 : Les niveaux de la maintenance	37

Chapitre III : Etude du Fiabilité

Figure III.1 : Courbe en baignoire	41
Figure III.2 : Histogramme de F(t) et R(t)	45
Figure III.3 : Le nuage des points de TBF on fonction de F(t)	45

Chapitre IV : Analyse AMDEC

Figure IV.1: les causes de défaillance	49
Figure IV.2 : Les différents types d'AMDEC	52
Figure IV.3 : Découpage général d'un système	54

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Calcul de fiabilité de GE par la méthode de Weibull	44
Tableau IV.1 : Identification des fonctions des sous système	58
Tableau IV.2 : Identification des fonctions des éléments du groupe	58
Tableau IV.3 : La grille de fréquence	60
Tableau IV.4 : La grille de gravité	60
Tableau IV.5 : La grille de non détection	61
Tableau IV.6 : La grille de criticité	61
Tableau IV.7 : Classification des éléments par leur criticité	75

Liste d'Abréviation

ENGTP : Entreprise Nationale des Grand Travaux Pétrolier

GE : Groupe Electrogène

AFNOR : Association Française de Normalisation

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leurs Criticités

MPS : Maintenance Préventive Systématique

MPC : Maintenance Préventive Conditionnelle

MTTR : Moyen des Temps Techniques de Réparation

MTBF : Moyen des Temps de Bon Fonctionnement

Introduction Générale

Introduction générale

Dans le secteur industriel surtout du pétrole les groupes électrogènes sont considérés comme une source principale de l'énergie électrique, toute interruption ou perturbation dans la distribution de cette énergie entraîne des désordres qui peuvent devenir insupportable par l'utilisateur.

La fiabilité des équipements est un sujet qui préoccupe plusieurs types d'entreprises puisque les données de fiabilité sont nécessaires à de nombreuses activités importantes touchant la qualité et la durée de vie des produits. Ces activités comprennent l'évaluation de la disponibilité, les décisions concernant la maintenance, les modifications et le contrôle de performance.

Dans cette thèse, nous rappellerons certains concepts de fiabilité et de maintenance, non seulement pour introduire certaines définitions, mais également pour mettre en évidence l'ampleur de l'effort nécessaire pour mettre en place un système de maintenance.

On a organisé notre mémoire selon la façon suivante :

- **Le premier chapitre** : présentation de l'entreprise (ENGTP)
- **Le deuxième chapitre** : étude technologique de groupe électrogène, le fonctionnement et les caractéristiques techniques.
- **Le troisième chapitre** : généralités sur la maintenance.
- **Le quatrième chapitre** : étude de la fiabilité.
- **Le dernier chapitre** : consacré à l'analyse des défaillances par la méthode AMDEC.

Et on terminera notre étude par une conclusion générale.

Présentation de l'entreprise

1. Présentation générale de l'entreprise

ENGTP est une entreprise de grande envergure spécialisée dans la construction en tous corps de métiers, de Grands Ensembles Industriels et de Canalisations dans, principalement, les domaines des hydrocarbures.

Sa présence sur le marché depuis maintenant plus de 40 années, lui a permis de développer un large portefeuille d'activités et d'accumuler un savoir-faire, une expertise et des capacités qui l'ont hissé au statut d'Entreprise Leader.

GTP a collaboré avec les grands constructeurs internationaux (General Contractors) dans la réalisation de la majorité des installations dont dispose Sonatrach dans le secteur des Hydrocarbures.

Nom de l'Entreprise	Entreprise Nationale de Grands Travaux Pétroliers (ENGTP, Spa)
Statuts	Société par Actions- Filiale à 100% Sonatrach-Holding SPP
Capital social	6.390.000.000 DA
Chiffre d'affaires annuel	25 Milliards DA
Capacité annuelle de réalisation	12.000.000 Heures
Effectif moyen	10.000 personnes
Siège Social	Zone industrielle Réghaïa BP 09, Alger

2. Historique de l'ENGTP

Année 1968 : naissance d'**ALTRA** (entreprise algérienne des grands travaux) société d'économie mixte, dans la quelle SONATRACH détient 51% des actions, effectifs de l'entreprise est de 600 agents, le chiffre d'affaire est de 24 millions de dinars. L'activité principale a été domiciliée dans les régions de HASSI MESSAOUD et ARZEW.

Année 1972 : fin de la société mixte par achat de SONATRACH des actions détenues par des sociétés étrangères.

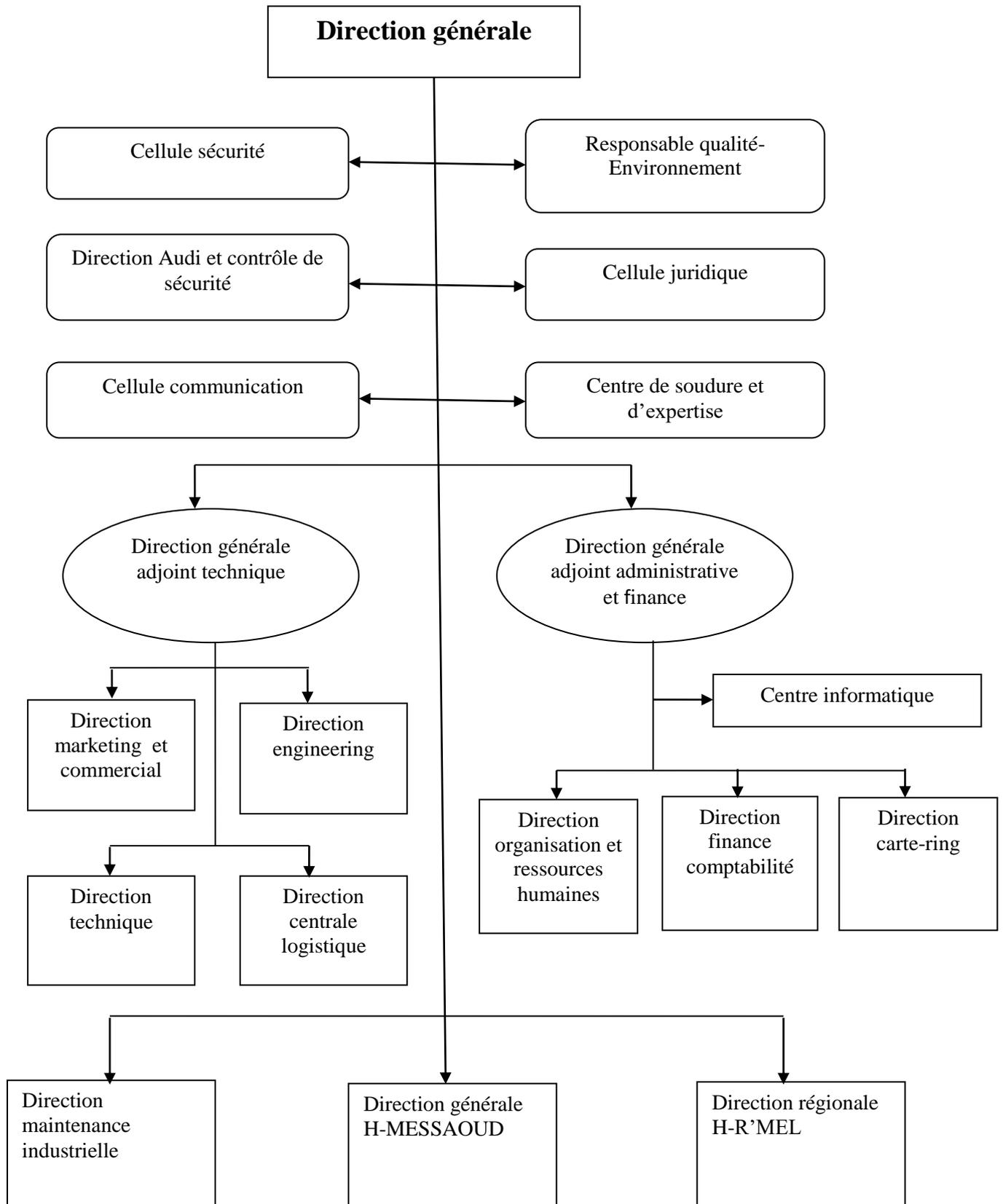
Année 1980 : création de l'ENGTP qui hérite du patrimoine d'ALTRA dont le siège social est fixé à Réghaïa.

Année 1989 : statut EPE/SPA pour l'ENGTP

Année 2004 : Sonatrach détient 51% du capital de l'ENGTP et Holding public TRAVEN détient 49%.

Année 2005 : l'ENGTP devient filiale du groupe Sonatrach Holding SPA à 100%

3. Organigramme de l'entreprise (ENGTP)



4. Activités de L'ENGTP

Engineering & Procurement

- ✓ Engineering de base et de détail
- ✓ Procurement
- ✓ Supervision et contrôle de structure

Génie civil et bâtiment

- ✓ Terrassement généraux et particuliers
- ✓ Fondations des équipements et des structures
- ✓ Bâtiments techniques, industriels et administratifs
- ✓ Infrastructures sociales (bâtiments)
- ✓ Génie civil lié à la construction de canalisations

Préfabrication

- ✓ Préfabrication des structures métalliques
- ✓ Préfabrication de tuyauteries

Montage industriel

- ✓ Montage de structures métalliques
- ✓ Montage des équipements mécaniques
- ✓ Montage de tuyauteries
- ✓ Installation des équipements électriques et d'instrumentations
- ✓ Tirage de câbles et raccordement
- ✓ Peinture et calorifugeage
- ✓ Pré-commissioning et assistance à la mise en route

Pose de canalisation

- ✓ Topographe
- ✓ Réalisation des pistes et des tranchées
- ✓ Soudage et contrôle
- ✓ Enrobage et mise en feuille
- ✓ Electricité et protection cathodique
- ✓ Remblai
- ✓ Testes hydrostatiques
- ✓ Balisage et remise en état des lieux

Maintenance industrielle

- ✓ Intervention préventives par la mise à disposition d'équipes spécialisées en maintenance industrielle
- ✓ Interventions curatives par la remise en état d'équipements ou d'organes d'unités en exploitation
- ✓ Arrêts programmés des unités de production

5. Principales réalisations (2009-2015)

- **2009/2012** : Préfabrication piping et supports Arzew GNL3
- **2010/2012**: El Merk CPF MEI ET Telecom work
- **2010/2012**: Gassi Touil CPF- MEI
- **2013/2015**: Développement champ Bir Sebaa (CPF + canalisation)
- **2013/2016** : Extension capacité de stockage- dépôt carburant Khroub
- **2013/2015** : Realisation station de compression In Aménas (Tiguentourine)
- **2013/2015** : Développement champ Bir M'senna (CPF + canalisation)
- **2013/2015** : In Salah pipeline
- **2014/2016** : Travaux de construction et raccordement HBNS
- **2014/2017** : Réhabilitation des ports pétroliers en EPC (Arzew-Skikda-Bejaia-Bethioua)
- **2015/2016** : Développement champ de gaz DMS In Salah
- **2015/2016**: Touat gaz project-CPF Works et OFF PLOT Works

6. Objectifs de GTP

Les objectifs que cherche à atteindre GTP sont :

- Le développement et l'amélioration de la rentabilité de ces activités.
- La fidélisation de sa clientèle.
- Une exploitation de toutes les opportunités offertes par la mondialisation tant au niveau national qu'international.
- La pénétration des marchés extérieurs.
- L'augmentation de son chiffre d'affaires et de sa part de marché.

7. Ressources de l'entreprise

- **Ressources humains:** l'entreprise emploie actuellement près de 10 000 agents, répartie comme suit :

▪ Productif :	74%
▪ Support :	17%
▪ Management (structure) :	09%

- **Ressources matérielles :** l'entreprise dispose d'un parc matériel composé de plus de 5600 équipements de construction se répartissant comme suit :

▪ Matériel roulant :	1087 U	20%
▪ Terrassement et génie civil :	345 U	06%
▪ Soudage :	1900 U	34%
▪ Canalisation :	402 U	07%
▪ Le levage (grues de 18T à 400T) :	298 U	05%
▪ Matériel fixe ateliers de préfabrication :	1114 U	20%
▪ Auxiliaires :	456 U	11%

- **Capacités d'accueil :** pour l'hébergement et la restauration de son personnel en région sud, GTP dispose de bases de vie dont la capacité totale est de 9000 places réparties comme suit :

▪ 60% mobiles
▪ 40% fixes

Chapitre I

Généralités sur le groupe électrogène

I.1.Introduction

Dans le monde contemporain, toutes les activités, qu'elles soient professionnelle ou privées sont consommatrices d'énergie électrique, pour en produire cette dernière ils existent plusieurs techniques, et parmi ces techniques figure le groupe électrogène stationnaire.

Un groupe électrogène stationnaire (fig. I.1) est un dispositif autonome capable de produire de l'électricité.

La plupart des groupes sont constitués d'un moteur thermique qui entraîne un alternateur.

Leur taille et leur poids peuvent varier de quelques kilogrammes à plusieurs dizaines de tonnes.

Les groupes électrogènes sont utilisés en tant que sources d'énergie électrique autonomes

- Dans les zones non couplées à un réseau d'énergie ;
- Pour le système de secours nécessitant une haute qualité de fourniture d'énergie (évacuation de personnes, hôpitaux, etc.) ;
- Comme fourniture d'énergie auxiliaire pour limiter la puissance de pointe absorbée sur le réseau d'énergie (etc..).

Le groupe électrogène se compose principalement de :

- Un alternateur : l'alternateur est une machine électrique tournante fonctionnant en mode génératrice. Il convertit une puissance mécanique, qu'il absorbe sous forme (C, W) en une puissance électrique (V, I).
- Un moteur diesel : c'est un moteur à explosion interne, il assure la conversion d'énergie thermique en énergie mécanique dans un mécanisme à piston. Ce dernier effectue dans un cylindre un mouvement alternatif dont la cinématique est imposée par le système bielle – manivelle.



Figure. I.1 : groupe électrogène stationnaire

I.2.Description du moteur 3406 [1]

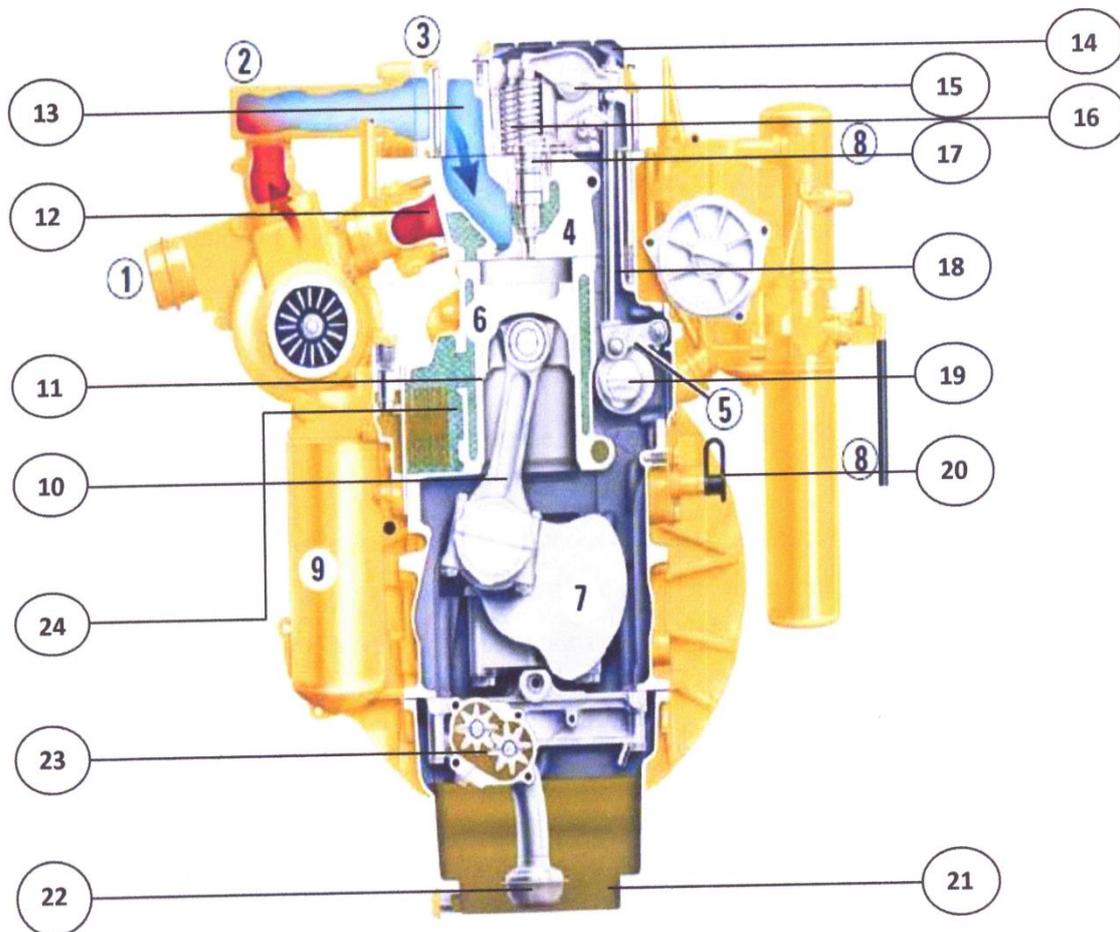


Figure. I.2 : composition du moteur CAT 3406

- | | |
|---|----------------------------|
| 1- Turbocompresseur | 13- Tuyauterie d'admission |
| 2- Refroidisseur d'admission à eau des chemises | 14- Culasse |
| 3- Réchauffeur d'air d'admission | 15- Culbuteur |
| 4- Injecteur | 16- Soupape d'échappement |
| 5- Poussoirs d'arbre à cames | 17- Soupape d'admission |
| 6- Piston | 18- Tige de culbuteur |
| 7- Vilebrequin | 19- Arbre à cames |
| 8- Filtre à carburant en série | 20- Jauge |
| 9- Filtre à huile | 21- Carter d'huile |
| 10- Bielle | 22- Crépine |
| 11- Cylindre | 23- Pompe à huile |
| 12- Collecteur d'échappement | 24- eau de refroidissement |

Les moteurs se composent de deux types d'organes, fixes et mobiles qu'on va présenter comme suite :

I.3. Les organes fixes

I.3.1. Le bloc cylindre

Le bloc moteur est la partie la plus massive, il contient les cylindres et reçoit l'ensemble des organes du moteur : équipement d'injection, vilebrequin, distribution, auxiliaires électrique...etc., il doit accomplir les fonctions suivantes :

- ✓ Contenir les chemises dans les cylindres ;
- ✓ Guide les pistons ;
- ✓ Assurer la fixation des accessoires (culasse, turbocompresseur...etc.) ;
- ✓ Résister à la grande pression engendrer par la combustion ;
- ✓ Contenir des conduites pour la lubrification des organes mobiles ;
- ✓ Contenir des conduites pour la circulation d'eau de refroidissement ;
- ✓ Résister à la corrosion ainsi qu'aux vibrations ;
- ✓ Etanche ;
- ✓ Par conduction, il évacue une partie de la chaleur de la combustion.



Figure I.3 : le bloc cylindre

I.3.2. la culasse

Elle sert de couvercle en haut des cylindres. Souvent, elle comporte les chambres de combustion, les injecteurs, les conduites d'air (admission et échappement). elle comporte aussi des conduites d'eau pour le refroidissement ainsi que des conduites de lubrification pour lubrifier les soupapes et les culbuteurs, elle doit résister à la pression de la combustion et à la corrosion c'est pour cela qu'elle généralement réalisée soit en fonte alliée ou en aluminium (alpac). Elle est fixée par des vis sur le bloc cylindre et séparée par celui-ci par un joint de culasse.

La culasse est fortement sollicitée d'un point de vue thermique par les gaz de combustion, il faut donc la refroidir.



Figure. I.4 : la culasse

I.3.3. le joint de culasse

Il assure l'étanchéité de la chambre de combustion il empêche les fuites d'eau et d'huile entre la culasse et le bloc moteur.

Une bonne étanchéité ne peut être assurée que si les surfaces d'appui du bloc cylindre et de la culasse sont parfaitement planes et propres.

