

République Algérienne Démocratique et Populaire

*Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université M'Hamed Bougarra Boumerdes
Faculté des Sciences l'ingénieur*



Département Génie mécanique

Mémoire de Mastère

En vue de l'obtention de diplôme De Mastère

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

Thème

**Etude de fiabilité et analyse des défaillances
d'un tour à commande numérique**

Présenté par :

-TOUABI Mohamed

-BOUKHEDOUNI Sofiane

Promoteur :

Pr H.AKNOUCHE

Encadreur :

A.IFREIN

Année 2018-2019

Remerciements

Tous d'abord, nous tenons à remercier « ALLAH » de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à remercier Pr « AKNOUCHE Hamid » notre promoteur pour sa patience et sa coopération le long de cette période.

A tous le personnel de l'unité SNVI-VIR de ROUIBA pour leurs aides et leurs encouragements, spécialement à notre encadreur Mr « IFRIEN Ahmed ».

Sans oublié de remercier profondément, nos PARENTS pour leur compréhension, leurs encouragements et leur soutien sans failles.

Enfin, nous tenons à remercier toutes personnes qui ont donné leurs aides de près ou de loin, directement ou indirectement pour la réussite de ce travail.

TOUABI MOHAMED

Merci

DEDICACES

*J'ai toujours **pensé** faire où **offrir** quelque chose à mes parents en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti comme efforts, rien que pour me voir réussir, et voilà, l'**occasion** est venue.*

*A ceux qui m'ont donné la **vie**, symbole de **beauté**, et de **fierté**, de **sagesse** et de **patience**.*

*A ceux qui sont la source de mon **inspiration** et de mon **courage**, à qui je dois de l'**amour** et de la **reconnaissance**.*

☉ *A mes **parents chers**.*

☉ *A Mon frère, et Mes sœurs, je vous réserve toujours une place dans mon cœur et mes pensées.*

☉ *A mon grand père et ma grande mère.*

☉ *A toute ma famille **TOUABI** et **OUCHEN**.*

☉ *A tous mes **Amis sans exception**.*

☉ *A tout le groupe **Mécanique et Maintenance Industrielle** ainsi que les étudiants de **Boumerdes**.*

TOUABI MOHAMED



DEDICACES

*J'ai toujours **pensé** faire où **offrir** quelque chose à mes parents en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti comme efforts, rien que pour me voir réussir, et voilà, l'**occasion** est venue.*

*A ceux qui m'ont donné la **vie**, symbole de **beauté**, et de **fierté**, de **sagesse** et de **patience**.*

*A ceux qui sont la source de mon **inspiration** et de mon **courage**, à qui je dois de l'**amour** et de la **reconnaissance**.*

☉ *A mes **parents chers**.*

☉ *A Mon frère, et Mes sœurs, je vous réserve toujours une place dans mon cœur et mes pensées.*

☉ *A mon grand père et ma grande mère.*

☉ *A toute ma famille **BOUKHEDOUNI** et **HAMDANI**.*

☉ *A tous mes **Amis sans exception**.*

☉ *A tout le groupe **Mécanique et Maintenance Industrielle** ainsi que les étudiants de **Boumerdes**.*

BOUKHEDOUNI SOFIANE



SOMMAIRE

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Etude d'un tour à commande numérique

I.1.Introduction.....	3
I.2.Historique de la SNVI.....	3
I.2.1. Présentation BERLIET-ALGERIE.....	3
I.2.2. Présentation de la SONACOME.....	3
I.2.3. Présentation de la SNVI.....	3
I.2.4. Statut et forme juridique	4
I.2.5. Composition de la SNVI.....	4
I.2.5.1. Une société mère.....	4
I.2.5.2. Filiale véhicule industriels Rouïba (VIR)	5
I.2.5.3. Filiale carrosseries industrielles de Rouïba(C.I.R)	6
I.2.5.4. Filiale fonderies de Rouïba(FOR).....	6
I.2.5.5. Filiale carrosseries industrielles de Tiaret (C.I.T).....	6
I.2.5.6. Filiale construction de matériels et Equipements ferroviaires d'Annaba (FERROVIAL).....	7
I.3.Le réseau commercial.....	7
I.4.L'organisation de l'entreprise SNVI	8
I.5. Machine-outil à commande numérique	9
I.5.1. Définition.....	9
I.5.2. Origines de la commande numérique	9
I.5.3. Présentation du tour.....	9

I.5.3.1. Vue d'ensemble	10
I.5.4. Description du tour	11
I.5.4.1. Bâti	11
I.5.4.2. Broche	12
I.5.4.3. Entraînement de la broche.....	12
I.5.4.4. Chariots croisés	12
I.5.4.5. Entraînement des chariots croisés	12
I.5.4.6. tourelle de travail-Révolvers	13
I.5.4.7. Tournage	13
I.5.4.8. Fraisage	13
Conclusion.....	13

Chapitre II : Généralités sur la maintenance, étude de fiabilité et AMDEC

INTRODUCTION.....	14
II.1. Stratégie de la maintenance.....	14
Introduction.....	14
II.1.1. Définition de la maintenance	14
II.1.2. Les objectifs de la maintenance (<i>norme FD X 60-000</i>).....	15
II.1.3. Types et stratégies de maintenance	16
II.1.3.1. Maintenance préventive.....	16
II.1.3.2. Maintenance corrective.....	16
II.1.4. Actions de maintenance.....	17
II.1.4.1. Actions de maintenance préventive	18
II.1.4.2. Actions de maintenance corrective.....	18
II.1.4.3. Autres actions de maintenance	18
II.1.5. Niveaux et échelons de maintenance	19

II.1.5.1. Les niveaux de maintenance (norme FD X 60-000).....	19
II.1.5.2. Les échelons de maintenance (<i>norme FD X 60-000</i>).....	19
II.1.5.3. Les cinq niveaux de maintenance (norme FD X 60-000).....	20
II.1.6. Fonctions de la maintenance	24
II.1.6.1. Fonction méthodes.....	25
II.1.6.2. Fonction préparation.....	26
II.1.6.3. Fonction ordonnancement	27
II.1.6.4. Fonction lancement.....	27
II.1.6.5. Fonction exécution	28
II.1.6.6. Gestion des stocks et magasinage.....	28
II.1.6.7. Gestion des coûts	29
II.2. FIABILITE.....	30
Introduction.....	30
II.2.1. Notions sur la fiabilité	30
II.2.1.1. Définition.....	30
II.2.1.2. Commentaires sur les quatre concepts de la fiabilité	30
II.2.2. Les objectifs de la fiabilité	31
II.2.3. Caractéristiques de la fiabilité	31
II.2.3.1. La fonction de défaillance	31
II.2.3.2. La fonction de fiabilité	31
II.2.3.3. Temps moyen de bon fonctionnement.....	32
II.2.3.4. Le taux de défaillance	32
II.2.3.5. La courbe en baignoire	32
II.2.4. Classement des données	33
II.2.4.1. La variable aléatoire (v.a).....	33
II.2.4.2. Approximation de la fonction de répartition $F(t)$	34
II.2.5. Le modèle de Weibull.....	34

II.2.5.1. Domaine d'utilisation	34
II.2.5.2. Expressions mathématiques.....	34
II.5.3. Signification du paramètre de Weibull.....	35
II.5.3.1. Signification du paramètre de forme β	35
II.5.3.2. Signification du paramètre de position γ	36
II.2.5.4. Détermination graphique des paramètres de Weibull.....	36
II.2.6. La maintenabilité	37
II.2.6.1. Définition.....	37
II.2.6.2. Les indicateurs de maintenabilité	37
II.2.6.3. Les temps techniques de réparation (TTR).....	37
II.2.7. La disponibilité	38
II.2.7.1. Définition.....	38
II.2.7.2. Expression de la disponibilité.....	38
II.3. Analyse des défaillances par la méthode AMDEC	39
Introduction.....	39
Historique de l'AMDEC.....	40
II.3.1.1. Définitions de la défaillance	40
II.3.1.2. Classification des défaillances	40
II.3.1.3. Normalisation des défaillances NF X 06-501.....	40
II.3.2.1. Définition AMDEC par AFNOR.....	42
II.3.2.2. Butes de l'étude AMDEC	42
II.3.2.3. Les différents types d'AMDEC	42
II.3.3. AMDEC machine	43
II.3.3.1. L'AMDEC machine	43
II.3.3.2. AMDEC prévisionnelle	43
II.3.3.3. AMDEC opérationnelle	43

II.3.4. Démarche pratique de l'AMDEC machine	44
Conclusion.....	46

Chapitre III : Application modèle weibull et analyse des défaillances par AMDEC

III.1. Application de modèle de Weibull sur HES 500 et CT60.....	47
III.1.1. Préparation des données (HES 500 C03155)	47
III.1.2. Détermination des paramètres	49
III.1.3. Exploitation des paramètres.....	49
III.1.4. Représentation graphique.....	50
III.1.4.1. Courbe de fonction de fiabilité R (t)	50
III.1.4.2. Courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$	50
III.2.1. Préparation des données (CT 60 C03225)	51
III.2.2. Détermination des paramètres	51
III.2.3. Exploitation des paramètres.....	52
III.2.4 Représentation graphique.....	52
III.2.4.1 Courbe de fonction de fiabilité R(t)	52
III.2.4.2. Courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$	53
III.3. Application de l'AMDEC sur la machine tour (HES 500 et CT 60)	54
III.3.1. Initialisation	54
III.3.2. Décomposition fonctionnelle	55
III.3.3. Analyse AMDEC	59
III.4. Synthèses	73
III.4.1 Récapitulatif des défaillances	73
III.4.2. Les points critiques	74

III.5. Présentation d'une gamme d'entretien pour les éléments de Tour à commande numérique (HES 500 et CT60).....	77
Conclusion.....	80
Conclusion générale.....	81
bibliographie	
Références bibliographiques.....	82

LISTE DES FIGURES

LISTES DES FIGURES

Figure I.1 : La direction mère de SNVI	4
Figure I.2 : Organigramme de l'entreprise	8
Figure I.3 : Tour à commande numérique	11
Figure II.1 : Typologie de la maintenance	17
Figure II.2 : Fonctions de la maintenance.	25
Figure II.3 : Courbe en baignoire.	32
Figure II.4 : Diagramme d'ALLEN PLAIT.	36
Figure II.5 : Découpage général d'un système.....	45
Figure III.1 : papier de Weibull (HES 500).	48
Figure III.2 : La courbe de fiabilité R (t).....	50
Figure III.3 : Courbe du taux de défaillance $\lambda(t)$	51
Figure III.5 : La courbe de fiabilité R (t).....	53
Figure III.6 : Courbe du taux de défaillance $\lambda(t)$	54
Figure III.7 : Diagramme de pieuvre.....	56
Figure III.8 : Décomposition fonctionnelle d'une tourelle à CN.	57
Figure III.9 : Décomposition fonctionnelle d'une tourelle à CN.	58
Figure III.10 : Histogramme de défaillance par bloc (HES 500).	73
Figure III.11 : Histogramme de défaillance par bloc Tour à CN (CT 60).	74

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Les niveaux de maintenance	20
Tableau II.2 : Les fréquences des avaries $F(i)$, en fonction de la taille N de l'échantillon	34
Tableau III.1 : Classement des TBF de la machine HES 500 C03155.	47
Tableau III.3 : Identification de la fonction des équipements.....	59
Tableau III.4 : Grille de cotation de la criticité	60
Tableau III.5 : Grille de cotation de la gravité.	61
Tableau III.6 : Grille de cotation de la fréquence d'apparition.	61
Tableau III.7 : Grille de cotation de la probabilité de non détection.	62
Tableaux III.8 : Les tables AMDEC (HES 500).	63
Tableaux III.9 : Les Tables AMDEC CT 60.	68
Tableau III.10 : Nombre des défaillances par bloc de fonctionnement HES 500.....	73
Tableau III.11 : Nombre des défaillances par bloc de fonctionnement (CT 60).....	74
Tableau III.12 : Classification des éléments selon leur criticité de (HES 500).	75
Tableau III.13 : Classification des éléments selon leur criticité de (CT 60).....	76
Tableau III.14 : Entretien préventive de Broche.	77
Tableau III.15 : Entretien préventive de Pompe.....	78
Tableau III.16 : Entretien préventive de Partie électrique.....	79
Tableau III.17 : Entretien préventive de Tourelle.	80

Liste des abréviations

Liste des abréviations

SNVI : société nationale du véhicule industriel

SONACOME : société nationale de construction mécanique

CN : commande numérique

ISO : internationale standarding organisation

AFNOR : Association française de la normalisation

AMDEC : Analyse de Mode de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité

v.a : variable aléatoire

TBF : Temps de bon fonctionnement

TTR : Temps technique de réparation

MTBF : Moyenne de temps de bon fonctionnement

MTTR : Moyenne de temps technique de réparation

D : Disponibilité

C : criticité

G : gravité

F : fréquence

D : probabilité du non détection

Résumé

Notre projet s'inscrit en premier lieu en une étude technique d'un tour à commande numérique type (HES 500, CT60) avec une description des différents organes. Une description générale est donnée sur le service maintenance, l'étude de fiabilité visant essentiellement à démontrer que la durée de vie d'un équipement est une variable aléatoire et que les caractéristiques de cette dernière se dégradent avec l'usage. Cette étude finie par l'analyse des défaillances par la méthode AMDEC qui consacre à déterminer un plan de maintenance pour notre équipement.

Mots clés : fiabilité, maintenance, AMDEC, défaillance, machine à commande numérique, les risques, plan de maintenance, industrielle.

Abstract

Our project is first of all a technical study of a typical numerically controlled lathe (HES 500, CT60) with a description of the deferent organs, and gives a general idea about the maintenance department, following the reliability study which is essentially intended to demonstrate that the lifetime of a piece of equipment is a random variable and that the characteristics of the latter are degraded with use and ended with the failure analysis by the FMEA method which maintenance for our equipment.

Key WORDS : reliability, maintenance, FMEA, failure numerical control machine, risks, maintenance plan, industrial.

ملخص

هذا البحث بدرجة الأولى هي دراسة تقنية لآلة الخراطة مع وصف لجميع المكونات الأساسية لهذه الآلة وإعطاء نظرة عامة على مصلحة الصيانة تليها الدراسة الموثوقية التي تهدف في الأساس إلى إثبات أن حياة المعدات هو متغير عشوائي وأن خصائص هذا المتغير تتناقص تدريجيا مع استخدام الآلة وأخيرا تحليل معطيات عجز الآلة باستعمال طريقة AMDEC لخروج بخطة جديدة لصيانة معداتها.

الكلمات المفتاحية: الموثوقية، الصيانة، العجز، ثابت، آلة CN، المخاطر، خطة الصيانة، الصناعة، AMDEC .

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La société nationale des véhicules industrielle SNVI se trouve aujourd'hui en position de jouer un rôle important dans l'économie nationale, ce qui lui a permis dès sa création de s'imposer en tant que leader régionale dans sa spécialité et, à bâtir un label grâce à ses produite de haute qualité.

Parmi les machines ayant un grand rôle dans la chaine de production de la SNVI on a les tours à commande numérique.

Le tour à commande numérique CNC (Commande Numérique Par Calculateur) est l'élément principale dans le service maintenance de « l'ONCF » ainsi, chaque arrêt ou panne non programmée peut paralyser la production.

Notre projet de fin d'étude consiste à faire une étude de fiabilité et analyse de défaillance par méthode AMDEC (Analyse de Mode de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité) sur le tour à commande numérique. Cette expertise a pour objectifs d'identifier les pannes les plus critiques afin d'empêcher leurs réapparitions et aussi d'améliorer le rendement de la machine et de réduire le temps improductif. Les résultats attendus aussi par cette étude, est l'orientation de la politique de maintenance de la SNVI qui émanera des différentes recommandations suite à l'analyse par les deux méthodes de proposées.

Ce manuscrit proposé se compose de trois chapitres qui se résument en :

Le premier est dédié à une présentation sommaire de l'entreprise SNVI, ou on donne certains renseignements sur les produits élaborés ainsi que l'organisation générale de l'entreprise. Dans ce chapitre une partie est consacrée en une étude bibliographique sur les machines-outils à commande numérique. Ces machines dont leur exploitation demande une technicité de la part des conducteurs de machines.

Le second chapitre, prend en charge toute la problématique de la maintenance, or on donne les définitions des différentes formes de la maintenance ainsi leurs conditions d'application. Ce chapitre, donne les formulations pour le calcul de la FMDS qui est l'axe central de notre expertise. Une large diertation sur la théorie d'AMDEC est prise en charge dans ce chapitre. Il éclaire le lecteur sur cette théorie d'expertise qui s'applique dans toutes les disciplines.

Le dernier chapitre est essentiellement consacré aux calculs des différents paramètres qui nous renseigneront sur l'état de notre parc machines. Des résultats et leurs discussions sont

Introduction générale

aussi donnés dans la pratique de la théorie AMDEC suivis d'un certain nombre de propositions afin de parfaire la maintenance an l'entreprise plis précisément dans l'atelier du parc machines à commande numérique

Une introduction commence ce manuscrit ou il situe la problématique à prendre en charge, la fin de ce manuscrit est une conclusion générale ou les principaux résultats sont repais ainsi qu'un certain nombre de recommandations.

Chapitre I :

Etude d'un tour à commande numérique

I.1.Introduction

Dans ce chapitre nous discutons et nous mettons la lumière sur une entreprise qui représente un label international, dont on est suffisamment fier de l'avoir choisis pour notre étude comme un organisme d'accueil, car elle représente un véritable poids lourd de l'industrie mécanique algérienne, du moment qu'elle a réussi dès sa création à s'imposer en tant que leader régional dans sa spécialité et à bâtir un symbole grâce à ses produits de haute qualité et un service après-vente performant.

Dans ce chapitre on va parler aussi sur les machine tour commande numérique

Une machine-outil à commande numérique a pour but de réaliser physiquement les mouvements de coupe nécessaires à l'obtention d'une surface par enlèvement de matière. Elle réalise le mouvement de coupe et le mouvement d'avance de l'outil par rapport à la pièce. De plus, elle doit permettre l'obtention de pièces en respectant les spécifications fonctionnelles. Après une présentation des machines-outils, nous fournirons dans ce chapitre, quelques «définitions » que l'on pourra, utilisées d'une machine-outil à commande numérique.

I.2.Historique de la SNVI

I.2.1. Présentation BERLIET-ALGERIE

1958, sortie en juin 1957 Berliet entreprend la construction d'une usine de poids lourd de type CKD, en octobre de premier véhicule Berliet (entièrement monté en Algérie) .dès lors, la production de Berliet Algérie à connaitre une progression régulière, en juin 1964 le gouvernement Algérie par l'intermédiaire de la caisse algérienne du développement prend une participation 40% dans la société (Berliet- Algérie). [1]

I.2.2. Présentation de la SONACOME

En 09.10.1967 fut créée la SONACOME(société nationale de construction mécanique) sous l'ordonnance 67.150 le schéma d'organisation adopté pour la SO.NA.CO.ME regroupant en son dix(10) entreprises autonomes pour promouvoir et développer les industries mécanique en Algérie.

I.2.3. Présentation de la SNVI

L'entreprise nationale de véhicule industriels (SNVI) a pour vocation la conception, la fabrication, la commercialisation et le soutien après d'une importante gamme de produits. Au capital social de 2.200.000.000 DA, détenu en totalité par l'état algérien, le complexe SNVI

Chapitre I : Etude d'un tour à commande numérique

construit des camions-tracteurs, autocars, des autobus et des équipements de carrosserie industrielle.

