

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa



Faculté des Sciences et Technologies
Département d'automatique et électromécanique

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

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : maintenance industrielle

Par : ZAOUI Rostom

TOUMI Khoudir

Thème

**Etude De La Fiabilité D'un Groupe Electrogène
Par La Méthode De Weibull**

Soutenu publiquement le 30 /09 /2020

Devant le jury :

BAKKAR Belgacem	M C B	Université de Ghardaïa	Président
AKERMI Fouzi	M A A	Université de Ghardaïa	Examineur
MOUATS Sofiane	M A A	Université de Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2019/2020

Résumé

L'entretien joue un rôle important dans la continuité et la longévité des moyens (machines industrielles) et contribue à l'élaboration de stratégies visant à accroître l'efficacité et la productivité de la production.

Au cours de ce travail, nous avons amélioré la performance de la machine (groupe électrogène) à l'aéroport de Ghardaïa par une étude statistique des défauts de ce système, avec la proposition des solutions efficaces pour éviter ces défaillances plus tard, réduire la crise de cessation et augmenter la durée de vie de cette machine.

Mots clés

Maintenance, fiabilité, défaillance, disponibilité, Weibull.

ملخص

الصيانة تلعب دورا هاما في استمرارية وإطالة عمر الوسائل (الألات الصناعية), كما تساهم في تطوير استراتيجيات لزيادة كفاءة ومردودية الإنتاج.

خلال هذا العمل قمنا بتحسين أداء الآلة (المولد الكهربائي) في مطار غرداية عن طريق دراسة إحصائية لأعطاب هذا النظام, مع اقتراح حلول ناجعة لتفادي هذه الأعطاب لاحقا, وإنقاص أزمة التوقف وزيادة مدى حياة هذه الآلة.

الكلمات المفتاحية

الصيانة, الموثوقية, العطب, التوافر, Weibull.

Abstract

Maintenance plays an important role in the continuity and longevity of means (industrial machinery) and contributes to the development of strategies to increase the efficiency and productivity of production.

During this work, we improved the performance of the machine (generator set) at Ghardaïa airport by a statistical study the defects of this system, with the proposal of effective solutions to avoid these failures later, reduce the cessation crisis and increase the life of this machine.

Keywords

Maintenance, Reliability, Failure, Availability, Weibull.

Remerciements

*Louanges à Allah l'unique Créateur pour son soutien, sa
bénédiction et ses grâces*

*Que soient nos sincères remerciements et appréciations à ceux
qui ont contribué à la réalisation de ce travail.*

*Nos profondes gratitudee et reconnaissances sont exprimées à
notre encadreur Mr. MOUATS Sofiane pour son honnêteté et son
soutien qu'il nous avons accordé, ainsi à tous nos enseignants,
que la bénédiction de Dieu soit sur eux.*

*Merci beaucoup au chef service de maintenance, M. BABALI
Brahim, pour son humilité et son accueil, ainsi qu'à l'équipe
technique qui s'est tenue avec nous pendant la période de la
formation, en particulier Mr. GUEZOU Yacine.*



Dédicace

*Avant tout, je tien à remercies le bon dieu,
et l'unique qui m'offre le courage.*

*Et la volonté nécessaire pour affronter
les différentes de la vie,*

Je dédie ce modeste travail

A ma mère,

A mon père,

A mes frères et mes sœurs,

A toute ma famille,

A tous mes amis,

A mes amis et mes collègues de promo 2020

« MAINTENANCE INDUSTRIELLE »

ZAOUI Rostom



Dédicace

*Avant tout, je tien à remercies le bon dieu,
et l'unique qui m'offre le courage.*

*Et la volonté nécessaire pour affronter
les différentes de la vie,*

Je dédie ce modeste travail

A ma mère,

A mon père,

A mes frères et mes sœurs,

A toute ma famille,

A tous mes amis,

A mes amis et mes collègues de promo 2020

« MAINTENANCE INDUSTRIELLE »

TOUMI Khoudir




Table des matières

Table des matières	i
Liste des figures	v
Liste des tableaux.....	vi
Glossaire	vii
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE (ENNA)	
I.1. INTRODUCTION.....	3
I.2. HISTORIQUE	3
I.3. MISSION.....	3
I.4. ORGANISATION.....	5
I.5. LA CONTRIBUTION DE L'ETABLISSEMENT	5
I.6. LES DIFFERENTS SERVICES	6
I.6.1 SERVICE CIRCULATION AERIENNE	6
I.6.1.1. Tour de contrôle	6
I.6.1.2. Bureau d'information aéronautique	6
I.6.2 SERVICE SECURITE INCENDIE ET SAUVETAGE.....	6
I.6.3 SERVICE ADMINISTRATIF.....	6
I.6.4 SERVICE TECHNIQUE.....	7
I.6.5 SERVICE RADIONAVIGATION.....	7
I.6.6 SERVICE ENERGIE ET BALISAGE	7
CHAPITRE II : PESENTATION DE GROUPE ELECTROGENE (2H ENERGY 400KVA)	
II.1. INTRODUCTION	9
II.2. DEFINITION	9
II.3. IDENTIFICATION DU MOTEUR	10
II.4. VUES DU MOTEUR.....	11
II.4.1. EMBLACEMENT DES COMPOSANTS DU MOTEUR.....	11
II.4.1.1. Vues avant et latérale gauche du moteur (A).....	11
II.4.1.2. Vues arrière et latérale droite du moteur (B)	12
II.4.2. ALTERNATEUR.....	13
II.5. INSTRUCTIONS DE FONCTIONNEMENT.....	14
II.5.1. DEMARRAGE DU MOTEUR	14
II.5.1.1. Avant le démarrage du moteur.....	14
II.5.1.2. Procédure de démarrage.....	14
II.5.1.3. Démarrage à froid d'un moteur par basse température.....	15

II.5.1.4. Après le démarrage du moteur.....	15
II.5.2. ARRET D'URGENCE DU MOTEUR	16
II.5.3. PROCEDURE D'ARRET MANUEL	16
II.5.4. DIAGNOSTIC DU MOTEUR	16
II.5.4.1. Autodiagnostic	16
II.5.4.2. Mémorisation des anomalies	17
II.5.5. ENTRETIEN PREVENTIF.....	17
II.5.5.1. Intervalles de maintenance préventive.....	17
II.5.5.2. Maintenance programmée.....	17
II.5.6. CONTROLE VISUEL.....	18
II.6. CONCLUSION	20
CHAPITRE III : GENERALITE SUR LA MAINTENANCE	
III.1. INTRODUCTION	22
III.2. DEFINITION DE LA MAINTENANCE.....	22
III.3. HISTORIQUE ET EVOLUTION DE LA MAINTENANCE	23
III.4. LES OBJECTIFS DE LA MAINTENANCE.....	23
III.5. LA STRATEGIE DE MAINTENANCE.....	24
III.6. L'EVOLUTION DE LA MAINTENANCE	24
III.7. L'ORGANIGRAMME DE LA MAINTENANCE.....	25
III.8. LE SERVICE DE MAINTENANCE	25
III.8.1. LES FONCTIONS DU SERVICE MAINTENANCE	25
III.8.2. DOMAINES D'ACTION DE LA FONCTION MAINTENANCE	26
III.8.3. PLACE DU SERVICE MAINTENANCE DANS L'ENTREPRISE	27
III.8.4. SITUATIONS DE LA FONCTION MAINTENANCE AU SEIN DE L'ENTREPRISE.....	28
III.8.5. L'IMPORTANCE DE LA MAINTENANCE PAR RAPPORT A L'ACTIVITE DE L'ENTREPRISE.....	29
III.8.6. LE TECHNICIEN DE MAINTENANCE.....	29
III.8.7. LES ACTIVITES DE LA MAINTENANCE.....	30
III.8.8. LES TEMPS DE LA MAINTENANCE	31
III.9. MAINTENANCE PREVENTIVE	31
III.9.1. DEFINITION	31
III.9.1.1. La maintenance préventive.....	31
III.9.1.2. La maintenance préventive systématique	32
III.9.1.3. La maintenance préventive conditionnelle.....	32
III.9.1.4. La maintenance préventive prévisionnelle	32
III.9.2. LES AVANTAGES DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE.....	32
III.9.3. BUTS DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE	32
III.10. MAINTENANCE CORRECTIVE	33
III.10.1. DEFINITION	33

III.10.2. QUELQUES DEFINITION	33
III.10.2.1. La défaillance	33
III.10.2.2. La panne	33
III.10.2.3. Les causes de défaillance.....	33
III.10.2.4. Les modes de pannes	33
III.10.2.5. Le mécanisme de défaillance.....	33
III.10.3. CLASSIFICATION DES DEFAILLANCES.....	34
III.10.4. PROCESSUS D'EVOLUTION D'UNE DEFAILLANCE MECANIQUE	34
III.10.4.1. Initiation	34
III.10.4.2. Propagation.....	35
III.10.4.3. Rupture	35
III.10.5. OUTILS D'ANALYSE DES DEFAILLANCES.....	35
III.11. LA MAINTENANCE AMELIORATIVE	35
III.11.1. OBJECTIF DE MAINTENANCE AMELIORATIVE	35
III.11.2. OPERATION DE MAINTENANCE AMELIORATIVE.....	36
III.11.2.1. Rénovation.....	36
III.11.2.2. Reconstruction.....	36
III.11.2.3. Modernisation.....	36
III.12. CONCLUSION.....	36
CHAPITRE IV : NOTION SUR L'ANALYSE DE FMD	
IV.1. INTRODUCTION	38
IV.2. ETUDE DE FIABILITE.....	38
IV.2.1. DEFINITION	38
IV.2.2. OBJECTIF.....	39
IV.2.3. INDICATEURS DE FIABILITE (λ) ET (MTBF).....	39
IV.2.4. PRINCIPALES LOIS DE PROBABILITE UTILISEES EN FIABILITE.....	40
IV.2.4.1. La loi exponentielle	40
IV.2.4.2. Loi normale	40
IV.2.4.3. Loi de Weibull.....	41
IV.2.5. ESTIMATION DES PARAMETRES DE LA LOI DE WEIBULL	42
I.3. MAINTENABILITE	43
IV.3.1. DEFINITION	43
IV.3.2. LA FONCTION DE MAINTENABILITE	44
IV.3.3. OBSERVATIONS	44
IV.3.4. MAINTENABILITE ET MAINTENANCE	45
IV.4. DISPONIBILITE.....	45
IV.4.1.1DEFINITION	45
IV.4.2. LES TYPE DE DISPONIBILITE.....	45
IV.4.2.1. Disponibilité intrinsèque	45
IV.4.2.2. Disponibilité instantanée	45

IV.5. TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV	46
IV.6. CONCLUSION	47
CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE DE L'ANALYSE FMD DU GROUPE ELECTROGENE	
V.1. INTRODUCTION	49
V.2. HISTORIQUE DES PANNES	49
V.3. CALCUL DES PARAMETRES DE WEIBULL :	50
V.3.1. LA COURBE DE WEIBULL	51
V.3.2. TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV	51
V.3.3. EXPLOITATION LES PARAMETRES DE WEIBULL.....	52
V.3.3.1. Calcule de $R(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ et $F(t)$ lorsque $t = \text{MTBF}$	52
V.3.3.2. Calcul de $F(t)$, $f(t)$, $R(t)$ et $\lambda(t)$	53
V.3.3.3. Représentation graphique des fonctions précédentes	54
V.4. LA MAINTENABILITE	56
V.5. LA DISPONIBILITE.....	57
V.5.1. DISPONIBILITE INTRINSEQUE THEORIQUE	57
V.5.2. DISPONIBILITE INSTANTANEE	57
V.6. CONCLUSION.....	59
CONCLUSION GENERALE	60

LISTE DES FIGURES**CHAPITRE I**

Figure I.1 : Organigramme de l'ENNA.....	5
---	---

CHAPITRE II

Figure II.1 : groupe électrogène 2H ENERGY	9
---	---

Figure II.2 : schéma d'un moteur diesel.....	11
---	----

Figure II.3 : Vues avant et latérale gauche du moteur	12
--	----

Figure II.4 : Vues arrière et latérale droite du moteur.....	13
---	----

CHAPITRE III

Figure III.1 : Principaux milieux influant sur la maintenance	24
--	----

Figure III.2 : L'organigramme de maintenance	25
---	----

Figure III.3 : Les services de maintenance dans l'entreprise	27
---	----

Figure III.4 : Les temps de maintenance.....	31
---	----

CHAPITRE IV

Figure IV.1 : La courbe de taux de défaillance d'un système.....	41
---	----

Figure IV.2 : Courbe en baignoire.....	42
---	----

Figure IV.3 : Composant de la disponibilité	46
--	----

Figure IV.4 : Chaînage temporel des activités	47
--	----

CHAPITRE V

Figure V.1 : La courbe de Weibull (minitab16)	52
--	----

Figure V.2 : Probabilité de défaillance en fonction de TBF.....	55
--	----

Figure V.3 : Fiabilité en fonction de TBF	56
--	----

Figure V.4 : Densité de probabilité en fonction de TBF	56
---	----

Figure V.5 : Taux de défaillance en fonction de TBF	57
--	----

Figure V.6 : Maintenabilité en fonction de TBF	58
---	----

Figure V.7 : Disponibilité instantanée en fonction de TBF.....	59
---	----

LISTE DES TABLEAUX**CHAPITRE I**

Tableau I.1 : l'implantation de la piste d'atterrissage	7
Tableau I.2 : La piste d'atterrissage	7

CHAPITRE II

Tableau II.1 : Exemple typique d'un numéro de série de moteur.....	10
Tableau II.2 : Caractéristiques du moteur.....	10
Tableau II.3 : Exemples de maintenance programmée	18

CHAPITRE III

Tableau III.1 : Classification des défaillances	34
Tableau III.2 : Méthodes d'analyse de défaillance	35

CHAPITRE IV

Tableau IV.1 : La maintenabilité d'un équipement	45
---	----

CHAPITRE V

Tableau V.1 : Historique des pannes de groupe électrogène 2H ENERGY	50
Tableau V.2 : Résultats du calcul des ranges médians	51
Tableau V.3 : La différence entre la fonction de répartition réelle et théorique	53
Tableau V.4 : Résultats du calcul de $F(t)$, $f(t)$, $R(t)$ et $\lambda(t)$	54
Tableau V.5 : Résultats du calcul de $M(t)$	57
Tableau V.6 : Résultats du calcul de $D(t)$	59

ABREVIATION

ENNA : Etablissement Nationale de la Navigation Aérienne

EPIC : Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial

OGSA : Organisation de Gestion et de Sécurité Aéronautique

ONAM : Office de la Navigation Aérienne et de la Météorologie

ENEMA : Etablissement National pour l'Exploitation Météorologique et Aéronautique

ENESA : Entreprise Nationale d'Exploitation et de Sécurité Aéronautique

NDB : Balise Non Directionnelle

CAP : Consolidated Appeal Process

DME : Distance Measuring Equipment

VOR : VHF Omnidirectional Range

VHF : Very High Frequency

ILS : Instrument Landing System

ECM : Module de commande électronique

EST : Electronic Service Tool

AVR : Automatic voltage regulator

TPM : Total Productive Maintenance

TRS : Taux de Rendement Synthétique

TPM : Total Productive Maintenance

TRS : Taux de Tendement Synthétique

TBF : Temps de bon fonctionnement

TTR : Le temps mis pour réparer le système

MTTR : mean time to repair

MTBF : Moyenne de temps de bon fonctionnement

FMD : Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité.

MTTA : Moyenne des Temps Techniques d'Arrêt

TTA : Temps Techniques d'Arrêt

MDT : Mean Down Time

MTTF : mean time to failure

Di : Disponibilité intrinsèque

Dn : La différence de test de Kolmogorov Smirnov

INTRODUCTION GENERALE

La maintenance des systèmes électromécaniques est obligatoire à appliquer pour minimiser le temps de panne, améliorer le temps de bon fonctionnement de ces systèmes et leurs profits économiques, elle est considérée comme une meilleure solution aux secteurs industriels pour minimiser les dépenses de défauts de ces derniers à partir de la réduction de probabilité de défaillance. Le niveau de la sûreté de fonctionnement peut améliorer par l'optimisation d'un ensemble des paramètres tel que la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité.

La maintenance optimale des systèmes électromécanique a une importance indispensable pour assurer une production continue et augmenter la durée de vie de ces systèmes.

Dans notre travail, on va évaluer et améliorer les paramètres de la sûreté de fonctionnement d'un groupe électrogène, pour atteindre cet objectif, notre mémoire est structuré en cinq chapitres :

- Dans le premier chapitre, on présentera la société ENNA de l'aéroport MOFDI ZAKARIA à GHARDAIA.
 - Dans le deuxième chapitre, nous allons présenter une étude générale sur le principe de fonctionnement du groupe électrogène et ses composants principaux.
 - Dans le troisième chapitre, nous allons présenter les concepts de base de maintenance telle que les types de maintenance, leur objectif, leur activités et leur importance.
 - Dans le quatrième chapitre, on va étudier la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité et leurs lois de calculs.
 - Dans le cinquième chapitre, nous allons appliquer l'analyse FMD sur notre système pour évaluer les paramètres de la sûreté de fonctionnement puis on améliorera ces paramètres.
- Finalement, nous avons proposé une solution pour augmenter la durée de vie du système grâce aux résultats obtenus.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE (ENNA)

I.1. Introduction

L'établissement national de la navigation aérienne (ENNA) a été créé en 1991 après réaménagement des statuts de l'Entreprise Nationale d'Exploitation de la Sécurité Aéronautique, transformé en sa nature juridique en établissement public à caractère industrielle et commercial (EPIC) doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. L'établissement est réputé commerçant dans ses relations avec les tiers soumis aux règles de droit commerciale et il est placé sous la tutelle du ministère du transport. [1]

I.2. Historique

Depuis l'indépendance, cinq organismes ont été chargés de la gestion, de l'exploitation et du développement de la navigation aérienne en Algérie : OGSA, ONAM, ENEMA, ENESA, ENNA.