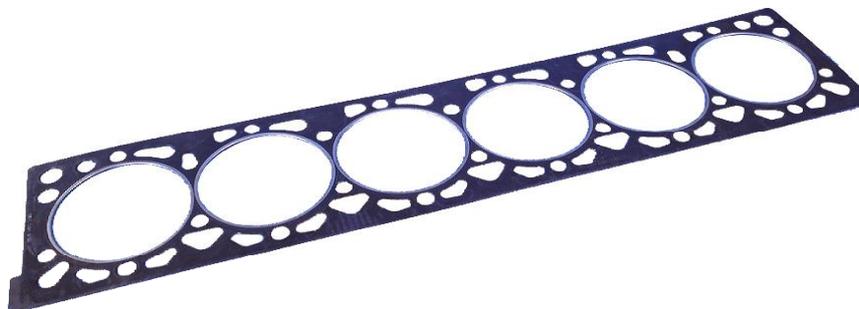


Figure. I.5 : le joint de culasse

I.3.4. Le cylindre

Il est directement alésé sur le bloc, Il a pour rôle :

- De glissière au piston ;
- Contenir les gaz et permet leur évolution ;
- De déterminer la cylindrée unitaire.

Le cylindre doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Une bonne résistance aux frottements et à l'usure ;
- Une bonne résistance aux chocs thermiques et à la déformation ;
- Une grande précision d'usinage (cylindricité, perpendicularité...).



Figure.1.6 : le cylindre

I.3.5. Carter inférieur

Réserve d'huile du moteur pour le graissage fixé sous le poste moteur, soit en tôle ou en alliage léger.

Son étanchéité est faite par un joint. Le carter inférieur comprend une vis avec un joint au centre pour vidanger l'huile du moteur et la pompe de graissage pour graisser les organes d'en haut du moteur.



Figure. I.7 : le carter inferieur

I.2. Les organes mobiles

La force créée par la combustion est reçue par le vilebrequin à l'intermédiaire de piston et de la bielle.

I.2.1. Le piston

Il se compose de plusieurs parties (la tête, la jupe, les segments et l'axe de piston), sa tête forme une partie de la chambre de combustion, elle est quelque fois creusée de cavités destinées à créer une turbulence favorable à la combustion. Les segments sont logés dans la partie haute du piston.

Le piston remplit les Cinq fonctions essentielles tout en étant mobile, il doit contribuer :

- A l'étanchéité entre la chambre de combustion et le carter. Il doit supporter la pression de gaz créée par la combustion et la transmettre par l'intermédiaire de la bielle au vilebrequin,
- Il doit résister aux forces latérales qu'il exerce sur la paroi de cylindre,
- Il doit conduire la chaleur aussi rapidement que possible à la paroi de cylindre,
- Résistance à l'usure : bon coefficient de frottement sur la chemise,
- Léger (réduction de l'inertie) et bien guide.



Figure. I.8 : le piston

Les segments ont pour rôle d'assurer l'étanchéité entre la chambre de combustion et le carter pour éviter toute perte de puissance et empêcher les remontées d'huile.

On distingue trois types de segment :

- Le segment coup de feu : il porte ce nom par ce que c'est le plus proche de la chambre de combustion, dans ces conditions extrêmes il doit avoir une bonne résistance à la température, à la pression, au manque de lubrification et à la corrosion.

- Le segment étanchéité : c'est le segment au milieu qui a pour rôle d'éviter la consommation d'huile.
- Le segment racleur : c'est le dernier segment il a pour rôle de racler l'huile pour éviter les remontées, tout en laissant un film suffisant pour la lubrification.

I.2.2. La bielle

La bielle et la pièce mécanique dont une extrémité est liée au piston par l'axe de piston et l'autre extrémité au maneton du vilebrequin.

Elle permet la transformation du mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement circulaire continu du vilebrequin. Elle forgée ou moulée généralement dans un acier au nickel-chrome.

Description de la bielle, elle se compose de trois parties :

- Le pied de bielle
Relié à l'axe du piston soit généralement avec une bague en bronze emmanchée à force soit dans certains cas avec une bague à aiguilles.
- Le corps de bielle
Relie le pied de la bielle à la tête de bielle.
Qui tourne sur le maneton du vilebrequin est coupée dans un plan perpendiculaire à l'axe de la bielle pour permettre la pose des coussinets et son montage sur le maneton du vilebrequin.



Figure. I.9 : la bielle

I.2.3. Le vilebrequin

Le vilebrequin ou arbre moteur est la manivelle en forme de Z qui reçoit la poussée de la bielle et fournit un mouvement rotatif à partir du mouvement alternatif du piston.

La force exercée par la bielle ne passant pas par l'axe du vilebrequin applique à celui-ci un couple qui se trouve en bout de vilebrequin sous forme de couple moteur.

A l'une des extrémités du vilebrequin le couple moteur est utilisé pour entraîner la génératrice.

A l'autre extrémité une fraction de couple disponible est prélevée pour entraîner les auxiliaires du moteur (arbre à cames, soupape etc.).

Structure de vilebrequin :

Le vilebrequin est composé de « manivelle » chaque manivelle est composée de deux « bras » qui joignent les « tourillons ».aux « manetons ». Les tourillons sont les portions d'axe placées en ligne entre lesquelles se débattent les bielles.

Ils tournent dans des coussinets et sont supportés par les « paliers » du carter cylindre.

Les manetons constituent les axes des « têtes de bielle » on trouve également un coussinet anti-frottement.



Figure. I.10 : le vilebrequin

I.2.4. le volant moteur

Le volant moteur situé en bout de vilebrequin emmagasine de l'énergie durant le temps moteur (combustion / détente). Il restitue durant les temps résistants (admission, compression et échappement).

Le volant moteur est une masse d'inertie qui régularise et équilibre la rotation de vilebrequin. Il a également d'autres fonctions secondaires :

- Il porte la couronne de lancement du démarreur.
- Il porte parfois le repère de calage d'allumage ou le déclenchement du repère P.M.H.



Figure. I.11 : le volant moteur

I.2.5. L'arbre à cames

Il est entraîné par le vilebrequin, il a pour rôle d'assurer l'ouverture et la fermeture des soupapes, chaque cames commande une soupape, comme pour un tour de vilebrequin la soupape fait deux opérations alors l'arbre à cames tourne à la moitié de la vitesse de vilebrequin, la liaison entre le vilebrequin et l'arbre à cames est assurée par un ensemble des pignons, les tiges des culbuteurs et les culbuteurs assurent la transmission du mouvement aux soupapes.



Figure. I.12 : arbre à cames

I.2.6. Les culbuteurs

Ils reçoivent le mouvement de l'arbre à cames à l'intermédiaire des tiges des culbuteurs et les transmettent aux soupapes.

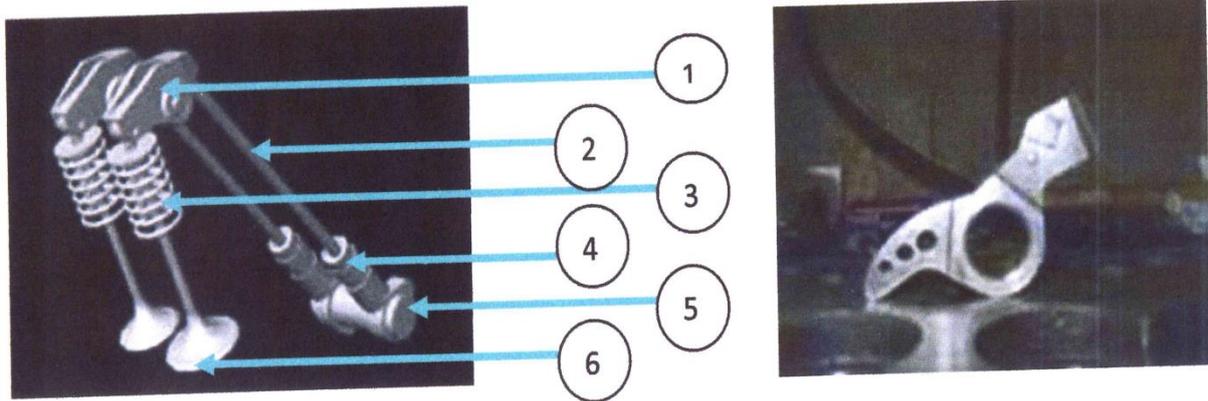


Figure. I.13 : le culbuteur

Figure. I.13 : système de distribution

- 1- Culbuteur
- 2- Tige de culbuteur
- 3- Ressort de rappelle de la soupape
- 4- Poussoir
- 5- Arbre à cames
- 6- Soupape.

I.2.7. Les soupapes

Ils ont pour rôle d'obturer ou d'ouvrir les orifices d'admission ou d'échappement, elles doivent résister à de grandes températures et pression ainsi qu'à l'usure.



Figure. I.14 : la soupape

I.3. Les différents circuits du moteur

I.3.1. Le circuit de lubrification

Le rôle de circuit de graissage est d'assurer l'alimentation en huile des éléments à lubrifier du moteur (élément qui tournent). Bien que, du point de vue hydrodynamique, la quantité d'huile nécessaire au fonctionnement d'un organe, comme un vilebrequin ou un ensemble piston-segments-cylindre, soit relativement très faible (quelques centimètres cubes), il faut renouveler rapidement cette huile pour éviter sa détérioration, évacuer ses contaminants divers et assurer le refroidissement du moteur.

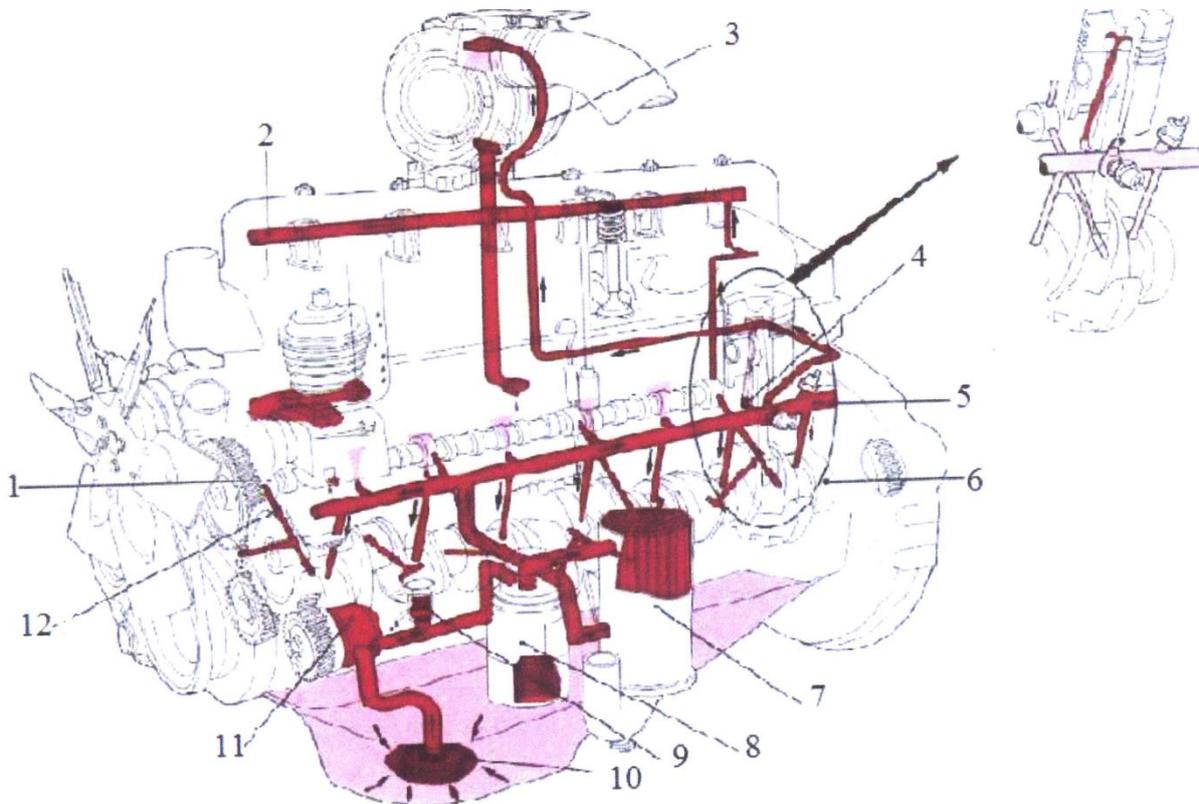


Figure. I.15 : le circuit de lubrification

- | | |
|----------------------------------|--------------------------|
| 1- Arbre à cames | 7- Échangeur de chaleur |
| 2- Rampe des culbuteurs | 8- Filtre à huile |
| 3- Graissage de turbocompresseur | 9- Clapet de décharge |
| 4- Gicleur d'huile | 10- Crépine d'aspiration |
| 5- Rampe principale | 11- pompe à huile |
| 6- Vilebrequin | 12- graissage de pignon. |

I.3.1.1. Les constituants de circuit de lubrification

➤ La pompe à huile

Le graissage sous pression est utilisé dans la majorité des moteurs, il permet en effet de doser la circulation d'huile et l'évacuation de la chaleur.

Son principe de fonctionnement est simple : l'huile est prélevée, dans le carter inférieur par une pompe qui la dirige ensuite sous pression vers une rampe principale. Cette dernière assure l'alimentation de tous les points à graisser sous pression.

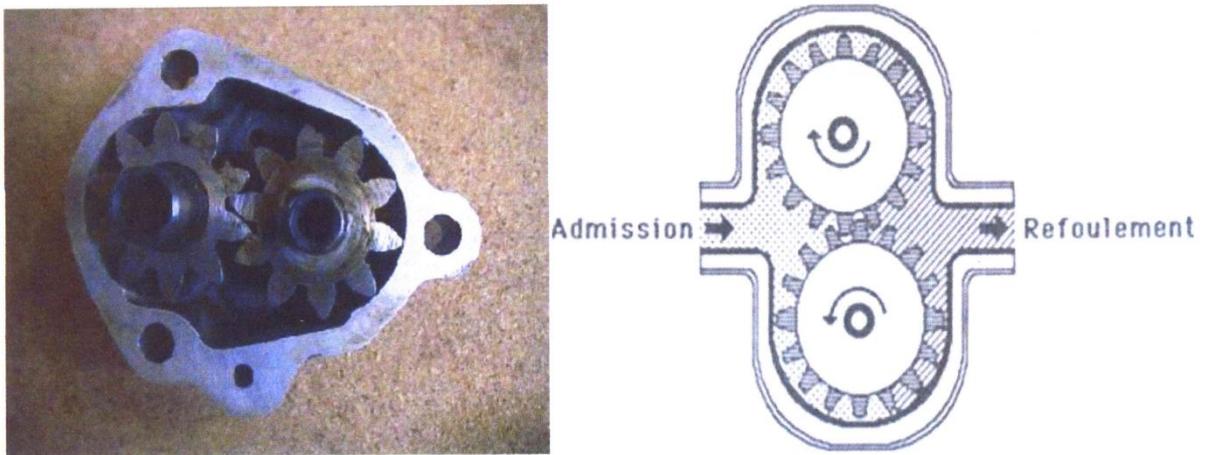


Figure. I.16 : pompe de lubrification à engrenage

➤ Filtre à huile

Afin d'éviter la circulation des particules récupérées par l'huile, un ou plusieurs filtres sont placés sur le circuit de graissage, de façon à recueillir toute l'huile ou une partie seulement de l'huile qui sort de la pompe.

Une des caractéristiques des filtres est qu'ils comportent une soupape by-pass ou clapet de sûreté qui permet à l'huile de circuler en cas de colmatage du filtre. C'est donc dire que contrairement au circuit d'alimentation diesel qui interrompt le débit de fuel en cas de colmatage des filtres, le circuit de graissage permet de le contourner. Il vaut évidemment mieux laisser circuler une huile sale que pas d'huile du tout.

Dans ce circuit, une partie de l'huile (15% environ) est déviée sur le filtre placé en dérivation. Alors que le premier filtre recueille les particules de 5 microns et plus, le deuxième s'attaque aux particules aussi petites que 2 microns. Le principal avantage est de doubler l'intervalle entre les changements d'huile tout en conservant la qualité de l'huile.

I.3.1.2. Le rôle du circuit de graissage

Le circuit de graissage remplit plusieurs fonctions importantes qu'on peut résumer ainsi.

- Il réduit les frottements, évitant ainsi l'usure et l'échauffement qui en résulte.
- Il aide à assurer l'étanchéité des segments de piston en adhérant aux surfaces et en formant une sorte de joint d'étanchéité.
- Il refroidit les organes internes du moteur, incluant les pistons. D'ailleurs, sur certains moteurs, un radiateur sert à refroidir l'huile afin d'évacuer la chaleur recueillie des pièces internes.
- Finalement, le circuit de graissage, par l'entremise d'huiles détergentes, exerce une action nettoyante. Il déloge certains dépôts et empêche la formation de nouveaux dépôts.

I.3.2. Le circuit de gas-oil

Le gazole est aspiré dans le réservoir par la pompe d'alimentation et envoyé au système d'injection qui un organe essentiel, car le moteur diesel nécessite un dosage rigoureux du combustible. L'introduction du carburant dans le cylindre est réalisée par un ensemble comprenant une pompe qui alimente les injecteurs placés sur la culasse. La pompe d'injection garantit l'alimentation de chaque injecteur, ces derniers sont chargés de laisser entre la qualité adéquate de carburant aux instants désirés. Le carburant assure le refroidissement des pièces interne des injecteurs.

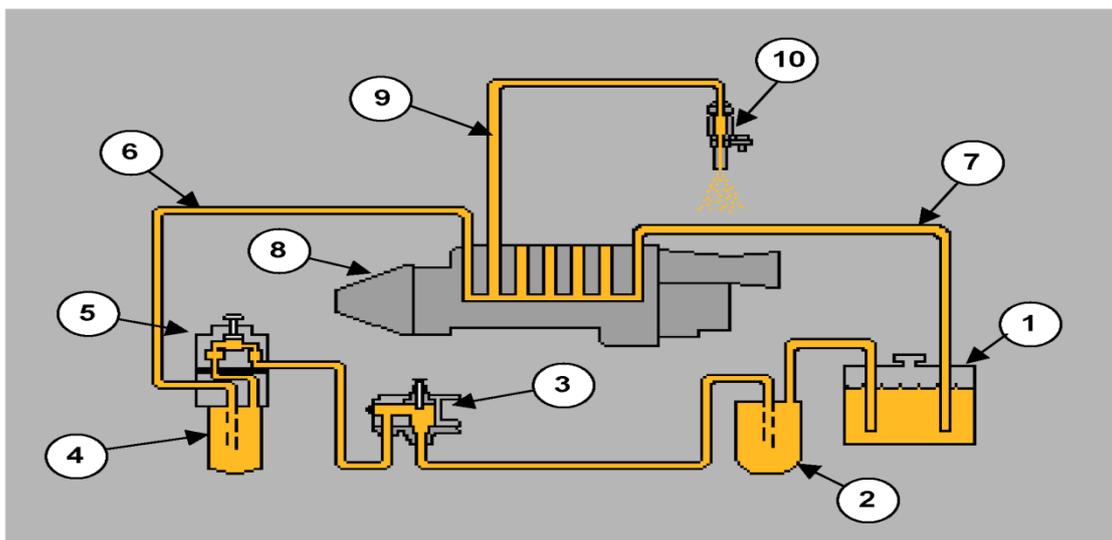


Figure. I.17 : le circuit de gas-oil

(1) - Réservoir. (2) - Préfiltre. (3) - Pompe de transfert ou d'alimentation. (4) - Filtres. (5) - Pompe d'amorçage. (6) - Canalisation de refoulement. (7) - Canalisation de retour-(8) - Pompe d'injection. (9) - tuyauterie haute pression. (10) - Injecteur.

I.3.2.1. Les différents composants de circuit

➤ La pompe d'injection

Dans le moteur diesel, la pompe d'injection c'est un élément très important du circuit d'injection. Elle permet la mise en pression, le dosage et la distribution du combustible vers les injecteurs.

Elle est de type six sorties en ligne, le dosage qu'elle laisse sortir est selon l'accélération.