Trois qualités distinguent ce fleuron de l'industrie nationale de ses similaires sur le marché et expliquent son succès et sa force dont :

- Son organisation d'abord : « l'organisation de la société est adossée à des procédures ».
- La maîtrise de la technologie : permet à « l'entreprise de faire de la conception, de la fabrication, du montage de véhicules industriels et de liaison mécanique », est une autre qualité majeure de l'entreprise.
- La troisième qualité de la SNVI réside dans sa ressource humaine : « il a une ressource humaine potentielle en terme de nombre, de qualité et de diversité ».

I.2.4. Statut et forme juridique

-**Forme juridique** : entreprise publique économique, société par actions (EPE, SPA).

-**Capital social** : 2 .200.000.000 DA entièrement détenu par l'état.



Figure I.1 : La direction mère de SNVI.

I.2.5. Composition de la SNVI

I.2.5.1. Une société mère

Composée de :

- Direction centrale.
- Direction centrale commerciale et son réseau.
- Division rénovation véhicules industriels-DRVI.
- L'élaboration et la mise en œuvre de la politique financière.

Chapitre I : Etude d'un tour à commande numérique

- La définition de la politique de rémunération et du développement de la ressource humaine du groupe.
- Continuer également à assurer le business actuel en rapport avec :
 - La commercialisation des véhicules industriels neufs,
 - la rénovation des véhicules industriels à sidi moussa,
 - les activités du transport, dédouanement et transit,
 - la formation spécialisée avec son centre implanté sur site de Rouïba.

I.2.5.2. Filiale véhicule industriels Rouïba (VIR)

Créée en juillet 1970, le complexe des véhicules industriels de Rouïba, érigé en filiale le 1er janvier 2011, faisant partie du groupe industriel SNVI et l'unique fabricant de véhicules industriels en Algérie.

Situé en 10 minutes de l'aéroport d'Alger et à 30 minutes du port, le complexe produit des camions de 6.6 à 26 tonnes de poids total en charge, des tracteurs routiers, des autocars et des autobus mettant en œuvre des technologies et des techniques d'élaboration telles que, l'estampage à chaud (forge), l'emboutissage, l'usinage, le taillage d'engrenage, la capacité de production installée : 4500 véhicules/an.

Cette filiale regroupe elle-même cinq (05) centres de production :

Forge : obtention des bruts par déformation plastique à chaud.

Mécanique : produit des ponts, des essieux, des directions et des pièces de liaison.

Tôlerie et emboutissage : produit des longerons pour cadres châssis, des cabines et des pièces de liaisons.

Montage camions : assemble les camions.

Montage autocars et autobus : produit les caisses, les treillis et assemble les cars et bus et produit également des pièces en polyester et sièges.

- Montage autocars et autobus

Dans ce centre s'effectue l'assemblage des autocars et autobus et sont réalisés les soubassements, les carcasses et les pièces de tôlerie.

- Le centre mécanique

Dans ce centre sont usinés à partir des barres laminées, des bruts de forges, bruts de fonderie et des organes (ponts, essieux, boîtes de vitesse, boîtier de direction ainsi que diverses pièces). tous ces organes sont assemblés après usinage dans ce centre.

- L'unité Eudes et Recherches (UER)

A pour mission :

- l'innovation, l'amélioration de la qualité et le lancement de nouveaux produits,
- l'acquisition et la maîtrise de nouvelles technologies,

I.2.5.3. Filiale carrosseries industrielles de Rouïba(C.I.R)

La Filiale carrosseries industrielles de Rouïba, située à 10 minutes de l'aéroport d'Alger et à 30 minutes du port, fabrique des équipements industriels portés et tracés : plateaux, bennes, citernes à eau, citernes hydrocarbure, semi-remorque ainsi que des équipements spéciaux d'assainissement et voirie, de lutte contre l'incendie, des minicars et des essieux, elle est située sur le même site que les filiales fonderies et véhicules industriels, dans la zone industrielle de Rouïba-Alger.

I.2.5.4. Filiale fonderies de Rouïba(FOR)

Située à 10 mn de l'aéroport houari Boumediene d'Alger à 30 mn du port, la filiale fonderies de Rouïba a été mise en exploitation le 1er janvier 1983 ; sa principale mission est la fabrication de bruts de fonderie en fonte ainsi que des pièces en aluminium selon les nuances suivantes :

- Fonte grise sphéroïdale GS.
- Fonte lamellaire GL.
- Aluminium.

Capacité de production installée est de 9000 tonnes par an de fonte grise et de 300 tonnes par an d'aluminium.

La fonderie de Rouïba produits des bruts principalement pour le secteur mécanique et pour d'autre secteurs tels l'hydraulique, les matériels agricoles et les travaux publics.

I.2.5.5. Filiale carrosseries industrielles de Tiaret (C.I.T)

La filiale carrosserie industrielle de Tiaret, située à la commune d'Ain Bouchekif-Tiaret à 3 km de l'aéroport de Tiaret, spécialisée dans la conception et de la fabrication de carrosseries industrielles portés et tractés dans les gammes suivantes :

Plateaux, bennes, citernes à eau, citernes hydrocarbures, cocottes à ciment, portes engins, fourgons frigorifique/standards et véhicules spéciaux.

I.2.5.6. Filiale construction de matériels et Equipements ferroviaires d'Annaba (FERROVIAL)

L'Entreprise Publique Economique de Construction de Matériels et Equipements Ferroviaire « FERROVIAL » a été créée en 1983 à la suite de la restructuration de la société mère SN. METAL. Elle a été transformée en S.P.A. Société par action en 1989 au capital social de 2 .254.100.000 DA.

Le siège de FERROVIAL est situé sur l'axe routier Annaba – El- Hadjar à 10 kms du complexe sidérurgique. Il est distant de 05 kms du port d'Annaba et il est desservi par une voie ferrée passant à proximité.

L'entreprise est constituée de deux entités opérationnelles installées sur même site que le siège de la direction Générale.

L'entreprise a pour objet : les études, la recherche et le développement, la production et la commercialisation de :

- Matériels et équipements ferroviaires : wagnage de tous types, locomotives de manœuvre, appareils de voie, voiture voyageur et métro.
- Matériels de travaux publics : bétonnière, centrale de béton, brouette.
- Produits de diversification et de sous-traitance (mécanique, métallique).
- Produits forgés.

I.3.Le réseau commercial

Le réseau commercial est chargé de la vente des produits finis, des pièces de rechange et de la réparation pour l'ensemble de la gamme et des composants fabriqués par la SNVI .Il est composé :

- D'un centre de livraison situé à Rouïba, ayant pour mission la réception et la distribution des véhicules et des produits commandés par la clientèle.
- D'une centrale pièce de rechange à Rouïba.
- De neuf (09) unités commerciales chargées de la vente et de l'après-vente des produits SNVI.
- D'un réseau d'agents agréés implantés sur l'ensemble du territoire national.

I.4.L'organisation de l'entreprise SNVI

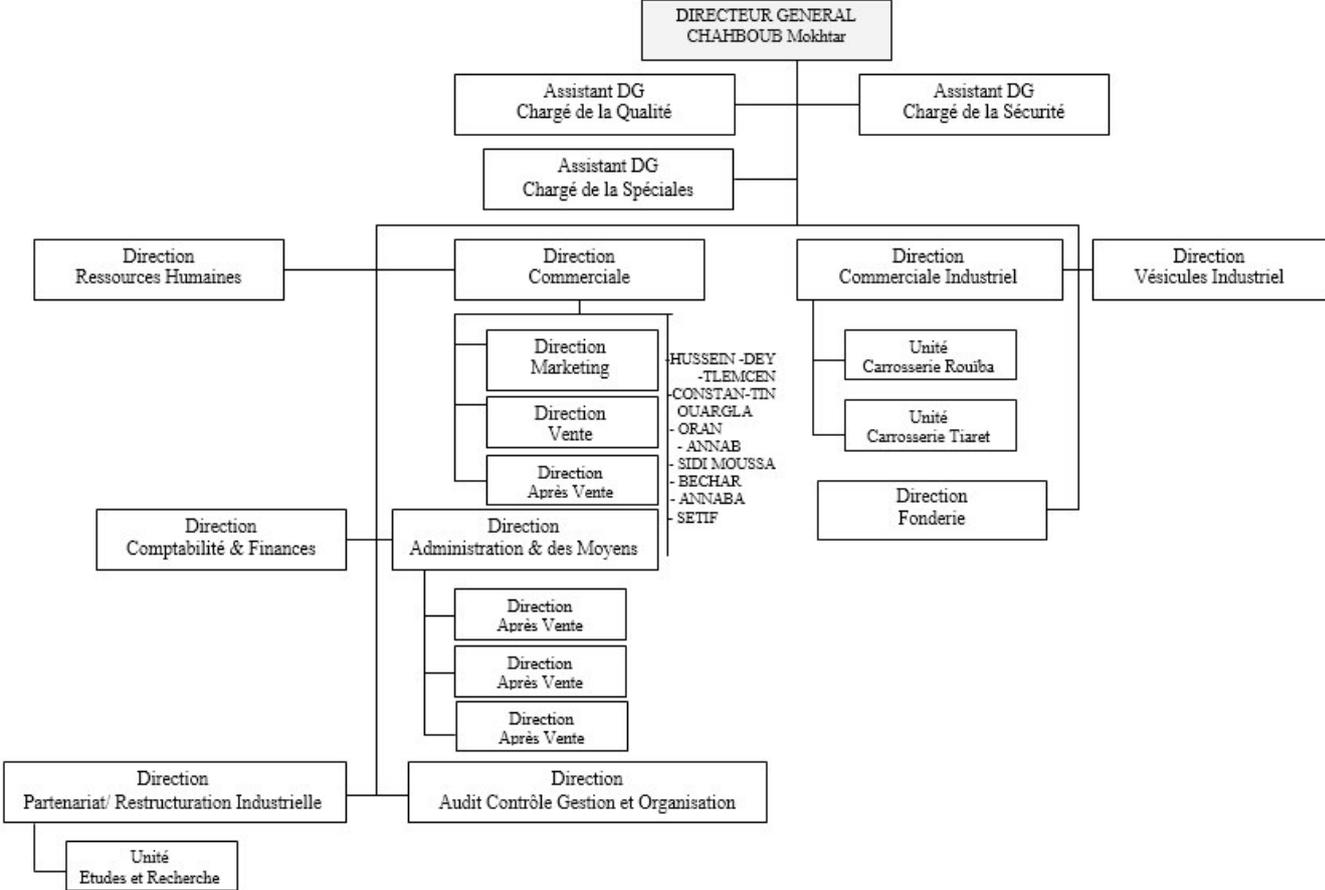


Figure I.2 : Organigramme de l'entreprise

I.5. Machine-outil à commande numérique

I.5.1. Définition

Elle est dédiée à des fabrications variées de pièces différentes lancées en petits lots répétitifs. Dans le domaine de la fabrication mécanique, le terme « commande » désigne l'ensemble des matériels et logiciels ayant pour fonction de donner les instructions de mouvements à tous les éléments d'une machine-outil :

- l'outil (ou les outils) d'usinage équipant la machine,
- les tables ou palettes où sont fixées les pièces,
- les systèmes de magasinage et de changement d'outil,
- les dispositifs de changement de pièce.

On peut aussi découper la famille des commandes numériques en quatre sous familles de Machine :

- fraisage à commande numérique (*FCN*),
- tournage à commande numérique (*TCN*),
- centre d'usinage à commande numérique (*CUCN*),
- rectification à commande numérique,
- électroérosion à commande numérique.

Dans chaque famille, les méthodes de montage et de travail sont totalement différentes, mais elles se rejoignent sur le principe de programmation, la grande majorité des machines utilisant un langage *ISO*. A cela peuvent se rajouter des interfaces dites conversationnelles ou par apprentissage qui simplifient l'utilisation de la machine. [3]

I.5.2. Origines de la commande numérique

C'est en 1942 aux Etats-Unis que la *CN* a commencé à être exploitée, pour permettre l'usinage de pompes à injection pour moteurs d'avions. Il s'agissait en fait de cames, dont le profil complexe était irréalisable au moyen d'une machine traditionnelle.

I.5.3. Présentation du tour

L'usinage des pièces mécaniques en petites ou moyennes séries par des machines à commande numérique s'étend actuellement à l'ensemble des secteurs de la production. La

rentabilité ainsi que les avantages offerts par la commande numérique est reconnus et appréciés par de nombreux utilisateurs. Pour répondre à ces besoins, à compléter sa gamme de tours automatiques à commande numérique par un tout nouveau centre de tournage de types à poupée fixe.

Le centre de tournage permet d'obtenir une haute productivité avec une précision jusqu'à maintenant réservée à des machines moins rapides. Pour réunir ces caractéristiques dans une machine, a réalisé une construction qui satisfait aux conditions suivantes :

- Stabilité dynamique très élevée.
- Equilibre thermique vite atteint et bien contrôlé.
- Réduction, voire élimination du phénomène de " **stick-slip**" lors du démarrage des coulisses.

Ainsi une haute productivité peut être associée à une grande précision et à une très bonne qualité de surfaces travaillées.

La machine à quatre axes numériques comporte 2 chariots croisés. Un chariot supérieur supporte la tourelle de tournage et usinage transversal, et un chariot inférieur, la tourelle de perçage. La machine est conçue pour permettre l'utilisation simultanée des deux tourelles, ce qui augmente encore la productivité pour de nombreux types de travaux.

Grâce à une haute qualité de broches et outils, on peut souvent utiliser de très hautes vitesses de coupe avec, pour conséquence, un rendement élevé ou une qualité d'état de surface de pièces usinées en-dessus de la moyenne.

I.5.3.1. Vue d'ensemble d'un tour

1. Tableau de commande de la machine.
2. Moteur d'entraînement de la broche.
3. Poupée.
4. Chariot croisé inférieur.
5. Chariot croisé supérieur.
6. Broche.
7. Révolver supérieur (axes **X** et **Z**).
8. Tourelle.
9. Bac de lubrification de la broche.
10. Vérin de serrage des pièces.

11. Boite de vitesse.
12. Groupe hydraulique.
13. Bac à copeaux.
14. Armoire électrique.



Figure I.3 : Tour à commande numérique.

I.5.4. Description du tour

Tourelle à axe horizontal avec plateau de chariotage 8 ou 12 postes la rotation de la broche porte plateau est commandée par un moteur hydraulique. L'indexage de précision est obtenu par l'intermédiaire de deux couronnes dentées, le maintien en position et le désaccouplée sont assurés par un piston hydraulique. L'outil de service est programmé sur le ruban perforé , et l'utilisation des outils peut être dans un ordre quelconque , à cet effet , un commutateur rotatif a 8 ou 12 positions contrôle les positions de 1 à 8 , ou 1 à 12 , en correspondance avec les numéros de porte-outil du plateau .Ce dispositif permet la rotation continue du plateau porte-outils en n'autorisant l'arrêt qu'à la force programmée dans le cycle. Un micro m1, contrôle de dés indexage du plateau, un deuxième micro m2, contrôle l'indexage, et autorise le départ de la séquence suivante dans le cycle de la machine. [2]

I.5.4.1. Bâti

Le bâti monobloc en fonte est incliné 60° et conçu pour assurer une rigidité maximum.

Le choix d'une version inclinée permet d'obtenir un même niveau de référence pour les chariots et la poupée en garantissant une efficace des copeaux. Le bâti repose sur un socle, également, en fonte, qui supporte aussi le groupe d'entraînement de la broche.

I.5.4.2. Broche

La broche est montée dans une poupée fixe. Elle est guidée par un jeu de trois roulements à contact oblique à l'avant et de deux à l'arrière. La stabilité thermique de la broche est assurée par un système de lubrification et de refroidissement à l'huile. Cette poupée est prévue pour travailler soit en pince soit en mandrin.

Le serrage de la matière est commandée par un vérin rotatif hydraulique. la commande de ce serrage peut se faire positivement ou négativement.

I.5.4.3. Entraînement de la broche

L'entraînement principal de la broche est assuré par un moteur à courant continu et une boîte à vitesse à 2 rapports sélections par un vérin hydraulique, en commande automatique. Le moteur d'entraînement et la boîte à vitesse étant séparés de la poupée, leur influence thermique et dynamique sur celle-ci est réduite au minimum.

La transmission moteur-boîte à vitesse et boîte à vitesse-broche est assurée par des courroies crantées d'une part, la poulie d'entraînement de la broche possédant son propre palier, aucune force radiale due à la tension des courroies n'est supportée par les roulements de la broche. La broche peut sur option être équipée d'un dispositif d'arrêt orienté, d'indexage et de rotation lente d'usinage commandé numériquement. Son positionnement angulaire est contrôlé par un encodeur.

I.5.4.4. Chariots croisés

Les chariots croisés de conception très rigide possèdent des glissières rectangulaires recouvertes de matière synthétique. Les glissières de guidage des chariots sont en fonte. La précontrainte constante des glissières est assurée par des dispositifs à rattrapage automatique de jeu.

I.5.4.5. Entraînement des chariots croisés

La commande des chariots est assurée par des moteurs à courant continu et des vis à rouleaux. Le positionnement des chariots est contrôlé en direct par des règles de mesure linéaires. Ce système de mesure en boucle fermée permet d'obtenir une précision de positionnement maximum.

I.5.4.6. tourelle de travail-Révolvers

Sur les chariots croisés sont fixées deux tourelles prévues avec 6 ou 8 outils en arrangement révolvers. L'indexage des tourelles est à commande électrique avec détermination du chemin logique le plus court. Leur verrouillage est hydraulique sur enture Hirth de précision. Les tourelles peuvent être équipées d'outils tournants par moteur à courant continu.

Ainsi il est possible de réaliser des usinages tels que perçage, contre-perçage, fraisage ...et. A l'extérieur du centre de la pièce (exemple, trous de fixation d'un flasque). Un dispositif d'arrosage alimente séparément chaque outils, ainsi le liquide d'arrosage arrive directement sur l'outil en position de travail.

I.5.4.7. Tournage

En donnant à l'outil une trajectoire plane quelconque (profil de contournée), on peut obtenir une forme de révolution quelconque, les tours à commandes numériques permettent de suivre de tels profils, définis géométriquement par des combinaisons d'éléments simples (Segments, cercles...) ou analytiquement par une fonction, ou encore point par point dans le cas de profils non définis mathématiquement.

En Tournage traditionnel, la vitesse de rotation est fixe. Les tours à commande numérique possèdent une fonction souvent appelée (G96) qui permet d'avoir une vitesse de rotation évolutive (recalculée dynamiquement par rapport au diamètre usine).

Cette fonctionnalité s'appelle la vitesse de coupe constante, elle permet d'avoir des états de surfaces bien supérieures à l'usinage traditionnel.

I.5.4.8. Fraisage

En fraisage conventionnel, on travaille « en opposition » : en raison du jeu dans la vis d'entraînement, un travail « en avalant » provoquerait des chocs pouvant nuire à la précision de l'usinage voire détériorer la machine, les machines à commande numérique possèdent des vis avec noix pourvues de billes précontraintes donc exempts de jeu, ce qui permet le travail en avalant qui soulage l'effort de coupe, l'usage de moteurs linéaires sur certaines machines a même supprime l'usage des vis (noix bronze ou butée à billes ou à rouleaux).[2]

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons discuté sur les histoires composant de SNVI, et aussi une présentation sommaire sur les machines-tour à commande numérique, ainsi que sa structure et ses caractéristiques et le mode fonctionnement des sous ensemble.

Chapitre II :

Généralités sur la maintenance, étude de fiabilité et AMDEC

INTRODUCTION

Ce chapitre se décompose en trois parties : la première partie est la stratégie de la maintenance qui consiste à définir le type de maintenance, les niveaux et leur fonction, la deuxième partie est l'étude et les notions de fiabilité, et la troisième partie dédiée à l'analyse de défaillance qui consiste à rappeler la méthode AMDEC : sa définition, quelque vocabulaire et sa démarche.