De 1962 à 1968 c'est l'Organisation de Gestion et de Sécurité Aéronautique (OGSA), organisme Algéro-Français, qui a géré l'ensemble des services d'Exploitation de l'Aviation Civile en Algérie.

Le 1 Janvier 1968, l'OGSA a été remplacé par l'Office de la Navigation Aérienne et de la Météorologie (ONAM). Ce dernier a été remplacé, en 1969, par l'Etablissement National pour l'Exploitation Météorologique et Aéronautique (ENEMA) qui a géré la navigation aérienne jusqu'à 1983.

En 1975, les activités de météorologie ont été transférées à l'Office National de Météorologie créé le 29 Avril 1975, sous forme d'Etablissement Public à caractère administratif.

Le décret N°83.311 du 07/05/1983 a réaménagé les structures de L'ENEMA et modifié sa dénomination pour devenir ENESA « Entreprise Nationale d'Exploitation et de Sécurité Aéronautique » avec statut d'entreprise nationale à caractère économique.

Afin de clarifier les attributions de l'ENESA, il a été procédé aux réaménagements de ses statuts ainsi qu'au changement de dénomination en « ENNA » par décret exécutif N° 91-149 du 18 mai 1991. [2]

I.3. Mission

Conformément au décret exécutif N° 91-149 du 18 mai 1991 portant réaménagement des statuts de l'Entreprise Nationale d'Exploitation et de Sécurité Aéronautiques (E.N.E.S.A.) et dénomination nouvelle: Établissement National de la Navigation Aérienne, l'ENNA est un

Établissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC) placé sous la tutelle du Ministère des Transports.

Ses principales missions sont :

Chargé d'assurer le service public de la sécurité de la navigation aérienne pour le compte et au nom de l'état.

La mise en œuvre de la politique nationale dans le domaine de la sécurité de la navigation aérienne en coordination avec les autorités concernées et institutions intéressées.

Veille au respect de la réglementation des procédures et des normes techniques relatives à la circulation en vol et au sol des aéronefs et à l'implantation des aérodromes et aux installations relevant de sa mission.

Dans le cadre de sa mission elle participe à l'élaboration des schémas directeurs et aux plans d'urgence des aérodromes, établit les plans, en coordination avec les autorités concernées, les plans de servitudes aéronautiques et radioélectriques et il veille à leur application.

Assure l'installation et la maintenance des moyens de télécommunication, de radionavigation, l'aide à l'atterrissage, des aides visuelles et des équipements d'annexes.

Le contrôle de la circulation aérienne pour l'ensemble des aéronefs évoluant dans son espace aérien qu'ils soient en survol, à l'arrivée sur les aérodromes, nationaux ou au départ de ces derniers.

La sécurité de la navigation aérienne dans l'espace aérien national ou relevant de la compétence de l'Algérie ainsi que sur et aux abords des aérodromes ouverts à la CAP.

L'information aéronautique en vol et au sol et la diffusion des informations météorologiques nécessaire à la navigation aérienne.

Assurer le service de sauvetage et de lutte contre incendies sur les plates-formes aéroportuaires.

Le respect de la réglementation, procédures et normes techniques relatives à la circulation aérienne, à l'implantation des aérodromes, aux installations et équipements relevant de sa mission.

Contribue à l'effort du développement en matière de recherches appliquées dans les techniques de la navigation aérienne.

Concentration, diffusion ou retransmission au plan international des messages d'intérêt aéronautique ou météorologique.

Le calibrage des moyens de communication de radionavigation et de surveillance au moyen de l'avion laboratoire. [2]

I.4. Organisation

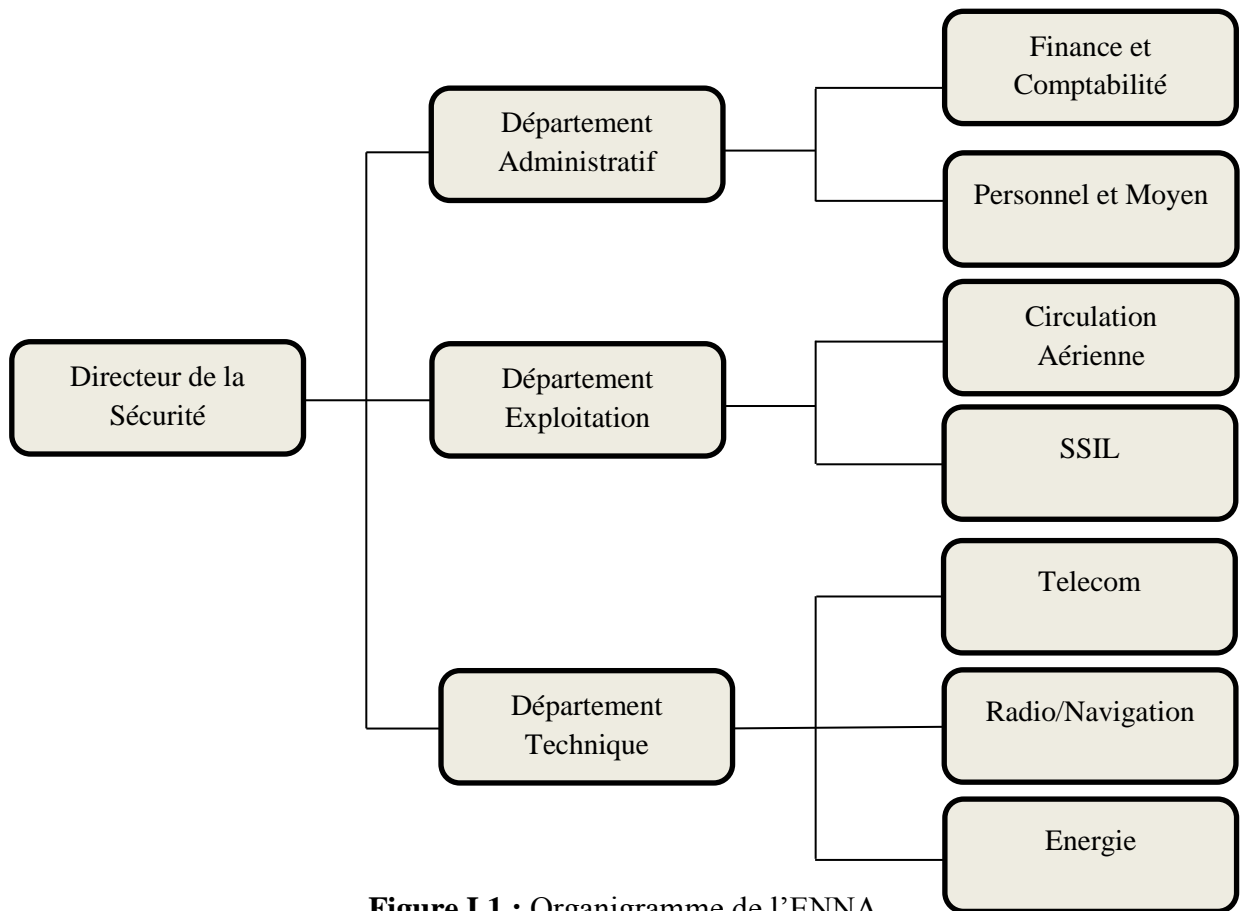


Figure I.1 : Organigramme de l'ENNA

L'ENNA est organisée en cinq directions opérationnelles :

- Direction du développement de la navigation aérienne.
- Direction de l'exploitation de la navigation aérienne.
- Direction technique de la navigation aérienne.
- Direction de la logistique.
- Centre de qualification, de recyclage et d'expérimentation de la navigation aérienne.

L'ENNA gère onze aéroports algériens internationaux et vingt-cinq aéroports nationaux.

I.5. La contribution de l'établissement

L'établissement national de la navigation aérienne contribue à l'effort de développement en matière de recherche appliquée dans les techniques de la navigation aérienne et participe au lancement des opérations de recherche et de sauvetage et les actions de prévention en matière de sécurité, avec les autorités concernées. Dans le cadre de sa mission, il participe à

l'élaboration des schémas directeurs, le plan de servitudes aéronautiques, plan d'urgences des aérodromes et plan radioélectriques et veille à leur application. [1]

I.6. Les différents services [1]

La direction ENNA Ghardaïa est implantée du niveau aérodrome représenté par un directeur de sécurité aéronautique avec des services répartis comme suit :

I.6.1 Service circulation aérienne

I.6.1.1. Tour de contrôle

La tour de contrôle est l'organe le plus visible de toute la chaîne dédiée au contrôle aérien. C'est à partir d'elle que les « contrôleurs du ciel » opèrent pour guider les avions dans les phases du vol liées au survol de l'aéroport.

Instruction pour les phases finales d'approche et délivrance de l'autorisation d'atterrir, délivrance de l'autorisation de décollage et instruction pour rejoindre le couloir aérien défini dans le plan de vol de l'avion. La tour de contrôle est placée de manière à pouvoir suivre visuellement les évolutions des avions sur les voies de circulation et sur les pistes, c'est elle qui gère, en fonction des conditions météorologiques, le choix des pistes à utiliser et l'activation de balisage lumineux au sol.

I.6.1.2. Bureau d'information aéronautique

Le bureau d'information traite les plans de vol, gestion et la publication de l'information aéronautique, la diffusion des messages d'urgence liée à la sécurité aéronautique et le contrôle des documents pour le personnel navigants.

I.6.2 Service sécurité incendie et sauvetage

Le service assure la lutte contre les incendies au sein de l'aérodrome, le secours et le sauvetage des passagers en cas d'incendie dans un avion.

I.6.3 Service administratif

Le service est assuré par le directeur et l'assistant de direction.

Il se charge de la gestion de personnel et des moyens finance et comptabilité, œuvres sociales, contentieux, projets et redevance aéronautique sur les différents atterrissages, il rend compte périodiquement de la situation à la direction générale dont le siège se trouve à ALGER.

I.6.4 Service Technique

Il comprend à son tour trois services à savoir le service radionavigation ; service télécom et le service énergie et balisage.

I.6.5 Service Radionavigation

Est assuré par des électroniciens sécurité aérienne, leur mission est l'installation des équipements de radionavigation télécommunications et veiller à leur bon fonctionnements.

La radionavigation est assuré par un équipement spécifique dont :

- Balise non directionnelle (non Directionnel Bacon) NDB
- Very high frequency unidirectional range (VOR) (alignement omnidirectionnel (VHF)).
- Distance measuring Equipment (DME) : équipement de mesure de distance.
- Instrument landing system (ILS) système d'aide à l'atterrissage aux instruments.
- Dipôle de champs.

I.6.6 Service Energie et Balisage

Le service est assuré par des électrotechniciens sécurité aérienne, leur mission est l'installation et la maintenance de tous les équipements d'énergie et balisages lumineux aéroportuaire et ils veillent au bon fonctionnement et à la continuité du service en cas de coupure d'énergie électrique.

Tableau I.1 : l'implantation de la piste d'atterrissage

Pays	Ville	Coordonnées	altitude
Algérie	Ghardaïa	32° 22'54'' Nord 3° 47'58'' Est	461 m (1512 ft)

Tableau I.2 : La piste d'atterrissage

PISTE				
	Direction	Longueur	Largeur	Surface
Principale	120° 300°	3100m	60 m	Béton bitumineux
Secondaire	180° 360°	2400 m	45 m	

**CHAPITRE II : PESENTATION
DE GROUPE ELECTROGENE
(2H ENERGY 400KVA)**

II.1. Introduction

Depuis la découverte des forces électromagnétiques jusqu'à l'invention des systèmes de distribution de l'énergie électrique, les technologies ont évolué avec comme point central l'élaboration de machines de plus en plus complexes reposant sur l'utilisation du courant électrique. Maintenant que cette énergie est devenue un des vecteurs de croissance économique et industrielle les plus importants, il est primordial d'assurer sa production continue.

Les réseaux publics ne sont pas toujours capables de supporter les intensités électriques nécessaires au fonctionnement de la multitude d'entreprises reposant sur cette énergie pour la pérennité de leur activité. Pour pallier les éventuelles insuffisances et défaillances occasionnelles des réseaux publics, les groupes électrogènes constituant des sources d'énergie électrique mobiles, ont été développés et perfectionnés. [3]



Figure II.1 : groupe électrogène 2H ENERGY

II.2. Définition

Un groupe électrogène 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. Le groupe électrogène permet d'atteindre des puissances et des durées de fonctionnement importantes.

En plus de son application comme source de remplacement, le groupe électrogène offre des possibilités d'utilisation dans différents domaines.

Le groupe électrogène fonctionne avec toutes sortes de carburant, les plus utilisés sont : l'essence, le gasoil, le gaz naturel, les biocarburants. [3]

II.3. Identification du moteur

Pour commander des pièces détachées, réserver des opérations de maintenance ou obtenir des informations, il est nécessaire de préciser le numéro de série complet du moteur. Le numéro de série est frappé sur une plaquette apposée sur le côté droit du moteur. [4]

Exemple typique d'un numéro de série de moteur : HGB060125U 1103J. Il est constitué des codes suivants :

Tableau II.1 : Exemple typique d'un numéro de série de moteur

H	Code de cylindrée du moteur
G	Utilisation prévue
B	Type de moteur
06	Nombre de cylindres
0125	Numéro de spécification du moteur
U	Pays de fabrication
1103	Numéro de la ligne d'assemblage
J	Année de fabrication

Tableau II.2 : Caractéristiques du moteur

Nombre de cylindres	8
Disposition des cylindres	en v
Cycle	Quatre temps
Système d'admission	Suralimenté
Système de combustion	Injection directe
Alésage nominal	140 mm (5.512")
Course nominale	171 mm (6.732")
Rapport volumétrique	16: 1
Cylindrée volumétrique	15,8 litres (964.18"3)
Ordre d'allumage	1,8,4,3,6,5,7,2

Sens de rotation	En sens inverse horaire face au volant
Capacité d'huile lubrifiante	
Système total	68 litres (120 RU pinte)
Niveau maximum carter	60 litres (106 RU pinte)
Niveau minimum carter	45 litres (79 RU pinte)
Pression de l'huile lubrifiante	
Au régime nominal	4,5 bars
Capacité typique du système de refroidissement moteur	20,8 litres (4.6 RU gal.)
Capacité typique du radiateur moteur	50 litres (11 RU gal.)

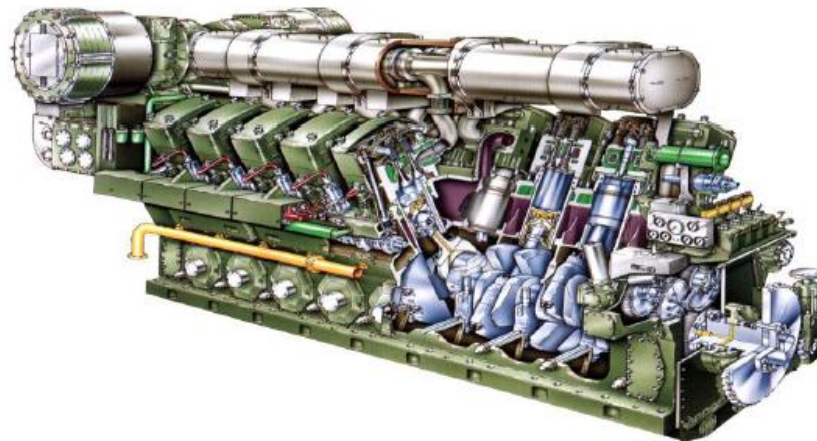


Figure II.2 : schéma d'un moteur diesel

II.4. Vues du moteur [4]

Les moteurs Perkins sont fabriqués pour des applications spécifiques et les vues suivantes ne correspondent pas forcément aux caractéristiques techniques de votre moteur.

II.4.1. Emplacement des composants du moteur

II.4.1.1. Vues avant et latérale gauche du moteur (A)

- 1 Radiateur
- 2 Bouchon de remplissage du radiateur
- 3 Capteur de vitesse/synchronisation
- 4 Pompe d'amorçage manuelle
- 5 Couvercle du boîtier des culbuteurs
- 6 Démarreur

7 Module de commande électronique (ECM)

8 Plot de terre

9 Bouchon de vidange du carter à huile

10 Filtre à carburant secondaire

11 Filtre à carburant principal

12 Capteur de vitesse/synchronisation

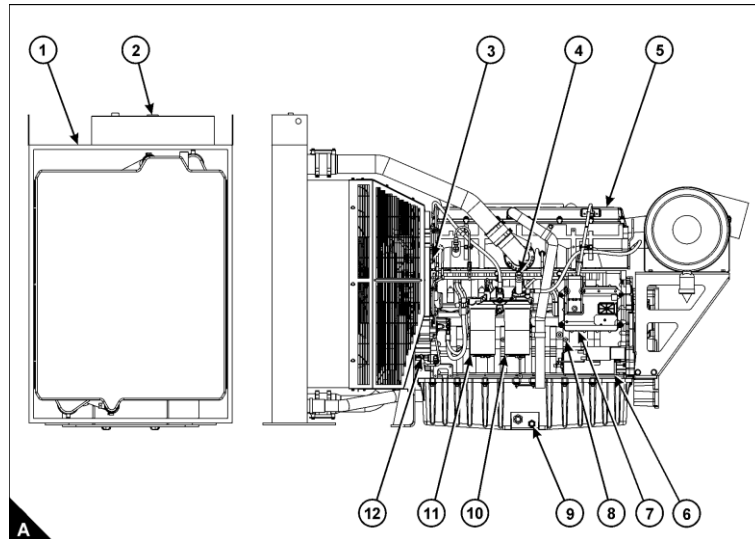


Figure II.3 : Vues avant et latérale gauche du moteur

II.4.1.2. Vues arrière et latérale droite du moteur (B)

1 Radiateur

2 Indicateur d'encrassement du filtre

3 Filtre à air

4 Turbocompresseur

5 Collecteur d'échappement

6 Bouchon de remplissage huile lubrifiante

7 Logement du thermostat

8 Jauge

9 Filtre à huile lubrifiante

10 Bouchon de vidange du carter à huile

11 Carter du volant

12 Volant

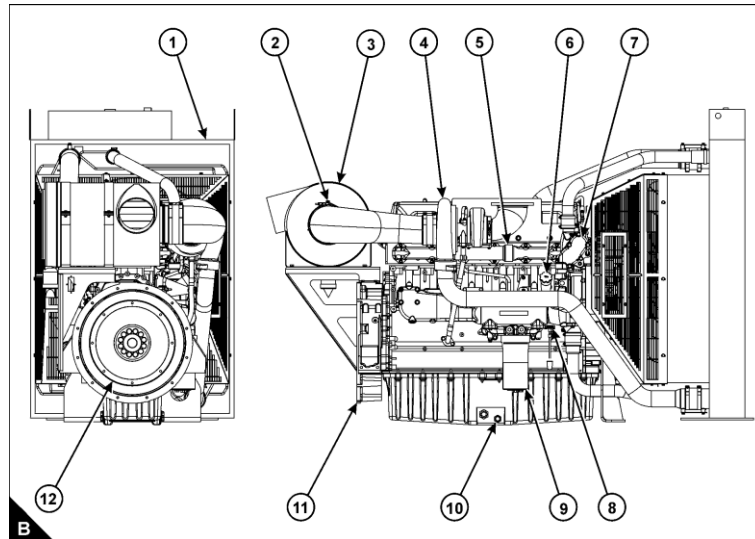


Figure II.4 : Vues arrière et latérale droite du moteur

II.4.2. Alternateur

L'alternateur est une machine synchrone à courant alternatif, sans balai.