- 1- Arbre à cames
- 2- poussoir
- 3- cops de la pompe d'injection
- 4- piston
- 5- chambre d'alimentation
- 6- soupape de refoulement
- 7- ressort de soupape
- 8- raccord de refoulement

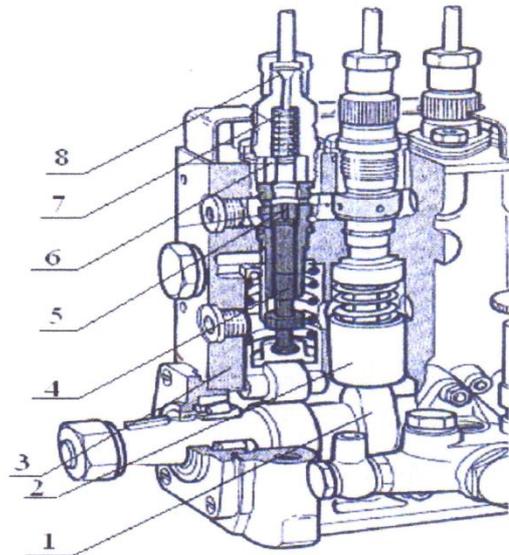


Figure. I.18 : pompe d'injection

➤ La pompe d'alimentation

La pompe d'alimentation sert à assurer l'aspiration et le refoulement de combustible avec une pression vers la pompe d'injection à l'intermédiaire de filtre principal, dans notre cas la pompe d'alimentation est de type à piston. Celle-ci est directement montée sur la pompe d'injection en ligne et commandée par l'arbre à cames. Elle est « autorégulatrice » grâce à la valeur de tarage du ressort de piston de 2.5 à 4 bars.

1. Filtre de gazole
2. Valve anti retour d'admission
3. Pompe d'amorçage
4. Clapet anti-retour de sortie

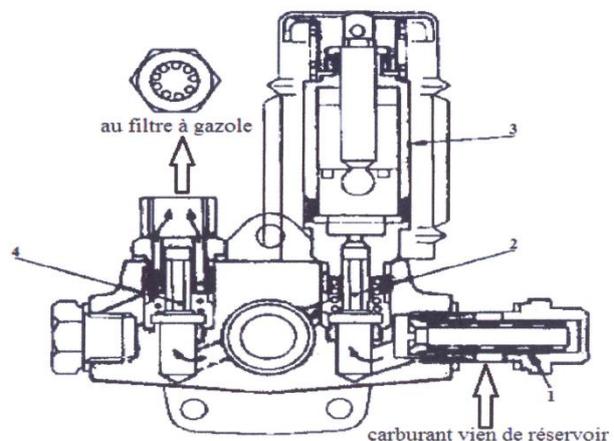


Figure. I.19 : pompe d'alimentation

➤ Les injecteurs

L'injecteur ou « pulvérisateur » est fixé est positionné dans un support dénommé « porte injecteur » dans la culasse. C'est un organe de haute précision qui assure la pulvérisationcorrecte et la répartition du combustible refoulé par un système haute pression de la pompe d'injection dans la chambre.

Lorsque le gazole arrive dans le raccord d'arrivé avec pression, il exerce une pression sur l'aiguille, le ressort primaire qui maintien l'aiguille sur son siège cède à cette pression, alors l'aiguille laisse le gazole passé dans le cylindre et permet l'injection jusqu'à ce que la pompe d'injection arrête l'injection a ce moment la aiguille revient a son état initial et ferme le trou d'injection.

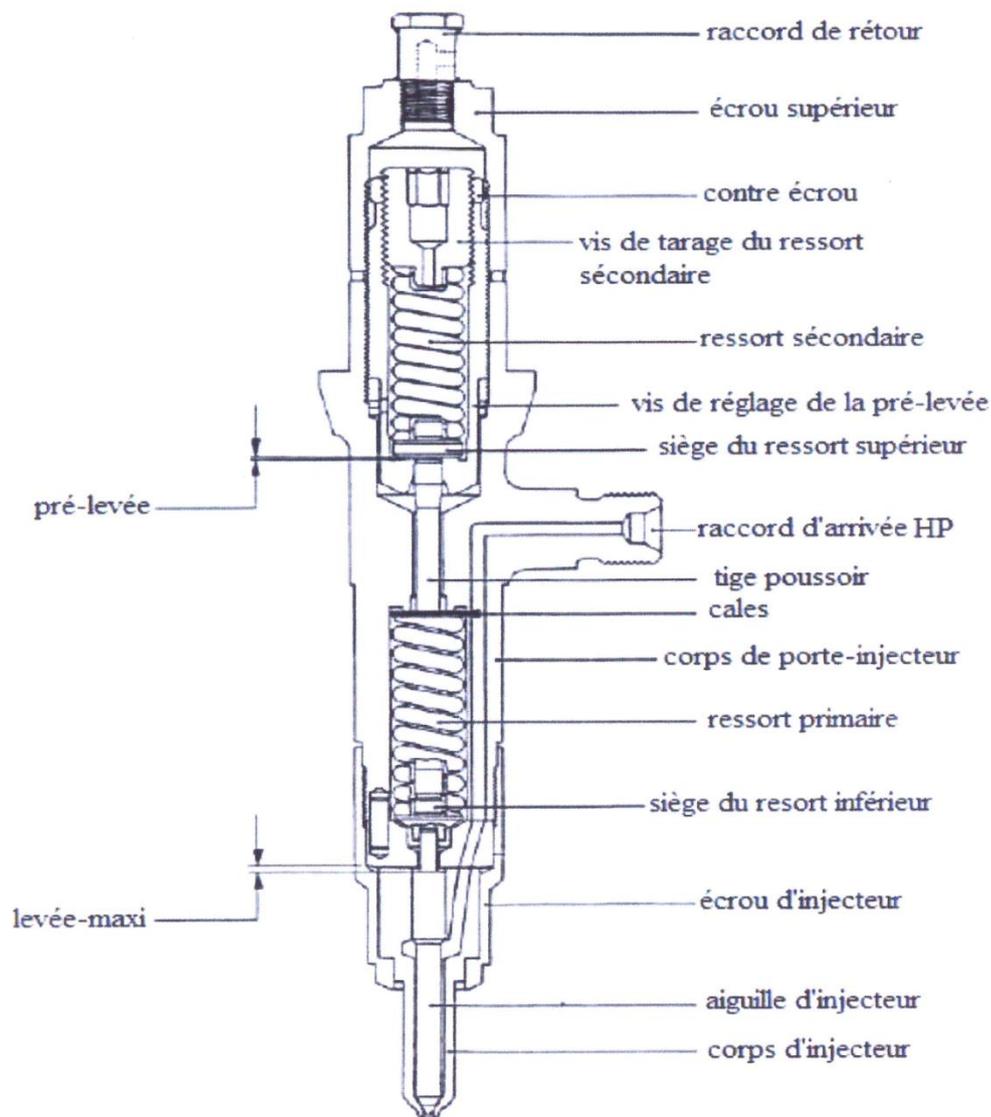


Figure. I.20 : L'injecteur

- **Le pré filtre**
Le pré filtre est placé en « aspiration » entre le réservoir à combustible et la pompe d'alimentation, son rôle est d'arrêter les impuretés les plus grosses.
- **Le filtre**
C'est un organe principal de protection de circuit d'injection contre les impuretés les plus fines, il est placé entre la pompe d'alimentation et la pompe d'injection.

I.3.3. Le circuit de suralimentation

Quand le moteur commence à fonctionner, les gaz brûlés s'échappent en faisant tourner une turbine loger dans le turbocompresseur, cette turbine entraîne avec elle par l'intermédiaire d'un axe une autre turbine qui à le rôle d'un compresseur d'air. L'air comprimé va se diriger vers le collecteur d'admission, en passant par un échangeur.

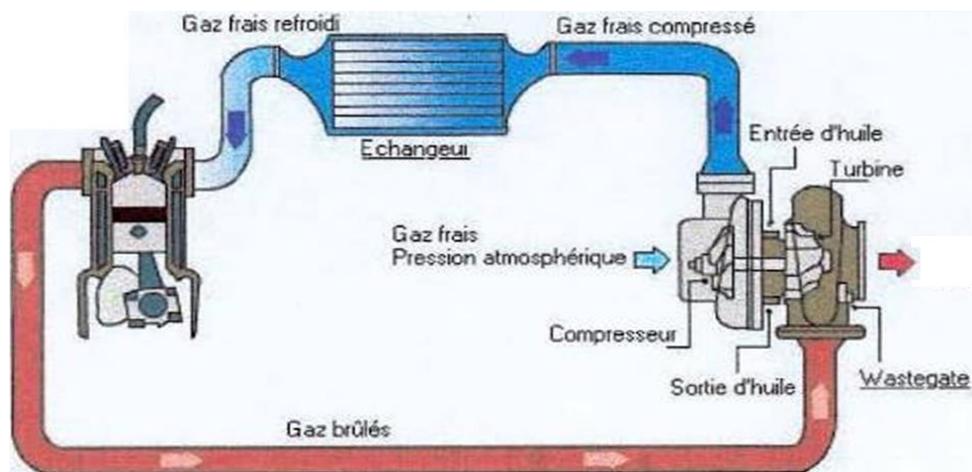


Figure. I.21 : le circuit de suralimentation

I.3.3.1. Les différents composants de circuit

➤ Le turbocompresseur

Le turbocompresseur améliore la performance des moteurs en augmentant la masse d'air admise dans le cylindre plus de 35% de l'énergie libérée par la combustion du carburant est perdu dans l'échappement. Le turbocompresseur récupère une partie de cette énergie dans les tuyauteries d'échappement grâce à la turbine d'échappement, l'énergie récupérée tourne cette dernière de son tourne la turbine d'admission a l'intermédiaire d'un axe qu'il faut lubrifier régulièrement, comme ça le turbocompresseur envoie de l'air comprimé dans les cylindres.

Cette suralimentation permet une augmentation de la puissance du moteur pour une même cylindrée et une amélioration des performances du moteur à haut régime et à forte charge.

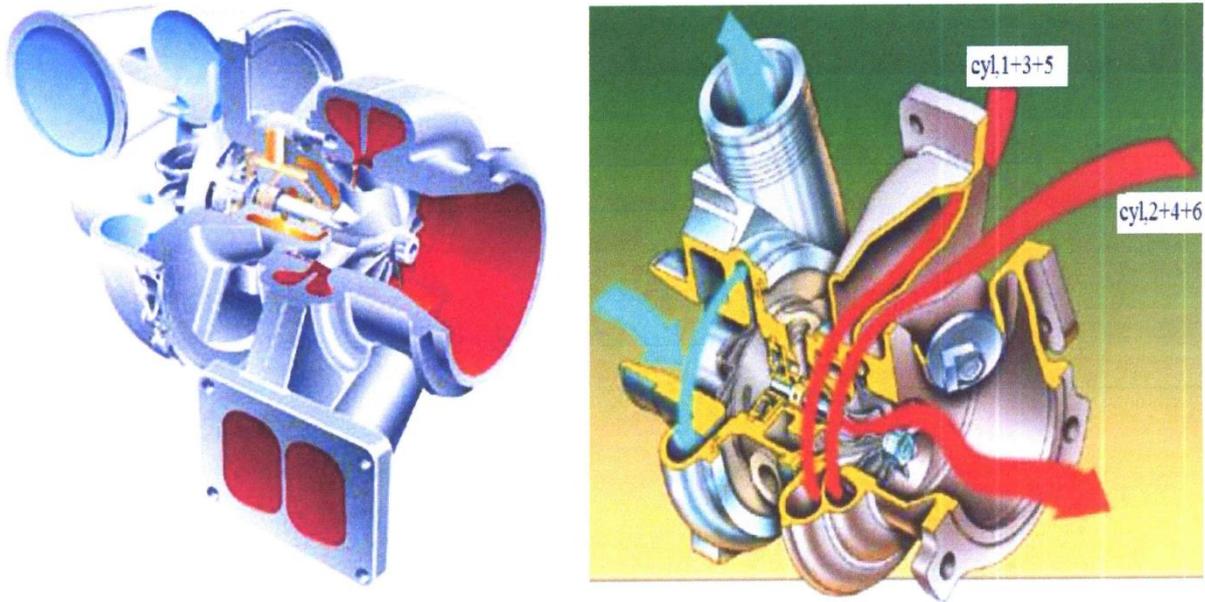


Figure. I.22 : le turbocompresseur

I.3.4. Le circuit de refroidissement

Le circuit de refroidissement règle la température de fonctionnement du moteur de telle manière que le moteur atteigne sa température normale de fonctionnement le plus rapidement possible et la conserve sans la dépasser.

Le circuit de refroidissement sert également à réchauffer l'habitacle et à refroidir le liquide de la transmission (eau). Le circuit de refroidissement est sous pression et utilise une pompe à eau pour la circulation du liquide de refroidissement (eau) dans tout le circuit.

L'eau récupère les calories des pièces soumises à hautes températures pour les évacuer dans l'atmosphère. Il circule de bas vers le haut dans la culasse (chambre des chemises) pour refroidir les cylindres où la combustion a lieu, une partie de l'eau est envoyée vers le refroidisseur d'air et l'autre vers le refroidisseur d'huile.

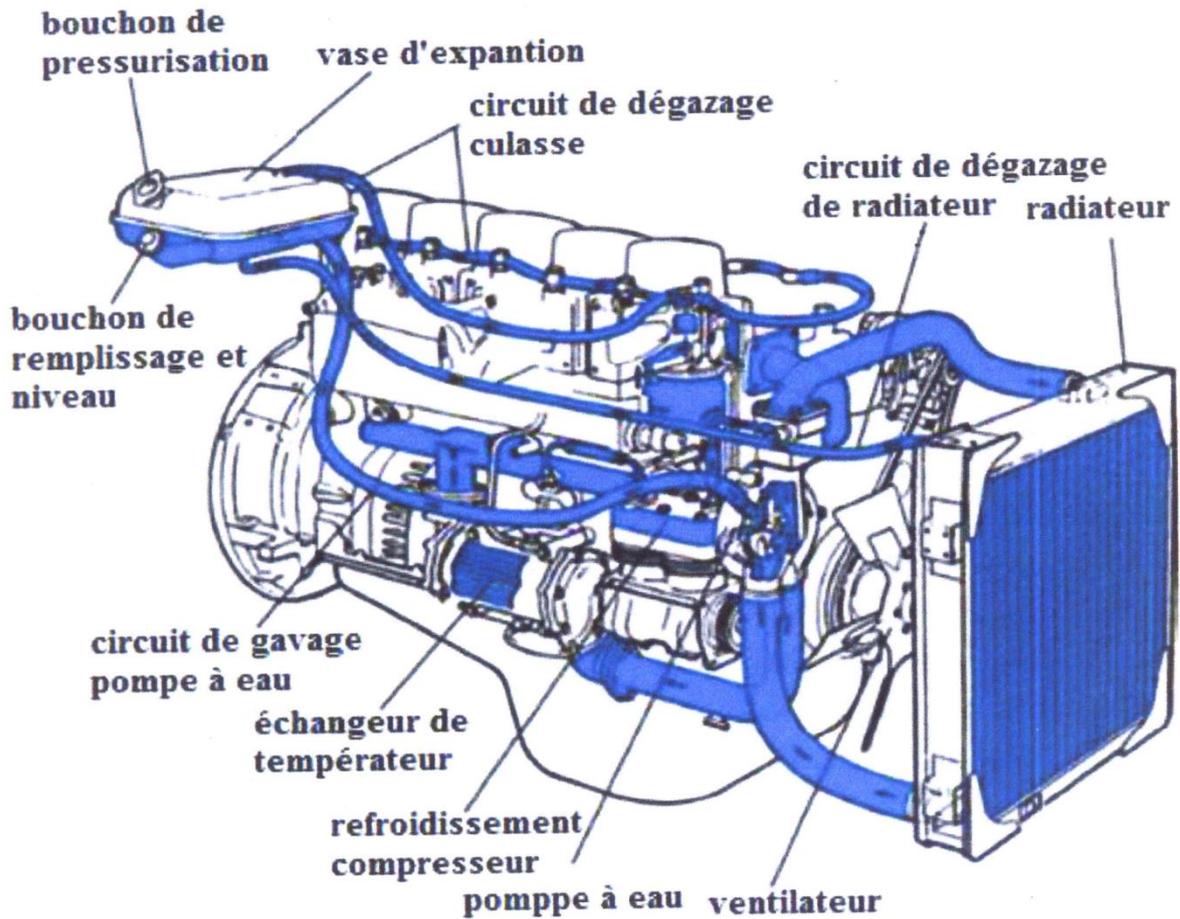


Figure. I.23 : le circuit de refroidissement

I.3.4.1. Les différents composants de circuit de refroidissement

➤ Pompe à eau

La pompe à eau, entraînée par le vilebrequin, est de type centrifuge.

Sous l'effet de la force centrifuge, l'eau est chassée à la périphérie de la roue, créant ainsi une dépression à l'entrée de la pompe, au centre. L'axe est décentré pour permettre une légère circulation d'eau par thermosiphon après l'arrêt du moteur.

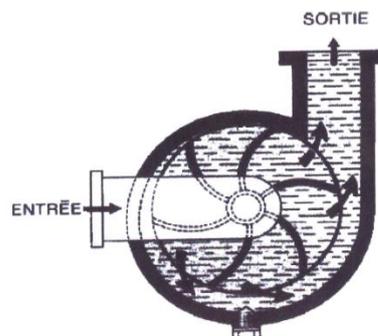


Figure. I.24 : pompe à eau

➤ **Le radiateur**

Il est chargé d'évacuer les calories excédentaires dans l'atmosphère. L'eau circule dans un faisceau tubulaire qui est en contact avec des ailettes. Ces ailettes servent à augmenter considérablement la surface d'échange thermique entre l'eau et l'air.

La surface frontale du radiateur est un facteur important dans la dissipation de la chaleur.

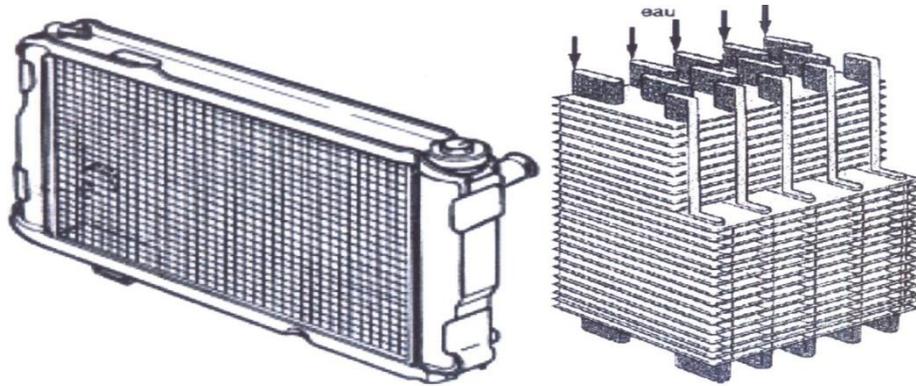


Figure. I.25 : le radiateur

➤ **Le ventilateur**

Il est fixé sur la poulie d'entraînement, son rôle est d'augmenter la vitesse d'air qui passe à travers le radiateur, lorsque le radiateur n'arrive pas à refroidir le moteur alors le ventilateur s'allume automatiquement. Le ventilateur s'arrête lors de démarrage ou bien lorsque la température du moteur est normale.

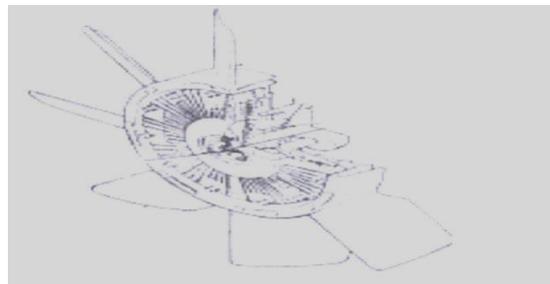


Figure. I.26 : le ventilateur

I.4. Le fonctionnement du moteur diesel

I.4.1. Le cycle à quatre temps

Le cycle de fonctionnement du moteur diesel se décompose en quatre temps : admission, compression, détente et échappement. Ce cycle correspond à deux allers retours de piston et deux tours de rotation du vilebrequin soit 720° en angle vilebrequin. Il se déroule de manière identique et déphasée dans chacun des cylindres :

➤ **Admission**

Le premier temps correspond à l'admission d'air frais. La soupape d'admission est ouverte. Le piston descend du point mort haut (PMH), position haute extrême, au point mort bas (PMB), position basse extrême. La dépression créée par la descente du piston permet l'aspiration d'air frais dans le cylindre. Cette phase d'admission est primordiale.

La qualité d'air frais introduite dans le cylindre détermine la qualité de combustible pouvant être brûlée en phase de combustion et ainsi la puissance du moteur. Le moteur de Caterpillar est équipé d'un système de suralimentation permettant d'augmenter le taux de remplissage en air frais.

➤ **Compression**

Le deuxième temps correspond à la compression de l'air frais. La soupape d'admission et d'échappement sont fermées. Le cylindre est donc hermétiquement clos. Le piston monte du PMB au PMH et comprime l'air précédemment admis. Le taux de compression volumétrique du moteur diesel est élevé. La température augmente également considérablement et dépasse le point d'inflammation du carburant. Un peu avant que le piston atteigne le PMH, le combustible est pulvérisé sous très haute pression dans la chambre de combustion par le biais de l'injecteur. Le combustible se mélange à l'air chaud, se vaporise puis s'enflamme spontanément.