II.1. Stratégie de la maintenance

Introduction

Dans le passé, la maintenance a eu souvent une existence non bien définie à l'ombre de la production ou d'un autre service d'exploitation des biens durables. Son rôle était plutôt comparable à celui des pompiers, qui interviennent quand le mal est arrivé. Les maintenances, qui sont généralement des spécialistes hautement qualifiés, ont longtemps été considérés comme des improductifs et comme une charge pour l'entreprise.

La mauvaise perception de la finalité de l'activité de maintenance par l'exploitant de l'investissement, et les difficultés de son évaluation par le financier, ont été réglées par une meilleure adéquation des coûts de maintenance par rapport aux services apportés.

C'est ainsi que la maintenance d'aujourd'hui, est placée dans une relation fournisseur-client. Le client est l'utilisateur du bien et le fournisseur assure avec ses prestations la fiabilité et la disponibilité de l'outil de production.

La maintenance contribue en effet, avec des mesures ponctuelles (préventifs, contrôles, visites etc.) à diminuer l'indisponibilité et à préserver la fiabilité des biens et des systèmes techniques.

II.1.1. Définition de la maintenance

Selon la norme EN 13306-2001, la maintenance est "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".

Remarques :

- la norme expérimentale X 60-010, de décembre 1994 à été remplacée par la norme EN 13306 (20 juin 2001),

- l'objet de cette norme européenne est de définir les termes génériques utilisés pour tous les types de maintenance et d'organisation de la maintenance indépendamment du type de bien considéré, à l'exception des logiciels.

Dans cette norme on trouve plusieurs termes qui méritent une interprétation correcte, d'où la nécessité de leur explication :

-Management de la maintenance : toutes les activités des instances de direction qui déterminent les objectifs, la stratégie et les responsabilités concernant la maintenance et qui les mettent en application par des moyens tels que la planification, la maîtrise et le contrôle de la maintenance, l'amélioration des méthodes dans l'entreprise, y compris dans les aspects économiques.

-Bien : tout élément, composant, mécanisme, sous système, unité fonctionnelle, équipement ou système qui peut être considéré individuellement.

Un nombre donné de biens, par exemple un ensemble de biens, ou un échantillon, peut lui-même être considéré comme un bien. Parmi les biens, on distingue les biens réparables qui peuvent, après une défaillance et dans des conditions données être rétablis dans un état dans lequel ils peuvent accomplir une fonction requise.

-Durabilité : aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données d'usage et de maintenance, jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint. Seul ce type de biens est concerné par la maintenance.

-État de fonctionnement : état d'un bien qui accomplit une fonction requise.

-Fonction requise : fonction, ou ensemble de fonctions d'un bien considérées comme nécessaires pour fournir un service donné.

Il existe un très grand nombre de termes liés à la notion de maintenance qui ont fait l'objet de normes citées dans plusieurs ouvrages dont quelques-uns sont donnés à titre indicatif en annexe.

II.1.2. 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.

II.1.3. Types et stratégies de maintenance

En maintenance deux méthodes sont utilisées : la maintenance préventive et la maintenance corrective. [4]

II.1.3.1. Maintenance préventive

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.

La maintenance préventive se distingue en deux modes : la maintenance préventive systématique et la maintenance préventive conditionnelle.

- **Maintenance systématique** : 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.
- **Maintenance conditionnelle** : maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

II.1.3.2. Maintenance corrective

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

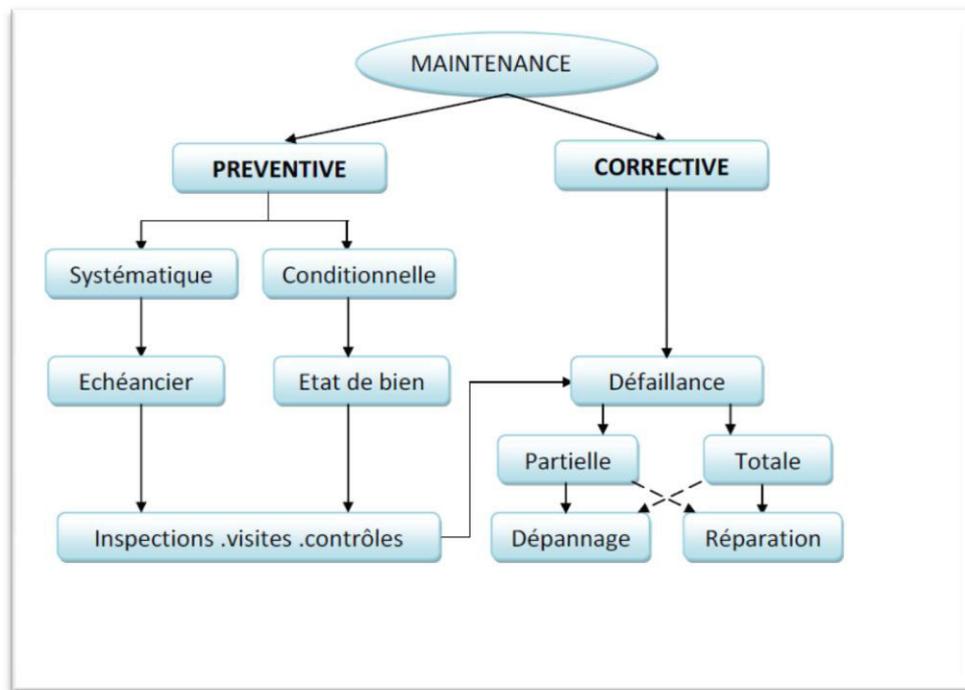


Figure II.1 : Typologie de la maintenance.

On peut énumérer d'autres désignations de méthodes de maintenance mais qui globalement sont conçues et développées à partir des méthodes citées précédemment telles que : la Télémaintenance, Maintenance différée, Maintenance en ligne, Maintenance sur site, Auto maintenance...etc.

Une stratégie de maintenance est élaborée en combinant ces méthodes en fonction de l'état physique du bien, de son importance dans le processus de fabrication, des moyens disponibles...etc.

Très souvent on procède par regroupement des équipements et on définit la stratégie la plus optimale. Pour un groupe d'installations neuves par exemple, il est recommandé de procéder essentiellement par des actions de maintenance préventive. La maintenance corrective est appliquée uniquement en cas de défaillance non prévue en cette phase d'exploitation du matériel.

II.1.4. Actions de maintenance

Les actions de maintenance sont destinées à empêcher (ou à reculer) l'apparition d'une défaillance ou à la réparer. Parmi ces actions on peut citer :

II.1.4.1. Actions de maintenance préventive

-Inspection : contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien.

-Contrôle : vérification de la conformité par rapport à des données préétablies, suivies d'un jugement (décision de non-conformité, d'acceptation, d'ajournement).

-Révision : ensemble complet d'examens et d'actions réalisés afin de maintenir le niveau requis de disponibilité et de sécurité.

-Surveillance de fonctionnement : activité exécutée manuellement ou automatiquement ayant pour objet d'observer l'état réel d'un bien.

II.1.4.2. Actions de maintenance corrective

-Diagnostic de panne : actions menées pour la détection de la panne, sa localisation et l'identification de la cause.

-Réparation : actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.

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

II.1.4.3. Autres actions de maintenance

-Essai de fonctionnement : actions menées après une action de maintenance pour vérifier que le bien est capable d'accomplir la fonction requise.

-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.

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

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

-Les travaux neufs : ils contiennent, entre autres, les tâches suivantes :

- avis sur le choix du matériel,

- réception technique et vérification de la conformité,
- installation,
- mise au point (réglages, essais préliminaires...),
- mise en service.

II.1.5. Niveaux et échelons de maintenance

II.1.5.1. Les niveaux de maintenance (norme FD X 60-000)

La maintenance et l'exploitation d'un bien s'exercent à travers de nombreuses opérations, parfois répétitives, parfois occasionnelles, communément définies jusqu'alors en cinq niveaux de maintenance. Le tableau de la page suivante définit les cinq niveaux de maintenance.

II.1.5.2. Les échelons de maintenance (norme FD X 60-000)

Il est important de ne pas confondre les niveaux de maintenance avec la notion d'échelon de maintenance qui spécifie l'endroit où les interventions sont effectuées. On définit généralement trois échelons qui sont :

-La maintenance sur site : l'intervention est directement réalisée sur le matériel en place.

-La maintenance en atelier : le matériel à réparer est transporté dans un endroit, sur site, approprié à l'intervention.

-La maintenance chez le constructeur ou une société spécialisée : le matériel est alors transporté pour que soient effectuées les opérations nécessitant des moyens spécifiques.

Bien que les deux concepts de niveau et d'échelon de maintenance soient bien distincts, il existe souvent une corrélation entre le niveau et l'échelon. Les opérations de niveaux 1 à 3, par exemple, s'effectuant sur site, celles de niveau 4 en atelier, et celles de niveau 5 chez un spécialiste hors site (constructeur ou société spécialisée). Si cela se vérifie fréquemment (dans le domaine militaire par exemple), il convient cependant de ne pas en faire une généralité. On peut rencontrer en milieu industriel des tâches de niveau 5 effectuées directement sur site.

II.1.5.3. Les cinq niveaux de maintenance (norme FD X 60-000)

Tableaux II.1 : Les niveaux de maintenance

	Définition	Intervenant	Exemples en préventif	Exemples en correctif
NIVEAU 01	sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien.	L'utilisateur du bien	Ronde de surveillance d'état ; Graissages journaliers ; Manœuvre manuelle d'organes mécaniques ; Relevés de valeurs d'état ou d'unités d'usage ; Test de lampes sur pupitre ; Purge d'éléments filtrants ; Contrôle d'encrassement des filtres.	Remplacement des ampoules ; Ajustage, remplacement d'éléments d'usure ou détériorés, sur des éléments ou composants simples et accessibles.

NIVEAU 02	<p>Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en œuvre simple.</p>	<p>Personnel qualifié</p> <p>Un personnel est qualifié lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur un bien présentant certains risques potentiels, et est reconnu apte pour l'exécution des travaux qui lui sont confiés, compte tenu de ses connaissances et de ses aptitudes.</p>	<p>Contrôle de paramètres sur équipements en fonctionnement, à l'aide de moyens de mesure intégrés au bien ;</p> <p>Réglages simples (alignement de poulies, alignement pompe-moteur, etc.) ;</p> <p>Contrôle des organes de coupure (capteurs, disjoncteurs, fusibles), de sécurité, etc. ;</p> <p>Détartrage de surface de ruissellement (tour aéroréfrigérante) ;</p> <p>Graissage à faible périodicité (hebdomadaire, mensuelle) ;</p> <p>Remplacement de filtres difficiles d'accès.</p>	<p>Remplacement par échange standard de pièces : fusibles, courroies, filtres à air, etc. ;</p> <p>Remplacement de tresses, de presse-étoupe, etc. ;</p> <p>Lecture de logigrammes de dépannage pour remise en cycle ;</p> <p>Remplacement de composants individuels d'usure ou détériorés par échange standard (rail, glissière, galet, rouleaux, chaîne, fusible, courroie,...).</p>
------------------	---	---	---	--

NIVEAU 03	Opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en œuvre complexes.	Technicien qualifié	<p>Contrôle et réglages impliquant l'utilisation d'appareils de mesure externes aux biens ;</p> <p>Visite de maintenance préventive sur les équipements complexes ;</p> <p>Contrôle d'allumage et de combustion (chaudières) ;</p> <p>Intervention de maintenance préventive intrusive ;</p> <p>Relevé de paramètres techniques d'état de biens à l'aide de mesures effectuées d'équipements de mesure individuels (prélèvement de fluides ou de matière,...).</p>	<p>Diagnostic ; Réparation d'une fuite de fluide frigorigène (groupe de froid) ;</p> <p>Reprise de calorifuge ;</p> <p>Diagnostic d'état avec usage d'équipements de soutien portatifs et individuels (Pocket automate, multimètre) ;</p> <p>Remplacement d'organes et de composants par échange standard de technicité générale, sans usage de moyens de soutien communs ou spécialisés (carte automate, vérin, pompe, moteurs, engrenage, roulement,...) ;</p> <p>Dépannage de moyens de production par usage de moyens de mesure et de diagnostics individuels.</p>
------------------	--	---------------------	--	--

Chapitre II : Généralités sur la maintenance, étude de fiabilité et AMDEC

NIVEAU 04	Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés.	Technicien ou équipe spécialisée	Révisions partielles ou générales ne nécessitant pas le démontage complet de la machine ; Analyse vibratoire ; Analyse des lubrifiants ; Thermographie infrarouge (installations électriques, mécanique, thermique,...) ; Relevé de paramètres techniques nécessitant des moyens de mesure collectifs (oscilloscope, collecteur de données vibratoires) avec analyse des données ; Révision d'une pompe en atelier, suite à dépose préventive	Remplacement de clapets de compresseur ; Remplacement de tête de câble en BTA ; Révision d'une pompe en atelier spécialisé suite à dépose préventive ; Réparation d'une pompe sur site, suite à une défaillance ; Dépannage de moyens de production par usage de moyens de mesure ou de diagnostics collectifs et/ou de forte complexité (valise de programmation automate, système de régulation et de contrôle des commandes numériques, variateurs,...) ; Reprise de clôture extérieure ; Remplacement d'une porte et mise en peinture ; Réparations de fissures et défauts d'étanchéité ; Reprise de fuite de toiture.
------------------	--	----------------------------------	--	---

NIVEAU 05	Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriels. Ce sont des opérations de rénovation, reconstruction, etc.	Constructeur ou société spécialisée		Révisions générales avec le démontage complet de la machine ; Reprise dimensionnelle et géométrique ; Réparations importantes réalisées par le constructeur ou le reconditionnement de ses biens ; Remplacement de biens obsolètes ou en limite d'usure
------------------	---	-------------------------------------	--	---

II.1.6. Fonctions de la maintenance

La maintenance comme toute autre activité dans une entreprise a besoin d'organisation, de moyens de logistiques et d'outils d'analyse et de gestion. La répartition, des tâches et des responsabilités se fait à travers toutes les fonctions de la maintenance. Il n'existe pas un modèle d'organisation. Chaque entreprise conçoit sa structure de maintenance en tenant compte de ces spécificités techniques, économiques et sociales. Mais l'approche reste pratiquement semblable. [4]

Les principales fonctions que doit remplir un service maintenance sont :

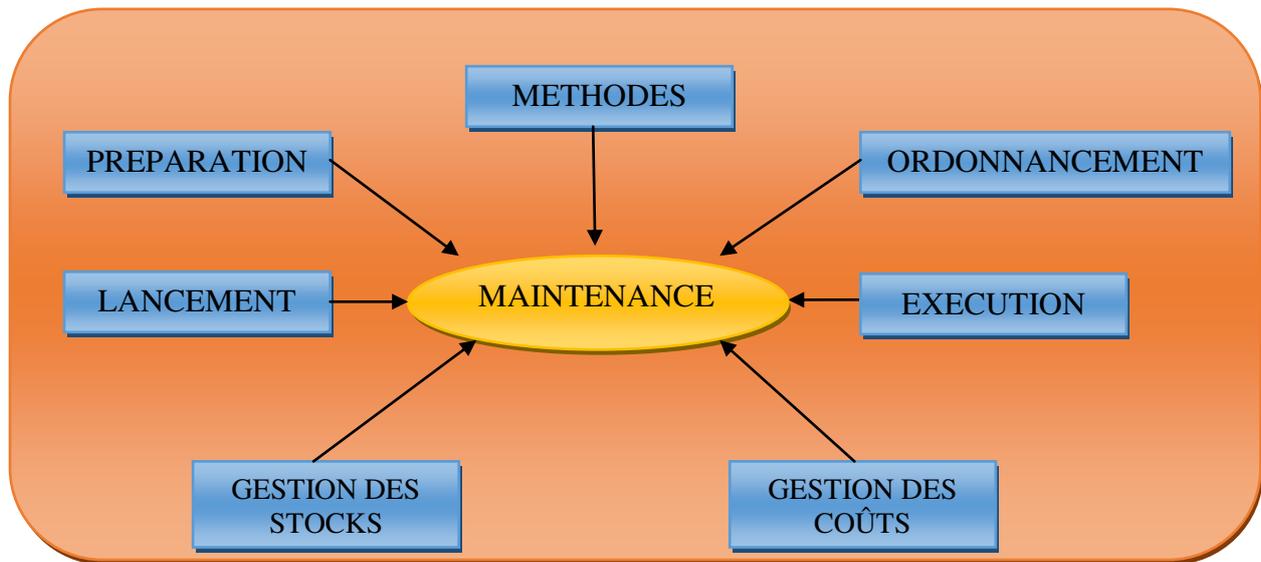


Figure II.2 : Fonctions de la maintenance.

II.1.6.1. Fonction méthodes

Cette fonction consiste en une évaluation continue des renseignements obtenus à la suite d'incidents ou d'interventions, et cela afin d'en réduire la durée ou la fréquence.

Ses tâches : les tâches correspondantes ne s'appliquent pas à un travail bien déterminé, elles consistent à rassembler un maximum d'informations qui permettront de préparer convenablement l'ensemble des travaux de maintenance.

- La codification des machines selon leur lieu d'implantation,
- la création des fiches techniques et historiques des machines,
- la collaboration avec la gestion des stocks pour la désignation des matières et pièces de rechange à mettre au magasin ainsi que leurs paramètres de gestion,
- le choix de procédés à employer en fonction des moyens locaux,
- l'amélioration des méthodes concernant les travaux importants.

La fonction méthodes doit établir et mettre en place un système de ratios et paramètres permettant de valoriser en permanence les résultats de la maintenance et de détecter les sources de déficit, de progrès ou d'amélioration. L'objectif « Maintenance au moindre coût » est uniquement réalisable à long terme par un suivi rigoureux de l'évolution de cette fonction parmi un tableau de bord.

Le point optimum entre les bénéfices et les dépenses de la maintenance sera approché progressivement de façon comparable à la boucle d'optimisation.

II.1.6.2. Fonction préparation

L'activité principale de la fonction préparation c'est la définition détaillé d'une suite d'opérations techniques à réaliser sur une installation. Toutes les étapes de l'intervention doivent clairement indiquer les opérations à réaliser accompagné des moyens humains et matériels nécessaire et les temps alloués.

Ses objectifs : les objectifs de la fonction sont :

- Optimiser les moyens humains et matériels de la maintenance en vue de réduire la durée des interventions (diminution de la durée d'immobilisation des machines),
- diminution des coûts,
- amélioration de la qualité du travail...etc.

Ses tâches : la préparation du travail détermine :

- Le processus,
- les différentes phases,
- les moyens nécessaires,
- les durées opératoires,
- les charges en main-d'œuvre.

Les travaux à préparés :

- Les travaux préventifs répétitifs,
- les travaux nécessitant une sécurité élevée,
- les révisions générales, les arrêts annuels.

Pour bien préparer un travail, il convient de l'étudier sous deux aspects :

- La description du travail,
- la décomposition du travail en opérations.

Remarque :

L'ensemble des interventions définie lors de la préparation sont porté sur :

La gamme opératoire accompagnée des plans et des schémas, bon de sortie matière (pièce de rechange, outils).

II.1.6.3. Fonction ordonnancement

Elle est considérée comme le carrefour des informations relatives aux différentes activités de la maintenance.

Ses objectifs :

- Minimiser les attentes les temps perdus, les délais...etc.

Ses tâches :

- Réceptionner les demandes d'interventions (DI) :
 - de la production quand il s'agit d'une maintenance corrective,
 - des méthodes quand il s'agit d'une maintenance préventive,
- procéder au classement des interventions par nature, secteur, urgence,
- coordonner (échange et recensement des informations avec les différentes fonctions de la maintenance et de la production,
- programmer les travaux préparés en tenant compte des moyens disponibles, de la sous-traitance,
- suivre et contrôler l'évolution des travaux.