Son système d'excitation est constitué de 2 ensembles :

L'induit d'excitateur : il génère un courant triphasé associé avec le pont redresseur triphasé (qui est constitué de six diodes) fournit le courant d'excitation à la roue polaire de l'alternateur. L'induit de l'excitation et le pont redresseur sont montés sur l'arbre de l'alternateur et sont électriquement interconnectés avec la roue polaire de la machine.

L'inducteur de l'excitateur : « stator » est alimenté en courant continu par le système de régulation de tension AVR.

Sous-ensembles

* **Stator :** comprend des tôles magnétiques acier à faibles pertes, assemblées sous pression. Les tôles magnétiques sont bloquées axialement par un anneau soudé. Les bobines du stator sont insérées et bloquées dans les encoches puis imprégnées de vernis et polymérisées.

L'inducteur d'excitateur comprend un élément massif et un bobinage.

Le système d'excitation est fixé sur le palier arrière de la machine. Le bobinage est constitué de fils de cuivre.

* **Rotor :** la roue polaire comprend un paquet de tôles d'acier, découpées et frappées pour reproduire le profil des pôles saillants. L'empilage des tôles est terminé par des tôles de grande conductivité électrique.

II.5. Instructions de fonctionnement [4]

II.5.1. Démarrage du moteur

II.5.1.1. Avant le démarrage du moteur

Avant le démarrage du moteur, exécuter les opérations de maintenance journalières et périodiques.

- Vérifier l'alimentation en carburant. Vidanger l'eau du séparateur. Ouvrir la soupape d'alimentation en carburant.
- Ne démarrer le moteur ni actionner les commandes si l'avertissement "NE PAS METTRE EN MARCHE" figure à côté du contacteur d'allumage ou des commandes.
- Veiller à ce que les zones autour des parties mobiles soient dégagées. .
- Réinitialiser tous les dispositifs d'arrêt ou les composants d'alarme.
- Vérifier le niveau de l'huile lubrifiante du moteur. Vérifier que le niveau d'huile est compris entre les repères "L"(mini) et "H"(maxi), gravés sur la jauge de niveau.
- Vérifier le niveau du liquide de refroidissement. Le niveau du liquide de refroidissement doit toujours se trouver à 13 mm au maximum du fond de la goulotte de remplissage. Si le moteur est pourvu d'un regard, le niveau du liquide de refroidissement doit toujours être visible à travers ledit regard.
- Vérifier l'indicateur d'encrassement du filtre à air. Si le témoin de signalisation rouge devient visible à travers la fenêtre transparente après avoir coupé le moteur, il est nécessaire de remplacer l'élément filtrant du filtre à air.
- S'assurer que tous les équipements entraînés ont été débranchés. Débrancher toutes les charges électriques.

II.5.1.2. Procédure de démarrage

Cette procédure de démarrage peut être utilisée pour tous les moteurs dépourvus de réchauffeur de l'air d'admission.

Pour les types de commandes disponibles, se reporter au Manuel d'Entretien livré avec la machine. Respecter la procédure suivante pour le démarrage du moteur :

- 1- Mettre le contacteur d'allumage sur ON (contact). Si une anomalie est signalée par un témoin sur le tableau de bord, en rechercher la cause. Si nécessaire, utiliser le testeur électronique.
- 2- Appuyer sur le bouton de démarrage ou déplacer le contacteur d'allumage sur START pour faire tourner le moteur.

3- Si le moteur ne démarre pas dans les 30 secondes, relâcher le bouton ou le contacteur d'allumage. Avant de retenter, attendre 30 secondes supplémentaires pour permettre le refroidissement du démarreur.

4- Si possible, laisser le moteur tourner à vide durant environ trois minutes. Faire tourner le moteur à vide jusqu'à ce que la température de l'eau commence d'augmenter. Vérifier toutes les jauges pendant la phase de chauffage.

II.5.1.3. Démarrage à froid d'un moteur par basse température

Pour les types de commandes disponibles, se reporter au Manuel d'Entretien livré avec la machine. Pour le démarrage du moteur, procéder comme suit.

1- Mettre le contacteur d'allumage sur ON (contact). Si une anomalie est signalée par un témoin sur le tableau de bord, en rechercher la cause. Si nécessaire, utiliser le testeur électronique Perkins, EST.

2- Appuyer sur le bouton de démarrage ou déplacer le contacteur d'allumage sur START pour faire tourner le moteur.

3- Si le moteur ne démarre pas dans les 30 secondes, relâcher le bouton ou le contacteur d'allumage. Avant de retenter, attendre 30 secondes supplémentaires pour permettre le refroidissement du démarreur. Répéter cette opération à trois reprises au maximum ; si le moteur ne démarre pas, en rechercher la cause.

4- Une anomalie du système peut être également signalée après le démarrage du moteur. Cela indique que l'ECM a identifié un problème au niveau du système. Rechercher la cause, en utilisant éventuellement le testeur Perkins EST. Pour plus d'informations sur le diagnostic des anomalies du moteur, se reporter au Manuel de Diagnostic.

5- Si possible, laisser le moteur tourner à vide durant environ trois minutes. Faire tourner le moteur à vide jusqu'à ce que la température de l'eau commence d'augmenter. Vérifier toutes les jauges pendant la phase de chauffage.

II.5.1.4. Après le démarrage du moteur

1- Vérifier toutes les jauges pendant la phase de chauffage.

2- Exécuter un autre tour d'inspection. Vérifier l'absence de fuites de liquides ou d'air au niveau du moteur.

II.5.2. Arrêt d'urgence du moteur

Attention : Les commandes d'arrêt d'urgence du moteur doivent être EXCLUSIVEMENT utilisées en cas D'URGENCE. NE PAS utiliser les dispositifs et les commandes d'urgence dans la procédure normale d'arrêt du moteur.

Après l'arrêt du moteur, s'assurer que tous les composants du système extérieur de support au fonctionnement du moteur sont solidement fixés.

II.5.3. Procédure d'arrêt manuel

Les différentes applications comportent des systèmes de commande spécifiques. S'assurer que les procédures d'arrêt du moteur ont été bien comprises. Pour l'arrêt du moteur, respecter les prescriptions générales suivantes:

- 1- Faire tourner le moteur à vide durant cinq minutes pour le refroidir.
- 2- Une fois le moteur refroidi, mettre le contacteur d'allumage sur OFF (pas de contact).

II.5.4. Diagnostic du moteur

II.5.4.1. Autodiagnostic

Les moteurs électroniques Perkins sont en mesure d'exécuter un test d'autodiagnostic. Les codes de diagnostic sont mémorisés dans le module de commande électronique (ECM) et peuvent être rappelés à l'aide du testeur électronique EST de Perkins. Les codes de diagnostic sont énumérés dans le tableau au point "Codes de diagnostic" sur (**Annexe 3**)

Certaines installations sont équipées d'afficheurs électroniques pour la visualisation directe des codes de diagnostic. Pour plus d'informations sur les codes de diagnostic, se reporter au Manuel livré avec la machine.

Les codes actifs, signalés par des témoins ou des dispositifs semblables (suivant l'application), représentent des anomalies existantes. La cause de ces anomalies doit être recherchée en première.

Les codes enregistrés représentent:

- Des anomalies intermittentes.
- Des événements mémorisés.
- L'historique des performances.

Il se peut que l'anomalie ait déjà été éliminée lorsque le code est enregistré. Ces codes n'indiquent pas la nécessité d'exécuter une réparation ; ils signalent simplement l'existence d'une certaine situation. Les codes peuvent s'avérer utiles dans le diagnostic des anomalies.

Une fois les anomalies éliminées, les codes enregistrés correspondants doivent être effacés, dans la mesure du possible.

Utiliser le testeur EST de Perkins pour déterminer le code de diagnostic.

II.5.4.2. Mémorisation des anomalies

Le système permet d'enregistrer les anomalies. Lorsque le module de commande électronique (ECM) génère un code de diagnostic, celui-ci est stocké dans la mémoire de l'ECM. Les codes mémorisés peuvent être rappelés à l'aide du testeur électronique Perkins. Les codes mémorisés peuvent être effacés à l'aide de ce même testeur électronique. Les codes mémorisés dans l'ECM sont automatiquement effacés au bout de 100 heures. Si le moteur fonctionne en mode protection contre les sursrégimes, les événements de basse pression du moteur et de haute température du liquide de refroidissement ne peuvent être annulés sans le mot de passe du constructeur.

II.5.5. Entretien préventif

II.5.5.1. Intervalles de maintenance préventive

Les intervalles de maintenance préventive s'appliquent à des conditions d'utilisation moyennes. Vérifier les intervalles prescrits par le constructeur de la machine sur laquelle le moteur est installé. Respecter les intervalles les plus courts. Lorsque l'utilisation du moteur doit se conformer à des normes locales, il se peut que ces intervalles et ces procédures doivent être adaptés pour assurer un fonctionnement correct du moteur.

Dans le cadre de la maintenance préventive, il est conseillé de vérifier l'absence de fuites ainsi que le serrage correct des fixations lors de chaque intervention.

Ces intervalles de maintenance s'appliquent uniquement aux moteurs utilisés avec un carburant et des lubrifiants conformes aux prescriptions ci-contenues.

III.5.5.2. Maintenance programmée

Les opérations suivantes doivent être exécutées selon l'intervalle (heures ou mois) le plus court.

A : Journalier.

B : Toutes les 250 heures ou tous les 12 mois.

C : Toutes les 500 heures ou tous les 12 mois.

D : Tous les 12 mois.

E : Toutes les 1000 heures ou tous les 24 mois.

F : Toutes les 3000 heures ou tous les 24 mois.

G : Toutes les 5 000 heures.

Tableau II.3 : Exemples de maintenance programmée

A	B	C	D	E	F	G	Opération
*							Vérifier la quantité de liquide de refroidissement
*							Vérifier le témoin d'encrassement du filtre
*							Vérifier la quantité d'huile lubrifiante présente dans le carter
*							Vidanger l'eau/les sédiments du filtre à carburant principal
*							Contrôle visuel
	*						Vérifier le niveau de l'électrolyte dans la batterie
	*						Vidanger l'eau/les sédiments du réservoir à carburant
		*					Exécuter la vérification de diagnostic
		*					Remplacer l'élément filtrant du filtre principal
		*					Remplacer l'élément filtrant du filtre secondaire
		*					Vérifier la densité et le pH du liquide de refroidissement
		*					Vidanger l'huile lubrifiante du moteur
		*					Remplacer l'élément filtrant du filtre à huile
		*					Examiner/régler/remplacer les courroies de l'alternateur/ventilateur
		*					Examiner l'amortisseur de vibrations du vilebrequin
		*					Examiner/nettoyer/serrer le plot de terre
		*					Examiner/remplacer les flexibles du liquide de refroidissement et d'air et leurs colliers de serrage.
		*					Examiner et, si nécessaire, nettoyer l'extérieur du radiateur/échangeur
		*					Examiner les fixations du moteur
			*				Vidanger et laver le système de refroidissement, puis remplacer le liquide
				*			Vérifier/régler les jeux aux poussoirs et les injecteurs électroniques
					*		Vérifier les dispositifs de protection du moteur
					*		Remplacer les thermostats du système de refroidissement
					*		Vérifier/nettoyer/régler les capteurs de régime/synchronisation moteur
					*		Examiner le turbocompresseur
						*	Examiner l'alternateur de recharge de la batterie
						*	Examiner le démarreur
						*	Examiner la pompe du liquide de refroidissement moteur

II.5.6. Contrôle visuel

Un examen visuel ne requiert que quelques minutes et peut éviter des réparations onéreuses ou des accidents.

- Pour optimiser la longévité du moteur, en examiner le compartiment avant le démarrage. Vérifier l'éventuelle présence de fuites d'huile ou de liquide de refroidissement, de fixations desserrées, de courroies usées ou de raccords desserrés. Effectuer les réparations nécessaires.

- Toutes les protections doivent être en place. Réparer/remplacer les protections endommagées/ manquantes.
- Nettoyer tous les bouchons avant d'intervenir sur le moteur, afin de minimiser les risques de pollution.
- En cas de fuite (liquide de refroidissement, huile lubrifiante, carburant), essuyer immédiatement le fluide répandu. Si l'on détecte une fuite, en identifier la cause et l'éliminer. Si l'on suspecte la présence d'une fuite, vérifier souvent les niveaux des liquides afin de localiser et éliminer le suintement.
- Les dépôts de graisse et/ou d'huile sur le moteur représentent un risque d'incendie. Les éliminer immédiatement à l'aide de jets de vapeur ou d'eau haute pression.
- S'assurer que les canalisations du liquide de refroidissement sont montées correctement et fixées solidement. Rechercher d'éventuelles fuites. Vérifier l'état de toutes les canalisations.
- Vérifier que la pompe du liquide de refroidissement ne fuit pas.
- Des fuites excessives de liquide de refroidissement peuvent indiquer la nécessité de remplacer le joint d'étanchéité de la pompe. Pour la dépose, la repose de la pompe du liquide de refroidissement et/ou de ses joints d'étanchéité, se reporter au Manuel de Réparation.
- Examiner le système de lubrification à la recherche d'éventuelles fuites du joint avant du vilebrequin, du joint arrière du vilebrequin, du carter, du filtre à huile et du couvercle du boîtier des culbuteurs. La présence de nombreuses fuites, du notamment sur d'anciens moteurs, pourrait être due à l'obstruction du reniflard du moteur.
- Examiner le système d'alimentation en carburant à la recherche d'éventuelles fuites. Vérifier que les colliers de serrage des canalisations ne sont pas desserrés.
- Examiner les conduits de l'air d'admission et les coudes à la recherche d'éventuelles fissures. Vérifier le serrage correct des colliers ainsi que l'état des tampons de montage en caoutchouc. Vérifier que les tuyaux rigides et flexibles ne sont pas en contact avec d'autres tuyaux, des câblages, etc.
- Examiner les courroies du ventilateur et de l'alternateur, lesquelles doivent être exemptes de fissures, de ruptures ou d'autres détériorations. Si plusieurs courroies sont utilisées entre deux poulies, elles doivent être remplacées en même temps. Pour optimiser la longévité des courroies, veiller à ce que leur tension soit toujours correcte.
- Vidanger quotidiennement les dépôts d'eau et de sédiments présent dans les réservoirs à carburant, afin d'éviter toute pollution du système.

- Examiner les câbles et les câblages à la recherche de connexions desserrées et de câbles usés ou effilochés.
- S'assurer que le cavalier de terre offre une connexion efficace et est en bon état.
- Débrancher tout chargeur de batterie qui n'est pas protégé contre l'absorption de courant du démarreur.
- Vérifier l'état des batteries et le niveau de l'électrolyte, sauf si le moteur utilise des batteries exemptes d'entretien.
- Vérifier l'état des jauges. Remplacer les éventuelles jauges fissurées. Remplacer les jauges qui ne peuvent pas être étalonnées.

II.6. Conclusion

Les groupes électrogènes jouent un rôle très important dans le sens qu'ils permettent une production rapide et facile de l'électricité. Vu leur importance et leur avantage, une bonne description de celui-ci nous permettra de mieux comprendre son parties importants et leurs fonctionnement.

Nous remarquons que pour qu'un groupe électrogène soit utilisé de manière optimal il doit être suivis et recevoir régulièrement des opérations de maintenance préventive afin de le maintenir dans un état stable de fonctionnement. L'élaboration d'un plan de maintenance préventive et curative du groupe électrogène de l'ENNA est un outil que nous avons réalisé dans le but de faciliter les opérations de maintenance et d'assurer le bon fonctionnement de l'établissement national de la navigation aérienne.

CHAPITRE III : GENERALITE
SUR LA MAINTENANCE

III.1. Introduction

L'augmentation de la productivité est le souci commun de toutes les entreprises, cela place les problèmes de sûreté de fonctionnement au centre de leurs préoccupations. Puisque la maintenance apporte une contribution essentielle à la sûreté de fonctionnement d'un bien vu le coût élevé des pannes, l'investissement dans une stratégie de maintenance participe aux résultats finaux de l'entreprise et devient une des fonctions essentielles dans un système de production. La nécessité d'une gestion informatisée de ce domaine est facilement prouvée, vu ses avantages, surtout pour les systèmes assurant la capitalisation du savoir-faire issus des interventions de maintenance effectuées.