➤ **Détente**

Le troisième temps correspond à la détente des gaz. L'injection se poursuit sur une dizaine de degrés après le PMH et pilote le déroulement de la combustion. La combustion libère l'énergie du carburant. Il en résulte une augmentation importante de la pression dans la chambre de combustion qui repousse le piston vers le PMB. C'est au cours de la phase de détente que le moteur produit un travail mécanique. Ce travail est converti en mouvement de rotation du vilebrequin par l'intermédiaire du système bielle-manivelle.

➤ **Échappement**

Le dernier temps correspond à l'échappement des gaz brûlés. La soupape d'échappement est ouverte. Le piston remonte du PMB au PMH et refoule les gaz brûlés. Le cycle moteur est alors bouclé.

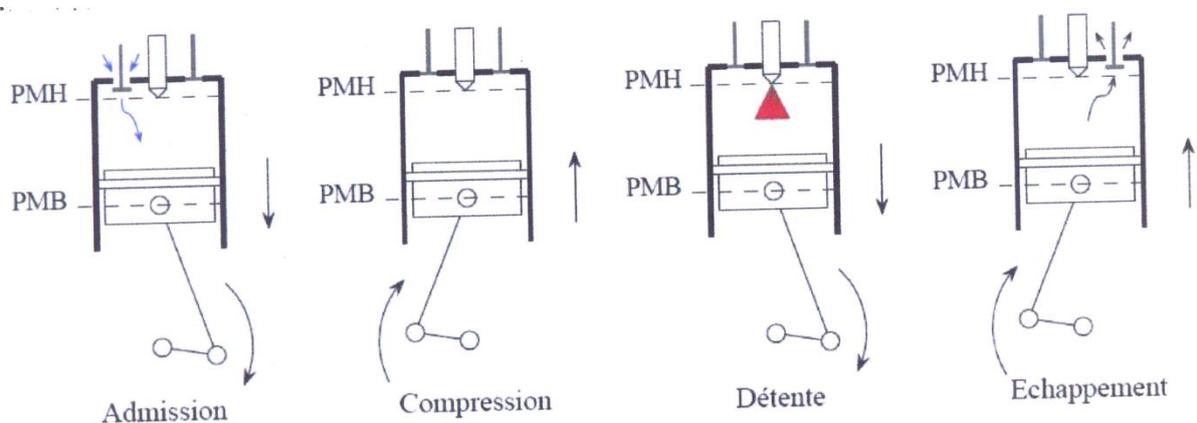


Figure. I.27 : le cycle à quatre temps

I.5.L'alternateur synchrone

I.5.1. Définition

Un alternateur synchrone est une machine électrique tournante fonctionne en mode génératrice. Il convertit une puissance mécanique fournie par le moteur diesel, qu'il absorbe sous forme (C, W) en une puissance électrique (V, I), le terme de machine synchrone regroupe toutes les machines dont la vitesse de rotation de l'arbre de sortie est égale à la vitesse de rotation du champ tournant. Pour obtenir un tel fonctionnement, le champ magnétique rotorique est généré soit par des aimants, soit par un circuit d'excitation. La position du champ magnétique rotorique est alors fixe par rapport au rotor, ce qui impose en fonctionnement normal une vitesse de rotation identique entre le rotor et le champ tournant Statorique. Il est presque à la base de toute la production d'énergie électrique mondiale grâce à son excellent rendement.

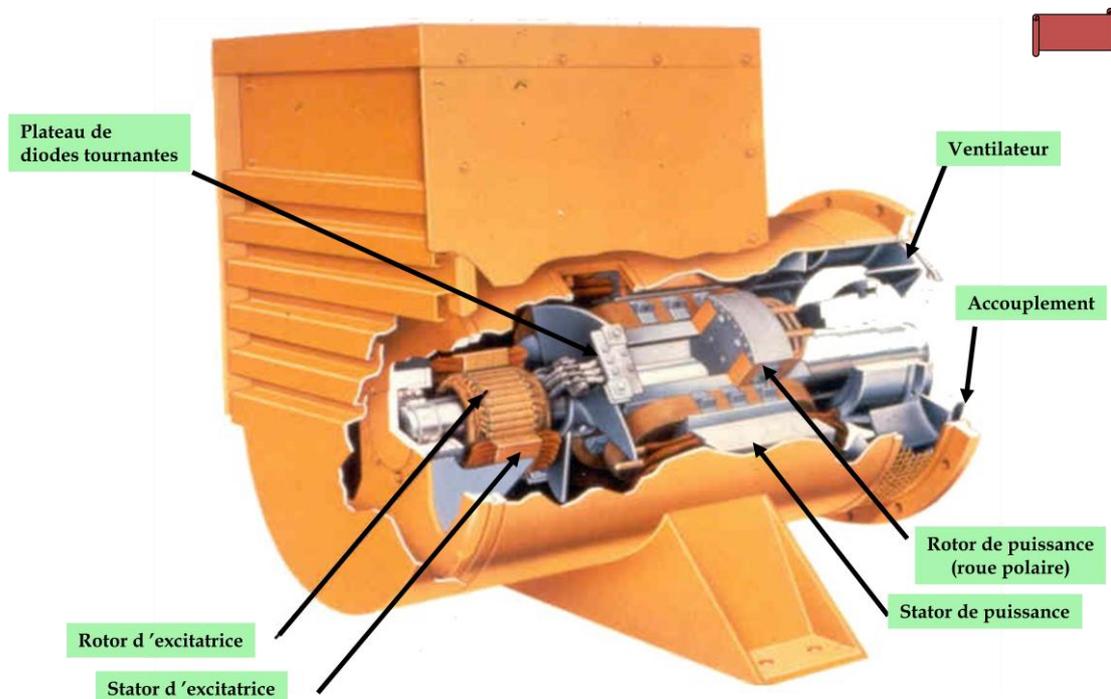


Figure. I.28 : l'alternateur

I.5.2. Description de l'alternateur

Il se compose essentiellement en deux parties. La partie fixe (stator) et la partie mobile (rotor) comme le montre le schéma suivant.

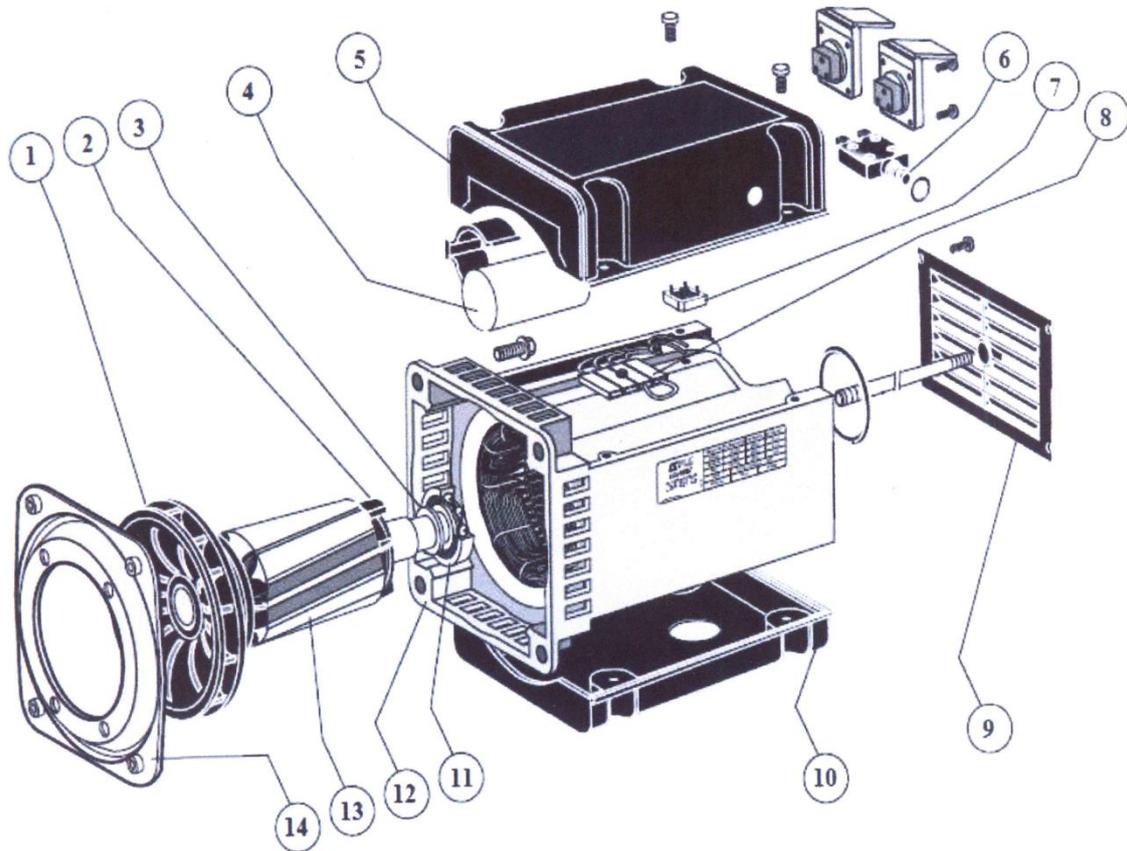


Figure. I.29. : composition de l'alternateur

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Turbine | 8. Connecteur |
| 2. Diode | 9. Grille d'entrée d'air |
| 3. Rondelle d'appui | 10. Partie inférieure du capotage |
| 4. Condensateur | 11. Roulement arrière |
| 5. Partie supérieure du capotage | 12. Ensemble stator |
| 6. Disjoncteur | 13. Ensemble rotor |
| 7. Pont de diodes | 14. Bride d'accouplement |

I.5.2.1. Le stator (l'induit)

Il est formé d'un empilage d'anneaux de tôle isolés dont l'intérieur est creusé de profondes encoches.

L'ensemble forme un cylindre creux ou les encoches forment des gorges parallèles laissant entre elles des protubérances ou pôles sur lesquelles sont enroulées des bobines. Les enroulements de stator, triphasés, comportent (03) bobines sont décalées de 120° l'un par rapport à l'autre.

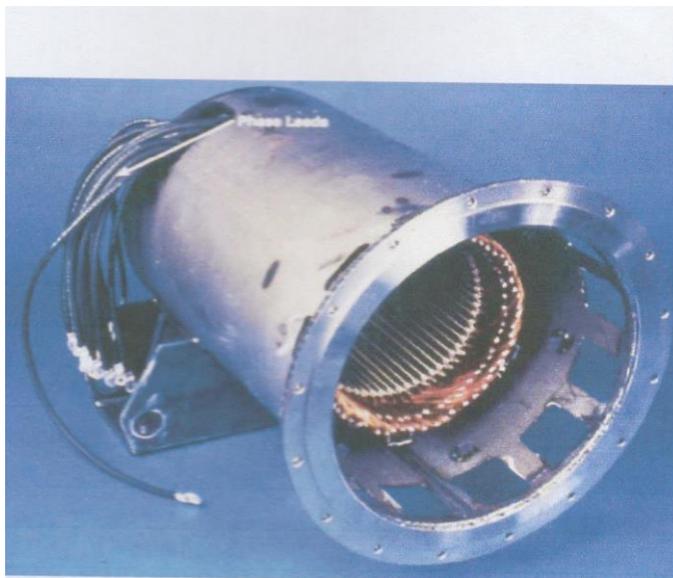


Figure. I.30 : L'induit (stator de puissance)

I.5.2.2. Rotor (l'inducteur)

Il comprend un paquet des tôles d'acier, regroupées pour produire les six pôles saillants. Les bobines inductrices sont alimentées en courant continu afin de magnétiser la roue polaire par contact glissant les bornes de ce circuit constituées par deux bagues clavetées sur l'arbre du rotor. Des balais de charbon assurant la liaison électrique avec la source à courant continu.

Le bobinage est placé autour des pôles imprégnés de vernis, les plateaux d'aluminium sont appuyés contre le bobinage, servant de dissipateur de chaleur et garantissant un excellent blocage de ces bobines.

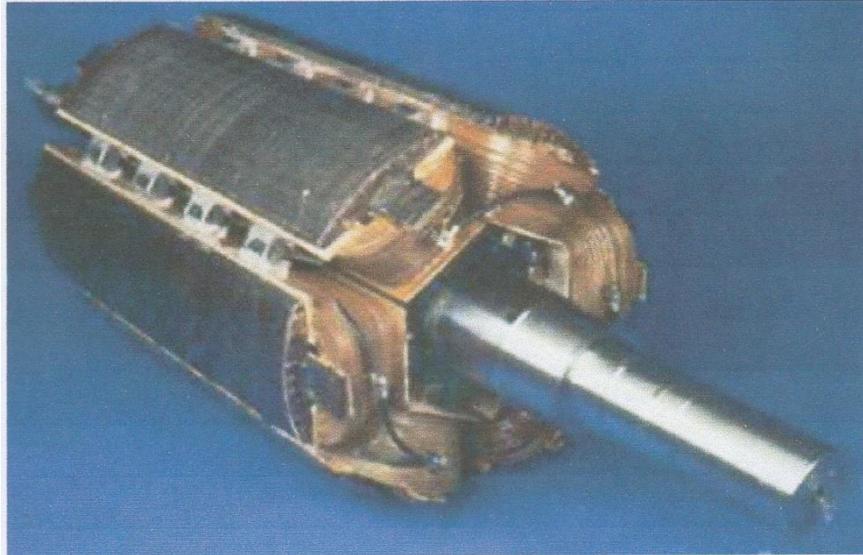


Figure. I.31 : L'inducteur (rotor de puissance)

I.5.2.3. L'excitatrice

L'excitation des alternateurs nécessite l'utilisation d'une source à courant continu, celle-ci est réalisée soit par un alternateur d'excitation associé à un ensemble de redresseurs tournants soit par un dispositif entièrement statique.

- Principe de fonctionnement de l'excitatrice

La variation de champ magnétique dans le stator de l'alternateur donne naissance à un courant électrique alternatif, le pont de diodes redresse le courant alternatif en courant continu pour exciter le rotor de la génératrice, l'induit d'excitatrice et le pont redresseur sont montés sur l'arbre du rotor et sont interconnectés avec la roue polaire de la machine.

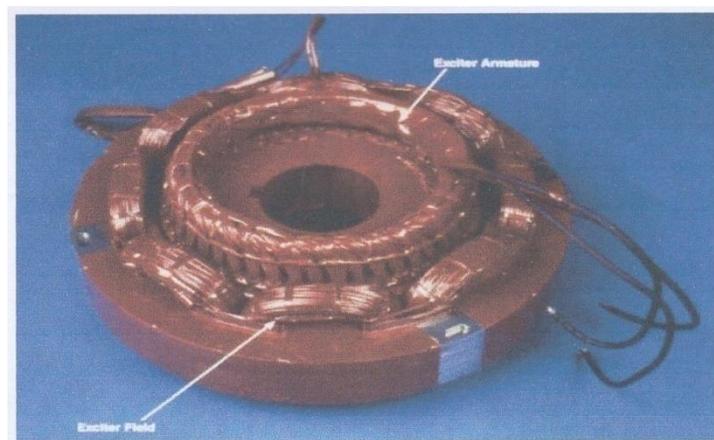


Figure. I.32 : L'inducteur et l'induit d'excitatrice

I.5.2.4. Le pont de diodes

Le pont diodes pour rôlede fournir l'excitatrice par un courant continu, il porte six diodes, il tourne avec la roue polaire pour l'alimentation permanente de l'excitatrice.

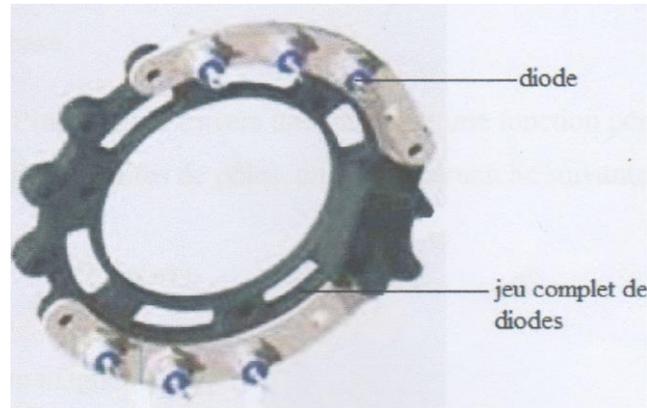


Figure. I.33 : le pont diodes

I.5.2.5. Le régulateur de tension VR3

Tous les alternateurs sont équipés par des régulateurs de tension, il règle la tension de sortie de l'alternateur à une valeur déterminée selon le besoin. Il joue sur la valeur de courant d'excitation pour permettre une tension variable à la sortie.



Figure. I.34 : le régulateur de tension

I.6.Conclusion

Au terme de ce chapitre nous avons pu constater que la constitution d'un groupe électrogène est assez simple : moteur diesel ainsi d'un alternateur.

Chapitre II

Notion sur la maintenance

II.1. Introduction

La maintenance vise à maintenir l'outil en état de fonctionner le plus économiquement possible et en assurant la sécurité des personnes, celle des installations et le bon fonctionnement des matériels.

L'exploitant doit avoir une bonne connaissance des installations et de leur conception. Lors de la construction et des réceptions, l'exploitant doit disposer des éléments pour établir les fiches de contrôle, de mesure et de maintenance.

L'historique des mesures, contrôles, dépannages et entretiens est un outil de rentabilité de l'exploitation. Il est aussi une preuve de la bonne exploitation pour le cas où les responsabilités de l'exploitant seraient à déterminer, en particulier sur les ouvrages de retenue et les matériels de manœuvre. La bonne maintenance permet de négocier avec avantage les primes d'assurance et de prévoir les charges d'exploitation de façon plus précise.

II.2. Définition : [2]

D'après la norme **AFNOR NF X60 010**, la maintenance est définie par :

« l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé » .

Maintenir, c'est donc effectuer des opérations (dépannage, graissage, visite, réparation, etc.) qui permettant de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de production. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût global minimum.

II.3. But de la maintenance

La maintenance a pour but :

- Le maintien du capital machine.
- La suppression des arrêts non programmés et des chutes de production (garantie de la capacité de livraison).
- L'amélioration de la sécurité et de la protection de l'environnement.

II.4. Les objectifs de la maintenance

La fonction maintenance joue un rôle central dans l'entreprise. Elle contribue à augmenter la productivité et à diminuer les coûts engendrés par les arrêts de production causés par les pannes ; assurer un bon état prépondérant dans l'entreprise grâce à ces objectifs qui sont :

II.4.1. Objectifs économique

- Minimiser les dépenses de maintenance
- Assurer la maintenance dans les limites de budget

II.4.2. Objectifs opérationnels

- Maintenir le bien durable dans un état de fonctionnement acceptable
- Assurer la disponibilité maximale à un coût raisonnable
- Eliminer les pannes à tous moments et aux meilleurs coûts
- Augmenter la durée de vie de bien
- Assurer au bien des performances de haute qualité et dans un état propre
- Garder le rendement maximum de bien
- Supprimer les causes d'accidents graves
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production
- Diminuer le temps d'arrêt de la machine.

II.5. Organigramme de la maintenance

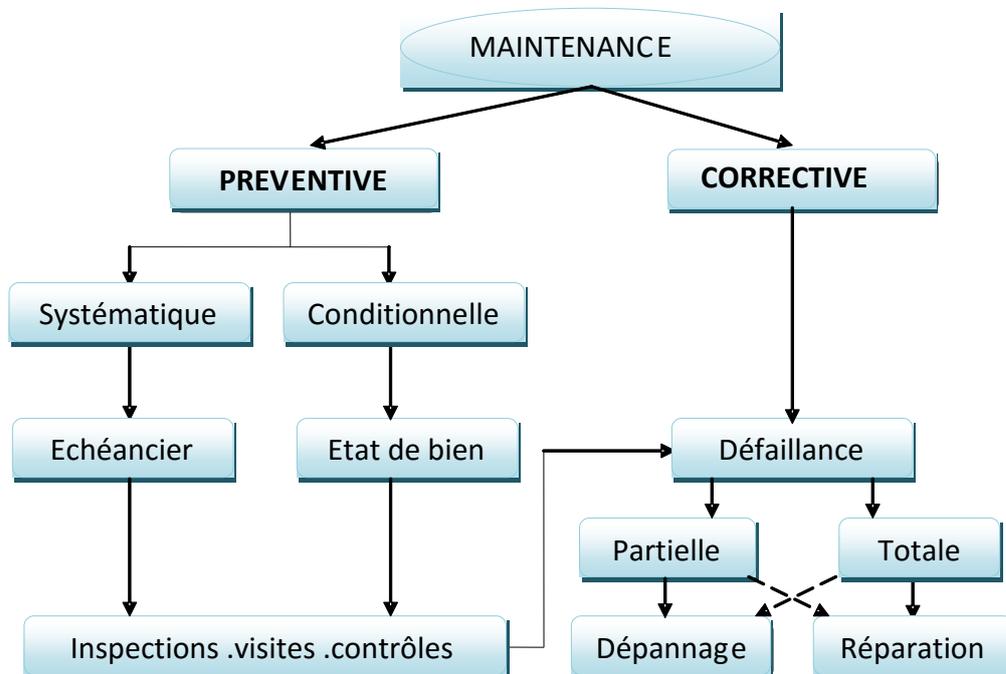


Figure II.1 : Organigramme de la maintenance

II.5.1. Maintenance préventive

(D'après la norme AFNOR X 60- 010) :

«Maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu ».