II.1.6.4. Fonction lancement

Elle est chargée de la distribution des travaux de maintenance selon un planning établi en fonction de la charge des équipes. Elle constitue une nécessité pour une bonne utilisation de la main-d'œuvre.

Le planning tient compte d'une charge réservée pour des travaux imprévus, urgents ou retardés.

Ses objectifs :

- Minimiser les durées d'intervention,
- assurer les moyens,
- garantir la qualité des travaux.

Ses tâches :

- Planifier les travaux est les distribuer régulièrement entre les équipes d'intervention,
- prévoir tous les procédures nécessaires avant l'intervention (bon de sortie matière, outillage accès aux équipements, les consignes de sécurité).

Transmettre à l'ordonnancement les bons de travaux terminé (les rapports d'expertise).

II.1.6.5. Fonction exécution

C'est la fonction opérationnelle de maintenance.

Ses objectifs : son objectif est l'efficacité de l'intervention.

Ses taches : les principales taches de cette fonction sont :

- Organisation de l'intervention,
- répartition nominative du travail,
- réalisation des opérations,
- mise en œuvre des procédures de remise en fonctionnement de la machine,
- remise on configuration de l'environnement de la machine,
- retour de l'information (rapport, compte rendue sur le travail réalisé).

II.1.6.6. Gestion des stocks et magasinage

❖ Gestion des stocks

Ses objectifs :

- Assurer le réapprovisionnement des pièces et des matières,
- optimiser les coûts d'immobilisations par la définition du stock optimal (ni sur stock ni rupture de stock).

Ses tâches : il faut connaitre :

- Les références de tous les articles à gérer tel que : les pièces spécifiques à l'installation, les pièces standards, articles courants,
- les quantités à commandés.

Il faut prévoir :

- Le seuil de réapprovisionnement.

Il faut émettre :

- la demande d'achat au moment opportun.

Il faut contrôler :

- La quantité et les références des articles réceptionnés.

❖ Magasinage

Ses objectifs :

- Assurer la disponibilité des pièces de rechanges et outillages.

Ses tâches :

- **La réception :** se fait par des contrôles quantitatifs et qualitatifs des articles conformes à la commande et aux caractéristiques techniques.
- **Le classement :** se fait en fonction de la nature des articles (volume, poids), de la fréquence de sorties des articles.
- **Le stockage :** il se fait on les conditions de préservations adaptées.
- **La distribution :** ces ont satisfont les utilisateurs à partir des bons de sortie matière.

II.1.6.7. Gestion des coûts

Pour maîtriser les coûts de maintenance, il est nécessaire de les connaître et de pouvoir les interpréter. Une cellule "Gestion Maintenance" sous la responsabilité du département maintenance et travaillant en étroite liaison avec la comptabilité de l'usine.

Ses objectifs :

- Maîtriser et optimiser les dépenses engendrées par les travaux de maintenance.

D'une manière générale on distingue :

- Les coûts de maintenance et les coûts d'indisponibilité,
- les coûts de maintenances sont des coûts directement imputables à la maintenance :
 - la main-d'œuvre (technique et administrative),
 - la sous-traitance,
 - pièce de rechange et outillage.
- Les coûts d'indisponibilité : incluent tous les coûts dus aux arrêts de la production à cause des défaillances, ces coûts englobent :
 - le sur coût de production (moyens de remplacement),

- les pénalités commerciales,
- les conséquences sur l'image de marque.

Ses tâches :

- Gérer les approvisionnements,
- analyser les coûts de maintenance,
- analyser les coûts de défaillance,
- rédiger les cahiers des charges.

II.2. FIABILITE

Introduction

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

II.2.1. Notions sur la fiabilité

II.2.1.1. Définition

Selon la norme NF X06-501 «la fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimé par la probabilité de ce dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps donnée». [5]

II.2.1.2. Commentaires sur les quatre concepts de la fiabilité

-Probabilité

On définit le rapport suivant :

$$(\text{Nombre de cas favorables} / \text{Nombre de cas possibles}) < 1$$

-Accomplir une fonction requise :

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

- Les conditions données :

Sont les contraintes physiques, chimiques, électriques, thermiques et mécanique que le dispositif subite de fait de son environnement.

- Le temps :

C'est le temps exprimé, au sens large, ce sera bien souvent en fait un nombre de cycle au caractéristique qui exprime la durée de vie.

II.2.2. Les objectifs de la fiabilité

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

- Mesure une garantie dans le temps,
- évaluer rigoureusement le degré de confiance,
- chiffrer une durée de vie,
- calculer le risque pris,
- déterminer la stratégie d'entretien,
- choisir le stock magasin judicieux.

II.2.3. Caractéristiques de la fiabilité

On a la modélisation suivante :

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

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

Pour T_f on associe une fonction de répartition $F(t)$ et une fonction de distribution $f(t)$. [6]

II.2.3.1. La fonction de défaillance

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

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(s) ds \quad (1)$$

II.2.3.2. La fonction de fiabilité

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

$$R(t) = P(T_f > t) = \int_t^{+\infty} f(s) ds \quad (2)$$

II.2.3.3. Temps moyen de bon fonctionnement

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

$$MTBF = E(T_f) = \int_0^{+\infty} t f(t) dt = \int_0^{+\infty} R(t) dt \quad (3)$$

II.2.3.4. Le taux de défaillance

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

Par hypothèse on a :

$$\lambda(t) = \lim_{dt \rightarrow 0} \left(\frac{F(t+dt) - F(t)}{1 - F(t)} \right) \quad (4)$$

$$\lambda(t) dt = \left(\frac{dF(t)}{1 - F(t)} \right) \quad (5)$$

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

$$\lambda(t) = \left(\frac{f(t)}{R(t)} \right) \quad (6)$$

II.2.3.5. La courbe en baignoire

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

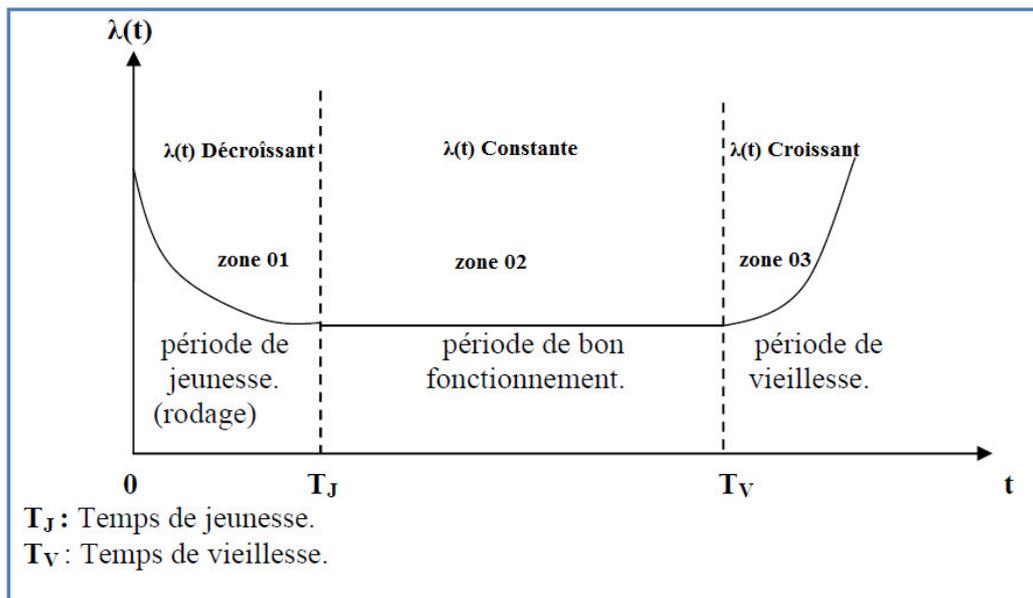


Figure II.3 : Courbe en baignoire.

✓ **Interprétation**

On distingue trois périodes de vie :

Zone 1 (Jeunesse) : (défaillance précoce).

- En état de fonctionnement à l'origine (mise en service),
- période de rodage (pour les systèmes mécaniques),
- période de déverminage (pour les systèmes électroniques).

Zone 2 (Maturité) : (période de vie utile, défaillances aléatoires).

- Période de rendement optimal du matériel,
- taux de défaillance constant,
- les défaillances apparaissent sans dégradation préalable visible, par des causes diverses, suivant un processus de poisson (défaillances aléatoires).

Zone 3 (Vieillesse) :

- Un mode de défaillance prédominant, généralement visible, entraîne une dégradation accélérée, à taux de défaillance croissant,
- A un certain seuil de $\lambda(t)$, le matériel est mort il est alors déclassé, puis rebuté ou par fois reconstruit. La détermination de θ (seuil de réforme), est obtenue à partir de critères technico-économiques.

II.2.4. Classement des données

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

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

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

II.2.4.1. La variable aléatoire (v.a)

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

II.2.4.2. Approximation de la fonction de répartition F(t)

Tableau II.2 : Les fréquences des avaries F(i), en fonction de la taille N de l'échantillon [4]

Si N<20 méthode des médians	Si 20<N<50 formule des rangs moyens	Si N>50 groupement par classes
on utilise la formule de l'approximation des rangs médians $F(i) = \frac{i-0.3}{N+0.4}$	on donne un rang i à chaque défaillance. On utilise la formule de l'approximation des rangs moyens, donc $F(i) = \frac{i}{N+1}$	on regroupe les TBF par classe. Dans ce cas la fréquence cumulée de défaillance est calculé comme suit $F(i) = \frac{i}{N}$

II.2.5. Le modèle de Weibull

II.2.5.1. Domaine d'utilisation

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

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

Les résultats permettant d'estimer la fonction de répartition F(t) correspondante à chaque instant t. [7] [8]

II.2.5.2. Expressions mathématiques

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

γ : Paramètre de position.

η : Paramètre d'échelle.

β : Paramètre de forme.

➤ La fonction de fiabilité :
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (7)$$

➤ **La fonction de défaillance cumulée** (fonction de répartition) : $F(t)=1-R(t)$

$$\text{Donc : } F(t)=1-e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (8)$$

➤ **Densité de probabilité** : $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$ (9)

➤ **L'expression de taux de défaillance** : $\lambda(t) = \frac{F(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$ (10)

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

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

Le taux de défaillance constant.

Si $\beta < 1$: le taux de défaillance décroît avec le temps.

Si $\beta > 1$: le taux de défaillance est croissant en fonction de temps.

II.5.3. Signification du paramètre de Wei bull

II.5.3.1. Signification du paramètre de forme β

Si la durée de vie suit une loi de **Wei bull** avec

- Si $0 < \beta < 1$: le taux de défaillance est décroissant en fonction de temps, donc le matériel est un période de jeunesse.

- Si $\beta = 1$: le taux de défaillance est constante, donc le matériel est en période de bon fonctionnement.

- Si $\beta > 1$: le taux de défaillance est croissant en fonction de temps, donc le matériel est en période de vieillesse (usure).

- $0 < \beta < 2$ le taux de défaillance est fortement croissants au début puis plus faiblement ensuite.
- $\beta = 2$ le taux de défaillance croit linéairement.
- $\beta > 2$ le taux de défaillance est faiblement croissant au début, puis ensuite il croit fortement. [7]

II.5.3.2. Signification du paramètre de position γ

- Si $\gamma > 0$: le matériel ne peut avoir d'avaries durant la période $[0 ; \gamma]$, puisque : $R(t) = 1$.
- Si $\gamma < 0$: à $t = 0$ $R(t) < 1$.

II.2.5.4. Détermination graphique des paramètres de Weibull

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

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

Diagramme d'ALLEN PLAIT

Ce graphique à échelle fonctionnelle gradué de la façon suivante :

- En ordonnées : $\ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(t)} \right) \right]$ (logarithme Népérien). (11)
- En abscisses : $\ln(t)$.

Il comporte quatre axes :

- Sur l'axe (A) : on trouve le temps.
- Sur l'axe (B) : on trouve $F(t)$ en %.
- Sur l'axe (a) : on trouve $\ln(t)$.
- Sur l'axe (b) : on trouve $\ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(t)} \right) \right]$

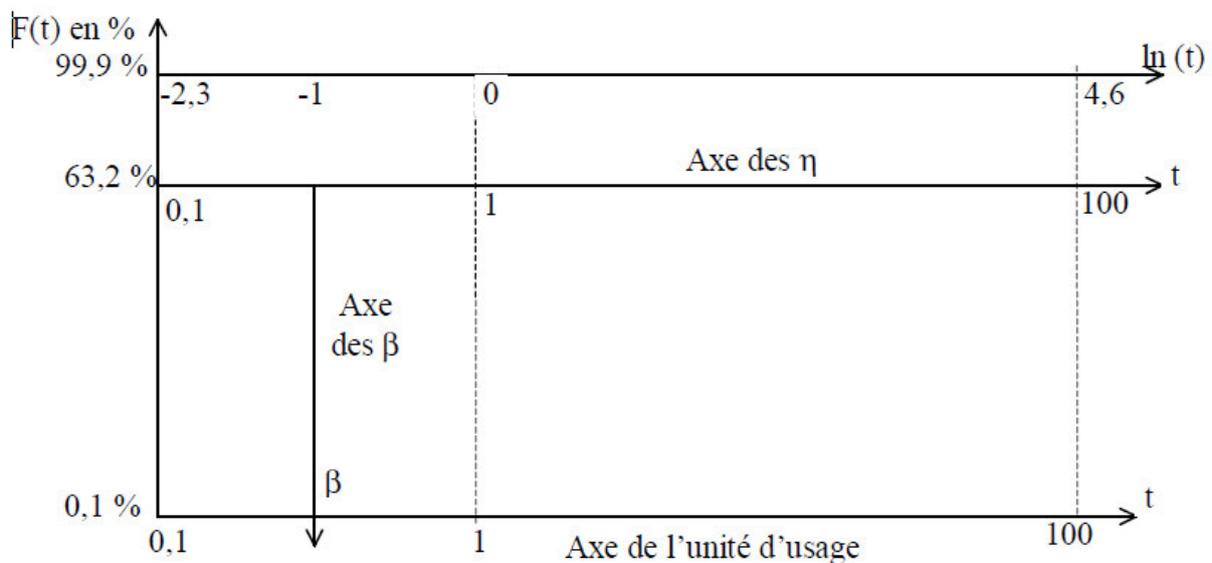


Figure II.4 : Diagramme d'ALLEN PLAIT.

➤ Procédure de réalisation

1-Préparation des données.

2-Tracé des nuages des points (F (i), t).

3-Tracé de la courbe de régression du nuage (D_1).

4-Translation de la droite (D_1) à la droite de passage par l'axe de plan (X, Y).

- Calcul de β : Il représente la pente de la droite (D_1) de régression des nuages des points (F (i), t). Pour l'obtenir, on fait passer une droite (D_2) parallèle à la droite (D_1) et coupe l'axe A au point 1 et on lit la valeur de β sur l'axe (b).
- Calcul de η : Il se lit à l'intersection de la droite (D_1) avec l'axe (A).

II.2.6. Maintenabilité

II.2.6.1. Définition

Selon la norme AFNOR X 06-10, la maintenabilité est «l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données avec des procédures et de moyens prescrites» .

II.2.6.2. Les indicateurs de maintenabilité

L'indicateur privilégié de maintenabilité correspond aux temps d'immobilisation.

Ces temps d'immobilisation se décomposent en deux grandes parties.

-Les délais d'intervention : (ou temps de diagnostic de la panne)

Ils sont relatifs à l'organisation pour assurer la fonction maintenance.

-Les durées d'intervention : (ou temps de réparation et de dépannage)

En attendant la banalisation des systèmes experts, un simple microprocesseur intégré dans l'équipement peut déjà indiquer, en cas de défaillance, les composants en cause.

II.2.6.3. Les temps techniques de réparation (TTR)

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

Le temps technique de réparation d'une intervention se compose en général de la somme des temps suivants :

- Temps de vérification de la réalité de la défaillance (fausses alarmes).
- Temps d'accès à l'organe défaillant (dépose et démontage).
- Temps de remplacement ou de réparation.
- Temps de réassemblage.
- Temps de contrôle et d'essais.

Les temps suivants sont à éliminer de la maintenance active :

- Temps d'attente pour indisponibilité des réparateurs, des outils, ou des pièces de rechange.
- Temps morts de causes variées (arrêts de travail, ...).

La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation (MTTR) :

$$MTTR = \Sigma TTR / N \quad (12)$$

N : Nombre des pannes.

TTR : temps technique de réparation [9]

II.2.7. Disponibilité

II.2.7.1. Définition

Selon la norme AFNOR X 60-503 «la disponibilité est la aptitude d'un service sous les aspects combinés des performances qu'il nécessite et de la disponibilité du système mise en œuvre pour le fournir à assurer à l'intérieur de l'attente et dans les fonctions spécifiées, à être la demande de l'utilisateur».

En probabilité : c'est la probabilité de bon fonctionnement de ce dispositif à l'instant t.

II.2.7.2. Expression de la disponibilité

La disponibilité, notée $D(t)$ est fonction du temps paramétré par λ et μ supposés constants, donc (phénomènes totalement aléatoires) indépendants du temps.

Avec une telle hypothèse, on montre facilement que :

$$\text{Le taux de défaillance : } \lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (13)$$

$$\text{Le taux de réparation : } \mu = \frac{1}{MTTR} \quad (14)$$

$$D = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \text{ ou } D = \frac{MTBF}{MTTR - MTBF} \quad (15)$$

Que l'on peut également mettre sous forme :

$$D = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{\mu}} = \frac{\lambda}{1 + \frac{MTTR}{MTBF}} \quad (16)$$

$\frac{MTTR}{MTBF}$, est appelé rapport de maintenance. [9]

II.3. Analyse des défaillances par la méthode AMDEC

Introduction

La méthode AMDEC a été utilisée originellement dans le traitement des risques potentiels inhérents aux activités de production de l'armement nucléaire. Progressivement, elle a été adaptée à l'ensemble des activités à risques (nucléaire civil, domaine aéronautique, spatial, grands travaux...), puis a été intégrée dans les projets industriels. De nos jours, son emploi est très répandu dans le monde industriel soit pour améliorer l'existant, soit pour traiter préventivement les causes potentielles de non performance des nouveaux produits, procédés ou moyens de production.

L'utilisation de l'AMDEC peut paraître fastidieuse ; cependant, les gains qu'elle permet de réaliser sont très souvent bien plus importants que les efforts de mise en œuvre qu'elle suggère. La mise en œuvre de l'AMDEC offre une garantie supplémentaire pour l'entreprise industrielle de l'amélioration de ses performances.

L'AMDEC est une approche qualitative pour les études de sûreté dans différents domaines. En effet cette technique apporte une connaissance approfondie du fonctionnement et des interactions d'un système, par l'analyse systématique des relations causes-effets. Les informations obtenues sont utilisées dans le cadre de la maîtrise des risques, avec préoccupation principale l'obtention d'un bon niveau de sûreté de fonctionnement du système opérationnel.

Historique de l'AMDEC

Elle trouve son origine dans les années 1950, sous le nom de FMEA (Failures Modes and Effects Analysis). Utilisée exclusivement aux USA et au Japon pour améliorer la fiabilité des produits de haute technicité (armement, avionique, spatial), elle fait son apparition en Europe en 1970 dans l'industrie nucléaire (du militaire vers le civil).

Le grand essor de l'AMDEC est dû à sa mise en œuvre généralisée dans l'industrie automobile (à partir de 1979 chez Ford et 1982 chez les constructeurs français) ; tous les sous-traitants ont dû suivre. Conformément au QS 9000 (équivalent de l'ISO 9000 pour l'automobile), les fournisseurs automobiles devaient utiliser la planification qualité du procédé (APQP), incluant l'outil AMDEC et développant les plans de contrôle. Les industries électroniques, puis les industries mécaniques se sont inscrites ensuite dans cette démarche (apparition de la notion de sécurité des biens et des personnes).