Les choses ont évolué : la part du coût machine dans le coût de production ne cesse d'augmenter aux dépens de celui de la main-d'œuvre. Ceci est dû à l'automatisation presque systématique des procédés, et à leurs coûts croissant. Dans ces conditions, la fonction maintenance est devenue stratégique. Entretenir, c'est subir alors que maintenir, c'est prévoir et anticiper. Les coûts directs de maintenance sont devenus secondaires voire négligeables par rapport aux coûts indirects (non production, conséquences de la panne). [5]

III.2. Définition de la maintenance (norme NF EN 13306)

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le **maintenir** ou à le **rétablir** dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

Une fonction requise est une fonction, ou un ensemble de fonctions d'un bien considérées comme nécessaires pour fournir un service donné.

Maintenir : contient la notion de «prévention» sur un système en fonctionnement.

Rétablir : contient la notion de «correction» consécutive à une perte de fonction. [9]

Les deux grands ensembles d'action de maintenance, techniques, d'un côté, et administratives et de management, de l'autre, sont les suivants :

➤ Actions administratives et de management :

- Organisation du service de maintenance,
- Formation du personnel.
- Définition des processus, procédures et instruction de maintenance.
- Définition des formes d'actions techniques à mener et établissement de leurs gammes.
- Ordonnancement, préparation et lancement de ces actions.
- Enregistrement des informations sur les interventions.

- Gestion des stocks de pièces et fournitures de maintenance.
 - Analyse de ces données.
 - Définition des actions amélioratives à mener.
 - Etablissement de tableaux de bord.
 - Exploitation de données pour améliorer la politique de maintenance.
- Actions d'intervention technique :
- Contrôles, inspections, vérifications.
 - Etalonnages.
 - Réparations.
 - Remplacements.
 - Réglages.
 - Resserrages,
 - Graissages et lubrifications,
 - Nettoyages.
 - Rangements.
 - Actions d'aides visuels à la décision.
 - Réfection de peinture, etc. [6]

III.3. Historique et évolution de la maintenance

Le terme "maintenance" à son origine dans le vocabulaire militaire, dans le sens maintien dans des unités de combat, de l'effectif et du matériel à un niveau constant.

Il est évident que les unités qui nous intéressent ici sont les unités de production, et le combat est avant tout économique.

L'apparition du terme "maintenance" dans l'industrie a eu lieu vers 1950 aux USA. En France, il se superpose progressivement à "l'entretien". [9]

III.4. Les objectifs de la maintenance (norme FD X 60-000)

Selon la politique de maintenance de l'entreprise, les objectifs de la maintenance seront :

- la disponibilité et la durée de vie du bien.
- la sécurité des hommes et des biens.
- la qualité des produits.
- la protection de l'environnement.
- l'optimisation des coûts de maintenance.

La politique de maintenance conduit, en particulier, à faire des choix entre :

- maintenance préventive et/ou corrective, systématique ou conditionnelle.
- maintenance internalisée et/ou externalisée. [9]

III.5. La stratégie de maintenance (normes NF EN 13306 & FD X 60-000)

La stratégie de maintenance est une méthode de management utilisée en vue d'atteindre les objectifs de maintenance.

Les choix de stratégie de maintenance permettent d'atteindre un certain nombre d'objectifs de maintenance :

- développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance.
- élaborer et optimiser les gammes de maintenance.
- organiser les équipes de maintenance.
- internaliser et/ou externaliser partiellement ou totalement les tâches de maintenance.
- définir, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables.
- étudier l'impact économique (temps de retour sur investissement) de la modernisation ou de l'amélioration de l'outil de production en matière de productivité et de maintenabilité. [7][9]

III.6. L'évolution de la maintenance

À l'instar des autres fonctions de l'entreprise, la maintenance subit l'influence de l'environnement interne de l'entreprise, mais aussi et surtout externe (technologique, économique, social, écologique, ...etc.)

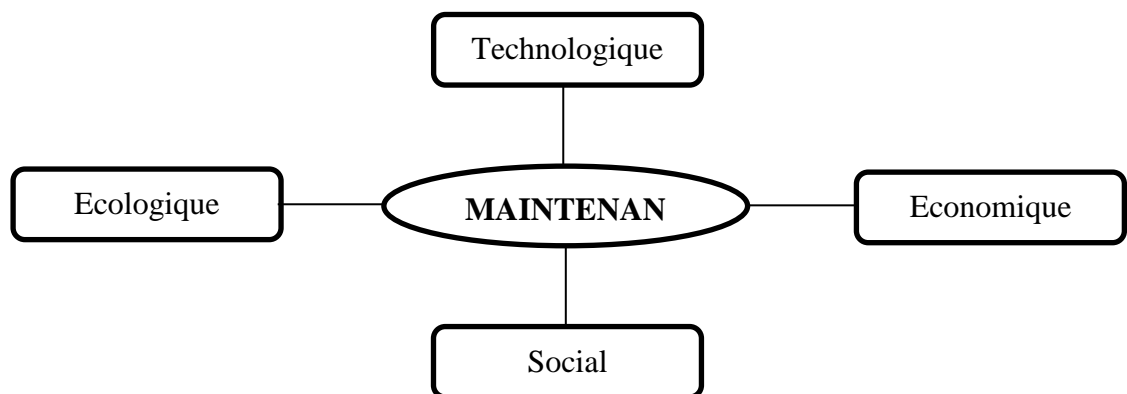


Figure III.1 : Principaux milieux influant sur la maintenance

Par conséquent, elle est continuellement appelée à évoluer pour faire face à la mouvance de ces environnements, particulièrement l'externe, et pour atteindre des objectifs de plus en plus ambitieux : disponibilité accrue, meilleure fiabilité, maintenabilité plus grande, qualité

meilleure, sécurité renforcée, protection de l'environnement assurée, durabilité plus longue. [7]

III.7. L'organigramme de la maintenance

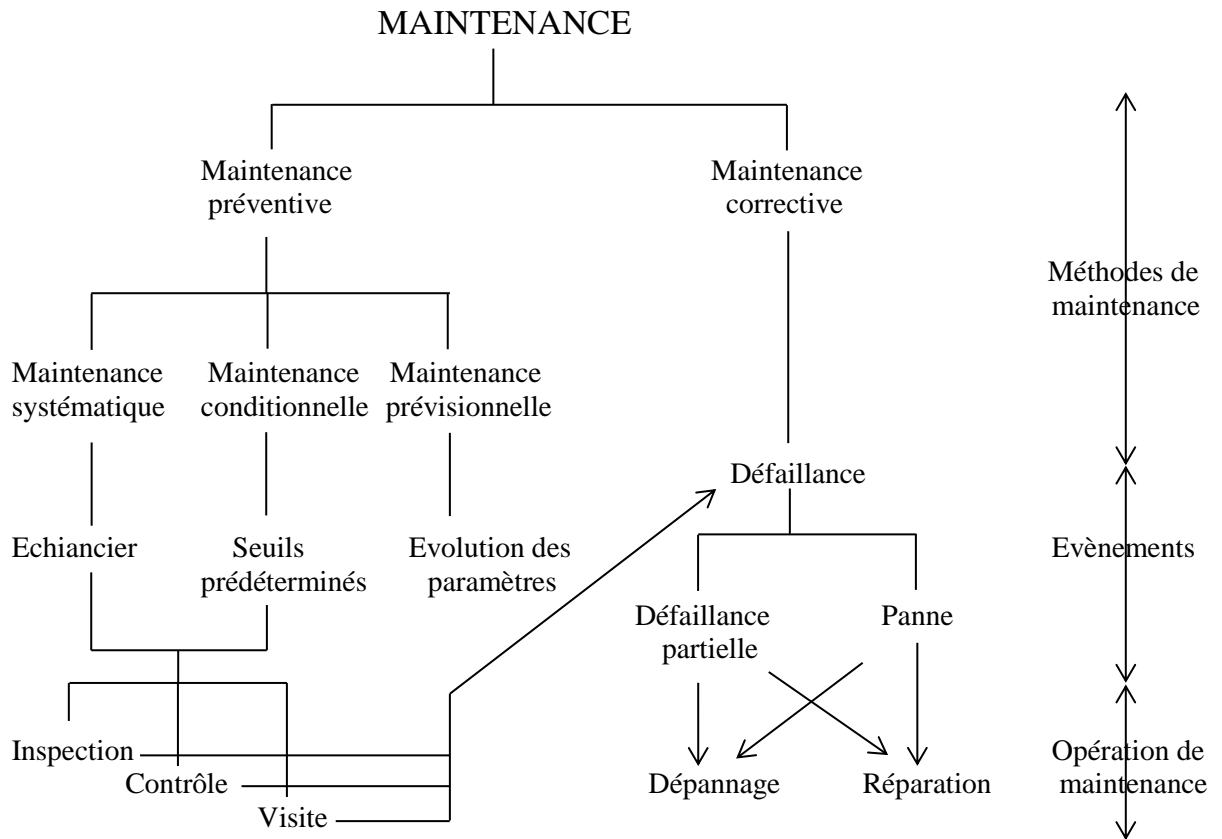


Figure III.2 : L'organigramme de maintenance

III.8. Le service de maintenance

III.8.1. Les fonctions du service maintenance (norme FD X 60-000)

Etude : sa mission principale est l'analyse du travail à réaliser en fonction de la politique de maintenance choisie. Elle implique la mise en œuvre d'un plan de maintenance avec des objectifs chiffrés et des indicateurs mesurables.

Préparation : la préparation des interventions de maintenance doit être considérée comme une fonction à part entière du processus maintenance. Toutes les conditions nécessaires à la bonne réalisation d'une intervention de maintenance seront ainsi prévues, définies et caractérisées. Une telle préparation devra bien sûr s'inscrire dans le respect des objectifs généraux tels qu'ils sont définis par la politique de maintenance : coût, délai, qualité, sécurité,...etc.

Quel que soit le type d'intervention à réaliser, la préparation sera toujours présente. Elle sera : implicite (non formalisée) : dans le cas de tâches simples, l'intervenant assurera lui-même, par expérience et de façon souvent automatique la préparation de ses actions ; explicite (formalisée) : réalisée par un préparateur, elle donne lieu à l'établissement d'un dossier de préparation structuré qui, faisant partie intégrante de la documentation technique, sera utilisé chaque fois que l'intervention sera réalisée. Il sera donc répertorié et conservé sous réserve de mises à jour ultérieures.

Ordonnancement : l'ordonnancement représente la fonction "chef d'orchestre". Dans un service maintenance caractérisé par l'extrême variété des tâches en nature, en durée, en urgence et en criticité, l'absence de chef d'orchestre débouche vite sur la cacophonie quel que soit le brio des solistes.

Réalisation : la réalisation consiste à mettre en œuvre les moyens définis dans le dossier de préparation dans les règles de l'art, pour atteindre les résultats attendus dans les délais préconisés par l'ordonnancement.

Gestion : la fonction gestion du service maintenance devra être capable d'assurer la gestion des équipements, la gestion des interventions, la gestion des stocks, la gestion des ressources humaines, et la gestion du budget. [8]

III.8.2. Domaines d'action de la fonction maintenance

Dans une entreprise, il existe un grand nombre de matériels différents qui sont liés ou non à la production. C'est dans ce contexte qu'apparaît la nécessaire polyvalence des techniciens de maintenance ainsi que leurs capacités d'adaptation. La liste (non exhaustive) qui suit permet de se rendre compte de la variété des actions qui constituent souvent le quotidien de la mission d'un service maintenance :

- Maintenance préventive et corrective de tous les systèmes dont le service a la charge ainsi que toutes les opérations de révisions, contrôles, etc.
- Travaux d'installation et de mise en route de matériels neufs.
- Travaux directement liés aux conditions de travail : sécurité, hygiène, environnement, pollution, etc.
- Amélioration, reconstruction et modernisation des installations.
- Gestion des pièces de rechange, des outillages et des moyens de transport et de manutention.
- Fabrication de certaines pièces détachées.
- Travaux divers dans les locaux de l'entreprise, agrandissements, déménagements.

- Gestion des différentes énergies et des réseaux de communication.

Pour tous ces points, l'objectif permanent est de maintenir les matériels dans un état optimal de service. La priorité sera bien sur toujours orientée vers l'outil de production.

Le service maintenance doit donc maîtriser le comportement des matériels en gérant les moyens nécessaires et disponibles. C'est là que l'importance de la mutation de l'entretien traditionnel vers une logique de maintenance prend toute son importance. [10]

III.8.3. Place du service maintenance dans l'entreprise

Les installations, les équipements, tendent à se détériorer dans le temps sous l'action de causes multiples : usures, déformations dues au fonctionnement, action des agents corrosifs (agents chimiques, atmosphériques, etc).

Ces détériorations peuvent provoquer l'arrêt de fonctionnement (panne); diminuer les capacités de production; mettre en péril la sécurité des personnes; provoquer des rebuts ou diminuer la qualité; augmenter les coûts de fonctionnement (augmentation de la consommation d'énergie, etc); diminuer la valeur marchande de ces moyens.

Dans tous les cas ces détériorations engendrent des coûts directs ou indirects supplémentaires. Le service maintenance, comme le service de sécurité, devient une interface entre toutes les entités qui composent l'entreprise.

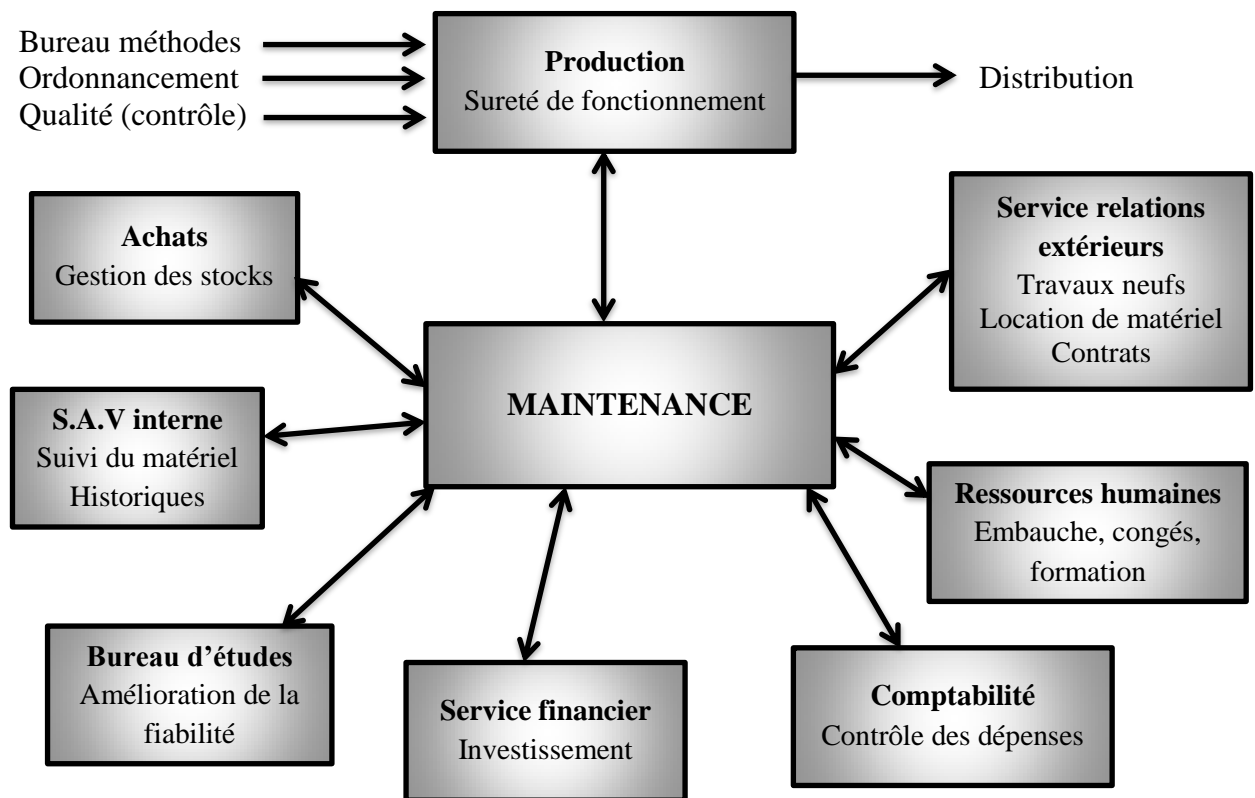


Figure III.3 : Les services de maintenance dans l'entreprise

La maintenance est de plus en plus concernée par la qualité des produits, qui passe par la qualité des machines. La TPM (Total Productive Maintenance) japonaise montre l'intérêt qu'il y a à confier à des conducteurs de machines les actions de maintenance de 1^{er} et 2^{ème} niveaux. Dans la même logique, le TRS (taux de rendement synthétique) est un indicateur de gestion qui prend en compte à la fois des performances de production et de maintenance.

Organisation géographique du service maintenance : Deux types d'organisation peuvent être mis en place selon la spécificité et la taille de l'entreprise :

- Un service maintenance centralisé (atelier central).
- Des services maintenance décentralisés à proximité de chaque secteur d'activité. [8]

III.8.4. Situations de la Fonction Maintenance au sein de l'entreprise

Il existe 2 tendances quant au positionnement de la maintenance dans l'entreprise :

- **La centralisation** où toute la maintenance est assurée par un service. Les avantages sont :
 - Standardisation des méthodes, des procédures et des moyens de communication.
 - Possibilité d'investir dans des matériels onéreux grâce au regroupement.
 - Vision globale de l'état du parc des matériels à gérer.
 - Gestion plus aisée et plus souple des moyens en personnels.
 - Rationalisation des moyens matériels et optimisation de leur usage (amortissement plus rapide).
 - Diminution des quantités de pièces de rechange disponibles.
 - Communication simplifiée avec les autres services grâce à sa situation centralisée.
- **La décentralisation**, où la maintenance est confiée à plusieurs services, de dimension proportionnellement plus modeste, et liés à chacun des services de l'entreprise.

Dans ce cas, le service maintenance n'a pas de direction unique. Les différents pôles maintenance adjoints aux autres services de l'entreprise dépendent bien souvent hiérarchiquement de ces derniers.