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

- **But de la maintenance préventive :**
 - Augmenter la durée de vie des équipements.
 - Diminuer la probabilité des défaillances en service.
 - Diminuer les temps d'arrêts en cas de révision ou de panne.
 - Prévenir et prévoir les interventions de maintenance corrective coûteuse.
 - Eviter les consommations anormales d'énergie du lubrifiant.
 - Améliorer les conditions de travail du personnel de production.
 - Faciliter les coûts de maintenance.
 - Supprimer les causes d'accidents graves.

- **Les opérations de la maintenance préventive :**
 - ✓ **Inspection :** Activité de surveillance consistant à relever périodiquement les anomalies et à exécuter les réglages simples.
 - ✓ **Contrôle :** Il correspond à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies, suivi d'un jugement.
 - ✓ **Visite:** Consiste en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite général) ou partie (visite limité) des différents éléments d'un bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance.

- **Avantages et inconvénients :**
 - ✚ **Avantage :**
 - Bonne préparation de la maintenance.
 - Durée d'immobilisation du matériel minimisée.
 - Coûts directe et indirecte acceptable.
 - Bonne révision des besoins (pièces, personnel...).

 - ✚ **Inconvénient :**
 - Frais de gestion de stocks important.
 - Préparation et planification nécessite un budget important.

II.5.1.1. La maintenance préventive systématique

« D'après la norme AFNOR X 60- 010 » :

"C'est une maintenance préventive effectuée selon un échéancier, établie suivant le temps ou le nombre d'unité d'usage".

But :

- Inspection périodique.
- Les interventions planifiées.
- Révisions partielles.
- Révisions générales.

Cas d'application : Elle peut être appliquée dans les cas suivants :

- Les équipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves.
- Les équipements dont l'arrêt peut durer longtemps.

II.5.1.2. La maintenance préventive conditionnelle

« D'après la norme AFNOR X 60- 010 »

"Maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé (information d'un capteur, mesure d'usure).

- **Cas d'application :**
 - Centrale de surveillance des stations nucléaire.
 - Le niveau et la qualité d'huile.
 - Les paramètres physiques.
 - Tension et intensité des matériels électrique.

II.5.2. Maintenance corrective

« D'après la norme AFNOR X 60- 010 »

Ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise ou moins provisoirement, ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification, le contrôle de bon fonctionnement.

- **But :**
 - Minimiser les coûts indirects.
 - Contribuer à assurer la production prévue et améliorer la qualité des opérations.
 - Optimiser le temps de l'immobilisation du matériel.
 - Maintenir le potentiel du matériel.
 - Assurer la continuité de la fabrication.
 - Maintenir de stock des pièces de rechange pour répondre à ces besoins de telle façon et éviter tout stock mort et toute rupture de stock.

II.5.2.1.les types de maintenance corrective

II.5.2.1.1.Maintenance palliative : C'est l'activité de la maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelle couramment dépannage, cette maintenance palliative est principalement constituée d'action à caractère provisoire qui devront être suivies d'action curative.

II.5.2.1.2.Maintenance curative : C'est l'activité de maintenance corrective ayant pour objectif de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Ces activités peuvent être des réparations, des modifications ou aménagement ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances.

- **Les opérations de la maintenance corrective :**

- ✓ **Détection :**

Action de déceler au moyen d'une surveillance accrue, l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément défaillant.

- ✓ **Localisation :**

Action conduisant à rechercher précisément l'élément ou les éléments par lequel ou pour lesquelles la défaillance se manifeste.

✓ Diagnostic :

Identification de la cause de la ou des défaillances à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test.

✓ Dépannage :

Action sur un bien en panne, en vue de le remettre provisoirement en état de fonctionnement.

✓ Réparation :

Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après défaillance.

• Avantages et inconvénients :**+ *Avantage:***

- ✓ budget de maintenance moyen.
- ✓ Minimise les coûts directs.
- ✓ Les frais de gestion de stock moins important.

+ *Inconvénient :*

- ✓ les temps d'arrêts et d'interventions sont relativement longs.
- ✓ Coût indirect élevé.
- ✓ Achat de pièces de rechange a prix élevé.

II.6. Les niveaux de la maintenance

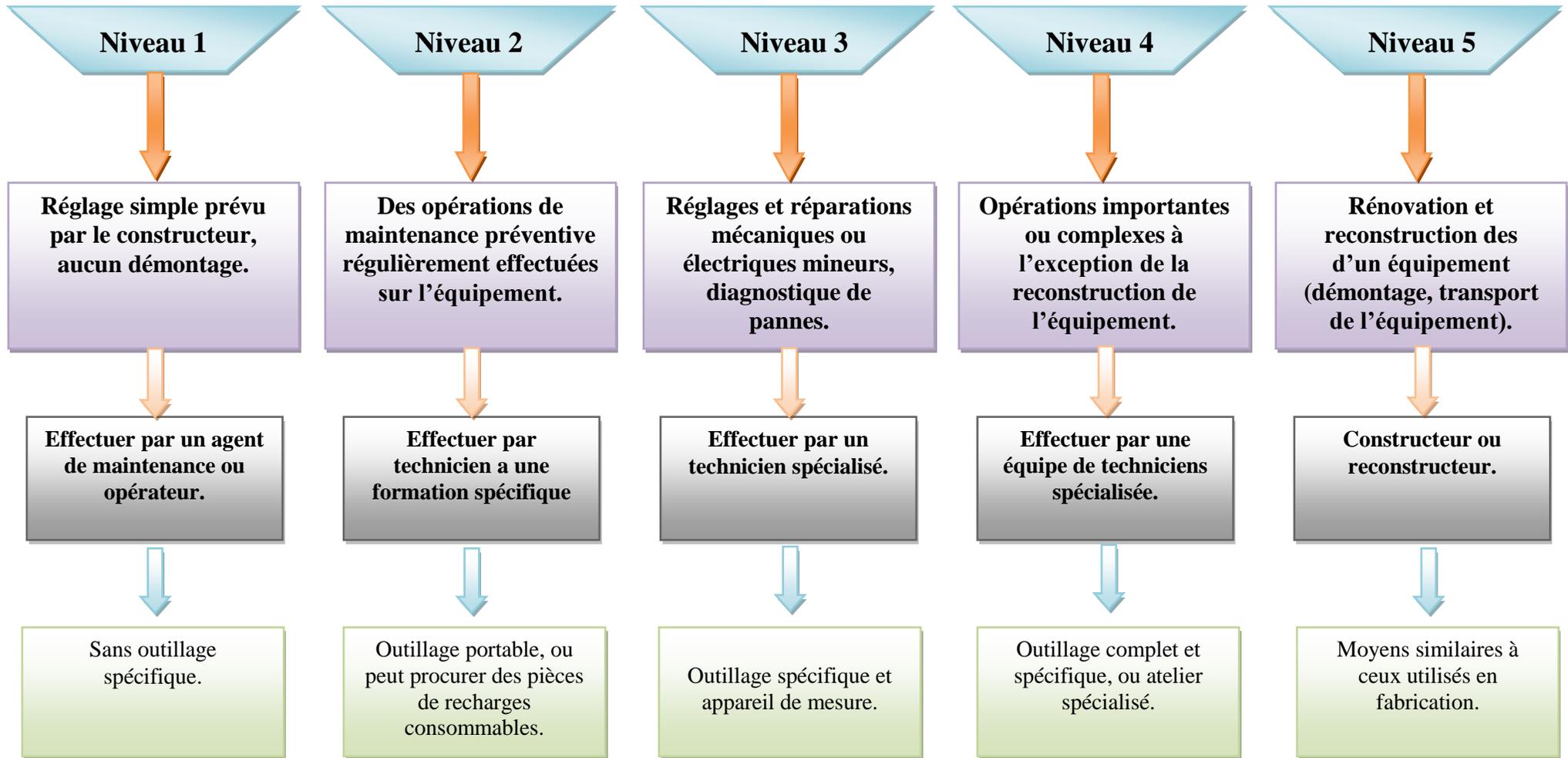


Figure II. 2 : Les niveaux de la maintenance

II.9-Conclusion

L'existence d'un service maintenance se justifie par la nécessité d'assurer la disponibilité permanente des équipements, pour que le service puisse accomplir sa tâche en obtenant le rendement optimal.

Le service maintenance est devenu un organe capital dans les entreprises.

Chapitre III

Etude de Fiabilité

III.1 Introduction

La fiabilité s'intéresse à tout ce qu'il faut faire pour qu'un produit fonctionne sans défaillance, ou avec une fréquence de défaillance suffisamment faible pour être acceptable dans l'usage prévu. Sa conservation concerne la maintenabilité qui s'occupe de ce qu'il faut faire pour qu'un produit soit ramené dans des conditions aussi proches que possible de celles prévues au début de son fonctionnement.

III.2. La fiabilité

III.2.1. Notions sur la fiabilité [3]

➤ Définition

Selon la **norme NF X 06-501** « la fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité de ce dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps donnée ».

a)-la probabilité : une probabilité se définit par le rapport entre le nombre des cas favorables et le nombre des cas possibles.

b)-accomplir une fonction requise : le dispositif que l'on étudie du point de vue de la fiabilité devra être dans un état de telle sorte qu'elle lui permet d'accomplir la fonction requise, d'une manière satisfaisante. Ceci implique un certain niveau de performance.

c)-les conditions données : sont les contraintes physiques, chimiques, électriques, thermiques et mécaniques que le dispositif subit de fait de son environnement.

d)-le temps : c'est le temps exprimé, au sens large, ce sera bien souvent en fait un nombre de cycle au caractère qui exprime la durée de vie.

III.2.2. L'objectif de fiabilité

La fiabilité a des objectifs très importants dans le domaine de l'industrie, parmi lesquelles sont :

- Mesurer une garantie dans le temps.
- Évaluer rigoureusement le degré de confiance.
- Chiffrer une durée de vie.
- Calculer le risque pris.
- Déterminer la stratégie d'entretien.
- Choisir le stock magasin judicieux.

III.2.3. Caractéristiques de la fiabilité

On a la modélisation suivante :

Un dispositif, mis en marche pour la première fois, tombera en panne inévitablement à un instant T_f , non connu a priori.

T_f est une variable aléatoire continue qui représente la durée de vie (le temps de bon fonctionnement) du dispositif.

Pour T_f on associe une fonction de répartition $F(t)$ et une fonction de distribution $f(t)$.

III.2.4. La fonction de défaillance

C'est la probabilité de tomber en panne (avoir une défaillance) sur l'intervalle de temps $[0, t]$.

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(s) ds$$

III.2.5. La fonction de fiabilité

C'est la probabilité de fonctionnement, sans défaillance, sur l'intervalle de temps $[0, t]$.

$$R(t) = P(T_f > t) = \int_t^{+\infty} f(s) ds$$

III.2.6. Temps moyen de bon fonctionnement

C'est la moyenne des temps de bon fonctionnement, notée MTBF, entre deux défaillances successives correspond à l'espérance mathématique de la variable aléatoire T_f .

$$MTBF = E(T_f) = \int_0^{+\infty} t f(t) dt = \int_0^{+\infty} R(t) dt$$

III.2.7. Le taux de défaillance

C'est la probabilité conditionnelle d'avoir une défaillance sur l'intervalle de temps $[t, t+dt]$ sachant qu'il n'y a pas eu de défaillance durant la période $[0, t]$.

Par hypothèse on a :

$$\lambda(t) = \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{F(t+dt) - F(t)}{1 - F(t)}$$

$$\lambda(t) dt = \frac{dF(t)}{1 - F(t)}$$

Après l'intégration, avec comme condition initiale : $F(t=0) = 0$; on obtient :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

III.2.8. La courbe en baignoire

L'évolution du taux de défaillance $\lambda(t)$ se présente sous la forme d'une courbe dite en baignoire

➤ **Représentation graphique**

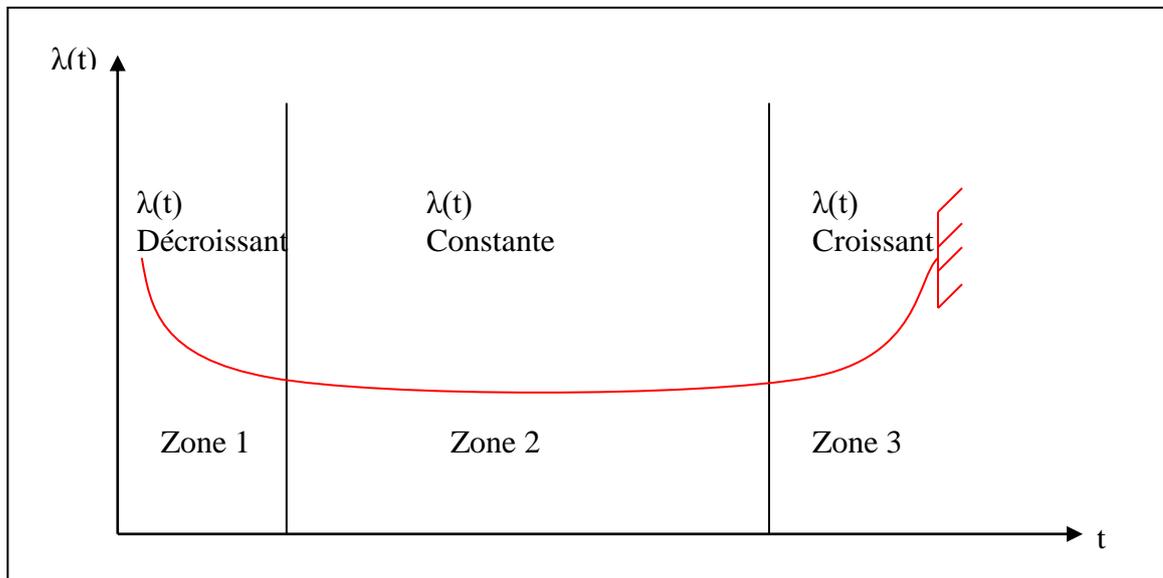


Figure III.1 : Courbe en baignoire

➤ **Interprétation**

On distingue trois périodes de vie :

- **Zone1 (Jeunesse) :** (défaillance précoce).
 - En état de fonctionnement à l'origine (mise en service).
 - Période de rodage (pour les systèmes mécaniques).
 - Période de déverminage (pour les systèmes électroniques).
- **Zone2 (Maturité) :** (période de vie utile, défaillances aléatoires).
 - Période de rendement optimal du matériel.
 - Taux de défaillance constant.
 - Les défaillances apparaissent sans dégradation préalable visible, par des causes diverses, suivant un processus de poisson (défaillances aléatoires).

- **Zone3 (Vieillesse) :**

- Un mode de défaillance prédominant, généralement visible, entraîne une dégradation accélérée, à taux de défaillance croissant.

- A un certain seuil de $\lambda(t)$, le matériel est mort il est alors déclassé, puis rebuté ou par fois reconstruit. La détermination de θ (seuil de réforme), est obtenue à partir de critères technico-économiques

III.2.9. Classement des données

La fiabilité du groupe sera calculée sur la base de données statistique fournie par l'exploitation, à partir d'un ensemble de valeurs recueillies par l'observation.

Ces données proviennent des historiques de défaillances. Sur un historique le TBF est l'intervalle du temps écoulé entre des pannes repérées par leurs dates.

Dans tous les cas, nous calculerons les TBF et les classerons par ordre croissant.

III.2.9.1. La variable aléatoire (v.a)

La (v.a) prise en compte en fiabilité est le temps (v.a continu). Le nombre d'éléments enregistré est noté N (la taille de l'échantillon).

III.2.9.2. Approximation de la fonction de répartition F(t)

- Si $N > 50$: on regroupe les TBF par classe. Dans ce cas la fréquence cumulée de défaillance est calculé comme suit :

$$F(i) = \frac{i}{N}$$

- Si $20 < N < 50$: on donne un rang i à chaque défaillance. On utilise la formule de l'approximation des rangs moyens, donc :

$$F(i) = \frac{i}{N + 1}$$

- Si $N < 20$: on utilise la formule de l'approximation des rangs médians :

$$F(i) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$$

III.2.10. Le modèle de Weibull [4]

III.2.10.1. Domaine d'utilisation

Le modèle de Weibull est très souple, car la loi à trois paramètres qui permettent d'ajuster correctement toutes sortes de résultats expérimentaux ou opérationnels, contrairement au modèle exponentiel, la loi de Weibull couvre les cas où le taux de défaillance λ est variable et permet donc de s'ajuster aux périodes de jeunesse et aux différentes formes vieillissement.

La détermination des paramètres de Weibull permettra de connaître l'état du matériel, et d'évaluer la MTBF et l'écart type.

Les résultats permettant d'estimer la fonction de répartition F(t) correspondante à chaque instant t.

III.2.10.2. Expressions mathématiques

Soit la variable aléatoire continue t distribuée suivant une loi de WEIBULL.

γ : Paramètre de position

η : Paramètre d'échelle.

b : Paramètre de forme.

➤ **La fonction de fiabilité :** $R(t) = e^{-\lambda t}$

➤ **La fonction de défaillance cumulée** (fonction de répartition):

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

➤ **L'expression de taux de défaillance :**

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

Le taux de défaillance est une fonction dépendante de temps, avec une allure liée au paramètre de forme b .

- Si $b = 1$: $\lambda(t) = \frac{1}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{1-1} \rightarrow \lambda(t) = \frac{1}{\eta}$

Le taux de défaillance constant.

- Si $b < 1$: le taux de défaillance décroît avec le temps.
- Si $b > 1$: le taux de défaillance est croissant en fonction de temps

III.2.10.3. Détermination graphique des paramètres de Weibull

L'historique de fonctionnement des équipements permet de déterminer le temps de bon fonctionnement (TBF), ou les durées de vie des composants, par conséquent les fonctions des fréquences cumulées de défaillance qu'on note $F(t)$.

Pour déterminer ces paramètres on va utiliser le diagramme d'ALLEN PLAIT.

III.3. La maintenabilité [3]**III.3.1. Définition :** Selon la norme **AFNOR X 06-10**,

La maintenabilité est l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli, pendant un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque l'exploitation et la maintenance sont accomplies dans des conditions données, avec des moyens prescrits.

III.3.2. Les temps techniques de réparation (TTR)

Avant de quantifier la maintenabilité, il convient de parler des temps d'intervention dits temps techniques de réparation.

Le temps technique de réparation d'une intervention se compose en général de la somme des temps des pannes, La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation (MTTR) :

$$MTTR = \Sigma TTR / N \quad (N : \text{Nombre des pannes})$$

III.4.La disponibilité [3]

III.4.1.Définition : Selon la norme AFNOR X 60-503

« La disponibilité est l'aptitude d'un service sous les aspects combinés des performances qu'il nécessite et de la disponibilité du système mise en oeuvre pour le fournir à assurer à l'intérieur de l'attente et dans les fonctions spécifiées, à être la demande de l'utilisateur ».

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

- avoir le moins possible d'arrêts de production.
- Etre rapidement remis en état s'il tombe en panne.

Le MTTR reflète avec le MTBF la disponibilité d'un équipement pour des équipements dont le MTBF et le MTTR seraient pratiquement constants, le taux de disponibilité serait en régime permanent :

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

III.5.Calcul de fiabilité, disponibilité, maintenabilité

Dans le tableau suivant, nous avons les temps de bon fonctionnement (TBF) classés par ordre croissant et les durées des pannes (TTR) extraire de la fiche historique de groupe électrogène.