II.3.1.1. Définitions de la défaillance

Une défaillance est la cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise. Après une défaillance, le bien est en panne, totale ou partielle. (NF EN 13306). [11]

II.3.1.2. Classification des défaillances

Les caractéristiques d'une défaillance doivent être correctement identifiées afin de prévoir et d'organiser l'intervention nécessaire pour la remise en état initial de l'entité.

-Défaillances de causes intrinsèques : défaillances dues à une mauvaise conception du bien, à une fabrication non conforme du bien ou à une mauvaise installation du bien. Les défaillances par usure et par vieillissement sont des défaillances intrinsèques.

-Défaillance de causes extrinsèques : défaillances de mauvais emploi, par fausses manœuvres, dues à la maintenance, conséquences d'une autre défaillance.

Une défaillance se caractérise également par le moment où elle se manifeste par rapport au cycle de vie de l'entité. Elle peut être précoce ; aléatoire ; d'usure.

II.3.1.3. Normalisation des défaillances NF X 06-501

❖ En fonction de la rapidité de la manifestation :

•Défaillance progressive : défaillance qui aurait pu être prévue par un examen ou une surveillance.

• **Défaillance soudaine** : défaillance qui n'aurait pas pu être prévue par un examen ou une surveillance.

❖ En fonction du degré d'importance :

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

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

• **Défaillance intermittente** : défaillance d'un dispositif pour une période de temps limité, après laquelle le dispositif retrouve son aptitude à accomplir la fonction requise sans avoir été soumis à une action corrective extérieure. De telles défaillances sont souvent répétitives.

❖ Par combinaison des concepts précédents :

• **Défaillance catalectique** : défaillance à la fois soudaine et complète.

• **Défaillance par dégradation** : défaillance à la fois progressive et partielle. A la longue, de telles défaillances peuvent devenir de défaillances complètes.

❖ En fonction des causes :

• **Défaillance due à une faiblesse inhérente** : défaillance attribuable à une faiblesse inhérente au dispositif lui-même lorsque les contraintes ne sont pas au-delà des possibilités données du dispositif (faiblesse due à la conception ou à la réalisation du dispositif).

• **Défaillance due à un mauvais emploi** : défaillance attribuable à l'application de contraintes au-delà des possibilités données du dispositif.

• **Défaillance première** : défaillance d'un dispositif dont la cause directe ou indirecte n'est pas la défaillance d'un autre dispositif.

• **Défaillance seconde** : défaillance d'un dispositif dont la cause directe ou indirecte est la défaillance d'un autre dispositif.

❖ En fonction des conséquences :

- **Défaillance critique** : défaillance qui empêche l'accomplissement de la mission et fait encourir des risques de blessures graves à des personnes ou des dégâts très importants au matériel. Ce type de défaillance est pris en compte dans les études de sécurité.
- **Défaillance majeure** : défaillance autre que critique, qui risque de réduire l'aptitude d'un dispositif plus complexe à accomplir la fonction requise.
- **Défaillance mineure** : défaillance autre que critique, qui ne réduit pas l'aptitude d'un dispositif plus complexe à accomplir la fonction requise.

II.3.2.1. Définition AMDEC par AFNOR

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

II.3.2.2. Buts de l'étude AMDEC

L'AMDEC est une technique qui vise à :

- Evaluer et garantir la sûreté de fonctionnement (sécurité, fiabilité, maintenabilité et disponibilité).
- Obtenir au meilleur coût le rendement global maximum des équipements de production,
- définir les actions à entreprendre pour éliminer ces défaillances, réduire leurs effets et pour en empêcher ou en détecter les causes,
- prioriser les interventions d'amélioration continue,
- réduire les risques les plus grands,
- élaborer des plans d'actions et allouer les ressources de façon rationnelle,
- déterminer les points faibles d'un système et apporter des remèdes,
- prévenir les pannes,
- réduire le temps d'indisponibilité après défaillance.

II.3.2.3. Les différents types d'AMDEC

-AMDEC machine : Analyse de la conception Et/ou de l'exploitation des équipements de production pour améliorer leur disponibilité.

-AMDEC processus : Analyses des opérations de production pour améliorer la qualité de fabrication du produit.

-AMDEC produit : Analyse et conception d'un produit pour améliorer sa qualité et sa fiabilité.

II.3.3. AMDEC machine

Pour noter projet de fin d'étude on va consacrer notre étude a L'AMDEC machine : [12]

II.3.3.1. L'AMDEC machine

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

II.3.3.2. AMDEC prévisionnelle

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

II.3.3.3. AMDEC opérationnelle

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

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

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

Cas d'application

L'AMDEC machine est particulièrement destinée aux constructeurs (AMDEC prévisionnelle) et aux utilisateurs (AMDEC opérationnelle).

II.3.4. Démarche pratique de l'AMDEC machine

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

❖ ETAPE 1 : INITIALISATION

• But

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

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

Méthodes

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

❖ ETAPE 2 : DECOMPOSITION FONCTIONNELLE

• But

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

C'est une étape indispensable car il est nécessaire de bien connaître les fonctions de la machine pour en analyser ensuite les risques de dysfonctionnement. Elle facilite l'étape ultérieure d'analyse des défaillances. Elle permet également au groupe de travail d'utiliser un

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

-Phase d'évaluation de criticité

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

-Phase de proposition d'actions correctives

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

❖ ETAPE 4 : SYNTHESSES

• But

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

Méthodes

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

Conclusion

L'étude de fiabilité nous a permis de déterminer et connaître l'état des équipements en fonction de β , et le comportement de matériel par la valeur de $R(t)$, $F(t)$, $\lambda(t)$.

L'analyse des défaillances par l'introduction de la méthode AMDEC sera effectuée par la suite pour la détermination de leurs modes et leurs effets par le calcul de la criticité des éléments d'équipements, et définir les pannes les plus critiques et par suite définir un plan de maintenance pour réduire la criticité.

Chapitre III :

Application modèle Weibull et analyse des défaillances par AMDEC

III.1. Application de modèle de Weibull sur HES 500 et CT60

D'après des données statistiques fournies par l'exploitation à partir d'un ensemble des valeurs recueillies par l'observation, (service maintenance de la BZC) nous avons calculé les TBF de **HES 500 C03155** et **CT 60 C03225** :

Pendant une durée de 05 ans (2013-2017).

III.1.1. Préparation des données (HES 500 C03155)

Nous classons les valeurs de TBF (TBF de chaque élément avant la défaillance) enregistrées dans le tableau ci-dessous.

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

$$F(i) = (i/N+1)$$

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

Tableau III.1 : Classement des TBF de la machine HES 500 C03155.

I	TBF [h]	N	TTR [h]	F(i)= (i/N+1)	F(i)%	R(i)%	$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$	F(t)=1-R(t)	$\lambda(t) = \frac{F(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$ [h]*10 ⁻⁴
01	8	01	8	0.0256	2.56	97.44	0.9794	0.0206	27.28
02	16	01	34	0.0512	5.12	94.88	0.9578	0.0422	28.24
03	32	02	101	0.1025	10.25	89.75	0.9147	0.0853	29.24
04	48	02	13	0.1538	15.38	84.62	0.8724	0.1276	29.84
05	64	01	14	0.1794	17.94	82.06	0.8314	0.1686	30.27
06	80	03	22	0.2564	25.64	74.36	0.7919	0.2081	30.61
07	112	01	23	0.2820	28.20	71.80	0.7174	0.2825	31.13
08	128	01	91	0.3076	30.76	69.24	0.6824	0.3175	31.34
09	144	01	7	0.3333	33.33	66.67	0.6489	0.3510	31.52
10	160	01	14	0.3589	35.89	64.11	0.6169	0.3830	31.69
11	176	01	14	0.3846	38.46	61.54	0.5869	0.4136	31.84
12	192	01	14	0.4102	41.02	58.98	0.5571	0.4428	31.98
13	200	01	7	0.4358	43.58	56.42	0.5430	0.4569	32.04
14	240	01	14	0.4615	46.15	53.85	0.4774	0.5225	32.34
15	272	02	37	0.5128	51.28	48.92	0.4303	0.5696	32.54
16	288	01	62	0.5384	53.84	46.16	0.4084	0.5915	32.63
17	300	01	60	0.5641	56.41	43.59	0.3927	0.6072	32.70

18	304	02	155	0.6153	61.53	38.47	0.3876	0.6123	32.72
19	320	01	33	0.6410	64.10	35.9	0.3678	0.6321	32.81
20	368	02	14	0.6923	69.23	30.77	0.3140	0.6859	33.04
21	416	01	34	0.7179	71.79	28.21	0.2678	0.7321	33.24
22	464	01	73	0.7435	74.35	25.65	0.2282	0.7718	33.42
23	496	02	28	0.7948	79.48	20.52	0.2050	0.7949	33.53
24	560	01	49	0.8205	82.05	17.95	0.1653	0.8347	33.74
25	592	01	17	0.8461	84.61	15.39	0.1484	0.8516	33.83
26	659	01	7	0.8717	87.17	12.83	0.1182	0.8818	34.01
27	864	01	35	0.8974	89.74	10.26	0.0585	0.9415	34.48
28	918	01	6	0.9230	92.30	7.70	0.0486	0.9514	34.58
29	1072	01	70	0.9487	94.87	5.13	0.0284	0.9715	34.85
30	2886	01	7	0.9743	97.43	2.57	0.0001	0.9999	36.62
Total	13863	38	1047						

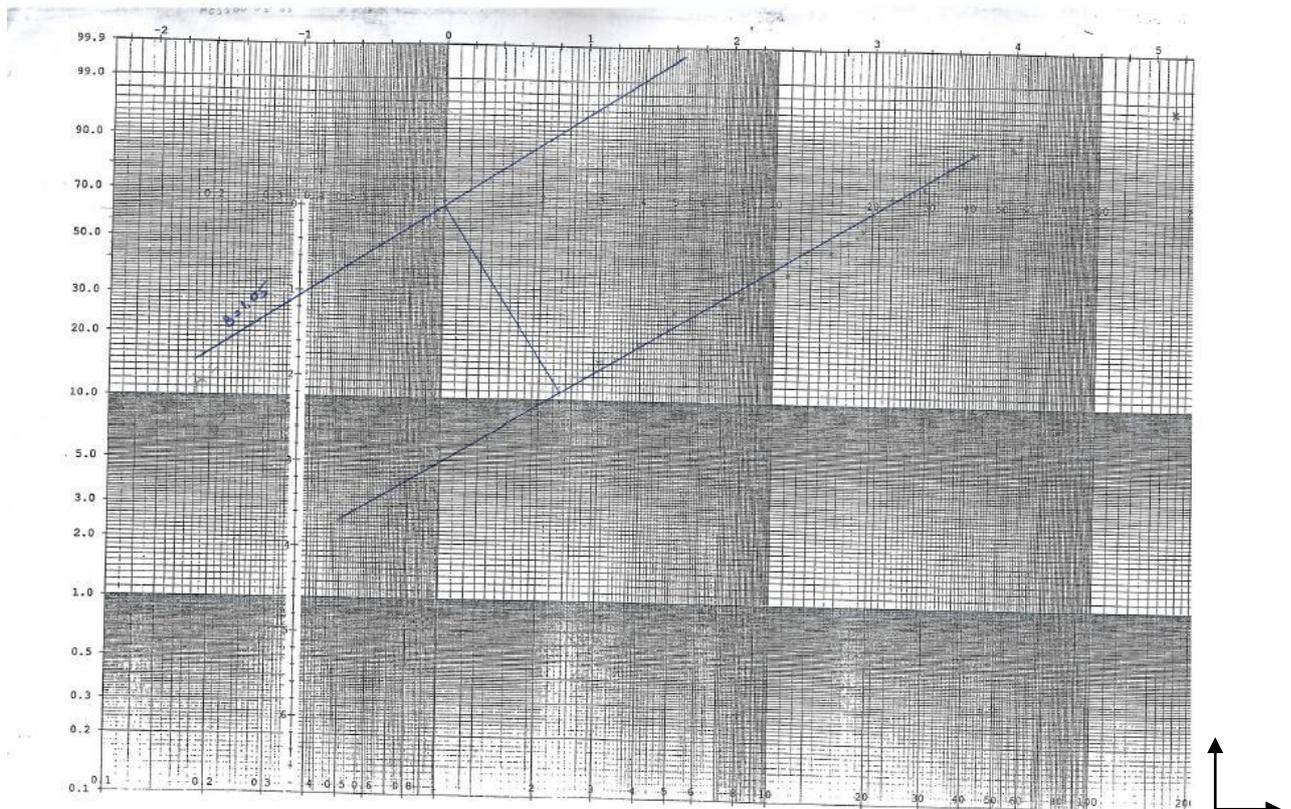


Figure III.1 : papier de Weibull (HES 500).

III.1.2. Détermination des paramètres

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

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

D1 coupe l'axe (t, η) à l'abscisse : $\eta = 320$

D2//D1 coupe l'axe (β) à l'ordonnée : $\beta = 1.05$

III.1.3. Exploitation des paramètres

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

A partir de la table numérique dans l'annexe : $\beta = 1.05 \longrightarrow (A = 0.9603)$

$\longrightarrow (B = 0.934)$

➤ Recherche de MTBF du groupe :

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

$MTBF = 0.9603 * 320 = 307.29$ heure

$MTBF = 307.29$ h

➤ La fiabilité associée à la MTBF :

Graphiquement nous avons le point (307.20, 62%), d'où $F(MTBF) = 62\%$

Donc

$R(t) = 100 - F(t)$

$R(MTBF) = 100 - F(MTBF) = 100 - 62 = 38\%$

$R(t) = 38\%$

Ce qui signifie que seuls 38% des TBF, atteindront le MTBF sans défaillance.

➤ Recherche de la maintenabilité MTTR :

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

$MTTR = 1047 / 38 = 27.55$ heures

$MTTR = 27.55$ h

➤ Recherche de la disponibilité D :

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

$D = 307.29 / (307.29 + 27.55) = 0.91$

$D = 91\%$

III.1.4. Représentation graphique

III.1.4.1. Courbe de fonction de fiabilité R (t)

L'équation est :

$$R(t) = e^{-(t/320)^{1.05}}$$

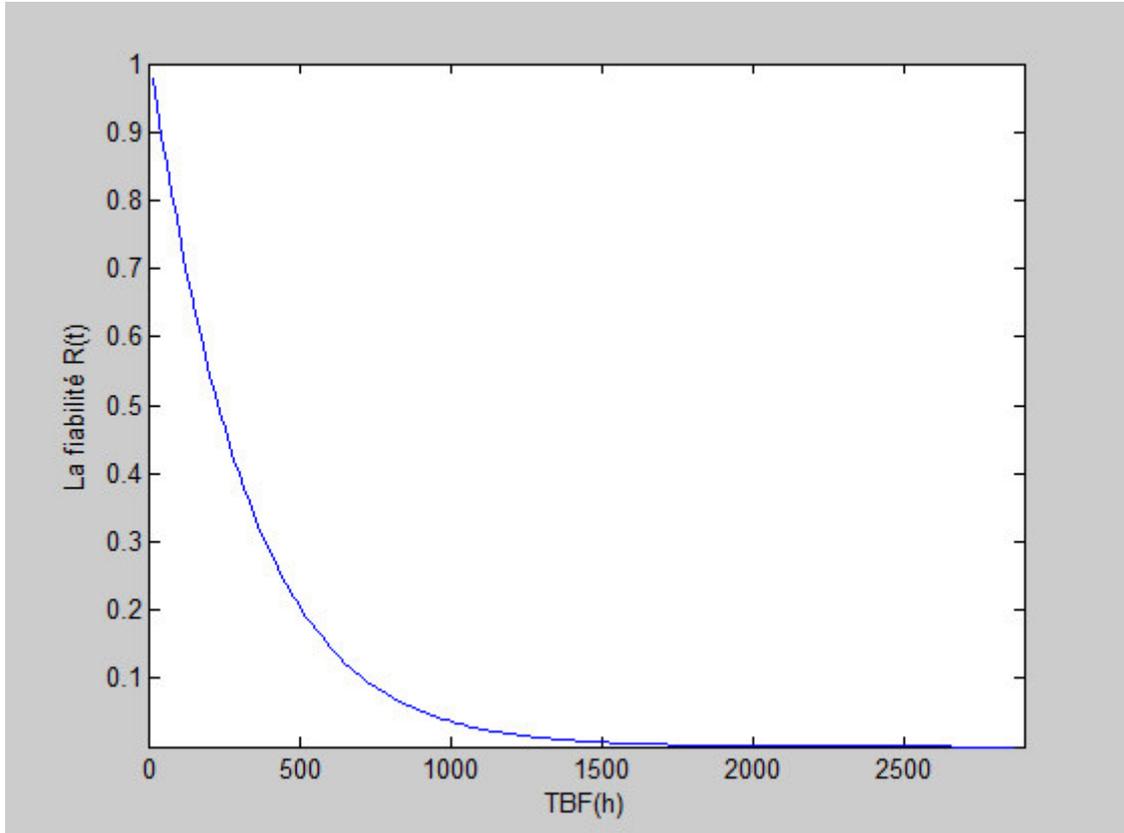


Figure III.2 : La courbe de fiabilité R (t).

☞ Interprétation de la courbe

D'après les résultats obtenus $\beta=1.05$ et $\eta= 320$ on a constaté que le groupe turboalternateur N°4 se situe dans la période de vieillesse, et nous remarquons que **la figure III.2** correspond aux résultats obtenus, la fonction de fiabilité est décroissante en fonction du temps donc la probabilité de fonctionner sans pannes est très petite, et cela est dû au vieillissement des composants constituant le **HES 500 C03155**.

III.1.4.2. Courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$

L'équation est :

$$\lambda(t) = 3.28 * 10^{-3} \left(\frac{t}{320}\right)^{0.05}$$

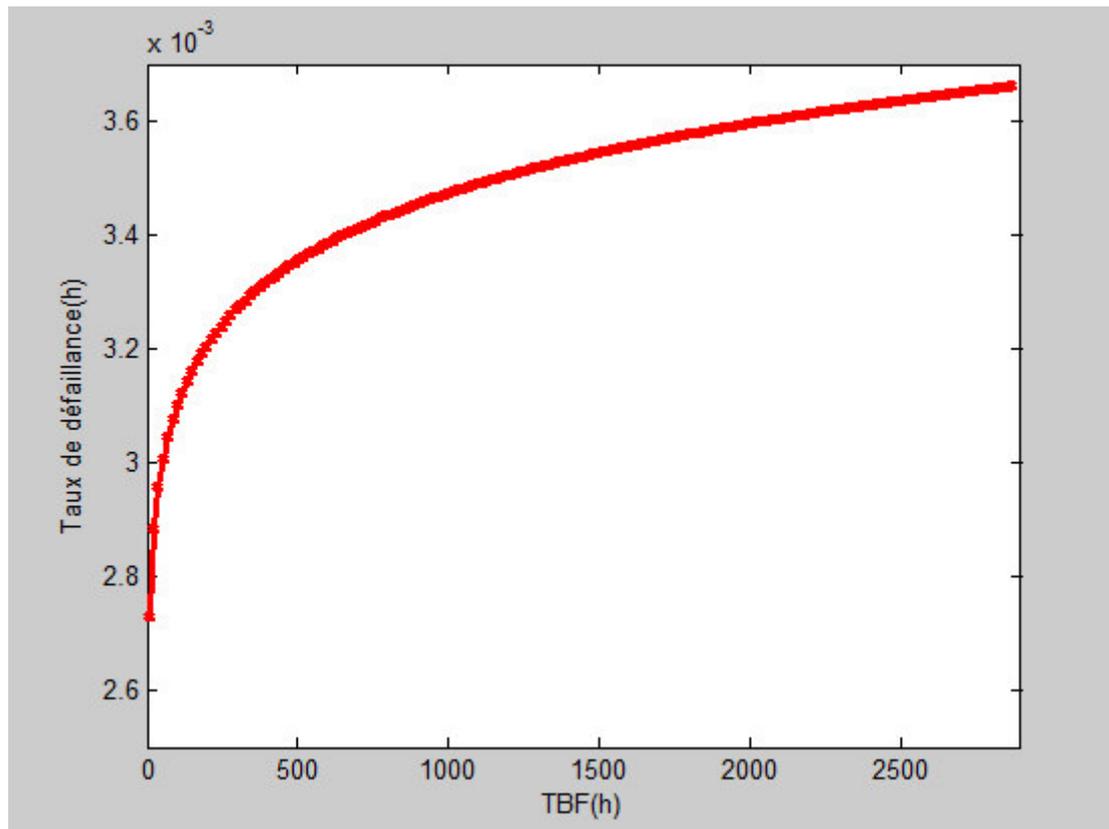


Figure III.3 : Courbe du taux de défaillance $\lambda(t)$.