Les avantages sont :

- Meilleures communications et relations avec le service responsable et utilisateur du parc à maintenir.
- Effectifs moins importants dans les différentes antennes.
- Réactivité accrue face à un problème.
- Meilleure connaissance des matériels.
- Gestion administrative allégée.

Il va de soi que les 2 modèles d'organisation étant contraires, les avantages de l'un sont souvent les inconvénients de l'autre. [7]

III.8.5. L'importance de la maintenance par rapport à l'activité de l'entreprise

L'importance de la maintenance diffère selon le secteur d'activité. La préoccupation permanente de la recherche de la meilleure disponibilité suppose que tout devra être mis en œuvre afin d'éviter toute défaillance. La maintenance sera donc inévitable et lourde dans les secteurs où la sécurité est capitale. Inversement, les industries manufacturières à faible valeur ajoutée pourront se satisfaire d'un entretien traditionnel et limité.

- Importance fondamentale : nucléaire, pétrochimie, chimie, transports (ferroviaire, aérien, etc).
- Importance indispensable : entreprises à forte valeur ajoutée, de processus, construction automobile.
- Importance moyenne : industries de constructions diversifiées, coûts d'arrêts de production limités, équipement semi automatiques.
- Importance secondaire : entreprises sans production de série, équipements variés.
- Importance faible ou négligeable : entreprise manufacturière, faible valeur ajoutée, forte masse salariale. [7]

III.8.6. Le technicien de maintenance

Pour atteindre les objectifs de la maintenance, et en tenant compte d'un contexte de mondialisation visant à réduire les coûts pour assurer la compétitivité, les entreprises ont besoin de techniciens ayant des compétences très fortes tant dans les domaines techniques que dans l'approche économique des problèmes et dans la capacité à manager les hommes.

La technologie des matériels actuels implique une compétence technique polyvalente. Les frontières entre les domaines mécanique, électrique, hydraulique, pneumatique, informatique, ne sont pas évidentes sur une machine compacte.

Une polyvalence au niveau de la gestion est aussi indispensable, ainsi que la maîtrise des données techniques, économiques et sociales.

Le profil du technicien de maintenance, est celui d'un homme de terrain, de contact et d'équipe, qui s'appuie sur sa formation initiale puis sur son expérience pour faire évoluer la prise en charge du matériel dont il a la responsabilité. [6]

III.8.7. Les activités de la maintenance

L'inspection : c'est un contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien.

En général, l'inspection peut être réalisée avant, pendant ou après d'autres activités de maintenance.

La surveillance : c'est l'activité exécutée manuellement ou automatiquement ayant pour objet d'observer l'état réel d'un bien

La surveillance se distingue de l'inspection en ce qu'elle est utilisée pour évaluer l'évolution des paramètres du bien avec le temps.

La réparation : ce sont les actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.

Le dépannage : ce sont les actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée.

L'amélioration : ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise.

La modification : ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à changer la fonction d'un bien.

La révision : ensemble complète d'examens et d'actions réalisés afin de maintenir le niveau requis de disponibilité et de sécurité.

La reconstruction : action suivant le démontage d'un bien et la réparation ou le remplacement des composants qui approchent de la fin de leur durée de vie utile et/ou devraient être systématiquement remplacés.

La reconstruction diffère de la révision en ce qu'elle peut inclure des modifications et/ou améliorations. [11]

III.8.8. Les temps de la maintenance

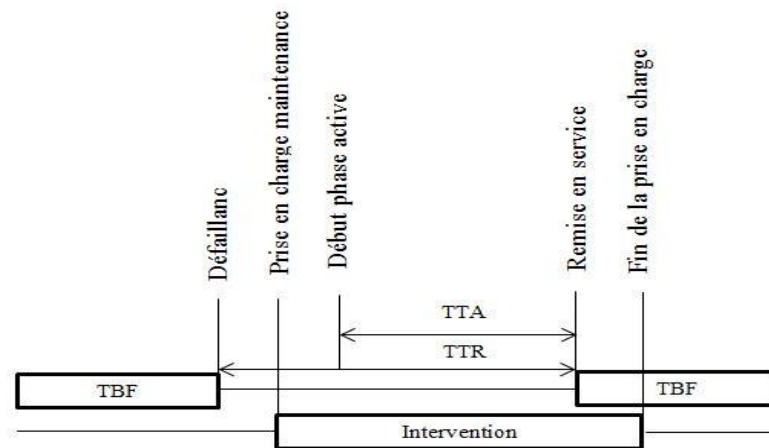


Figure III.4 : Les temps de maintenance

La MTBF : La MTBF est la moyenne des temps de bon fonctionnement (TBF).

Un temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances.

Remarque : En anglais, MTBF signifie mean time between failures.

La MTTR : La MTTR est la moyenne des temps techniques de réparation (TTR).

Le TTR est le temps durant lequel on intervient physiquement sur le système défaillant. Il débute lors de la prise en charge de ce système jusqu'après les contrôles et essais avant la remise en service.

Remarque : En anglais, MTTR signifie mean time to restoration.

La MTTA : La MTTA est la moyenne des temps techniques d'arrêt (TTA).

Les temps techniques d'arrêt sont une partie des temps d'arrêt que peut connaître un système de production en exploitation. Ils ont pour cause une raison technique et, ce faisant, sont à distinguer des arrêts inhérents à la production (attente de pièce, de matière, d'énergie, changement de production, etc). [11]

III.9. Maintenance préventive

III.9.1. Définition [7]

III.9.1.1. La maintenance préventive

C'est la maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

III.9.1.2. La maintenance préventive systématique

C'est la maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

III.9.1.3. La maintenance préventive conditionnelle

C'est la maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

III.9.1.4. La maintenance préventive prévisionnelle

Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.

III.9.2. Les avantages de la maintenance préventive

La mise en place d'une pratique de maintenance préventive présente un certain nombre d'avantages :

- Une amélioration de la productivité de l'entreprise.
- Un coût de réparation moins élevé.
- La limitation des pièces de rechange.
- Une meilleure crédibilité du service maintenance.
- Une plus grande motivation du personnel de maintenance.

III.9.3. Buts de la maintenance préventive

- Augmenter la durée de vie des matériels.
- Augmenter la fiabilité d'un équipement, donc diminuer la probabilité des défaillances en service → réduction des coûts de défaillance et amélioration de la disponibilité.
- Améliorer l'ordonnancement des travaux, donc les relations avec la production.
- Réduire et régulariser la charge de travail.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective.
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc. et faciliter la gestion des stocks (consommations prévues).
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production.
- Diminuer le budget de maintenance.
- Supprimer les causes d'accidents graves par moins d'improvisations dangereuses.

III.10. Maintenance corrective

III.10.1. Définition

Maintenance corrective : est une maintenance exécutée après de détection de la défaillance et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

Il existe 2 formes de défaillance :

- **Défaillance partielle** : altération de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.
- **Défaillance complète** : cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

La maintenance corrective appelée parfois curative (terme non normalisé) a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation. [7]

III.10.2. Quelques définition

III.10.2.1. La défaillance

Cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise.

III.10.2.2. La panne

État d'un bien inapte à accomplir une fonction requise, excluant l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou à un manque de ressources extérieures.

Remarque : Après une défaillance, le bien est en panne, totale ou partielle. Une défaillance est un événement à distinguer d'une panne qui est un état.

III.10.2.3. Les causes de défaillance

Ce sont les raisons de la défaillance. Les raisons peuvent résulter d'au moins un des facteurs suivants : défaillance due à la conception, à la fabrication, à l'installation, à un mauvais emploi, par fausse manœuvre, à la maintenance.

III.10.2.4. Les modes de pannes

Un mode de panne est la façon par laquelle est constatée l'incapacité d'un bien à remplir une fonction requise.

Remarque : L'emploi du terme "mode de défaillance" dans ce sens est déconseillé par la norme.

III.10.2.5. Le mécanisme de défaillance

Le mécanisme de défaillance correspond aux processus physiques, chimiques ou autres qui conduisent ou ont conduit à une défaillance. [7]

III.10.3. Classification des défaillances

La classification d'une défaillance peut se faire en fonction des critères suivants:

Tableau III.1 : Classification des défaillances [7]

En fonction de la vitesse d'apparition	Défaillance progressive	Evolution dans le temps de certaines caractéristiques d'une entité
	Défaillance soudaine	Evolution quasi instantanée des caractéristiques d'une entité
En fonction de l'instant d'apparition	Défaillance en fonctionnement	Se produit sur l'entité alors que la fonction requise est utilisée
	Défaillance à l'arrêt	Se produit sur l'entité alors que la fonction requise n'est pas utilisée
	Défaillance à la sollicitation	Se produit au moment où la fonction requise est sollicitée
En fonction du degré d'importance	Défaillance partielle	Entraîne l'inaptitude d'une entité à accomplir certaines fonctions requises
	Défaillance totale	Entraîne l'inaptitude totale d'une entité à accomplir la fonction requise
En fonction de la vitesse d'apparition et du degré d'importance	Défaillance par dégradation	Qui est à la fois progressive et partielle
	Défaillance catalectique	Qui est à la fois soudaine et complète
En fonction des causes	Défaillance par faiblesse inhérente	Due à la conception ou à la fabrication de l'entité
	Défaillance par emploi inapproprié	Les contraintes appliquées dépassent les possibilités de l'entité
	Défaillance par fausse manœuvre	Opération incorrecte dans l'utilisation de l'entité
	Défaillance par vieillissement	Dégradation dans le temps des caractéristiques de l'entité
En fonction de son origine	Défaillance interne à l'entité	L'origine est attribuée à l'entité elle-même.
	Défaillance externe à l'entité	L'origine est attribuée à des facteurs externes à l'entité elle-même.
En fonction des conséquences	Défaillance critique	Susceptible de causer des dommages (aux personnes, biens, environnement)
	Défaillance majeure	Affecte une fonction majeure de l'entité
	Défaillance mineure	N'affecte pas une fonction majeure de l'entité
En fonction de leur caractère	Défaillance systématique	Liée d'une manière certaine à une cause
	Défaillance reproductible	Peut être provoquée à volonté en simulant ou reproduisant la cause
	Défaillance non reproductible	La cause ne reproduit jamais la défaillance

III.10.4. Processus d'évolution d'une défaillance mécanique

III.10.4.1. Initiation

À l'initiation se trouve souvent un défaut "santé-matière", un défaut de conception, de fabrication, une cause extrinsèque (choc, surcharge).

III.10.4.2. Propagation

La propagation s'opère souvent par des modes de défaillance en fonctionnement, tels que la fatigue, l'usure, ...etc.

III.10.4.3. Rupture

La rupture intervient généralement de façon accélérée, consécutive à la propagation dans le temps, ou de façon soudaine.

III.10.5. Outils d'analyse des défaillances

Tableau III.2 : Méthodes d'analyse de défaillance

Outil	Intérêt
diagramme causes-effet = Ishikawa = arête de poisson	recherche des causes d'une défaillance
Q-Q-O-Q-C-P & 5 Pourquoi	analyse de défaillance
graphe de Pareto ou méthode ABC	mise en évidence des actions prioritaires
AMDEC	analyse prévisionnelle des défaillances

III.11. La maintenance améliorative

L'amélioration des biens d'équipement est un « ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise » (norme NF EN 13306).

Modifications apportées à la conception d'origine dans le but d'augmenter la durée de vie des composants, de les standardiser, de réduire la consommation d'énergie, d'améliorer la maintenabilité, ...etc. [12]

III.11.1. Objectif de maintenance améliorative

Cette maintenance est un état d'esprit nécessitant un pouvoir d'observation critique et une attitude créative. Un projet d'amélioration passe obligatoirement par une étude économique sérieuse (rentabilité). Tout le matériel peut concerner, sauf matériel proche de la réforme.

Les objectifs sont :

- L'augmentation des performances de production.
- L'augmentation de la fiabilité.
- L'amélioration de la maintenabilité.
- La standardisation de certains éléments ou sous-ensemble.
- L'augmentation de la sécurité des utilisateurs. [12]

III.11.2. Opération de maintenance améliorative

III.11.2.1. Rénovation

Inspection complète de tous les organes, la reprise dimensionnelle complète ou le remplacement des pièces déformées, la vérification des caractéristiques et éventuellement, la réparation des pièces et sous-ensembles défectueux. C'est donc une suite possible à une révision générale. Une rénovation peut donner lieu à un échange standard.

III.11.2.2. Reconstruction

« Action suivant le démontage du bien principal et remplacement des biens qui approchent de la fin de leur durée de vie et/ou devraient être systématiquement remplacés ». La reconstruction diffère de la révision en ce qu'elle peut inclure des modifications et/ou améliorations.

L'objectif de la reconstruction est normalement de donner à un bien une vie utile qui peut être plus longue que celle du bien d'origine. La reconstruction impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes. La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications. Les modifications peuvent apporter un plus en terme de disponibilité (redondance), d'efficacité, de sécurité, ...etc.

III.11.2.3. Modernisation

C'est le remplacement d'équipements, d'accessoires, des logiciels par des sous-ensembles apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien. Une modernisation peut intervenir dans les opérations de rénovation ou de reconstruction.

III.12. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons vu les concepts de base de la maintenance et on a défini la maintenance et leurs méthodes. Les objectifs et les intérêts de la maintenance dans le domaine industriel sont présentés, ainsi que les opérations de maintenance préventive et corrective, nous avons également mentionné les facteurs les plus importants qui influent sur l'entretien, tout en clarifiant l'importance de la centralisation et de la décentralisation dans la gestion.

L'optimisation de la maintenance est basée sur la connaissance de la fiabilité des équipements et des politiques de maintenance adaptées. L'objectif de la maintenance devient alors l'identification réactive de l'élément défectueux (maintenance corrective) mais aussi la prévision des pannes afin de réduire la durée moyenne d'indisponibilité du système (maintenance préventive).

CHAPITRE IV : NOTION SUR L'ANALYSE DE FMD

IV.1. Introduction

La sûreté de fonctionnement regroupe les activités d'évaluation de la fiabilité (assurer la continuité du service), de la Maintenabilité (être réparable), de la disponibilité (être prêt à l'emploi), d'un système, d'un produit ou d'un moyen. Ces évaluations permettent, par comparaison aux objectifs ou dans l'absolu, d'identifier les actions de construction (ou d'amélioration) de la sûreté de fonctionnement de l'entité. Ces évaluations sont prévisionnelles et reposent essentiellement sur des analyses inductives ou déductives des effets des pannes, dysfonctionnements, erreurs d'utilisation ou agressions de l'entité.

Dans ce chapitre l'analyse FMD permettra au gestionnaire de la fonction maintenance de déterminer une stratégie de maintenance basé sur l'étude graphique à travers un exemple pratique qui permet d'obtenir des analyses profondes pour mieux planifier une politique de gestion de la maintenance qu'implique les objectifs désirés .

IV.2. Etude de fiabilité

IV.2.1. Définition

La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné. Il est généralement admis que l'entité est en état d'accomplir la fonction requise au début de l'intervalle de temps donné. [13] Selon les circonstances, la fiabilité peut être évaluée à l'aide d'un ensemble de critères :

- la probabilité, notée $R(t)$, que l'entité soit non-défaillante sur l'intervalle de temps $[0, t[$, sachant qu'elle n'était pas ;
- défaillante à $t=0$;
- la probabilité, notée $F(t)$, pour que l'entité fasse l'objet d'une défaillance sur un intervalle de temps donné. Pour une entité à 2 états :

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (IV.1)$$

Définition selon la NF X 06-501 : la fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée. [14]

IV.2.2. Objectif

Utilisée depuis bientôt une dizaine d'années dans l'industrie, le concept de fiabilité permet à l'aide de renseignement statistique recueillies pendant la vie du matériel: [15]

- De mesurer une garantie dans le temps ;
- De chiffrer une dure de vie ;
- Dévaluer rigoureusement de degré de confiance ;
- Déchiffrer une durée de vie ;
- Dévaluer une précision du temps de bon fonctionnement ;
- De déterminer la stratégie d'entretien ;
- De choisir le stock.

IV.2.3. Indicateurs de fiabilité (λ) et (MTBF)

$$\lambda = \frac{\text{nombre de défaillance pendant le service}}{\text{durée totale de bon fonctionnement}} \quad (\text{IV.2})$$

L'exprimé par une expression physique. Il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps. La durée de bon fonctionnement est égale à la durée totale en service moins la durée des défaillances.

Le MTBF (Mean Time Between Failure) est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances. En d'autres termes, Il correspond à l'espérance de la durée de vie t . [16]

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps

$$\text{MTBF} = \int_0^{\infty} R(t) \quad (\text{IV.3})$$

$$\text{MTBF} = \frac{\sum \text{temps de bon fonctionnement}}{\text{nombre d'intervalles de temps de bon fonctionnement}} \quad (\text{IV.4})$$

Si λ est constant :

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{IV.5})$$

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

La courbe représentant le taux de défaillance $\lambda(t)$ a l'allure d'une « baignoire » (Figure IV.1). Celle-ci permet d'illustrer les 3 périodes de la vie d'un système [17] : la période de déverminage, la période de vie utile et la période de vieillissement.

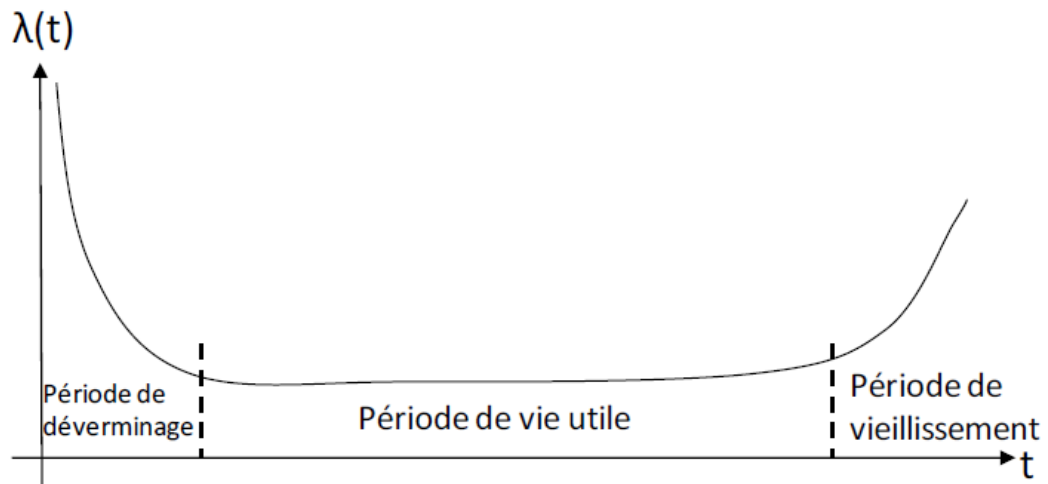


Figure IV.1 : La courbe de taux de défaillance d'un système.