On a $N < 20$ donc nous donnerons un rang i à chaque défaillance :

$$R(i) = 1 - F(i)$$

$$F(i) = (i - 0,3) / (N + 0,4)$$

Tableau III.1 : calcul de fiabilité de GE par la méthode de Weibull

range	TBF(h)	TTR(h)	F(t) (%)	R (t) (%)
1	420	22	10,94	89,06
2	690	16	26,56	73,44
3	1130	18	42,19	57,81
4	1700	20	57,81	42,19
5	2020	15	73,44	26,56
6	2690	19	89,06	10,94
somme	8650	110		

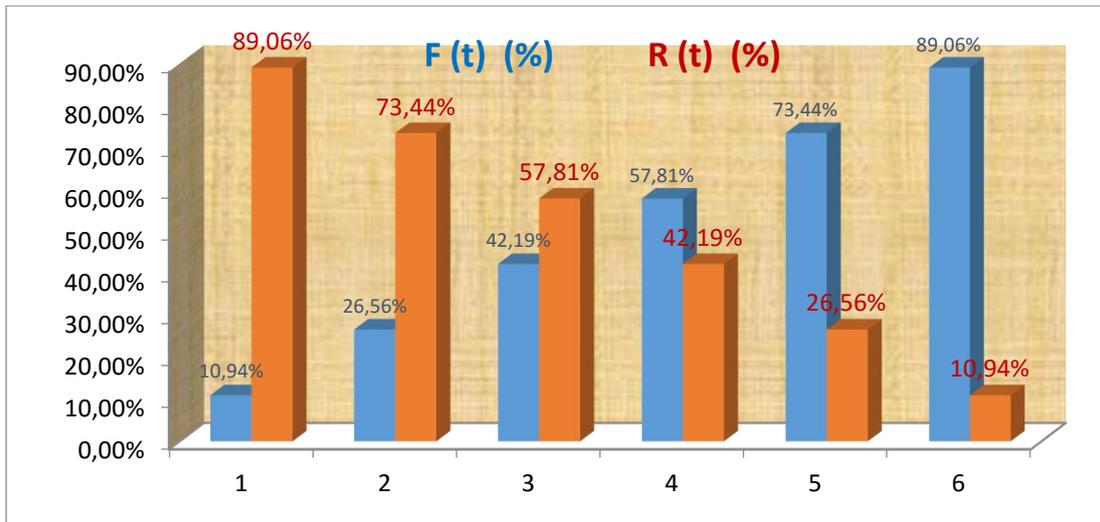


Figure III.2 : Histogramme de F(t) et R(t)

Ce graphe suivant représente le nuage des points de TBF en fonction de F(t)

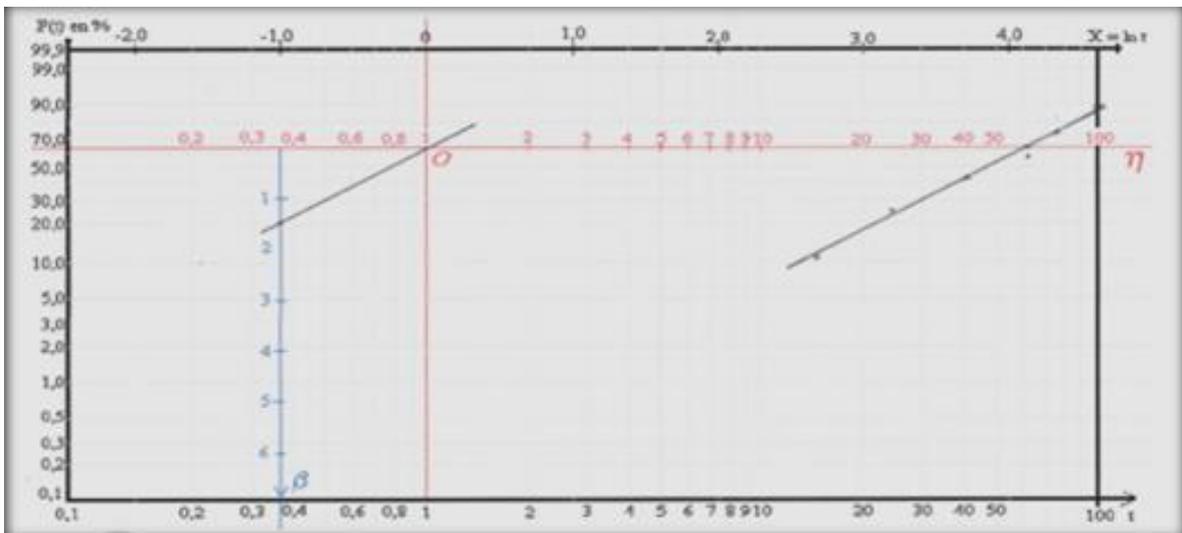


Figure III.3 : Le nuage des points de TBF on fonction de F(t)

III.5.3.1. Détermination des paramètres

Pour notre graphe on considère que les défaillances débutent à l'origine du temps donc le paramètre de localisation $\gamma = 0$ (pas de translation sur l'échelle des temps).

Nous portons sur le papier de Weibull les couples de points (TBF, F(i)) qui nous donnent la droite D1 ($\gamma = 0$).

D1 coupe l'axe (t, η) à l'abscisse :

$$\eta = 1614 \text{ h}$$

D2//D1 coupe l'axe (b) à l'ordonnée :

$$b = 1.5$$

III.5.3.2. Exploitation des paramètres

Le paramètre $b > 1$: Le taux de défaillance croît avec le temps, on aborde alors la période de vieillesse. C'est là qu'il faudra intervenir de façon préventive sur les éléments du groupe.

A partir de la table numérique dans l'annexe : $b = 1.5$ ($A = 0.9027$), ($B=0.613$)

III.5.3.3. Recherche de MTBF du groupe :

On a: $MTBF = A\eta + \gamma$

$MTBF = 0.9027 * 1614 = 1457$ heures

MTBF = 1457 h

III.5.3.4. La fiabilité associée à la MTBF :

Graphiquement nous avons le point **(1457 h, 57%)**, d'où $F(t) = 57\%$

Donc $R(t) = 100 - 57 = 43\%$

$R(MTBF) =$

R (t) = 43%

Ce qui signifie que seuls 43% des éléments, atteindront le MTBF sans défaillance.

III.5.3.5. Recherche de la maintenabilité MTTR :

On a: $MTTR = \Sigma TTR / N$

$MTTR = 110 / 6 = 18,33$ heures

MTTR = 18 h

III.5.3.6. Recherche de la disponibilité D :

On a: $D = MTBF / (MTBF + MTTR)$

$D = 1457 / (1457 + 18) = 0.9878$

D = 98.78 %

III.6. Interprétation des résultats

On remarque a partir des résultats précédents que : $b = 1,5 > 1$, et que le taux de défaillances $\lambda(t)$ est croissant en fonction du temps, on déduit alors que le groupe électrogène est en période d'usure ou de vieillesse.

R (MTBF) = 43 %, cela veut dire qu'il ya 43 chances sur 100 que le groupe électrogène survive au-delà de **1457 h**.

On constate aussi que pour une durée qui est égale au MTBF, la disponibilité du groupe électrogène est égale à **98.78%**, ce qui permet à ce groupe de continuer à accomplir sa fonction.

III.7. Conclusion

L'étude de fiabilité nous permet de connaître l'état de l'équipement en fonction de β , et le comportement de matériel par la valeur de $R(t)$, $F(t)$.

L'étude de maintenabilité permet de rechercher une meilleure combinaison entre délai, moyen et garanti de réparation.

D'après le résultat que n'a trouvé pour la disponibilité de pourcentage de 98.78%, on constate que notre élément est disponible grâce à la disponibilité des pièces de rechanges, la main d'œuvre et l'intervention efficace du service maintenance.

Chapitre IV

Analyse

AMDEC

IV.1. Introduction

Toutes les défaillances importantes nécessitent une analyse et une recherche des causes, car il est préférable d'appliquer un remède à la cause plutôt qu'à l'effet. Il est aussi judicieux d'anticiper les arrêts plutôt que de les subir. Ainsi, il existe plusieurs outils pour rechercher la ou les causes et les analyser, il est nécessaire d'utiliser des méthodes rigoureuses, logiques, participatives et communicantes afin de réussir une analyse complète.

L'AMDEC a été développée par l'armée américaine vers la fin des années 40. Elle était utilisée comme technique d'évaluation de fiabilité afin de déterminer les effets des défaillances de systèmes ou d'équipements. Les défaillances étaient répertoriées suivant leur effet sur le succès d'une mission et sur la sécurité du personnel et de l'équipement. Au cours des années 50 l'AMDEC a été utilisée dans l'industrie aérospatiale. Les équipes de lancement à Cape Canaveral ne pouvaient pas se permettre d'erreurs. Ils se demandaient systématiquement ce qui pourrait survenir et ce qu'ils pouvaient faire pour éviter ces défaillances. Actuellement l'AMDEC est devenue une technique de base pour la maîtrise de la qualité, qui est appliquée depuis longtemps déjà dans l'industrie automobile. Ford p.ex. Oblige tous ses sous-traitants à effectuer une AMDEC pour chaque pièce. L'AMDEC fait également de plus en plus son entrée dans les autres secteurs.

La pratique de l'AMDEC s'intensifie de jour tous les secteurs industriels .C'est une méthodes particulièrement efficace pour l'analyse prévisionnelle de la fiabilité des produits ; elle progresse à grand pas dans l'industrie mécanique notamment pour l'optimisation de la fiabilité des équipements de production , pour la prise en compte de leur maintenabilité dès la conception et pour la maîtrise de la disponibilité opérationnelle des machines en exploitation.

IV.2.Définition de la défaillance

D'après (AFNOR : X06-501)

« C'est la cessation de l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise ».

Une défaillance est « l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonction requise avec les performances définies dans les spécifications techniques ».

Un ensemble est défaillant si ces capacités fonctionnelle sont interrompues (panne ou arrêt volontaire par action d'un système interne de protection ou une procédure manuelle équivalente).dans le cas d'une dégradation sans perte totale de la fonction. On considère qu'il s'agi d'une défaillance si sa performance tombe en dessous d'un seuil définit, lorsqu'un tel seuil minimum est contenue dans les spécifications fonctionnelles du matériel.

IV.3.Causes de défaillances

La cause de défaillance est les circonstances liées à la conception, la fabrication ou l'emploi et qui ont entraîné la défaillance. Cette définition est fondamentale en diagnostic industriel puisque l'on recherche la cause première de la défaillance en fonction de symptômes externes qui sont observés.

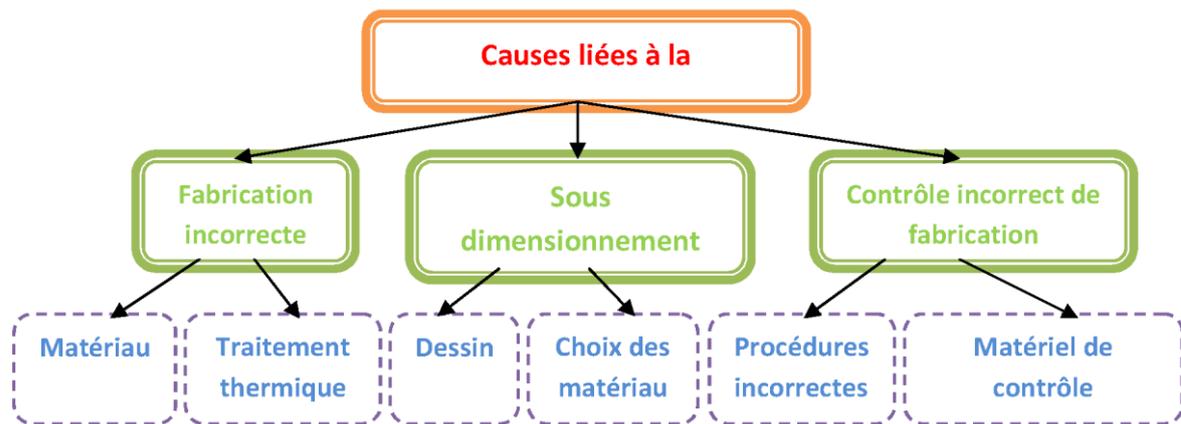


Figure. IV.1: les causes de défaillance

IV.4. Classification des défaillances

IV.4.1. Classification en fonction de leur manifestation

-**Défaillance progressive** : c'est la défaillance qui aurait pu être prévue par un examen ou une surveillance antérieure.

Note : ce type de défaillance peut se détecter par un examen de l'évolution des caractéristiques du dispositif.

- **Défaillance soudaine** : c'est la défaillance qui n'aurait pas pu être prévue par un examen ou une surveillance antérieure.

Note : ce type de défaillance ne peut pas se détecter par un examen de l'évolution des caractéristiques du dispositif.

IV.4.2- Classification en fonction du degré

-**Défaillance partielle** : c'est la défaillance résultant de déviations d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées, mais telle qu'elle n'entraîne pas une disparition complète de la fonction requise.

Note : les limites correspondant à cette catégorie sont des limites spéciales spécifiées à cette fin.

-**Défaillance complète** : c'est la défaillance résultant de déviations d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées, telle qu'elle entraîne une disparition complète de la fonction requise.

Note : les limites correspondant à cette catégorie sont des limites spéciales spécifiées à cette fin.

-**Défaillance intermittente** : c'est la défaillance d'un dispositif subsistant pendant une durée limitée, à la fin de laquelle le dispositif retrouve son aptitude à accomplir sa fonction requise, sans avoir été soumis à une action corrective externe quelconque.

Note : une telle défaillance est souvent répétitive.

IV.4.3- Classification en fonction de la vitesse d'apparition et du degré

-**Défaillance catalectique** : c'est la défaillance qui est à la fois soudaine et complète.

Note : en pratique le diagnostic d'une telle défaillance est souvent impossible.

-**Défaillance par dégradation** : c'est la défaillance qui est à la fois progressive et partielle.

Note : à la longue, une telle défaillance peut devenir une défaillance complète.

IV.4.4- Classification des défaillances par rapport aux conséquences

-Défaillance mineur : c'est la défaillance, autre que critique, qui ne réduit pas l'aptitude d'un dispositif plus complexe à accomplir sa fonction requise. Elle nuit au bon fonctionnement du dispositif en causant des dommages négligeables soit au système soit à l'environnement.

-Défaillance majeure : c'est la défaillance, autre que critique, qui risque de réduire l'aptitude d'un dispositif plus complexe à accomplir sa fonction requise. Elle est appelée également défaillance significative. Elle ne cause pas de dommage notable au système, à l'environnement ou à l'homme.

-Défaillance critique : C'est la défaillance qui risque de causer des blessures à des personnes ou des dégâts importants aux matériels. Cette défaillance entraîne la perte d'une fonction du dispositif avec un impact sur l'environnement, les systèmes et les personnes.

-Défaillance catastrophique : c'est la défaillance qui entraîne la perte d'une fonction essentielle d'un dispositif en causant des dommages importants au dit système, à l'environnement et peut entraîner la mort d'homme.

IV.5-Modes de défaillances

Modes de défaillance c'est l'effet par lequel une défaillance se manifeste.

IV.5.1-Pannes

La panne est l'incapacité d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Il est clair que dès l'apparition d'une défaillance, caractérisée par la cessation du dispositif à accomplir sa fonction, on déclarera le dispositif en panne. Par conséquent, une panne résulte toujours d'une défaillance.

Les classifications des pannes sont semblables à celle des défaillances. Il existe cependant une classification spécifique aux pannes ; elle est en fonction de l'aptitude des pannes à être constatées :

- **Panne intermittente :** panne d'un dispositif subsistant pendant une durée limitée après laquelle l'entité redevient apte à accomplir une fonction requise sans avoir été soumise à une opération de maintenance corrective.
- **Panne fugitive :** panne d'un dispositif qui est intermittente et difficilement constatable.
- **Panne permanente :** panne d'un dispositif qui persiste tant que n'ont pas eu lieu des opérations de maintenance corrective.
- **Panne latente ou cachée:** panne d'un dispositif qui existe mais n'a pas encore été détectée.

IV.5.2-Défauts

Le concept de défaut est important dans les opérations de surveillance pour la conduite et la maintenance des processus industriels. On considère comme défaut, tout écart entre une caractéristique d'une entité et la caractéristique voulue, cet écart dépassant des limites d'acceptabilité dans des conditions données. Il est clair qu'une défaillance conduit à un défaut puisqu'il existe un écart entre la caractéristique constatée et la caractéristique spécifiée. Par contre un défaut n'induit pas nécessairement une défaillance puisque un défaut constaté au niveau du système ou un défaut d'un composant du système peut parfaitement ne pas affecter l'aptitude d'un système à accomplir une fonction requise.

IV.5.3-Dégradation

C'est l'évolution irréversible des caractéristiques d'un bien lié au temps ou à la durée d'utilisation, une dégradation peut conduire à la défaillance.

IV.5.4-L'état dégradé

Etat d'un bien par lequel ce bien continue à accomplir une fonction avec des performances inférieures aux valeurs nominales ou continue à accomplir une partie seulement de ces fonctions requises, alors implique automatiquement perte de performance.

IV.6.Analyse les défaillances par la méthode AMDEC [5]

IV.6.1.Définition AFNOR (X-510)

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités (AMDEC), est une méthode d'analyse de la fiabilité qui permet de recenser les défaillances dont les conséquences affectent le fonctionnement du système dans le cadre d'une application donnée.

IV.6.2. Les objectifs de l'étude AMDEC

- **Réduire le nombre des défaillances**
 - Prévention des pannes.
 - Fiabilisation de la conception.
 - Amélioration de la fabrication, du montage, de l'installation.
 - Optimisation de l'utilisation et de la conduite.
 - Amélioration de la surveillance et des tests.
 - Amélioration de la maintenance préventive.
 - Détection précoce des dégradations.
- **Réduire les temps d'indisponibilité après défaillance**
 - Prise en compte de la maintenabilité dès la conception.
 - Amélioration de la testabilité.
 - Aide au diagnostic.
 - Amélioration de la maintenance corrective.
- **Améliorer la sécurité**

Dans cette optique et à la lumière de ces points, l'AMDEC occupe une place importante dans l'optimisation de la fonction maintenance. En effet elle rend le système fiable tout en faisant diminuer le nombre de pannes, facilement maintenable car elle permet la maîtrise des éléments et de leurs fonctions, disponible, car qu'elle permet d'agir sur les éléments critiques, sécurisant, puisque elle permet de dominer les défaillances et en particulier les défaillances critiques et catastrophiques.