☞ Interprétation de la courbe

Nous remarquons que la courbe du taux de défaillance est croissante, ce qui implique que la probabilité de voir apparaître une panne au bout d'un certain temps de bon fonctionnement est croissante donc ces observations reflètent bien les résultats obtenus, à savoir le vieillissement des éléments.

III.2.1. Préparation des données (CT 60 C03225)

Le tableau de Classement des TBF de la machine (CT 60 C03225) et le diagramme de WEIBULL se trouve dans l'annexe de mémoire.

III.2.2. Détermination des paramètres

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

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

D1 coupe l'axe (t, η) à l'abscisse :

$$\eta = 528$$

D2//D1 coupe l'axe (β) à l'ordonnée : $\beta = 1.2$

III.2.3. Exploitation des paramètres

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

A partir de la table numérique dans l'annexe : $\beta = 1.2 \longrightarrow (A = 0.9407)$

$\longrightarrow (B = 0.787)$

➤ Recherche de MTBF du groupe :

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

$MTBF = (0.9407 * 520) + 0 = 496.68$ heure

MTBF = 496.68 h

➤ La fiabilité associée à la MTBF :

Graphiquement nous avons le point (496,68, 61%), d'où $F(MTBF) = 61\%$

Donc

$R(t) = 100 - F(t)$

$R(MTBF) = 100 - F(MTBF) = 100 - 61 = 39\%$

R (t) = 39%

Ce qui signifie que seuls 39% des éléments, atteindront le MTBF sans défaillance.

➤ Recherche de la maintenabilité MTTR :

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

$MTTR = 306 / 34 = 9$ heures

MTTR = 9 h

➤ Recherche de la disponibilité D :

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

$D = 496.68 / (496.68 + 9) = 0.98$

D = 98%

III.2.4 Représentation graphique

III.2.4.1 Courbe de fonction de fiabilité R(t)

L'équation est :

$$R(t) = e^{-(t/520)^{1.2}}$$

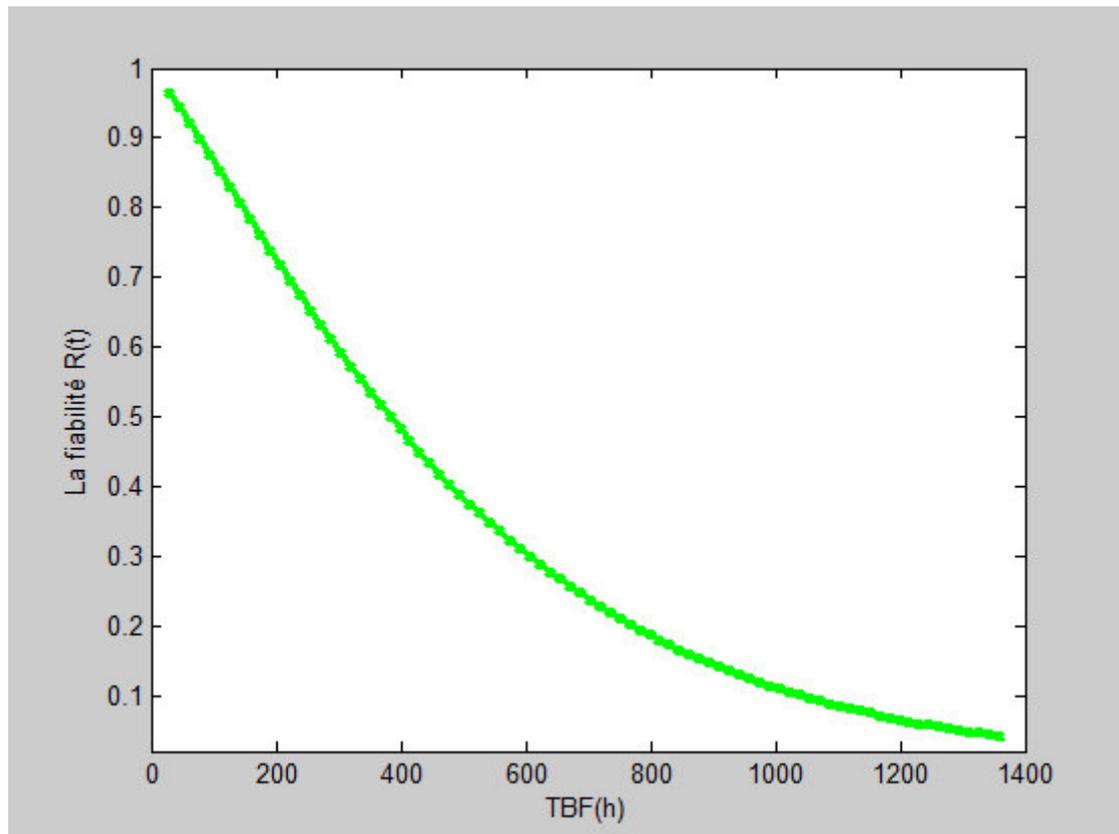


Figure III.5 : La courbe de fiabilité R (t).

☞ Interprétation de la courbe

D'après les résultats obtenus $\beta=1.2$ et $\eta = 528$ on a constaté que le groupe turboalternateur N°4 se situe dans la période de vieillesse, et nous remarquons que la **figure III.5** correspond aux résultats obtenus, la fonction de fiabilité est décroissante en fonction du temps donc la probabilité de fonctionner sans pannes est très petite, et cela est dû au vieillissement des composants constituant le **CT 60**.

III.2.4.2. Courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$

L'équation est :

$$\lambda(t) = 2.3 * 10^{-3}(t/520)^{0.2}$$

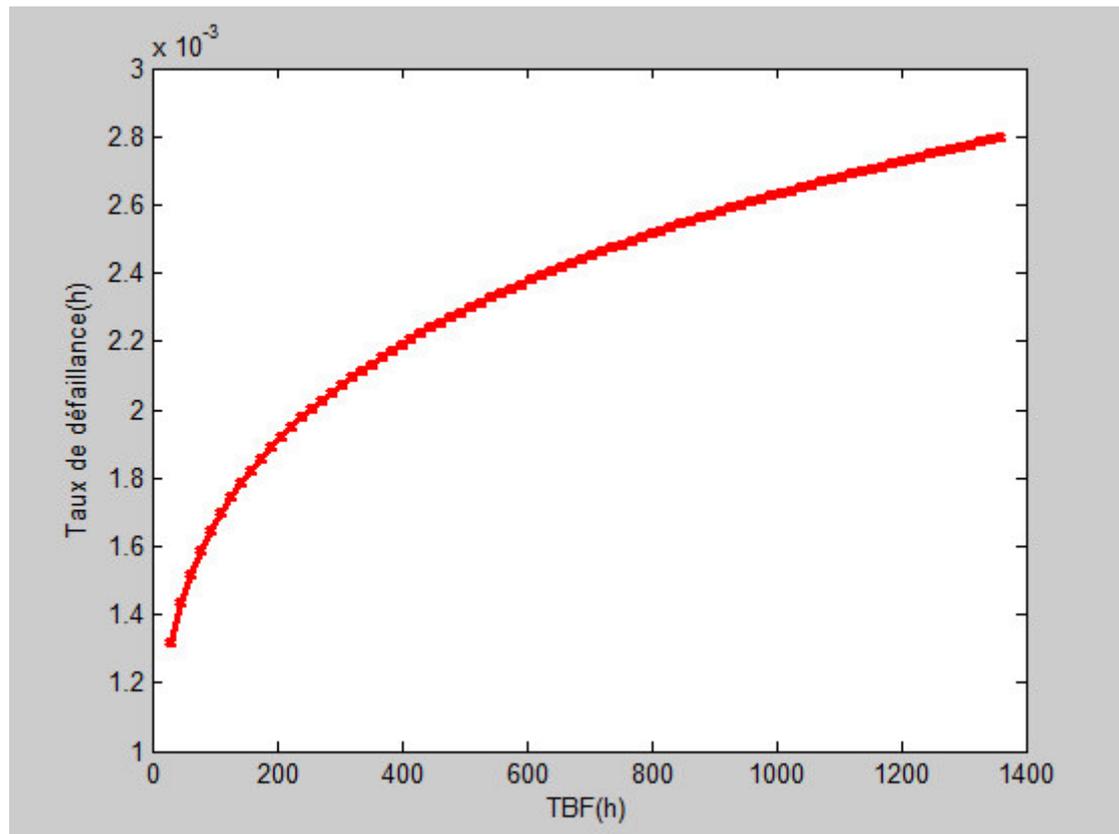


Figure III.6 : Courbe du taux de défaillance $\lambda(t)$.

☞ Interprétation de la courbe

Nous remarquons que la courbe du taux de défaillance est croissante, ce qui implique que la probabilité de voir apparaître une panne au bout d'un certain temps de bon fonctionnement est croissante donc ces observations reflètent bien les résultats obtenus, à savoir le vieillissement des éléments.

III.3. Application de l'AMDEC sur la machine tour (HES 500 et CT 60)

III.3.1. Initialisation

❖ Définition du système à étudier

Dans notre cas on va étudier la machine tour à CN (HES 500 et CT 60) de la SNVI de Rouïba.

❖ Définition de la phase de fonctionnement

Phase de fonctionnement normal (marche normal).

❖ Définition des objectifs à atteindre

Notre étude effectuée est centrée sur des objectifs qui sont les suivants :

La disponibilité

La société de Rouïba est une société industrielle, donc elle doit être toujours disponible pour satisfaire les besoins de la demande en électricité.

La sécurité

Vue les dangers pouvant être présentés dans la SNVI, on doit mettre en œuvre des méthodes et actions pour éliminer ces risques et minimiser leurs effets sur le personnel et sur le matériel.

Politique de la maintenance

On a fait appel à l'outil AMDEC en vue d'obtenir des conseils qu'il utilise dans la prise de décision.

Il guide le groupe dans sa démarche de résolution de problème pour l'amener à découvrir lui-même la solution.

Par conséquent il a l'atout de réduire les coûts de maintenance.

III.3.2. Décomposition fonctionnelle

❖ Décomposition du système

L'AMDEC est une méthode de réflexion créative qui repose essentiellement sur la décomposition fonctionnelle de système en éléments simples jusqu' au niveau des composants les plus élémentaires. On va décomposer le GTA en huit sous-systèmes (blocs) et chaque sous système est décomposé à son tour jusqu'aux organes les plus élémentaires.

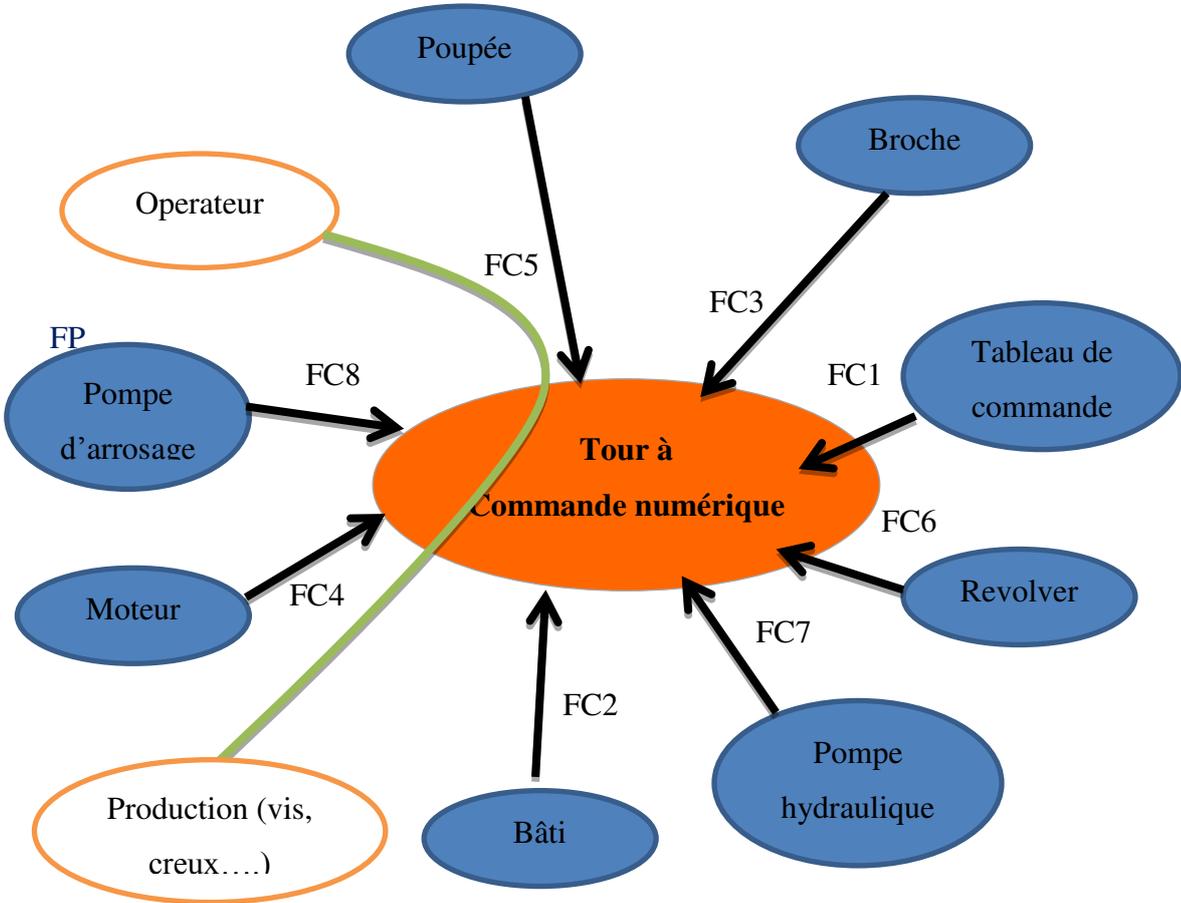


Figure III.7 : Diagramme de pieuvre.

FP : fonction principale
FC : fonction contrains

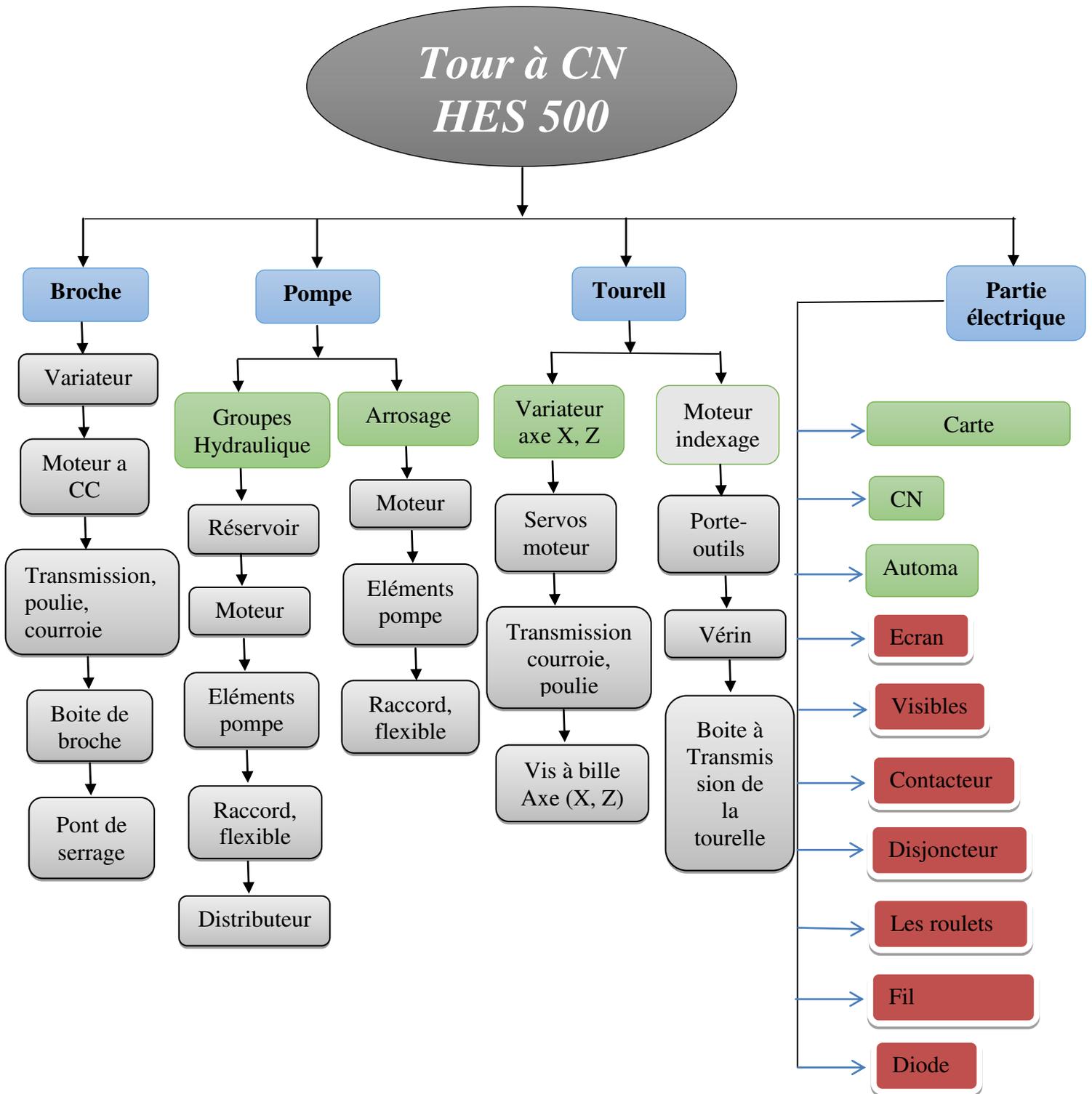


Figure III.8 : Décomposition fonctionnelle d'une tourelle à CN.