IV.2.4. Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité

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

IV.2.4.1. La loi exponentielle

Cette loi a de nombreuses applications dans plusieurs domaines. C'est une loi simple, très utilisée en fiabilité dont le taux de défaillance est constant. Elle décrit la vie des matériels qui subissent des défaillances brutales [18], Elle est caractérisée par :

La fiabilité

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (IV.6)$$

La densité de probabilité

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (IV.7)$$

Le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \lambda \quad (IV.8)$$

IV.2.4.2. Loi normale

La loi normale est très répandue parmi les lois de probabilité car elle s'applique à de nombreux phénomènes. La loi normale est définie par la moyenne μ et l'écart type σ [19]:

La fonction de répartition

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (IV.9)$$

La densité de probabilité

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (IV.10)$$

La fiabilité est donnée par

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad (IV.11)$$

Si t suit une loi normale (μ, σ) , $\mu = \frac{(t-\mu)}{\sigma}$ suit une loi normale centrée réduite dont la fonction de répartition, notée Φ , est donnée par :

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\mu} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (IV.12)$$

IV.2.4.3. Loi de Weibull

La loi de Weibull, est souvent utilisée en mécanique ; elle caractérise bien le comportement du produit dans les trois phases de vie selon la valeur du paramètre de forme β . [20]

Suivant les valeurs de

- $\beta < 1$ ($\lambda(t)$ décroît) : période de jeunesse (rodage, d'déverminage),
- $\beta = 1$ ($\lambda(t)$ constant) : indépendance du temps,
- $\beta > 1$ ($\lambda(t)$ croît) : période de vieillissement, d'usure ou de d'dégradation.

La distribution de Weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif décrites par la courbe en baignoire. (Figure IV.2)

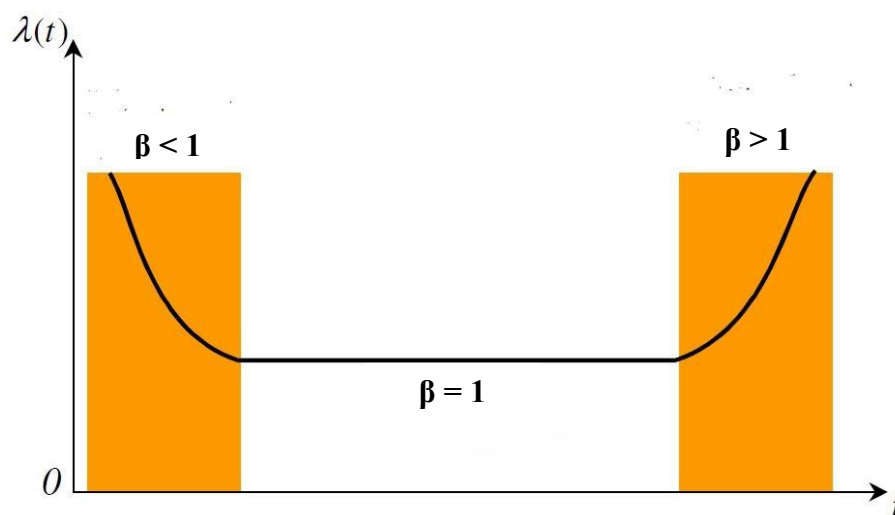


Figure IV.2 : Courbe en baignoire

La loi de Weibull est définie par trois paramètres : η (paramètre d'échelle) dont l'unité est homogène à l'unité de la sollicitation, β (paramètre de forme) qui traduit la finesse de la distribution et γ (paramètre de localisation) [21]. Elle est caractérisée par :

La densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (\text{IV.13})$$

Fonction de répartition:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (\text{IV.14})$$

La fiabilité :

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (\text{IV.15})$$

Le taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (\text{IV.16})$$

Paramètre de position permet de déterminer la date du début de la défaillance ; son unité est celle du temps :

- $\gamma < 0$: les défaillances ont débuté avant l'origine du temps ;
- $\gamma = 0$: les défaillances ont débuté dès l'origine du temps ;
- $\gamma > 0$: il y a une survie totale entre $t=0$ et $t=\gamma$.

Si $\beta=1$ et $\gamma=0$, on se retrouve dans le cas particulier de la loi exponentielle avec $\lambda = \frac{1}{\eta}$

IV.2.5. Estimation des paramètres de la loi de weibull

- Calcul des temps de bon fonctionnement ;
- Classement des temps de bon fonctionnement en ordre croissant ;
- N = nombre de temps de bon fonctionnement ;
- Recherche des données $F(i)$, $F(i)$ représente la probabilité de panne au temps correspondant au temps de bon fonctionnement de premier défaillant ;

On a 3 cas différents: [22]

Si $N > 50$, regroupement des temps de bon fonctionnement par classes avec la fréquence cumulée:

$$F(i) = \frac{N_i}{N} = \frac{\sum R_i}{N} \approx F(t) \quad (\text{IV.17})$$

Si $20 < N < 50$, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs Moyens):

$$F(i) = \frac{N_i}{N + 1} \approx F(t) \quad (IV.18)$$

Si $N < 20$, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs médians):

$$F(i) = \frac{N_i - 0.3}{N + 0.4} \approx F(t) \quad (IV.19)$$

- déterminer le paramètre d'échelle η ;
- déterminer le paramètre de forme β .

I.3. Maintenabilité

IV.3.1. Définition

Lorsque l'entité est réparable, elle est caractérisée par sa maintenabilité. La maintenabilité, notée $M(t)$, est l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits. L'entité est en panne au début de l'intervalle [13].

Maintenabilité = être rapidement dépanné

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

A partir de ces définitions, on distingue :

- La maintenabilité intrinsèque : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc).
- La maintenabilité prévisionnelle : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité ;
- La maintenabilité opérationnelle: elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.

L'analyse de maintenabilité permettra d'estimer la MTTR ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité (sur les mêmes modèles que la fiabilité). [23]

IV.3.2. La fonction de maintenabilité

C'est la probabilité pour qu'un dispositif soit réparé avant le temps t

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (\text{IV.20})$$

Le taux de réparation (μ)

$$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}} \quad (\text{IV.21})$$

Moyenne des temps de réparation (MTTR)

$$\text{MTTR} = \frac{\sum \text{TR}}{N} \quad (\text{IV.22})$$

IV.3.3. Observations

La maintenabilité caractérise la facilité à remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement. Cette notion ne peut s'appliquer qu'à du matériel maintenable, donc réparable. « Les moyens prescrits » englobent des notions très diverses : moyens en personnel, appareillages, outillages, etc [23]. La maintenabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs:

Tableau IV.1 : La maintenabilité d'un équipement

Facteur liés a l'équipement	facteur liés au constructeur	facteur liés à la maintenance
- documentation - aptitude au démontage - facilité d'utilisation	-conception -qualité de service après-vente -facilité d'obtention des pièces de rechange -cout des pièces de rechange	-préparation et formation des personnel -moyens adéquats -études d'améliorations (maintenance amélioratives)

Remarque : On peut améliorer la maintenabilité en :

- Développant les documents d'aide à l'intervention,
- Améliorant l'aptitude de la machine au démontage (modifications risquant de coûter cher),
- Améliorant l'interchangeabilité des pièces et sous ensemble.

IV.3.4. Maintenabilité et maintenance

Pour un technicien de maintenance, la maintenabilité est la capacité d'un équipement à être rétabli lorsqu'un besoin de maintenance apparaît. L'idée de « facilité de maintenir » se matérialise par des mesures réalisées à partir des durées d'intervention.

Il est évident que la maintenabilité intrinsèque est le facteur primordial pour que la maintenance soit performante sur le terrain. En effet, une amélioration ultérieure de la maintenabilité initiale n'est jamais chose facile.

Il est donc indispensable que la maintenance sache définir ses besoins et les intégrer au cahier des charges d'un équipement nouveau afin que celui-ci puisse être facilement maintenable.

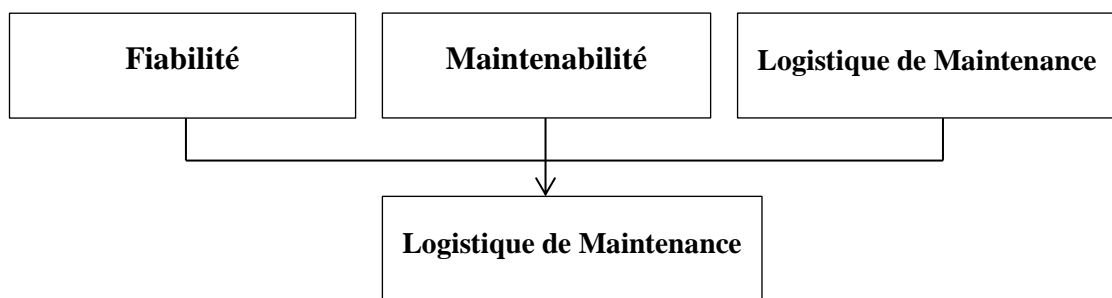


Figure IV.3 : Composant de la disponibilité.

IV.4. Disponibilité

IV.4.1.1 Définition

L'attribut combinant la fiabilité et la maintenabilité est la disponibilité. La disponibilité, est l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné, en supposant que la fourniture des moyens nécessaires est assurée. [13]

IV.4.2. Les type de disponibilité

IV.4.2.1. Disponibilité intrinsèque

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

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (IV.23)$$

IV.4.2.2. Disponibilité instantanée

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constante et d'un taux de réparation μ constant, la disponibilité instantanée est :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\mu}{\lambda + \mu} e^{-t(\lambda + \mu)} \quad (\text{IV.24})$$

Pendant la durée moyenne d'indisponibilité (MDT), il est possible de distinguer deux grandes activités : le diagnostic et la réparation (Figure IV.4). Lorsqu'une défaillance se produit (t_0), un certain temps est nécessaire pour la détecter (de t_0 à t_1). Il s'écoule ensuite des délais techniques et administratifs (de t_1 à t_2 : recherche des pièces détachées, consignation des matériels...) avant de débiter la réparation. A partir du temps t_2 , les opérations de maintenance sont réalisées. L'entité est finalement remise en service (de t_3 à t_4) [13]. La MDT peut être approximée par :

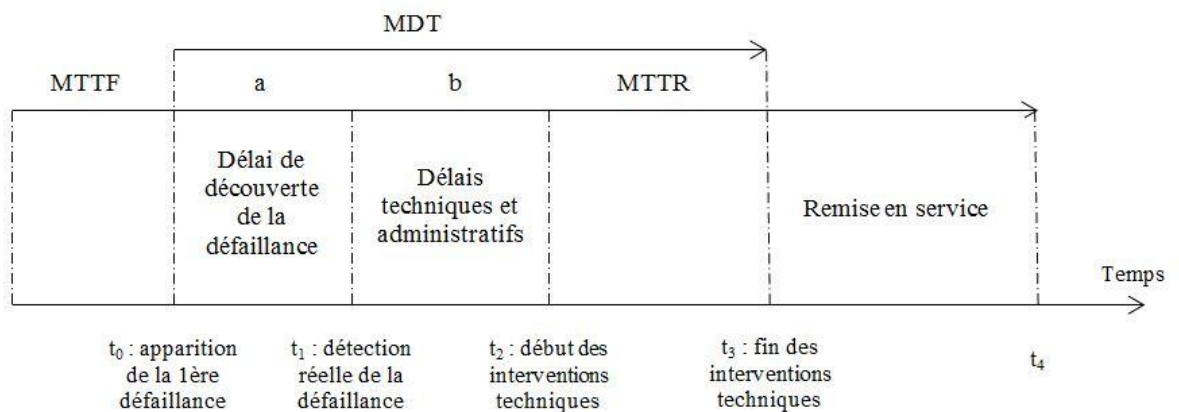


Figure IV.4 : Chaînage temporel des activités de détection et de remise en service, adapté de (Zwingelstein,1996)

La représentation du MTTR présenté (Figure IV.4) est spécifique à (Zwingelstein,1996)[14].

Dans d'autres approches [13], la notion de MTTR comprend :

- Le temps pour détecter la défaillance,
- Les délais techniques et administratifs,
- Le temps pour réparer l'entité,
- Le temps de remise en service.

IV.5. Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

Au une restriction n'est nécessaire, quel que soit la taille (n) on peut l'appliquer. L'idée du test est de comparer la fonction réelle de répartition des défaillances à la fonction de répartition théorique. Il consiste à mesurer l'écart point par point entre ces deux fonctions :

$$Dn.max = | F(i) - F(t) | \quad (IV.25)$$

Ou : F (t) est la fonction de répartition réelle ; elle peut être obtenue par la méthode des range moyens

$$F(t) = \frac{\sum N_i}{N + 1} \quad (IV.26)$$

Un exemple d'une équation : (Copie & collé pour une autre équation.)

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-y}{\eta}\right)^\beta} \quad (IV.27)$$

On montre que $Dn = \text{Max} | F(i) - F(t) |$ suit une loi ne dépendant que de η , et on écrit que :

$$P(\text{Max} | F(i) - F(t) | < Dn, \alpha) = 1 - \alpha$$

Si $Dn, \text{Max} > Dn, \alpha$, on refuse l'hypothèse du modèle théorique.

Si $Dn, \text{Max} < Dn, \alpha$, on refuse l'hypothèse du modèle théorique.

N.B : la valeur de Dn, α , est donnée par la table de Kolmogorov-Smirnov.

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu les différentes méthodes de calcul pour évaluer la fiabilité, la fonction de répartition et le taux de défaillance ainsi que les tests de vérification de ces méthodes.

On a aussi présentés les notions global de la fiabilité, maintenabilité ainsi la disponibilité.

**CHAPITRE V : PARTIE
PRATIQUE DE L'ANALYSE FMD
DU GROUPE ELECTROGENE**

V.1. Introduction

L'entretien est nécessaire à l'origine de chaque entreprise pour assurer la continuité du travail et la permanence de la production, dans ce chapitre nous allons exploiter l'histoire des pannes de groupe électrogène 2H ENERGY.

L'entreprise cherche à économiser de l'énergie dans tous ses secteurs, et ne peut pas se permettre les conséquences de pannes d'électricité excessives, qui nuisent à sa crédibilité, due le plus souvent à des défauts aussi bien internes qu'externes, car il n'est pratiquement pas possible d'obtenir pour un réseau électrique le niveau de zéro défaut. Afin d'éviter toute coupure de courant, on utilise des sources de secours telles que : les groupes électrogènes. Ces derniers sont soumis aussi à des différentes interventions de maintenance tels : la maintenance préventive afin d'améliorer et d'optimiser leurs fonctionnement.

V.2. Historique des pannes

Le tableau suivant montre diverses interventions historiques sur le groupe électrogène, depuis sa création en 2006 jusqu'en 2020; avec des solutions mises en œuvre et le temps pris pour chaque opération, nous avons calculé les TBF et TTR pour étudier la fiabilité et la disponibilité de notre système.