IV.6.3. Les différents types d'AMDEC

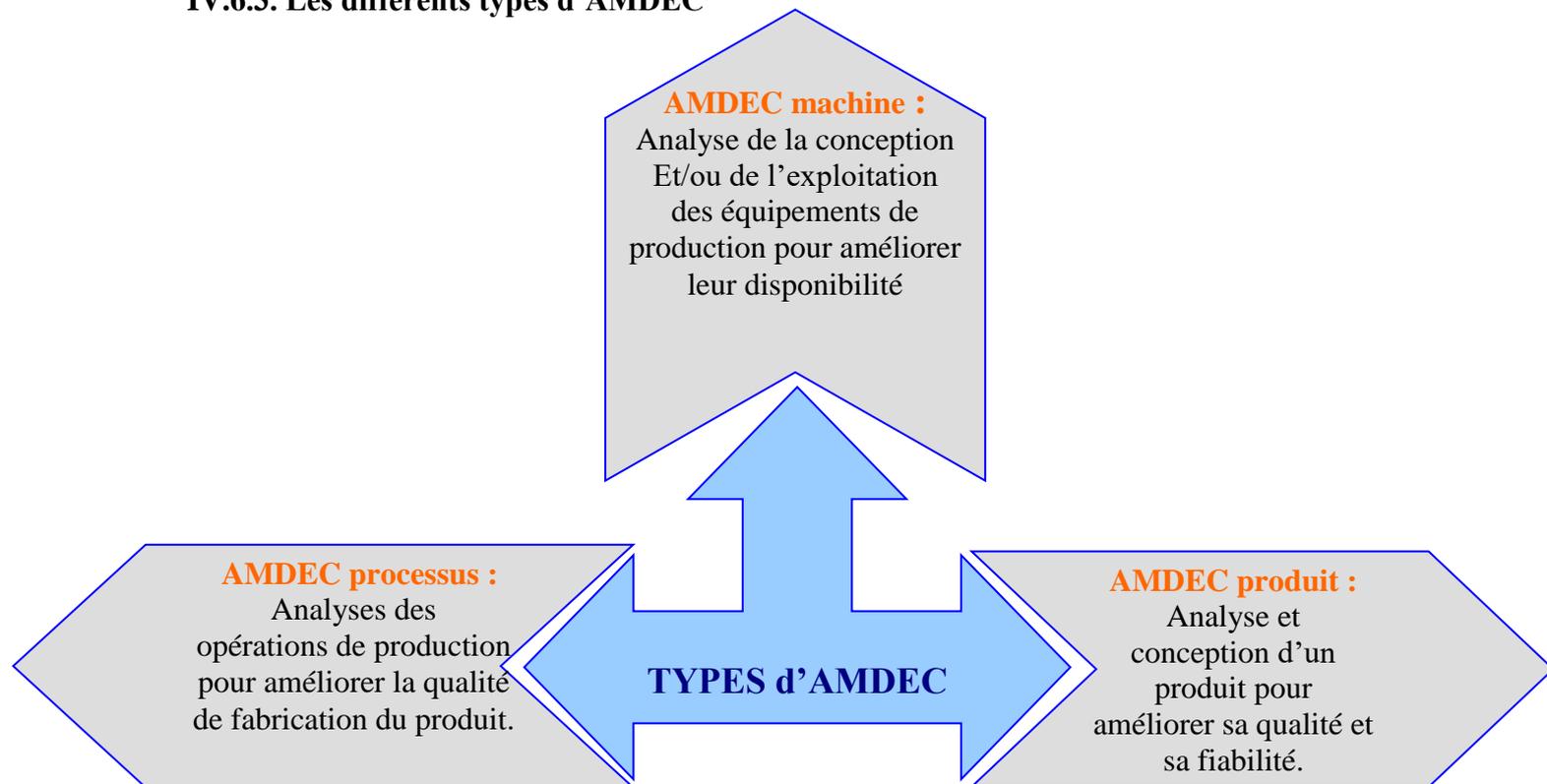


Figure IV.2 : Les différents types d'AMDEC

-L'AMDEC machine

Est particulièrement destinée aux constructeurs (AMDEC prévisionnelle) et aux utilisateurs de machines (AMDEC opérationnelle). Les applications sont généralement les suivantes :

-AMDEC prévisionnelle

En phase de conception, pour vérifier certains points particuliers (éléments nouveaux, spécifiques ou complexes) dont on connaît mal le comportement. Elle permet l'amélioration de la conception, la validation d'une solution technique par rapport à un cahier des charges ou une exigence spécifique, la mise en phase des dispositions d'assurance qualité, la préparation d'un plan de maintenance. On la met en pratique quand les composants sont définis, avant que les plans de détail ne soient figés.

-AMDEC opérationnelle

En période d'exploitation, pour améliorer le comportement d'un matériel critique, pour mettre au point le plan de maintenance d'une nouvelle installation ou pour optimiser des actions de maintenance (choix, procédure, stocks).

Dans tous les cas, il n'est pas souhaitable de systématiser la mise en œuvre de la méthode, ce qui engendrerait des coûts prohibitifs, voire inutiles. Par contre son usage est recommandé partout où des risques sont à craindre ou bien lorsque les enjeux sont importants pour l'entreprise ou la sécurité.

L'AMDEC machine est essentiellement destinée à l'analyse des modes de défaillance d'éléments matériels (mécaniques, hydrauliques, pneumatiques, électriques, électroniques...). Elle peut aussi s'appliquer aux fonctions de la machine, au stade préliminaire de sa conception conséquence

IV.6.4. Démarche pratique de l'AMDEC machine

Une étude AMDEC machine comporte quatre étapes successives, soit un total de 21 opérations. La puissance d'une étude AMDEC réside autant dans son contenu que dans son exploitation. Une étude AMDEC reste sans valeur si elle n'était pas suivie par la mise en place effective des actions correctives préconisées par le groupe de travail, accompagnées d'un contrôle systématique.

❖ ETAPE 1 : INITIALISATION

• But

L'initialisation de l'AMDEC machine est une étape préliminaire à ne pas négliger. Elle est menée par le responsable de l'étude avec l'aide de l'animateur, puis précisée avec le groupe de travail.

Elle consiste à poser clairement le problème, définir le contenu et les limites de l'étude à mener et à réunir tous les documents et informations nécessaires à son bon déroulement.

• Méthodes

- 1- Définition du système à étudier.
- 2- Définition de la phase de fonctionnement.
- 3- Définition des objectifs à atteindre.
- 4- Constitution du groupe de travail.
- 5- Etablissement du planning.
- 6- Mise au point des supports de l'étude.

❖ ETAPE 2 : DECOMPOSITION FONCTIONNELLE

• But

Il ne s'agit pas dans cette étape de faire l'analyse critique de l'adéquation des fonctions de la machine au besoin, mais seulement d'identifier clairement les éléments à étudier et les fonctions à assurer.

C'est une étape indispensable car il est nécessaire de bien connaître les fonctions de la machine pour en analyser ensuite les risques de dysfonctionnement. Elle facilite l'étape ultérieure d'analyse des défaillances. Elle permet également au groupe de travail d'utiliser un vocabulaire commun. Elle peut être menée de manière plus ou moins détaillée selon les besoins.

- Méthodes

7- Découpage du système.

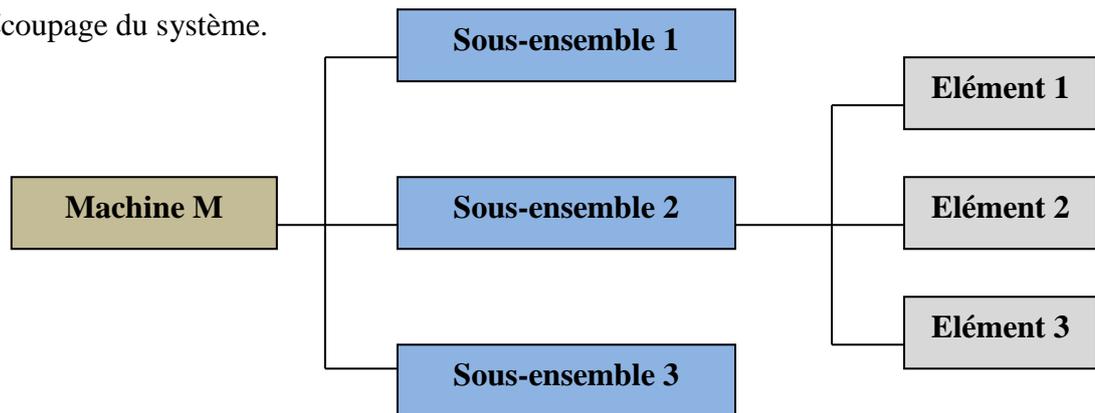


Figure IV.3 : Découpage général d'un système

8- Identification des fonctions des sous-ensembles.

9- Identification des fonctions des éléments.

❖ **ETAPE 3 : ANALYSE AMDEC**

- But

L'analyse AMDEC proprement dite consiste à identifier les dysfonctionnements potentiels ou déjà constatés d'une machine, à mettre en évidence les points critiques et à proposer des actions correctives pour y remédier. En pratique, on procède souvent à une estimation approximative qui se traduit par une note attribuée pour le groupe AMDEC, il s'agit donc d'une échelle de notation. De ce fait le produit multiplication utilisé pour le calcul de la criticité n'a pas le sens mathématique propre de terme.

$$\text{Criticité} \longrightarrow C = G \cdot F \cdot D \longrightarrow \text{probabilité du non détection}$$

\uparrow \uparrow
 Gravité Fréquence

- **Méthodes**

-Phase d'analyse des mécanismes de défaillance

- 10- Identification des modes de défaillance.
- 11- Recherche des causes.
- 12- Recherche des effets.
- 13- Recensement des détections.

-Phase d'évaluation de criticité

- 14- Estimation du temps d'intervention.
- 15- Évaluation des critères de cotation.
- 16- Calcul de criticité.

-Phase de proposition d'actions correctives

- 17- Recherche des actions correctives.
- 18- Calcul de nouvelle criticité.

❖ ETAPE 4 : SYNTHESSES

- **But**

Cette étape consiste à effectuer un bilan de l'étude et à fournir les éléments permettant de définir et lancer, en toute connaissance de cause, les actions à effectuer. Ce bilan est essentiel pour tirer vraiment parti de l'analyse.

- **Méthodes**

- 19- Hiérarchisation des défaillances.
- 20- Liste des points critiques.
- 21- Liste des recommandations.

IV.1.5. Application de l'AMDEC machine sur groupe électrogène**IV.1.5.1. Initialisation****❖ Définition du système à étudier**

Le système à étudier est un groupe électrogène de 350KVA

❖ Définition de la phase de fonctionnement

L'étude se limite à l'analyse des défaillances pendant la phase de travail.

❖ Définition des objectifs à atteindre

-La disponibilité : amélioration de la disponibilité car le groupe doit être toujours disponible afin de satisfaire les besoins de la demande en électricité.

-La s sécurité : réduire les risques et les dangers pouvant se présenter dans le groupe.il est impératif de mettre en œuvre des méthodes et actions pour réduire ces risques et minimiser leurs effets sur le personnel et sur le matériel.

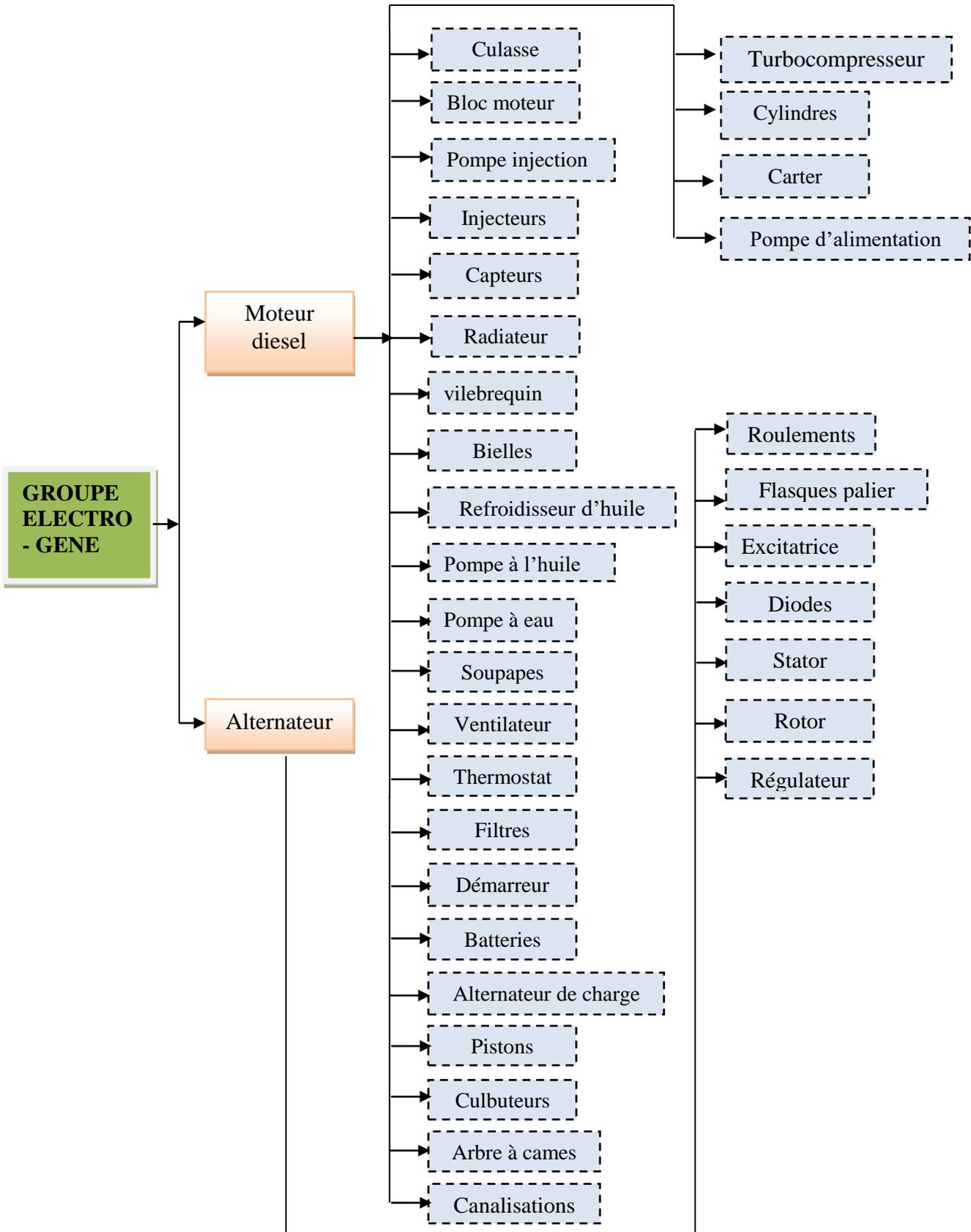
❖ Mise au point de support de l'étude

Cette étape sert à la création des documents, tableaux de saisie, feuilles de synthèse qui constituent le dossier AMDEC et reflètent l'état de connaissances sur le dysfonctionnement du système à un moment donné.

IVI.5.2.décomposition fonctionnelle

➤ **Décomposition de système**

On va décomposer le système de groupe électrogène en deux (02) sous système et chaque sous système est décomposé en élément.



➤ **Identification des fonctions***Tableau IV.1 : identification des fonctions des sous système*

Sous système	Fonction
Moteur diesel	Fournir une énergie mécanique à l'alternateur
alternateur	Production de l'énergie électrique

Tableau IV.2 : identification des fonctions des éléments du groupe

Éléments	Fonction
canalisations	Véhiculer carburant, eau, huile
Batteries	Alimentation en courant continue
Radiateur	Contenir l'eau est facilité son refroidissement
ventilateur	Accélérer la vitesse de passage de l'air à travers le radiateur
Pompe à eau	Aspirer et refouler l'eau sous pression
Thermostat	Ouverture et fermeture de circuit de refroidissement
Pompe injection	Débite le gasoil
Pistons	Assurer la compression d'air
Alternateur de charge	Charger les batteries
Batteries	Accumuler et fournir une tension nécessaire pour la commande du GE
Capteurs	Transformer une grandeur physique en grandeur électrique
Démarrreur	Démarrer le moteur
Pompe à l'huile	Débiter sous pression
Refroidisseur d'huile	Refroidir l'huile du carter
Injecteurs	Pulvériser le gasoil à HP dans la chambre de combustion
Turbocompresseur	Augmenter la puissance du moteur
Arbre à came	Transmettre le mouvement de rotation aux cames
Bloc moteur	Contenir les organes mobiles du moteur
Soupapes	Transmettre l'admission et le rejet des gaz
Filtres	Retenir les impuretés
Roulements	Assurer l'alignement de l'arbre
Pompe d'alimentation	Débiter le gasoil sous pression en alimentant la pompe injection
Régulateur	Ajuster le courant d'excitation en fonction de la tension de sortie
Diode	Redresser le courant
Stator	Générer la force électromotrice
Rotor	Créer une induction importante
Flasque palier	Porter les roulements et boucher les extrémités du stator

IV.1.5.3. Analyse AMDEC

❖ Mode de défaillance

Un mode de défaillance est la manière par laquelle un dispositif peut venir à être défaillant, c'est-à-dire à ne plus remplir sa fonction. Le mode de défaillance est toujours relatif à la fonction du dispositif. Il s'exprime toujours en termes physiques.

Exemple : blocage, grippage, rupture, fuite, etc.

❖ Cause de la défaillance

Une cause de défaillance est l'événement initial pouvant conduire à la défaillance d'un dispositif par l'intermédiaire de son mode de défaillance. Plusieurs causes peuvent être associées à un même mode de défaillance. Une même cause peut provoquer plusieurs modes de défaillance.

Exemple : encrassement, corrosion, dérive d'un capteur, etc.

❖ Effet de la défaillance

L'effet d'une défaillance est, par définition, une conséquence subie par l'utilisateur. Il est associé au couple (mode-cause de défaillance) et correspond à la perception finale de la défaillance par l'utilisateur.

Exemple : arrêt de production, détérioration d'équipement, explosion, pollution, etc.

❖ Mode de détection

Une cause de défaillance étant supposée apparue, le mode de détection est la manière par laquelle un utilisateur (opérateur et/ou mainteneur) est susceptible de détecter sa présence avant que le mode de défaillance ne se soit produit complètement, c'est-à-dire bien avant que l'effet de la défaillance ne puisse se produire.

Exemple : détection visuelle, température, odeurs, bruits, etc.

❖ Criticité C

La criticité est une évaluation quantitative du risque constitué par le scénario (mode – cause – effet - détection) de défaillance analysé. La criticité est évaluée à partir de la combinaison de trois facteurs :

- La gravité de l'effet,
- La fréquence d'apparition du couple mode – cause,
- La possibilité d'utiliser les signes de détection.

❖ Les grilles de cotation

- **La fréquence (F)** : elle doit représenter la probabilité d'apparition du mode de défaillance résultant d'une cause donnée.

Tableau IV.3: La grille de fréquence

Niveau de fréquence	Indice	Définition
Fréquence très faible	1	Défaillance rare : Moins d'une défaillance par 4 ans
Fréquence faible	2	Défaillance possible : Moins une défaillance par 2 ans
Fréquence moyen	3	Défaillance fréquente : Moins d'une défaillance par an
Fréquence forte	4	Défaillance très fréquente : Plusieurs défaillances par an

- **La gravité (G)** : la gravité représente la sévérité relative à l'effet de la défaillance.

Tableau IV.4 : La grille de gravité

Niveau de gravité	Indice	Définition
Gravité très faible (mineurs)	1	-Arrêt de fonction inférieure à 2 minutes -Aucune dégradation notable de matériel
Gravité faible (significative)	2	-Arrêt de production entre 2 à 20 minutes -Remise d'état de courte durée ou une petite réparation
Gravité moyenne	3	-Arrêt de production entre 2 à 60 minutes -Changement de matériel défectueux nécessaire
Gravité majeure	4	-Arrêt de production entre 1 à 2 heures -Intervention importante sur sous ensemble
Gravité catastrophique	5	-Arrêt de production supérieure à 2 heures -Intervention lourde nécessaire des moyennes couteux

➤ **La probabilité de non détection (D)** : elle doit représenter la probabilité de ne pas détecter la cause ou le mode de défaillance avant que l'effet survienne.