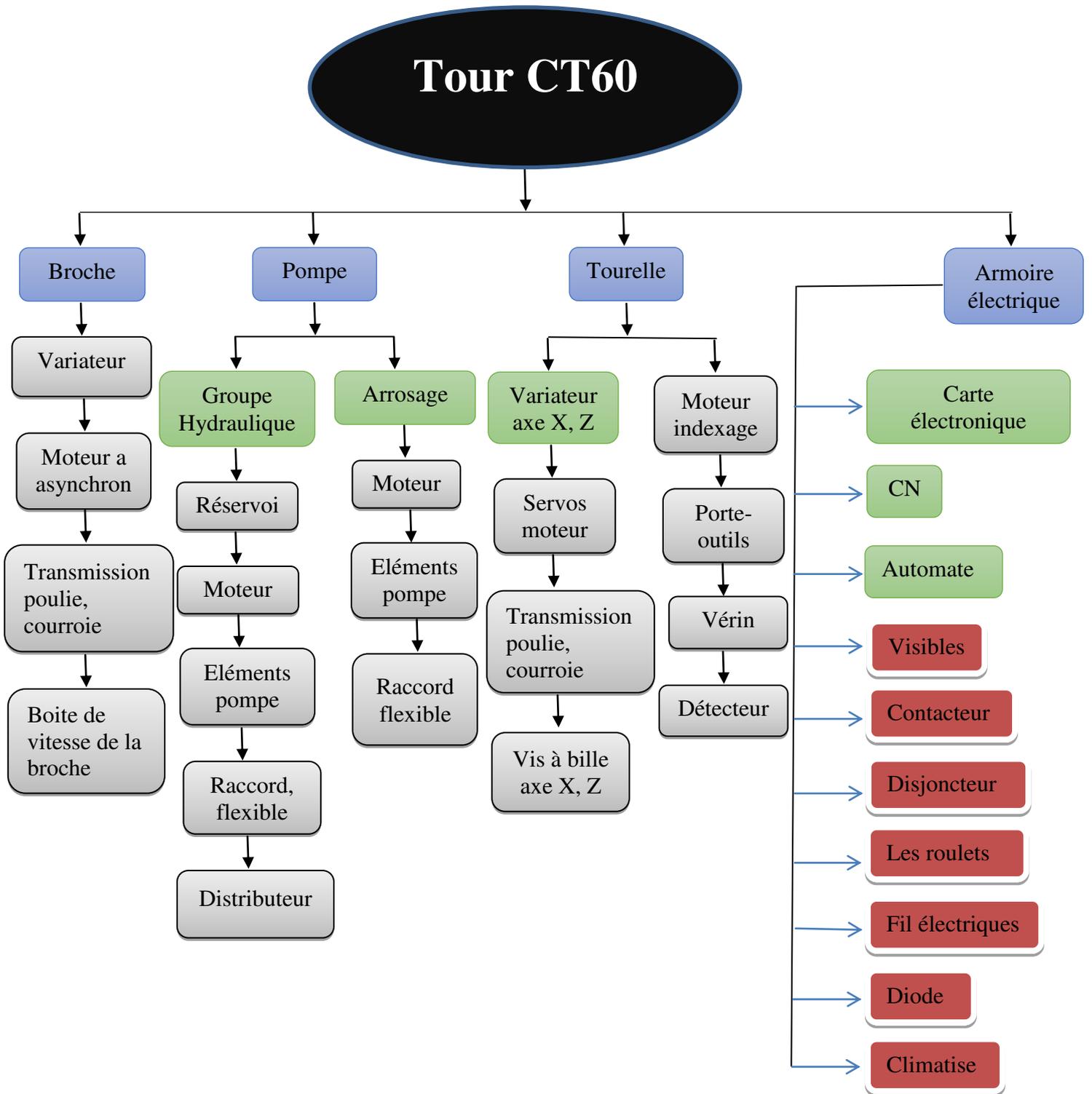


Figure III.9 : Décomposition fonctionnelle d'une tourelle à CN.

❖ Identification des fonctions

Tableau III.3 : Identification de la fonction des équipements.

Equipement	Fonction
-Tableau de commande	-Commande de la tourelle
-Bâti	-Assurer une rigidité maximum.
-Broche	-Assurée par un système de lubrification et de refroidissement à l'huile.
-Moteur	-Entrainement de broche
-Poupée	-Travailler soit en pince soit en mandrin
-Revolver	-Transmission et rotation
-Pompe hydraulique	-Débiter le lubrifiant sous pression
-Pompe d'arrosage	-Débiter le lubrifiant sous pression

III.3.3. Analyse AMDEC

❖ Mode de défaillance

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

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

❖ Cause de la défaillance

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

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

❖ Effet de la défaillance

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

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

❖ Mode de détection

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

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

❖ Criticité C

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

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

Tableau III.4 : Grille de cotation de la criticité

Niveau de criticité	Définition
$1 \leq C < 10$ Criticité négligeable	-Aucune modification de conception
$10 \leq C < 16$ Criticité moyenne	-Amélioration des performances du système -Maintenance préventive systématique
$16 \leq C < 25$ Criticité élevée	-Surveillance particulière et révision -Maintenance préventive conditionnelle.
$25 \leq C < 64$	-Remise en cause complète de l'équipement

❖ Gravité G

C'est la gravité des effets de la défaillance :

- Pertes de productivité (arrêt de production, défaut de qualité).
- Coût de la maintenance.
- Sécurité, environnement.

Tableau III.5 : Grille de cotation de la gravité.

Niveau de gravite	Indice	Définition
Gravite très faible (mineure)	1	-Arrêt de production inférieur à 6 heures, -Aucune dégradation notable du matériel.
Gravite faible (significative)	2	-Arrêt de production de 6 heures à 1 jour, -Remise d'état de courte durée ou une petite réparation sur place.
Gravite moyenne	3	- Arrêt de production de 1 à 3 jours, -Changement du matériel défectueux nécessaire.
Gravité majeure	4	- Arrêt de production de 3 à 15 jours, -Intervention importante sur sous ensemble.
Gravite catastrophique	5	- Arrêt de production supérieur à 15 jours, -Intervention nécessite des moyens coûteux.

❖ **Fréquence d'apparition F**

Fréquence d'apparition d'une défaillance due à une cause particulière.

Tableau III.6 : Grille de cotation de la fréquence d'apparition.

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

❖ Non détection D

Probabilité de non détection d'une défaillance avant qu'il n'atteigne l'utilisateur.

Tableau III.7 : Grille de cotation de la probabilité de non détection.

Niveau de probabilité de non détection	indice	Définition
Détection évidente	1	-Défaillance précocement détectable
Détection possible	2	-Défaillance détectable
Détection improbable	3	-Défaillance difficilement détectable
Détection impossible	4	-Défaillance indétectable

❖ Les tables AMDEC

D'après le dossier historique SNVI (durant cinq années), nous avons rempli les tables AMDEC de la machine HES 500.

Tableaux III.8 : Les tables AMDEC (HES 500).

1-LA BROCHE											Actions correctives
Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leurs Criticités											
Tour à CN				Phase de fonctionnement : normale							
N	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance E	Détection	Criticité				
							F	G	D	C	
1	Variateur	-Variation de la vitesse par variation de fréquence	Echauffement de circuit	-Signaux harmoniques	-fusion des cartes électroniques d'amorçage	-Visuel	1	2	2	4	changement de variateur
2	Moteur a CC	Entrainement de broche	Court-circuit	Contact entre deux fils de bobinage d'induit	Arrêt de la broche	-Visuel	1	2	4	8	Changement d'induit
			vibration	usure de roulement	- Arrêt de rotation de broche	-Visuel	2	3	2	12	Changement de roulement
3	Poulie, courroie	Transmission de puissance par rotation	Craqué – cassé	Présence d'huile, eau, coupeaux	Arrêt de la broche	-Visuel	1	4	2	8	Changement de Courroie
4	Boite à broche	Transmission de puissance par denture	-manque d'huile - échauffement de roues dentées	Détérioration des joints	Marche perturbé de la broche	-Visuel	1	2	2	4	Remplacement des joints
5	-Pont de serrage	-Serrer les dents de Mondrian	-blocage	Vibration Haute pression	-arrêt de la broche	-Visuel	2	2	2	8	Changement pont de serrage

2-POMPE											Actions correctives
Tour à CN				Phase de fonctionnement : normale							
N	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance E	Détection	Criticité				
							F	G	D	C	
6	Moteur	Entrainement de la pompe	Surcharge échauffement	Usure des roulements	Blocage des rotors	-Visuel	1	2	4	8	changement des roulements par des autres qui un longue durée de vie
7	Raccord, flexible	Entrainement de broche	Usure de filetage	Présence d'une haute pression	Fuite huile	-Visuel	1	2	3	6	Changement de flexible
8	Distributeur	Distribution de quantité de lubrifiant	-blocage -fuite Obturation	-Grippage -Raccord desserrée	Arrêt machine	-Visuel	1	4	3	12	Vérifier montée en pression
9	Circuit Pompe	Etablir la liaison hydraulique entre la pompe et la soupape de décompression	Fuites	Raccord desserré / joints défectueux	Arrêt machine	-Visuel	1	4	3	12	-Resserrer les tuyaux - changement les joints/raccords

3-TOURELLE											Actions correctives
Tour à CN				Phase de fonctionnement : normale							
N	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance E	Détection	Criticité				
							F	G	D	C	
10	Variateur X, Z	Variation de la vitesse Par variation de fréquence	Echauffement de circuit	Signaux harmonique	Fusion des cartes électronique d'amorssage	-Visuel	1	2	4	8	changement de variateur
11	Servons Moteur	Entrainement de la translation tourelle	Echauffement important	Aiment perte les caractéristique	Arrêt de mouvement de la tourelle déséquilibre de la tourelle	-Visuel	1	2	3	6	Changement d'induit
12	Poulie, courroie	Transmission de puissance par rotation	Craque casse	Présence de huile eau coupeaux	Pas de transmission de puissance et de rotation	-Visuel	1	4	2	8	Changement de courroie par d'
13	Vis a Bille axe X	Transmission de mouvement de la tourelle sur l'axe X	Echauffement d'une noix bille usure	Manque d'huile de graissage	Dégradation de la vitesse de transmission	-Visuel	1	2	2	4	-changement de vis à bille
14	Vis a Bille axe Z	Transmission de mouvement de la tourelle sur l'axe Z	Echauffement d'une noix bille usure	Manque d'huile de graissage	Dégradation de la vitesse de transmission	-Visuel	2	2	2	8	changement de vis à bille

3-TOURELLE											Actions correctives
Tour à CN				Phase de fonctionnement : normale							
N	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance E	Détection	Criticité				
							F	G	D	C	
15	Moteur d'indexage	Entraînement de la tourelle	court-circuit usure de roulement	Contact entre deux fils de bobinage d'induit	Arrêt de la rotation de tourelle	-Visuel	1	3	2	6	Changement d'induit changement les roulements par des autres qui un longue durée de vie
16	Vérin	Indexage de la tourelle	Blocage	Fuite d'huile	Pas indexage ou dés indexage de tourelle	-Visuel	2	2	2	8	Changement de joints
17	Boite de transition de la tourelle	Transmission de mouvement de rotation de la tourelle	Manque de graissage fissure coupe importante	Cisaillement les dents pignon Usure de roulement	Blocage tourelle	-Visuel	1	2	2	4	Changement de boite

4-PARTIE ELECTRIQUE										Actions correctives	
Tour à CN				Phase de fonctionnement : normale							
N	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance E	Détection	Criticité				
							F	G	D	C	
18	Les câbles	Transmission de puissance	Débrancher coupure	Influence de l'environnement	Pas de transmission de puissance	-Visuel	2	2	2	8	Changement câbles
19	Fusible	Protection de personnel et de l'installation électrique	Blocage	Durée de vie	Pas de transmission de puissance	-Visuel	2	3	1	6	Changement de fusible
20	Contacteur	Commande de moteur à distance	Usure de contact	Mauvais serrage court-circuit	Pas de transmission de puissance	-Visuel	1	2	3	6	Serrage de contacteur
21	Bouton poussoir	Mise en marche	détérioration	Durée de vie	Pas de commande	-Visuel	1	2	2	4	Changement de bouton bossoir
22	Disjoncteur	Protéger l'organe	Usure de contact	Mauvais serrage court-circuit	Pas de transmission de puissance	-Visuel	2	2	2	8	- changement de disjoncteur

❖ Les tables AMDEC

D'après le dossier historique SNVI (durant cinq années 2013- 2017), nous avons rempli les tables AMDEC de la machine **CT 60**.

Tableaux III.9 : Les Tables AMDEC CT 60.

1-LA BROCHE										Actions correctives	
Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leurs Criticités											
Tour à CN				Phase de fonctionnement : normale							
N	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance E	Détection	Criticité				
							F	G	D	C	
1	Variateur	Variation de la vitesse par variation de fréquence	Echauffement de circuit	Signaux harmoniques	-fusion des cartes électroniques d'amorçage	-Visuel	1	2	2	4	changement de variateur
2	Moteur a CC	Entrainement de broche	Surcharge échauffement	Contact entre deux fils de bobinage d'induit	Arrêt de la rotation de	-Visuel	1	4	2	8	Changement d'induit
			Vibration	usure ou casse de roulement	broche	-Visuel	2	2	2	8	changement des roulements par des autres qui un longue durée de vie
3	Poulie, courroie	Transmission de puissance par rotation	Craqué – cassé de courroie	Présence d'huile, eau, coupeaux	Arrêt de broche	-Visuel	1	2	2	4	Changement de Courroie par des autres qui un longue durée de vie
4	Boite de vitesse Broche	Changement de vitesse	-manque d'huile - échauffement de roues dentées	Détérioration des joints	Marche perturbé de la broche	-Visuel	2	2	2	8	Remplacement des joints

2-POMPE											Actions correctives
Tour à CN				Phase de fonctionnement : normale							
N	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance E	Détection	Criticité				
							F	G	D	C	
5	Moteur	Entrainement de la pompe	Court-circuit problème de roulement	Usure des roulements -surcharge	Blocage des rotors	-Visuel	1	3	2	6	changement de variateur
6	Raccord, flexible	Entrainement de broche	Usure de filetage	Présence d'une haute pression	Fuite huile	-Visuel	1	2	3	6	Changement d'induit
7	Distributeur	Distribution de quantité de lubrifiant	-blocage -fuite Obturation	-Grippage -Raccord desserrée	Arrêt machine	-Visuel	1	4	3	12	Vérifier montée en pression
8	Circuit Pompe	Etablir la liaison hydraulique entre la pompe et la soupape de décompression	Fuites	Raccord desserrée / joints défectueux	Arrêt machine	-Visuel	1	4	3	12	-Resserrer les tuyaux - changement les joints/raccords
9	Pompe hydraulique	Assure l'aspiration et le roucoulement a haut pression de fluide	Pas de débit insuffisant Manque d'huile	Défaut de joint rupture ou blocage interne	Arrêt de machine	-Visuel	2	3	1	6	Changement de joint

3-TOURELLE											Actions correctives
Tour à CN				Phase de fonctionnement : normale							
N	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance E	Détection	Criticité				
							F	G	D	C	
10	Variateur X, Z	Variation de la vitesse Par variation de fréquence	Echauffement de circuit	Signaux harmonique	Fusion des cartes électronique d'amorçage	-Visuel	1	2	2	4	changement de variateur
11	Servons Moteur	Entrainement de la translation tourelle	Echauffement important	Aiment perte les caractéristique	Arrêt de mouvement de la tourelle déséquilibre de la tourelle	-Visuel	2	2	3	12	Changement d'induit
12	Poulie, courroie	Transmission de puissance par rotation	Craque casse	Présence de huile eau coupeaux	Pas de transmission de puissance et de rotation	-Visuel	1	2	2	4	Changement de courroi
13	Vis a Bille X	Transmission de mouvement tourelle sure l'axe X	Echauffement d'une noix bille usure	Manque d'huile de graissage	Dégradation de la vitesse de transmission	-Visuel	1	2	2	4	-changement de vis à bille
14	Vis a Bille l'axe Z	Transmission de mouvement tourelle sure l'axe Z	Echauffement d'une noix bille usure	Manque d'huile de graissage	Dégradation de la vitesse de transmission	-Visuel	1	2	2	4	-changement de vis à bille

3-TOURELLE											Actions correctives
Tour à CN				Phase de fonctionnement : normale							
N	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance E	Détection	Criticité				
							F	G	D	C	
15	Moteur d'indexage	Entrainement de la tourelle	court-circuit usure de roulement	Contacte entre deux files de bobinage d'induit	Arête de la rotation de tourelle	-Visuel	2	2	2	8	Changement de moteur
16	Vérin	Indexage de la tourelle	blocage	Fuite d'huile	Pas indexage ou dés indexage de tourelle	-Visuel	3	2	2	12	Changement de joints
17	Boite de transition de la tourelle	Transmission de mouvement de rotation de la tourelle	Manque de graissage fissure coupe importante	Cisaillement les dents de pignon Usure de roulement	Blocage tourelle	-Visuel	2	2	2	8	Changement de boite

4-PARTIE ELECTRIQUE											Actions correctives
Tour à CN				Phase de fonctionnement : normale							
N	Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance E	Détection	Criticité				
							F	G	D	C	
18	Les câbles	Transmission de puissance	Débrancher coupure	Influence de l'environnement	Pas de transmission de puissance	-Visuel	2	2	2	8	Changement des câbles
19	fusible	Protection de personnel et de l'installation électrique	Blocage	Durée de vie	Pas de transmission de puissance	-Visuel	2	3	2	12	Changement des fusibles
20	Contacteur	Commande de moteur à distance	Usure de contact	Mauvais serrage court-circuit	Pas de transmission de puissance	-Visuel	2	3	2	8	Serrage de contacteur
21	Bouton poussoir	Mise en marche	détérioration	Durée de vie	Pas de commande	-Visuel	2	2	2	8	Changement de bouton
22	disjoncteur	Protéger l'organe	Usure de contact	Mauvais serrage court-circuit	Pas de transmission de puissance	-Visuel	2	1	2	4	Changement de disjoncteur

III.4.Synthèses

III.4.1 Récapitulatif des défaillances

D'après les tables AMDEC PRECEDENTES nous avons recensé les défaillances, qui se résument dans les tableaux suivant.

-Récapitulatif des défaillances par bloc de fonctionnement

Tableau III.10 : Nombre des défaillances par bloc de fonctionnement HES 500.

N° de bloc	Bloc défaillant	Nombre de défaillance	
1	La broche	5	23
2	Pompe	4	18
3	tourelle	8	36
4	Partie électrique	5	23
Total : 4		22	100 %

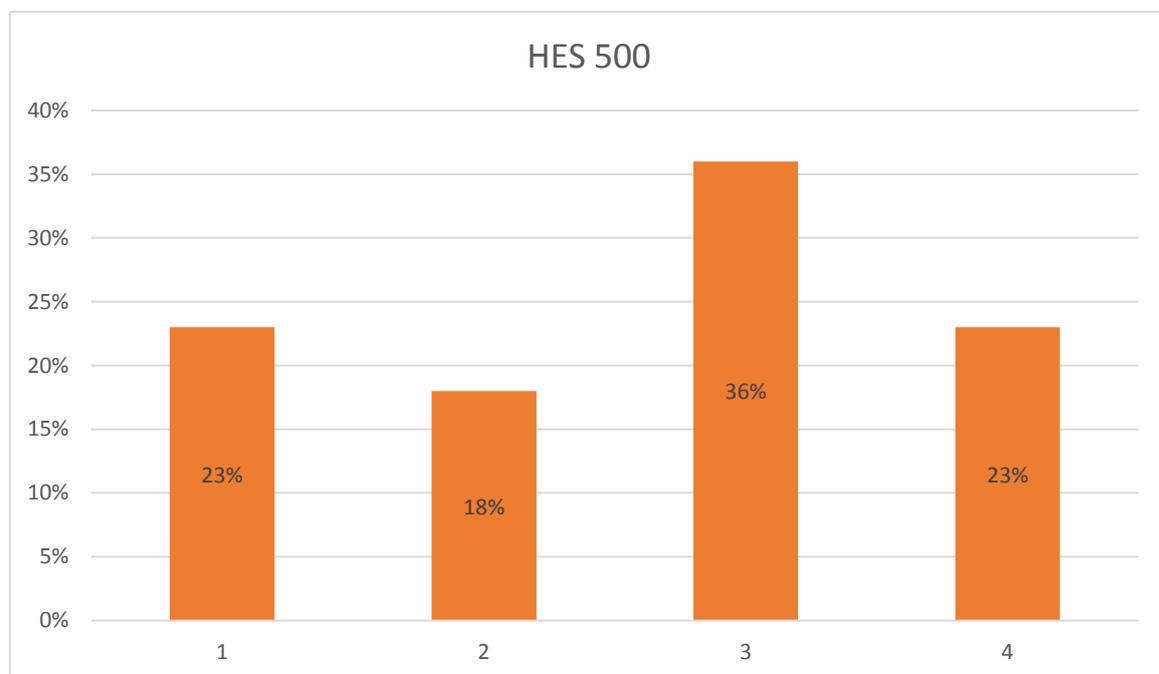


Figure III.10 : Histogramme de défaillance par bloc (HES 500).