Tableau V.1 : Historique des pannes de groupe électrogène 2H ENERGY

N°	Date de démarrage	Date d'arrêt	TBF(h)	TTR(h)	Cause	Solution
01	05/09/2006	13/05/2012	49841	7	Batterie faible	Changer la batterie
02	13/05/2012	04/10/2014	20971	5	Sous fréquence	Purger le circuit de carburant
03	04/10/2014	03/03/2016	12369	63	Signalisation niveau bas de fuel	Nettoyage de capteur
04	05/03/2016	14/12/2016	6800	16	La pompe fuel sa marche pas	Réparer la pompe
05	14/12/2016	22/01/2018	9694	50	Indication erronée de température d'huile	Créer un nouveau système d'indication
06	24/01/2018	18/04/2018	2008	8	Sous fréquence	Nettoyage des filtres

07	18/04/2018	29/04/2018	244	116	La résistance de préchauffage sa marche pas	Changer le système de préchauffage
08	03/05/2018	13/07/2018	1711	65	Manque de phase	Réparer le circuit
09	16/07/2018	08/09/2019	10050	30	Ventilateur de refroidissement	Réparation de ventilateur
10	09/09/2019	10/10/2019	786	6	Contacteur de puissance	Changement de contacteur
11	12/10/2019	23/01/2020	2459	13	Gaspillage d'huile	Réparer le circuit

V.3. Calcul des paramètres de weibull :

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les $F(i)$ calculés par la méthode des rangs médians $F(i) = \frac{ni-0,3}{N+0,4} \approx F(t)$ car $N=11 \leq 20$

On trace la courbe de Weibull :

Tableau V.2 : Résultats du calcul des rangs médians

N°	TBF(h)	Σni	F(i)	F(i) %
01	244	1	0,0614	6,14
02	786	2	0,1491	14,91
03	1711	3	0,2368	23,68
04	2008	4	0,3245	32,45
05	2459	5	0,4122	41,22
06	6800	6	0,5	50
07	9694	7	0,5877	58,77
08	10050	8	0,6754	67,54
09	12369	9	0,7631	76,31
10	20971	10	0,8508	85,08
11	49841	11	0,9385	93,85

V.3.1. La Courbe de Weibull

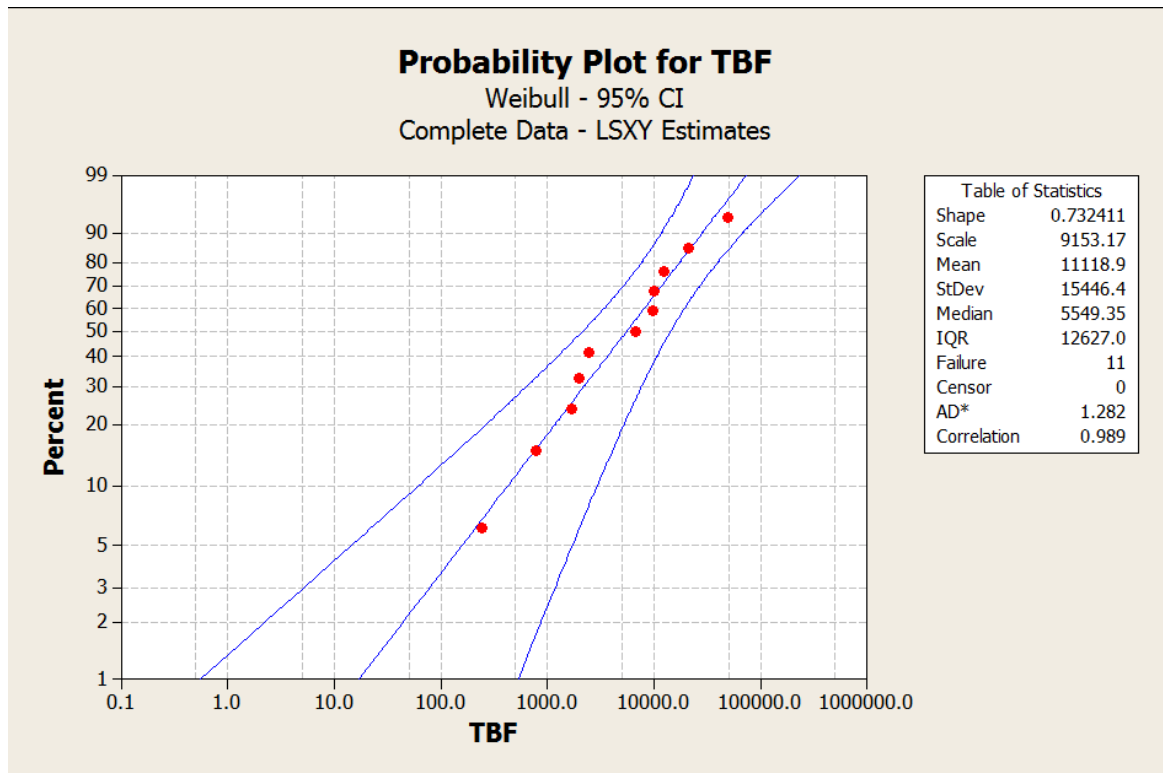


Figure V.1 : La courbe de Weibull (minitab16)

Donc les paramètres de Weibull sont :

$$\beta = 0.7324$$

$$\eta = 9153.17 \text{ h}$$

Les points sont alignés sur une droite, donc $\gamma=0$

V.3.2. Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique $F(t)$ et la fonction réelle $F(t)$, et prendre le maximum en valeur absolue $D_{n,\max}$. Cette valeur est comparée avec $D_{N,\alpha}$ Qui est donnée par la table de Kolmogorov

* Si : $D_{N,\max} > D_{N,\alpha}$, on refuse l'hypothèse du modèle théorique.

* Si : $D_{N,\max} < D_{N,\alpha}$, on accepte l'hypothèse du modèle théorique.

N.B :* la valeur de $D_{N,\alpha}$ est donnée par la table de Kolmogorov-Smirnov (voir sur table Annexe 1).

Le tableau suivant donne la différence entre la fonction de répartition réelle et théorique.

Tableau V.3 : La différence entre la fonction de répartition réelle et théorique

N°	TBF	F(i) (théorique)	F(t) (réelle)	D _{n,max} = F(i)-F(t)
01	244	0,0614	0.0679	0.00649
02	786	0,1491	0.1526	0.00351
03	1711	0,2368	0.2538	0.01698
04	2008	0,3245	0.2805	0.04404
05	2459	0,4122	0.3174	0.09485
06	6800	0,5	0.5526	0.05264
07	9694	0,5877	0.6475	0.05986
08	10050	0,6754	0.6572	0.01815
09	12369	0,7631	0.7125	0.05060
10	20971	0,8508	0.8404	0.01044
11	49841	0,9385	0.9685	0.02997

D'après la table de K-S:

$D_{n,max} < D_N \cdot \alpha$ Ce qui veut dire que le modèle de Weibull est accepté.

Nous avons pris la valeur maximale $D_{n,max} = |F(i) - F(t)|$

$D_{n,max} = 0.09485$ tandis que $D_N \cdot \alpha = D_{11} ; 0.20 \approx 0.307$

$0.09485 < 0.307$ donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable.

V.3.3. Exploitation les paramètres de WEIBULL

V.3.3.1. Calcul de R (t), f (t), λ(t) et F (t) lorsque t =MTBF

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

A partir de Tableau numériques de MTBF (Annexe 2) pour une loi de weibull selon la valeur de β; on déduire

$$A=1.2638 \quad B=1.85$$

$$MTBF = 0 + 1.2638 \cdot 9153.17 = 11567.78 \text{ h}$$

Calcul de F (MTBF) :

$$F(MTBF) = 1 - e^{-\left(\frac{MTBF-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{11567.78-0}{9153.17}\right)^{0.7324}} = 0.6949 = 69.49\%$$

Calcul de f (MTBF) :

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

$$f(\text{MTBF}) = \frac{0.7324}{9153.17} \cdot \left(\frac{11567.78 - 0}{9153.17} \right)^{(0.7324-1)} \cdot e^{-\left(\frac{11567.78-0}{9153.17} \right)^{0.7324}} = 0.00002293$$

Calcul de $\lambda(\text{MTBF})$:

$$\lambda(\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{\text{MTBF} - \gamma}{\eta} \right)^{(\beta-1)} = \frac{0.7324}{9153.17} \cdot \left(\frac{11567.78 - 0}{9153.17} \right)^{(0.7324-1)} = 0.000075158 \text{ panne/heure}$$

Calcul de $R(\text{MTBF})$:

$$R(\text{MTBF}) = e^{-\left(\frac{\text{MTBF} - \gamma}{\eta} \right)^\beta} = e^{-\left(\frac{11567.78 - 0}{9153.17} \right)^{0.7324}} = 0.3051 = 30.51\%$$

Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique:

$$R(t) = 80\% \implies t = ?$$

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

$$\ln(R(t)) = -\left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta = \ln(0.8) \Leftrightarrow (-\ln R(t))^{\frac{1}{\beta}} = \frac{t}{\eta} \Rightarrow t = \eta (-\ln R(t))^{\frac{1}{\beta}}$$

$$t = 1180.75 \text{ h}$$

Le temps systématique de maintenance pour assurer la fiabilité de 80% de la machine est 1180.75 heures.

V.3.3.2. Calcul de F(t), f(t), R(t) et $\lambda(t)$

Les résultats obtenus sont dans le tableau ci-dessous.

Tableau V.4 : Résultats du calcul de F(t), f(t), R(t) et $\lambda(t)$

TBF	ni	$\sum ni$	F(i)	F(t)	f(t) x 10 ⁻⁵	R(t)	$\lambda(t)$ x 10 ⁻⁵
244	1	1	0,0614	0.0679	19.6734	0,9321	21.1065
786	1	2	0,1491	0.1526	13,0780	0,8473	15.4338
1711	1	3	0,2368	0.2538	9.3521	0,7461	12.5336
2008	1	4	0,3245	0.2805	8,6396	0,7194	12.0081
2459	1	5	0,4122	0.3174	7,7638	0,6825	11.3744
6800	1	6	0,5	0.5526	3,8758	0,4473	8.6640

9694	1	7	0,5877	0.6475	2.77695	0.3524	7.8797
10050	1	8	0,6754	0.6572	2.67456	0.3427	7.8040
12369	1	9	0,7631	0.7125	2.122	0.2874	7.3823
20971	1	10	0,8508	0.8404	1.02279	0.15956	6.4097
49841	1	11	0,9385	0.9685	0.15981	0.03143	5.0843

V.3.3.3. Représentation graphique des fonctions précédentes

La fonction de répartition F(t)

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{9153.17}\right)^{0.732411}}$$

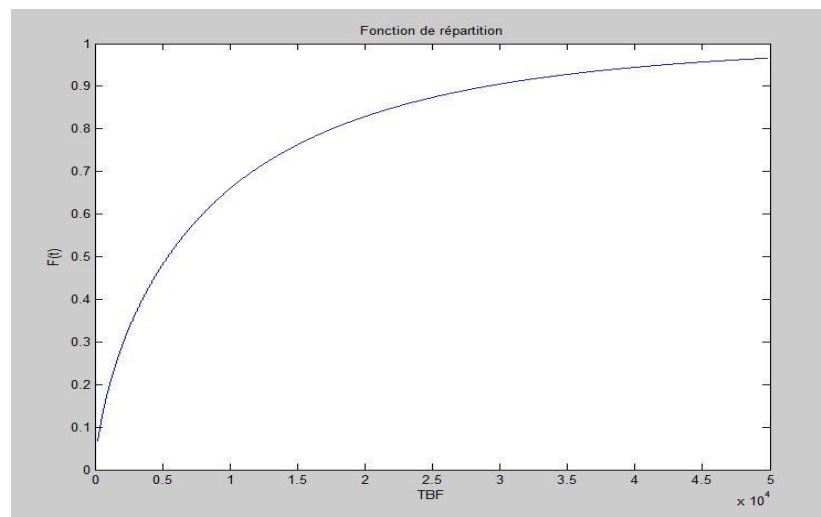


Figure V.2 : Probabilité de défaillance en fonction de TBF

Analyse de la courbe

La courbe de la fonction de répartition est une courbe croissante, et qui représente la probabilité cumulée de défaillance, et ce qu'on peut voir dans cette courbe c'est que la probabilité de défaillance de la machine augmente avec l'augmentation des temps de bons fonctionnements.

La fonction de fiabilité R(t)

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{9153.17}\right)^{0.732411}}$$

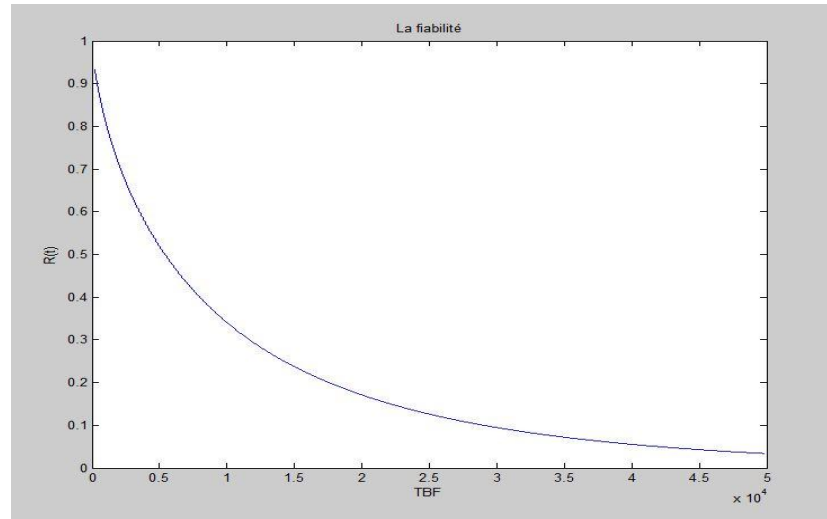


Figure V.3 : Fiabilité en fonction de TBF

Analyse de la courbe :

On remarque à partir de cette courbe que la fiabilité diminue avec l'augmentation de TBF. L'amélioration de la fiabilité passe obligatoirement par une analyse des détaillée de leurs causes de leurs modes et de leurs conséquences.

La fonction de la densité de probabilité f(t)

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{(\beta-1)} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = \frac{0.7324}{9153.17} \cdot \left(\frac{t}{9153.17}\right)^{(0.7324-1)} \cdot e^{-\left(\frac{t}{9153.17}\right)^{0.732411}}$$

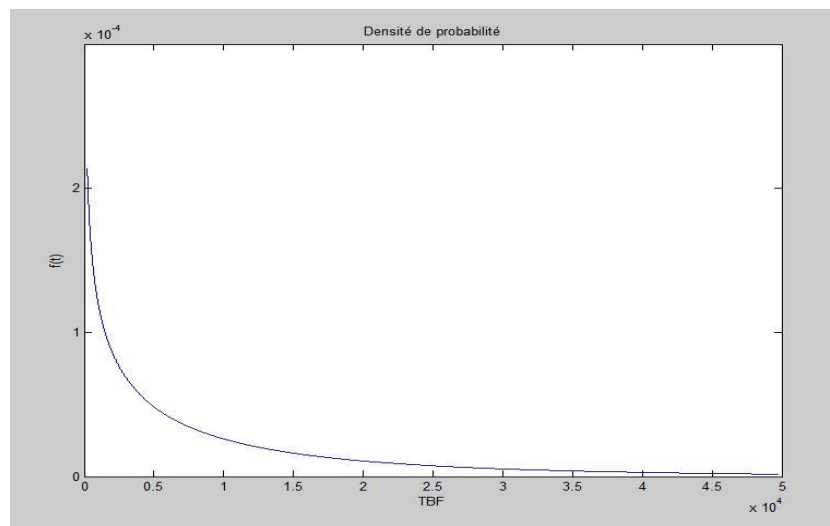


Figure V.4 : Densité de probabilité en fonction de TBF

Analyse de la courbe

D'après cette courbe on remarque que la fonction de densité de probabilité diminue avec l'évolution de TBF.

La fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{(\beta-1)} = \frac{0.7324}{9153.17} \cdot \left(\frac{t}{9153.17}\right)^{(0.7324-1)}$$

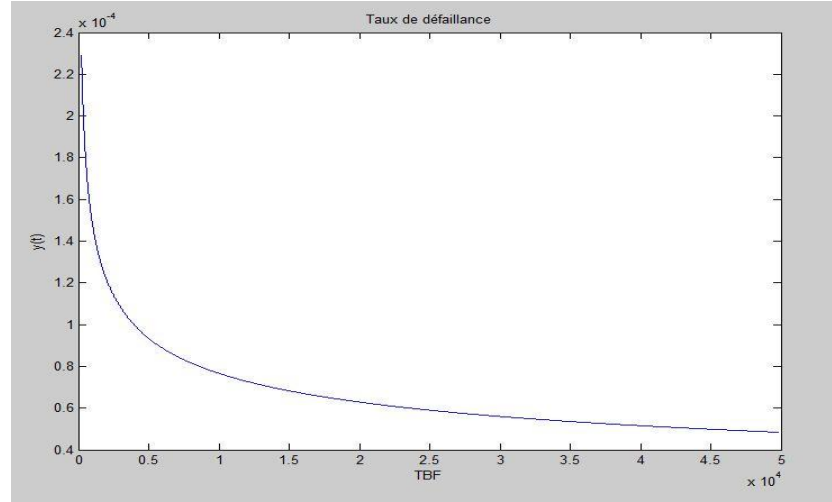


Figure V.5 : Taux de défaillance en fonction de TBF

Analyse de la courbe

La courbe qui représente le taux de défaillance à un instant donné est une courbe décroissante.

V.4. La maintenabilité

La fonction de maintenabilité est donnée par la relation suivante:

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

Le taux de réparation μ est exprimé par

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

Avec

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N^{\circ}} = \frac{379}{11} = 34.45 \text{ h}$$

$$\mu = 0.029022375h^{-1}$$

$$M(MTTR) = 1 - e^{-(\mu * MTTR)} = 1 - e^{-(0.029 * 34.45)} = 0.6317 = 63.17\%$$

Tableau V.5 : Résultats du calcul de M(t)

TTR	5	6	7	8	13	16	30	50	63	65	116
M(t)	0,13	0,15	0,18	0,20	0,31	0,37	0,58	0,76	0,83	0,84	0,96

Le tableau précédent permet de présenter la fonction de maintenabilité en fonction des temps de réparation comme illustré la figure suivante.

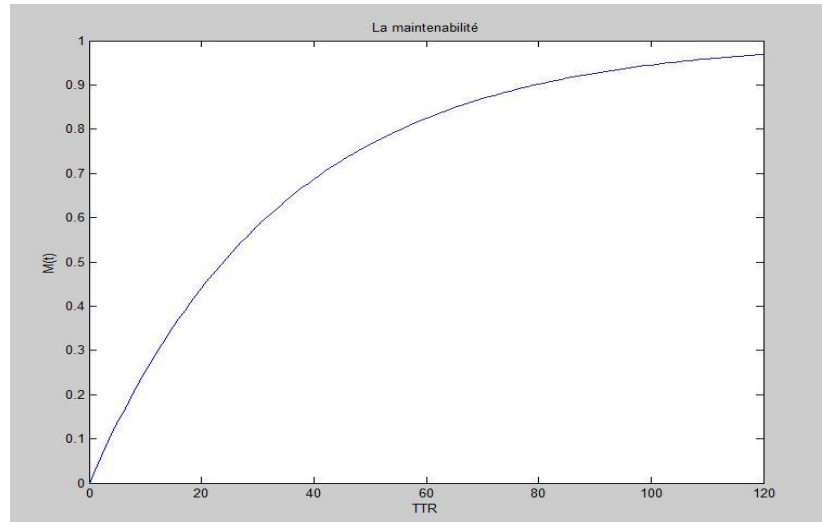


Figure V.6 : Maintenabilité en fonction de TBF

Analyse de la courbe

On remarque d'après cette figure que la maintenabilité augmente avec l'augmentation du temps de réparation (TTR).