Tableau IV.5 : la grille de non détection

Niveau de probabilité de non détection	Indice	Définition
Détection évidente	1	Défaillance précocement détectable -Signe avant coureur évident d'une dégradation -Dispositif de détection automatique d'incendie
Détection possible	2	Défaillance détectable -Signe avant coureur de la défaillance facilement détectable mais nécessitant une action particulière de l'opérateur (visite, contrôle ...)
Détection importable	3	Défaillance difficilement détectable -Signe avant coureur de la défaillance facilement détectable, peut exploitable on nécessaire une action ou des moyens complexes (démontage ou appareillage)
Détection impossible	4	Défaillance indétectable -Aucun signe avant coureur de la défaillance

❖ **Grille de cotation de la criticité**

Tableau IV.6 : la grille de criticité

Criticité	Action
$1 \leq C < 10$ C négligeable	MC : Aucune modification de conception (maintenance corrective)
$10 \leq C < 18$ C moyennes	MPS : Amélioration des performances de l'élément (maintenance préventive systématique)
$18 \leq C < 27$ C élevée	MPC : Révision de la conception de l'élément et du choix de surveillance particulière
$27 \leq C < 64$ C interdite	Remise en cause de la conception

❖ **Les tables AMDEC**

D'après le dossier historique de groupe électrogène (durant une année), nous avons rempli les tables AMDEC ci-dessous :

AMDEC machine		Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités								Page : 01					
		Groupe électrogène Caterpillar 350			Phase de fonctionnement : normale										
N°	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action corrective	Nouvelle Criticité			
							F	G	D	C		F	G	D	C
1	Batterie	Accumuler et fournir une tension nécessaire pour la commande du groupe	Court-circuit	Vieillessement	Le démarreur ne répond pas	Visuelle	2	3	3	18	Changement, vérification périodique	2	2	2	8
			Pas de charge	Câblage déconnecté	Le démarreur ne répond pas	Mesure Visuelle	2	3	3	18	Reconnecter le câblage	2	2	2	8
2	Démarreur	Démarrer le moteur	Ne tourne pas	Défaut interne	Pas de démarrage du moteur	Visuelle	1	3	2	6	Changement, réparation du démarreur	1	2	2	4

AMDEC machine		Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités								Page : 02					
		Groupe électrogène Caterpillar 350			Phase de fonctionnement : normale										
N°	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action corrective	Nouvelle Criticité			
							F	G	D	C		F	G	D	C
3	Câblerie	Pour établir les liaisons électriques	Coupure	Dégradation	Possibilité d'arrêt du groupe	Visuelle	1	4	3	12	Réparer, changer	1	3	3	9
			Défaillance structurelle	Echauffement Court-circuit	Possibilité d'arrêt du groupe	Visuelle	1	4	3	12	Vérification et changement	1	3	3	9
			Déconnection	Mal serré	Possibilité d'arrêt du groupe	Visuelle	1	4	3	12	Reconnecter les câbles, vérification périodique	1	3	3	9
4	Canalisation de gasoil	Conduire le gasoil à la pompe injection	bouchage et encrassement	présence des impuretés	limitation de charge arrêt de groupe	Visuelle	2	3	3	18	Nettoyage, serrage et changement	1	3	2	6
			Fuites externes	Vieillessement des joints	Diminue l'apport en carburant	Visuelle	2	3	3	18		1	3	2	6

AMDEC machine		Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités								Page : 03					
		Groupe électrogène Caterpillar 350			Phase de fonctionnement : normale										
N°	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action corrective	Nouvelle Criticité			
							F	G	D	C		F	G	D	C
5	Pompe d'injection	Distribuer le carburant aux injecteurs	Fonctionnement irrégulier	Pompe mal calée	Baisse de performance	Visuelle	1	4	3	12	Bien caler	1	3	3	9
			La pompe est défectueuse	Vieillessement	Arrêt du groupe	Visuelle	1	4	3	12	Vérification et changement	1	3	3	9
6	Pompe d'alimentation	Débit le gasoil sous pression en alimentant la pompe d'injection	Fonctionnement irrégulier	Usure clapets,	Pas de débit	Visuelle	1	4	4	16	Changement	1	3	3	9
				mauvaise lubrification	Débit insuffisant	Visuelle									

AMDEC machine		Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités						Page : 04							
		Groupe électrogène Caterpillar 350			Phase de fonctionnement : normale			Action corrective				Nouvelle Criticité			
N°	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité					F	G	D	C
							F	G	D	C					
7	Injecteurs	pulvériser le gasoil à HP dans la chambre de combustion	Fonctionnement irrégulier	Grippage, Dé réglage	Arrêt du moteur ou baisse de performance du moteur	Visuelle	1	4	4	16	Dégripper, Régler	1	3	2	6
8	Gasoil	Permettre l'explosion	Est en dessous de la limite inférieure tolérée	Gasoil sale, de mauvaise qualité	Le moteur fume	Visuelle	1	2	3	6	Utiliser gasoil conforme aux exigences du constructeur	1	2	3	6
9	Huile	Lubrifier les organes coulissants et tournants	Ecoulement réduit	Viscosité inappropriée	Le moteur n'atteint pas son régime maximal	Visuelle	1	2	3	6	Remplacer	1	2	3	6

AMDEC machine		Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités							Page : 05						
		Groupe électrogène Caterpillar 350			Phase de fonctionnement : normale										
N°	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action corrective	Nouvelle Criticité			
							F	G	D	C		F	G	D	C
10	Carter d'huile	Contenir l'huile de lubrification	Fuites externes, rupture	Vis desserrée par vibration, chocs	Baisse du rendement en huile	Visuelle	1	3	2	6	Serrer, remplacer	1	3	2	6
11	Pompe à l'huile	Débiter l'huile sous pression	Fonctionnement irrégulier	Usagée, Mauvaise lubrification	Pression d'huile insuffisante	Visuelle	1	5	4	20	Remplacer	1	3	3	9
12	Filtre à huile	Retenir les particules contenues dans l'huile	Obturation, fuites internes	Présence d'impuretés dans l'huile, clapet de sureté usé	Mauvais filtrage, Détérioration du filtre	Visuelle	3	3	2	18	Nettoyage, remplacé	2	2	1	4

AMDEC machine		Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités								Page : 06					
		Groupe électrogène Caterpillar 350			Phase de fonctionnement : normale										
N°	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	criticité				Action corrective	Nouvelle Criticité			
							F	G	D	C		F	G	D	C
13	Canalisations D'huile	Conduire l'huile vers les points à lubrifier	Fuites externes	Vis desserrée par vibration, joints défectueux	Pertes d'huile dans le circuit	Visuelle	1	5	2	10	Serrer les vis, raccords, remplacer joint	1	3	2	6
14	Refroidisseur d'huile	Refroidir l'huile du carter	Obturation	Dépôt des aspérités, encrassage	Mauvais refroidissement	Visuelle	1	4	4	16	Nettoyer, dégraisser avec de l'air comprimé	1	3	2	6
15	Filtre à gasoil	Retenir les impuretés afin de protéger la pompe	Obturation, blocage	Présence d'Impuretés	Pompe colmatée, Mauvais filtrage	Visuelle	3	3	2	18	Nettoyer, remplacer	2	3	1	6

AMDEC machine		Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités								Page : 07					
		Groupe électrogène Caterpillar 350			Phase de fonctionnement : normale										
N°	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action corrective	Nouvelle Criticité			
							F	G	D	C		F	G	D	C
16	Radiateur	Contenir l'eau et faciliter son refroidissement	Obturation, fuites internes	Rouille, choc	défaut de refroidissement	Visuelle	1	5	4	20	Vérifier l'état de l'eau, remplacer	1	3	2	6
17	Ventilateur	Accélérer la vitesse de passage de l'air à travers le radiateur	Ne tourne pas	Défaillance de courroie, roulement	Pas d'air, chauffage excessif	Visuelle	1	4	2	8	Changement courroie, roulement	1	3	2	6
18	Canalisations d'eau	Conduire l'eau de refroidissement à travers le moteur	Fuites, colmatage	Raccords desserrés par vibration, présence d'impuretés	Pertes d'eau de refroidissement	Visuelle	1	5	4	20	Nettoyer, remplacer, Serrer des raccords	1	3	3	9

AMDEC machine		Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités								Page : 08					
		Groupe électrogène Caterpillar 350			Phase de fonctionnement : normale										
N°	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action corrective	Nouvelle Criticité			
							F	G	D	C		F	G	D	C
19	Pompe à eau	Aspirer et refouler l'eau sous pression	fonctionnement irrégulier	Vieillessement, cavitation	Débit insuffisant, le moteur chauffe	Visuelle	1	5	4	20	Retendre, remplacer	1	3	3	9
20	Thermostat	Fermeture et ouverture	Ne s'ouvre pas	Fatigue du ressort	Le moteur chauffe	Visuelle	1	5	4	20	Changer	1	3	2	6
21	Vilebrequin	Recevoir les efforts des bielles	Ne reste pas en position	Usure des coussinets, vieillesse	Pas d'entraînement	Bruit	1	4	4	16	Remplacer coussinet, vilebrequin	1	4	2	8

AMDEC machine		Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités								Page : 09					
		Groupe électrogène Caterpillar 350			Phase de fonctionnement : normale										
N°	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action corrective	Nouvelle Criticité			
							F	G	D	C		F	G	D	C
22	Bloc moteur	Contenir les organes mobiles du moteur	Rupture, vibrations	Mauvais refroidissement, Usure des cylindres	Baisse de performances	Visuelle	1	5	3	15	Remplacer, revoir le circuit d'eau	1	3	3	9
23	Bielle	Transmettre au vilebrequin les efforts reçus des pistons	Rupture	Mauvais montage, mauvaise lubrification	Baisse du rendement du moteur	Visuelle	1	4	3	12	Remplacer	1	4	2	8
24	Pistons	Assurer la compression	Endommagement des segments	Usure des segments	Perte importante de puissance, mauvaise compression	Visuelle Bruit	1	4	3	12	Remplacer	1	4	2	8

AMDEC machine		Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités								Page : 10					
		Groupe électrogène Caterpillar 350			Phase de fonctionnement : normale										
N°	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action corrective	Nouvelle Criticité			
							F	G	D	C		F	G	D	C
25	Culbuteurs	Permettre le mouvement d'ouverture et de fermeture des soupapes	Coincement, blocage	Mauvais réglage du jeu, Manque de lubrification	Excès de fumée noire	Visuelle	1	3	3	9	Réglage culbuteur, Remplacer	1	3	3	9
26	Coussinets	Protéger le vilebrequin de l'usure	Vibrations	Manque d'huile ou de pression d'huile	Perte importante de puissance	Visuelle bruit	1	4	4	16	Remplacer les coussinets. Vérifier l'ensemble du circuit d'huile	1	4	2	8
27	Soupapes	Transmettre l'admission et le rejet des gaz d'échappement	Coincement, blocage	Problème d'étanchéité	Le moteur fume noir	Visuelle	1	3	4	12	Changement	1	4	2	8

AMDEC machine		Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités								Page : 11					
		Groupe électrogène Caterpillar 350			Phase de fonctionnement : normale										
N°	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action corrective	Nouvelle Criticité			
							F	G	D	C		F	G	D	C
28	Filtre à air	Retenir les particules contenues dans l'air	Colmatage	Présence d'impuretés dans l'air	Baisse de performance du turbocompresseur, Mauvais filtrage	Visuelle	3	3	2	18	Nettoyer, changer la cartouche	2	2	2	8
29	Arbre à came	Transmettre le mouvement de rotation aux cames	fonctionnement irrégulier	Usure, frottement important	Baisse de performances	Visuelle bruit	1	4	3	12	Remplacer	1	4	2	8
30	Turbocompresseur	Augmenter la puissance du moteur	Ne démarre pas	Axe de roue de turbine cassé	Moins d'air dans les cylindres, moteur moins puissant	Visuelle	1	4	3	12	Remplacer l'axe	1	3	3	9

AMDEC machine		Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités									Page : 12				
		Groupe électrogène Caterpillar 350			Phase de fonctionnement : normale										
N°	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action corrective	Nouvelle Criticité			
							F	G	D	C		F	G	D	C
31	Capteurs	Transformer une grandeur physique en grandeur électrique	Court-circuit	Défaut d'isolement	pas de signaux	Contrôle par multimètre	1	2	4	8	Remplacer	1	2	2	4
32	Roulements	Assurer l'alignement de l'arbre	Ne reste pas en position	Usure, vieillesse	Frottement excessif	Visuelle bruit	1	4	3	12	Remplacer	1	3	2	6
33	Rotor	Créer une induction importante	Fonctionnement irrégulier	Usure des enroulements, Enroulements mal isolés	Pas de tension en sortie alternateur Tension élevée	Mesure	1	4	4	16	Changer	1	4	2	8

AMDEC machine		Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités								Page : 13					
		Groupe électrogène Caterpillar 350			Phase de fonctionnement : normale										
N°	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action corrective	Nouvelle Criticité			
							F	G	D	C		F	G	D	C
34	Régulateur	Ajuster le courant d'excitation en fonction de la tension de sortie	Mise en marche erronée	Transistor défectueux	Pas de régulation, de tension en sortie	Visuelle	1	3	4	12	Remplacer	1	3	2	6
35	Diodes	Redresser le courant alternatif créé par l'excitatrice	Court-circuit	surcharge	Elévation importante du courant en sortie alternateur	Mesure	1	3	4	12	Remplacer	1	3	2	6
36	Stator	Générer la force électromotrice	Court-circuit	Coupure des enroulements Enroulement mal isolé	Pas de tension en sortie alternateur	Mesure	1	4	4	16	Remplacer	1	4	2	8

IV.1.7. Synthèses

Le tableau AMDEC précédente, nous permet une meilleure classification de la criticité et des actions à engager au niveau de chaque élément. Ces actions seront basées sur les modes de défaillances, ceci en agissant sur leurs causes dont le but est d'éviter ou d'éliminer leurs apparitions et aussi en agissant sur leurs effets afin d'interrompe l'enchaînement des défaillances donc la diminution de criticité.

Tableau de classification des éléments par leurs criticités et les actions a engagé:

On a classé les éléments par un ordre croissant de leur criticité pour avoir une idée sur les actions à engager par le service maintenance pour garder le fonctionnement du GE en bon état.

Tableau IV.7 : Tableau de classification des éléments par leur criticité

Criticité	N° élément	Action a engagé
$1 \leq C < 10$ C négligeable	<ul style="list-style-type: none"> • Démarreur • Gasoil • Huile • Carter d'huile • Culbuteurs • Capteurs • Ventilateur 	MC Aucune modification de conception (maintenance corrective)
$10 \leq C < 18$ C moyennes	<ul style="list-style-type: none"> • Refroidisseur d'huile • Injecteur • Pompe d'alimentation • Vilebrequin • Coussinets • Rotor • Stator • Bloc moteur • Câblerie • Pompe injection • Bielle • Piston • Soupape • Arbre à came • Turbocompresseur • Roulements • Régulateur de tension • Diodes • Canalisation d'huile 	MPS Amélioration des performances des éléments (maintenance préventive systématique)
$18 \leq C < 27$ C élevée	<ul style="list-style-type: none"> • Radiateur • Canalisation d'eau • Pompe à eau • Thermostat • Pompe à l'huile • Filtre à l'huile • Filtre à gasoil • Filtre à air • Canalisation de gasoil • Batterie 	MPC Révision de la conception des éléments et choix des surveillances particulières (maintenance préventive conditionnelle).

IV.7. Plan de maintenance préventive appliqué sur le GE

- ***Tous les jours***
 - Vérifier le niveau de liquide de refroidissement.
 - Contrôler le niveau d'huile de graissage.
 - Contrôler les indicateurs de colmatage des filtres à air et, au besoin, remplacer les éléments de filtre.
 - Vidanger la totalité de l'eau/des dépôts du filtre à carburant primaire.
 - Inspection visuelle des circuits du moteur.

- ***Toutes les 500 heures-service***
 - Renouveler l'huile de graissage et remplacer les filtres à huile de graissage.
 - Remplacer l'élément du filtre à carburant.
 - Nettoyer le filtre de reniflard du carter moteur.
 - Vérifier l'état et la tension de toutes les courroies d'entraînement.
 - Contrôler/remplacer les flexibles et colliers de liquide de refroidissement.
 - Vérifier que le refroidisseur d'admission d'air et le faisceau de radiateur sont propres.
 - Régler et contrôler le jeu des soupapes.

- ***Tous les 12 mois***
 - Vidanger et rincer le circuit de refroidissement et renouveler le liquide de refroidissement.
 - Contrôler les dispositifs de protection du moteur.
 - Contrôler les ancrages du moteur.
 - Contrôler les barres conductrices du rotor.
 - Contrôler les enroulements du stator.

- ***Toutes les 5000 heures-service***
 - S'assurer que les injecteurs de carburant sont contrôlés et réparés ou remplacés si nécessaire.

- ***Toutes les 7500 heures-service***
 - Contrôler le turbocompresseur.
 - Contrôler l'alternateur.
 - Contrôler le démarreur.
 - Contrôler la pompe à eau.

IV.8.Conclusion

L'analyse des modes de défaillances de leurs effets et de leurs criticité (**AMDEC**) nous a permis de détecter les anomalies qui peuvent survenir au niveau du groupes électrogènes.

Cette analyse nous a permis également d'évaluer le niveau de la criticité de chaque défaillance et d'orienter le choix du type de maintenance à adopter, aussi que l'amélioration de la disponibilité.

Durant cette étude nous avons constaté que la fréquence des pannes qui sollicitent les déferents éléments de notre équipement est faible dans l'ensemble, ceci nous conduit à conclure qu'il faut agir sur la gravité, en appliquant une maintenance préventive systématique ou conditionnelle, et en diminuant le coefficient de non détection en plaçant des dispositifs de surveillance.

L'exploitation de ces mesures et leurs résultats nous permet de déceler les signes d'anomalies, de mieux comprendre le comportement de l'équipement et donc sa meilleure exploitation.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire porte premièrement sur le fonctionnement des groupes électrogènes.

Après avoir déterminé les défaillances par l'exploitation de document historique on a décidé de faire une étude par la méthode AMDEC.

On a trouvé que la plupart des éléments de groupe ayant une criticité élevée et de ça on conclut que ce groupe est situé dans la période de vieillissement par l'étude de fiabilité a cause de la vieillesse de ces éléments.

L'utilisation de la méthode AMDEC nous a permis dans un premier temps de déterminer la criticité des différents organes. Cela permet une meilleure orientation sur les organes à privilégier lors des actions et interventions de maintenance afin d'élever le niveau de sureté de fonctionnement de notre groupe électrogène. On a également fait un classement de ces différents organes selon un niveau de criticité, de la fréquence et de la gravité des défaillances.

En exploitant tous les résultats obtenus, nous sommes arrivés à proposer un plan de maintenance effectué sur notre groupe électrogène, ce plan devrait permettre d'améliorer la sureté de fonctionnement et la disponibilité de notre groupe.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] : Caterpillar. Manuel entretien du moteur CAT 3506
- [2] : AFNOR (Association Française de Normalisation) (NFX60-010)
- [3] : Pascal Denis, Pierre Boy, Guide de la maintenance industrielle, France, 2008
- [4] : Chapouille. P et Pazzis. R- Fiabilité des systèmes- Edition MASSON 1968
- [5] : Riot Jaque, Guide de l'AMDEC machine, 1994.
- [6] : François Monchy. La fonction maintenance, Edition Masson, 1996.
- [7] : Jean-Luc Pallas. Entretien et réparation des moteurs diesel. Editions loisirs Nautiques, décembre 1991.
- [8] : Site internet de l'entreprise Caterpillar www.CAT.com11/03/2018
- [9] : Technique de l'ingénieur « site internet » 02/04/2018
- [10] : Revue technique Caterpillar. BergeratMonayeur.

Annexe

Annexe

Les tables numériques pour la détermination des coefficients A et B

β	A	B
0,20	120	1901
0,25	24	199
0,30	9,2605	50,08
0,35	5,0291	19,98
0,40	3,3234	10,44
0,45	2,4786	6,46
0,50	2	4,47
0,55	1,7024	3,35
0,60	1,5046	2,65
0,65	1,3663	2,18
0,70	1,2638	1,85
0,75	1,1906	1,61
0,80	1,1330	1,43
0,85	1,0880	1,29
0,90	1,0522	1,17
0,95	1,0234	1,08
1	1	1
1,05	0,9603	0,934
1,10	0,9649	0,878
1,15	0,9517	0,830
1,20	0,9407	0,787
1,25	0,9314	0,750
1,30	0,9236	0,716
1,35	0,9170	0,687
1,40	0,9114	0,660
1,45	0,9067	0,635

β	A	B
1,50	0,9027	0,613
1,55	0,8994	0,593
1,60	0,8966	0,574
1,65	0,8942	0,556
1,70	0,8922	0,540
1,75	0,8906	0,525
1,80	0,8893	0,511
1,85	0,8882	0,498
1,90	0,8874	0,486
1,95	0,8867	0,474
2	0,8862	0,463
2,1	0,8857	0,443
2,2	0,8856	0,425
2,3	0,8859	0,409
2,4	0,8865	0,393
2,5	0,8873	0,380
2,6	0,8882	0,367
2,7	0,8893	0,355
2,8	0,8905	0,344
2,9	0,8917	0,334
3	0,8930	0,325
3,1	0,8943	0,316
3,2	0,8957	0,307
3,3	0,8970	0,299
3,4	0,8984	0,292
3,5	0,8997	0,285
3,6	0,9011	0,278
3,7	0,9025	0,272
3,8	0,9038	0,266
3,9	0,9051	0,260

β	A	B
4	0,9064	0,254
4,1	0,9077	0,249
4,2	0,9089	0,244
4,3	0,9102	0,239
4,4	0,9114	0,235
4,5	0,9126	0,230
4,6	0,9137	0,226
4,7	0,9149	0,222
4,8	0,9160	0,218
4,9	0,9171	0,214
5	0,9182	0,210
5,1	0,9192	0,207
5,2	0,9202	0,203
5,3	0,9213	0,200
5,4	0,9222	0,197
5,5	0,9232	0,194
5,6	0,9241	0,191
5,7	0,9251	0,188
5,8	0,9260	0,185
5,9	0,9269	0,183
6	0,9277	0,180
6,1	0,9286	0,177
6,2	0,9294	0,175
6,3	0,9302	0,172
6,4	0,9310	0,170
6,5	0,9318	0,168
6,6	0,9325	0,166
6,7	0,9333	0,163
6,8	0,9340	0,161
6,9	0,9347	0,160