Tableau III.11 : Nombre des défaillances par bloc de fonctionnement (CT 60).

N° de bloc	Bloc défaillant	Nombre de défaillance	
1	La broche	4	18
2	Pompe	5	23
3	tourelle	8	36
4	Partie électrique	5	23
Total : 4		22	100 %

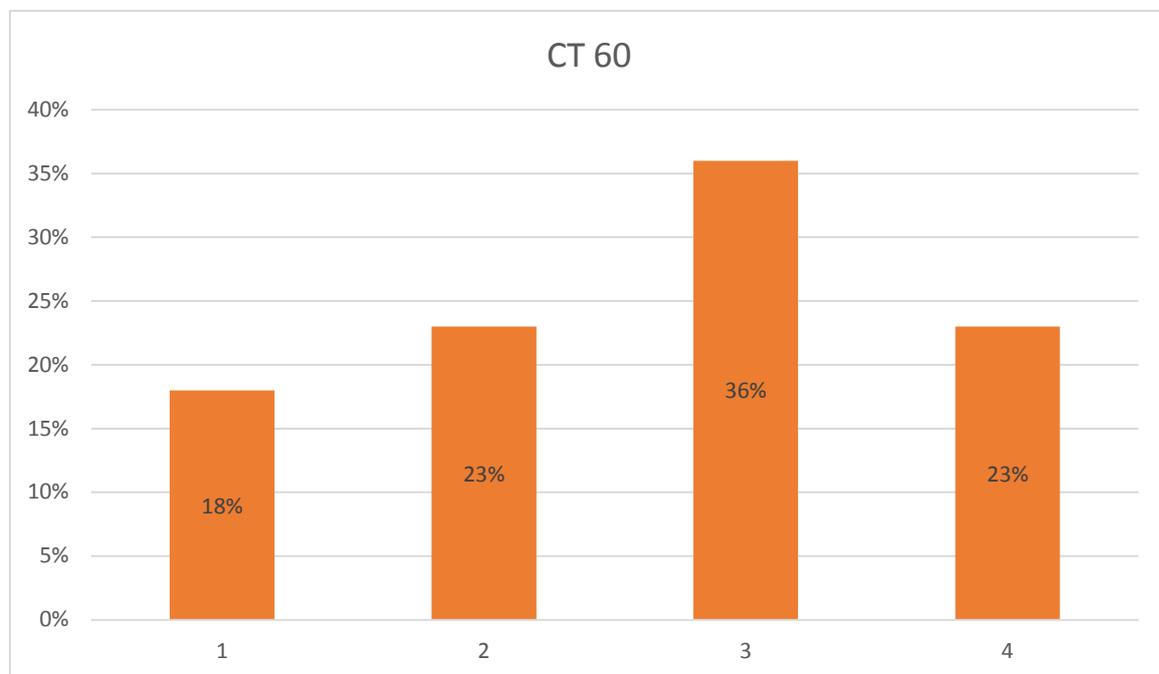


Figure III.11 : Histogramme de défaillance par bloc Tour à CN (CT 60).

III.4.2. Les points critiques

-Classification des éléments par leurs criticités

On prend la valeur 12 comme seuil de criticité. Les éléments dans la criticité dépasse 12 sont regroupés par ordre décroissant dans le tableau. C'est sur ces éléments qu'il faut agir en priorité en engagement des actions appropriées.

Tableau III.12 : Classification des éléments selon leur criticité de (HES 500).

Élément	Criticité	Action à engager
-Moteur a CC (roulement)	12	Amélioration performance des éléments maintenance préventive systématique
-Distributeur	12	
-Circuit pompe	12	
-Moteur a CC	8	Aucune modification de conception
- Polie et courroie	8	
-Pont de serrage	8	
-Variateur (X, Z)	8	
-Vise à bille l'axe Z	8	
-vérin	8	
-Moteur asynchrone	8	
-Les câbles	8	
-Disjoncteur	8	
-Servons moteur	6	
-Raccord flexible	6	
-Moteur d'indexage	6	
-fusible	6	
-Contacteur	6	
-Boite de tourelle	4	
-Botton poussoir	4	
-Boite de broche	4	
-Vise à bille l'axe X	4	
-Variateur de broche	4	

Tableau III.13 : Classification des éléments selon leur criticité de (CT 60).

Élément	Criticité	Action à engager
-Distributeur	12	Amélioration performance des éléments maintenance préventive systématique
-Circuit pompe	12	
-Vérin	12	
-Servons moteur	12	
-Fusible	12	
-Moteur a CC	8	Aucune modification de conception
-Pont de serrage	8	
-Boite de broche	8	
-Moteur d'indexage	8	
-Boite de tourelle	8	
-Les câbles	8	
-Contacteur	8	
-Botton poussoir	8	
-pompe hydraulique	6	
-Moteur asynchrone	6	
-Raccord flexible	6	
-Variateur de broche	4	
- Polie et courroie	4	
-Variateur (X, Z)	4	
-Vise à bielle l'axe X	4	
-Vise à bille l'axe Z	4	
-Disjoncteur	4	

III.5. Présentation d'une gamme d'entretien pour les éléments de Tour à commande numérique (HES 500 et CT60)

Tableau III.14 : Entretien préventive de Broche.

Matériel	Taches	Marche	Arrêt	Semaine	Mois
-Moteur a cc	-Nettoyage		X	X	
	-Réchauffement	X			X
	-Vibration	X			X
	-Contrôler le bruit	X			X
-variateur	-Réchauffement	X		X	
	-contrôler la fréquence	X			X
-Polie et courroie	-Usure de couroi		X		X
	-Fixation de la poulie		X	X	
Boîte de broche	-Niveau d'huile	X		X	
	-Contrôler le bruit	X		X	

Tableau III.15 : Entretien préventive de Pompe.

Matériel	Taches	Marche	Arrêt	Jour	Semaine	Mois
-Réservoir	-Niveau d'huile -Vérifier l'aspect d'huile		X X		X	X
-Filtre	-Fixation de filtre		X			X
-Moteur	-Nettoyage -Réchauffement -Vibration -Contrôler le bruit	X X X	X	X	X	X X
-Pompe d'huile	-Niveau d'huile -Bruit -La température	X X X		X X		X
-Raccord flexible	-Fuite	X			X	
-Distributeur	-Fuite	X			X	

Tableau III.16 : Entretien préventive de Partie électrique

Matériel	Taches	Marche	Arrêt	Semaine	Mois
-Fusible	-Fixation		X		X
	-Isolant		X		X
	-Raccordement		X		X
	-Elément résistant		X		X
-Sectionneur	-Réchauffement	X			X
-Disjoncteur	-Fixation		X		X
-Contacteur	-raccordement		X		X
Transformateur	-Fixation		X		X
	-Isolement		X		X
	*Primaires				
	*Secondaires				
-Les câbles	-Etat des câbles		X		X
-Relais	-Raccordement		X		X
	-Fixation		X		X
-bouton poussoir	-fixation		X		X
	-Contacts		X	X	
	-raccordement		X		X

Tableau III.17 : Entretien préventive de Tourelle.

Matériel	Taches	Marche	Arrêt	Semaine	Mois
Variateur(X, Z)	-Réchauffement	X		X	X
	-contrôler la fréquence	X			
Servos moteur	-contrôler la fréquence	X			X
Vis à bille l'axe(X, Z)	-Les réchauffements	X			X
	-Déformation		X		X
Moteur indexage	-Nettoyage		X	X	
	Réchauffement	X			X
	-Vibration	X			X
	-Contrôler le bruit	X			X
vérin	-Fuite	X			X
	-grippage	X			X

Conclusion

D'après l'application de lois de Weibull les résultats trouvés pour la disponibilité des deux machines est de (HES 500= 91% et CT60= 98%), on constate que notre équipement est disponible grâce à la disponibilité des pièces de rechanges, de la qualité de la main d'œuvre et l'intervention efficace du service maintenance.

Mais vu l'état du matériel pour les deux machines (HES500 et CT60), ($\beta(\text{HES}) = 1.05$) et ($\beta(\text{CT60}) = 1.2$), $\lambda(t)$ élevé donc les coûts de maintenance élevés.

$\beta > 1$ pour les deux machines donc les deux sont en période de vieillesse.

L'application de l'analyse AMDEC nous a permis de déterminer la criticité des éléments composants le tour à commande numérique, de cerner les pannes les plus critiques en priorisant les interventions d'amélioration continue et par suite de définir les actions à entreprendre pour éliminer les défaillances, réduire leurs effets et pour en empêcher les causes.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le travail que nous avons effectué s'inscrit dans le cadre de notre projet de fin d'études.

Avec l'appui du stage pratique à la société national des véhicules industriel, ce travail nous a permis de découvrir la réalité de l'activité d'un complexe industriel.

Ce qui a été pour nous très bénéfique, et nous a permis de découvrir de nouvelles technologies dans le domaine industriel et d'enrichir nos connaissances dans le domaine de l'industrie, en pratiquant sur le terrain les théories acquises au niveau de l'université.

Cette étude nous a surtout permis de comprendre que la maintenance permet de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité de la production.

A travers cette démarche nous avons essayé de rechercher, d'expliquer et analyser la fiabilité de l'équipement.

L'objectif principal de notre projet de fin d'étude était l'estimation et l'évaluation des effets des défaillances sur un équipement industriel.

De notre travail nous nous sommes intéressés à l'évaluation de l'unité à l'aide de la méthode AMDEC en raison de nombreux avantages qu'elle présente.

Cette méthode de diagnostic est très puissante elle permet de cerner d'une manière précise les différents éléments de la machine à prendre en charge d'une manière prioritaire afin de gagner en disponibilité du matériel et une rentabilité accrue de l'activité.

Cette théorie est aussi très flexible, ce qui nous a permis de la mettre en pratique d'une manière aisée même. Elle nous a permis de dégager un plan de maintenance qui on espère soit mis en pratique par les décideurs de la SNVI ;

On recommande, pour les futurs postulants au diplôme de master en maintenance industrielle, d'étaler ce type d'expertise aux autres ateliers qui nous permettras de cerner l'ensemble des contraintes de maintenance de toute la SNVI ;

Références et bibliographiques

Références bibliographiques

- [2]-Documentation technique de constructeur.
- [3]-Bibliothèque de SNVI.
- [4]- A.BELHOUME Cœur stratégie de maintenance année 2010/2011.
- [5]-Maintenance industriel 3^{ème} édition, DENIS 2012.
- [6]-G.ZWIMGELESTIN : la maintenance basée sur la fiabilité, édition HERMES.
- [7]-Maintenance mathématique et méthode, édition technique et documentation PATRIQUE LYONNE ,1992.
- [8]-Génie industriel, maintenance industrielle de l'entretien de base de l'optimisation du de la sureté JEAN-MARIE AUBER VILLE, 2004.
- [9]- : DANIEL BOITEL, guide de maintenance : CLAUDE HASARD, édition NATHAN 1987.
- [10]- CLAUDE HASARD, Fiabilité, maintenabilité, disponibilité, édition AFNOR 2eme édition ,2012.
- [12]-J.RIOUT : le guide de l'AMDEC machine, édition centre technique des industries mécanique.

Webographie

- [1]-Cite officiel de la SNVI : <http://www.snvigroupe.dz>
- [11]-<http://cahierdemeca.free.fr>
- [13]-Principe AMDEC : <http://www.piloter.org/qualite/amdec.htm>

Annexes

III.2.1. Préparation des données (CT 60 C03225)

Nous classons les valeurs de TBF (TBF de chaque élément avant la défaillance) enregistrées dans le tableau ci-dessous.

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

$$F(i) = (i/N+1)$$

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

Tableau III.2 : Classement des TBF de la machine CT 60 03225 SEC 124.

I	TBF [h]	N	TTR [h]	F(i)= (i/N+1)	F(i)%	R(i)%	$R(t) = e^{-\frac{t-\gamma}{\eta}}$	F(t)=1-R(t)	$\lambda(t) = \frac{F(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$ [h]*10 ⁻⁴
1	32	01	15	0.0285	2.85	97.15	0.9659	0.0341	12.96
2	33	01	7	0.0571	5.71	94.29	0.9647	0.0353	13.04
3	45	01	13	0.0857	8.57	91.43	0.9492	0.0508	13.88
4	48	01	13	0.1142	11.42	88.58	0.9452	0.0548	14.06
5	57	01	2	0.1420	14.20	85.8	0.9331	0.0669	14.55
6	64	02	14	0.2000	20.00	80	0.9235	0.0765	14.89
7	77	01	3	0.2285	22.85	77.15	0.9055	0.0945	15.45
8	90	01	8	0.2571	25.71	74.29	0.8872	0.1128	15.94
9	112	01	7	0.2857	28.57	71.43	0.8559	0.1441	16.66
10	125	01	3	0.3142	31.42	68.58	0.8373	0.1627	17.03
11	224	01	3	0.3428	34.28	65.72	0.6995	0.3005	19.13
12	253	01	3	0.3714	37.14	62.86	0.6612	0.3387	19.61
13	255	01	30	0.4000	40.00	60	0.6586	0.3413	19.64
14	265	01	7	0.4285	42.85	57.15	0.6458	0.3541	19.79
15	290	01	7	0.4571	45.71	54.29	0.6143	0.3856	20.17
16	381	01	2	0.4857	48.57	51.43	0.5086	0.4913	21.30
17	400	01	10	0.5142	51.42	48.58	0.4883	0.5116	21.51
18	448	01	7	0.5428	54.28	47.72	0.4999	0.5601	22.01
19	461	01	3	0.5714	57.14	52.86	0.4275	0.5724	22.13
20	489	01	17	0.6000	60.00	40	0.4017	0.5983	22.39
21	521	01	21	0.6285	62.85	37.15	0.3737	0.6263	22.67
22	574	01	3	0.6571	65.71	34.29	0.3310	0.6690	23.10
23	576	01	3	0.6857	68.57	31.43	0.3295	0.6705	23.11
24	589	01	3	0.7142	71.42	28.58	0.3187	0.6803	23.22

Annexes

25	624	01	21	0.7428	74.28	25.72	0.2946	0.7054	23.49
26	652	01	5	0.7714	77.14	22.86	0.2758	0.7242	23.69
27	697	01	7	0.8000	80.00	20	0.2477	0.7523	24.01
28	761	01	2	0.8285	82.85	17.15	0.2121	0.7879	24.44
29	1001	01	14	0.8571	85.71	14.29	0.1159	0.8841	25.82
30	1230	01	3	0.8857	88.57	11.43	0.0633	0.9367	26.90
31	1280	01	15	0.9142	91.42	8.58	0.0553	0.9447	27.12
32	1328	01	7	0.9428	94.28	5.72	0.0485	0.9515	27.32
33	1360	01	1	0.9714	97.14	2.86	0.0444	0.9556	27.45
total	14126	34	306						

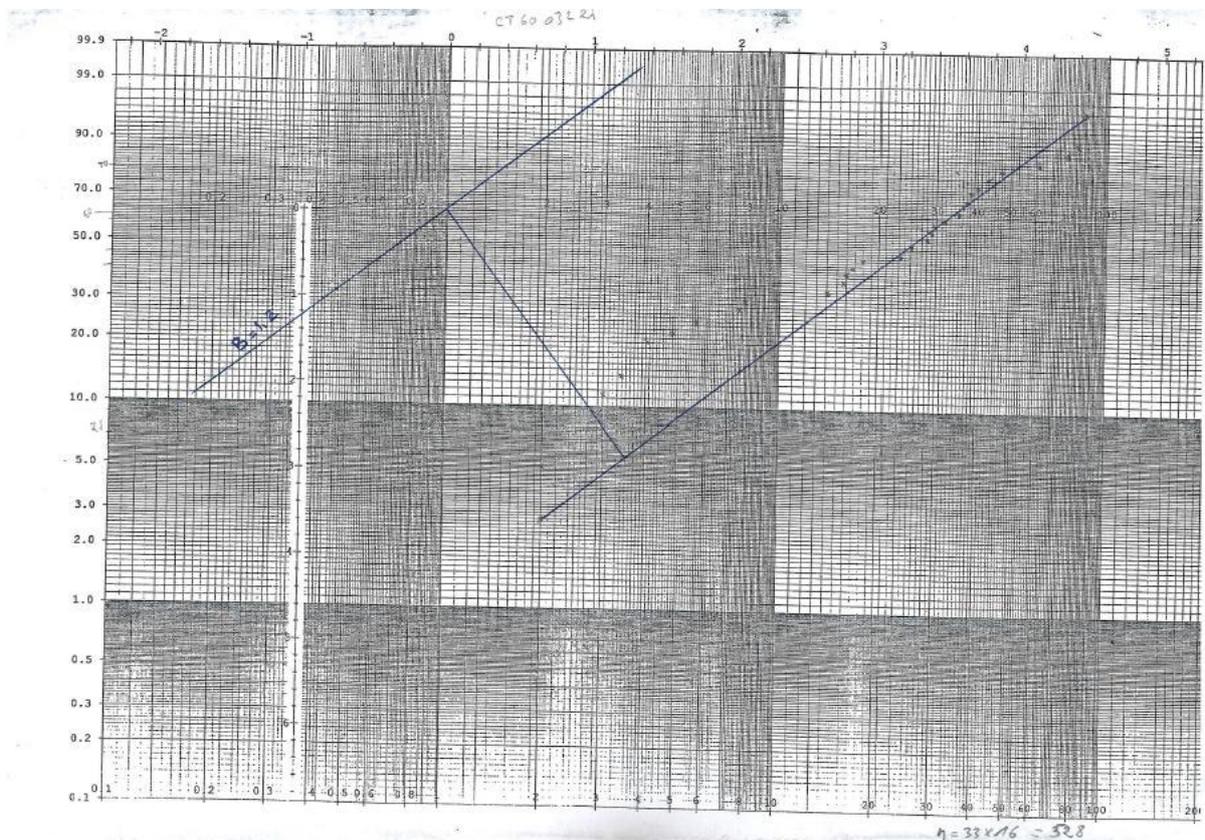


Figure III.4: papier de Weibull (CT60).

Formulaire - Loi de Weibull
Coefficients pour la détermination des données statistiques

Moyenne : $MTBF = A \times \eta + \gamma$

Ecart-type : $\sigma = B \times \eta$

$$A = \Gamma\left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right)$$

$$B = \sqrt{\Gamma\left(\frac{\beta + 2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right)}$$

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,2	120	1901	1,5	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,3	9,2605	50,08	1,6	0,8966	0,574	4,2	0,9089	0,244
0,35	5,0291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,4	3,3234	10,44	1,7	0,8922	0,54	4,4	0,9114	0,235
0,45	2,4786	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9126	0,23
0,5	2	4,47	1,8	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	1,7024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,6	1,5046	2,65	1,9	0,8874	0,486	4,8	0,916	0,218
0,65	1,3663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,7	1,2638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9182	0,21
0,75	1,1906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,8	1,133	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,088	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,2
0,9	1,0522	1,17	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,38	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9803	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,186
1,1	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,926	0,185
1,15	0,9517	0,83	2,9	0,8917	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,2	0,9407	0,787	3	0,893	0,325	6	0,9277	0,18
1,25	0,9314	0,75	3,1	0,8943	0,316	6,1	0,9286	0,177
1,3	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,917	0,687	3,3	0,897	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,4	0,9114	0,66	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,931	0,17
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9318	0,168
			3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
			3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9333	0,163
			3,8	0,9038	0,266	6,8	0,934	0,161
			3,9	0,9051	0,26	6,9	0,9347	0,16