V.5. La disponibilité

V.5.1. Disponibilité intrinsèque théorique

$$MTBF = 11567.78 \text{ h} ; \quad MTTR = 34,45 \text{ h}$$

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{11567.78}{11567.78+34.45} = 0.9970 = 99.7\%$$

V.5.2. Disponibilité instantanée

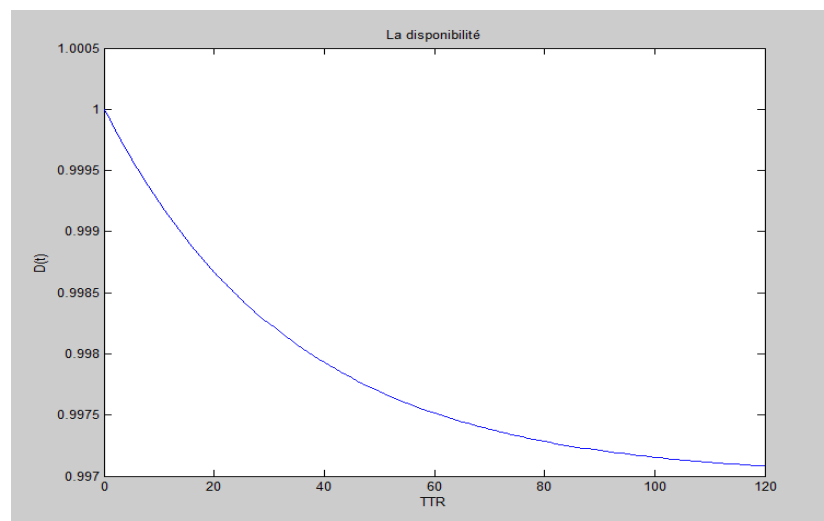
On a:

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = 0.029 \text{ h}^{-1} \quad \text{et} \quad \lambda = \frac{1}{MTBF} = 0.0000876 \text{ h}^{-1}$$

$$\begin{aligned} D(t) &= \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\lambda+\mu)t} \\ &= \frac{0.029}{0.029 + 0.0000876} + \frac{0.0000876}{0.029 + 0.0000876} e^{-(0.0000876+0.029)t} \end{aligned}$$

Tableau V.6 : Résultats du calcul de $D(t)$

TTR	$D(t)$
5	0,99959235
6	0,9995177
7	0,9994452
8	0,99937477
13	0,99905182
16	0,99887944
30	0,9982472
50	0,99769261
63	0,99747143
65	0,99744423
116	0,9970934

**Figure V.7** : Disponibilité instantanée en fonction de TBF

Analyse de la courbe

On remarque que la fonction de la disponibilité est décroissante en fonction de temps de réparation, et prend une grande valeur, puis diminue jusqu'à une valeur constant. Pour augmenter la disponibilité de groupe électrogène il faut diminuer le nombre de ses arrêts.

V.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pris l'historique de panne du groupe électrogène à travers le stage que nous avons réalisé. Ensuite; connaître les comportements avec une étude détaillée de la FMD qui permet de choisir une meilleure politique de maintenance, ce qui donne la possibilité de réduire les temps d'arrêts.

L'analyse FMD permettra au gestionnaire de la fonction maintenance de déterminer une stratégie de maintenance basé sur l'étude graphique à travers un exemple pratique qui permet d'obtenir des analyses profondes pour mieux planifier une politique de gestion de la maintenance.

Pour assurer la fiabilité de la machine (groupe électrogène), il est recommandé d'intervenir chaque intervalle de temps systématique $T_{\text{sys}} = 1103.43$ heures.

CONCLUSION GENERALE

Dans notre travail, nous avons fait un stage pratique avec le groupe technique au sien de la société ENNA à l'aéroport de GHARDAIA, pour avoir des connaissances sur leur fonctionnement de cette société, d'une part et d'extraire l'historique des pannes de notre système choisi (groupe électrogène) d'une autre part.

La mission de l'entreprise est d'assurer l'énergie de tous les secteurs de l'aéroport, par l'équipe technique qui supervise le traitement des défauts.

Notre recherche visait à recueillir l'historique des défaillances du groupe électrogène, où l'équipe technique a clarifié les défauts qui ont été traités et corrigé, puis nous avons étudiées en détail et vérifiées à l'aide de l'analyse FMD par la méthodologie Weibull. . Pour choisir la méthode de calculs de fonction de répartition, de fiabilité, de densité de probabilité et du taux de défaillance, nous avons appliqué le test de KOLMOGOROV-SMIRNOV, d'après l'application de ce test, la méthode de Weibull est acceptable.

Nous avons représenté graphiquement la courbe Weibull en MINITAB 16 afin de tirer les paramètres de Weibull, puis nous avons calculé $f(t)$, $F(t)$, $R(t)$ et $\lambda(t)$; et nous les avons représentés graphiquement à l'aide de MATLAB 13.

En conclusion, la disponibilité de notre système est élevée, mais la fiabilité est faible, pour augmenter son efficacité et prolonger sa durée de vie nous proposons selon les résultats trouvés dans cette étude de procéder à une intervention systématique nécessaire chaque 1180.75heures (49 jour).

Annexe

Annexe 01 : Tableau de loi Kolmogorov-Smirnov

N	Niveau significatif				
	0,2	0,15	0,1	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,252	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,210	0,220	0,240	0,270	0,320
30	0,190	0,200	0,220	0,240	0,290
35	0,180	0,190	0,210	0,230	0,270
>35	$\frac{1,07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{0,188}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$

Annexe 02 : Distribution de Weibull : valeurs des coefficients A et B en fonction du paramètre de forme.

β	A	B	β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,05	2,43290E+18	9,03280E+23	1,75	0,89062	0,52523	3,45	0,89907	0,28822	5,15	0,91974	0,20505
0,1	3,62880E+06	1,55977E+09	1,8	0,88929	0,51123	3,5	0,89975	0,28473	5,2	0,92025	0,20336
0,15	2,59357E+03	1,21993E+05	1,85	0,88821	0,49811	3,55	0,90043	0,28133	5,25	0,92075	0,20170
0,2	1,20000E+02	1,90116E+03	1,9	0,88736	0,48579	3,6	0,90111	0,27802	5,3	0,92125	0,20006
0,25	2,40000E+01	1,99359E+02	1,95	0,88671	0,47419	3,65	0,90178	0,27479	5,35	0,92175	0,19846
0,3	9,26053E+00	5,00780E+01	2	0,88623	0,46325	3,7	0,90245	0,27164	5,4	0,92224	0,19688
0,35	5,02914E+00	1,99761E+01	2,05	0,88589	0,45291	3,75	0,90312	0,26857	5,45	0,92272	0,19532
0,4	3,32335E+00	1,04382E+01	2,1	0,88569	0,44310	3,8	0,90379	0,26558	5,5	0,92320	0,19379
0,45	2,47859E+00	6,46009E+00	2,15	0,88561	0,43380	3,85	0,90445	0,26266	5,55	0,92368	0,19229
0,5	2,00000E+00	4,47214E+00	2,2	0,88562	0,42495	3,9	0,90510	0,25980	5,6	0,92414	0,19081
0,55	1,70243E+00	3,34530E+00	2,25	0,88573	0,41652	3,95	0,90576	0,25701	5,65	0,92461	0,18935
0,6	1,50458E+00	2,64514E+00	2,3	0,88591	0,40848	4	0,90640	0,25429	5,7	0,92507	0,18792
0,65	1,36627E+00	2,17887E+00	2,35	0,88617	0,40080	4,05	0,90704	0,25162	5,75	0,92552	0,18651
0,7	1,26582E+00	1,85117E+00	2,4	0,88648	0,39345	4,1	0,90768	0,24902	5,8	0,92597	0,18512
0,75	1,19064	1,61077	2,45	0,88685	0,38642	4,15	0,90831	0,24647	5,85	0,92641	0,18375
0,8	1,13300	1,42816	2,5	0,88726	0,37967	4,2	0,90894	0,24398	5,9	0,92685	0,18240
0,85	1,08796	1,28542	2,55	0,88772	0,37319	4,25	0,90956	0,24154	5,95	0,92729	0,18107
0,9	1,05218	1,17111	2,6	0,88821	0,36696	4,3	0,91017	0,23915	6	0,92772	0,17977
0,95	1,02341	1,07769	2,65	0,88873	0,36097	4,35	0,91078	0,23682	6,05	0,92815	0,17848
1	1,00000	1,00000	2,7	0,88928	0,35520	4,4	0,91138	0,23453	6,1	0,92857	0,17721
1,05	0,98079	0,93440	2,75	0,88986	0,34963	4,45	0,91198	0,23229	6,15	0,92898	0,17596
1,1	0,96491	0,87828	2,8	0,89045	0,34427	4,5	0,91257	0,23009	6,2	0,92940	0,17473
1,15	0,95170	0,82971	2,85	0,89106	0,33909	4,55	0,91316	0,22793	6,25	0,92980	0,17351
1,2	0,94066	0,78724	2,9	0,89169	0,33408	4,6	0,91374	0,22582	6,3	0,93021	0,17232
1,25	0,93138	0,74977	2,95	0,89233	0,32924	4,65	0,91431	0,22375	6,35	0,93061	0,17113
1,3	0,92358	0,71644	3	0,89298	0,32455	4,7	0,91488	0,22172	6,4	0,93100	0,16997
1,35	0,91699	0,68657	3,05	0,89364	0,32001	4,75	0,91544	0,21973	6,45	0,93139	0,16882
1,4	0,91142	0,65964	3,1	0,89431	0,31561	4,8	0,91600	0,21778	6,5	0,93178	0,16769
1,45	0,90672	0,63522	3,15	0,89498	0,31135	4,85	0,91655	0,21586	6,55	0,93216	0,16657
1,5	0,90275	0,61294	3,2	0,89565	0,30721	4,9	0,91710	0,21397	6,6	0,93254	0,16547
1,55	0,89939	0,59252	3,25	0,89633	0,30319	4,95	0,91764	0,21212	6,65	0,93292	0,16439
1,6	0,89657	0,57372	3,3	0,89702	0,29929	5	0,91817	0,21031	6,7	0,93329	0,16332
1,65	0,89421	0,55635	3,35	0,89770	0,29550	5,05	0,91870	0,20853	6,75	0,93366	0,16226
1,7	0,89224	0,54024	3,4	0,89838	0,29181	5,1	0,91922	0,20677	6,8	0,93402	0,16121

Annexe 03 : codes de diagnostic

CID-FMI	Description du code de diagnostic
1-11	Anomalie de l'injecteur du cylindre n. 1
2-11	Anomalie de l'injecteur du cylindre n. 2
3-11	Anomalie de l'injecteur du cylindre n. 3
4-11	Anomalie de l'injecteur du cylindre n. 4
5-11	Anomalie de l'injecteur du cylindre n. 5
6-11	Anomalie de l'injecteur du cylindre n. 6
41-03	Alimentation électrique vers le capteur 8V coupée/en court-circuit vers B+
41-04	Alimentation électrique vers le capteur 8V en court-circuit vers la masse.
91-08	PWM commande de vitesse anormal
100-03	Circuit du capteur de pression d'huile moteur coupé/en court-circuit vers B+.
100-04	Circuit du capteur de pression d'huile moteur en court-circuit vers la masse
110-03	Circuit du capteur de température du liquide de refroidissement moteur coupé/en court-circuit vers B+
110-04	Circuit du capteur de température du liquide de refroidissement moteur coupé/en court-circuit vers la masse.
168-02	Alimentation électrique intermittente de la batterie vers l'ECM
172-03	Circuit du capteur de température du collecteur d'admission coupé/en court-circuit vers B+
172-04	Circuit du capteur de température du collecteur d'admission en court-circuit vers la masse
174-03	Circuit du capteur de température du carburant coupé/en court-circuit vers B+
174-04	Circuit du capteur de température du carburant en court-circuit vers la masse
190-02	Transmission de données intermittente par le capteur de régime moteur
190-09	Mise à jour irrégulière du capteur de régime moteur
190-11, 12	Anomalie mécanique du capteur de régime moteur.
248-09	Transmission des données Perkins anormale
253-02	Vérifier les paramètres utilisateur ou de système.
254-12	Anomalies de l'ECM.
261-13	Il est nécessaire de procéder à l'étalonnage de la distribution du moteur
262-03	Alimentation électrique vers le capteur 5V coupée/en court-circuit vers B+
262-04	Alimentation électrique vers le capteur 5V en court-circuit vers la masse.
268-02	Vérifier les paramètres programmables
273-03	Circuit du capteur de pression de sortie du turbocompresseur coupé/en court-circuit vers B+.

273-04	Circuit du capteur de pression de sortie du turbocompresseur en court-circuit vers la masse
274-03	Circuit du capteur de pression atmosphérique coupé/en court-circuit vers B+
274-04	Circuit du capteur de pression atmosphérique en court-circuit vers la masse
281-03	Circuit de la lampe témoin de signalisation intervention coupé/en court-circuit vers B+
281-04	Circuit de la lampe témoin de signalisation intervention en court-circuit vers la masse.
281-05	Coupure du circuit de la lampe témoin de signalisation intervention
282-03	Circuit de la lampe témoin de surrégime moteur coupé/en court-circuit vers B+
282-04	Circuit de la lampe témoin de surrégime moteur en court-circuit vers la masse
285-03	Circuit de la lampe témoin de température du liquide de refroidissement moteur coupé/en court-circuit vers B+
285-04	Circuit de la lampe témoin de température du liquide de refroidissement moteur en court-circuit vers la masse
286-03	Circuit de la lampe témoin de pression de l'huile moteur coupé/en court-circuit vers B+
286-04	Circuit de la lampe témoin de pression de l'huile moteur en court-circuit vers la masse
286-05	Coupure du circuit de la lampe témoin de pression de l'huile moteur
323-03	Circuit de la lampe témoin d'arrêt moteur coupé/en court-circuit vers B+
323-04	Circuit de la lampe témoin d'arrêt moteur en court-circuit vers la masse
323-05	Coupure du circuit de la lampe témoin d'arrêt moteur
324-03	Circuit de la lampe témoin du moteur coupé/en court-circuit vers B+
324-04	Circuit de la lampe témoin du moteur en court-circuit vers la masse
324-05	Coupure du circuit de la lampe témoin du moteur
342-02	Capteur de régime moteur n. 2, données intermittentes
342-11, 12	Capteur de régime moteur n. 2, anomalie mécanique
443-03	Relais de fin de démarrage coupé/en court-circuit vers B+
799-12	Outil défectueux
1266-03	Lampe de diagnostic coupée/en court-circuit vers B+
1266-04	Lampe de diagnostic en court-circuit vers la masse
1690-8	Signal analogique de l'accélérateur irrégulier

Bibliographie

- [1] **M. Amine** et **L. Thileli**, *L'impact du Style de Commandement sur la Gestion de l'Entreprise au sein de l'ENNA (Direction de la Sécurité aéronautique – Bejaïa)*, Master en Sociologie du Travail et Gestion des Ressources Humaines UNIVERSITE Abderrahmane MIRA-BEJAIA, 2013/2014.
- [2] site officiel de l'ENNA : <https://www.enna.dz/>
- [3] **A. Chafa** et **Z. Aziz**, *Etude d'un groupe électrogène par simulation numérique*, Mémoire de Master en génie électrique, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015/2016.
- [4] Documentation de constructeur « *Perkins - Série 2800 Modèle 2806C-E16 MANUEL D'ENTRETIEN Moteurs diesel à 6 cylindres suralimentés pour les utilisations industrielles* ».
- [5] <https://www.scribd.com/document/241484189/01-Fonction-Maintenance>
- [6] **D. Bouami**, *Le Grand Livre de la Maintenance*, année 2019.
- [7] **A. Belhomme**, *Stratégie de Maintenance*, année 2010/2011
- [8] **A. Adil**, *Optimisation De La Fonction Maintenance Par La Méthode AMDAC Cas de la pompe 2000D à membrane de l'entreprise CERTAF*, Mémoire de Master en génie mécanique, université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 2012/2013.
- [9] NORME AFNOR FD-X60-000, MAI 2002
- [10] <https://docplayer.fr/17580337-Strategies-de-maintenance-concepts-et-strategies-de-maintenance-synthese.html>
- [11] Z. Guesmi, *TECHNIQUES DE MAINTENANCE*
- [12] <http://iutgmp.univlille1.fr/fichiers/LPMICVI/15%20Stratgie%20de%20Maintenance%20Industrielle.pdf>
- [13] **Villemeur, A.** (1991), *Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment*. New York, USA. John Wiley & Sons ltd. ISBN 9780471930488.
- [14] NORME AFNOR FD-X60-501. Septembre 1984
- [15] **A. Dehim**. *Etude de la fiabilité et la maintenabilité pour les machines à commandes numérique au niveau de la S.N.V.I*, Mémoire d'Ingénieur d'Etat en maintenance industrielle, Université de Boumerdès, 2002.
- [16] **Prof. Ahmed BELLAOUAR** et **Salima BELEULMI**. *Fiabilité, maintenabilité et disponibilité (FMD)*, Département de Génie des transports Université Constantine 1, D.2013
- [17] **Kumamoto.H** et **Henley.E.** (1996). *Probabilistic risk assessment and management for engineers and scientists*. IEEE Press .ISBN 9780780310049.

- [18] **DI.CHO et M. PARLAR.** *Servey of maintenance models for multi-unit system, europe&n journal of operation resaerch*) vol 51 n 01 pp 1-23 (1991).
- [19] **A. Lannoy.** *Analyse quantitative et utilité du retour d'expérience pour la maintenance des matériels et la sécurité*, Eyrolles, 1996.
- [20] **A. Villemeur,** *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : fiabilité, facteurs humains, informatisation.* Eyrolles, Paris, 1988
- [21] **François Monchy, Jean-Pierre Vernier.** *Maintenance méthodes et organisations*, 3^{eme} édition, DUNOD, Paris, 2000, ISBN 2 10 003997
- [22] **M. Nacereddine, B. Farid Abdel Mouemine,** *Gestion de la maintenance intégrée de la machine à tubes RM 6 B au niveau de l'entreprise "IRRAGRIS" BBA*, Mémoire d'ingénieur d'état en électromécanique, Université de M'sila, 2006.
- [23] **S.OUSSAMA et M.ABDESSALEM,** *Utilisation de la GMAO pour la Planification da la Maintenance Préventive*, Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA