

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie Industriel

Spécialité : Ingénierie de la production

Par : DAOUD Yasser & BOUDIBI Ahmed

Sujet

Développement d'une application pour la maintenance de la scie circulaire du hall de technologie

Soutenu publiquement, le 13 Juin 2023, devant le jury composé de :

M. KAHOUADJI Housseyn Amin	MCB	Université de Tlemcen	Président
Mme. HOUBAD Yamina	MCB	Université de Tlemcen	Examineur
Mme. SEKKAL Nor El Houda	MAB	Essa. Tlemcen	Examineur
M. MOULAI-KHATIR Djezouli	MCA	Université de Tlemcen	Encadreur
M. BELABED Youssouf	MCB	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année universitaire : 2022 / 2023

REMERCIEMENTS

On remercie Dieu de nous avoir aidés à terminer ce modeste travail.

On tient à remercier notre encadreur M. MOULAI-KHATIR Djezouli d'avoir accepté de diriger ce projet, ainsi que pour son entière disponibilité et ses précieux conseils durant toute la période de l'élaboration de ce travail.

Aussi nos remerciements vont à notre Co-encadreur M. BELABED YOUSSEUF pour sa disponibilité et ses conseils durant toute la période de la réalisation de notre PFE.

On remercie M. KAHOUADJI Housseeyn Amin d'avoir accepté de présider le jury de soutenance de ce mémoire.

Nous exprimons notre reconnaissance aux membres du jury Mme. HOUBAD Yamina et Mme. SEKKAL Nor El-Hodna pour l'intérêt qu'elles ont portées à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail.

Que toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail trouve ici toute notre gratitude.

DAOUD Yasser & BOUDIBI Ahmed

DEDICACES

À mes parents bien-aimés,

dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines ont rendus possible cette journée ;

À mon frère et mes sœurs ;

À mes oncles et mes cousins ;

À toute ma famille ;

À mes amis et voisins ;

À tous ceux qui m'aiment ;

À tous mes enseignants de la faculté de Technologie de l'université Abou Bakr Belkaid
Tlemcen.

BOUDIBI Ahmed

DEDICACES

A mes Chère Parents

dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines,

m'ont permis de vivre ce jour ;

A mon Frère et mes sœurs ;

A mes oncles et mes cousins ;

A toute ma famille ;

A mes amis, mes voisins ;

A tous les gens qui m'aiment ;

A tous mes enseignants de la faculté Technologie de l'université

Abou Bakr Belkaid Tlemcen.

DAOUD Yasser

Résumé

Le présent mémoire entre dans le contexte de la maintenance industrielle et l'informatisation du hall de technologie à travers l'utilisation de la Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO). Le travail réalisé se compose de deux parties. La première partie est basée principalement sur l'étude et l'intervention sur la scie circulaire PEHAKA ROBOTER 250 SL implémentée dans le hall de technologie de l'université Abou Bekr Belkaid Tlemcen. Cette partie du projet a permis d'utiliser les connaissances acquises tout au long de notre formation pour diagnostiquer les pannes de la machine à l'aide d'outils simples et les méthodes d'optimisation de la maintenance pour garantir son fonctionnement de la meilleure façon possible. De plus, un planning qui concerne la maintenance préventive va être établi pour diminuer le nombre des interruptions. La deuxième partie du travail est basée sur l'informatisation du hall en réalisant une application Android qui vise à organiser les tâches du service de maintenance. Cette application Android permet la gestion, la supervision et le contrôle du processus de maintenance au sein du hall de technologie de la faculté de technologie de l'université d'Abou Bekr Belkaid.

Mots clés : Maintenance industrielle, AMDEC, Pareto, Weibull, scie circulaire (PEHAKA ROBOTER 250), GMAO, interface.

Abstract

The present report pertains to the industrial maintenance context and digitization of the technology hall through the use of CMMS (Computerized Maintenance Management System). The work carried out is divided into two parts. The first part is mainly focused on the study and intervention on the PEHAKA ROBOTER 250 SL circular saw implemented in the technology hall of the Abou Bekr Belkaid Tlemcen University. This project section allowed us to use and to apply the knowledge acquired throughout our training to diagnose the machine breakdowns using simple tools and maintenance optimization methods to ensure its optimal performance. Additionally, a preventive maintenance schedule will be established to reduce downtime. The second part of the work is based on the computerizing of the hall through the development of an Android application aimed at organizing maintenance tasks. This Android application allows the management, supervision, and the control of the maintenance process at the technology hall of the Faculty of Technology at Abou Bekr Belkaid University.

Keywords: Industrial maintenance, FMEAC, Pareto, Weibull, circular saw (PEHAKA ROBOTER 250), CMMS, interface.

المخلص

المذكورة المقدمة هنا تتدرج في إطار الصيانة الصناعية وفي عملية رقمنة قاعة التكنولوجيا باستعمال نظام حاسوبي قائم على إدارة الصيانة بمساعدة الحاسوب. يتم تقسيم العمل الذي تم إنجازه إلى جزئين. كان الهدف من الجزء الأول هو دراسة وتشخيص والتدخل في منشار الشريط الموجود في قاعة التكنولوجيا بجامعة أبو بكر بلقايد تلمسان. قمنا بتطبيق المعرفة التي اكتسبناها طوال تدريبنا لتشخيص أعطال الجهاز باستخدام أدوات بسيطة ومجموعة من طرق تحسين الصيانة لضمان صيانتها وبقائه قابلاً للتشغيل وإنشاء برنامج صيانة وقائي لتقليل الانقطاعات. الجزء الثاني من عملنا مخصص لتحويل القاعة إلى نظام حاسوبي عن طريق إنشاء تطبيق يهدف إلى تنظيم مهام خدمة الصيانة في القاعة. يضمن هذا التطبيق إدارة ومراقبة ومتابعة سير عملية الصيانة داخل قاعة التكنولوجيا بكلية التكنولوجيا بجامعة أبو بكر بلقايد.

الكلمات المفتاحية : الصيانة الصناعية، طريقة تحليل أوضاع الفشل وآثارها وخطورتها، طريقة باريتو، طريقة ويبال، منشار الشريط، واجهة، إدارة الصيانة المعززة بالحاسوب.

Sommaire

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I : GENERALITES SUR LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE

I.1. Introduction	4
I.2. Maintenance	4
I.2.1. Historique	5
I.2.2. Objectif de la maintenance	5
I.2.3. Stratégie de maintenance	6
I.2.4. Notions de la maintenance.....	6
I.2.5. Composants de la maintenance	7
I.2.6. Niveaux de maintenance.....	8
I.2.7. Echelons de la maintenance.....	10
I.3. Formes de la maintenance	10
I.3.1 Choix du type de maintenance	11
I.4. Maintenance corrective	11
I.4.1. Synonyme de la maintenance corrective	12
I.4.2. Opérations de la maintenance corrective.....	12
I.4.3. Principe de la maintenance corrective	13
I.4.4. Phases d'une intervention de maintenance corrective.....	13
I.4.5. Outils d'aide de la maintenance corrective	14
I.4.6. Types de la maintenance corrective	14
I.4.6.1. Maintenance palliative	14
I.4.6.2. Déroulement de la maintenance palliative	15
I.4.6.3. Maintenance curative	15
I.4.6.4. Déroulement de la maintenance curative	16
I.5. Maintenance préventive.....	16
I.5.1. Objectifs de la maintenance préventive.....	16
I.5.2. Actions de la Maintenance préventive	16
I.5.3. Types de la maintenance préventive.....	17

I.5.4. Maintenance systématique.....	17
I.5.4.1. Synonyme de la maintenance systématique	17
I.5.4.2. Exemples de la maintenance systématique.....	17
I.5.4.3. Principe de la maintenance systématique	17
I.5.4.4. Déroulement de la maintenance systématique	18
I.5.4.5. Les avantages et les inconvénients de la maintenance systématique	18
I.5.5. Maintenance conditionnelle.....	19
I.5.5.1. Synonyme de la maintenance conditionnelle	19
I.5.5.2. Exemples de la maintenance conditionnelle.....	19
I.5.5.3. Principe de la maintenance conditionnelle ou prévisionnelle	19
I.5.5.4. Déroulement de la maintenance conditionnelle	20
I.5.5.5. Avantages de la maintenance conditionnelle	20
I.5.5.6. Condition d'application d'une maintenance conditionnelle.....	20
I.5.6. Maintenance prévisionnelle.....	20
I.5.6.1. Synonyme de la maintenance prévisionnelle	21
I.5.6.2. Exemples de la maintenance prévisionnelle	21
I.5.6.3. Déroulement de la maintenance prévisionnelle	21
I.6. Exemple des activités de maintenance	21
I.7. Service de maintenance	22
I.7.1. Fonctions du service de maintenance	22
I.7.2. Fiches d'enregistrement.....	23
I.8. Concepts de la maintenance	25
I.9. Documentation en maintenance	25
I.9.1. Dossier machine	25
I.9.2. Ficher de l'historique de la machine	25
I.10. Conclusion.....	26

Chapitre II : METHODES D'OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE

II.1. Introduction.....	28
II.2. Méthode de Pareto.....	28
II.2.1. Objectif de la méthode	29
II.2.2. Domaine d'application de la méthode.....	29
II.2.3. Principe de la méthode	29

II.3. Méthode AMDEC	32
II.3.1. Objective de la méthode.....	33
II.3.2. Avantages et Limites de la méthode	34
II.3.2.1 Avantages de la méthode AMDEC	34
II.3.2.2 Limites de la méthode AMDEC	34
II.3.3. Différents types de l'AMDEC	34
II.3.4. Aspects de la méthode AMDEC	35
II.3.4.1. Etude qualitatif	35
II.3.4.2. Etude quantitatif	36
II.3.5. Principe de la méthode AMDEC.....	36
II.4. Méthode de Weibull.....	41
II.4.1. Période de vie d'un produit.....	41
II.4.2. Paramètres de la méthode.....	42
II.4.3. Diagramme de Weibull	43
II.4.4. Principe de la méthodologie.....	44
II.4.5. Domaine d'application de la méthode.....	45
II.5. Conclusion.....	46

Chapitre III : ANALYSE DE LA FIABILITE DES EQUIPEMENTS DU HALL DE TECHNOLOGIE

III.1 Introduction.....	48
III.2 Présentation de lieu.....	48
III.2.1 Organisation de lieu	49
III.2.2 Emplacement des machines	50
III.3 Application de la méthode PARETO sur le hall.....	52
III.3.1 Description de problème.....	52
III.3.2 Récupération des données.....	52
III.3.3 Classement ABC sur les machines	53
III.3.4 Constructions des graphes de Pareto	53
III.3.4.1 Diagramme de fiabilité.....	53
III.3.4.2 Diagramme de maintenabilité	54
III.3.4.3 Diagramme de l'indisponibilité.....	55
III.3.5 Détermination des zones de Pareto.....	55

III.3.6	Interprétation des résultats	57
III.3.7	Exploitation des résultats	58
III.4	Description sur les scies mécaniques.....	58
III.4.1	Scie à main (manuel)	58
III.4.2	Scie alternative.....	58
III.4.3	Scie circulaire (Scie à ruban).....	59
III.4.3.1	Caractéristiques de la Scie circulaire PEHAKA ROBOTER 250 SL... ..	59
III.5	Application de la méthode AMDEC sur la scie circulaire.....	59
III.5.1	Etude de fonctionnement	59
III.5.2	Analyse de défaillance	67
III.5.2.1	Modes de défaillance.....	67
III.5.2.2	Conséquences de défaillance.....	67
III.5.2.3	Causes de défaillance	67
III.5.3	Evaluation de la criticité	68
III.5.3.1	Grille de cotation.....	68
III.5.3.2	Classification et matrice de criticité	68
III.5.4	Proposition d'amélioration	73
III.5.5	Interprétation des résultats	73
III.5.6	Exploitation des résultats	74
III.6	Grandeurs de FMD	74
III.7	Application de la méthode de Weibull sur la lame de scie.....	75
III.7.1	Détermination des points (T_i , F_i).....	75
III.7.2	Détermination des paramètres de Weibull.....	76
III.7.2.1	Etude WEIBULL avec 2 paramètres.....	76
III.7.2.1.1	Méthode graphique.....	76
III.7.2.1.2	Méthode numérique.....	77
III.7.2.2	Etude WEIBULL avec 3 paramètres.....	79
III.7.2.2.1	Procédure de redressement de la courbe de WEIBULL.....	79
III.7.2.2.2	Modélisation graphique après redressement	81
III.7.2.2.3	Modélisation numérique après redressement	82
III.7.2.2.4	Courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$	84
III.7.2.2.5	Courbe de densité de défaillance $f(t)$	85
III.7.2.2.6	Analyse et discussion des résultats.....	85
III.7.2.2.7	Choix type de maintenance	86

III.8 Conclusion	87
------------------------	----

Chapitre IV : PROGRAMATION ET REALISATION D'UNE APPLICATION GMAO

IV.1 Introduction	89
IV.2 Définition de la GMAO	89
IV.2.1 Objectives de la GMAO.....	89
IV.2.2 Informatisation de la maintenance : quand et pourquoi ?	89
IV.3 Etude des besoins	90
IV.4 Cahier des charges	90
IV.4.1 Objectif général.....	91
IV.4.2 Objectifs spécifiques	91
IV.4.3 Choix du type de GMAO	91
IV.4.4 Analyse fonctionnelle	91
IV.4.4.1 Fonctionnes principales.....	91
IV.4.4.2 Fonctionnes secondaires	92
IV.4.5 Définition du champ du système.....	92
IV.4.6 Consultations.....	92
IV.5 Travail réalisé	93
IV.5.1 Outils utilisés.....	93
IV.5.1.1 Delphi.....	93
IV.5.1.2 EMBARCADERO RAD studio.....	93
IV.5.1.3 Base de données de l'application	93
IV.5.2 Organigramme de l'application	93
IV.5.3 Tableau des attributs	94
IV.5.4 Interfaces de l'application (organigrammes, algorithmes)	94
IV.5.4.1 Interface de DELPHI 10.4	94
IV.5.4.2 Page d'accueil	95
IV.5.4.3 Interfaces des manuels machines	96
IV.5.4.4 Interface de maintenance	96
IV.5.4.5 Module de gestion des interventions.....	97
IV.5.4.5.1 Ajouter une intervention	98
IV.5.4.5.2 Liste des interventions encours (DT, OT).....	98

IV.5.4.5.3 Historiques des interventions	99
IV.5.4.6 Module personnel.....	100
IV.5.4.7 Module équipement.....	101
IV.5.4.8 Méthode de maintenance	102
IV.5.4.8.1 Analyse de PARETO	102
IV.5.4.8.2 Algorithme de PARETO	103
IV.5.4.8.4 Algorithme d'AMDEC	104
IV.5.4.8.5 Etude WEIBULL	104
IV.5.4.8.6 Algorithme de WEIBULL	105
IV.5.4.8.7 Plans d'action (notification des taches d'intervention).....	106
IV.5.5 Utilisateurs de l'application	107
IV.5.6 Test final	108
IV.6 Conclusion.....	108

Chapitre V : INTERVENTION SUR LA SCIE CIRCULAIRE

V.1 Introduction.....	110
V.2 Conditions d'utilisation des scies mécaniques.....	110
V.2.1 Pression de coupe	110
V.2.2 Choix de la denture.....	110
V.2.3 Réglage de la vitesse de coupe	110
V.2.4 Réglage de la tension de la lame	111
V.2.5 Lubrification.....	111
V.3 Lame de scie	111
V.3.1 Causes de défaillance de la lame	111
V.3.2 Etapes pour choisir la lame de scie	112
V.3.3 Optimisation de la durée de vie de la lame	112
V.3.3.1 Rodage de la lame	113
V.4 Diagnostique et intervention sur la scie circulaire.....	113
V.4.1 Diagnostique des pannes détectées dans la scie	113
V.4.2 Intervention pour la maintenance de la scie	116
V.5 Conclusion	120
Conclusion générale et perspectives	121
Références bibliographiques	123

Liste des figures

Chapitre I : GENERALITES SUR LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE

Figure I.1 Diagramme des 5M	8
Figure I.2 Organigramme de politique de maintenance	10
Figure I.3 Logigramme du choix de la forme de maintenance	11
Figure I.4 Principe de la maintenance corrective	13
Figure I.5 Phases d'une opération de maintenance corrective.....	13
Figure I.6 Déroulement de la maintenance palliative	15
Figure I.7 Déroulement de la maintenance curative	16
Figure I.8 Principe de la maintenance systématique	18
Figure I.9 Déroulement de la maintenance systématique	18
Figure I.10 Principe de la maintenance conditionnelle et prévisionnelle	19
Figure I.11 Déroulement de la maintenance conditionnelle	20
Figure I.12 Déroulement de la maintenance prévisionnelle.....	21

Chapitre II : METHODES D'OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE

Figure II.1 Représentation graphique de l'analyse ABC	31
Figure II.2 Représentation graphique des zones ABC	32
Figure II.3 Périodes de vie d'un produit	42
Figure II.4 Diagramme de Weibull	44
Figure II.5 Abaque d'optimisation de la maintenance	45

Chapitre III : ANALYSE DE LA FIABILITE DES EQUIPEMENTS DU HALL DE TECHNOLOGIE

Figure III.1 Emplacement géographique de hall de technologie.....	48
Figure III.2 Plan de niveau 0 du hall	51
Figure III.3 Diagramme de fiabilité	54
Figure III.4 Diagramme de maintenabilité	54
Figure III.5 Diagramme de l'indisponibilité	55

Figure III.6 Représentation de la courbe de PARETO.....	57
Figure III.7 Scie à main.....	58
Figure III.8 Système d’entraînement de la barre à débiter (partie 1).....	61
Figure III.9 Système d’entraînement de la barre à débiter (partie 2).....	61
Figure III.10 Système d’entraînement des roues de scie (partie 1).....	62
Figure III.11 Système d’entraînement des roues de scie (partie 2).....	63
Figure III.12 Système hydraulique.....	64
Figure III.13 Système de refroidissement (partie 1).....	64
Figure III.14 Système de refroidissement (partie 2).....	65
Figure III.15 Panneau de commande.....	66
Figure III.16 Armoire électrique.....	66
Figure III.17 Matrice de criticité.....	69
Figure III.18 Histogramme de classement des résultants de criticité.....	73
Figure III.19 Durées caractéristiques de FDM.....	75
Figure III.20 Courbe graphique avec 2 paramètres.....	77
Figure III.21 Courbe de Weibull avec 2 paramètres par Excel.....	78
Figure III.22 Courbe de Weibull avec 2 paramètres par Reliability Workbench.....	79
Figure III. 23 Courbe de Weibull avec les nouveaux couples des points.....	80
Figure III. 24 Représentation graphique du point M2 dans la courbe.....	80
Figure III.25 Courbe graphique avec 3 paramètres.....	81
Figure III. 26 Courbe de WEIBULL à 3 paramètres avec Excel.....	82
Figure III.27 Courbe de WEIBULL à 3 paramètres avec Reliability Workbench.....	83
Figure III.28 Taux de défaillance $\lambda(t)$ (Excel).....	84
Figure III.29 Densité de probabilité de défaillance $f(t)$ (Excel).....	85
Figure III.30 Diagramme choix type de maintenance.....	86

Chapitre IV : PROGRAMATION ET REALISATION D’UNE APPLICATION GMAO

Figure IV.1 Organigramme de l’application.....	94
Figure IV.2 Fenêtre principal de Delphi.....	95
Figure IV.3 Page d’accueil.....	95
Figure IV.4 Interfaces des manuels machines.....	96
Figure IV.5 Interfaces de maintenance.....	97
Figure IV.6 Module d’intervention.....	97

Figure IV.7 Ajouté une intervention	98
Figure IV. 8 Liste des interventions encours.....	99
Figure IV.9 Historiques des interventions.....	99
Figure IV.10 Organigramme d'une intervention.....	100
Figure IV.11 Ajouter personnel	100
Figure IV.12 Organigramme du module de personnel.....	101
Figure IV.13 Ajouter un équipement	101
Figure IV.14 Organigramme du module de personnel.....	102
Figure IV.15 Analyse de PARETO	102
Figure IV.16 Logigramme de la méthode Pareto	103
Figure IV.17 Méthode AMDEC.....	103
Figure IV.18 Logigramme de la méthode AMDEC.....	104
Figure IV.19 Etude Weibull	105
Figure IV. 20 Logigramme de la méthode WEIBULL	106
Figure IV. 21 Plan d'action des tâches d'intervention	107

Chapitre V : INTERVENTION SUR LA SCIE CIRCULAIRE

Figure V.1 Tableau de sélection des paramètres de coupe	111
Figure V.2 Cassure de la lame	113
Figure V.3 Accumulation des copeaux	114
Figure V.4 Tuyaux colmatés	114
Figure V.5 Ancien lubrifiant	115
Figure V.6 Le non fonctionnement du capteur	115
Figure V.7 Changement de la lame	116
Figure V.8 Enlèvement des copeaux.....	116
Figure V.9 Nettoyage de la machine.....	117
Figure V.10 Changement des tuyaux colmatés.....	117
Figure V.11 Changement du lubrifiant	118
Figure V.12 nouveau lubrifiant dans le réservoir.....	118
Figure V.13 Capteur de vitesse après l'intervention	119
Figure V.14 Remplissage d'huile pour le moteur	119
Figure V.15 Opération de graissage.....	120
Figure V.16 Changement de tuyaux de retour du lubrifiant	120

Liste des tableaux

Chapitre I : GENERALITES SUR LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE

Tableau I.1 Niveaux de la maintenance	9
Tableau I.2 Outils d'aide de la maintenance corrective	14
Tableau I.3 Opérations de maintenance	22

Chapitre II : METHODES D'OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE

Tableau II.1 Questions principales pour la démarche AMDEC.....	33
Tableau II.2 Fiche d'analyse de la méthode AMDEC	37
Tableau II.3 Modes des défaillances les plus fréquents des systèmes complexes	38
Tableau II.4 Grille de cotation des trois paramètres de la méthode	40
Tableau II.5 Grille de cotation pour la criticité	40

Chapitre III : ANALYSE DE LA FIABILITE DES EQUIPEMENTS DU HALL DE TECHNOLOGIE

Tableau III.1 Désignation des machines par référence	50
Tableau III.2 Désignation des machines par couleur	52
Tableau III.3 Classement ABC par rapport aux valeurs et pourcentages cumulées	53
Tableau III.4 Résultats priorisé selon les zones	56
Tableau III.5 Division des machines par rapport aux zones	56
Tableau III.6 Analyse descendante de la scie circulaire	60
Tableau III.7 Modes de défaillances potentiels.....	67
Tableau III.8 Causes de défaillances potentiels	68
Tableau III.9 Grille de cotation de notre système	69
Tableau III.10 Classification des zones selon la criticité	69
Tableau III.11 Tableau AMDEC.....	70
Tableau III.12 Données des temps pour la méthode Weibull	76
Tableau III.13 Tableau des couples (Ti, Fi) de la méthode WEIBULL.....	76
Tableau III.14 Tableau des résultats de WEIBULL.....	78

Tableau III.15 Changement de variable des couples des points	79
Tableau III.16 Résultats du changement d'origine des temps	81
Tableau III.17 Tableau des résultats de 3 paramètres	83
Tableau III.18 Comparaison des paramètres de Weibull	8

Chapitre IV : PROGRAMATION ET REALISATION D'UNE APPLICATION GMAO

Tableau IV.1 Tableau des attributs	94
Tableau IV.2 Utilisateurs de l'application	107

Liste des abréviations

AFNOR : Association française de normalisation

EFNMS : Européen Fédération of National Maintenance Societies

TPM : Total productive maintenance

GMAO : Gestion de la maintenance assistée par ordinateur

ABC : Méthode Pareto

AMDEC : Analyse des modes de défaillance, de leur

RDM : Résistance des matériaux

SDM : science des matériaux

PFE : projet fin d'étude

CAO : conception assisté par ordinateur

FAO : fabrication assisté par ordinateur

DAO : dessin assisté par ordinateur

MOCN : machine-outil à commande numérique

MO : machine-outil

TP : travaux pratique

FMD : fiabilité maintenabilité disponibilité

TBF : temps de bon fonctionnement [heures]

PC : portable computer

DT : demande d'intervention

RT: rapport d'intervention

MTBF : Mean time between failures (Moyenne des temps de bon fonctionnement) [heures]

MTTR : Mean time to repair (Moyenne des Temps Techniques de Réparation) [heures]

MUT : Mean up time (Moyenne du temps de disponibilité d'un système) [heures]

MTTF : Mean time to failures (temps moyen avant défaillance) [heures]

MDT : Mean down time (temps moyen d'indisponibilité) [heures]

$\lambda(t)$: Taux de défaillance [%]
 $f(t)$: Fonction de répartition [%]
N : Nombre d'éléments défaillants
T : Temps de réparation [heures]
R(t) : Fiabilité au temps (t) [%]
t : Temps (h)
 β : Paramètre de forme de "Weibull"
 η : Paramètre d'échelle de "Weibull"
 γ : Paramètre de position de "Weibull"
LID : La durée de vie nominale [heures]
A : Coefficient de Weibull
G : indice de la gravité
F : indice de la fréquence
D : indice de la détection
C : indice de la criticité

INTRODUCTION GENERALE

Chaque institution, qu'elle soit industrielle ou non, interagit avec son environnement. Ce dernier évolue de façon continue, entraînant l'obligation pour l'établissement de s'adapter aux progrès technologiques en se dotant de nouvelles technologies pour rester compétitif. Cependant, l'acquisition de ces technologies nécessite des investissements importants, notamment en nouveaux matériels, et leur amortissement doit être assuré. Ainsi, tout arrêt de production relatif à une défaillance non imprévisible d'un équipement devient trop onéreux pour l'établissement.

Afin d'éviter une situation préjudiciable, l'institution doit adopter une stratégie de maintenance qui maintient le matériel dans un état optimal pour garantir une production efficace et économique. Au fil des vingt dernières années, la fonction de maintenance a acquis une importance croissante sur les plans technologique et économique, jouant un rôle stratégique et crucial dans le milieu industriel. Cette fonction est essentielle pour les entreprises et s'inscrit dans une stratégie et une politique d'un développement durable en augmentant la fiabilité des équipements et en prolongeant leur durée de vie.

Le domaine industriel veut exploiter l'évolution du domaine de l'informatique et de la numérisation. Les nouveaux aspects de la numérisation et de l'informatisation ont contribué à l'élaboration et l'évolution progressive de ces systèmes allant d'un système manuel vers des systèmes complets dédiés à la Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO) et des systèmes basés sur des divers types d'application. Aujourd'hui, avec l'aide de l'informatique et du système d'information, chaque fonction de l'entreprise peut être améliorée en termes d'efficacité et d'efficacités, et des effets de synergie entre toutes ces fonctions peuvent être recherchés.

Notre travail s'inscrit dans le cadre de la nouvelle stratégie de notre tutelle, qui vise l'ouverture sur le monde socio-économique, en connectant les équipements de notre hall de technologie pour faciliter leur maintenance.

Dans ce contexte, nous proposons dans ce document intitulé : « Développement d'une application pour la maintenance de la scie circulaire du hall de technologie » de développer une application Android afin de faciliter la gestion de ce service dans le hall de technologie.

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons structuré notre travail de la manière suivante :

Le premier chapitre décrira de manière générale la maintenance industrielle en présentant de manière globale une explication sur les points essentiels dans ce domaine.

Le deuxième chapitre présentera des informations générales sur les différentes méthodes d'optimisation de la maintenance utilisées dans notre travail.

Le troisième chapitre sera consacré à l'étude sur le hall de technologie et sur la scie circulaire qui sera au centre de l'attention dans ce chapitre, avec une analyse approfondie sur cette machine, en utilisant les méthodes d'optimisation de la maintenance.

Le quatrième chapitre sera dédié à la programmation et la réalisation de l'application Android en présentant l'étude de besoin, le cahier de charge de l'application et les différentes interfaces avec une description du fonctionnement de l'application.

Le cinquième chapitre détaillera les interventions nécessaires pour la maintenance de la scie circulaire (PEHAKA ROBOTER 250 SL).

Enfin, une conclusion générale et des perspectives synthétiseront le travail effectué dans notre mémoire.

Chapitre I

GÉNÉRALITÉS SUR LA

MAINTENANCE

INDUSTRIELLE

I.1. Introduction

Pendant trop longtemps, les fonctions de maintenance ont été considérées comme des fonctions secondaires, entraînant une perte des ressources financières, et donc souvent adoptées comme une fonction de dépannage et Réparation des équipements affectés par l'usage et l'âge. La véritable importance de la fonction maintenance va bien au-delà.

L'objectif principal de la maintenance c'est d'assurer la disponibilité des équipements et les machines de production avec un temps d'arrêt minimum. Tout ça en analysant ses capacités productives et en utilisant une organisation, une planification, une méthodologie et un personnel qualifiés pour gérer les activités de maintenance.

La maintenance fait partie des nécessités et obligations rencontrées par tout utilisateur et exploitant des biens. Plus, une installation de production a besoin d'un ensemble des moyens matériels et humains, compris la maintenance des machines et matériel de production utilisés pour maintenir l'installation en bon état, que si diverses contraintes sont surmontées. Les biens et l'équipement se dégradent avec le temps par plusieurs causes comme : les conditions climatiques et de l'environnement, la qualité des exploitants, temps d'utilisation...

Ces détériorations peuvent créer un arrêt des machines. Donc, ce qui va engendrer un arrêt de la production, peuvent provoquer aussi un danger sur la sécurité des équipements et des personnes, diminuer la qualité des produits, augmenter les coûts et les pertes (augmentation de la consommation d'énergie, de la matière première...).

Par conséquent, la maintenance nécessite a réalisé des opérations de dépannages, des inspections, des visites, des réparations, des améliorations, etc., afin de garder une utilisation optimale des biens et d'assurer un fonctionnement continu des équipements et la qualité du processus de production pour avoir des produits de bonne qualité.

Donc, dans ce chapitre qui est intitulé « maintenance industrielle » et qui est divisé en trois grands linges. Premièrement, on parle de la maintenance en générale (définition, objectif de la maintenance, stratégie de maintenance, niveaux et composants de maintenance...). Deuxièmement, on décrit les types et formes de maintenance qui existent. Troisièmement, on fait la description générale du service de maintenance.

I.2. Maintenance

La maintenance c'est la santé des machines et des équipements. C'est un ensemble des opérations et des actions qui aident à maintenir ou à rétablir un bien ou un matériel afin d'assurer le bon fonctionnement et la fiabilité de ces équipements pour garantir l'utilisation optimale de ces biens et pour lutter contre toute défaillance et dégradation possible des équipements.

La maintenance implique l'exécution d'opérations telles que le dépannage, la réparation, le réglage, la révision, le contrôle et la vérification pour garantir un fonctionnement optimal du processus de production [1].

Une définition de la maintenance est publiée par l'AFNOR en 1994 selon la norme **NFX 60-010** : « ensemble des actions permettant de maintenir ou rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

En 2002, l'Afnor dans la norme **FDX 60-000** redéfinit la maintenance ainsi (définition partagée par EFNMS – Européen Fédération of National Maintenance Societies) : « 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 ».

I.2.1. Historique

L'entretien était la pratique courante pour maintenir les équipements en bon état de fonctionnement. Il impliquait des opérations de nettoyage, de graissage, de lubrification et de réparation après une panne.

Au début du 20ème siècle, des organismes internationaux ont commencé à forcer les entreprises à effectuer des contrôles et des supervisions systématiques pour éviter les dommages. Dans les années 1940-1945, c'était l'apparition de la maintenance préventive systématique.

Dans les années 1960-1970, la maintenance a évolué pour prendre en compte la fiabilité et la maintenabilité des équipements. Les interventions ont été effectuées en se basant sur des modèles statistiques adaptés et en analysant les résultats des essais ou l'historique des pannes. Donc, c'était l'apparition de la maintenance préventive conditionnelle.

Depuis les années 1970, la TPM est apparue, impliquant la participation des exploitants dans la maintenance pour maximiser l'efficacité des équipements.

Avec le développement technologique, de nouvelles pratiques sont apparues, telles que la GMAO. La maintenance 4.0 est également apparue, intégrant l'intelligence artificielle et les nouveaux outils technologiques dans les différentes applications de maintenance [2].

I.2.2. Objectifs de la maintenance

L'objectif principal c'est d'assurer le Zéro panne dans la maintenance et la fiabilité des biens et de garantir la bonne performance de ces équipements. Donc, la maintenance assure que le bien soit toujours dans un état qui le permet d'accomplir sa mission et sa fonction. Donc, selon les objectifs de l'entreprise, les objectifs de la maintenance peuvent être définis comme :

- Eviter les arrêts des équipements. Donc, éviter les pertes dans la production.
- Assurer la sécurité du personnel et des biens en même temps : avoir un meilleur compromis entre la « santé humaine » et la « santé machine ».
- Optimiser la durée de vie des matériels.
- Permet d'assurer les exigences des clients et d'assurer la disponibilité de leurs commandes au temps sans retard.
- L'amélioration continue de la qualité des produits.
- Réduire au minimum les coûts dépensés sur la maintenance (garantir la réalisation des opérations de maintenance dans les limites du budget).
- L'obtention du meilleur rendement passe par l'intervention faite sur les biens.
- Assurer la protection de l'environnement [3].

Les objectifs de maintenance sont variables et peuvent changer avec le temps, la modification et la correction des objectifs est basée sur la politique de l'entreprise et selon ses besoins. Généralement doit avoir lieu tous les 18 mois.

I.2.3. Stratégie de la maintenance

Selon les Normes **NF EN 13306 & FD X 60-000** : la stratégie de maintenance est une méthode de gestion et de management qui vise à atteindre les objectifs de maintenance en orientant les efforts vers la réalisation des objectifs de l'entreprise, de l'optimisation d'utilisation et l'exploitation des ressources, la correction et le renforcement des faiblesses, supprimer et éliminer les risques. La stratégie de maintenance doit être explicable et justifiable et avec une connaissance totale des avantages et des inconvénients.

Pour choisir la stratégie d'une politique de maintenance, il faut faire une analyse d'un certain nombre de critères en rapport avec l'état de l'entreprise. Les critères entrant dans l'analyse prennent en compte la connaissance totale du comportement des équipements, l'historique des interventions sur chaque matériel...etc.

I.2.4. Notions de la maintenance

- **Maintenir** : selon les normes **NF EN 13306 & FD X 60-011** : c'est garder dans un bon état les biens, donc on parle de la notion prévention sur un système, matériel, équipement...
- **Rétablir** : selon les normes **NF EN 13306 & FD X 60-011** : c'est restaurer et récupérer l'état de fonctionnement d'un bien, donc on parle la notion correction sur système, matériel, équipement...
- **Dégradation** : selon les normes **NF EN 13306 & FD X 60-011** : la dégradation peut être présentée comme une défaillance progressive d'un bien ou un équipement, c'est une diminution dans la performance dans une ou plusieurs fonctions assurées par le bien, ce qui va impliquer une des pertes en termes de coût, temps, qualité des produits...
- **Défaillance** : selon les normes **NF EN 13306 & FD X 60-011** : une défaillance peut être définie par un incident ou une chose qui rendre les machines, équipements, matériels ou un processus incapable d'exécuter les actions et les opérations prévues selon les spécifications de chaque équipement. La défaillance peut être causée par : une variabilité du processus, manque ou mauvaise maintenance.
- **Défaillance partielle** : selon les normes **NF EN 13306 & FD X 60-011** : on dit une défaillance partielle s'il y a une détérioration ou une dégradation dans l'aptitude d'un équipement ou un bien à assurer sa fonction principale.
- **Défaillance complète** : selon les normes **NF EN 13306 & FD X 60-011** : on dit une défaillance complète s'il y a un arrêt du bien ce qui va engendrer que l'équipement ne peut pas compléter sa fonction requise.
- **Fiabilité** : selon les normes **NF EN 13306 & FD X 60-011** : capacité d'un élément ou un composant à remplir sa mission requise dans des circonstances et des conditions données à un temps donné. Un équipement est dit fiable s'il tombe rarement en panne à cause d'une défaillance.
- **Maintenabilité** : selon les normes **NF EN 13306 & FD X 60-011** : la maintenabilité fait référence à la capacité d'un élément à se maintenir ou à revenir à un état capable

d'exécuter et réaliser les tâches requises dans des conditions données. La maintenance est effectuée selon des procédures et méthodes spécifiées.

- **Disponibilité** : selon les normes **NF EN 13306 & FD X 60-011** : capacité d'un élément à remplir la mission souhaitée et demandée dans des conditions données dans un espace de temps donné ou une instante donnée.
- **Fonction requise** : selon les normes **NF EN 13306 & FD X 60-011** : mission, tâche ou ensemble des missions d'un équipement considéré comme indispensable pour fournir un service donné.
- **Bien** : Tout Partie, pièce, morceau, composant, unité, machine ou un système complet qui peut être étudié ou analysé indépendamment.
- **Management** : fonction ayant un objectif de faire le contrôle, la gestion et la commande d'une organisation.
- **Direction** : peut être considéré comme une Personne ou un ensemble des êtres humains qui dirigent et manipulent une entité depuis le plus haut niveau de l'organisation.
- **Organisme** : ensemble des équipements, infrastructures et du personnel qui ont une interaction entre eux basée sur des devoirs, droits et du contact entre eux.
- **Processus** : une tâche ou un ensemble des tâches qui utilisent des moyens pour transformer des composants en amont (éléments d'entrée) en composants en aval (éléments de sortie) avec une valeur ajoutée.
- **Logistique de maintenance** : l'approvisionnement en maintenance peut inclure les moyens, les infrastructures comme l'atelier, équipements, personnel, pièces de rechange, les documents, les outils...etc., nécessaires pour les opérations du service de maintenance.

I.2.5. Composants de la maintenance

Pour que la fonction de maintenance peut réaliser son objectif qui est très important dans la durée de vie des biens. On a besoin des composants qui sont les 5M pour assurer la réalisation et l'exécution de cet objectif et chaque composant a son rôle qui est indispensable dans le processus de maintenance.

Les composants **5M** de la maintenance sont :

- **Maine d'œuvre** : c'est l'équipe responsable du travail, contient tout le personnel chargé de la réalisation et de l'organisation des opérations de maintenance. On peut avoir : les techniciens de maintenance (les automaticiens, les électriciens, les mécaniciens, les instrumentistes...), le responsable de l'équipe de maintenance, le responsable du stock, le responsable HSE...
- **Matériel** : l'ensemble des informations relatives avec le bien sur lequel on va exécuter la maintenance comme : type de cet équipement, installation des machines, localisation de ce matériel, conditions de travail de la machine...
- **Milieu** : ce sont les différentes conditions de travail (température, humidité, bruit, espace grande ou serré...) dans l'environnement ou on va réaliser la maintenance.
- **Méthodologie** : tout ce qui est en relation avec l'organisation et la gestion du travail qu'on va faire et la façon qu'on va réaliser les différentes tâches de maintenance en utilisant : procédures, méthodes, instructions, guides, notes...

- **Moyen** : représente tout ce qu'on va utiliser et tout ce qu'on a besoin pour réaliser les activités de maintenance en termes de : outillage, pièces de rechange, logiciels, matières premières, énergie... [4].

La figure I.1 représente le diagramme des 5M qui est constitué des composants de la maintenance ainsi que les causes potentielles pour chaque composant.

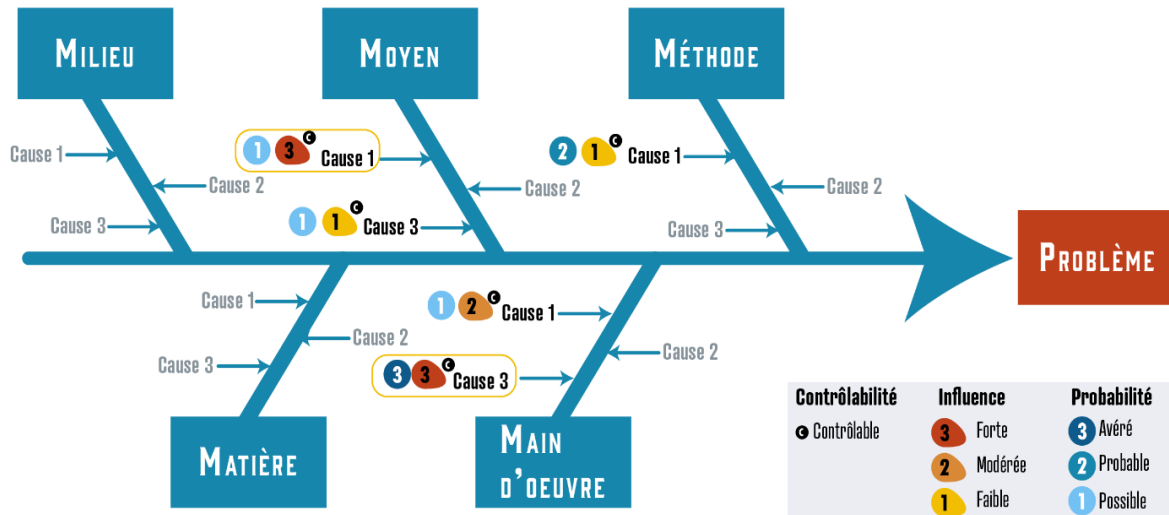


Figure I.1 Diagramme des 5M [16]

I.2.6. Niveaux de la maintenance

- **Niveau 1** : dédié aux interventions qui nécessitent seulement un réglage simple. Donc, ne nécessite pas le démontage ou l'ouverture de l'équipement. Elle comprend des tâches comme le changement des éléments consommables accessibles en toute sécurité. Ce niveau d'intervention capable d'être réalisé par l'opérateur ou l'exploitant de l'équipement, sur site et sur place, sans matériel spécifique ou difficile.
- **Niveau 2** : relative avec les opérations de dépannage en termes d'un changement déjà planifié et prévu des éléments et des composants. Contient aussi des petites opérations de la maintenance préventive comme le graissage. C'est possible de réaliser cette intervention avec un technicien qualifié de niveau moyen qui se rend sur place avec des équipements portables. Les pièces sont facilement transportables, ce qui permet une intervention rapide sans délai d'attente important.
- **Niveau 3** : adresser à l'identification et le diagnostic des pannes, une réparation et intervention mécanique minime, un changement des composants des éléments fonctionnels, on trouve aussi des tâches de la maintenance préventive comme : un réglage général, un étalonnage et calibrage des instruments de mesure. Ce niveau est réalisé par un technicien spécialiste, sur site ou dans l'atelier de maintenance, à l'aide de des équipements comme les instruments de mesure ou de réglage, en réalisant des essais sur les équipements, tout ça en utilisant l'ensemble de la documentation disponible du bien et les pièces disponibles dans le magasin du stock.
- **Niveau 4** : ce niveau est dédié aux opérations importantes de la maintenance préventive ou de la maintenance corrective. Aux travaux de rénovation, reconstruction ou modernisation. Mais ces différentes tâches ne nécessitent pas forcément une intervention externe, elles

peuvent être réalisées par le personnel interne de l'entreprise mais l'équipe doit avoir un encadrement technique très spécialisé, dans l'atelier de maintenance.

- **Niveau 5** : on trouve dans ce niveau toutes les opérations et les actions qui contiennent : une modernisation, rénovation, une reconstruction ou des opérations de maintenance importantes et difficiles. Donner à une entreprise, un atelier ou une unité externe spécialiste, généralement réalisés par le constructeur, en utilisant des moyens définis par le constructeur [5].

Le tableau I.1 décrit en résumé, chaque niveau de maintenance en précisant le personnel chargé pour chaque niveau avec les moyens utilisés.

Tableau I.1 Niveaux de maintenance [5]

	Personnel chargé	Moyens utilisés	Exemple
Niveau 1	Exploitant, sur place.	Équipement léger.	Maintenance préventive : <ul style="list-style-type: none"> • Graissage quotidien • Purge des éléments filtrants Maintenance corrective : <ul style="list-style-type: none"> • Changement des composants facilement accessibles.
Niveau 2	Technicien avec une qualification moyenne, sur place.	Plus pièces de rechange trouvées à proximité, sans temps d'attente et sans délai.	Maintenance préventive : <ul style="list-style-type: none"> • Suivi les paramètres des équipements à l'aide des outils de mesure intégrés • Graissage de faible périodicité Maintenance corrective : <ul style="list-style-type: none"> • Remplacement des pièces : fusibles, courroies...
Niveau 3	Un technicien spécialisé, sur site ou dans l'unité et l'atelier de maintenance.	Matériel comme les appareils de mesure, banc d'essai, contrôle...	Maintenance préventive : <ul style="list-style-type: none"> • Interventions préventives sur les équipements complexes Maintenance corrective : <ul style="list-style-type: none"> • Réparation d'une fuite de fluide
Niveau 4	Le personnel interne de l'entreprise mais l'équipe doit avoir un suivi très spécialisé, dans un atelier spécialisé.	Outillage plus spécialisé, matériel d'essai, contrôles...	Maintenance Préventive : <ul style="list-style-type: none"> • Révisions partielles ou générales Maintenance corrective : <ul style="list-style-type: none"> • Réparation d'un équipement à l'aide d'une valise de programmation de l'automate
Niveau 5	Réalisé par une entreprise, un atelier ou une unité externe spécialiste, généralement effectuée par le constructeur.	Moyens similaires aux moyens de la fabrication	Maintenance Préventive : <ul style="list-style-type: none"> • Révisions générales nécessitent le démontage complet de l'équipement Maintenance corrective : <ul style="list-style-type: none"> • Rénover une machine

Note : un niveau de maintenance est défini selon :

- La nature de la maintenance et de l'intervention.
- Le niveau de qualification du personnel responsable sur l'intervention.
- Les moyens qui vont être utilisés pour l'exécution de cette intervention.

I.2.7. Echelons de la maintenance

Selon la norme **FD X 60-000** : « l'échelon de maintenance explique l'emplacement où les opérations de maintenance vont être réalisées. Cette notion est définie par la compétence du personnel, les outils, matériels et moyens disponibles, l'endroit de l'activité de maintenance ».

Généralement, il existe trois échelons de maintenance :

- **La maintenance réalisée sur site** : les activités de maintenance sont directement réalisées sur l'équipement sans le faire déplacer de sa position.
- **La maintenance réalisée en atelier** : l'intervention de maintenance n'est pas réalisée sur site, le matériel est déplacé vers l'atelier de maintenance. Généralement contient des opérations comme : le démontage et l'ouverture de la machine, un diagnostic et un contrôle complet de l'équipement...etc.
- **La maintenance réalisée chez le constructeur ou dans une entité spécialisée** : le bien est alors transporté chez le constructeur de l'équipement ou chez une société spécialisée afin d'effectuer des opérations nécessitant des outils et des moyens spécifiques qui ne sont pas disponibles chez l'entreprise. Dédié aux actions comme : la rénovation et la modernisation d'un équipement, la réparation d'une panne difficile qui peut être résolue seulement chez le constructeur...etc.

I.3. Formes de la maintenance

Pour faire la maintenance des biens, L'entreprise doit faire le choix pour le type de maintenance (es qu'une maintenance interne ou externe...). Le choix doit respecter certaines contraintes et critères à la fois techniques, économiques, sécuritaires et organisationnels comme elle indique la figure I.2 qui représente les différentes formes de maintenance.

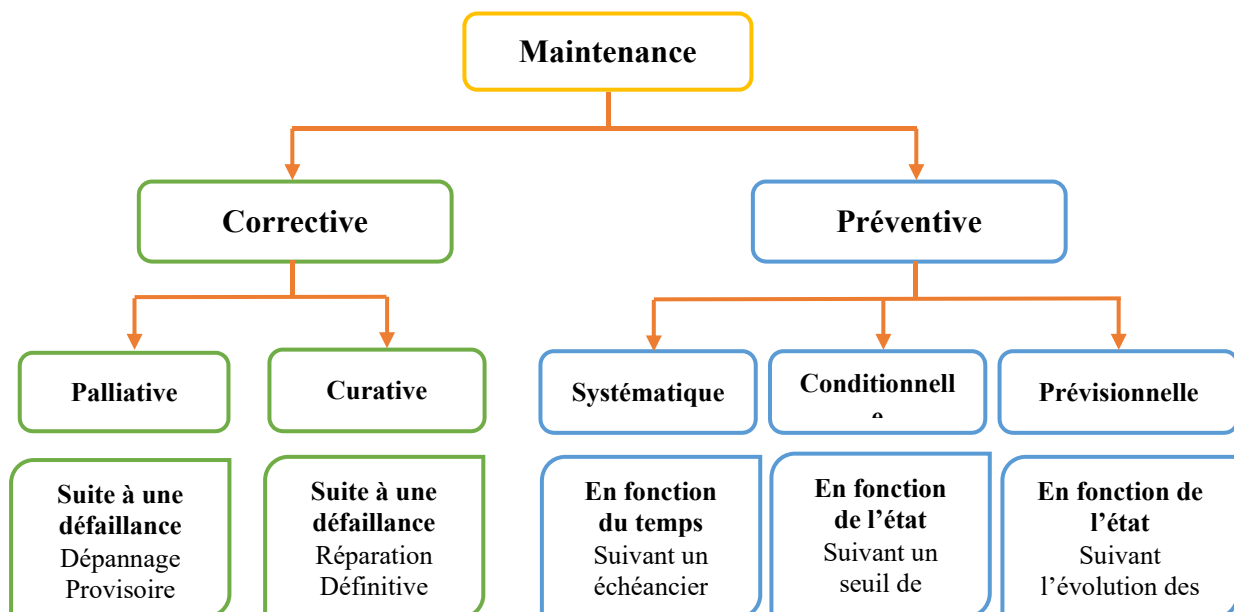


Figure I.2 Organigramme de politique de maintenance

Le choix entre les différentes méthodologies de maintenance est relatif à la stratégie de maintenance et doit être déterminé au niveau de l'administration du service.

Ces méthodes doivent être standardisées et diffusées entre les différents services et acteurs de l'entreprise. La politique déterminée doit répondre aux exigences des exploitants et les utilisateurs de ces équipements pour assurer un bon déroulement des processus de production.

On peut distinguer deux types ou deux formes de maintenance, premier type c'est la maintenance corrective et le deuxième type c'est la maintenance préventive. Chaque type de maintenance est différent de l'autre dans tous les points : objectifs, méthodes, planning...

I.3.1 Choix du type de maintenance

Chaque cas dépend de :

- Type de la panne : nouveau, cyclique ou aléatoire.
- La compétence du personnel de maintenance.
- La connaissance de budgets de maintenance et les coûts possibles des interventions (coûts directs, coûts indirects...).
- La méthodologie de l'organisation du travail (méthodes, préparations, pièces de rechange,...etc.) [6].

La figure I.3 illustre le processus pour faire le choix du type de maintenance :

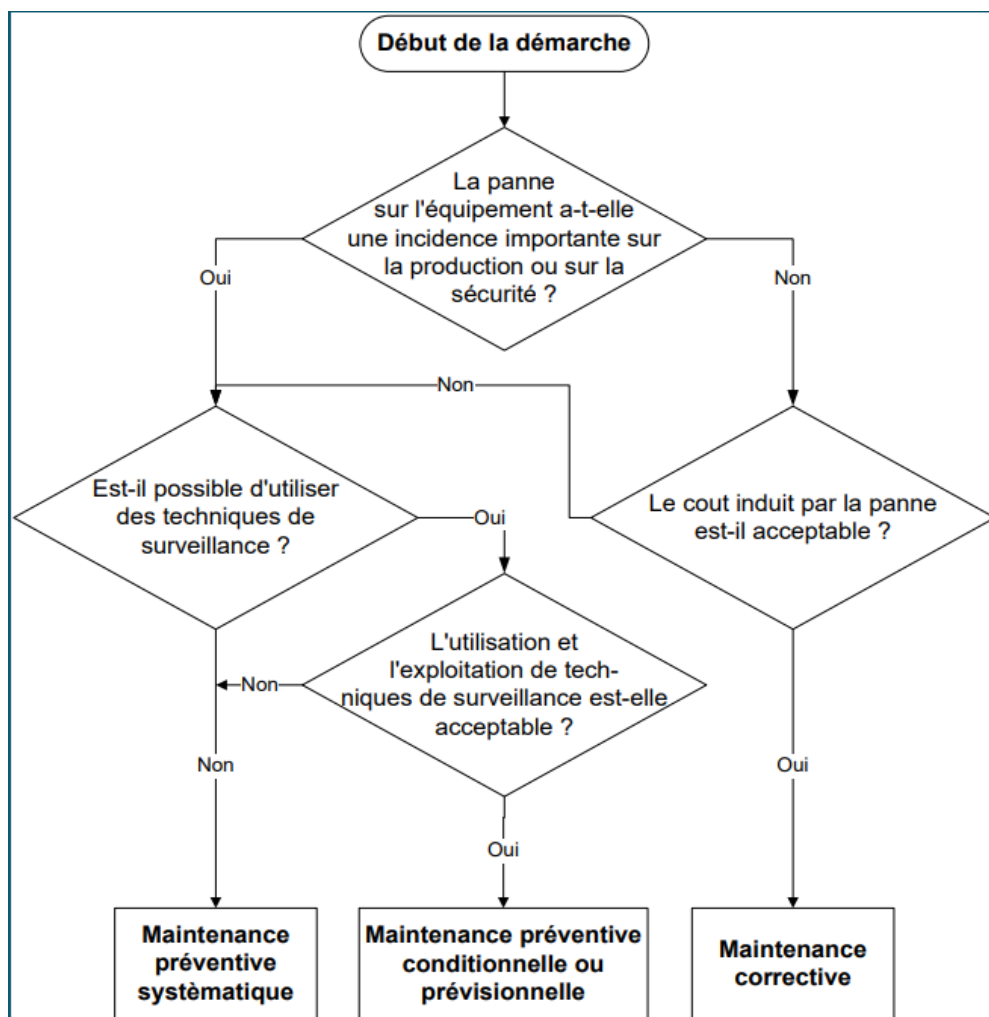


Figure I.3 Logigramme du choix de la forme de maintenance [7]

I.4. Maintenance corrective

La maintenance corrective rassemble un ensemble des actions et des opérations (localiser, diagnostiquer, corriger et test) réalisées après la défaillance ou la détérioration d'un bien, ou la dégradation dans son fonctionnement, pour lui permettre de réaliser sa mission requise, au moins temporairement [8].

La définition de la maintenance corrective selon la norme **NF EN 13306** : « c'est la maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ».

Donc, Selon la norme **NF EN 13306**, la maintenance corrective est divisée en deux selon les caractéristiques de l'intervention :

- La maintenance corrective différée : il s'agit d'une maintenance qui n'est pas effectuée directement juste après la découverte ou la détection d'une panne. Elle est retardée conformément aux règles de maintenance établies. Cette forme de maintenance peut être planifiée pour une période de temps plus pratique ou pour être effectuée simultanément avec d'autres travaux de maintenance prévus. La maintenance corrective différée est généralement utilisée lorsque la panne n'a pas d'impact immédiat sur les opérations de l'entreprise, mais peut être traitée à une date ultérieure.
- La maintenance d'urgence est réalisée directement juste après la découverte d'une défaillance pour éviter des conséquences non tolérées. Cette forme de maintenance est généralement déclenchée lorsque la panne affecte les opérations de l'entreprise de manière critique ou lorsque la sécurité des personnes ou de l'équipement est menacée. La maintenance corrective d'urgence est considérée comme une intervention immédiate qui doit être effectuée rapidement pour minimiser les perturbations et réduire les risques.

I.4.1. Synonymes de la maintenance corrective

Maintenance subie, maintenance après défaillance, maintenance fortuite.

I.4.2. Opérations de la maintenance corrective

Après la détection d'une défaillance ou une dégradation, l'équipe chargée de la maintenance, doit réaliser un certain nombre d'opérations comme indiquée ci-dessous :

- **Détection** : c'est de repérer et de découvrir à l'aide des moyens et des outils, l'apparition d'une défaillance ou une panne dans des éléments défaillants.
- **Localisation** : opération qui consiste à chercher précisément le ou les composants responsables sur la panne.
- **Diagnostic** : la découverte et la détermination de la raison potentielle de la panne en utilisant un ensemble d'outils et méthodes.
- **Dépannage** : opération sur un équipement en panne afin de le remettre en état de fonctionnement au moins temporairement.
- **Réparation** : action d'une intervention permanente de la maintenance corrective après la détection d'une panne ou la défaillance d'un bien.
- **Test** : opération permettant de vérifier le travail réalisé sur un système en le comparant à un système de référence afin de valider le travail réalisé [9].

I.4.3. Principe de la maintenance corrective

La figure I.4 décrit le principe d'une maintenance corrective qui est basée sur la maintenance après défaillance.

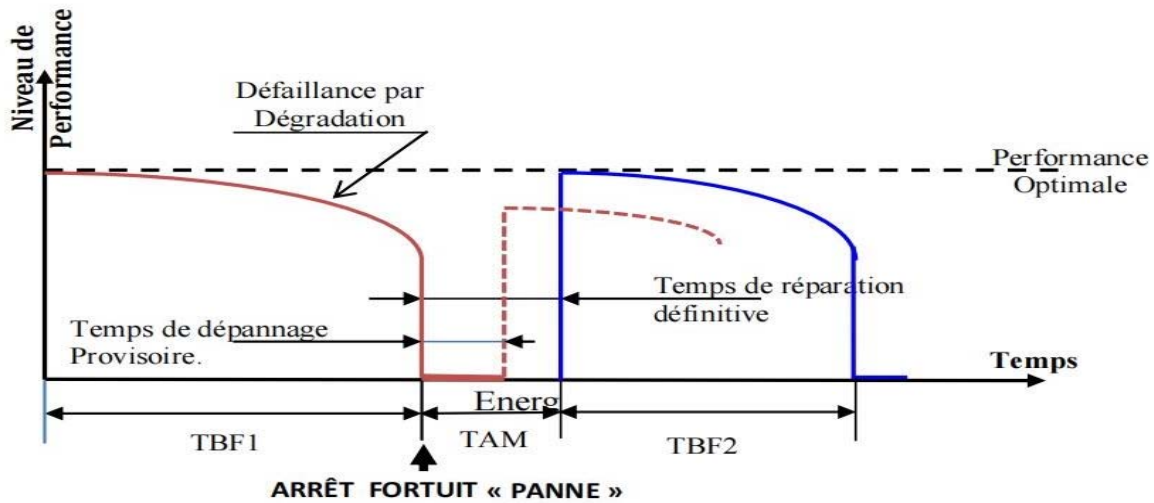


Figure I.4 Principe de la maintenance corrective [6]

I.4.4. Phases d'une intervention de la maintenance corrective

La maintenance corrective vise à mettre le bien considéré au moins temporairement et/ou partiellement dans un état qui lui permet de finir sa mission requise.

La figure I.5 représente les différentes phases d'une opération de la maintenance corrective.

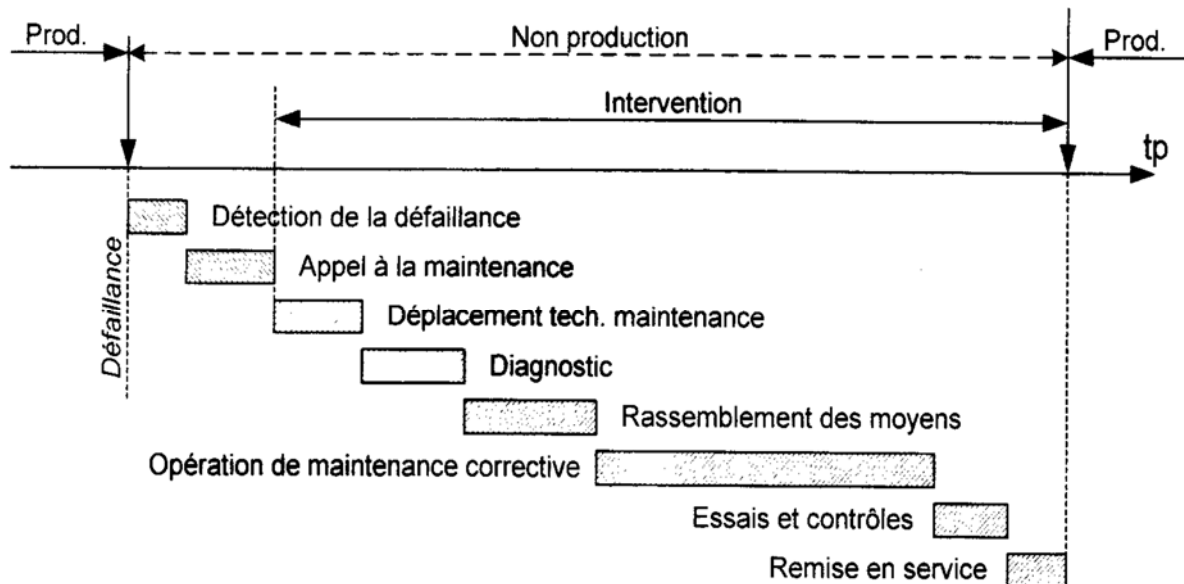


Figure I.5 Phases d'une opération de maintenance corrective [10]

- Phase 1 : **détection de la défaillance** : dans cette phase, l'utilisateur trouve une anomalie ou une dérivée dans le fonctionnement d'un bien ou un équipement.
- Phase 2 : **appel à la maintenance** : l'exploitant de l'équipement va informer le service maintenance avec un très peu de détails et informations (localisation de l'équipement, symptômes et causes potentielles, conséquences...).

- Phase 3 : **déplacement des intervenants** : temps nécessaire aux membres de l'équipe de maintenance pour faire le déplacement vers la localisation du bien.
- Phase 4 : **diagnostic** : dans cette phase, les techniciens de maintenance vont identifier la cause qui a provoqué cette panne et vont mettre en place un plan de maintenance corrective.
- Phase 5 : **rassemblement des moyens** : temps nécessaire pour que l'équipe de maintenance peut rassembler les équipements, les pièces de rechange et les outils nécessaires pour la maintenance.
- Phase 6 : **opération de maintenance corrective (dépannage ou réparation)** : le temps mise par les techniciens de maintenance pour rendre le bien dans un état où il peut accomplir sa fonction requise.
- Phase 7 : **essais et contrôles** : les techniciens de maintenance vont faire des tests pour vérifier et valider le travail réalisé.
- Phase 8 : **remise en service** : l'équipement est prêt pour continuer son travail et il est sous la disposition de l'utilisateur ou l'exploitant [10].

I.4.5. Outils d'aide de la maintenance corrective

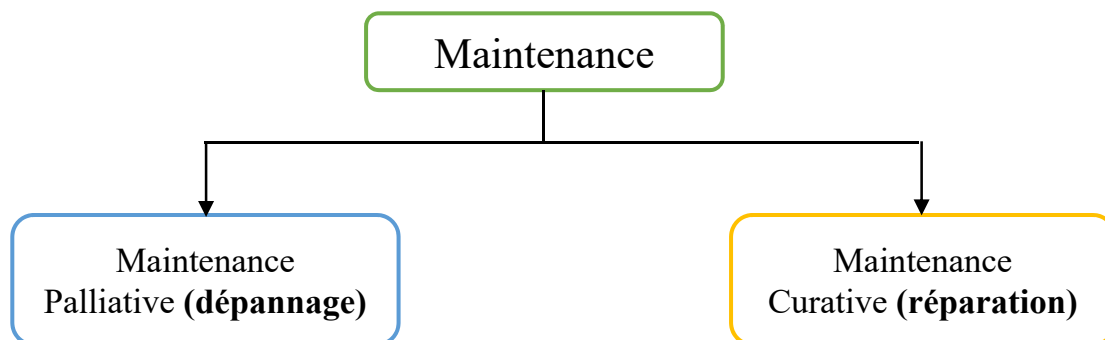
Le tableau I.2 représente des outils utilisés dans la maintenance corrective et l'intérêt de chaque outil utilisé.

Tableau I.2 Outils d'aide de la maintenance corrective [11]

Outil	Intérêt
Organigramme de diagnostic	Aide à la mise en œuvre des tests et mesures
Tableau "effets-causes-remèdes"	Recherche des causes d'une défaillance
Gamme de démontage	Aide à une intervention de démontage

I.4.6. Types de la maintenance corrective

Cette maintenance est divisée en deux types de maintenance :



I.4.6.1. Maintenance palliative

La maintenance palliative regroupe un ensemble d'actions et d'opérations de maintenance corrective qui ont un objectif qui est l'aide à l'accomplissement provisoire ou temporaire d'une fonction requise d'un bien ou un équipement. Contient les interventions de maintenance du type dépannage, la maintenance palliative est essentiellement constituée des actions avec un caractère provisoire mais elle est toujours suivie avec des actions de la maintenance curative lorsque c'est possible [12].

Selon la norme AFNOR NF X60-010 publiée en juillet 2019, Définit la maintenance palliative comme : « l'ensemble des actions techniques et organisationnelles, y compris le suivi régulier des équipements et systèmes. Visant à maintenir en état de fonctionnement, un équipement ou un système sans chercher à en améliorer les performances ni à en prolonger la durée de vie au-delà de son terme prévisible, et à en assurer la sécurité d'utilisation dans les conditions prévues par les documents techniques du fabricant ».

I.4.6.2. Déroulement de la maintenance palliative

La figure I.6 représente les différentes phases dans le déroulement d'une maintenance corrective de type palliative :

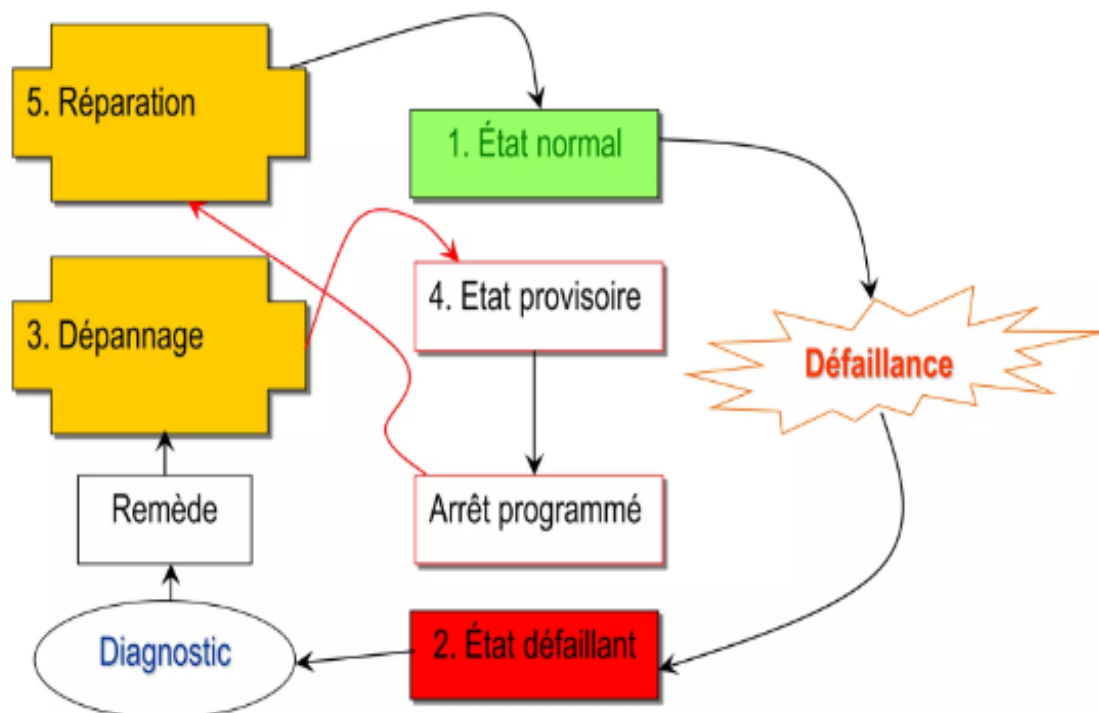


Figure I.6 Déroulement de la maintenance palliative [13]

I.4.6.3. Maintenance curative

La maintenance curative regroupe les activités de maintenance qui sont de type réparation, suppression des défaillances en faisant des améliorations ou des modifications. Ces actions ont un caractère permanent, l'objectif de la maintenance curative c'est de rétablir les équipements dans un état qui lui permette d'accomplir sa mission et sa fonction requise [12].

D'après la norme AFNOR NF X 60-010 définit la maintenance curative comme étant : « l'ensemble des actions correctives à réaliser lorsqu'une défaillance est constatée ». En d'autres termes, la maintenance curative consiste à intervenir sur un équipement, un système ou une installation lorsqu'un problème ou une panne survit, dans le but de rétablir son bon fonctionnement et de limiter les conséquences de cette défaillance.

I.4.6.4. Déroulement de la maintenance curative

La figure I.7 représente les différentes étapes dans le déroulement d'une maintenance corrective de type curative :

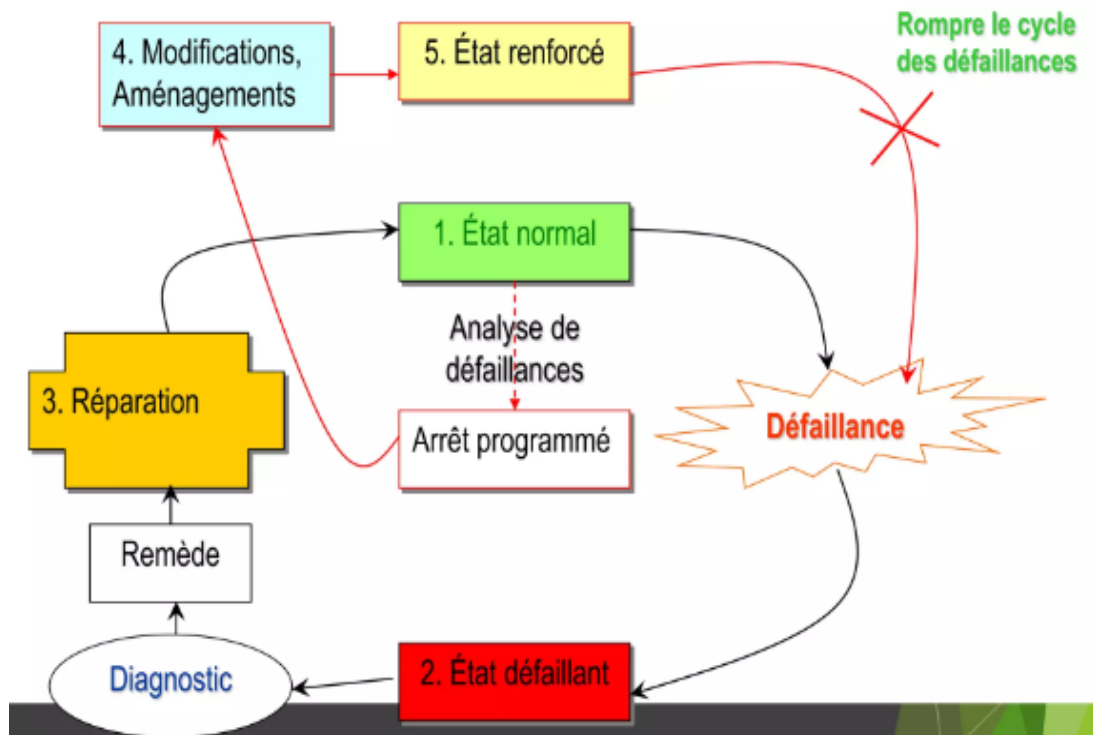


Figure I.7 Déroulement de la maintenance curative [13]

I.5. Maintenance préventive

L'objectif principal de la maintenance préventive c'est de diminuer la probabilité d'avoir une panne ou une détérioration d'un équipement ou un bien. Ce genre de maintenance donne la possibilité d'éviter les défaillances des biens en cours de fonctionnement.

La maintenance préventive est réalisée périodiquement à partir des intervalles de temps déjà déterminé ou selon des conditions déterminées et destinée à diminuer la probabilité de la panne pour un équipement [14].

Selon la norme AFNOR X-60010 : « c'est la maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu ».

I.5.1. Objectifs de la maintenance préventive

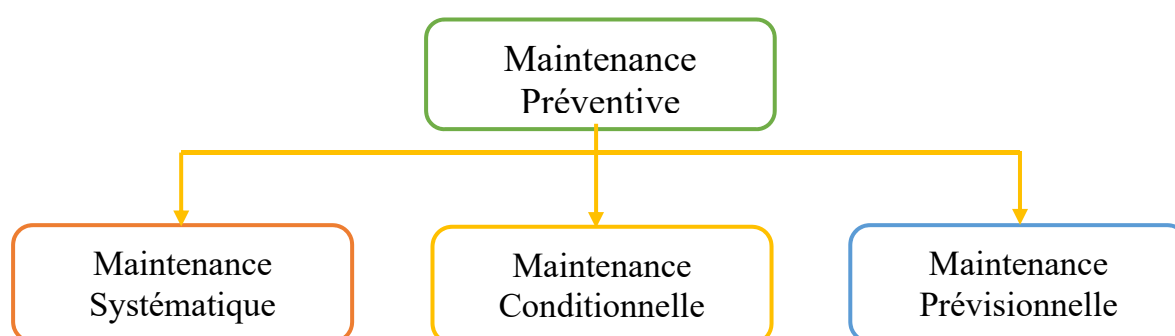
Il existe plusieurs mesures pour améliorer la fiabilité d'un bien et réduire les défaillances en service, pour minimiser les coûts associés et d'améliorer la disponibilité. Parmi ces mesures, on peut citer l'augmentation pour la durée de vie d'un équipement, l'amélioration de l'organisation de la gestion des stocks, la garantie de la sécurité des machines et des personnes, la maximisation de la productivité et de la rentabilité de l'entreprise, la réduction des coûts de réparation et l'amélioration de la crédibilité du service de maintenance [12].

I.5.2. Actions de la maintenance préventive

- **Inspection** : opérations de garde et d'observation réalisées dans le cadre d'un objectif défini.
- **Contrôle** : c'est un contrôle de conformité des mesures, données et des caractéristiques d'un équipement. Elle peut être réalisée avant, pendant et après l'opération de maintenance.
- **Visite** : il s'agit d'une mesure de maintenance préventive qui implique un examen approfondi planifié à l'avance.
- **Test** : opération permettant de vérifier le travail réalisé sur un système en le comparant à un système de référence afin de valider le travail réalisé [13].

I.5.3. Types de la maintenance préventive

Cette maintenance est divisée en trois types de maintenance :



I.5.4. Maintenance systématique

Ce type de maintenance est réalisé selon un échéancier établi à partir des intervalles de temps prédéterminés ou selon un nombre exact d'unités d'usage mais sans faire un contrôle de la situation ou l'état de l'équipement. Un rapport sera rédigé en présentant brièvement les résultats des diverses interventions réalisées et les observations. L'intérêt de cette méthode est de diminuer les risques et l'impact des défaillances [14].

D'après la norme AFNOR X 60-010, la maintenance systématique se définit comme « une maintenance effectuée selon des critères prédéterminés dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ».

I.5.4.1. Synonymes de la maintenance systématique

Maintenance programmée, planifiée.

I.5.4.2. Exemples de la maintenance systématique

- La vidange d'une voiture est par rapport au nombre des kilomètres parcourus.
- Le nettoyage d'un four est par rapport au nombre des tonnes produites.

I.5.4.3. Principe de la maintenance systématique

La figure I.8 décrit le principe d'une maintenance corrective qui est basée sur un échéancier déjà établi.

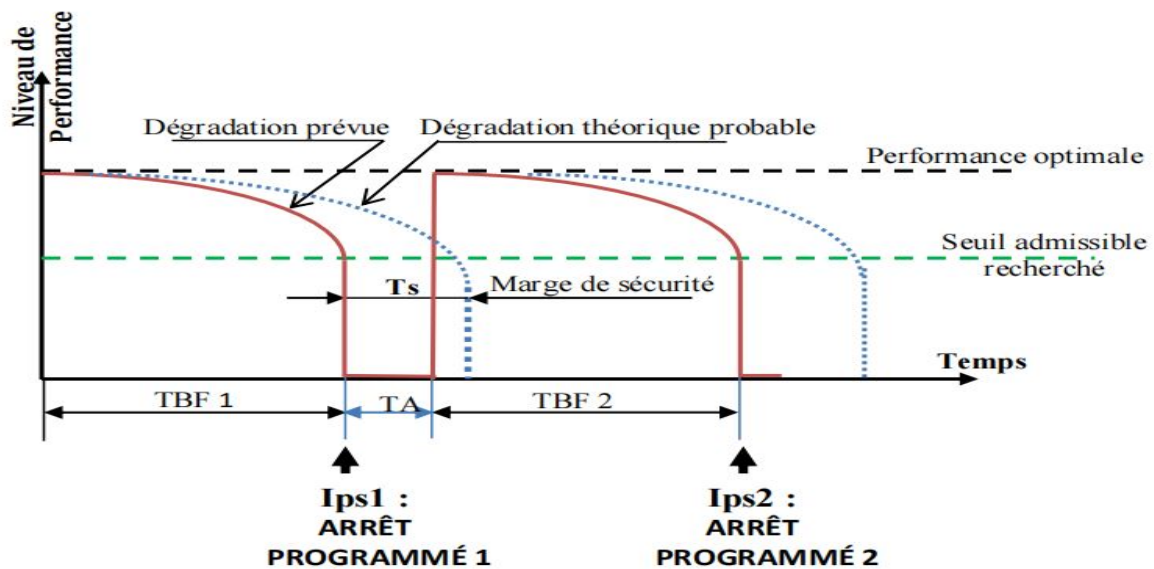


Figure I.8 Principe de la maintenance systématique [6]

I.5.4.4. Déroulement de la maintenance systématique :

La figure I.9 représente les différentes étapes dans le déroulement d'une maintenance préventive de type systématique :

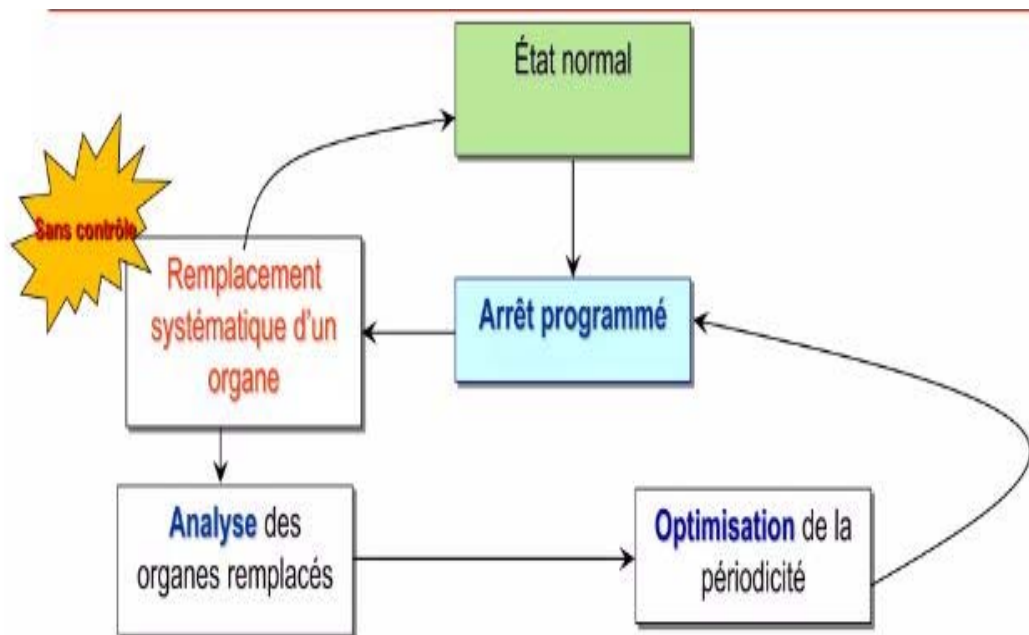


Figure I.9 Déroulement de la maintenance systématique [13]

I.5.4.5. Les avantages et les inconvénients de la maintenance systématique

• Les avantages

- Les arrêts et les opérations de maintenance sont déjà prédéfinis et planifiés avec le service de production.
- Les interventions sont itératives, le plan est fait à l'avance, les équipes sont déjà informées et sont prêtes, donc, les activités de maintenance passent avec un minimum des surprises.
- Le budget est connu à l'avance parce que le coût de chaque opération est déjà connu aussi.

- **Les inconvénients**

- L'ouverture d'un équipement pour un changement systématique d'un composant nécessite le remplacement des autres pièces soit par précaution ou par accident lors de l'intervention, le coût de l'intervention va augmenter.
- La fiabilité des machines peut être réduite à cause des erreurs du personnel lors de l'ouverture ou la fermeture, le remontage ou le démontage de l'équipement [6].

I.5.5. Maintenance conditionnelle

La maintenance conditionnelle est basée essentiellement sur la surveillance du fonctionnement de l'équipement. Cette maintenance est relative avec un seuil prédéfini qui représente l'état de dégradation du bien. Lorsque le système dépasse le seuil, une information doit être transférée par un capteur ou un autre moyen de détection afin d'informer l'équipe de maintenance pour faire les actions nécessaires [15].

D'après la norme AFNOR X 60-010, la maintenance conditionnelle se définit comme une maintenance préventive subordonnée à un type d'évènement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure), révélateur de l'état de dégradation du bien.

I.5.5.1. Synonymes de la maintenance conditionnelle

On condition, maintenance subjonctif

I.5.5.2. Exemples de la maintenance conditionnelle

Lorsqu'un indicateur de colmatage se déclenche sur une machine hydraulique, cela signifie qu'il est nécessaire de remplacer, changer ou nettoyer le filtre.

I.5.5.3. Principe de la maintenance conditionnelle ou prévisionnelle

La figure I.10 décrit le principe d'une maintenance conditionnelle qui est basée sur un seuil prédéfini.

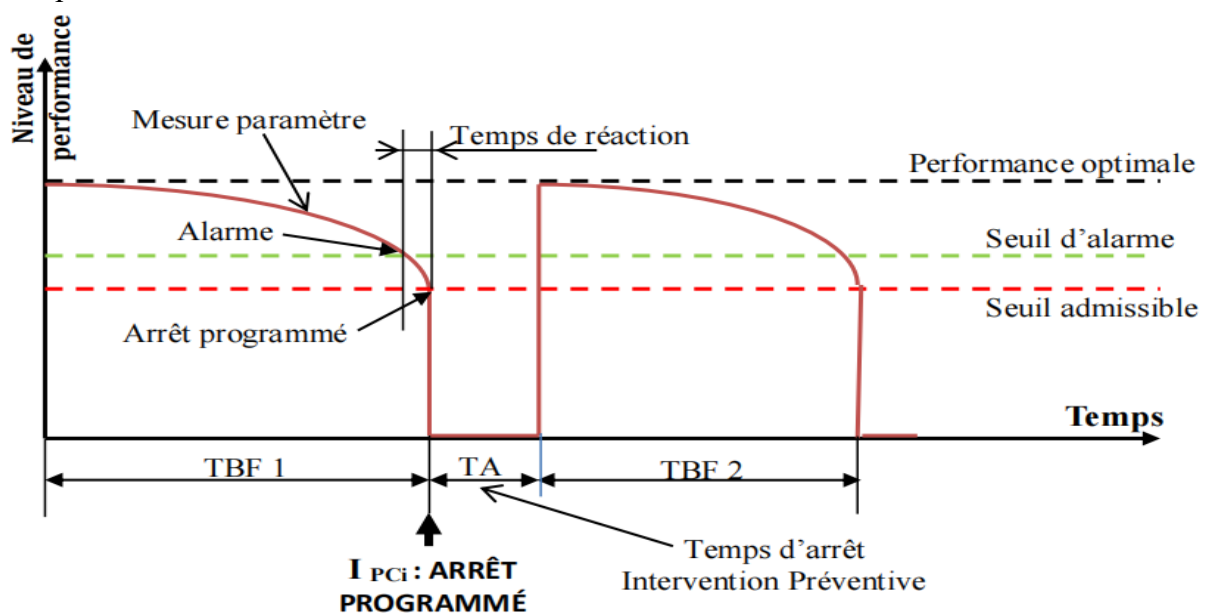


Figure I.10 Principe de la maintenance conditionnelle et prévisionnelle [6]

I.5.5.4. Déroulement de la maintenance conditionnelle

La figure I.11 représente les différentes étapes dans le déroulement d'une maintenance préventive de type conditionnelle :

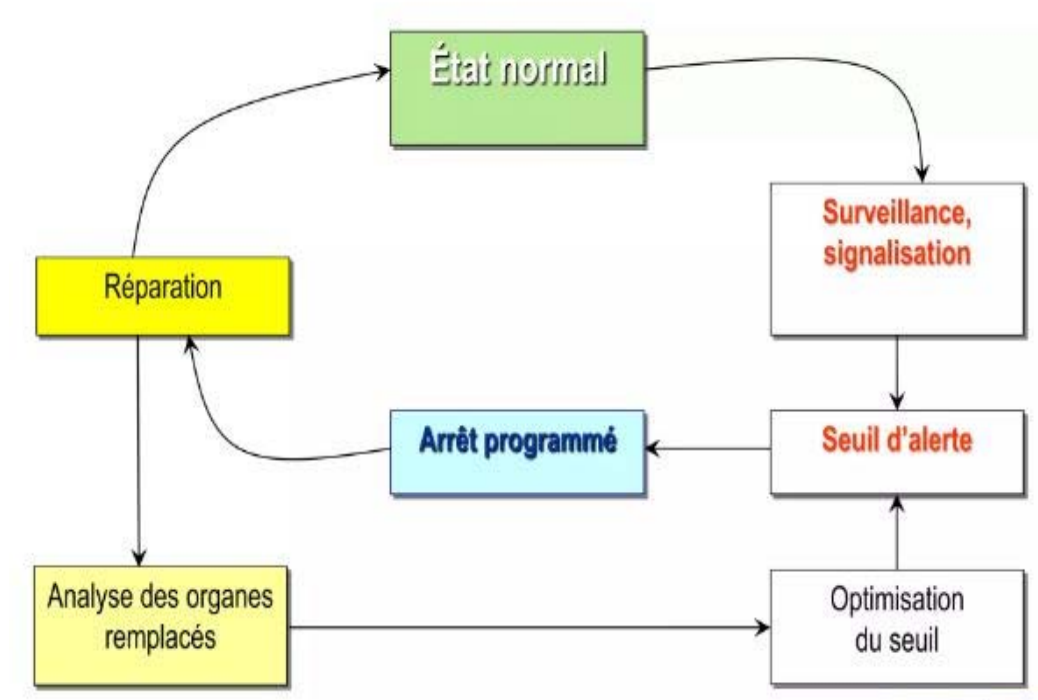


Figure I.11 Déroulement de la maintenance conditionnelle [13]

I.5.5.5. Avantages de la maintenance conditionnelle

- L'exploitation des composants de l'équipement au maximum de leurs capacités, donc la réduction du gaspillage de ces composants.
- Battre les défaillances imprévues donc ce qui permet d'avoir une meilleure productivité.
- minimiser les arrêts du processus de production.
- Réduire le temps des interventions de maintenance ainsi que leur coût des interventions [6].

I.5.5.6. Conditions d'application d'une maintenance conditionnelle

- Trouver les meilleurs points pour le suivi des équipements et des paramètres à mesurer.
- Définir des seuils pour chaque paramètre.
- Avoir des instruments de mesure de bonne qualité.
- Nécessite une formation qualifiée pour le personnel [12].

I.5.6. Maintenance prévisionnelle

Maintenance prévisionnelle repose sur une étude et une analyse sur le changement et l'évolution surveillée des grandeurs significatives sur la détérioration ou la dégradation d'un équipement permettant de programmer les opérations de maintenance et les interventions.

Cette maintenance permet l'exploitation des biens au maximum de leurs capacités, la maintenance prévisionnelle permet d'avoir une meilleure surveillance et observation sur les

machines. Par contre, prendre la mesure d'un paramètre n'est pas toujours possible lorsque l'équipement est en marche, en plus, le coût des outils de mesure peut être élevé.

Donc, généralement ce genre de maintenance est réservé aux équipements importants et indispensables et aux biens dont les pannes sont répétitives et coûteuses [14].

D'après la norme AFNOR X-60010, la maintenance prévisionnelle se définit comme : « une maintenance exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ».

I.5.6.1. Synonymes de la maintenance prévisionnelle

Maintenance prédictive, maintenance prospective

I.5.6.2. Exemples de la maintenance prévisionnelle

- Le contrôle périodique du paramètre qui représente les vibrations d'un équipement permet de planifier des actions de maintenance lorsque cette mesure augmente et déborde d'une valeur prédéfinie.
- L'intensité donnée par un transformateur, représente la situation de cet équipement et selon une valeur prédéfinie, on lance la vérification générale du transformateur.

I.5.6.3. Déroulement de la maintenance prévisionnelle

La figure I.12 représente les différentes étapes dans le déroulement d'une maintenance préventive de type prévisionnelle

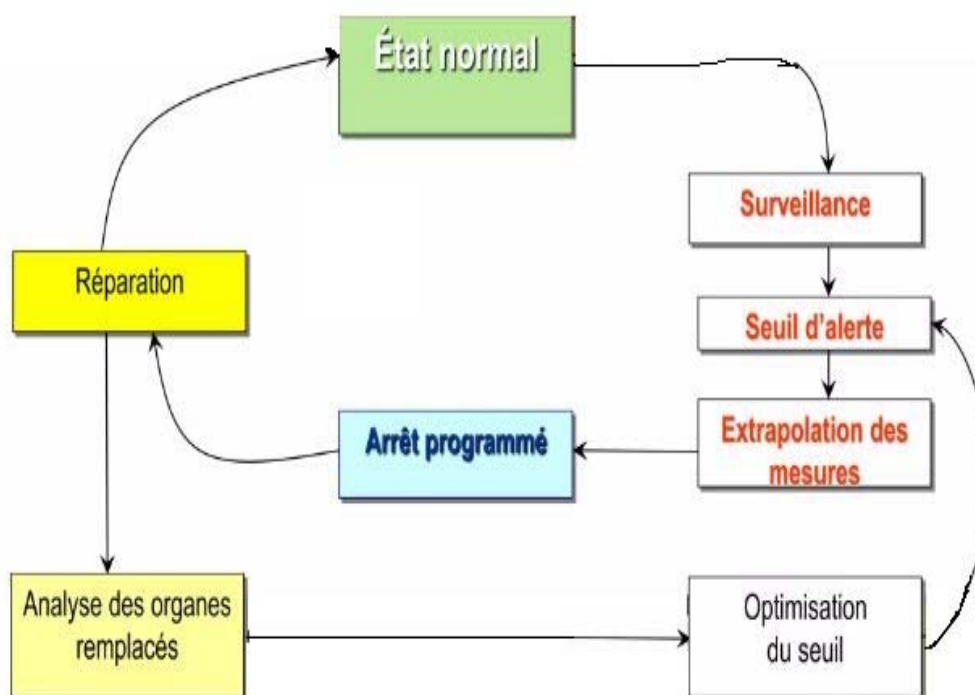


Figure I.12 Déroulement de la maintenance prévisionnelle [13]

I.6. Exemples des activités de maintenance

Le tableau I.3 donne les actions et les opérations de maintenance les plus utilisées avec des exemples pour chaque activité :

Tableau I.3 Opérations de maintenance

Les activités	Exemples d'application
Inspection	Vérifier à l'aide d'un tachymètre que la vitesse du moteur de broche des tours à commande numérique est réelle.
Révision	Vérification annuelle des tours et fraiseuses : - Contrôle de sécurité. - Nettoyage et graissage des machines.
Amélioration	- Changement de la technologie tout ou rien par une technologie proportionnelle. - Changement d'une commande manuelle par une commande automatique.
Reconstruction	- Renforcer les fondations du bâtiment. - Vérification et contrôle de la géométrie.
Surveillance du fonctionnement	Mesure du niveau de vibration de la broche pour la : - Vitesse, Accélération, déplacement...
Maintenance de routine	- Vérifier les fuites d'huile et les fuites d'air par l'opérateur à la fin et au début de chaque journée. - Contrôler les fixateurs des profilés dans les machines.
Modification	Changer des vérins pneumatiques par des vérins hydrauliques.
Essai de conformité	Contrôler la conformité des produits en aval du système de production.
Essai de fonctionnement	Vérification du fonctionnement de la scie suite au changement du vérin pneumatique.

I.7. Service de la maintenance

D'après la norme **FD-X-60000**, le service maintenance est chargé d'assurer les fonctions et les tâches de maintenance dans une entreprise, un établissement, une entité... Le service de maintenance doit s'assurer que toutes les activités de maintenance sont réalisées dans le cadre du budget et dans les objectifs définis par l'entreprise.

I.7.1. Fonctions du service de la maintenance

Les fonctions principales de service de maintenance :

1. Fonction étude et préparation

L'objectif principal est d'analyser le travail à faire selon la politique et la stratégie de la maintenance choisie. Elle comporte l'installation d'un plan de maintenance avec des objectifs mesurables et chiffrés, la préparation des activités de maintenance en préparant toutes les conditions nécessaires et essentielles pour une bonne réalisation des opérations de maintenance.

- Choix des politiques et stratégies de maintenance.
- Gestion du matériel sur le plan technique et économique.
- Préparation du travail.
- L'étude technique.

2. Fonction de l'ordonnancement

- **Programmation** : c'est l'opération qui concerne la planification des tâches et l'organisation d'une date de début et d'une date de fin de chaque tâche.
- **Approvisionnement** : assurer à n'importe quel moment et dans les magasins ou les stocks, la disponibilité des pièces, produites, matières... nécessaires pour l'exécution des tâches.
- **Lancement** : cette action consiste à vérifier toutes les conditions du travail et la disponibilité du matériel et les équipements nécessaires pour l'exécution des tâches afin de donner l'autorisation pour le lancement des tâches.
- **Déblocage** : c'est l'action de débloquent et de donner l'autorisation pour le lancement d'une tâche après la fin de la tâche antécédente.
- **Avancement** : cette opération assure le suivi des travaux en contrôlant l'état d'avancement des tâches et pour faire des mises à jour des plannings.

3. Fonction de réalisation

Cette fonction est basée sur un objet principal qui est l'utilisation des moyens mis à disposition et l'ensemble des procédures imposées, pour rendre le matériel dans son état spécifié.

4. Fonction de gestion

L'objectif principal de cette fonction c'est de prendre des décisions en connaissance de cause et en fonction de la documentation et les ressources disponibles. La fonction gestion doit assurer :

1. Gestion des matériels.
2. Gestion des stocks et approvisionnements.
3. Gestion des investissements [8].

I.7.2. Fiches d'enregistrement

Chaque opération de maintenance a plusieurs étapes pour l'accomplir, pour chaque étape nous avons un ensemble des documents à enregistrement pour assurer la traçabilité des opérations, de la détection d'une défaillance jusqu'à la remise en état du bien, Donc, on va présenter les différents processus d'une opération de maintenance et les différents fiches et documents à archiver pour chaque étape :

1- Demande d'intervention

C'est une demande portée vers le service maintenance créé par le service responsable sur la détection de cette panne pendant leur fonctionnement. Cette demande nommée « demande d'intervention » ou « demande de travail » contient certains détails comme : le nom du service ou de la personne qui a fait cette demande, le nom de l'équipement ou de la machine, date et heure de la demande...

Après la réalisation de cette fiche, elle est déposée chez l'équipe de maintenance pour préparer la prochaine étape.

2- Ordre de travail

C'est une fiche de communication formelle réalisée par le responsable du service de maintenance donné à l'opérateur chargé du diagnostic et la maintenance de l'équipement (Technicien, Ingénieur...etc.). Donc, l'objectif de ce document c'est de spécifier qui va réaliser l'opération de maintenance.

Ce document donne l'autorisation pour la personne chargée de la maintenance pour effectuer son travail.

3- Préparation du travail

C'est un ensemble des Opérations réalisées avant l'intervention, l'objectif de ces opérations c'est la préparation du travail en termes d'outillage, logiciels, pièces de rechange, équipements spécifiques, définir les tâches prioritaires...

4- Demande d'approvisionnement

C'est une demande qui contient un formulaire à remplir par l'équipe de maintenance au service d'approvisionnement pour demander une nouvelle pièce ou un nouvel outil ou équipement qui n'est pas disponible dans le magasin ou dans le stock.

5- Demande d'achat

C'est une fiche à remplir par le magasin au service d'approvisionnement pour déclarer que le service a un manque dans certains éléments ou qu'il a besoin des nouvelles pièces de rechange, outils, équipements...

6- Bon de commande

C'est une demande effectuée par le service d'achat avec un document qui contient la commande demandée par le service au fournisseur des pièces ou outils de maintenance.

7- Bon de réception

C'est un document qui témoigne la réception d'une commande de chez le fournisseur. Le service doit vérifier la quantité et la qualité des produits réceptionnés pour les transporter vers le magasin en toute tranquillité.

8- Bon de sortie du magasin

C'est une fiche qui atteste la sortie d'une pièce de rechange ou outil de magasin. Ce document contient des informations comme : le magasinier, la personne qui a pris les pièces ou les outils, la date des sorties pièces ou outils, la signature des deux personnes...

9- Intervention

C'est l'ensemble des Opérations effectuées par une personne chargée, l'objectif des interventions est la détection des pannes, la localisation et la réparation de ces pannes pour rendre l'équipement capable d'accomplir sa fonction requise.

10- Rapport d'intervention

Document rédigé par l'opérateur qui a exécuté les activités de maintenance, contient tous les détails et les informations de l'intervention comme : la date et lieu de l'intervention,

tout le personnel qui a travaillé dans cette intervention, les pièces et les outils utilisés, toutes les opérations réalisées, l'état de l'équipement avant et après l'intervention... [17].

I.8. Concepts de la maintenance

Quatre concepts de maintenance sont à la base de l'analyse des divers genres de maintenance :

- 1- Les faits qui sont responsables au début de l'action : information d'un capteur, mesure d'une usure, le déclenchement d'une défaillance...
- 2- Les procédures d'optimisation de la maintenance comme : maintenance préventive systématique, maintenance préventive conditionnelle, maintenance corrective palliative, maintenance corrective curative.
- 3- Les actions relatives à la maintenance comme : visites, inspections, contrôles, dépannages, réparations, opérations de surveillance...
- 4- Les activités complémentaires : travaux d'amélioration, rénovation, reconstruction, modernisation... [18].

I.9. Documentation en maintenance

C'est la documentation nécessaire pour la maintenance se divise en deux documents essentiels pour la réalisation des interventions de maintenance :

I.9.1. Dossier machine

Ce document contient toutes les informations sur l'équipement et la machine. Des informations comme le constructeur, son origine, type..., ce document est divisé aussi en deux parties :

- a- Le dossier du constructeur avec tous les documents nécessaires :
 - Documents commerciaux qui ont une relation avec la vente comme le document de garantie et le P.V de réception.
 - Documents techniques donnés par le constructeur comme les caractéristiques de la machine (capacité, puissance...etc.) et les plans et schémas d'installation.
- b- Partie interne du dossier machine :

Il est fait par le bureau de méthode. Il réalise sous une forme standard avec une codification relative à chaque machine disponible afin d'assurer le suivi des machines et leurs états [1].

I.9.2. Ficher de l'historique de la machine

On peut considérer l'historique d'une machine comme un document essentiel en termes de la facilité et le bon déroulement du processus de la maintenance et pour avoir une base de données pour le futur. L'historique d'un équipement doit être reconnu avant n'importe quelle opération de maintenance par tous les acteurs de la fonction maintenance qui jouent un rôle très important dans les opérations de maintenance d'un équipement. Ainsi que la vérification de toutes les anciennes interventions réalisées sur un bien [1].

I.10. Conclusion

La maintenance gagne de jour en jour une importance et une indispensabilité dans les entreprises. Actuellement, elle joue un rôle capital dans le déroulement des processus de production. Par son effet, elle agit comme facteur de développement, de sécurité et d'amélioration.

Pour être efficace dans le travail qu'on va réaliser, il faut d'abord avoir une idée sur la maintenance industrielle. Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue générale sur la maintenance et quel est son objectif. Aussi, nous avons exposé les différents aspects, à savoir : La stratégie de maintenance, les différentes notions relatives à la maintenance, niveaux, composants et types de maintenance, qu'est-ce qu'un service de maintenance et les différentes fonctions et actions de ce service et c'est quoi la documentation de la maintenance et les différents concepts de maintenance.

Chapitre II

METHODES

D'OPTIMISATION DE LA

MAINTENANCE

II.1. Introduction

Toutes les entreprises et organisations, quel que soit leur domaine d'activité, sont exposées à des risques tels que des risques humains, des risques techniques et des risques économiques. Malheureusement, il arrive souvent que ces risques ne soient pris en compte qu'après qu'un incident soit survenu. Les conséquences peuvent être dramatiques dans certains cas, mais la plupart du temps, elles se limitent à des coûts élevés.

Pour combattre ces problèmes, il est possible de mener des interventions une fois la panne ou la défaillance détectée. Cependant, ces actions correctives peuvent être très coûteuses et peu efficaces dans certains cas. La meilleure approche consiste donc à prévenir ces incidents en sécurisant les développements.

Il faut noter d'abord que certains de ces outils sont rapides à mettre en œuvre, mais leur portée est souvent limitée. D'autres sont plus puissants, mais nécessitent plus de temps et d'efforts de la part des équipes de conception.

En considération de l'impact du procès de maintenance et de son importance sur les capacités des équipements, des méthodes d'optimisation ont été mis en place pour aider les équipes de maintenance à construire ou à modifier des stratégies de maintenance efficaces. Chacune de ces méthodes à son propre objectif et utilise une approche particulière pour optimiser la maintenance.

Donc dans ce contexte, nous voulons présenter dans ce chapitre nommé « méthodes d'optimisation de la maintenance », une description générale pour les différentes méthodes et outils qui aident à améliorer le processus de la maintenance dans les différentes institutions pour rendre ce service plus efficace.

II.2. Méthode de Pareto

Connais aussi par le nom de la méthode ABC ou la méthode 20/80 est l'une des règles d'or de la maintenance, est un moyen statistique qui permet de prioriser l'importance relative de chaque catégorie dans une liste des organes et de mettre en évidence les éléments les plus importants sur lesquels il faut concentrer les efforts et les interventions, en prenant en compte leur fréquence d'apparition.

Cette méthode est basée sur le principe de ne pas traiter tous les problèmes sur un même pied d'égalité. Elle permet de choisir entre plusieurs problèmes et ceux qui doivent être réglés en premier. Cette méthode dont la possibilité de prioriser les éléments et les composants importants de ceux qui sont moins importants et ceci sous la forme d'une représentation graphique.

La méthode de Pareto repose sur deux principes fondamentaux qui sont les suivants : il ne faut pas employer une solution disproportionnée pour résoudre un problème mineur, et il ne faut pas utiliser un outil inadapté pour un travail qui nécessite un équipement plus adéquat.

En général, cette méthode détermine la relation entre le pourcentage des conséquences par rapport à leurs causes [19].

II.2.1. Objectifs de la méthode

La méthode Pareto est utilisée pour identifier les raisons considérées comme les plus fréquentes des problèmes dans un système. Elle est largement utilisée dans les entreprises pour améliorer la qualité et la performance. L'objectif et le but principal de la méthode Pareto est de fournir une vue d'ensemble des problèmes, de sorte que les gestionnaires peuvent se concentrer sur les raisons considérées comme les plus importantes et de faire l'analyse et l'étude d'un phénomène, en le représentant graphiquement qui permet de déterminer l'existence d'une relation entre des groupes de données.

La méthode de Pareto permet la visualisation rapide des priorités, de faire un choix et de focaliser sur les problèmes à régler en priorité. C'est un moyen simple de classer les éléments (produits, machines, pièces, coûts, etc.) par ordre d'importance.

La méthode Pareto peut assurer aussi :

- La réduction dans les coûts de maintenance.
- L'amélioration de la fiabilité des équipements et des biens.
- Avoir la possibilité de justifier un choix d'une politique ou un plan de maintenance.
- Faire apparaître les causes essentielles d'un événement.
- Hiérarchiser les causes d'un phénomène.
- Mieux cibler le travail à faire pour gagner en termes de temps et d'argent.
- Être en mesure de prévoir les problèmes avant qu'ils ne prennent une ampleur préoccupante.
- Une méthode très utile pour la planification des ressources [20].

II.2.2. Domaines d'application de la méthode

La méthode Pareto peut être appliquée dans plusieurs domaines, notamment :

- **L'administration de la qualité** : utilisée pour identifier les problèmes les plus fréquents et les résoudre rapidement pour améliorer la qualité de leurs produits ou services.
- **Le management des stocks** : cette méthode est utilisée aussi pour identifier les produits les plus vendus ou les plus rentables dans un stock.
- **La gestion de projets** : la méthode Pareto peut être utilisée pour identifier les tâches les plus critiques dans un projet et pour améliorer la qualité et la durée du projet.
- **La gestion du temps** : aide à servir à déterminer les tâches les plus. En se focalisant sur ces tâches, les employés ont la possibilité d'améliorer leur productivité et leur efficacité [20].

II.2.3. Principe de la méthode

L'étude et l'utilisation de la méthode Pareto suppose obligatoirement la disponibilité de l'historique et les prévisions. Donc la préparation de la méthode consiste à collecter les données sur le problème identifié. Les données peuvent provenir de différentes sources, telles que des rapports d'incident, des enquêtes, des mesures de performances.

Pour un système donné l'application de la loi de Pareto impose six étapes :

- **Étape 1 : Définition de l'objectif de l'étude et les éléments à étudier**

C'est nécessaire au début de sélection du problème que nous voulons résoudre comme : la mauvaise qualité d'un produit, un retard dans les livraisons, l'augmentation dans les coûts de la production, ou n'importe autre problème relatif à la performance d'une machine. Après, c'est nécessaire de lister les éléments que nous, ces éléments peuvent être : des composants, des causes de pannes, Des natures de pannes...

- **Étape 2 : Choisir le critère de classement et la classification des données**

Organiser le classement selon les critères de valeurs retenus (la disponibilité, la fiabilité, la maintenabilité, les coûts, les temps, les rebuts...).

Dans cette phase on va faire une étude sur les composants, les pannes...afin de sélectionner celles les plus critiques, qui nous aide à trouver les éléments critiques au niveau d'un système. Cette étude a été basé sur le traitement et le diagnostic de l'historique des systèmes d'après plusieurs critères comme :

- Le nombre de défaillance (nombre d'intervention).
- La fréquence « N » qui représente la fiabilité des composants. Le traçage d'un diagramme appelé le diagramme de fiabilité est crucial afin de classer ces éléments pour séparer les composants qui ont la probabilité la plus élevée d'accomplir sa fonction requise par rapport à les plus faibles.
- Le temps de réparation « T » qui est associé à la maintenabilité des éléments. Le diagramme de maintenabilité est réalisé aussi afin d'organiser les éléments pour distinguer les composants qui ont l'attitude d'être maintenus pour accomplir leur fonction requise par rapport à les plus faibles.
- La disponibilité qui est « N*T ». Le diagramme de disponibilité est nécessaire aussi afin de classer ces composants selon aptitude du dispositif, sous les aspects combinés de sa fiabilité et de sa maintenabilité, à remplir une fonction à un instant donné ou dans un intervalle de temps donné.

Après la collecte des données, ces données doivent être classées dans un tableau de classement.

- **Étape 3 : Construire un graphique**

Cette étape consiste à créer un diagramme de Pareto. C'est un graphique qui présente les données classées dans le tableau de classement par ordre décroissant. Ce graphe donne une meilleure visualisation sur la situation étudiée. Le graphe est une représentation de la classification et la répartition des zones.

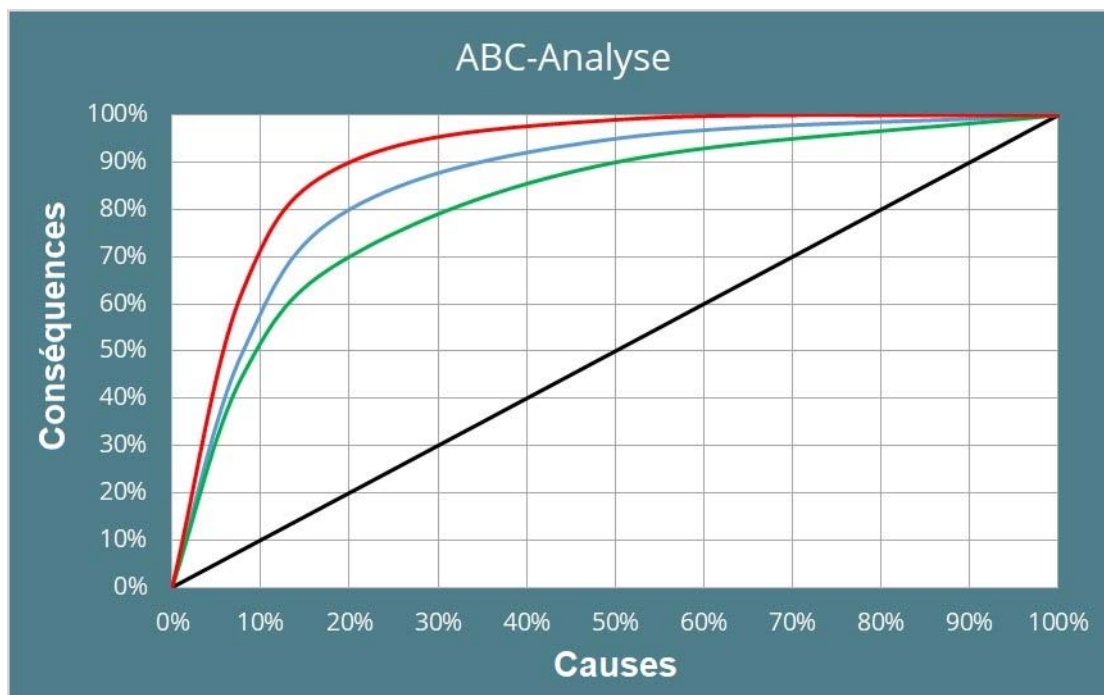


Figure II.1 Représentation graphique de l'analyse ABC [21]

- **Étape 04 : Déterminer les zones ABC ou les zones AB**

- 1- **Zones ABC selon 50%, 30%, 20%**

Cette méthode d'organisation permet de classer les éléments dans trois zones. Les articles dont le taux d'influence sur le système est élevé doivent être toujours suivis en priorité, cela permet d'optimiser les coûts dépensés et de gagner en termes de temps.

- **Classe A** : cette classe comprend l'essentiel et l'urgence dans la manipulation des articles ainsi que le plus grand soin. A : 20% des causes sont responsables sur 80% des conséquences.
- **Classe B** : cette classe représente des tâches qui sont importantes, mais ces tâches n'ont pas de première priorité. B : 30% des causes sont responsables sur 15% des conséquences.
- **Classe C** : cette classe représente les articles les moins importants, ceux qui n'ont aucun effet sur le système étudié. C : 50% des causes sont responsables sur 05% des conséquences.

- 2- **Zones AB selon 80%, 20%**

Cette classification permet de classer les produits dans deux catégories. Les articles dont le plus grand impact sur le système sont toujours suivis en priorité.

- **Classe A** : cette classe comprend l'essentiel et l'urgence dans la manipulation des articles ainsi que le plus grand soin. A : 20% des causes sont responsables sur 80% des conséquences.
- **Classe B** : cette classe représente des tâches qui sont importantes, mais ces tâches n'ont pas de première priorité. B : 80% des causes sont responsables sur 20% des conséquences.

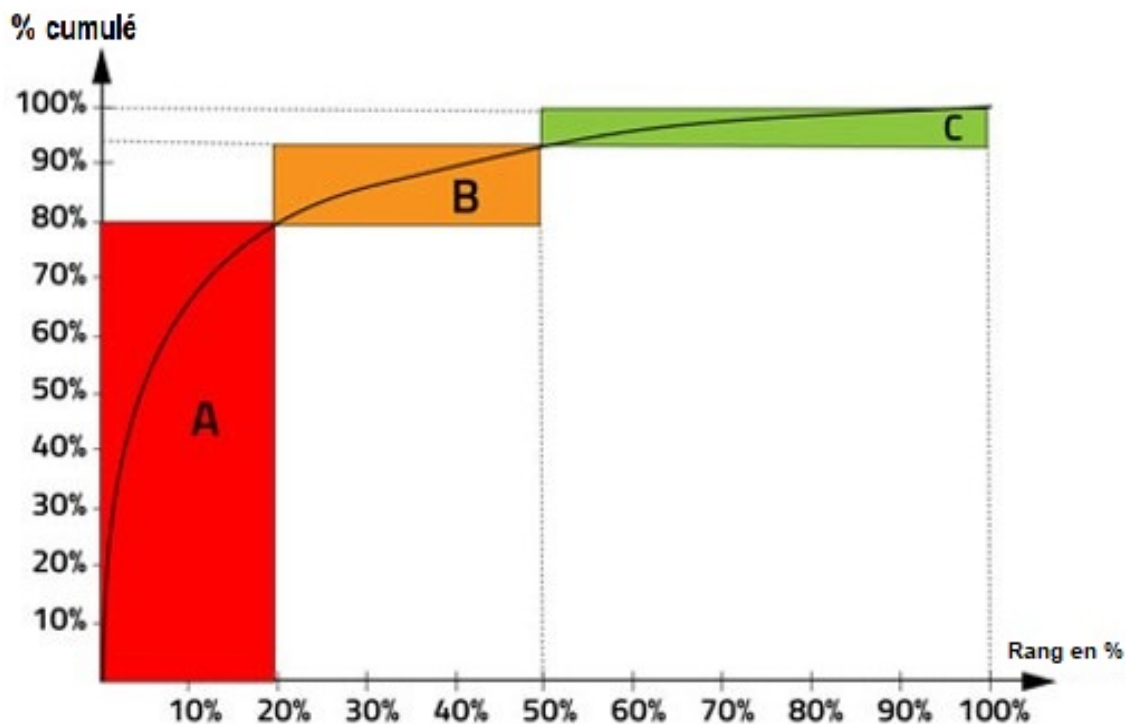


Figure II.2 Représentation graphique des zones ABC [21]

- **Étape 05 : analyse, Interprétation et exploitation de la courbe**

La cinquième étape contient une analyse du diagramme de Pareto. L'identification des causes les plus fréquentes ou les plus influentes doit être faite avec la détermination de leur importance. C'est très important de se concentrer sur les causes les plus influentes et ignorer les causes moins importantes ou influentes.

- **Étape 06 : établir un plan d'action**

On classe nos éléments selon les zones A, B, C. le plan d'action doit porter des actions correctives et amélioratrices sur les éléments constituant la zone A en priorité parce que les composants de cette zone représentent le pourcentage le plus élevé des conséquences influent sur notre système. Si les décisions apportées aux éléments de la zone A ne donnent pas satisfaction, on continuera le plan d'action sur les éléments de la zone B parce que les éléments de cette zone représentent le deuxième pourcentage le plus élevé des conséquences sur notre système. L'étude continuera en appliquant des améliorations jusqu'à avoir une satisfaction. Les éléments appartenant à la zone C peuvent être négligés parce qu'ils ont un pourcentage minime ou ils peuvent être traités après mais ils n'ont pas la priorité par rapport à la zone A et B [8].

II.3. Méthode AMDEC

AMDEC c'est : A : Analyse. M : Modes. D : Défaillance. E : Effets. C : Criticité.

On peut considérer cette méthode appelée AMDEC comme un outil d'analyse qui permet d'étudier les modes, causes et conséquences de défaillance ainsi que leurs impacts et leur criticité dans un processus, un produit ou un moyen de production. La méthode permet également de prioriser les risques en fonction de leur gravité, de leur fréquence et de leur détectabilité. Elle s'inscrit dans le cadre de la gestion des risques et vise à créer des plans d'actions préventives pour éliminer ou réduire les risques et l'impact des défaillances potentielles. Les risques sont ensuite

hiérarchisés en fonction de leur criticité, permettant de déclencher des actions prioritaires pour les traiter.

La méthode « AMDEC » selon La norme AFNOR X 60-510 : c'est une analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité, ou AMDEC est un outil d'analyse qui permet d'augmenter la notion de qualité pour des produits fabriqués ou des Services rendus et favorise la maîtrise de la fiabilité en vue de minimiser le coût global cette méthode sert à assurer la sûreté dans des différents domaines d'industrie (aérospatial, nucléaire, chimie...).

En somme, la méthode AMDEC est très essentielle et utile pour la gestion des risques et l'optimisation de la maintenance préventive. Elle permet de connaître les éléments les plus importants d'un système, d'identifier les faiblesses et les dysfonctionnements, de gérer les points critiques et de préconiser les mesures correctives pour améliorer la fiabilité du système. Elle est également utile pour évaluer les effets de ces mesures et comparer leur efficacité afin de prendre des décisions éclairées [27].

L'AMDEC est une démarche répétitive commence avec ces quatre questions :

Tableau II.1 Questions principales pour la démarche AMDEC [28]

Options de dysfonctionnements potentiels	Impacts possibles	Facteurs possibles	Schéma de contrôle à mettre en place
Qu'est-ce que il pourrait arriver du mal ?	Quels pourrait être les effets et les conséquences de ce mode de défaillance ?	Quels pourrait être les causes possibles pour ce mode de défaillance ?	Comment faire vous pour voir ça ?
EX : aucune valeur affichée dans le manomètre	EX : la dégradation dans le fonctionnement du processus	EX : une défaillance dans le capteur comme cassure ou blocage	EX : la détection est visuelle avec une surveillance totale de l'afficheur

II.3.1. Objectifs de la méthode

L'objectif de cette méthode est donc d'obtenir une connaissance approfondie du fonctionnement et des interactions d'un système en analysant les relations causes-effets. Les informations obtenues sont ensuite utilisées pour maîtriser les risques et améliorer la fiabilité et la sûreté de fonctionnement du système. Ainsi, consiste à identifier de manière rigoureuse les défaillances qui peuvent avoir des conséquences sur le fonctionnement d'un système, en utilisant une approche inductive. Ces défaillances sont ensuite classées en fonction de leur niveau de criticité afin de les gérer de manière appropriée. Le résultat de ce processus est un ensemble de dysfonctionnements potentiels avec des plans d'action pour réduire la criticité en modifiant l'un des trois facteurs [29].

La méthode cherche principalement à :

- L'obtention d'une disponibilité maximale.
- Garantir et d'assurer la sécurité, la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité d'un moyen, produits ou un processus de production.
- Evaluer les risques potentiels à un processus de production, les risques associés à la sécurité, la qualité, et le niveau de performance d'une machine de production.

- Minimiser les coûts et les pertes.
- Renforcer les points faibles et la correction des défauts dans le processus de production d'un produit [27].

II.3.2. Avantages et Limites de la méthode

II.3.2.1 Avantages de la méthode AMDEC

En utilisant la méthode AMDEC pour gérer les risques, il est possible de prendre des mesures préventives afin de résoudre les problèmes avant même qu'ils ne surviennent. Si cette approche est appliquée tout au long du cycle de vie du produit, cela permettra d'améliorer la production en éliminant les problèmes majeurs.

En résumé, les avantages de la méthode AMDEC sont :

- Prévoir les problèmes avant qu'elles ne surviennent.
- La satisfaction d'une bonne maintenance est l'objectif principal d'AMDEC.
- Le pilotage de l'amélioration continue par la gestion des plans d'action.
- Réduire les coûts internes de la qualité.
- La définition des mesures préventives pour l'élimination des causes.
- Minimiser la prise de risque.

II.3.2.2 Limites de la méthode AMDEC

Malgré les avantages qu'elle offre à l'industrie, la méthode AMDEC présente plusieurs inconvénients et limites. Cependant, cette méthode peut être difficile à mettre en place en raison de sa complexité.

Les inconvénients principaux dans cette méthode sont :

- La méthode AMDEC ne sert pas à résoudre les problèmes.
- Nécessite une expérience et une compétence technique au niveau de maintenance.
- Elle exige le travail du groupe.
- Elle peut porter des mauvais résultats en cas d'une mauvaise interprétation des données.
- Nécessité l'existence de la documentation.
- L'application de cette méthode prend beaucoup de temps.
- En général, elle n'est pas utilisée dès le début, ce qui fait qu'elle n'aide pas à prendre des décisions dans les premières phases.
- Cette méthode ne prend pas en compte la relation entre les différentes défaillances qu'une entité du système peut subir.
- On ne considère qu'un seul mode de défaillance à la fois, en supposant que tout le reste du système fonctionne correctement.
- Il est possible d'admettre que certains modes de défaillance ont des effets acceptables, et dans ce cas, la conception sera considérée comme appropriée.
- La hiérarchisation des éléments se fait de manière intuitive dans cette méthode [30].

II.3.3. Différents types de l'AMDEC

L'AMDEC produit est une méthode d'analyse qui permet de réduire les risques potentiels associés à la conception, à la fabrication et à l'utilisation d'un produit. Elle est utilisée dans de nombreux secteurs pour améliorer la qualité et la fiabilité des produits, réduire les coûts

et renforcer la confiance des clients dans la marque. Cet AMDEC est sous la responsabilité du bureau d'études et les conséquences des défaillances dans ce type sont visibles par le client [30].

L'AMDEC processus est une méthode d'analyse systématique qui permet d'identifier les risques potentiels associés à un processus de production ou de service. Elle permet d'améliorer la qualité et l'efficacité du processus, de réduire les coûts associés aux défaillances et aux retards, et de renforcer la satisfaction des clients. La méthode est basée sur une approche collaborative impliquant des experts de différents domaines et est itérative et continue pour garantir une amélioration continue du processus. Cet AMDEC est sous la responsabilité du bureau des méthodes de fabrication et les conséquences des défaillances sont visibles par le personnel de l'entreprise [30].

L'AMDEC moyen est largement utilisé dans les secteurs de l'industrie pour garantir la conformité réglementaire et améliorer le rendement des machines. Il s'agit d'une méthode d'analyse systématique qui permet d'identifier et de gérer les risques potentiels, contribuant ainsi à améliorer la qualité et la fiabilité des équipements. Cet AMDEC est sous la responsabilité du service de maintenance et les conséquences des défaillances ne sont visibles que par le service de production [31].

II.3.4. Aspects de la méthode AMDEC

II.3.4.1. Etude qualitative

Dans la méthode AMDEC, l'aspect qualitatif est une dimension importante pour évaluer les risques de défaillance d'un produit ou d'un processus. L'analyse qualitative permet d'identifier les risques potentiels et d'évaluer leur influence sur la qualité du produit ou du processus.

L'aspect qualitatif de l'AMDEC comprend plusieurs étapes. Tout d'abord, il est nécessaire de décrire les modes de défaillance potentielles, c'est-à-dire les manières dont le produit ou le processus peut échouer. Ensuite, il faut évaluer l'influence de chaque risque ou défaillance sur la qualité, en termes de gravité, de fréquence et de détectabilité. La gravité correspond à l'effet du mode de défaillance sur le produit ou le processus, la fréquence correspond à la probabilité d'occurrence du mode de défaillance, et la détectabilité correspond à la capacité à détecter le mode de défaillance avant qu'il ne se produise.

L'analyse qualitative permet également de classer les modes de défaillance en fonction de leur criticité. La criticité correspond à l'importance du mode de défaillance pour la qualité globale du produit ou du processus. Les modes de défaillance les plus critiques doivent être traités en priorité pour minimiser les risques pour la qualité.

En conclusion, l'aspect qualitatif est une dimension importante de cette méthode pour évaluer les risques de défaillance d'un produit ou d'un processus. L'analyse qualitative permet d'identifier les modes de défaillance potentielles, d'évaluer leur impact sur la qualité et de les classer en fonction de leur criticité. En appliquant cette méthode, les entreprises peuvent améliorer la qualité de leurs produits ou processus, réduire les coûts de non-qualité et renforcer la satisfaction des clients [32].

II.3.4.2. Etude quantitative

Dans la méthode AMDEC, l'aspect quantitatif est une étape importante de l'analyse des risques liée à plusieurs éléments dans le système. Cette étape consiste à quantifier la gravité des conséquences potentielles d'un défaut sur la qualité du produit final.

Pour cela, les experts en AMDEC utilisent une échelle de notation pour évaluer la gravité des conséquences, en fonction de critères tels que le coût, le temps de réparation, la disponibilité des pièces de rechange, etc.

Une fois les conséquences potentielles quantifiées, l'équipe AMDEC passe à l'évaluation de la fréquence d'occurrence du défaut. Cette étape consiste à évaluer la fréquence à laquelle le défaut peut se produire, en fonction de l'expérience passée, des données statistiques, etc.

Enfin, l'équipe AMDEC évalue l'indice de détection du défaut, c'est-à-dire la capacité à détecter le défaut avant qu'il ne devienne un problème majeur. Cette évaluation est basée sur des critères tels que la fréquence des inspections, les tests de qualité, la formation des employés, etc.

L'aspect quantitatif est donc un élément-clé de la méthode AMDEC, car il permet d'identifier les risques liés à la qualité et d'installer des mesures préventives pour minimiser ces risques. En quantifiant la gravité des conséquences, la fréquence d'occurrence et l'indice de détection, l'équipe AMDEC peut identifier les défauts les plus critiques et déterminer les actions à prendre pour réduire les risques pour la qualité de manière chiffrée et objective [32].

II.3.5. Principe de la méthode AMDEC

Etape 1 : Phase de préparation

1- Constitution de l'équipe

La construction d'une équipe dans l'AMDEC consiste à rassembler un groupe d'experts ayant des compétences et des connaissances dans différents domaines liés à la problématique étudiée. Les membres de l'équipe doivent être capables de travailler en collaboration et d'apporter leur expertise pour résoudre les problèmes. Il est préférable que les concepteurs ayant établi l'avant-projet fassent partie de l'équipe. Les membres doivent avoir une expérience, des connaissances sur le système étudié et un niveau d'expertise dans leur spécialité respective. En outre, des séances de BRAINSTORMING sont nécessaires pour recueillir le maximum d'informations sur le système étudié. La construction d'une équipe solide est une étape essentielle pour mener à bien une étude AMDEC [11].

2- Précision de l'objet de l'étude

Il s'agit au départ de choisir et de délimiter l'étude à mener, en fonction des objectifs fixés (atteindre une valeur de disponibilité donnée, ou spécifier les plus gros problèmes potentiels...) et du délai accordé.

La phase de précision de l'objet dans l'AMDEC est une étape qui consiste à définir clairement l'objet de l'étude. Il s'agit de préciser la nature du système étudié, ses limites, ses composants et ses fonctions. Cette phase permet également de déterminer les critères

d'évaluation et les objectifs de l'étude. Elle permet de clarifier les attentes de l'étude AMDEC et de s'assurer que tous les membres de l'équipe ont une compréhension claire de l'objet étudié. Une fois que l'objet est précisé, les membres de l'équipe peuvent commencer à identifier les modes de défaillance potentielles et les conséquences associées. La phase de précision de l'objet est essentielle pour garantir le succès de l'étude AMDEC et une compréhension commune entre tous les membres de l'équipe [33].

3- Mise au point de la fiche d'analyse

La mise au point de la fiche d'analyse dans l'AMDEC est une étape cruciale qui consiste à élaborer une fiche d'analyse standardisée pour chaque composant du système étudié, afin de répertorier toutes les informations pertinentes pour l'étude. Les informations incluses dans la fiche d'analyse comprennent les fonctions du composant, les modes de défaillance possibles, les causes sous-jacentes, les effets de la défaillance et les mesures de prévention ou de correction. La fiche d'analyse est utilisée tout au long de l'étude pour documenter les résultats et les conclusions. La phase de mise au point de la fiche d'analyse garantit que toutes les informations nécessaires sont collectées de manière exhaustive et cohérente, et facilite la collaboration entre les membres de l'équipe.

Sur un tableau, il faut définir les « lignes » (les composants) et les « colonnes » nécessaires réparties en quatre grandes familles : analyse fonctionnelle, analyse de défaillance potentielle, estimation de la criticité et mesures à appliquer [33].

Tableau II.2 Fiche d'analyse de la méthode AMDEC [33]

Analyse fonctionnelle		Analyse de défaillance					Estimation de criticité			Mesures	
Composant		fonction	Mode de défaillance	causes	Effet local	Effet système	gravité	fréquence	Non détection	Criticité	Actions envisagées
Rep	Nom										
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Etape 2 : Etude fonctionnelle

La phase d'analyse fonctionnelle dans l'AMDEC est une étape initiale pour décrire le système étudié et ses fonctions principales. Cette phase permet de comprendre comment le système fonctionne, ainsi que les interactions entre ses composants. L'analyse fonctionnelle vise à identifier les fonctions principales et secondaires de chaque composant, ainsi que les exigences pour chaque fonction. Les fonctions sont souvent représentées sous forme de diagrammes. Cette phase permet également de clarifier les objectifs de l'étude AMDEC et de définir les limites du système. L'analyse fonctionnelle est une étape importante pour établir une compréhension commune du système étudié et pour faciliter les étapes suivantes de l'étude.

Une fois la liste des fonctions est validée, on fait une analyse fonctionnelle pour classer ces fonctions en 3 classes principales :

- **Fonctions principales** : qui donnent au système global son rôle afin de satisfaire l'utilisateur.
- **Fonctions contraintes** : qui interagissent avec l'environnement extérieur.
- **Fonctions élémentaires** : qui représentent les fonctions des composants du système.

Dans cette étape l'utilisation de certains outils est nécessaire pour avoir une meilleure analyse fonctionnelle. Des outils comme : l'analyse descendante, la méthode de la pieuvre, les diagrammes des flux, l'arborescence, le diagramme processus... [22].

Etape 3 : Analyse de défaillance

La phase d'analyse de défaillance dans l'AMDEC est une étape cruciale pour identifier les modes de défaillance potentielles dans le système étudié. Cette étape consiste à examiner chaque composant du système et à identifier les modes de défaillance possibles, ainsi que les causes sous-jacentes et les conséquences associées. Les modes de défaillance sont ensuite classés en fonction de leur gravité et de leur probabilité de se produire. Cette analyse permet d'identifier les risques potentiels pour le système et les conséquences de ces défaillances.

L'analyse de défaillance utilise souvent des techniques de résolution de problèmes, telles que l'analyse des arbres de défaillance, pour aider à déterminer les causes des défaillances et les actions et les interventions qui peuvent être prises pour les éviter.

L'objectif principal de cette phase est d'identifier les modes de défaillance qui peuvent causer des problèmes, afin de minimiser les risques pour la sécurité et la qualité du produit. Cette phase permet également de documenter les résultats de l'analyse et de communiquer les conclusions à tous les membres de l'équipe pour faciliter les étapes suivantes de l'AMDEC [22].

Selon la norme AFNOR **X60-510**, le tableau suivant donne les modes de défaillance les potentiels :

Tableau II.3 Modes des défaillances les plus fréquents des systèmes complexes

Modes des défaillances
Défaillance structurelle ou rupture
Blocage physique ou coincement
Vibration
Ne reste pas en position
Ne s'ouvre pas
Ne se ferme pas
Défaillance en position ouverte
Défaillance en position fermée
Fuite interne
Fuite externe
Depasse la limite supérieure tolérée
Est en dessous de la limite inférieure tolérée
Fonctionnement intempestif
Fonctionnement intermittent
Fonctionnement irrégulier
Indication erronée
Ecoulement réduit
Misse en marche erroné
Ne s'arrête pas
Ne démarre pas
Ne commute pas

Fonctionnement prématuré
Fonctionnement après le délai prévu (retard)
Entrée erronée (augmentation)
Entrée erronée (diminution)
Sortie erronée (augmentation)
Sortie erronée (diminution)
Perte de l'entrée
Perte de la sortie
Court-circuit (électrique)
Circuit ouvert (électrique)
Fuite (électrique)
Autre conditions de défaillance exceptionnelle suivant les caractéristiques du système, les conditions de fonctionnement et les contraintes opérationnelles

Etape 4 : Evaluation de la criticité

L'évaluation se fait selon trois critères principaux :

- **« G » est l'indice de gravité** : elle s'évalue à partir des effets et les conséquences des défaillances par une note estimée généralement entre 1 (mineur) et 4 (catastrophique) ou entre 1 (mineur) et 5 (catastrophique). Exprime l'importance et l'impact de l'effet sur la qualité d'un produit, le fonctionnement d'un moyen et le déroulement d'un processus.

La note de la gravité est donnée par trois acteurs principaux dans le processus de la méthode AMDEC : l'utilisateur de l'équipement, le constructeur de la machine et le spécialiste de l'équipe de la maintenance dans l'organisation. Chaque personne donne une note pour la gravité, la note moyenne des trois notes données est calculée pour quelle sera considéré comme la note finale de la gravité.

- **« F » est l'indice de fréquence** : elle s'évalue à partir des probabilités des causes de défaillance. C'est la fréquence d'apparition de la défaillance. On estime la période à laquelle la défaillance est capable de se reproduire par une note estimée généralement entre 1 (rare) et 4 (fréquent) ou entre 1 (rare) et 5 (fréquent).

La valeur de la fréquence est donnée par trois parties dans le processus de la méthode AMDEC : l'exploitant de l'équipement, le fabricant de la machine et un membre dans l'équipe de la maintenance. Chaque acteur donne une note pour la fréquence, la note moyenne récupérée des trois notes récoltées est calculée pour quelle sera validé comme la note finale de la fréquence.

- **« D » est l'indice de détectabilité** : elle exprime l'efficacité du système permettant de détecter le problème. La détectabilité s'évalue à partir du mode de défaillance par une note estimée allant de 1 (facilement détectable) à 4 (difficile à détecter) ou entre 1 (facilement détectable) et 5 (difficile à détecter).

La note de la détectabilité est donnée par trois personnes principaux dans le processus de la méthode AMDEC : l'utilisateur du bien, le constructeur de l'équipement et un représentant

de l'équipe de la maintenance. Chaque partie donne une note pour la détectabilité, la note moyenne des trois notes données est calculée pour quelle sera définie comme la valeur finale de la détectabilité.

Voici un exemple de la grille de cotation pour les trois paramètres :

Tableau II.4 Grille de cotation des trois paramètres de la méthode [33]

Fréquence	gravité	Détectabilité
1 : moins d'une fois par an	1 : temps d'arrêt < 4 heures	1 : détection facile (visuel)
2 : moins d'une fois par mois	2 : temps d'arrêt < 24 heures	2 : détection facile mais nécessite l'utilisation des outils
3 : moins d'une fois par semaine	3 : temps d'arrêt < 1 semaine	3 : détection difficile (nécessite l'entrée dans l'équipement)
4 : plus d'une fois par semaine	4 : temps d'arrêt > 1 semaine	4 : aucune détection

- **Calcul de la criticité « C »**

« C » est l'indice de criticité, L'indice de criticité est une mesure utilisée dans l'AMDEC pour évaluer la gravité potentielle d'un mode de défaillance donné, en tenant compte de la probabilité de son occurrence et de sa capacité à causer des dommages ou des perturbations. L'indice de criticité est calculé en multipliant la gravité de l'effet potentiel par la fréquence de l'occurrence potentielle et aussi avec la capacité de détection pour réduire les risques.

Donc le calcul de la criticité est réalisé selon la loi :

$$C = \text{Gravité} * \text{Fréquence} * \text{Détectabilité}$$

L'AMDEC est largement utilisé dans les différents secteurs de l'industrie comme l'industrie d'automobiles, aérospatiale, pharmaceutique et de fabrication pour améliorer la qualité des produits et des processus en réduisant les risques de défaillance et les coûts associés. En utilisant l'indice de criticité, les ingénieurs et les équipes de gestion de la qualité peuvent identifier les modes de défaillance critiques et mettre en œuvre des mesures préventives pour réduire les risques et améliorer la fiabilité des produits et des processus.

Voici un exemple de la grille de cotation pour la criticité et les actions correctives à engager :

Tableau II.5 Grille de cotation pour la criticité [33]

Niveau de criticité	Actions correctives à engager
1 < criticité < 10	Aucune modification de conception maintenance corrective.
10 < criticité < 20	Amélioration des performances de l'élément maintenance préventive systématique.
20 < criticité < 40	Révision de la conception du sous-ensemble et du choix des éléments surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle / prévisionnelle.
40 < criticité < 64	Remise en cause complète de la conception.

Etape 5 : la mise en place d'un plan d'action

La phase de mise en place d'un plan d'action dans l'AMDEC est une étape essentielle pour assurer que les problèmes potentiels identifiés lors de l'analyse de défaillance soient résolus de manière efficace. Cette phase consiste à déterminer les mesures correctives et préventives appropriées pour traiter les modes de défaillance identifiés, ainsi que leur ordre de priorité.

Les mesures correctives peuvent être prises pour traiter les modes de défaillance existantes, tandis que les mesures préventives peuvent être prises pour éviter que ces modes de défaillance ne se produisent à l'avenir. Le plan d'action doit décrire en détail chaque mesure corrective ou préventive, y compris les responsables de leur mise en œuvre, les délais, les coûts et les ressources nécessaires.

Les actions correctives peuvent inclure la réparation ou le remplacement de pièces défectueuses, l'amélioration des procédures d'inspection ou de maintenance, ou la formation du personnel. Les actions préventives peuvent inclure l'amélioration de la conception ou de la qualité des composants, la mise en place de contrôles de processus, ou l'utilisation de technologies de surveillance avancées.

La mise en place d'un plan d'action efficace nécessite une collaboration étroite entre les différents membres de l'équipe, y compris les concepteurs, les ingénieurs, les responsables de la production et de la qualité, ainsi que les fournisseurs et les clients. Une fois le plan d'action mis en œuvre, il est important de suivre régulièrement les résultats pour s'assurer que les mesures prises sont efficaces et permettent d'atteindre les objectifs de l'AMDEC [33].

II.4. Méthode de Weibull

La méthode de **Weibull** est une loi continue à trois paramètres (β , γ , η), donc d'un emploi très souple, ce qui lui permet également de modéliser le comportement de différentes situations de vie d'un composant. Elle permet d'étudier tous les situations et les cas possibles pour le taux de défaillance : variables, décroissants (période de jeunesse) ou croissants (période de vieillesse) ou constants (période de maturité) [22].

II.4.1. Périodes de vie d'un produit

Dans n'importe quel type de produit, le taux de défaillance λ peut-être significatif dans la détermination de la zone dans laquelle le composant est situé. Le taux de défaillance peut être constant, croissant ou décroissant au fil du temps. Pour la majorité des pièces et équipements dans le domaine industriel, le changement de $\lambda(t)$ avec le temps est défini dans une courbe en baignoire. La courbe présente trois zones :

Zone 1 : période de jeunesse

Représente le début de la vie d'un composant et les défaillances sont dites de jeunesse donc ce qui signifie que les éléments ou les pièces neufs contiennent des défauts de conception, de fabrication ou d'installation. Les défaillances dans cette période sont généralement relatives à des erreurs de production, la mauvaise qualité des matériaux, des problèmes de montage... Avec le temps, Le taux de défaillance λ va être décroissant d'une façon rapide.

Zone 2 (période de bon fonctionnement)

Cette période représente la zone où l'équipement fonctionne dans des conditions normales. Cette période est relative à des défaillances aléatoires et des factures comme : l'usure, les chocs, la corrosion et les vibrations des équipements... C'est la période où le taux de défaillance λ est d'un caractère constant.

Zone 3 (période de vieillissement)

La zone de la vieillesse est la période où l'équipement commence à atteindre la fin de sa durée de vie utile. Cette zone représente la période de la fin d'un produit contient principalement des défaillances avec des causes liées à l'âge ou à l'usure des éléments. Le taux de défaillance λ va avoir un caractère croissant avec le temps, donc ce qui donne la dégradation du matériel [8].

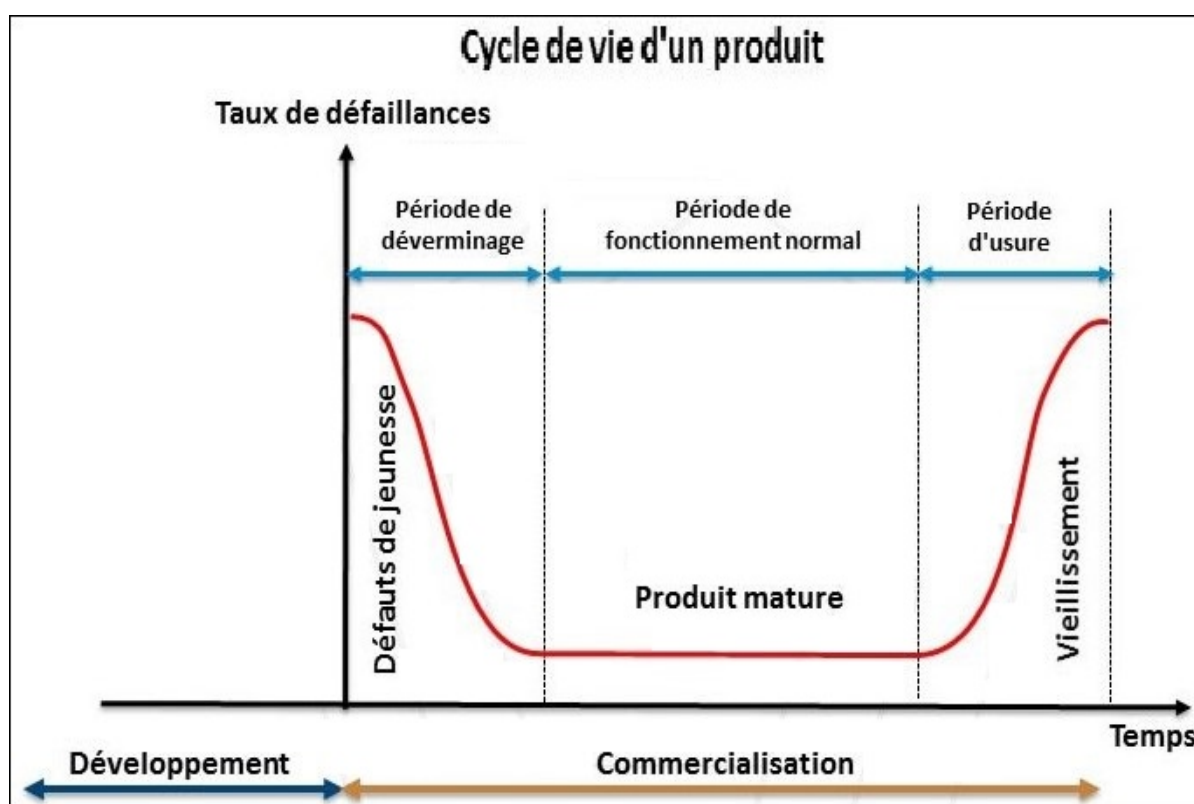


Figure II.3 Périodes de vie d'un produit [23]

II.4.2. Paramètres de la méthode

Les 3 paramètres de la loi sont :

- **β → Paramètre de forme (sans dimension)**

Appelé aussi le coefficient de forme ou paramètre de variation, est un paramètre qui détermine la forme de la distribution. Il indique si la distribution est plus ou moins asymétrique et s'il y a une forte concentration des valeurs autour de la moyenne ou non. Le paramètre de forme de la loi de Weibull est un paramètre important qui détermine la forme de la distribution et qui peut être utilisé pour modéliser différents types de phénomènes.

Il existe trois cas pour le paramètre de forme :

- Si $\beta > 1$, signifie que le taux de défaillance est d'une forme croissant (caractéristique de la zone de vieillesse).
 - Si $\beta = 1$, détermine que le taux de défaillance est d'une forme constant (caractéristique de la zone de maturité).
 - Si $\beta < 1$, indique que le taux de défaillance est d'une forme décroissant (caractéristique de la zone de jeunesse).
- **$\eta \rightarrow$ Paramètre d'échelle (qui s'exprime dans l'unité utilisée : temps, poids...)**

Connu aussi sous le nom de paramètre de caractéristique. Il est l'un des paramètres nécessaires pour représenter la distribution de probabilité de Weibull où la durée de vie (ou la durée de fonctionnement) d'un système ou un composant donnée est la probabilité de défaillance (ou de panne) pour n'importe quelle durée de fonctionnement donnée.

Le paramètre d'échelle permet la détermination de la MTBF et de l'écart type de la distribution en utilisant des tableaux prédéterminés qui indique les coefficients A et B en fonction de la loi : $MTBF = A\eta + \gamma$ et $\sigma = B\eta$.

- **$\gamma \rightarrow$ Paramètre de position**

Ce paramètre détermine le point de départ de la distribution donc, le paramètre de position donne la valeur minimale de la durée de vie ou de la durée de fonctionnement du système ou du composant. Permet de déplacer la distribution de probabilité de la durée de vie ou de la durée de fonctionnement d'un système ou d'un composant vers la gauche ou la droite de l'axe de temps en fonction du temps de fonctionnement.

$-\infty < \gamma < +\infty$, exprimé dans la même unité que la MTBF et basé essentiellement sur la forme de la courbe de Weibull. Si droite $\gamma = 0$:

- $\gamma > 0$: survie totale du système sur l'intervalle de temps entre $[0, \gamma]$. donc, il y a pas une défaillance entre $t=0$ et $t=\gamma$.
- $\gamma = 0$: les défaillances commencent à l'origine des temps.
- $\gamma < 0$: les défaillances vont commencer avant l'origine des temps [8].

II.4.3. Diagramme de Weibull

- **Abcisse haute (axe b)** : échelle logarithmique, représente l'axe de $X = \ln t$. on fait correspondre à chaque valeur de t son équivalent du logarithme népérien $\ln t$.
- **Abcisse intermédiaire (axe A)** : échelle logarithmique, représente l'axe du paramètre qui est le paramètre d'échelle η .
- **Abcisse basse (axe A)** : échelle logarithmique, cet axe représente le paramètre d'échelle par rapport au temps t.
- **Ordonnée gauche (axe d)** : cet axe représente les valeurs de la fonction de répartition $F(t)$ en pourcentage.
- **Ordonnée sur l'axe c** : l'axe b représente le paramètre de forme qui est le paramètre β [25].

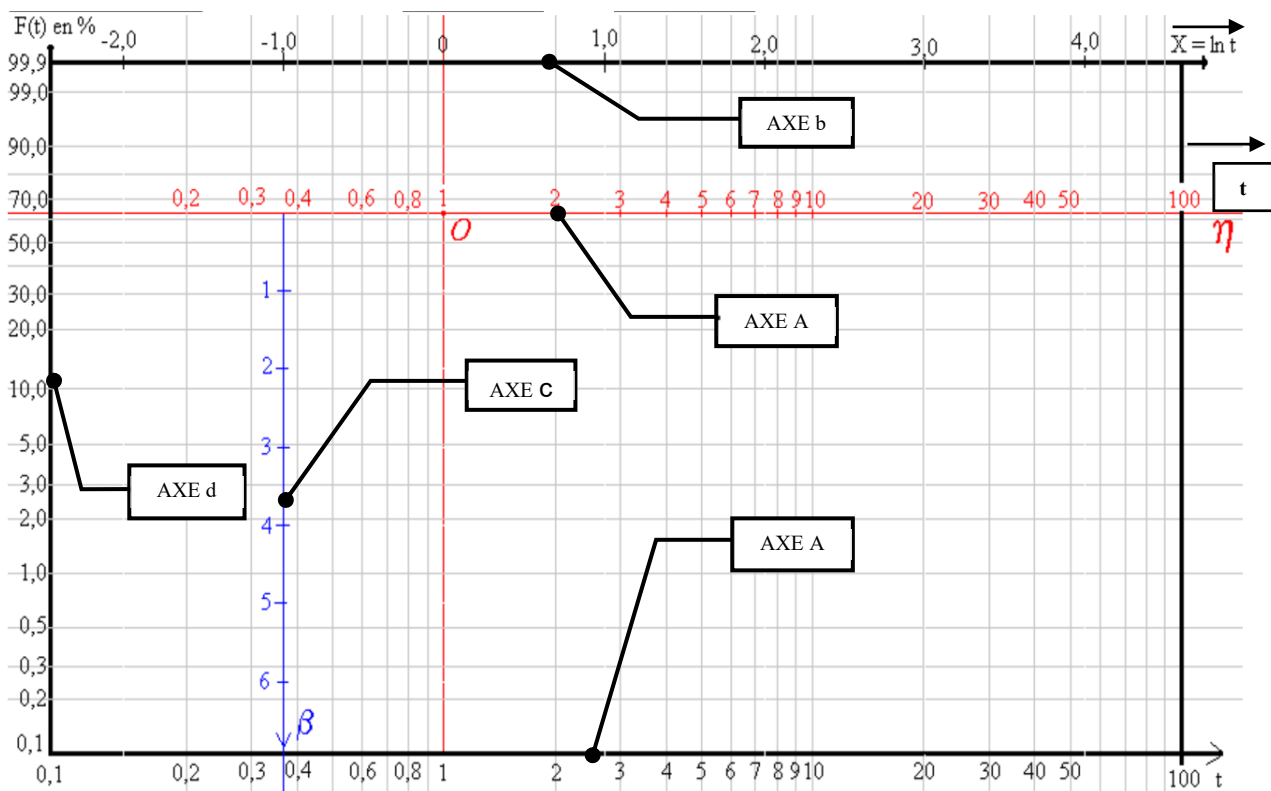


Figure II.4 Diagramme de Weibull [24]

II.4.4. Principe de la méthodologie

Etape 01 : Détermination des points (T_i, F_i) en utilisant les rangs médians

La première étape consiste à classer les TBF selon l'ordre croissant. Après on doit associer chaque TBF à sa fonction de répartition (F_i) selon le tableau des rangs médianes et selon la taille de chaque échantillon.

Etape 02 : Tracé le nuage des points

Dans cette étape on doit tracer le nuage des points sur le diagramme de Weibull selon les couples (T_i, F_i) .

Etape 03 : Tracé de la droite de Weibull et sa parallèle

Après le traçage des points, on doit tracer la droite de Weibull qui englobe tous les points (T_i, F_i) . Quand la droite sera prête, on doit tracer sa parallèle qui doit toujours par 1 qui est l'origine de temps.

Etape 04 : Détermination de β, η, γ

La détermination des paramètres β, η, γ doit être réalisée selon le diagramme de Weibull.

- **Paramètre de forme β** : il est déterminé par l'intersection entre la droite parallèle au droit de Weibull et l'axe b qui représente le paramètre β . Donc cette intersection représente la valeur de ce paramètre.
- **Paramètre d'échelle η** : ce paramètre est le résultat de l'intersection entre la droite de Weibull et l'axe A qui représente le paramètre η . La valeur trouvée c'est donc la valeur du paramètre η .

- **Paramètre de position γ** : le paramètre de position est défini selon la forme de la droite de Weibull. Par exemple si on a une droite donc $\gamma = 0$.

Etape 05 : Calcul de la MTBF

Après avoir trouvé tous les paramètres de la méthode de Weibull, le calcul du MTBF est très essentiel pour compléter l'étude. Donc pour faire ce calcul, l'utilisation des paramètres β , η , γ et le coefficient A qui est un coefficient prédéterminer selon la valeur du paramètre β est faite selon la loi donné : $MTBF = A \cdot \eta + \gamma$.

Etape 06 : Interprétation et exploitation des résultats obtenus

L'exploitation des résultats de la méthode Weibull permet de faire l'optimisation de la période d'intervention systématique, ce qui permet de calculer la durée de vie des équipements, des pièces...et de planifier des interventions de la maintenance.

- Donc le calcul de la durée de vie d'un composant selon la loi : $t = \eta \times \left[\ln \frac{1}{R(t)} \right]^{\frac{1}{\beta}} + \gamma$.
- Selon la valeur des paramètres β , η , γ , nous pouvons planifier le type de maintenance à mettre en place. Est-ce qu'une maintenance corrective, maintenance systématique ou une maintenance conditionnelle.

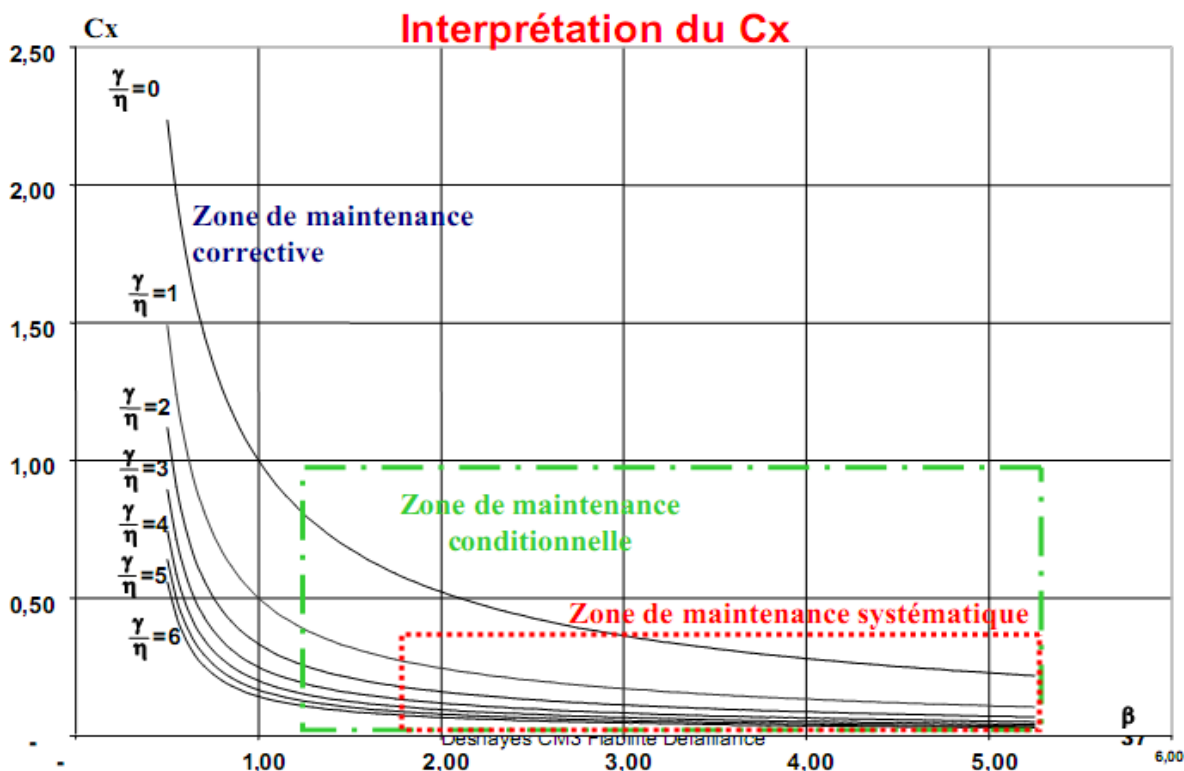


Figure II.5 Abaque d'optimisation de la maintenance [8]

II.4.5. Domaines d'application de la méthode

La méthode de Weibull est un outil d'analyse de la durée de vie. Cette méthode est très utilisée dans de plusieurs domaines tels que la maintenance et la gestion de la qualité. La méthode permet d'étudier les données de défaillance pour essayer de comprendre le comportement d'un composant par rapport à sa durée de vie et de sa fiabilité.

Cette méthode est utilisée pour :

- Faire un planning des interventions de la maintenance préventive.
- Améliorer la conception du produit.
- Étudier la qualité d'un produit.
- Estimer la valeur du MTBF.
- Calculer le taux de défaillance, ainsi que la fiabilité et de les représenter graphiquement.

La méthode de Weibull permet de calculer :

- La loi de fiabilité : $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$
- La fonction de répartition : $F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$
- Le temps moyen entre les défaillances appelé $MTBF = \gamma + A \bullet \eta$
- Durée de vie en utilisant un seuil de fiabilité : $t = \eta \times \left[\ln \frac{1}{R(t)} \right]^{\frac{1}{\beta}} + \gamma$
- **Le taux de défaillance**

Le taux de défaillance est une mesure qui représente le nombre de défaillances du composant donné. Cette mesure permet d'estimer la probabilité de défaillance de l'élément sur une certaine période de temps. Il est souvent utilisé pour prendre des décisions concernant la maintenance préventive et le remplacement de composants. La loi de taux de défaillance :

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

- **La densité de probabilité de défaillance**

La densité de probabilité est une mesure statistique qui décrit la probabilité qu'un équipement ou un composant tombe en panne dans un intervalle de temps donné en fonction de son historique de défaillance. Plus précisément, la densité de probabilité est une fonction mathématique qui décrit la distribution de probabilité de la durée de vie d'un équipement ou d'un composant. La loi de la densité de probabilité : $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$ [26].

II.5. Conclusion

Actuellement, la maintenance industrielle joue un rôle crucial dans la gestion de la production. La recherche des meilleures performances nécessite que la fonction de maintenance soit responsable de la disponibilité des systèmes. Par conséquent, la maintenance vise non seulement à identifier rapidement les éléments défectueux, mais également à anticiper les pannes pour réduire les temps d'arrêt moyens. Pour réaliser cet objectif, chaque organisation doit utiliser certaines méthodes comme : la méthode AMDEC, la méthode de Weibull...

Les arrêts imprévus dans le système de production sont considérés comme perturbateurs et peuvent entraîner des pertes de productivité et des problèmes de sécurité. La disponibilité des équipements au moment nécessaires est essentielle pour assurer une production efficace. Bien que la maintenance soit un moyen efficace pour maintenir un niveau de disponibilité acceptable, elle nécessite une meilleure utilisation des outils indiqués dans ce chapitre pour éviter un arrêt des équipements de production et pour éviter les conséquences associées à ces arrêts.

Chapitre III

ANALYSE DE LA FIABILITÉ DES ÉQUIPEMENTS DU HALL DE TECHNOLOGIE

III.1 Introduction

Pour optimiser le fonctionnement du hall, de nombreuses méthodes sont mises en application. Notre étude est divisée en trois parties, Dans la première partie, on va étudier les équipements par la méthode de Pareto afin de déterminer les machines les plus défaillantes. Dans la deuxième partie, on va utiliser la méthode AMDEC afin d'identifier les systèmes critiques pour l'équipement stratégique. Dans la troisième partie on va étudier le composant critique en utilisant la loi qui a l'avantage d'être très souple et permet de s'adapter à différentes situations, c'est la loi de « Weibull ».

L'analyse de la fiabilité d'un système ou d'un équipement, en s'appuyant sur les données d'historique de chaque machine, va permettre d'atteindre certains objectifs :

- Evaluer l'état des composants et des équipements.
- Calculer la durée de vie des composants.
- Déterminer un plan et un programme d'intervention.
- Prévoir un stock rassurant de pièces de rechange des composants critiques.

Ces objectifs nous permettent une meilleure exploitation des équipements, et ce afin d'optimiser leur fonctionnement et satisfaire la production des pièces qui est en finalité le but essentiel de toute l'institution.

III.2 Présentation de lieu

Le hall technologique est un lieu d'une grande importance pour la faculté de technologie de l'université Abou Bekr Belkaid Tlemcen. Il se trouve à l'extrême ouest de la faculté et est situé à proximité du département de génie biomédical (figure III.1). Le hall est composé de deux niveaux et abrite des équipements qui sont utilisés pour la fabrication mécanique et industrielle.



Figure III.1 Emplacement géographique de hall de technologie [45]

Le hall offre de nombreuses opportunités aux étudiants de la faculté de technologie de développer leurs compétences en matière de fabrication. Les étudiants ont la possibilité de travailler sur des projets pratiques, de réaliser des pièces utiles pour les laboratoires tels que RDM, SDM, et bien d'autres. Ces projets sont essentiels pour la réalisation de Projets de Fin d'Etudes (PFE) dans diverses spécialités.

Les installations du hall comprennent des équipements de pointe tels que des fraiseuses, des tours, des perceuses et des machines à découper. Les étudiants peuvent également travailler en utilisant des logiciels CAO ou FAO pour réaliser des dessins techniques et les convertir en modèles de fabrication. En somme, le hall technologique est une infrastructure essentielle pour la faculté de technologie de l'université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.

III.2.1 Organisation de lieu

L'arrangement des équipements dans le hall technologique est organisé sur deux niveaux de manière bien définie comme suit :

▪ Niveau 01

Ce niveau dispose d'un grand nombre d'ordinateurs qui sont principalement utilisés pour des tâches liées aux dessins industriels telles que la CAO et la DAO. De plus, ces ordinateurs permettent également la simulation et la modélisation de pièces qui seront ultérieurement usinées grâce à l'utilisation des MOCN situés dans ce niveau.

Les MOCN disponibles dans le niveau 1 sont :

- Fraiseuse numérique PC MILL 155.
- Tour numérique PC TURN 155.

▪ Niveau 0

Ce niveau dispose d'un grand nombre de machines-outils ainsi qu'un stock important de matières premières telles que des profilés et des outillages.

Les machines-outils disponibles dans le niveau 0 du hall de technologie sont variées et comprennent notamment :

1- Tours parallèles

Un tour est une machine-outil utilisée pour usiner des pièces métalliques de forme cylindrique ou conique. Et permet de créer différentes surfaces qui nécessitent toute une rotation de la pièce autour d'un axe de rotation.

2- Fraiseuses (universelles ou parallèles)

La fraiseuse est un équipement exploité pour façonner différents types de pièces mécaniques, en retirant de la matière de blocs ou de pièces préformées en utilisant une fraise, un outil coupant. Cette machine peut avoir d'autres outils tels que des forêts et des alésoirs. La fraise peut avoir une forme cylindrique, hémisphérique, complexe, torique ou conique. La fraiseuse permet de réaliser des pièces prismatiques, des hélices, des engrenages, entre autres.

3- Etaux limeur

Un étau limeur est une machine-outil utilisée pour limer des pièces métalliques en leur donnant une forme plane ou courbe.

4- Perceuses

Dans la fabrication des pièces mécaniques, les perceuses sont utilisées pour réaliser des trous dans les matériaux, tels que les métaux, les plastiques, le bois, etc.

5- Scies mécaniques

La scie est une machine-outil utilisée pour entamer et couper des matériaux bruts. Elle est équipée d'une lame métallique tranchante et dentée, soit de forme rectiligne ou circulaire, qui est animée d'un mouvement va-et-vient ou d'un mouvement de rotation pour effectuer la découpe.

Selon la forme de l'outil utilisé, il existe plusieurs types de machines à scier. Le premier type, ce sont les machines à scier avec un mouvement alternatif, également appelées machines à scie oscillante, sont équipées d'un outil constitué d'une lame dentée droite qui effectue un mouvement rectiligne alternatif. La scie alternative est responsable principalement sur la découpe des profilés creux à l'intérieur.

Le deuxième type, ce sont les scies à ruban ou les scies circulaires qui utilisent une lame munie des dents, cette lame est animée d'un mouvement de rotation continue pour effectuer la découpe. La scie circulaire (à ruban) est responsable principalement sur la découpe des pièces pleines à l'intérieur.

Pour exploiter une scie, c'est important de choisir la lame adaptée au matériau à découper et au diamètre de chaque profilé.

6- Compresseur

Un compresseur à piston est une machine qui augmente la pression de l'air. Il est utilisé pour alimenter des machines, des outils pneumatiques.

7- Affûteuses

Les Affûteuses sont des équipements industriels qui utilisent des meules pour enlever des matériaux durs ou créer des surfaces lisses et planes. Elles sont principalement utilisées pour le façonnage et la finition de matériaux tels que les outillages, les fraises, etc.

III.2.2 Emplacement des machines

La figure III.2 réalisée sous le logiciel Autocad version 2013, représente l'organisation et l'implémentation des machines dans le hall de technologie. Cette figure permet de connaître le positionnement exact des machines, ce qui facilite la tâche lorsqu'il y a la recherche d'une machine ou d'un équipement :

Le tableau III.1 représente la désignation des machines selon leur référence pour chaque type de machine :

Tableau III.1 Désignation des machines par référence

Nom	Désignation	Nom	Désignation
Sa	Scie alternative	EL	Etau limeur
Sc	Scie circulaire	CMP	compresseur
Af	Affûteuse	Rc	Rectifieuse
Pc	Perceuse à colonne	Pe	Perceuse établie
Tm	Tour parallèle mini (Wileir)	Tb	Tour parallèle (PMO)
Ta	Tour parallèle (TOS)	Fa	Fraiseuse universelle (Weyrauch)
Fv	Fraiseuse verticale (PMO)		

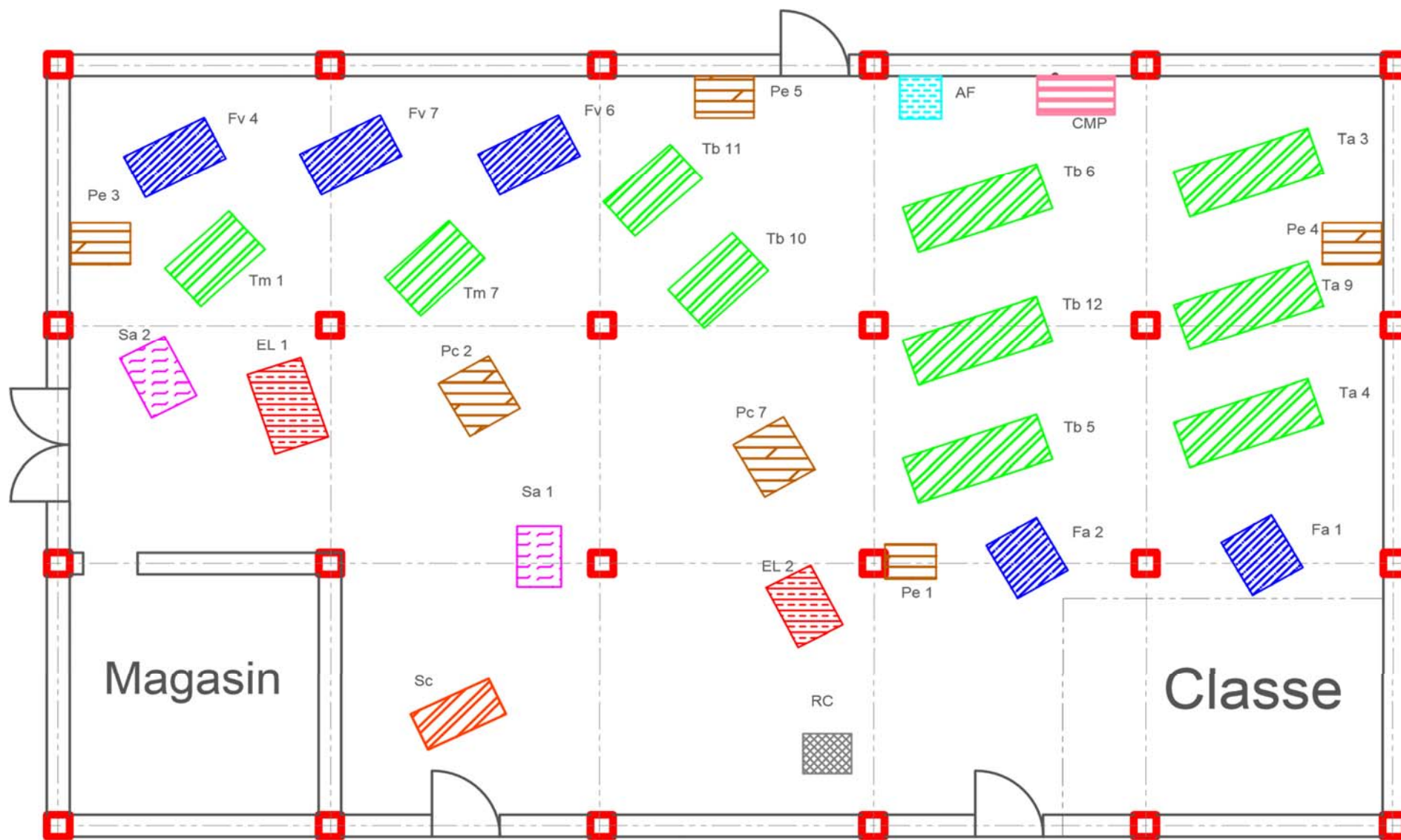


Figure III.2 Plan de niveau 0 du hall

Le tableau III.2 représente la désignation des machines selon leur couleur pour chaque type de machine.

Tableau III.2 Désignation des machines par couleur

couleur	Désignation
vert	Tour
Bleu	Fraiseuse
marron	Perceuse
Rose	Compresseur
Bleu ciel	Affûteuse
Mauve	Scie alternatif
orange	Scie circulaire
Gris	Rectifieuse
Rouge	Etau limeur

III.3 Application de la méthode Pareto sur le hall

III.3.1 Description de problème

Le hall a voulu faire une étude de fiabilité sur les machines et les équipements du hall. Mais le problème, c'est qu'il y a beaucoup de machines et chaque machine connue par son propre nombre des pannes et temps de réparation. Donc, on ne connaît pas vraiment la ou les machines qui doivent être priorisées dans le processus de maintenance pour garder toujours le hall dans un état de fonctionnement continu. C'est pour ça on va utiliser la méthode Pareto qui aide classifier les machines selon leur importance.

Cette méthode consiste à séparer les machines en trois groupes par rapport à leur valeur d'indisponibilité ($N*T$) :

Les machines de classe A sont les plus importantes et requièrent un suivi particulier ainsi qu'une analyse de valeur régulière parce qu'ils sont responsables à la réalisation de la plupart des interventions de maintenance dans le hall. Les machines de classe B sont moins importantes que les machines de classe A et n'ont pas la priorité lorsqu'on va faire notre étude de fiabilité et lorsqu'on planifie une maintenance, ils vont être planifiés pour après. Les équipements de zone C vont être négligés. La méthode ABC est efficace, car elle permet de définir deux catégories de machines qui nécessitent chacune une fréquence et un niveau d'inspection différents par rapport à l'autre.

NB : N = fréquence des pannes

T = temps de réparation (heures)

III.3.2 Récupération des données

Dans cette étape, on a fait la récolte et la collection des données pour notre étude Pareto sur les vingt-Cinque (25) machines situées dans le niveau 0, afin de détecter celles les plus critiques au niveau du hall. Cette étude a été basée sur le traitement et le diagnostic de l'historique des machines qui contient l'organe, l'opération réalisée et leur temps de réparation de chaque intervention durant les six (6) dernières années c'est-à-dire depuis 2017.

III.3.3 Classement ABC sur les machines

Dans cette étape, on doit classer les machines dans un ordre décroissant par rapport au critère de l'indisponibilité ($N \cdot T$). Après avoir classé les données du critère, on va faire la somme des valeurs et calculer ces valeurs en % par rapport au nombre total (Voir tableau III.3).

Tableau III.3 Classement ABC par rapport aux valeurs et pourcentages cumulés

Nom des machines	Fréquence N	Temps de réparation T	Indisponibilité $N \cdot T$	Valeur cumulé	% cumulé
Scie circulaire PEHAKA	17	7.33	124.61	124.61	18.87%
Tour parallèle N°05	17	5.41	91.97	216.58	32.79%
Tour parallèle N°11	13	5.5	71.5	288.08	43.62%
Tour parallèle N°03	15	4.67	70.05	358.13	54.22%
Fraiseuse universelle N°1	10	5.75	57.5	415.63	62.93%
Tour parallèle N°04	12	4.08	48.96	464.59	70.34%
Tour parallèle N°10	12	3.91	46.92	511.51	77.44%
Tour parallèle N°09	13	3.58	46.54	558.05	84.49%
Fraiseuse universelle N°2	7	4.33	30.31	588.36	89.08%
Tour parallèle N°06	7	3.35	23.45	611.81	92.63%
Tour parallèle N°12	8	2.33	18.64	630.45	95.45%
Fraiseuse vertical N°06	4	2	8	638.45	96.66%
Tour parallèle N°01	4	1.41	5.64	644.09	97.52%
Tour parallèle N°02	4	1.41	5.64	649.73	98.37%
Fraiseuse vertical N°07	3	1.17	3.51	653.24	98.90%
Perceuse N°PC1	2	1.5	3	656.24	99.36%
Tour PC turn 155	2	0.5	1	657.24	99.51%
Mini Tour parallèle N°01	1	0.5	0.5	657.74	99.58%
Mini Tour parallèle N°02	1	0.5	0.5	658.24	99.66%
Perceuse N°PC2	1	0.5	0.5	658.74	99.74%
Scie alternative N°01	1	0.5	0.5	659.24	99.81%
Scie alternative N°02	1	0.5	0.5	659.74	99.89%
Perceuse B16	1	0.33	0.33	660.07	99.94%
Fraiseuse PC mill 155	1	0.25	0.25	660.32	99.97%
Fraiseuse vertical N°04	1	0.17	0.17	660.49	100.00%

III.3.4 Constructions des graphes de Pareto

Cette étape consiste à créer les trois diagrammes de classification des critères : diagramme de fiabilité, diagramme de maintenabilité et diagramme de l'indisponibilité. Ce sont des graphes qui présentent les données classées dans le tableau de classement par ordre décroissant.

III.3.4.1 Diagramme de fiabilité

La figure III.3 représente le diagramme de fiabilité des machines par rapport à la fréquence "N" (nombre de défaillances) listée pour chaque machine.

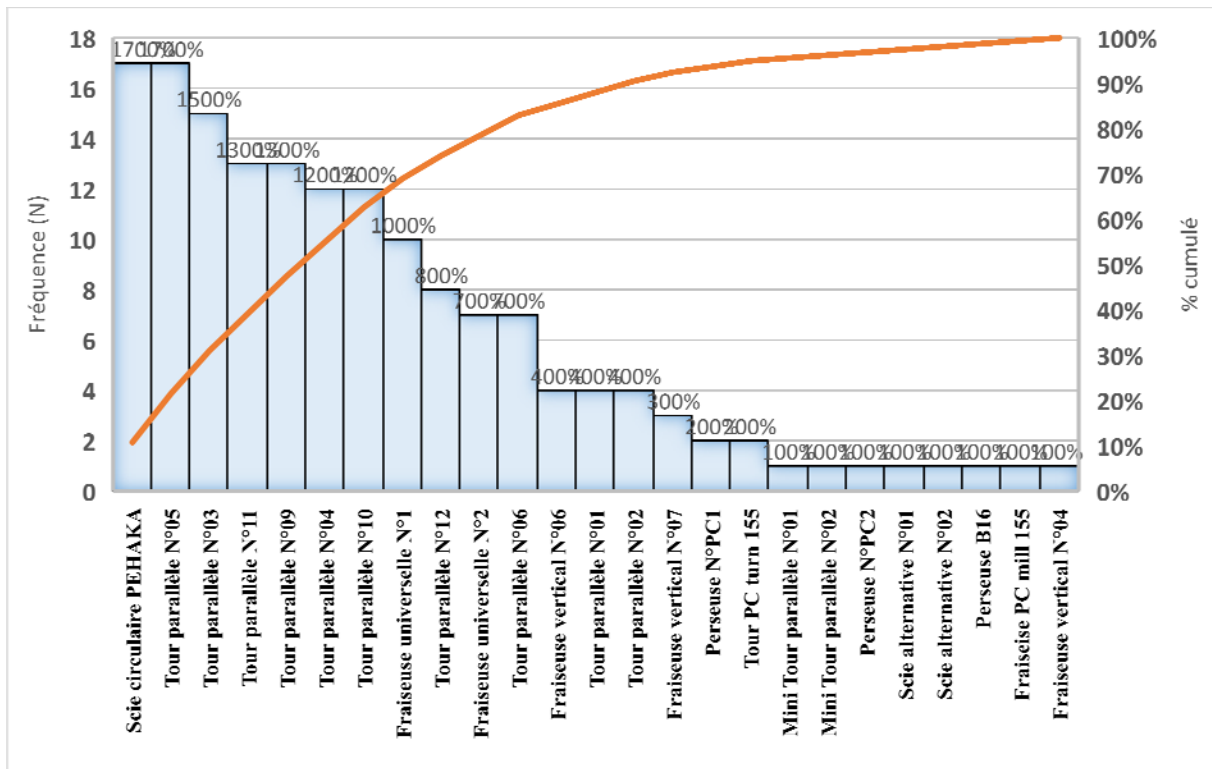


Figure III.3 Diagramme de fiabilité

III.3.4.2 Diagramme de maintenabilité

La figure III.4 représente le diagramme de maintenabilité des machines par rapport au temps de réparation "T" des pannes détectées dans chaque machine.

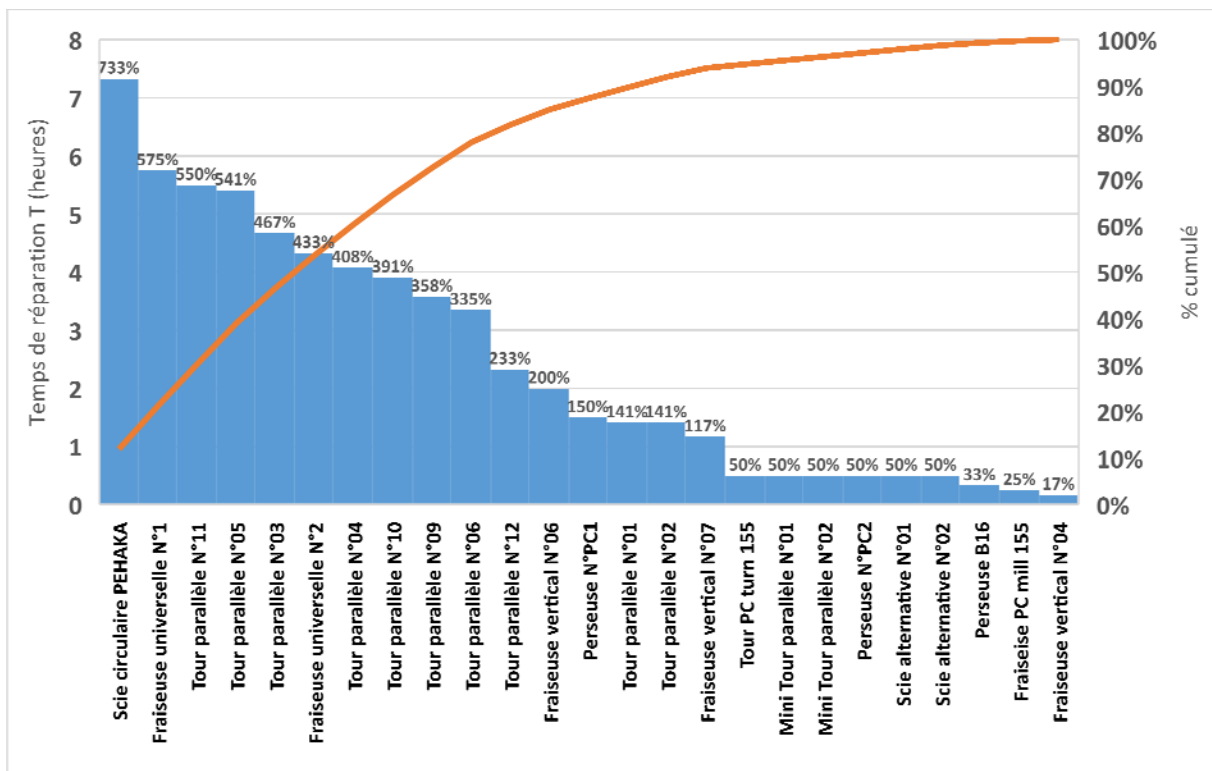


Figure III.4 Diagramme de maintenabilité

III.3.4.3 Diagramme de l'indisponibilité

La figure III.5 représente le diagramme de l'indisponibilité des machines qui indique l'indisponibilité calculée par le temps de réparation et la fréquence "N*T" pour chaque machine.

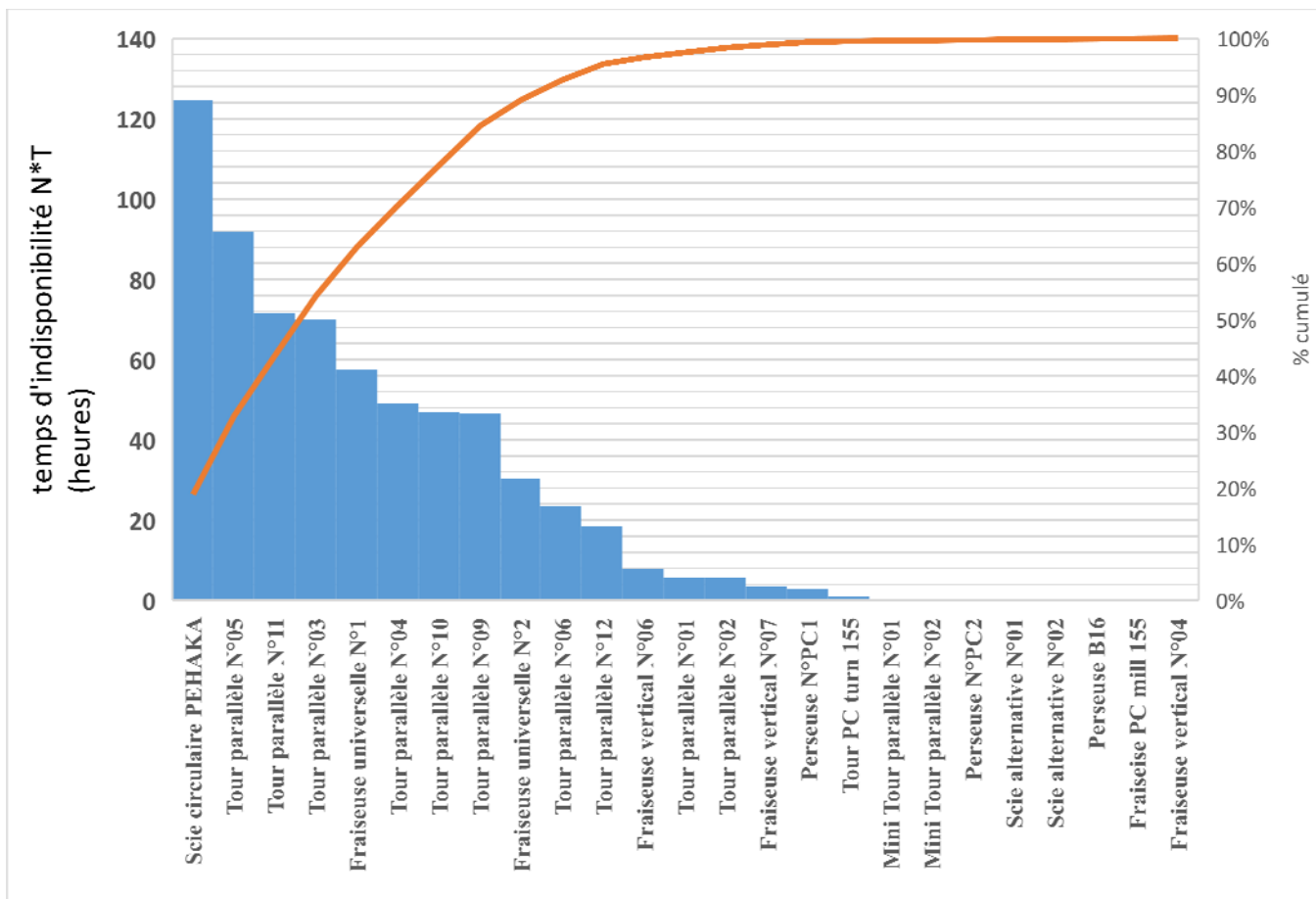


Figure III.5 Diagramme de l'indisponibilité

III.3.5 Détermination des zones de Pareto

Les résultats de l'application de la méthode Pareto amenée sur les machines du hall de technologie sont présentés dans le tableau III.4 :

Tableau III.4 Résultats priorisés selon les zones

Nom des machines	Fréquence N	Temps de réparation T	Indisponibilité N*T	Valeur cumulé	% cumulé	Zone
Scie circulaire PEHAKA	17	7.33	124.61	124.61	18.87%	Zone A
Tour parallèle N°05	17	5.41	91.97	216.58	32.79%	
Tour parallèle N°11	13	5.5	71.5	288.08	43.62%	
Tour parallèle N°03	15	4.67	70.05	358.13	54.22%	
Fraiseuse universelle N°1	10	5.75	57.5	415.63	62.93%	
Tour parallèle N°04	12	4.08	48.96	464.59	70.34%	
Tour parallèle N°10	12	3.91	46.92	511.51	77.44%	
Tour parallèle N°09	13	3.58	46.54	558.05	84.49%	Zone B
Fraiseuse universelle N°2	7	4.33	30.31	588.36	89.08%	
Tour parallèle N°06	7	3.35	23.45	611.81	92.63%	
Tour parallèle N°12	8	2.33	18.64	630.45	95.45%	Zone C
Fraiseuse vertical N°06	4	2	8	638.45	96.66%	
Tour parallèle N°01	4	1.41	5.64	644.09	97.52%	
Tour parallèle N°02	4	1.41	5.64	649.73	98.37%	
Fraiseuse vertical N°07	3	1.17	3.51	653.24	98.90%	
Perceuse N°PC1	2	1.5	3	656.24	99.36%	
Tour PC turn 155	2	0.5	1	657.24	99.51%	
Mini Tour parallèle N°01	1	0.5	0.5	657.74	99.58%	
Mini Tour parallèle N°02	1	0.5	0.5	658.24	99.66%	
Perceuse N°PC2	1	0.5	0.5	658.74	99.74%	
Scie alternative N°01	1	0.5	0.5	659.24	99.81%	
Scie alternative N°02	1	0.5	0.5	659.74	99.89%	
Perceuse B16	1	0.33	0.33	660.07	99.94%	
Fraiseuse PC mill 155	1	0.25	0.25	660.32	99.97%	
Fraiseuse vertical N°04	1	0.17	0.17	660.49	100.00%	

Donc comme résultat et en appliquant la loi des ABC, nous pouvons retenir comme résultat le nombre des machines dans la zone A, la zone B et la zone C

Tableau III.5 Division des machines par rapport aux zones

Zone	% cumulé	Nb machine
A	0 < A < 77.44%	7
B	77.44% < B < 95.45%	4
C	95.45% < C < 100%	14

On trace la courbe de Pareto selon la loi ABC retirée depuis le tableau III.4 pour une meilleure visualisation des zones qui sont : zone A, zone B et zone C.

Donc la courbe de Pareto dessinée ci-dessous :

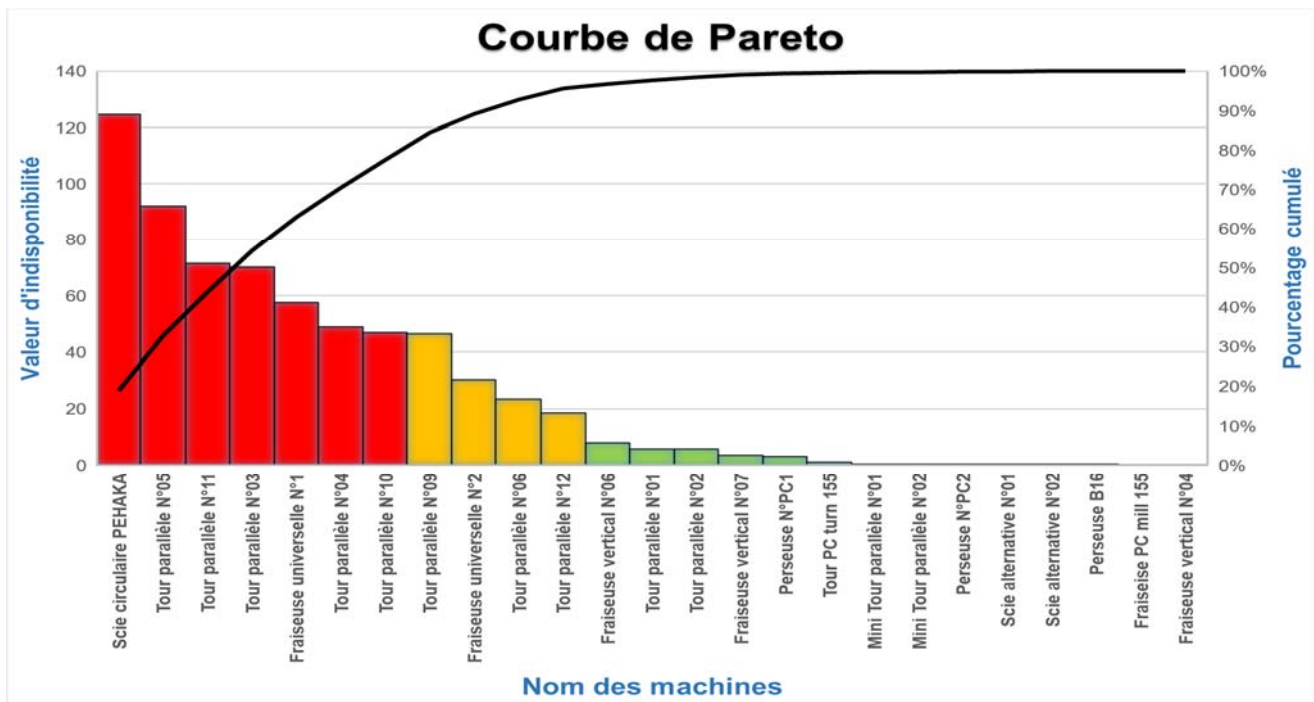


Figure III.6 Représentation de la courbe de Pareto

III.3.6 Interprétation des résultats

L'application de la méthode Pareto qu'on a faite a donné les résultats suivants :

- Les machines situées dans la zone A sont 7 machines comme suite : scie circulaire PEHAKA, tour parallèle N°05, tour parallèle N°11, tour parallèle N°03, fraiseuse universelle N°1, tour parallèle N°04, tour parallèle N°10. Ces machines représentent 77,44% du temps d'indisponibilité dans tout le hall. Donc ces machines ont la plus grande priorité dans le processus de maintenance Parce qu'elles ont un grand effet sur la maintenance.
- Les machines situées dans la zone B comportent 4 machines qui sont : tour parallèle N°09, fraiseuse universelle N°2, tour parallèle N°06, tour parallèle N°12. Ces machines représentent 18.01% du temps d'indisponibilité dans tout le hall. Cette classe représente des machines qui sont importantes, mais ces équipements n'ont pas la première priorité et peuvent être planifiés pour plus tard.
- Les machines situées dans la zone C comportent 14 machines qui sont : fraiseuse verticale N°06, tour parallèle N°01, tour parallèle N°02, fraiseuse verticale N°07, perceuse N°PC1, tour PC turn 155, mini tour parallèle N°01, mini tour parallèle N°02, perceuse N°PC2, scie alternative N°01, scie alternative N°02, perceuse B16, fraiseuse PC mill 155, fraiseuse verticale N°04. Ces machines représentent 4,55% du temps d'indisponibilité dans tout le hall. Cette classe représente les machines les moins importants, ceux qui n'ont aucun effet sur la réussite du processus de maintenance.

La méthode Pareto à permis à cette institution de déterminer les machines et les équipements à suivre individuellement : ce sont les machines de la classe A parce que leur temps d'indisponibilité est très élevé. Donc, ces machines représentent une part importante des interventions réalisées dans le hall depuis 2017. Lors de la planification de la maintenance dans le hall, on réduira le temps d'indisponibilité dans cette classe comme priorité.

III.3.7 Exploitation des résultats

D'après les résultats retenus après l'étude réalisée sur les machines du hall, nous priorisent donc les machines situées dans la zone A qui sont : Scie circulaire PEHAKA, Tour parallèle N°05, Tour parallèle N°11, Tour parallèle N°03, Fraiseuse universelle N°1, Tour parallèle N°04, Tour parallèle N°10.

Donc, l'étude va continuer sur les machines de cette zone en premier. Mais nous avons choisi de continuer notre étude sur la scie circulaire PEHAKA ROBOTER 250 pour plusieurs raisons, on peut citer :

- 1- La machine est l'équipement qui a le temps d'indisponibilité le plus élevé par rapport à toutes les autres machines du hall, c'est-à-dire si on peut réduire le temps d'indisponibilité de la scie en premier lieu ça va permettre de réduire 18,87% de temps d'indisponibilité générale ce qui énorme pour juste une seule machine.
- 2- La scie circulaire est unique : le hall contient juste une seule scie circulaire par rapport aux autres machines, par exemple le hall contient plusieurs tours, fraiseuses et perceuses, mais il contient seulement juste une scie circulaire.
- 3- Sans la scie circulaire, on ne peut pas réaliser la phase du processus de fabrication des pièces qui est la découpe des profilés métalliques donc on ne peut pas fabriquer les pièces, ce qui engendre l'arrêt total des TP et un manque des pièces dans les laboratoires (RDM, SDM...) de la faculté.

III.4 Description sur les scies mécaniques

Cette partie est consacrée pour donner un aperçu global des différents types des machines à scier qui existe.

III.4.1 Scie à main (manuelle)

Le dispositif de découpe manuelle connu sous le nom de "scie à main" se compose généralement de trois éléments : une monture ou un support pour la lame, une poignée pour une prise en main confortable et une lame. La monture est constituée d'un arc et peut être dotée d'une poignée à une extrémité et d'un tendeur à vis à l'autre, permettant ainsi d'étendre ou de réduire sa longueur. La rigidité de la monture est une caractéristique essentielle pour assurer une fixation optimale de la lame et garantir une découpe précise.



Figure III.7 Scie à main [34]

III.4.2 Scie alternative

Les scies alternatives sont des outils de coupe qui se caractérisent par un mouvement de va-et-vient de leur lame. Les lames des scies alternatives mécaniques sont disponibles dans une variété des tailles et de formes pour s'adapter à différents matériaux, tels que le bois, le métal et le plastique. Les lames peuvent également avoir des dents plus ou moins grossières selon la nature de la tâche. Par exemple, les lames avec des dents grossières sont souvent utilisées pour la découpe de matériaux épais

ou durs, tandis que les lames avec des dents plus fines sont utilisées pour les travaux de précisions. Les scies alternatives mécaniques sont souvent utilisées pour les travaux de coupe pour les brutes ou la matière première est creuse ou vide à l'intérieur.

III.4.3 Scie circulaire (Scie à ruban)

Les scies à ruban sont des outils de coupe utilisés pour couper des matériaux tels que les métaux. Ce type de Scie fonctionne d'une façon semi-automatique et utilisée pour couper des profilés (matières premières) qui sont pleins à l'intérieur. Leur mouvement continu de la lame du ruban permet d'obtenir un rendement beaucoup plus élevé que celui des scies alternatives. Elle utilise une lame flexible en boucle continue qui tourne sur deux poulies de grand diamètre et elle est dirigée dans la région de coupe par quatre guides à roulement.

III.4.3.1 Caractéristiques de la Scie circulaire PEHAKA ROBOTER 250 SL

- Modèle : Rob 250 SL.
- Moteur : 2.2 KW.
- Voltage : 380 V.
- Numéro de série : 34981.
- Longueur de lame : [3580-3700] mm
- Largeur de lame : 25 mm
- Cycle : 03 phases avec 50 Hz.
- Vitesse du ruban : 20-80 m/min.

III.5 Application de la méthode AMDEC sur la scie circulaire

Dans le cadre de notre étude, nous avons opté pour l'utilisation de la méthode AMDEC, qui nous permettra d'analyser en profondeur les défaillances potentielles et d'identifier les éléments critiques du différent système de la scie circulaire PEHAKA ROBOTER 250 SL. Cette approche nous permettra également de déterminer les causes et les modes de défaillance du système.

Nous avons d'abord collecté des données depuis l'historique des interventions. Ces données nous ont permis d'évaluer les performances passées de la scie, ainsi que les défaillances qui ont pu survenir dans le passé. Nous avons ensuite calculé les criticités des différents systèmes de la scie, en utilisant des outils statistiques avancés.

En appliquant la méthode AMDEC à la scie circulaire PEHAKA ROBOTER 250 SL, nous avons obtenu des résultats détaillés sur les défaillances potentielles et les risques associés à chaque composant. Ces résultats sont présentés dans le tableau AMDEC, qui constitue une base solide pour l'élaboration de stratégies de maintenance préventive et de gestion des risques.

III.5.1 Etude de fonctionnement

La scie circulaire PEHAKA ROBOTER 250 SL se compose principalement de 6 systèmes, chaque système a son propre rôle dans le fonctionnement de la scie circulaire :

Tableau III.6 Analyse descendante de la scie circulaire

Machine	Scie circulaire					
systèmes	Système d'entraînement de la barre à débiter	Système d'entraînement des roues de scie	Système hydraulique	Système de refroidissement	Panneau de commande	Armoire électrique
composants	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dispositif de transmission ▪ Moteur électrique ▪ Afficheur niveau d'huile ▪ Bouchon pour le remplissage ▪ Bouchon pour la vidange ▪ Convoyeur ▪ Capteur de position ▪ Cylindres de serrage du brut ▪ Volant de serrage 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poulies ▪ Courroie ▪ Capteur de vitesse ▪ Volant de réglage de la vitesse ▪ Vis de fixation du volant ▪ Variateur de vitesse ▪ Roue réceptrice ▪ Basculeur ▪ Capteur de position de sécurité ▪ Lame de scie ▪ Bras de guidage de lame de scie ▪ Rail de guidage 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pompe hydraulique ▪ Réservoir d'huile ▪ Afficheur niveau d'huile ▪ Vérin ▪ Tuyaux ▪ Vanne de régulation ▪ 2 capteurs de position 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pompe de refroidissement ▪ Tuyaux de retour vers le réservoir ▪ Tuyaux de refoulement de lubrifiant ▪ Réservoir de lubrifiant ▪ Vanne de lubrification ▪ Buses 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Compteur de prédéterminent ▪ Lampe témoin ▪ Commutateur à 02 positions de la vitesse ▪ Commutateur à 04 positions de la vitesse ▪ Bouton poussoir simple ▪ Tachymètre ▪ Arrêt d'urgence 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Borniers ▪ Fils et câbles électriques ▪ Disjoncteurs ▪ Contacteur ▪ Relais ▪ Commutateur principale ▪ Fusibles ▪ Transformateur électrique

1- Système d'entraînement de la barre à débiter

La fonction principale du système d'entraînement de la barre à débiter dans la scie circulaire est de garantir que la barre est disponible en continu dans la zone de coupe de manière rapide et précise grâce à l'utilisation d'un système de convoyage.

Les composants principaux de ce système sont représentés dans les figures III.8 et III.9 :

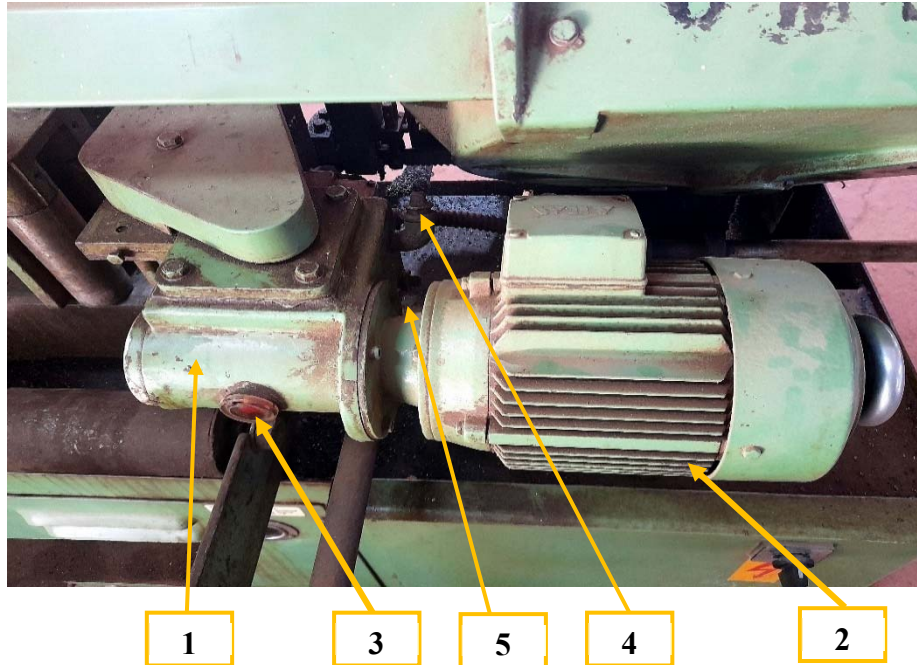


Figure III.8 Système d'entraînement de la barre à débiter (partie 1)

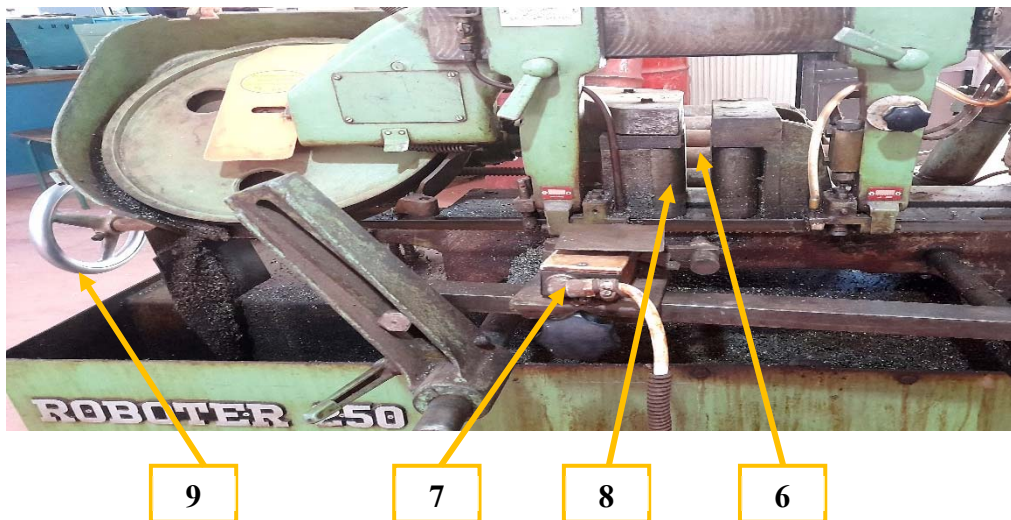


Figure III.9 Système d'entraînement de la barre à débiter (partie 2)

- 1- Dispositif de transmission
- 2- Moteur électrique
- 3- Afficheur niveau d'huile
- 4- Bouchon pour le remplissage
- 5- Bouchon pour la vidange
- 6- Convoyeur

- 7- Capteur de position
- 8- Cylindres de serrage du brut
- 9- Volant de serrage

2- Système d'entraînement des roues de scie

Le système d'entraînement des roues de la scie a une mission de faire tourner la lame de scie avec une vitesse constante et précise. Ce système est conçu pour assurer une grande stabilité et une grande précision de coupe. Le système d'entraînement est également équipé d'un dispositif de régulation de la vitesse de rotation de la lame de scie, pour ajuster la vitesse en fonction des propriétés des matériaux à couper et des besoins de la coupe.

Les composants essentiels de ce système sont représentés dans les figures III.10 et III.11 :

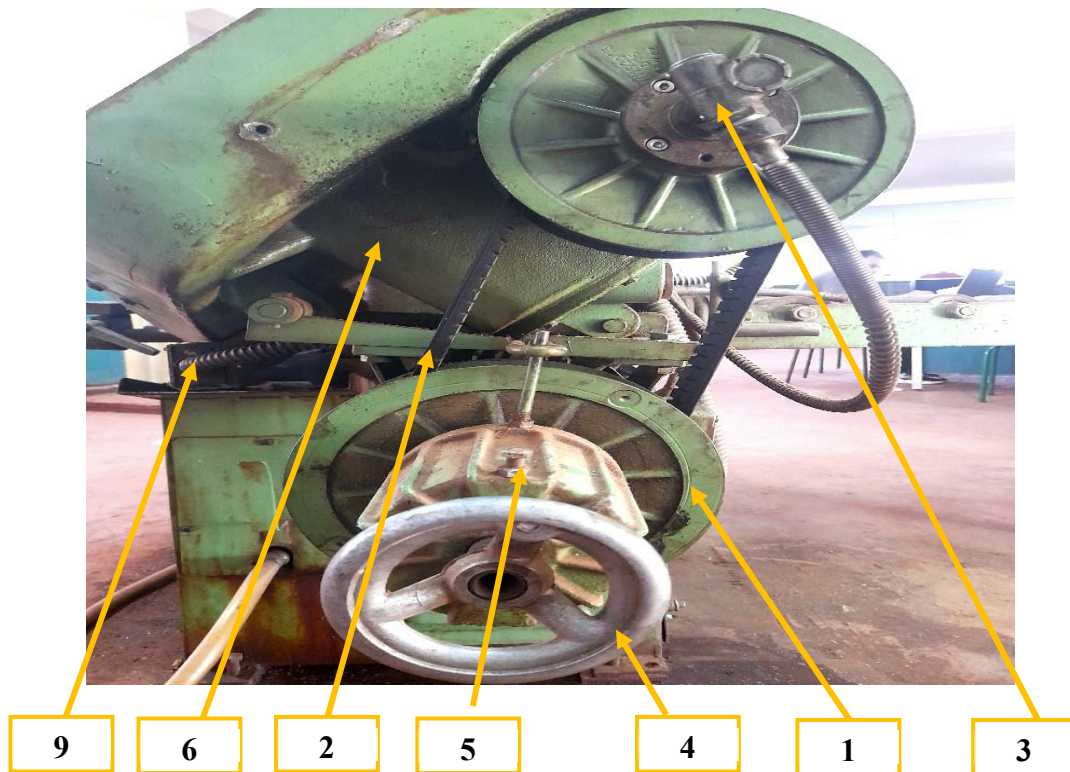


Figure III.10 Système d'entraînement des roues de scie (partie 1)

- 1- Poulies
- 2- Courroie
- 3- Capteur de vitesse
- 4- Volant de réglage de la vitesse
- 5- Vis de fixation du volant
- 6- Variateur de vitesse
- 7- Roue réceptrice
- 8- Basculeur
- 9- Capteur de position de sécurité
- 10- Lame de scie
- 11- Bras de guidage de lame de scie
- 12- Rail de guidage

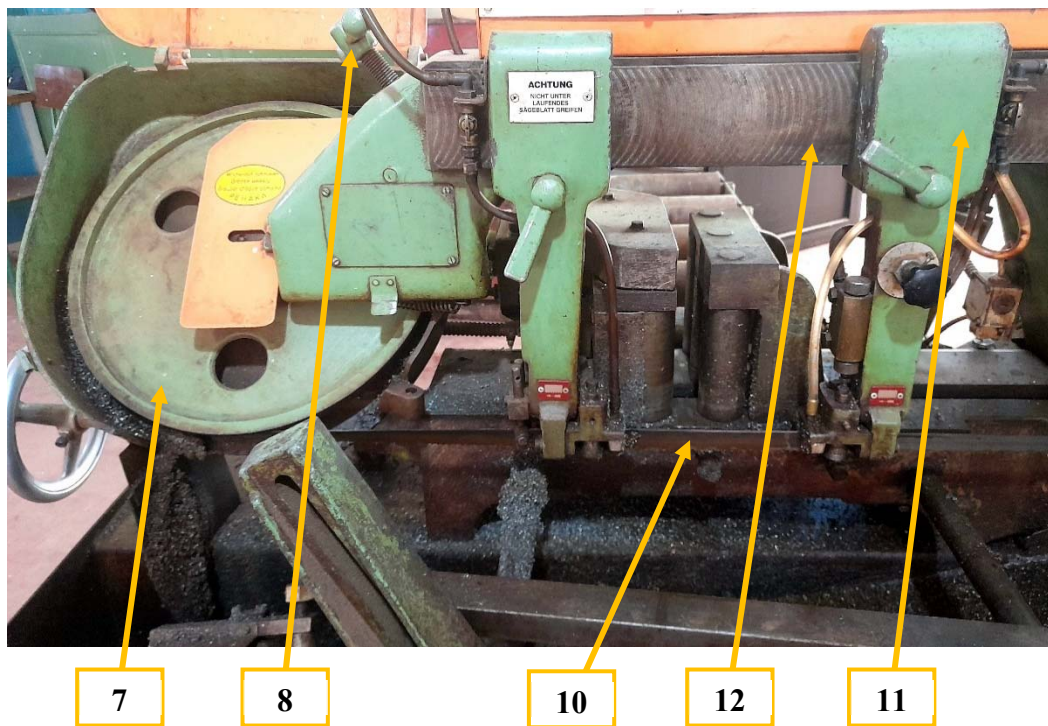


Figure III.11 Système d’entraînement des roues de scie (partie 2)

3- Système hydraulique

La fonction principale du système hydraulique dans la scie circulaire PEHAKA ROBOTER 250 SL c’est de fournir la puissance et l’énergie nécessaire de manière constante et stable pour lever le bras de scie.

Les composants principaux qui constituent ce système sont représentés dans la figure III.12 :

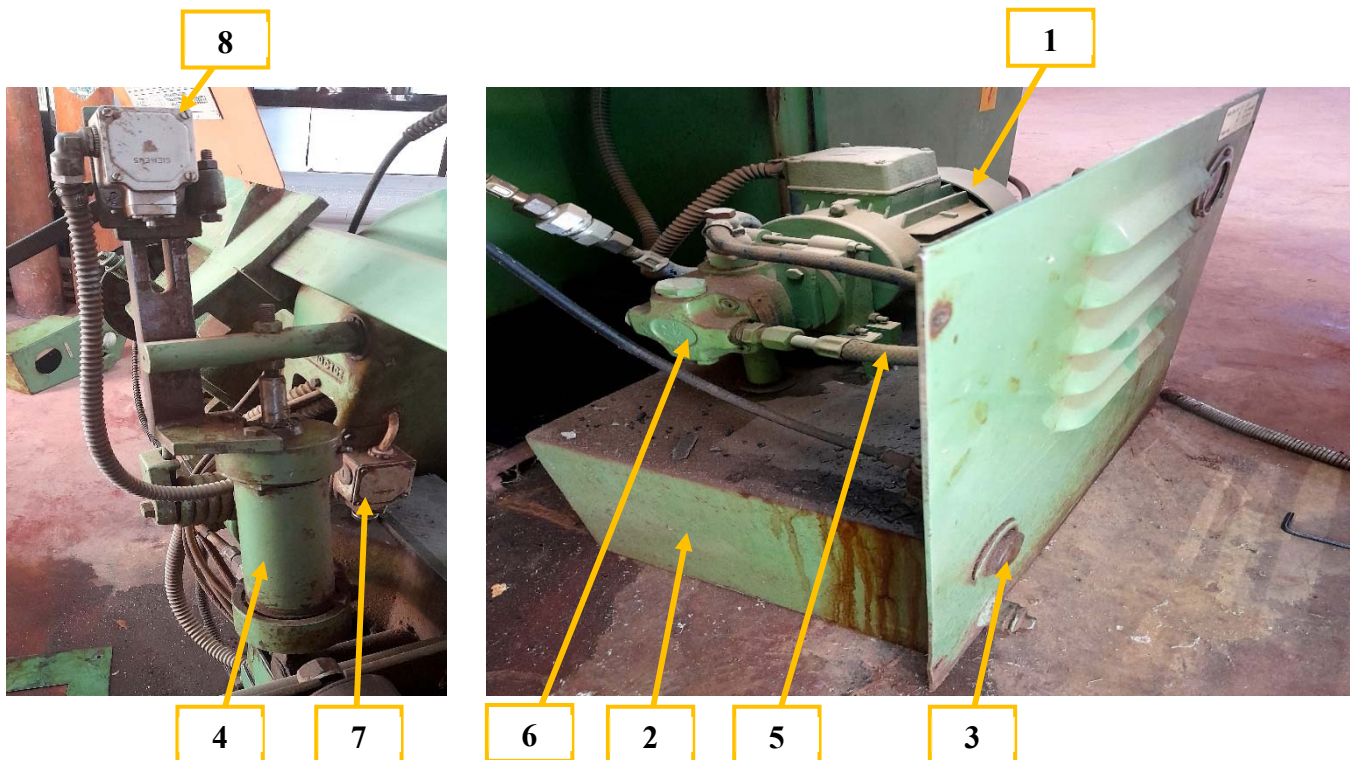


Figure III.12 Système hydraulique

- 1- Pompe hydraulique
- 2- Réservoir d'huile
- 3- Afficheur niveau d'huile
- 4- Vérin
- 5- Tuyaux
- 6- Vanne de régulation
- 7- Capteurs de position

4- Système de refroidissement

La fonction principale du système de refroidissement dans la scie circulaire PEHAKA ROBOTER 250 est de maintenir une température de coupe stable et appropriée. Lorsque la lame de la scie circulaire entre en contact avec la pièce à couper, elle génère de la chaleur en raison de la friction. Si la température de la lame devient trop élevée, elle peut se déformer ou se fissurer. Le système de refroidissement de la scie circulaire utilise un lubrifiant spécial pour réduire la température de la lame pendant la coupe.

Les composants essentiels situés dans ce système sont représentés dans les figures III.13 et III.14 :

- 1- Pompe de refroidissement
- 2- Tuyaux de retour vers le réservoir
- 3- Tuyaux de refoulement de lubrifiant
- 4- Réservoir de lubrifiant
- 5- Vanne de lubrification
- 6- Buses

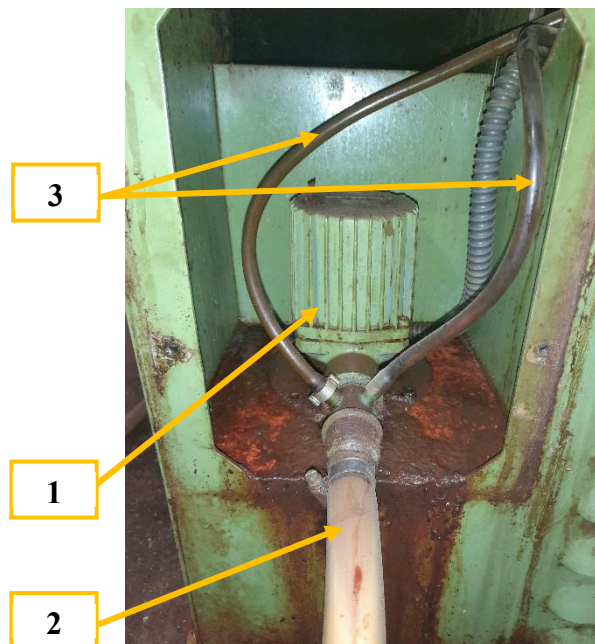


Figure III.13 Système de refroidissement (partie 1)

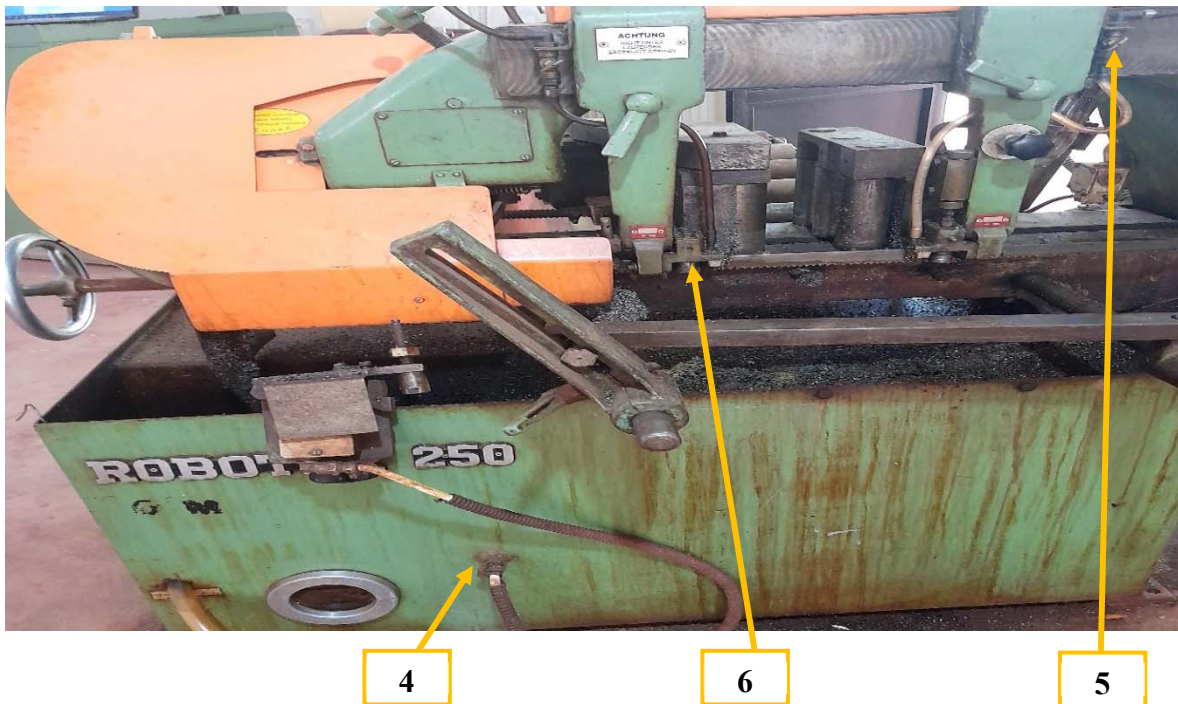


Figure III.14 Système de refroidissement (partie 2)

5- Panneau de commande

La fonction principale du panneau de commande dans la scie circulaire PEHAKA ROBOTER 250 est de permettre à l'utilisateur de contrôler et de régler les paramètres de la machine pour une coupe précise et efficace. Le panneau de commande est l'interface principale entre l'opérateur et la machine. En outre, le panneau de commande peut également fournir des informations sur l'état de la machine, telles que les alertes à partir des lampes témoins et la vitesse à partir. Certains modèles peuvent également offrir la possibilité de mémoriser les paramètres de coupe pour les travaux fréquemment répétés.

Les composants principaux qui représentent ce système sont représentés dans la figure III.15 :

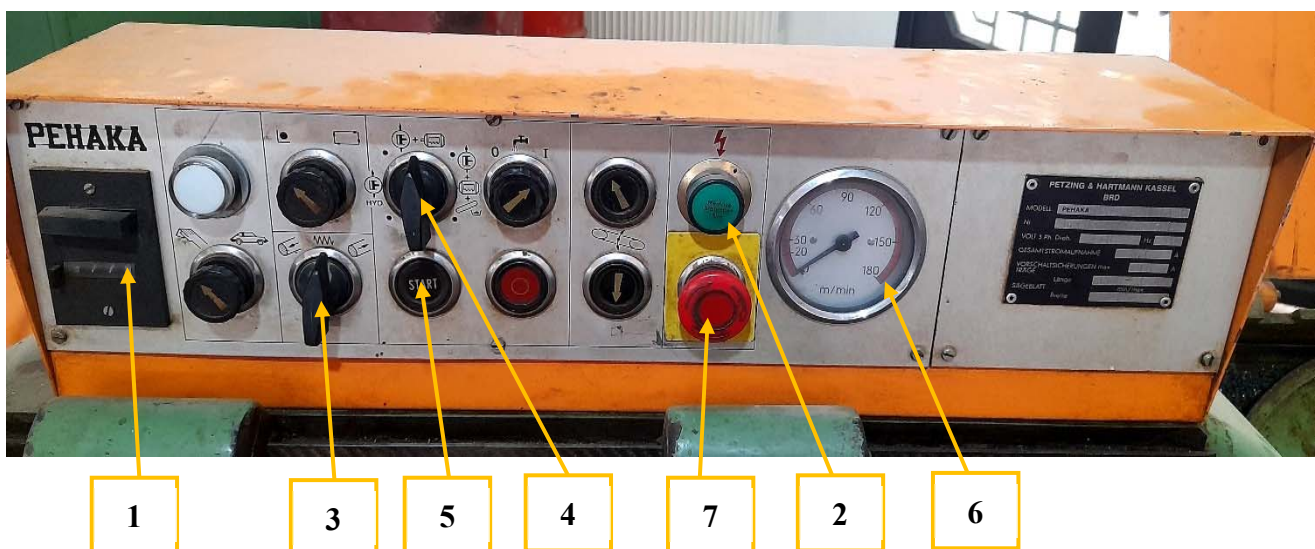


Figure III.15 Panneau de commande

- 1- Compteur de prédéterminent électrique
- 2- Lampe témoin
- 3- Commutateur à 02 positions
- 4- Commutateur à 04 positions
- 5- Bouton poussoir simple
- 6- Tachymètre, indique la vitesse de la lame de scie en m/min
- 7- Arrêt d'urgence

6- Armoire électrique

La fonction principale de l'armoire électrique dans la scie circulaire PEHAKA ROBOTER 250 SL est de fournir l'alimentation électrique nécessaire pour faire fonctionner la machine et de contrôler les différentes fonctions électriques de la scie circulaire. L'armoire électrique est le boîtier qui contient tous les composants électriques qui ont juste une fonction principale c'est fournir l'alimentation électrique nécessaire à la machine pour faire fonctionner les différents moteurs, pompes...

Les composants qui se trouvent dans ce système sont représentés dans la figure III.16 :

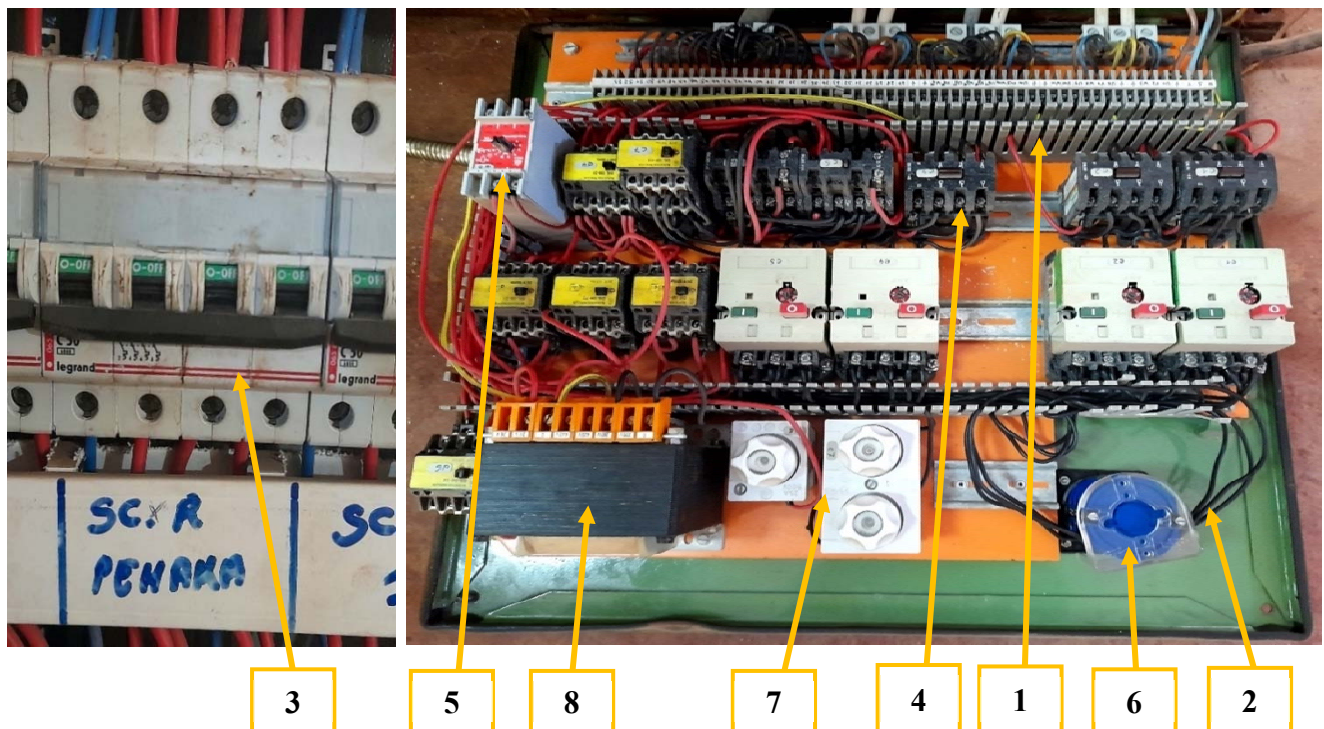


Figure III.16 Armoire électrique

- 1- Borniers.
- 2- Fils et câbles électriques.
- 3- Disjoncteurs.
- 4- Contacteurs.
- 5- Relais.
- 6- Commutateur principal.
- 7- Fusibles.
- 8- Transformateur électrique.

III.5.2 Analyse de défaillance

III.5.2.1 Modes de défaillance

C'est la manière dont un système vient à ne pas fonctionner. Ils sont relatifs à la fonction de chaque élément. Une fonction peut avoir 4 façons de ne pas être correctement effectuée :

- **Plus de fonction** : la fonction va arrêter carrément.
- **Pas de fonction** : la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la demande.
- **Fonction dégradée** : la fonction ne se réalise pas de la meilleure manière.
- **Fonction intempestive** : la fonction se réalise lorsqu'elle n'est pas sollicitée.

Tableau III.7 Modes de défaillance potentiels

Modes de défaillances	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Plus de fonction	<ul style="list-style-type: none"> • Composant défectueux 	<ul style="list-style-type: none"> • Composant défectueux • circuit coupé ou bouché 	<ul style="list-style-type: none"> • Rupture • blocage, grippage
Pas de fonction	<ul style="list-style-type: none"> • Composant ne répondant pas à la sollicitation dont il est l'objet • Connexions débranchées • fils desserrés 	<ul style="list-style-type: none"> • connexions ou raccords débranchés 	/
Fonction dégradée	<ul style="list-style-type: none"> • Dérive des caractéristiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise étanchéité • usure 	<ul style="list-style-type: none"> • Désolidarisation • jeu
Fonction intempestive	<ul style="list-style-type: none"> • Perturbations (parasites) 	<ul style="list-style-type: none"> • perturbations (coups de béliers) 	/

III.5.2.2 Conséquences de défaillance

Les différents effets qu'on peut les rencontrer dans le domaine industriel sont :

- Des effets sur le fonctionnement et l'état matériel des biens.
- Des problèmes dans la disponibilité des biens.
- Augmenter le coût direct et indirect de maintenance.
- Réduire la qualité du produit ou du service réalisé.
- Diminution de la sécurité des exécutants de réalisation ou de maintenance.
- Avoir un impact négatif sur l'environnement.

III.5.2.3 Causes de défaillance

Il existe 3 types de causes principales qui déclenchent un mode de défaillance :

- Causes internes relatives au matériel.
- Causes externes dues à l'environnement ou dans le milieu d'utilisation ou à l'exploitation.
- Causes externes dues à la main d'œuvre.

Tableau III.8 Causes de défaillances potentielles

Causes de défaillance	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Causes internes matériel	<ul style="list-style-type: none"> • Vieillessement composant HS (mort subite) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vieillessement composant HS (mort subite) • Colmatage • fuites 	<ul style="list-style-type: none"> • Vibration • Fatigue mécanique • Usure, déformation • Défaut de conception.
Causes externes milieu exploitation	<ul style="list-style-type: none"> • Pollution (poussière, huile, eau) • Chocs • Vibrations • Échauffement local • Parasites • Perturbations électriques 	<ul style="list-style-type: none"> • Température ambiante. • Pollution (poussières, huile, eau). • Vibrations • Échauffement local • Chocs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosion • Pollution (poussières, huile, eau) • Vibrations • échauffement local - chocs
Causes externes Main d'œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en œuvre • Utilisation cyclique • Sabotage • Qualité de réparation ou des pièces de rechange. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en œuvre • Utilisation cyclique • Sabotage • Qualité de réparation ou des pièces de rechange. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en œuvre • Utilisation cyclique • Manipulation. • Qualité de réparation ou des pièces de rechange.

III.5.3 Evaluation de la criticité

III.5.3.1 Grille de cotation

La criticité est calculée pour chaque défaillance, par la multiplication des trois critères selon la loi : $C = F \times G \times D$.

Pour notre cas d'étude, nous avons créé notre grille de cotation selon la base des données récupérées et les informations sur la machine avec le parrainage d'un spécialiste de la maintenance du hall de technologie qui connaît bien la machine et qui connaît aussi les systèmes avec leurs composants pour donner une crédibilité pour la grille de cotation proposée. La grille est représentée dans le tableau III.9 :

III.5.3.2 Classification et matrice de criticité

La matrice de criticité prend en compte comme critère : gravité (G), fréquence (F) et détectabilité (D). Lorsqu'on applique la loi qui est : $C = F \times G \times D$, on va avoir une criticité entre : $1 < C < 64$. Donc, pour distinguer le niveau de risque de chaque criticité calculée, nous utilisons une matrice de classification appelée la matrice de criticité qui classe le niveau de criticité calculé dans trois zones de risque. La matrice de criticité est indiquée dans le tableau III.10 :

Tableau III.9 Grille de cotation de notre système

Fréquence	Gravité (coût - temps d'arrêt)	DéTECTABILITÉ
1 : moins d'une fois par an	1 : temps d'arrêt < 20 min Coût ; prix bas + disponible	1 : détection facile (visuelle)
2 : moins d'une fois par 6 mois	2 : temps d'arrêt < 1 heure Coût ; prix moyen + disponible Coût ; prix bas + indisponible	2 : détection facile mais nécessite l'utilisation des outils
3 : moins d'une fois par mois	3 : temps d'arrêt < 1 semaine Coût ; prix moyen + indisponible Coût ; prix élevé + disponible	3 : détection difficile
4 : plus d'une fois par semaine	4 : temps d'arrêt > 1 semaine Coût ; prix élevé + indisponible	4 : aucune détection

Tableau III.10 Classification des zones selon la criticité

	$1 < C < 12$: zone à risque acceptable
	$12 < C < 36$: zone à risque devant faire des mesures
	$36 < C < 64$: zone à risque inacceptable

La figure III.17 représente la grille de classification des zones selon la criticité par rapport aux trois paramètres :

		D			
		1	2	3	4
F	4	4	16	36	64
	3	3	12	27	48
	2	2	8	18	32
	1	1	2	9	16
		1	2	3	4
G					

Figure III.17 Matrice de criticité

Après avoir défini la décomposition structurelle et fonctionnelle de la scie circulaire PEHAKA ROBOTER 250, nous allons maintenant appliquer l'AMDEC pour chaque système de la machine comme représente le tableau III.11 :

Tableau III.11 Tableau AMDEC

Application de la méthode AMDEC sur la Scie circulaire										
ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE AMDEC										
N°	ELEMENT	FONCTION	M.D	CAUSE	EFFET LOCAL	EFFET SYSTEME	CRITICITE			
							F	G	D	C
1	système d'entraînement de la barre à débiter	Garantir que la matière première est disponible en continu dans la zone de coupe	Défaillance des composants mécaniques	<ul style="list-style-type: none"> • Usure des pièces • Vibration • Corrosion • Déformation 	<ul style="list-style-type: none"> • Un retard dans le processus de coupe • Des pièces de mauvaise qualité 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation manuelle de la machine par l'opérateur • Production réduite. • Les pièces non-équivaux 	1	2	2	4
			Défaillance électrique	<ul style="list-style-type: none"> • Court-circuit • Défaillance du moteur électrique • Dégradation des câbles électriques 	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêt du moteur électrique 					
			Défaillance du système de contrôle	<ul style="list-style-type: none"> • Défaillance de capteur de la position • Problème dans la commande 	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de la capacité de contrôle du brut 					
2	système d'entraînement des roues de scie	Faire tourner la lame de scie à une vitesse constante et précise	Défaillance mécanique	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais alignement des roues • Mauvaise pression • Utilisation d'une lame de scie inappropriée 	<ul style="list-style-type: none"> • Endommager la lame de scie • Une perte de précision et une qualité de coupe réduite • Problème de serrage 	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêt de la machine • Une baisse de la productivité • Des déchets de matériaux • Endommager les outils de coupe • Le cout de réparation 	2	4	3	24
			Défaillance du moteur électrique	<ul style="list-style-type: none"> • Surchauffe du moteur • Problème d'isolation du moteur • Grippage du moteur • Manque de protection 	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêt du moteur • Une perte de puissance et de couple 					

N°	ELEMENT	FONCTION	M.D	CAUSE	EFFET LOCAL	EFFET SYSTEME	CRITICITE			
							F	G	D	C
2	système d'entraînement des roues de scie	Faire tourner la lame de scie à une vitesse constante et précise	Problème de lubrification	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais graissage Utilisation de l'huile inappropriée 	<ul style="list-style-type: none"> Une usure prématurée des composants du système Augmenter la friction entre les pièces Accumulation de chaleur 					
			Problème de transmission de vitesse	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais alignement des courroies Usure excessive Courroie cassée 	<ul style="list-style-type: none"> Perte de puissance dans le système Pas de mouvement 					
3	système de refroidissement de la lame	Maintenir la lame de scie à une température optimale pendant la coupe des brutes	Défaillance de la pompe	<ul style="list-style-type: none"> Tension d'alimentation Usure normale Fonctionnement à vide Défaillance de turbine de pompe Problème d'étanchéité 	<ul style="list-style-type: none"> Une réduction du débit de liquide La surchauffe de la lame La déformation de la lame 	<ul style="list-style-type: none"> La surchauffe du tout le système de refroidissement Réduction de l'efficacité du système Un risque de sécurité Risque de cassure ou de fissure de la lame Des coûts de réparation et de remplacement 	2	3	2	12
			Obstruction de la ligne du lubrifiant	<ul style="list-style-type: none"> Accumulation de débris Manque d'entretien 	<ul style="list-style-type: none"> Diminution du débit de lubrifiant La surchauffe Dégradation de la qualité du lubrifiant 					
			Fuite dans la ligne ou dans le réservoir	<ul style="list-style-type: none"> Usure normale Dommages physiques Installation incorrecte 	<ul style="list-style-type: none"> Réduction du débit de liquide Risque d'incendie Des dommages aux composants 					
4	système hydraulique	Fournir la puissance et l'énergie nécessaire pour effectuer des opérations pour différentes parties de la machine	Problème mécanique Soupape – vis à tête	<ul style="list-style-type: none"> Desserrage ou sur serrage de la vis à tête moletée Usure ou casse de la vis Accumulation de débris Blocage de passage de lubrifiant 	<ul style="list-style-type: none"> Perte le contrôle sur le débit de fluide Perturbation dans l'opération de lubrification Une surpression dans la soupape 		1	4	3	12

N°	ELEMENT	FONCTION	M.D	CAUSE	EFFET LOCAL	EFFET SYSTEME	CRITICITE			
							F	G	D	C
4	système hydraulique	Fournir la puissance et l'énergie nécessaire pour effectuer des opérations pour différentes parties de la machine	Défaillance de tuyauterie	<ul style="list-style-type: none"> • La saleté du système • Vieillessement des composants • Erreurs d'installation 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de fuites • Usure prématurée des composants • Risque de dommages aux composants 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque d'accident ou d'incendie • Réduction de la durée de vie des composants • Augmentation de la consommation d'énergie • Incapacité de la scie circulaire à effectuer certaines tâches • Inclinaison ou mouvement instable de la scie circulaire 				
			Défaillance des pompes et des vérins	<ul style="list-style-type: none"> • Usure des pompes et des vérins • Vibrations excessive • Le temps d'utilisation très élevé • L'application d'une charge ou une tension supérieure à la capacité nominale 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la température du système hydraulique • Une chute de pression dans le système • Bruits anormaux dans le système 					
5	Panneau de commande	Permettre à l'utilisateur de faire un contrôle précis sur la machine et de régler différents paramètres de la scie	Défaillance électrique	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilité de la source d'énergie • Dégradation dans l'état des câbles • Problèmes de connexion électrique 	<ul style="list-style-type: none"> • Le dysfonctionnement des composants • Endommagé des composants • perturbation dans le système 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque pour la sécurité • Empêchera de contrôler la scie • Arrêt de production 				
			Dysfonctionnement des dispositifs électriques (boutons, commutateurs...)	<ul style="list-style-type: none"> • Cassure, grippage • Mauvaise utilisation • Conditions environnementales extrêmes 	<ul style="list-style-type: none"> • Perdre le contrôle sur le panneau • La mauvaise exécution des commandes 		1	3	2	6
			Erreurs d'affichage	<ul style="list-style-type: none"> • Défaillance de l'afficheur : tachymètre 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté dans la manipulation • Erreurs de diagnostic • Perte confiance sur les données 					
6	armoie électrique	Fournir de l'énergie électrique d'une façon stable à la scie circulaire pour assurer son fonctionnement continu	Défaillance électrique	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilité de la source d'énergie principale. • Dégradation dans l'état des câbles. • Présence de poussières • Faute d'installation. • Problèmes dans la protection (les fusibles...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Endommagé des composants de l'armoie • Perturbation dans le système • Risque d'endommager toute l'armoie • Risque d'électrocution 	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêt de la machine • Perte ou ralentissement de production • Risque pour la sécurité • Coûts de réparation 	1	3	3	9

III.5.4 Proposition d'amélioration

Le choix du type d'action corrective à mettre en place doit être guidé par le critère le plus pénalisant dans la note de criticité, par exemple :

- Si la criticité d'une défaillance est élevée du fait de la gravité, les actions correctives et amélioratrices doivent viser à diminuer la gravité en priorité pour essayer de réduire le maximum la valeur de la criticité.
- Lorsqu'on applique les actions correctives et amélioratrices sur le système et aucune des actions ne peuvent pas ramener l'indice de gravité au-dessous de 4. Donc dans ce cas, on doit définir des actions qui visent à maintenir ou à ramener les deux autres critères qui sont : fréquence, détection à une valeur égale à 1. Pour essayer de garder la criticité dans la valeur minimum possible.

III.5.5 Interprétation des résultats

Après avoir calculé les criticités des différents systèmes de la scie circulaire, on trace l'histogramme (figure III.18) qui nous permet de faire un classement des systèmes selon la criticité et de découvrir le système qui a la plus grande criticité par rapport aux autres systèmes.

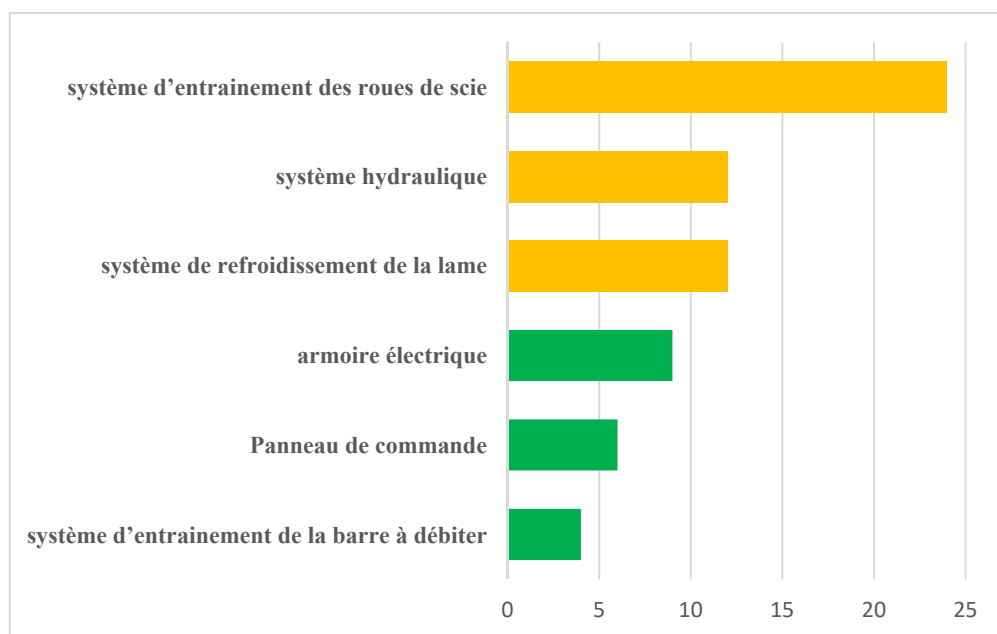


Figure III.18 Histogramme de classement des résultats de criticité

Selon l'histogramme nous pouvons dire que le système qui a la criticité la plus élevée est le système d'entraînement des roues, en deuxième position nous avons le système hydraulique avec le système de refroidissement de la lame, ces systèmes ont une criticité importante mais ils ne sont pas prioritaires.

L'application de la méthode AMDEC sur la scie circulaire PEHAKA 250 a donné les résultats suivants :

- Les systèmes situés dans la zone verte sont 3 systèmes comme suite : système d'entraînement de la barre à débiter avec une criticité de 4, système de panneau de commande avec une criticité de 6 et système d'armoie électrique avec une criticité de 9. Ces systèmes représentent la zone

verte dans notre étude parce qu'ils ont une criticité entre $1 < C \leq 12$, cette zone représente une zone de risque acceptable. Donc, on ne va pas considérer ces systèmes dans la suite de l'étude et ces systèmes n'ont pas la plus grande priorité dans le processus de maintenance.

- Le système situé dans la zone orange composée de 3 systèmes qui sont : système d'entraînement des roues de la scie avec une criticité de 24, système hydraulique avec une criticité de 12 et le système de refroidissement avec une criticité de 12. Ces systèmes ont une criticité entre $12 < C < 36$ et représentent une zone de risque qui nécessite des mesures, c'est-à-dire la planification des actions préventives ou correctives est nécessaire parce que ces systèmes ont la priorité dans le processus de maintenance et doivent être planifiés lorsque c'est possible.
- La méthode AMDEC permet à cette institution de déterminer les systèmes à suivre individuellement : ce sont les systèmes de la zone orange en première position parce que leur criticité est la plus élevée et les systèmes de la zone verte en deuxième position parce qu'ils ont une criticité acceptable et peuvent être planifiés juste après les systèmes de la zone orange.

III.5.6 Exploitation des résultats

D'après les résultats retenus après l'étude AMDEC réalisée sur les systèmes de la scie circulaire PEHAKA 250 du hall, nous avons choisis le système situé dans la zone orange qui est : le système d'entraînement des roues parce qu'il est le système avec la criticité la plus élevée.

Donc, l'étude va continuer sur ce système et ces composants en premier. Mais nous devons choisir le composant critique de ce système pour continuer notre étude en appliquant la méthode de Weibull sur ce composant. Dans ce système, le composant critique c'est la lame de scie pour plusieurs raisons, on peut citer :

- D'après l'historique de la machine, La lame de scie est le composant qui a le temps d'indisponibilité le plus élevé par rapport à tous les autres composants du système. La lame de scie a le nombre le plus élevé de fréquence des pannes (nombre de défaillances $N = 9$) et le temps de réparation le plus élevé (51,15% de temps de réparation est pour la lame de scie). Donc, la lame est le composant qui a la criticité la plus élevée.
- La présence de la lame dans la scie circulaire est obligatoire dans le processus de fabrication. Sans la lame de scie, on ne peut pas réaliser les opérations de découpe des profilés et des brutes parce que la lame de scie est le responsable principal de cette opération. Donc on ne peut pas fabriquer les pièces, ce qui engendre l'arrêt total des TP pour les étudiants et un manque des pièces dans les laboratoires (RDM, SDM...) de la faculté.

III.6 Grandeurs de Fiabilité Maintenabilité Disponibilité (FMD)

Les différentes grandeurs qui caractérisent la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité selon la norme **NF-X-60-020** :

- **MTBF** (Mean Time Between Failure) : le MTBF est une mesure de la fiabilité d'un système. Il représente le temps moyen entre deux pannes d'un système. Le MTBF est souvent utilisé dans le domaine de l'ingénierie pour évaluer la fiabilité des composants et des systèmes. Il permet de déterminer le temps moyen que le système peut fonctionner avant qu'une panne ne se produise.
- **MTTR** (mean time to repair) : le MTTR est une mesure de la fiabilité et de la disponibilité d'un système. Il représente le temps moyen de réparation d'un système après une panne. Plus

précisément, il s'agit du temps écoulé entre le moment où la panne est signalée et le moment où le système est remis en service. Le MTTR est souvent utilisé lors de l'évaluation d'un système.

- **MUT** (mean up time) : représente le temps moyen de disponibilité d'un système. Le MUT représente le temps moyen pendant lequel le système est disponible et en mesure de fournir ses fonctions prévues.

Contrairement au MTBF qui mesure le temps moyen entre les pannes, le MUT mesure le temps moyen de fonctionnement continu entre les pannes.

- **MTTF** (mean time to failure) : c'est une mesure de la fiabilité d'un système. Il représente le temps moyen entre l'installation du système et la première panne. Le MTTF est donc une estimation de la durée de vie du système avant que la première panne ne se produise. Le MTTF est utilisé pour évaluer la fiabilité des systèmes et des composants et peut être utilisé pour comparer la performance de différents systèmes.
- **MDT** (mean down time) : est une mesure de la disponibilité d'un système, qui représente le temps moyen d'indisponibilité ou temps moyen d'arrêt Propre. C'est-à-dire le temps moyen pendant lequel le système est hors service et ne peut pas fournir ses fonctions prévues en raison d'une panne ou d'une maintenance planifiée.

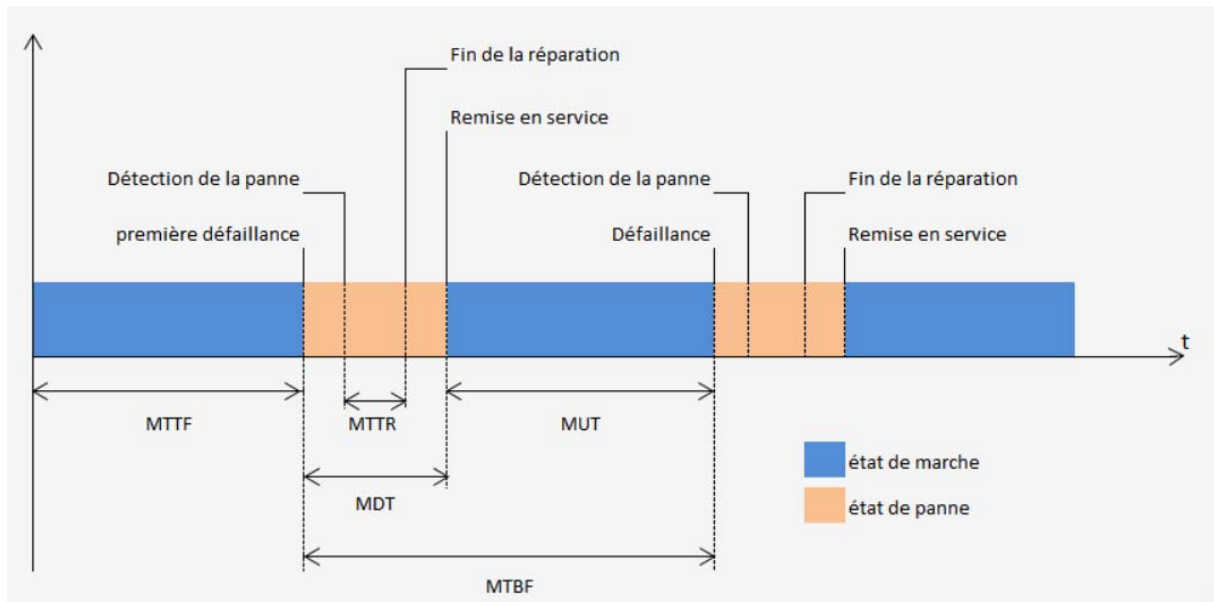


Figure III.19 Durées caractéristiques de FMD [35]

III.7 Application de la méthode de Weibull sur la lame de scie circulaire

Dans cette partie, nous allons faire l'étude théoriquement du FMD (fiabilité maintenabilité disponibilité) sur la lame de scie en utilisant la méthode de Weibull. Nous avons choisi cette méthode parce que la loi de Weibull est très utilisée dans le domaine de maintenance afin de déterminer la FMD de la lame de scie, calculer la durée de vie de ce composant et pour déterminer les paramètres de Weibull (β , η , γ) et tracer les courbes. Mais, on ne peut pas appliquer cette méthode sans l'historique de panne du composant.

III.7.1 Détermination des points (T_i , F_i)

Pour réaliser cette étape on doit d'abord commencer par la préparation des données :

1. Préparation des données historiques

Dans la première étape, on doit récupérer les données depuis le tableau d'historique de la scie circulaire PEHAKA ROBOTER 250 SL pour réaliser le tableau suivant qui contient l'historique de la lame. Les données sont classées d'une manière croissante comme dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.12 Données des temps pour la méthode Weibull

Ordre i	TBF (H)
1	5256
2	5712
3	5928
4	6216
5	17544
6	29736
7	41280
8	49152

2. Détermination des couples (ti, Fi) par les rangs moyens ou les rangs médians

Dans cette étape, on doit associer chaque TBF à sa fonction de répartition (Fi) selon le tableau des rangs médians et selon la taille de chaque échantillon. Donc, D'après le tableau des rangs moyens, les couples (Ti, Fi) de notre problème sont :

Tableau III.13 Tableau des couples (Ti, Fi) de la méthode Weibull

Ordre i	TBF (H)	F(t)	R(t)=1-F(t)
1	5256	0.08	0.92
2	5712	0.20	0.80
3	5928	0.32	0.68
4	6216	0.44	0.56
5	17544	0.56	0.44
6	29736	0.68	0.32
7	41280	0.80	0.20
8	49152	0.92	0.08

III.7.2 Détermination des paramètres de Weibull

Dans notre cas d'étude nous voulant réaliser l'étude Weibull par deux méthodes (graphique et numérique), avec deux paramètres et trois paramètres de Weibull :

III.7.2.1 Etude Weibull avec 2 paramètres

III.7.2.1.1 Méthode graphique

La modélisation graphique de la courbe est réalisée sur un papier appelé papier Weibull. Les données sont tracées sous la forme d'une droite sur le papier en utilisant des coordonnées logarithmiques pour l'axe des abscisses TBF et des coordonnées logarithmiques pour l'axe des ordonnées F(i). Les échelles logarithmiques qui sont : $X = \ln t$. On fait correspondre à chaque valeur de

t son équivalent du logarithme népérien $\ln t$, et le $Y = \text{Ln} [\text{Ln} (1/R (t))]$ qui représente le logarithme népérien du $R (t)$.

On trace les nuages des points selon les couples $M (X, Y)$ comme il est indiqué dans les figures ci-dessous :

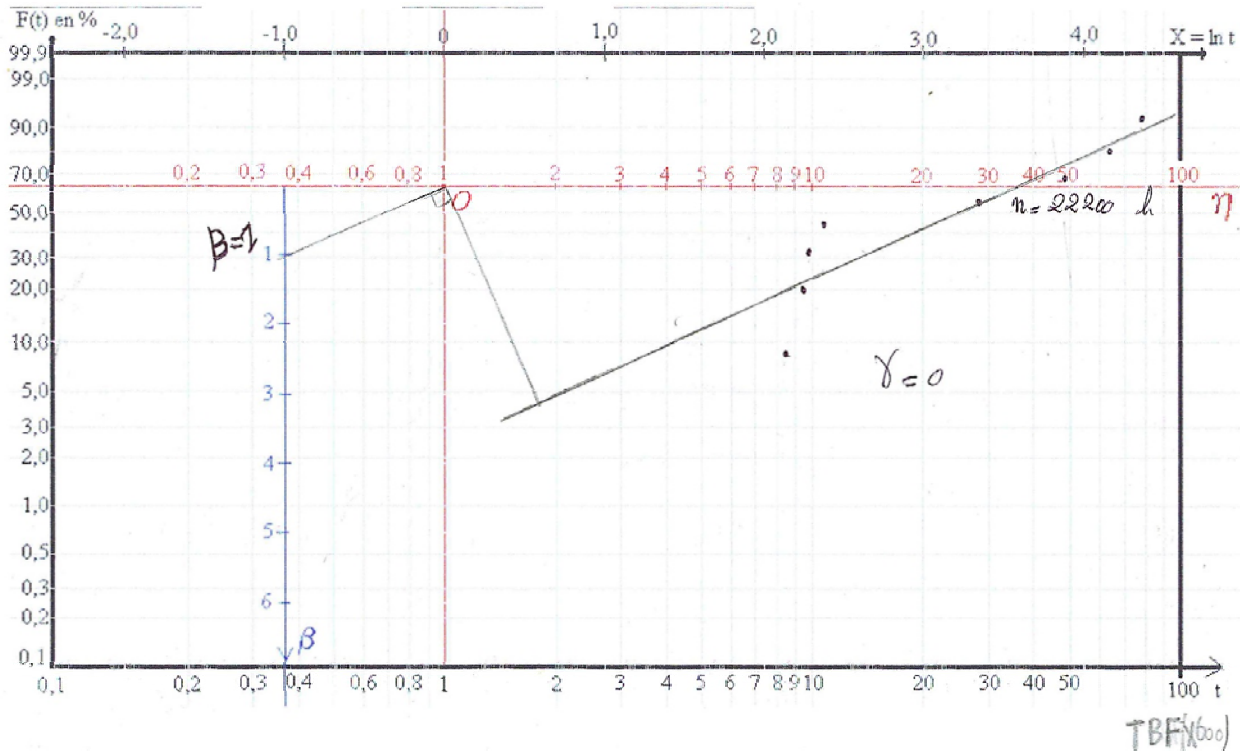


Figure III.20 Courbe graphique avec 2 paramètres

Selon le graphe, on peut extraire les valeurs des paramètres de Weibull qui sont :

- On a le paramètre $\gamma = 0$
- $\beta \approx 1$
- $\eta \approx 22200$ heures
- $\text{MTBF} = A * \eta + \gamma = (1 * 22200) + 0 = 22200$ heures
- La durée de vie nominale LID (Life Initial Duration) on a :

$$\text{LID} = \gamma + \eta \left(\ln \frac{1}{R_{90}} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad \text{LID} = 0 + 22200 * (\ln (1/0.9))^{1/1} = 2339 \text{ heures}$$

III.7.2.1.2 Méthode numérique

Nous avons utilisé deux programmes numériques qui sont Excel et Reliability workbench, pour analyser la fiabilité du composant et pour vérifier les résultats obtenus. En exécutant les programmes avec les données du tableau III.14 suivant :

Tableau III.14 Tableau des résultats de Weibull

Ordre i	TBF (H)	X=Ln(t)	F(t)	R(t)	Y=Ln[Ln(1/R(t))]
1	5256	8.57	0.08	0.92	-2.48
2	5712	8.65	0.20	0.80	-1.50
3	5928	8.69	0.32	0.68	-0.95
4	6216	8.73	0.44	0.56	-0.55
5	17544	9.77	0.56	0.44	-0.20
6	29736	10.30	0.68	0.32	0.13
7	41280	10.63	0.80	0.20	0.48
8	49152	10.80	0.92	0.08	0.93

1. Résultats par Excel

La figure III.20 représente la courbe de Weibull ainsi les valeurs des paramètres qui sont :

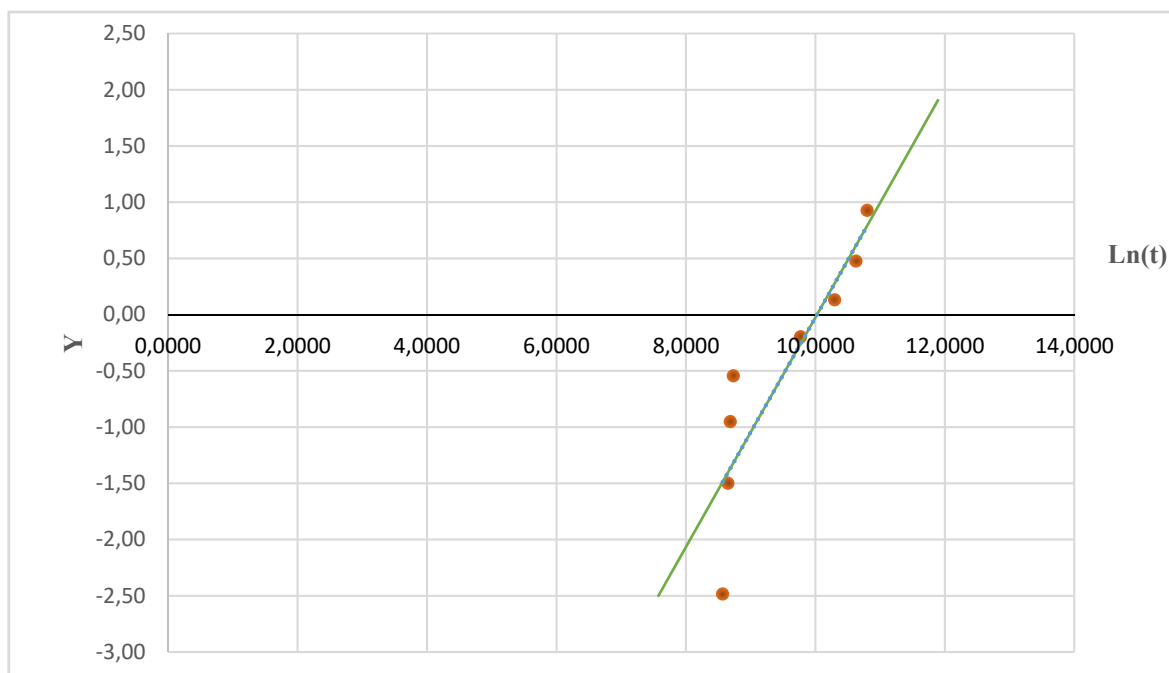


Figure III.21 Courbe de Weibull avec 2 paramètres par Excel

Les résultats des paramètres sont :

- On a $\gamma = 0$
- $\beta \approx 1.0203$
- $\eta \approx e^{(-\gamma(0)/\beta)} = e^{(10.23/1.0203)} = 22617.12$ heures.
- $MTBF = A * \eta + \gamma = (1 * 22617.12) + 0 = 22617.12$ heures.
- La durée de vie nominale LID (Life Initial Duration) on a :

$$LID = 0 + 22617 * (\ln(1/0.9))^{(1/1.0203)} = 2492 \text{ heures}$$

2. Résultats par logiciel Reliability Workbench

Nous avons validé notre travail avec la modélisation du logiciel Reliability Workbench, la figure III.22 représente la courbe de Weibull ainsi les valeurs des paramètres :

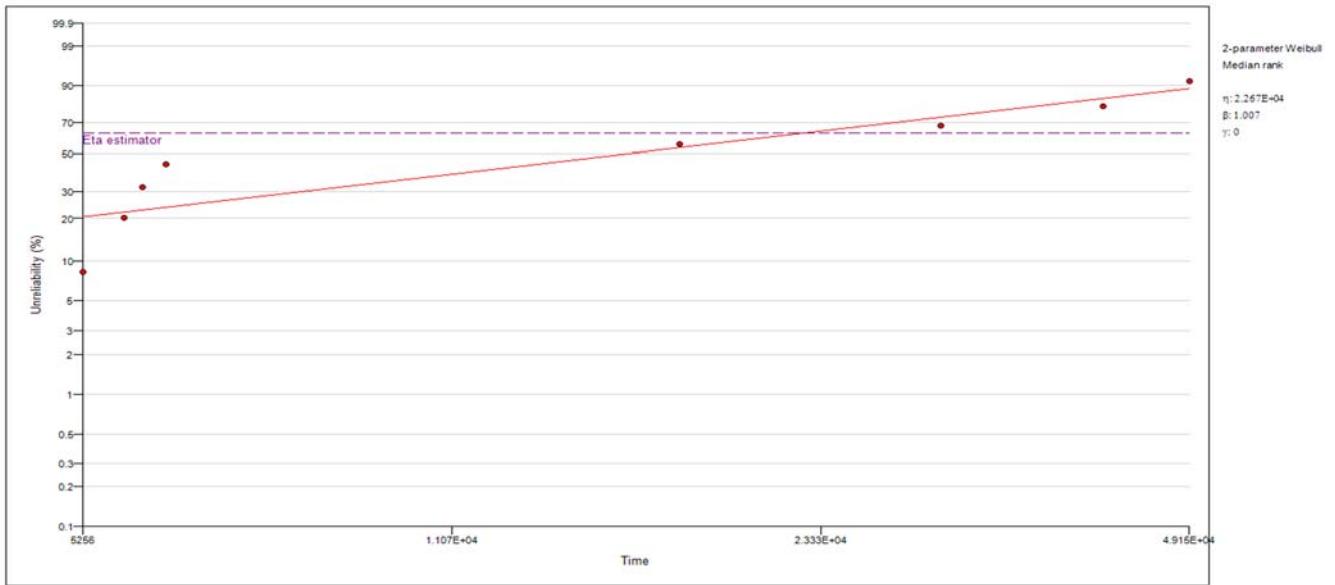


Figure III.22 Courbe de Weibull avec 2 paramètres par Reliability Workbench

Les résultats des paramètres sont :

- On a $\gamma = 0$ (la courbe est une droite)
- $\beta \approx 1.007$
- $\eta \approx 22670$ heures
- $MTBF = A \cdot \eta + \gamma = (1 \cdot 22670) + 0 = 22670$ heures

III.7.2.2 Etude Weibull avec 3 paramètres

III.7.2.2.1 Procédure de redressement de la courbe de Weibull [46]

1- Changement de variable

En posant : $X = \ln(t)$ et $Y = \ln[\ln(1/(1-F(t)))]$. Donc les résultats trouvés sont représentés dans le tableau III.15 :

Tableau III.15 Changement de variable des couples des points

Ordre i	TBF (H)	$X = \ln(t)$	$F(t)$	$R(t)$	$Y = \ln[\ln(1/R(t))]$
1	5256	8.57	0.08	0.92	-2.48
2	5712	8.65	0.20	0.80	-1.50
3	5928	8.69	0.32	0.68	-0.95
4	6216	8.73	0.44	0.56	-0.55
5	17544	9.77	0.56	0.44	-0.20
6	29736	10.30	0.68	0.32	0.13
7	41280	10.63	0.80	0.20	0.48
8	49152	10.80	0.92	0.08	0.93

2- Traçage des points

On trace les points selon les couples des points M (X, Y), et on lit les coordonnées des 2 points extrêmes M1 [8.57 - 0,08] et M3 [10.80 - 0,92] et on va avoir le graphe indiqué dans la figure III.22 :

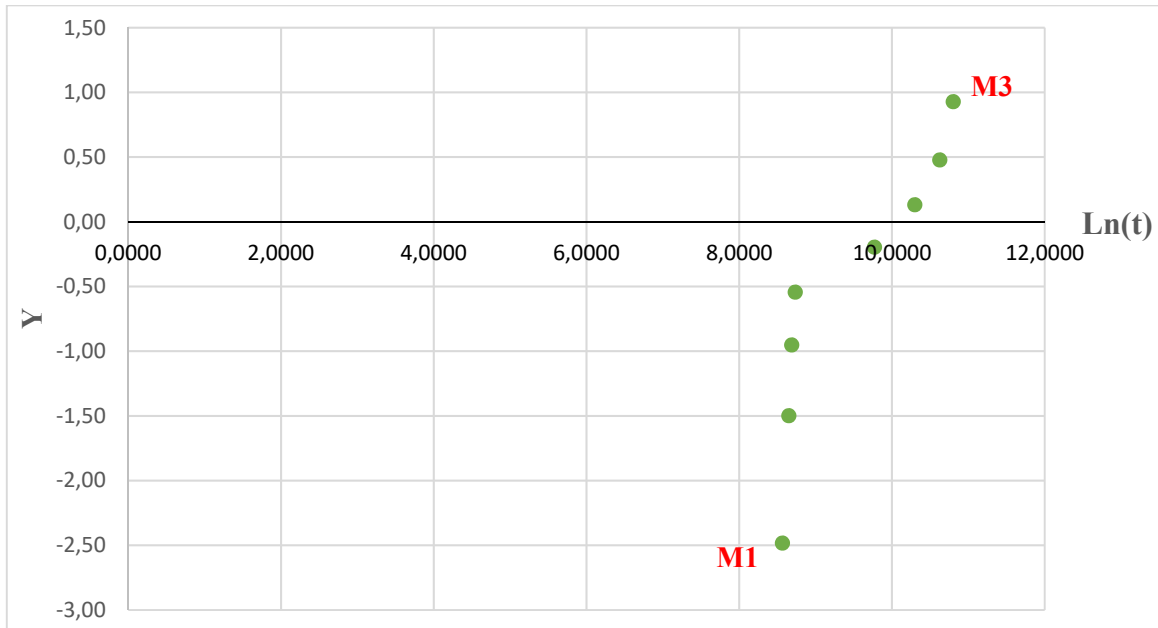


Figure III. 23 Courbe de Weibull avec les nouveaux couples des points

3- Désignation du point M2

On doit tracer le point M2 dans le graphe de la figure III.23 tell que $Y_1 * Y_2 = Y_2 * Y_3$ d'où :

$$Y_1 Y_2 = - 2.48 + [0.93 - (-2.48)] / 2$$

$$Y_1 Y_2 = - 0,775$$

Et on lit : $X_2 = 8.70$ et donc $t_2 = 6002.91$ h

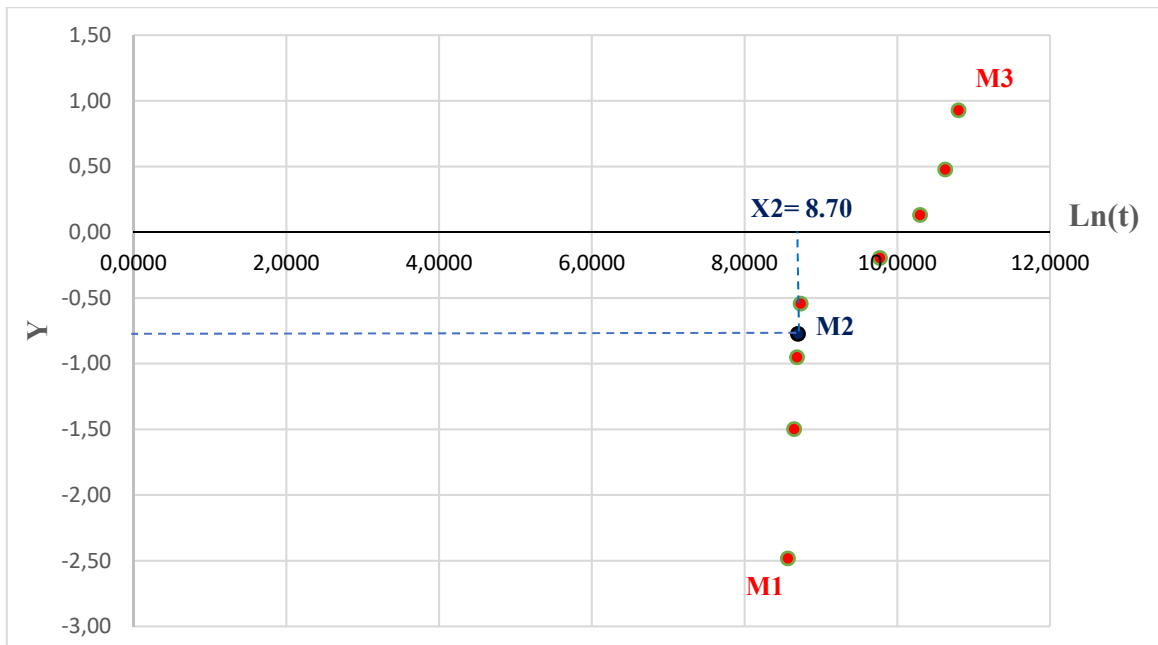


Figure III. 24 Représentation graphique du point M2 dans la courbe

4- Calcul alors la valeur de γ

Nous avons utilisé la loi :

$$\gamma = X_2 - \frac{(X_3 - X_2) \cdot (X_2 - X_1)}{(X_3 - X_2) - (X_2 - X_1)}$$

Soit encore après arrangement et changement de variables γ :

$$\gamma = \frac{(t_1 \cdot t_3) - t_2^2}{t_1 + t_3 - 2 \cdot t_2}$$

On trouve avec ($t_1 = 5256$ h, $t_3 = 49152$ h, $t_2 = 6003$ h) les résultats suivants :

$X_1=8.57$, $X_2=8.70$ et $X_3=10.80$

Le paramètre $\gamma = 5243$ heures.

5- Changement d'origine des temps

On va faire un changement d'origine des temps par la correction des instants de défaillance par la loi : $TBF' = TBF - \gamma$, en faisant les calculs du tableau avec $t' = t - \gamma$ et $X' = \text{Ln}(t')$:

Tableau III.16 Résultats du changement d'origine des temps

Ordre i	TBF (H)	TBF' (H)	X'=Ln (t')	F(t)	R(t)	Y=Ln [Ln (1/R(t))]
1	5256	13	2.5649	0.08	0.92	-2.484
2	5712	469	6.1506	0.2	0.8	-1.500
3	5928	685	6.5294	0.32	0.68	-0.953
4	6216	973	6.8804	0.44	0.56	-0.545
5	17544	12301	9.4174	0.56	0.44	-0.197
6	29736	24493	10.1061	0.68	0.32	0.131
7	41280	36037	10.4923	0.8	0.2	0.476
8	49152	43909	10.6899	0.92	0.08	0.927

III.7.2.2.2 Modélisation graphique après redressement

Après l'opération de redressement de notre graphe de Weibull, On va faire l'estimation des paramètres β , η , γ et le calcul de MTBF selon les résultats trouvés graphiquement :

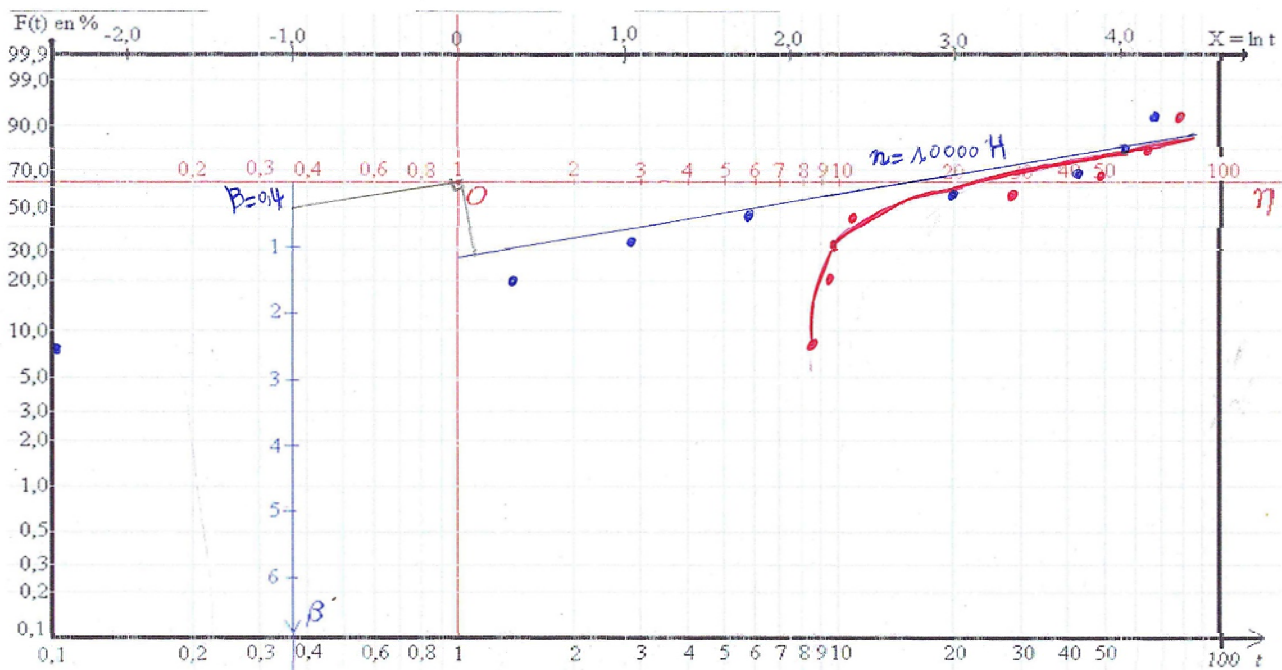


Figure III.25 Courbe graphique avec 3 paramètres

Les valeurs des paramètres selon cette représentation sont :

- On a $\gamma = 5243$ heures.
- $\beta \approx 0.40$
- $\eta \approx 10000$ heures.
- $MTBF = A * \eta + \gamma = (2 * 10000) + (5243) = 25243$ heures.
- La durée de vie nominale LID (Life Initial Duration) on a :
 $LID = 5243 + 10000 * (\ln(1/0.9))^{(1/0.40)} = 5279$ heures

III.7.2.2.3 Modélisation numérique après redressement

On retrace les points selon les nouveaux couples des points selon $X' = \ln(t)$ et $Y = \ln[-\ln(1/R(t))]$, pour avoir le couple $M(X', Y)$. On va avoir le graphe indiqué par Excel dans la figure III.25 :

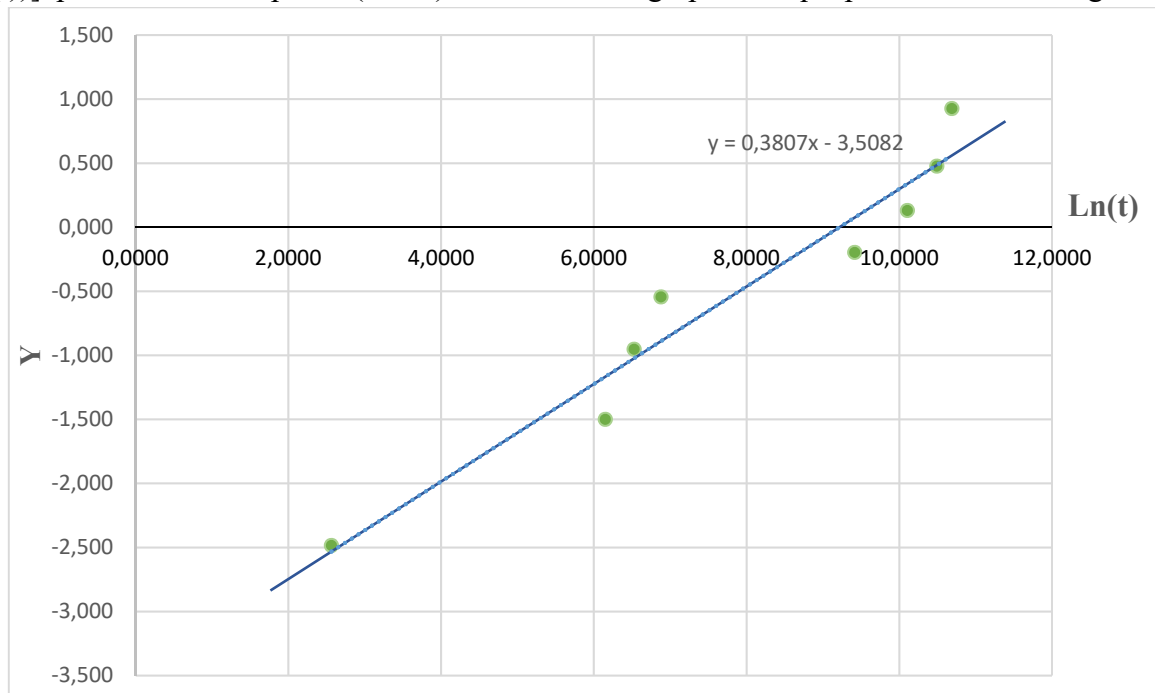


Figure III. 26 Courbe de Weibull à 3 paramètres avec Excel

Après le redressement de notre graphe de Weibull, On va faire l'estimation des paramètres β , η , γ et le calcul de MTBF selon les résultats trouvés dans Excel :

- On a $\gamma = 5243$ heures.
- $\beta \approx 0.3807$
- $\eta \approx 10048$ heures.
- $MTBF = A * \eta + \gamma = (2 * 10048) + 5243 = 25339$ heures.
- La durée de vie nominale LID (Life Initial Duration) on a :
 $LID = 5243 + 10048 * (\ln(1/0.9))^{(1/0.3807)} = 5270.22$ heures

Nous avons validé notre travail avec la modélisation du logiciel qui va déterminer les la valeur des paramètres β , η , γ et le calcul de MTBF, qui sont représentés par la figure III.26 :

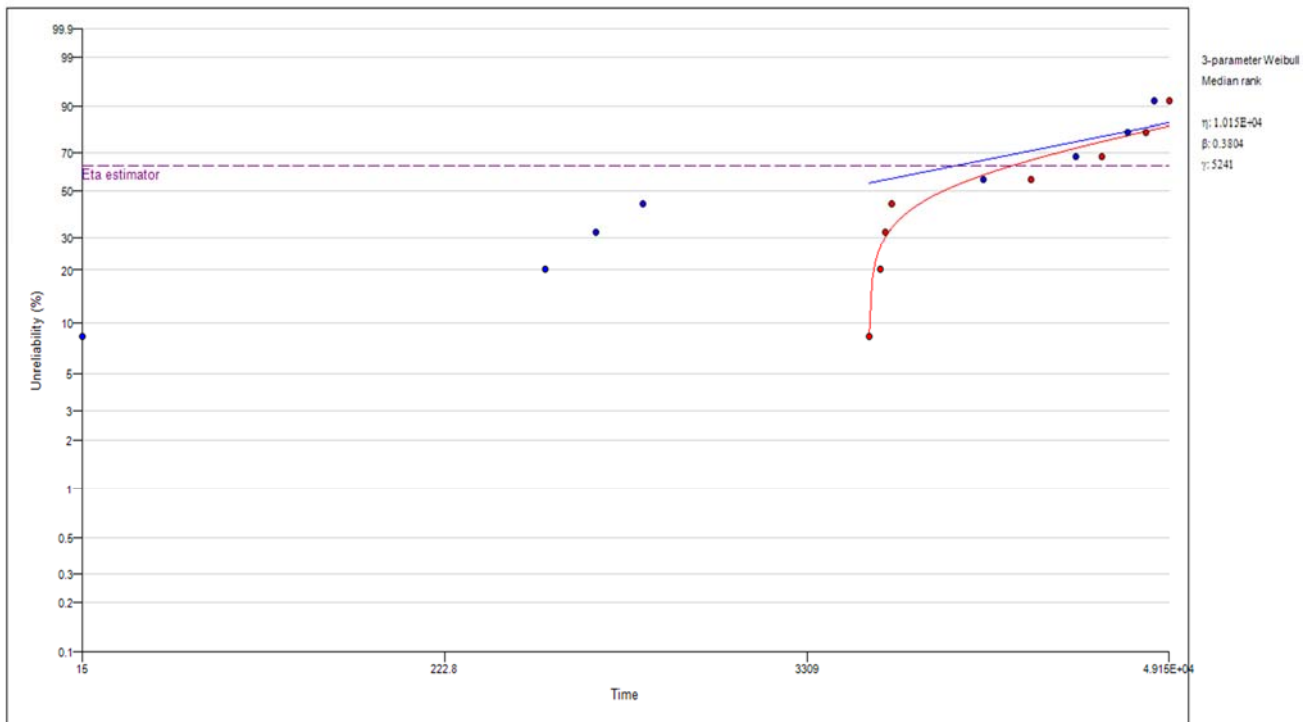


Figure III.27 Courbe de Weibull à 3 paramètres avec Reliability Workbench

Les résultats trouvés sont :

- On a $\gamma = 5241$ heures.
- $\beta \approx 0.3804$
- $\eta \approx 10150$ heures.
- $MTBF = A*\eta + \gamma = (2*10150) + (5241) = 25541$ heures.

Le tableau III.17 résume les résultats trouvés pour le taux de défaillance et pour la densité de probabilité dans notre démarche d'étude de Weibull :

Tableau III.17 Tableau des résultats de 3 paramètres

Ordre i	TBF (H)	F(t)	R(t)	$\lambda(t)$: Taux de défaillance $\times 10^{-5}$	f(t) Densité de probabilité de défaillance $\times 10^{-5}$
1	13	0.08	0.92	1.78540E-03	0.0016369
2	469	0.2	0.8	2.48800E-04	0.00018359
3	685	0.32	0.68	1.97850E-04	0.00013919
4	973	0.44	0.56	1.59890E-04	0.00010689
5	12301	0.56	0.44	3.40230E-05	1.1587E-05
6	24493	0.68	0.32	2.23360E-05	5.4656E-06
7	36037	0.8	0.2	1.76400E-05	3.4368E-06
8	43909	0.92	0.08	1.5634E-05	2.6731E-06

On a varié le temps, pour obtenir les graphes des fonctions suivantes :

- Graphe de la fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$.
- Graphe de la densité de probabilité $f(t)$.

III.7.2.2.4 Courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$

La Figure III.27 présente le graphe de la fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$:

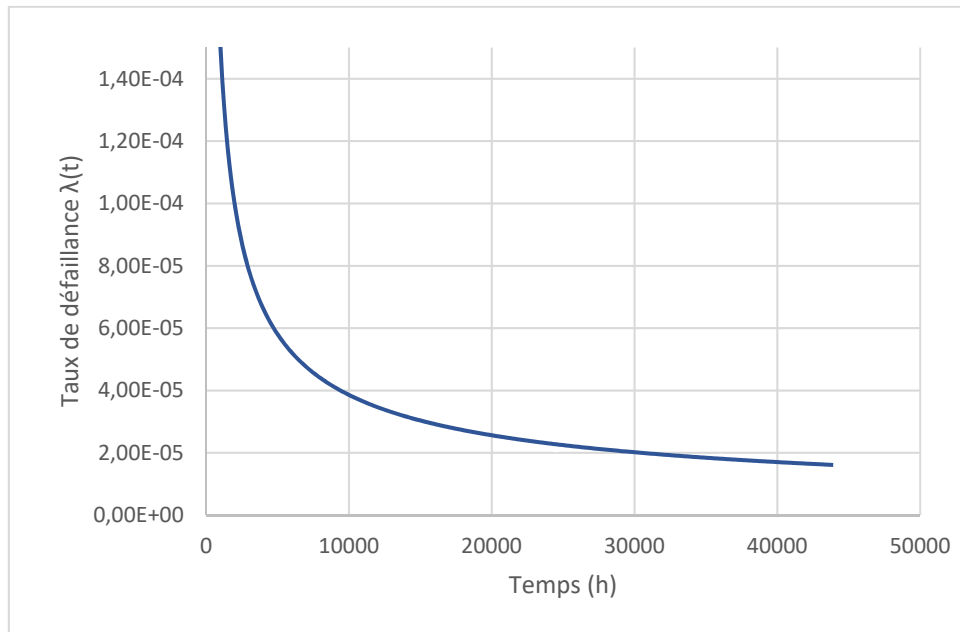


Figure III.28 Taux de défaillance $\lambda(t)$ (Excel)

Le graphe du taux de défaillance de notre cas d'étude est bien représenté par un tronçon distinct dans la figure III.27 affirme que le taux de défaillance est d'une forme décroissante et diminue avec le temps. Ce qui est confirmé par le paramètre β qui est <1 , ce qui signifie qu'on est dans la zone de jeunesse.

Pendant cette période, le taux de défaillance est relativement élevé car le système ou le composant est encore en phase de mise en service ou il relativement neuf. Ce phénomène peut être expliqué par les causes suivantes :

- **Défauts de conception ou de fabrication** : on peut recevoir des composants avec matériaux de mauvaise qualité ou le choix de matériaux inappropriés.
- **Erreurs d'installation** : on peut avoir des défauts de fixation de la lame dans la scie (mal fixée ou sur fixée).
- **Une mauvaise utilisation** : il faut savoir que la scie est souvent utilisée par les étudiants pour les TP, PFE...et la majorité entre eux n'ont pas l'expérience nécessaire pour une utilisation correcte.
- **Le sabotage** : implique généralement des actions visant à endommager ou à arrêter le fonctionnement de la machine de manière d'arrêter le processus de fabrication de pièces.

Ensuite le taux de défaillance diminue parce que s'il y a des défauts dans la période de jeunesse, ils vont se manifester tôt et ils vont être suivis par beaucoup de précautions en respectant dans un premier temps l'entretien préventif de la lame de scie.

Donc, Le service de maintenance doit prévoir un plan préventif pour le suivi de cet organe et améliorer son fonctionnement par certaines actions comme le rodage dans les matériels mécaniques...

III.7.2.2.5 Courbe de densité de défaillance f(t)

La Figure III.28 représente le graphe de la fonction de taux défaillance $\lambda(t)$:

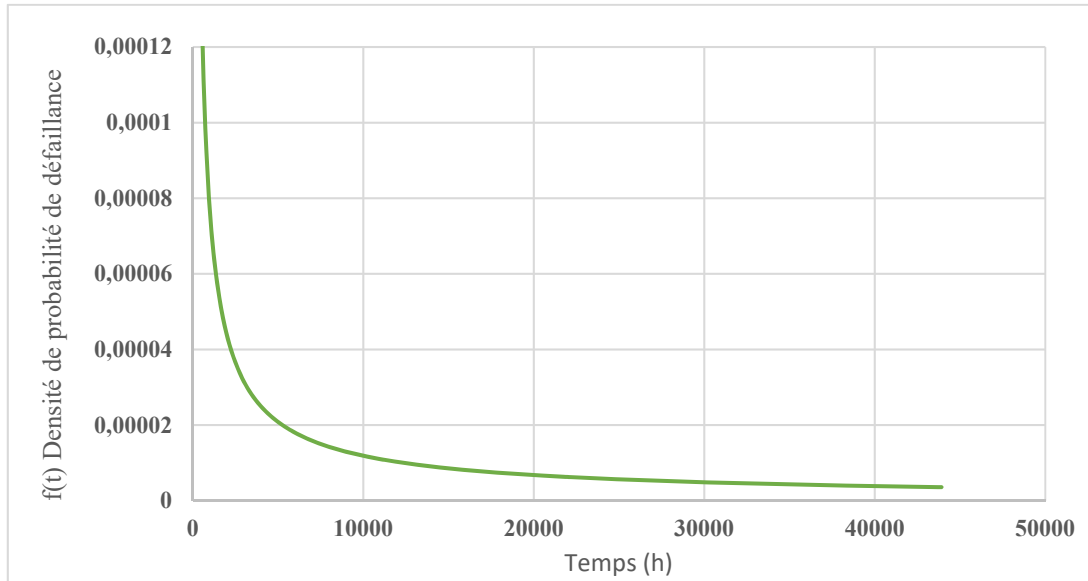


Figure III.29 Densité de probabilité de défaillance f(t) (Excel)

La densité de probabilité est une mesure importante en maintenance car elle permet de prédire la probabilité qu'un équipement ou un composant tombe en panne dans un intervalle de temps et de voir l'allure de la distribution des défaillances détectées et leur répartition autour de la MTBF.

D'après cette courbe qui représente la fonction f(t), on note que la densité de probabilité diminue avec l'évaluation de TBF. La représentation graphique de cette fonction obtenue est très proche de la forme d'une distribution exponentielle.

III.7.2.2.6 Analyse et discussion des résultats

Le tableau III.18 donne une comparaison entre les résultats numériques et graphiques et montre bien la corrélation des résultats numériques :

Tableau III.18 Comparaison des paramètres de Weibull

Les paramètres de Weibull	Résultat graphique	Résultat numérique
Weibull avec 2 paramètres		
Le paramètre de forme β	1	1.0203
Le paramètre de l'échelle η	22200 heures	22617 heures
Le paramètre de l'origine γ	0	0
MTBF	22200 heures	22617 heures
Weibull avec 3 paramètres		
Le paramètre de forme β	0.40	0.3807
Le paramètre de l'échelle η	10000 heures	10048 heures
Le paramètre de l'origine γ	5243	5243
MTBF	25243 heures	25339 heures

Au cours de notre étude nous avons constaté que :

- Le paramètre $\beta < 1$, donc la lame de la scie circulaire est en période de jeunesse.
- Le taux de défaillance λ est décroissant en fonction du TBF, ce qui est confirmé par le paramètre de forme ($\beta=0.3807$), Ceci nécessite au service de maintenance de mettre en œuvre un plan de maintenance pour une meilleure surveillance de cet organe et améliorer la fabrication des pièces au niveau du hall de technologie qui fonctionne essentiellement par l'utilisation de la scie circulaire et plus précisément, l'utilisation de la lame de scie.
- La valeur du MTBF est autours de 25339 heures.
- La durée de vie attendue pour que 90% des lames de scie soient non défailtantes est : 5270 H

III.7.2.2.7 Choix type de maintenance

La figure III.29 représente l'abaque de choix de type de maintenance selon les paramètres β , γ , η dans une méthode de Weibull. D'après cette figure, nous pouvons retenue que notre cas d'étude est dans la zone de maintenance corrective parce que si nous remarquons bien nos paramètres graphiquement qui sont :

- $\beta = 0.3807$
- $\gamma / \eta = 5243/10048 \approx 0.52$
- $Cx = 1.5$ (graphiquement).

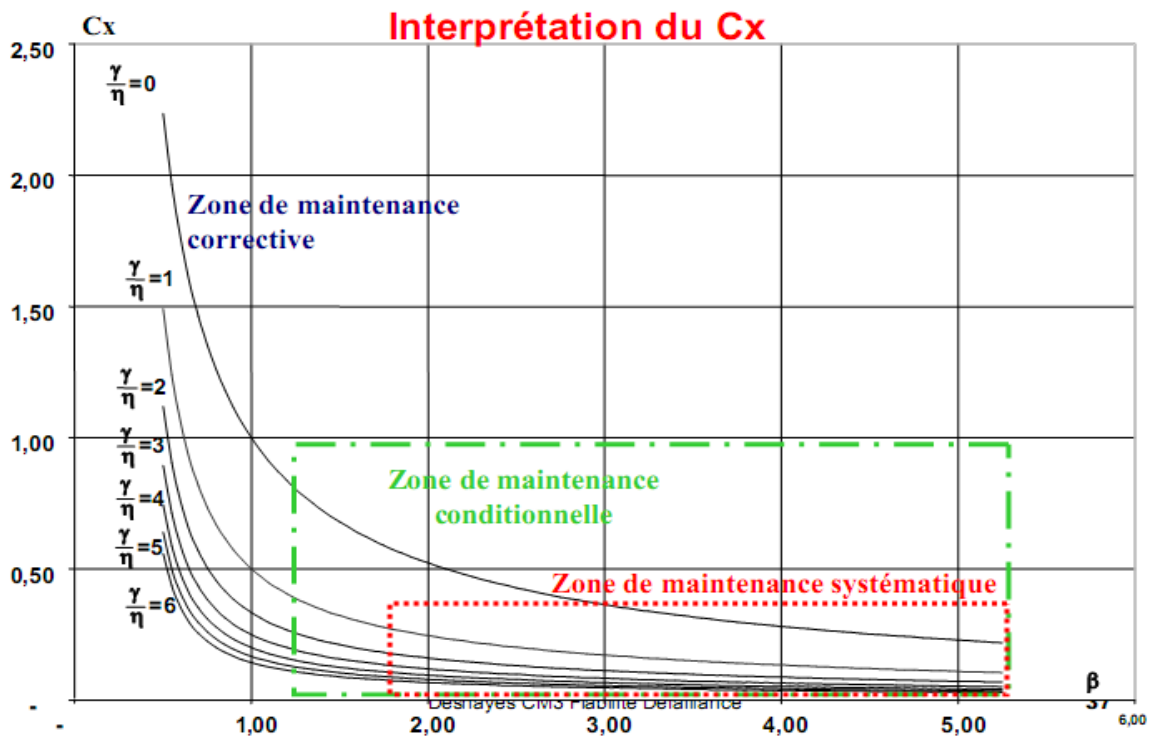


Figure III.30 Diagramme choix type de maintenance [36]

Nous allons avoir comme résultat que la lame de scie est située dans la zone de maintenance corrective. Donc, l'équipe de maintenance du hall doit mettre en place un plan de maintenance corrective efficace et personnaliser pour la lame de scie parce qu'elle est considérée comme l'élément le plus critique de la chaîne.

III.8 Conclusion

L'application de certains outils développés dans le domaine de la fiabilité, comme la méthode Pareto, AMDEC, Weibull... nous ont permis de bien mener notre travail de diagnostic et d'étude des différents équipements et machines du hall. Ainsi, ils permettent de déterminer la machine, le système et l'organe le plus critique de toute la chaîne de fabrication des pièces.

Le travail effectué dans ce chapitre nous a permis d'étudier les types des défaillances de la lame de scie qui perturbe le bon fonctionnement du hall de technologie. Notre étude a été appliquée sur toutes les machines du hall par la méthode de « Pareto ». Ensuite, nous avons trouvé que la scie circulaire est l'équipement le plus critique dans tout le hall.

La désignation du système et du composant critique de la scie circulaire grâce à la méthode « AMDEC », nous a permis de déterminer le système critique qui est le système d'entraînement des roues. Il possède un degré de criticité élevé égal à 24. Ensuite, nous sommes arrivés jusqu'au composant critique de la machine qui est la lame de scie.

L'analyse de fiabilité réalisée sur le composant critique (la lame de la scie circulaire) montre que nous sommes en face d'un organe en phase de jeunesse représenté par le modèle de Weibull de paramètres ($\beta = 0.3807$, $\eta = 10048$ h, $\gamma = 5243$ h).

L'utilisation de l'abaque de choix du type de maintenance avec les paramètres de Weibull trouvés, nous a permis de définir la maintenance corrective comme type de maintenance adéquat avec notre cas d'étude. On prévoit comme résultat de faire un suivi par un plan de maintenance corrective afin d'appliquer la réparation ou le dépannage de la lame de scie lorsqu'une panne est signalée.

Chapitre IV

PROGRAMMATION ET RÉALISATION D'UNE APPLICATION GMAO

IV.1 Introduction

Le chemin de développement des organisations passe par l'informatisation de leurs fonctions approvisionnement, production, gestion de stocks... et le service de maintenance doit être aussi informatisé dans le but d'améliorer la fiabilité et la gestion des équipements de l'institution. On parle donc de la GMAO (Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur), ce chapitre intitulé « programmation et réalisation d'une application de maintenance ». Sera consacré à présenter les différents aspects de la gestion de la maintenance assistée par ordinateur.

Dans ce chapitre nous allons définir les différentes sortes d'études pour la mise en œuvre de notre application : l'étude et l'analyse fonctionnelle ainsi que l'étude technique de notre projet. Nous présenterons ensuite une description des différents outils et logiciels utilisés pour la réalisation de ce travail. Notamment les acteurs et les utilisateurs de cette application, et pour la finalité de ce chapitre, nous présenterons les différentes interfaces de notre produit final.

IV.2 Définition de la GMAO

La première définition pour la GMAO était réalisée par M. Gabriel et Y. Pimor en 1985 : « un système informatique de management de la maintenance est un progiciel organisé autour d'une base de données permettant de programmer et de suivre sous les trois aspects technique, budgétaire et organisationnel. Toutes les activités d'un service de maintenance et les objets de cette activité (services, lignes d'atelier, machines, équipements, sous-ensembles, pièces, etc.) à partir de terminaux disséminés dans les bureaux techniques, les ateliers, les magasins et bureaux d'approvisionnement » [37].

IV.2.1 Objectifs de la GMAO

L'informatisation est incontournable dans la maintenance industrielle. Il serait aujourd'hui impossible de gérer le personnel de l'organisation, les machines de production et d'optimiser leur fiabilité sans outils informatisés.

De même, le suivi de leur disponibilité, la gestion des interventions et des opérations de maintenance ne peut pas être réalisé sans le soutien de l'informatique.

La gestion de maintenance assistée par ordinateur vise à atteindre les objectifs suivants :

- Facilite la gestion du service de maintenance.
- Rentabiliser au maximum les investissements mises sur l'équipement de l'entreprise.
- Prolongation de la durée de vie des machines ainsi leur disponibilité.
- Assurer le partage de l'information entre les différents membres de l'équipe de maintenance.
- Amélioration de la sécurité des équipements et du personnel.
- Maîtriser les coûts et les dépenses liés à la maintenance [38].

On peut conclure, que la GMAO est responsable sur un rôle effectif dans n'importe quel service de maintenance.

IV.2.2 Informatisation de la maintenance : quand et pourquoi ?

L'introduction d'une GMAO n'est pas liée en premier lieu à des critères de coûts ou de dépenses. Dans la plupart des situations, ce sont des éléments de qualification du personnel et de

management qui impliquent une surveillance informatique quotidienne du système de maintenance. Certes, une gestion informatisée des équipements de l'atelier est susceptible de simplifier la gestion de ces machines et d'améliorer leur fiabilité. Ce module standard de tout GMAO donne l'opportunité lui seul de réduire les temps d'arrêt des machines ainsi d'avoir une meilleure visualisation sur leurs états. Où il permet aussi de : gérer le personnel de toute l'organisation, gérer les interventions de l'entreprise et L'application des méthodes d'optimisation de la maintenance sur l'équipement de l'institution (Pareto, AMDEC...) [39].

IV.3 Etude des besoins

Il faut savoir que le hall de technologie est maintenant géré d'une manière traditionnelle. Donc, il fait face actuellement à plusieurs problèmes. Parmi ces problèmes, on cite les suivants :

- Perdre de beaucoup de temps entre la demande d'intervention et l'exécution de la demande sur les équipements.
- L'utilisation de beaucoup de papier (demande d'intervention, rapport d'intervention, manuel machine, dossier des employés...). Ce qui provoque une perte probable des données et une non-organisation du déroulement de ce processus.
- Lorsqu'il s'agit de retrouver des informations spécifiques dans un système de maintenance non basé sur une GMAO, cela peut être une perte de temps. La recherche manuelle à travers un ensemble de documents peut être inefficace. De plus, l'organisation et la gestion des documents papier nécessitent un espace de stockage dédié et une méthode d'archivage.
- Difficulté de partage et de collaboration parce que la nature physique des documents papier peut rendre difficile le partage d'informations entre les membres de l'équipe de maintenance. Il peut être compliqué de mettre à jour et de distribuer les informations à tous les acteurs concernés. Cela peut entraîner des retards dans les processus de maintenance, des erreurs de communication et une coordination inefficace.
- Avec un système basé sur papier, il peut être difficile de suivre l'historique des interventions de maintenance. Ce qui provoque une difficulté lors de la planification de la maintenance préventive des équipements. La collecte de données pour l'analyse et pour l'application des méthodes d'optimisation de maintenance peut être inefficace, car les informations doivent être saisies manuellement dans des systèmes numériques de calcul.

Donc pour résoudre ces problèmes, l'organisation a besoin d'avoir un système efficace qui peut régler ces problèmes et améliorer la gestion du service de maintenance. Le hall a décidé de réaliser un système de GMAO parce qu'il peut régler ces problèmes de traçabilité en temps réel (directement sur Smartphone grâce à l'application que nous allons développer).

IV.4 Cahier des charges

Considéré comme l'élément de référence de toute la démarche, il doit être complet, précis et clair pour éviter les confusions. Il contiendra tous les détails et les informations qui peuvent nous aider à comprendre les besoins réels de l'organisation. Il comportera des différentes parties comme :

IV.4.1 Objectif général

Ce système a un objectif principal, c'est d'informatiser et automatiser toutes les tâches de maintenance dans le hall de technologie.

IV.4.2 Objectifs spécifiques

Le système a d'autres objectifs comme : le suivi de documentation, le suivi des équipements et du personnel, avoir un historique et un suivi des interventions, avoir la possibilité d'appliquer les méthodes de maintenance de façon automatique, avoir une planification de la maintenance préventive, créer un flux des informations entre les membres des équipes...

IV.4.3 Choix du type de GMAO

Le choix du logiciel pour gérer la fonction de maintenance du hall doit se faire selon les critères et les conditions suivantes :

- Elle doit être une application modulaire, c'est-à-dire qu'elle est formée par l'union de plusieurs modules de gestion (modules de gestion des équipements, modules de gestion du personnel...).
- Elle doit être une application facile et adaptable avec les spécifications et les fonctionnalités du hall.
- Les critères techniques : la sécurité et l'intégrité des données, les saisies et contrôle, la manipulation des données, la sauvegarde et la communication.

IV.4.4 Analyse fonctionnelle

C'est la tâche la plus longue et la plus délicate du cahier des charges et qui exige la participation de tous les acteurs concernés. Une erreur pendant la phase de l'analyse fonctionnelle est pratiquement irrécupérable une fois le produit final réalisé.

Après l'étude réalisée sur les besoins du hall, nous avons retenu plusieurs demandes et plusieurs besoins, certains sont principaux et certains sont secondaires. Ces besoins seront inclus dans notre système qui sera réalisé spécifiquement pour le hall selon ces préférences exigées.

IV.4.4.1 Fonctions principales

- **Une application portable** : l'outil final doit être une application Android pour qu'elle soit plus fiable et rapide à utiliser (avoir la possibilité d'enregistrer des interventions est plus rapide avec le smartphone par rapport au PC, une application Android au smartphone est mobile par rapport à un logiciel PC qui est statique...).
- **Une application visuelle** : l'outil à réaliser doit avoir une visibilité sur les différents changements qui arrivent dans l'application (les changements doivent être en face et non pas en arrière-plan).
- **Une application qui peut sauvegarder les données des interventions** : l'enregistrement des interventions avec les informations détaillées de chaque intervention, comme : le nom et prénom de l'intervenant, la date et le temps de l'intervention, la désignation de l'équipement et le système à intervenir, établir des états sur chaque intervention, avoir la possibilité de vérifier l'historique des pannes...

- **Une application qui peut calculer les grandeurs et les paramètres de maintenance :** avoir la capacité de faire des calculs en utilisant les différentes méthodes d'optimisation de la maintenance (AMDEC, Pareto, Weibull...). Le calcul des méthodes doit être à jour et automatique selon les changements des interventions pour donner une fiabilité aux résultats.
- **Automatiser et améliorer le processus de maintenance dans le hall :** apporter une aide efficace à l'établissement dans ce service : gagner beaucoup de temps, organiser le travail entre les membres d'équipe, le Zéro papier pour les DT, OT...
- **Avoir un partage d'informations efficace entre les membres de l'équipe :** l'application permet de mettre tous les membres de l'équipe à jour par rapport aux interventions réalisées pour éviter les confusions.

IV.4.4.2 Fonctions secondaires

- **Une application avec une meilleure visibilité :** avoir un fond d'écran clair pour que tout le monde puisse l'utiliser à l'aise et sans problème de visualisation.
- **Une application qui peut enregistrer et archiver les manuels des équipements du hall :** avoir la possibilité d'enregistrer les informations techniques liées au matériel et machines disponibles dans le hall (et même les dossiers des nouveaux équipements acquis).
- **Une application qui peut enregistrer le personnel et les employés :** donner la main à l'enregistrement avec toutes les informations des employés pour un meilleur suivi et une meilleure gestion des ressources humaines.
- **Une application facile qui peut être gérée par n'importe quel employé :** l'outil doit être facile et manipulable par tous les employés du hall pour ne pas perdre le temps et l'argent sur la formation du personnel.
- **Une application qui contient une présentation et une description du hall :** pour les gens qui ne connaissent pas le hall, l'application contient des informations de cette intuition comme : l'emplacement du hall, l'organisation des machines et des équipements...

IV.4.5 Définition du champ du système

Il faut définir les domaines qui seront couverts par ce nouveau progiciel, c'est-à-dire les domaines qui seront en interaction avec notre système comme :

- Gestion de la maintenance (gestion des interventions, plan de maintenance préventive...).
- Gestion des stocks (pièces de rechange...).
- Gestion des ressources humaines et matériels (gestion des équipements, gestion du personnel...).
- Outil d'aide à la décision (AMDEC, Pareto, Weibull...)
- Récupération de toutes les bases de données des progiciels remplacés par notre système.

IV.4.6 Consultations

Une fois le cahier des charges est réalisé par l'équipe chargée de la réalisation du système, une copie est envoyée au responsable du hall pour la demande des renseignements complémentaires. Ainsi pour la consultation et la vérification finale avant d'entamer l'étape de la réalisation.

IV.5 Travail réalisé

Après l'étape de création du cahier de charge qui contient les besoins bien spécifiés du hall. L'objectif de cette étape est la transformation des besoins et exigences vers un système informatisé qui est une application mobile. Donc, nous allons exposer dans cette partie, la phase de réalisation, qui représente la dernière étape de cette étude. Pour la réalisation et la mise en place de l'application, nous utiliserons certains outils pour avoir un résultat riche et fiable. Les outils utilisés, les interfaces de l'application avec leurs algorithmes et les utilisateurs de ces outils sont présentés dans cette partie :

IV.5.1 Outils utilisés

IV.5.1.1 Delphi

Nous avons utilisé le logiciel Delphi 10.4.1 qui est un langage général compilé basé sur un dialecte Object Pascal et qui gère la conception structurée et orienté objet. Il est livré avec son propre IDE (environnement de développement intégré) conçu pour prendre en charge le développement rapide d'applications (RAD). Delphi est un logiciel dédié à créer des logiciels en utilisant le langage Pascal. Il faut bien comprendre que Pascal et Delphi ne sont pas les mêmes : Pascal est un langage informatique, mais Delphi est un logiciel qui utilise le langage Pascal.

Delphi apporte une grande facilité au développeur. Vous obtenez donc une application plus propre, et plus facile à distribuer et à maintenir. Parmi ces qualités aussi, on cite la facilité de lecture du code, la rapidité de la compilation et l'exploitation des différentes unités ce qui permet d'avoir une programmation modulaire [40].

IV.5.1.2 EMBARCADERO RAD studio

RAD signifie Développement rapide d'application (Rapid Application Development). Ce terme décrit la nouvelle génération d'environnements de développement et de programmation visuelle des logiciels. Avec RAD Studio, vous pouvez créer de puissantes applications visuelles pour plusieurs systèmes d'exploitation en quelques clics avec un minimum de codage manuel, en utilisant les langages de programmation Delphi [41].

IV.5.1.3 Base de données de l'application

Notre base de données est générée sous forme de texte intégral qui permet de stocker des données en masse pour préserver leur matériel et économiser l'espace. Nos données s'agissent de textes (Txt) sous forme des lignes.

IV.5.2 Organigramme de l'application

La figure IV.1 illustre la représentation du diagramme du chemin potentiel pour un utilisateur de l'application. (C'est-à-dire on parle des possibilités de route qu'on peut avoir dans notre application).

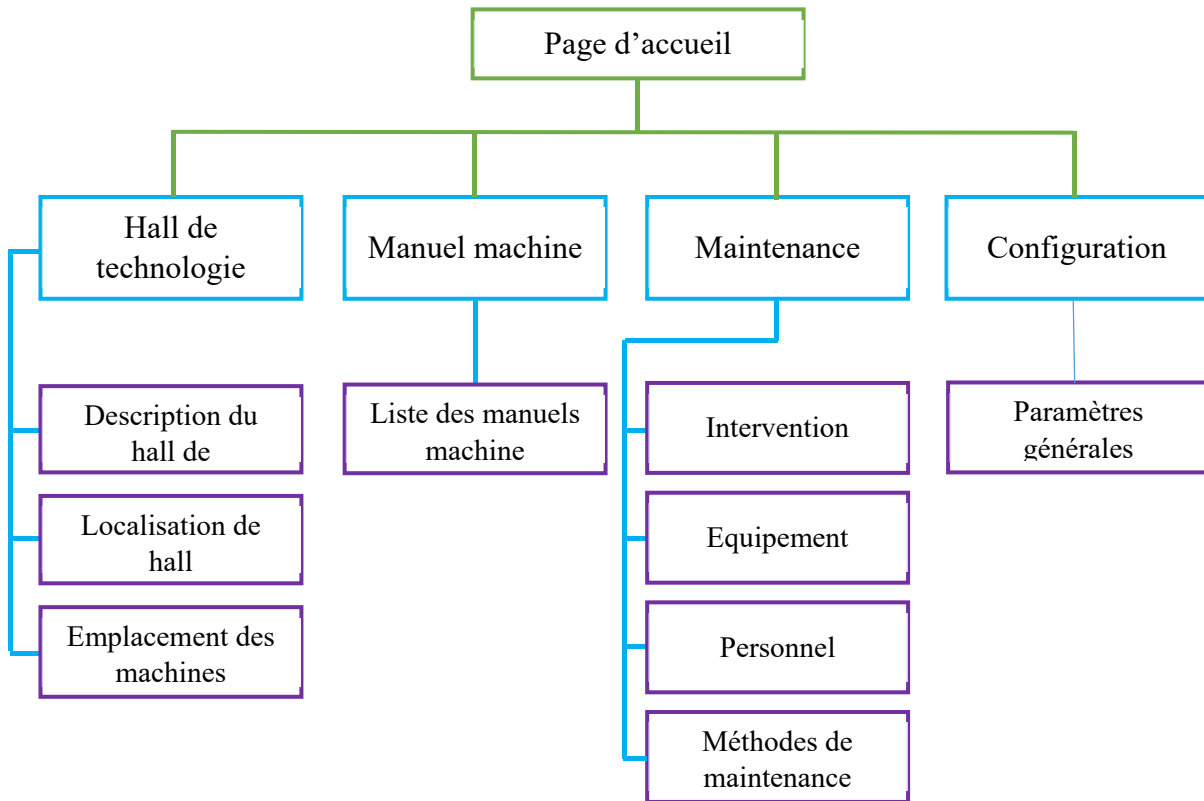


Figure IV.1 Organigramme de l'application

IV.5.3 Tableau des attributs

Le tableau IV.1 représente les attributs de notre système selon nos fenêtres :

Tableau IV.1 Tableau des attributs

Fenêtres	Attributs
Personnel	Numéro, nom et prénom, fonction.
Équipement	Numéro, nom, type, référence, marque, commentaire.
Intervention	Numéro, machine, catégorie, Opération, date de panne, date d'intervention, temps intervention, intervenant, gravité de la panne, détectabilité de la panne.
Manuel machine	Modèle, moteur, voltage, numéro de série...

IV.5.4 Interfaces de l'application (organigrammes, algorithmes)

IV.5.4.1 Interface de DELPHI 10.4

La figure IV.2 montre l'interface principale du logiciel utilisé qui est Delphi 10.4.1, d'après cette figure, on peut lister les éléments suivants :

- Une barre de menu.
- Une barre d'outils.
- Une barre de recherche.
- La palette des composants.
- L'éditeur de code source pour la programmation.
- Un espace de visualisation du travail réalisé.

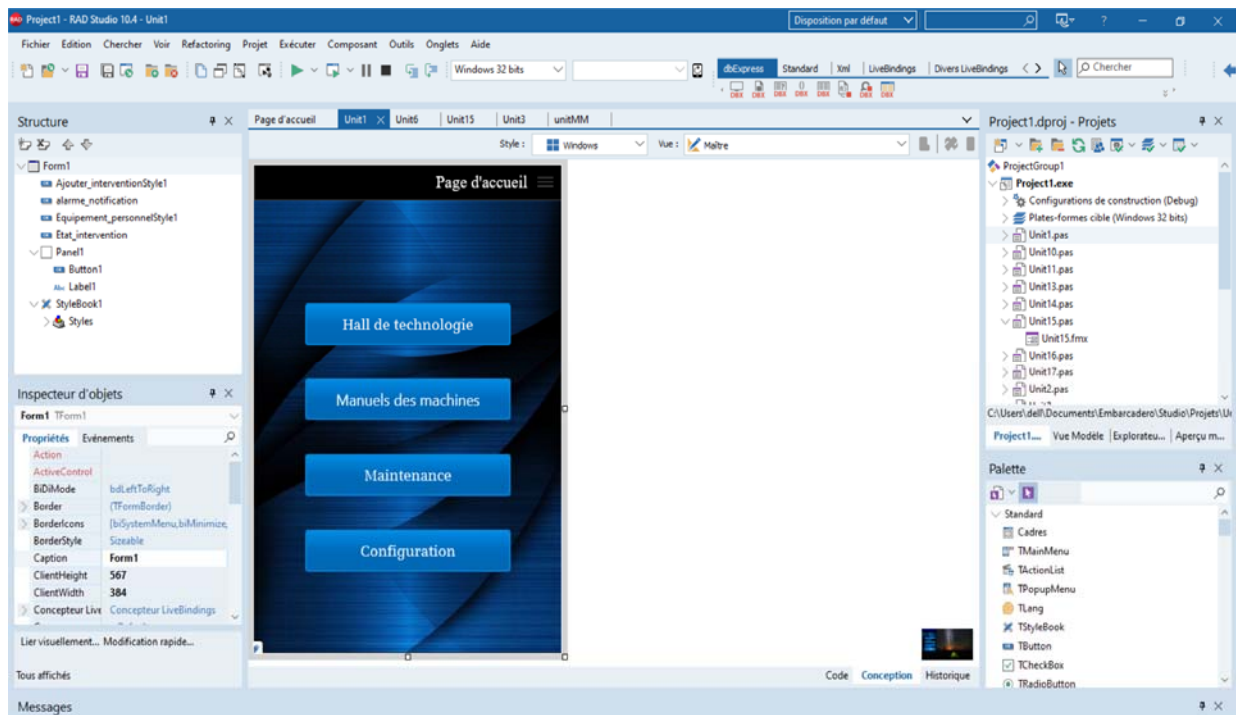


Figure IV.2 Fenêtre principale de Delphi

IV.5.4.2 Page d'accueil

Dans la figure IV.3 nous allons montrer notre page d'accueil qui est l'interface principale qui contient quatre options de choix : hall de technologie, manuels machines, maintenance et configuration qui vont être bien détaillés dans les figures suivantes :



Figure IV.3 Page d'accueil

IV.5.4.3 Interfaces des manuels machines

La figure IV.4 représente l'interface de manuel machine, dans cette partie de l'application, le responsable du hall peut ajouter, supprimer et consulter des manuels qui contiennent des informations descriptives (nom de la machine, type de la machine, caractéristiques de la machine...) sur les équipements disponibles dans le hall.

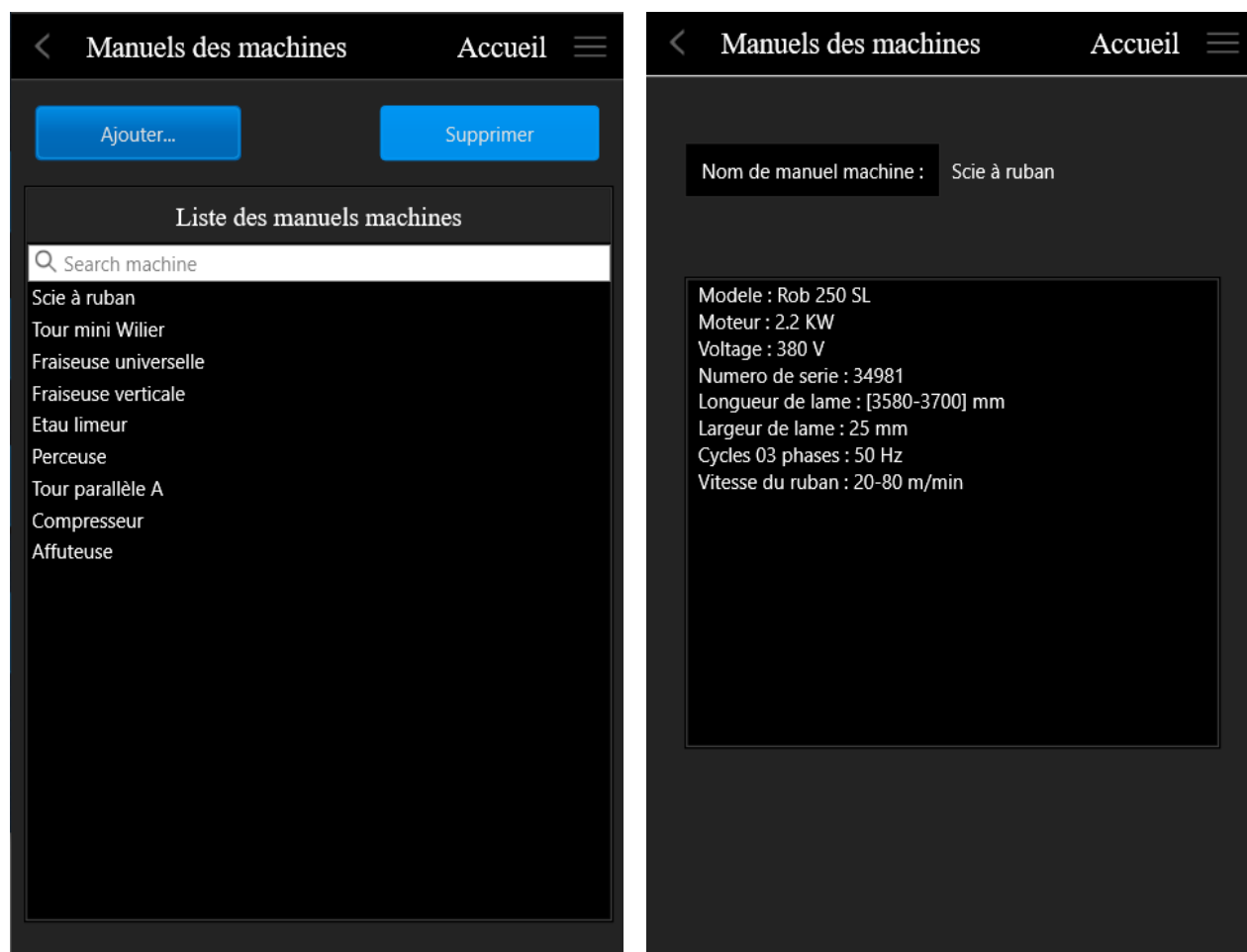


Figure IV.4 Interfaces des manuels machines

IV.5.4.4 Interface de maintenance

Dans cette figure IV.5 nous allons montrer l'interface de maintenance qui est une interface principale qui contient quatre options de choix où l'utilisateur doit choisir une option pour continuer, ces options sont : intervention, équipement, personnel et méthodes de maintenance. Chaque option va être bien détaillée dans les figures suivantes :

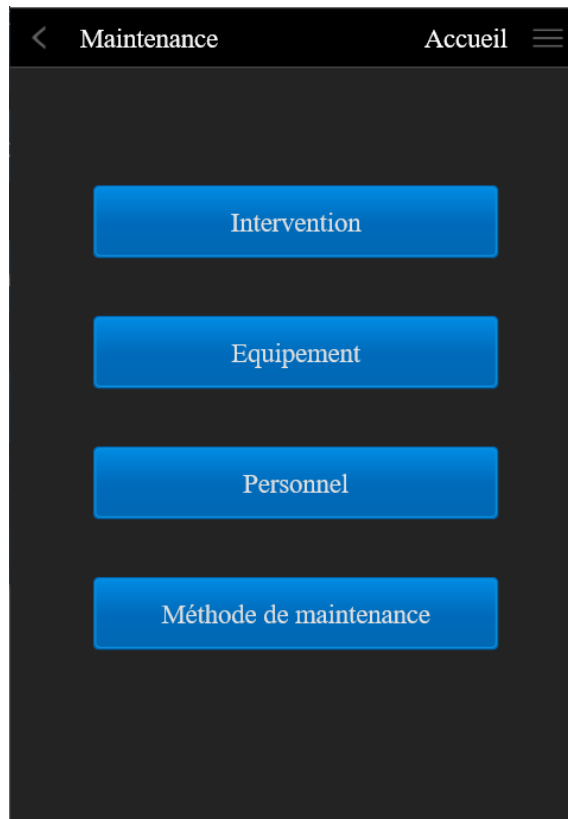


Figure IV.5 Interfaces de maintenance

IV.5.4.5 Module de gestion des interventions



Figure IV.6 Module d'intervention

Dans la figure IV.6 montre l'interface de notre module de gestion des interventions. Elle contient trois options de choix : ajouter des interventions, DT/OT des interventions en attend et historique des interventions.

IV.5.4.5.1 Ajouter une intervention

La figure IV.7 représente une interface du module de gestion des interventions qui est spécialement adapté et dédié aux demandes d'intervention, elle permet à tout utilisateur ayant les droits d'intervenir, d'enregistrer une demande. Dans cette partie, l'intervenant doit saisir des informations sur l'opération comme : l'équipement et le système à intervenir, le type d'opération à réaliser, la personne chargée de l'intervention, la date de panne et la date d'intervention, le temps de l'opération et l'état de l'intervention, la gravité et la détectabilité de la panne.

The screenshot shows a mobile application interface for adding an intervention. The form is titled "Intervention" and includes a back arrow on the left and "Accueil" with a menu icon on the right. The form fields are: "Numéro d'intervention : 20", "Machine : scie a ruban", "Catégorie : Système d'entraînement des roues de scie", "Opération : Changement de la lame de scie", "Date de panne : 15-05-2023 (with 'Aujourd'hui' button)", "Date d'intervention : 15-05-2023 (with 'Aujourd'hui' button)", a checked checkbox for "Intervention terminé", "Temp d'intervention : 15 (with 'Min' button)", "Intervenir par : Service Maintenance", "Gravité de panne: 4", and "Difficulté de détection: 2". At the bottom are "Annuler" and "Valider" buttons.

Figure IV.7 Ajouté une intervention

IV.5.4.5.2 Liste des interventions encours (DT, OT)

La figure IV.8 représente une interface spécifique pour la visualisation des demandes ou ordres de travail en attente qui sont déposés sur l'application. Cette partie de l'application permet juste de consulter les interventions en attente, modifier (modifier l'état d'une intervention par exemple : changer la situation d'une intervention d'encours vers terminer...) ou supprimer une intervention.

N° Int...	Machine	Système	Operation	Date du Panne
1	scie a ruban	Système d'entrain...	Changement de...	12-05-2023
2	scie a ruban	Panneau de com...	Changement de...	10-05-2023
3	TOUR N°05	armoire électrique	Changement de...	14-05-2023

Figure IV. 8 Liste des interventions encours

IV.5.4.5.3 Historiques des interventions

N...	Système	Operation	Date du Pa...
1	Système d'entrainem...	Changement de la la...	9/17/2017
2	Système de refroidis...	Changement de lubri...	1/27/2018
3	Système d'entrainem...	Changement de la la...	4/24/2018
4	Système d'entrainem...	Changement de la la...	5/13/2018
5	Système d'entrainem...	Changement de la la...	5/22/2018
6	Système d'entrainem...	Changement de la la...	6/3/2018
7	armoire électrique	Changement des but...	1/16/2019
8	Système de refroidis...	Changement des tuy...	1/22/2019
9	armoire électrique	Changement des lam...	2/10/2019
10	Système d'entrainem...	Changement de la la...	9/18/2019
11	Système d'entrainem...	Changement de la la...	2/7/2021
12	Système d'entrainem...	Changement de la la...	6/3/2022
13	Système de refroidis...	Changement d'un tu...	3/1/2023
14	Système d'entrainem...	Réparation du capte...	3/15/2023
15	Système d'entrainem...	Réparation des couss...	3/15/2023
16	Système d'entrainem...	Changement de la la...	4/27/2023
17	Système de refroidis...	Changement des tuy...	4/27/2023
18	Panneau de comma...	Conteur de prédeter...	11/16/202

Figure IV.9 Historiques des interventions

La figure IV.9 représente une interface pour consulter l'historique des interventions déjà réalisées. L'utilisateur doit choisir en premier lieu la machine qui veut voir son historique, pour consulter les interventions terminées, modifier des informations d'une intervention ou supprimer une intervention déjà réalisée.

La figure IV.10 représente une modélisation du diagramme du chemin potentiel pour un utilisateur dans la partie intervention. Ce diagramme représente les trois options de route possibles dans cette rubrique.

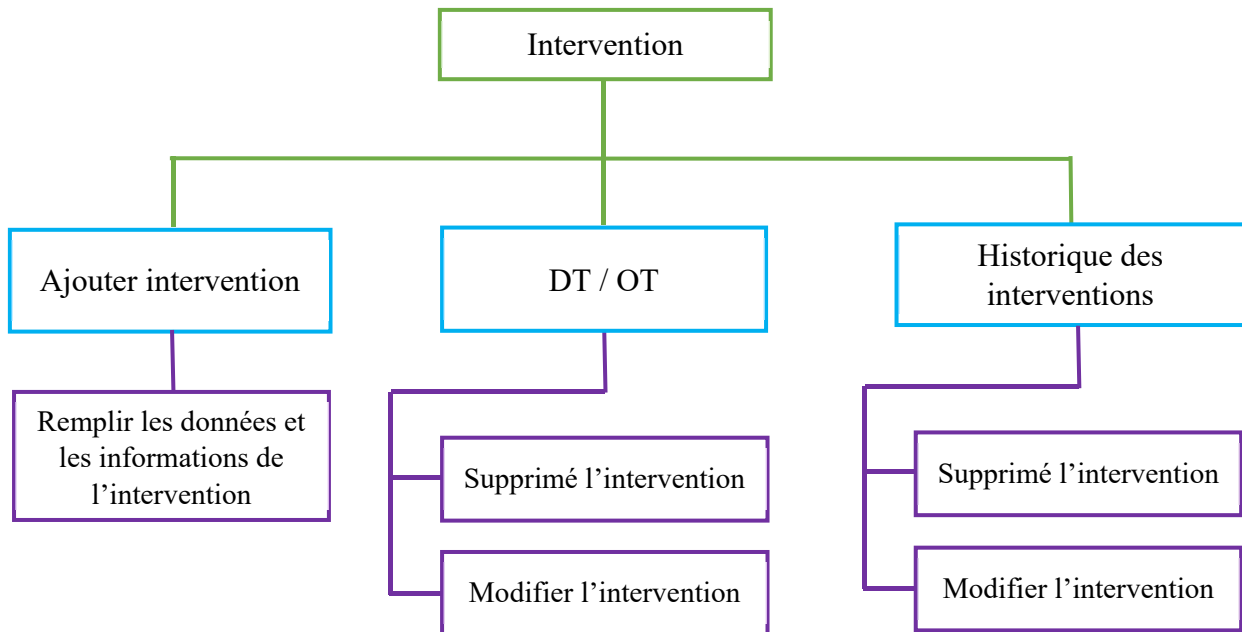


Figure IV.10 Organigramme d'une intervention

IV.5.4.6 Module personnel

La figure IV.11 est dédiée au module de gestion du personnel qui est basé sur certaines informations qui sont le nom, le prénom et la fonction d'intervenant. Directement depuis sa fiche personnelle, le responsable du hall peut connaître des informations sur ces employés. Dans ce module de l'application, on peut voir la liste du personnel, ajouter un nouvel intervenant, modifier des informations ou supprimer une personne de la liste.

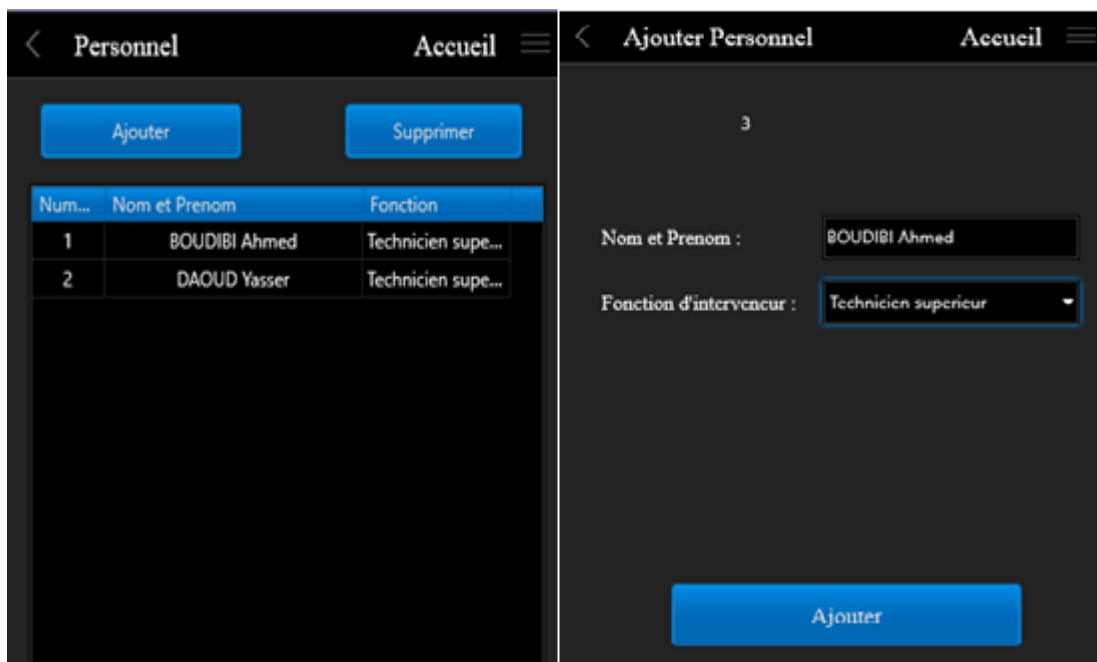


Figure IV.11 Ajouter personnel

La figure IV.12 est une représentation de l'organigramme des options potentielles pour un utilisateur dans la rubrique du personnel. Ce diagramme représente les trois chemins de route possibles dans cette partie de l'application.

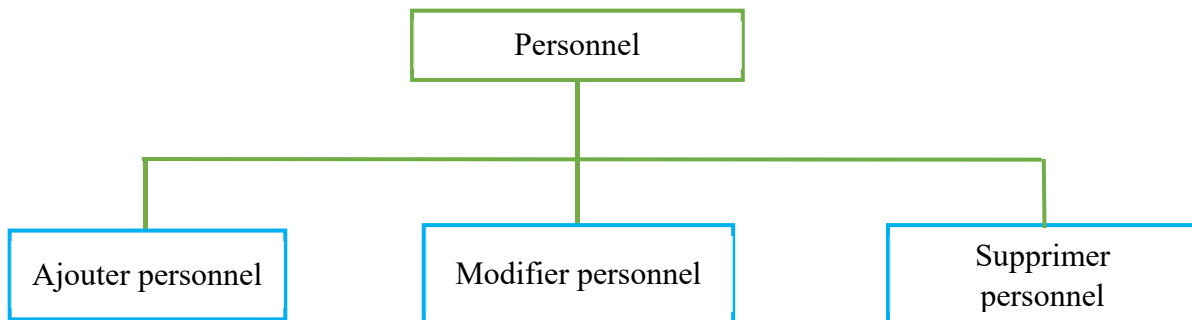


Figure IV.12 Organigramme du module de personnel

IV.5.4.7 Module équipement

La figure IV.13 est une interface de notre application. Elle représente le module des équipements qui est basé sur certaines informations relatives aux machines qui sont le nom de l'équipement, le type, la référence et les caractéristiques de l'équipement. Directement depuis la fiche d'équipement, le responsable du hall peut connaître des informations sur le matériel disponible dans le hall. Dans cette partie dans l'application, on peut voir la liste des équipements, ajouter un nouvel équipement, modifier des informations ou supprimer une machine de la liste.

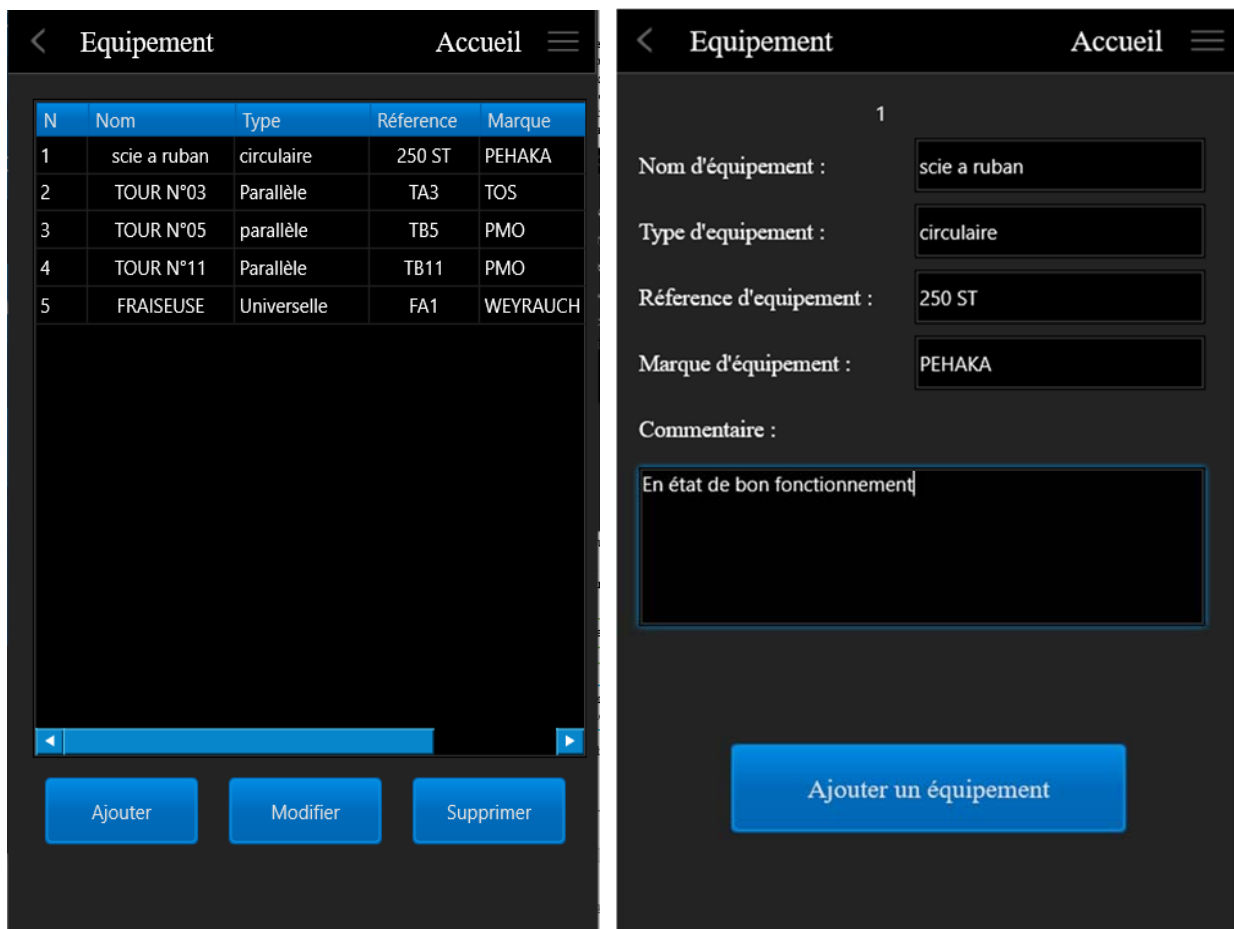


Figure IV.13 Ajouter un équipement

La figure IV.14 illustre le diagramme qui modélise les options potentielles pour un utilisateur dans la partie de l'équipement. Ce diagramme représente les trois options de route possibles dans cette rubrique de l'application.

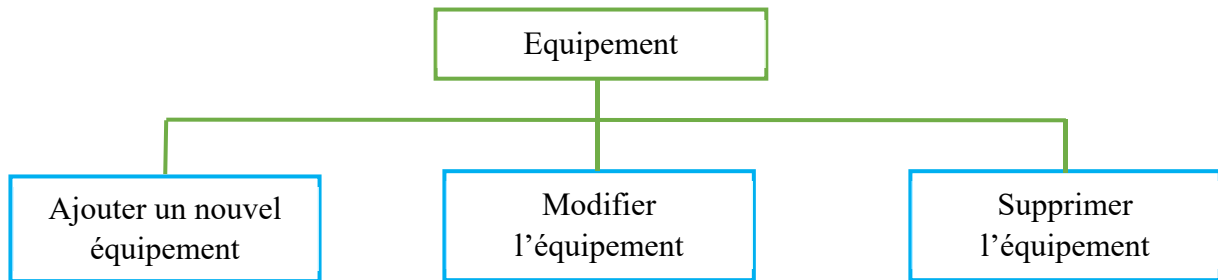


Figure IV.14 Organigramme du module de personnel

IV.5.4.8 Méthode de maintenance

IV.5.4.8.1 Analyse de Pareto

La figure IV.15 représente une interface de l'analyse de Pareto qui est spécialement adaptée et dédiée à la désignation des machines critiques au sein du hall de technologie. Dans cette partie, l'application va faire le calcul automatique de la méthode en utilisant les données insérées dans le module de gestion des interventions (la machine à étudier, nombre des pannes N, temps de réparation des pannes T).

L'utilisateur peut seulement voir les résultats de la méthode Pareto (N*T, valeur cumulée, pourcentage cumulé) au sein de l'institution. L'analyse de Pareto est d'une forme itérative, c'est à dire le résultat de cette méthode change à chaque fois on saisit une nouvelle intervention.

Machine	N*T	Valeur cumulé	% cumulé
Scie circulaire PEHA...	124.61	124.61	18.87%
Tour parallèle N°05	91.97	216.58	32.79%
Tour parallèle N°11	71.5	288.08	43.62%
Tour parallèle N°03	70.05	358.13	54.22%
Fraiseuse universell...	57.5	415.63	62.93%
Tour parallèle N°04	48.96	464.59	70.34%
Tour parallèle N°10	46.92	511.51	77.44%
Tour parallèle N°09	46.54	558.05	84.49%
Fraiseuse universell...	30.31	588.36	89.08%
Tour parallèle N°06	23.45	611.81	92.63%
Tour parallèle N°12	18.64	630.45	95.45%
Fraiseuse vertical N...	8	638.45	96.66%
Tour parallèle N°01	5.64	644.09	97.52%
Tour parallèle N°02	5.64	649.73	98.37%
Fraiseuse vertical N...	3.51	653.24	98.9%
Perceuse N°PC1	3	656.24	99.36%
Tour PC turn 155	1	657.24	99.51%
Mini Tour parallèle...	0.5	657.74	99.58%

Figure IV.15 Analyse de Pareto

IV.5.4.8.2 Algorithme de Pareto

La figure IV.16 est un logigramme qui représente l'algorithme de calcul pour la méthode Pareto :

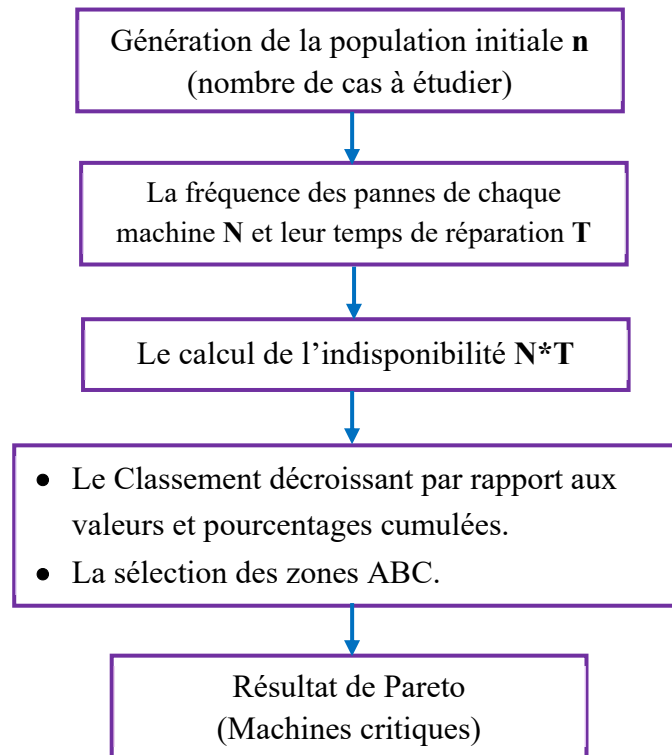


Figure IV.16 Logigramme de la méthode Pareto

IV.5.4.8.3 Méthode AMDEC

Système	G	D	F	Criticité
Système d'entraînement des ro...	4	3	2	24
Système de refroidissement	3	2	2	12
Système hydraulique	4	3	1	12
armoire électrique	3	3	1	9
Panneau de commande	3	2	1	6
Système d'entraînement de la b...	2	2	1	4

Figure IV.17 Méthode AMDEC

La figure IV.17 représente une interface de la méthode AMDEC dédiée à l'application de cette méthode au sein du hall. Dans cette rubrique, l'application va faire le calcul de la méthode en utilisant les données insérées dans le module de gestion des interventions (le système à intervenir, la gravité et la détectabilité de la panne). L'utilisateur doit choisir la machine en premier pour pouvoir consulter les résultats de la méthode AMDEC. Depuis chaque système, AMDEC fait le calcul automatique de la criticité pour savoir distinguer le système critique en utilisant les données de la gravité, la détectabilité et la fréquence (le nombre des pannes détectées dans chaque système).

IV.5.4.8.4 Algorithme d'AMDEC

La figure IV.18 est un logigramme qui représente l'algorithme de calcul pour la méthode AMDEC :

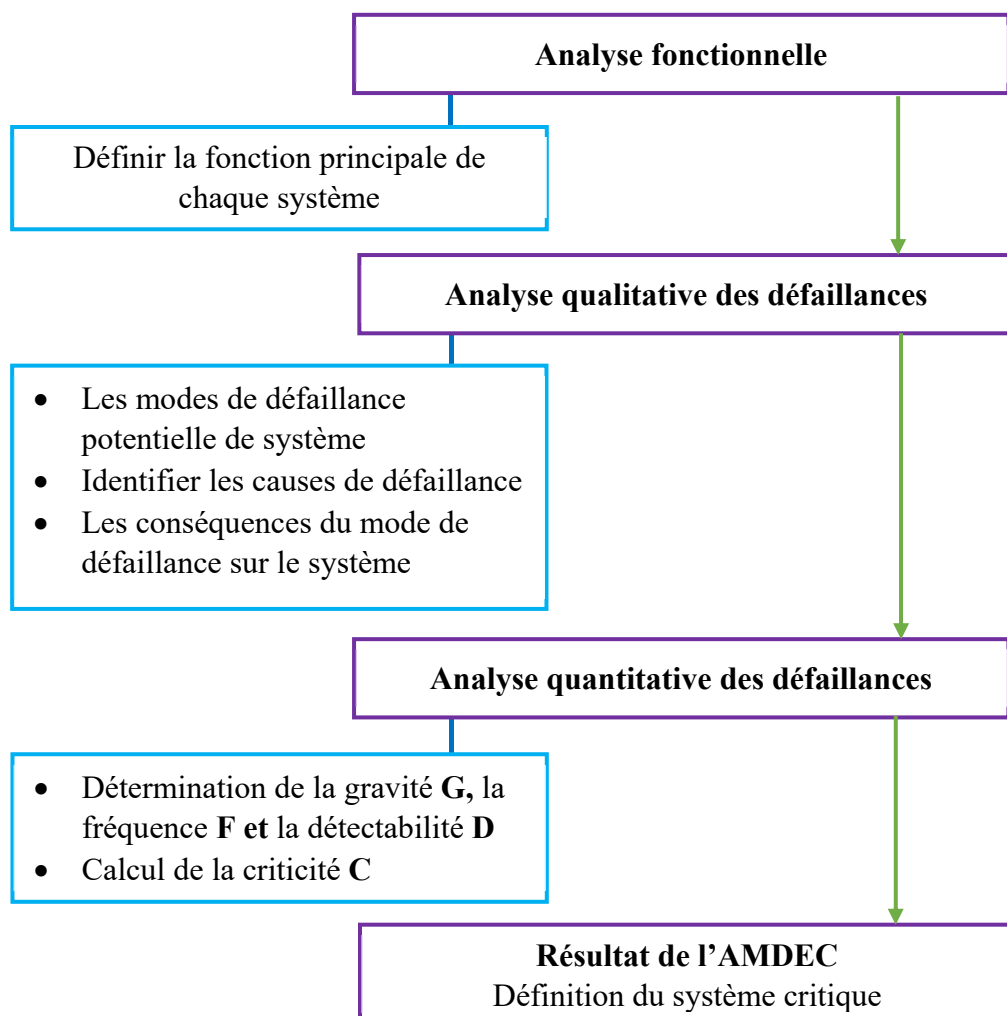


Figure IV.18 Logigramme de la méthode AMDEC

IV.5.4.8.5 Etude Weibull

La figure IV.19 représente une interface de l'étude Weibull adaptée à l'application de cette méthode dans le hall de technologie. Dans cette partie, l'application réalise le calcul automatique de cette méthode en utilisant les données insérées dans le module de gestion des interventions (la machine et le système à intervenir ainsi que les TBF de chaque système).

L'utilisateur doit choisir la machine en premier lieu et le système à intervenir en deuxième lieu pour pouvoir consulter les résultats de la méthode Weibull (Le paramètre β , le paramètre η , la forme de taux de défaillance et la durée de vie du système) avec une interprétation prédéfinie des résultats donnés par rapport à la valeur des paramètres de Weibull (la période de vie du système avec les causes de défaillance potentielles).



Figure IV.19 Etude Weibull

IV.5.4.8.6 Algorithme de Weibull

Les figures IV.20 sont une représentation du logigramme de l'algorithme de calcul pour la méthode Weibull :

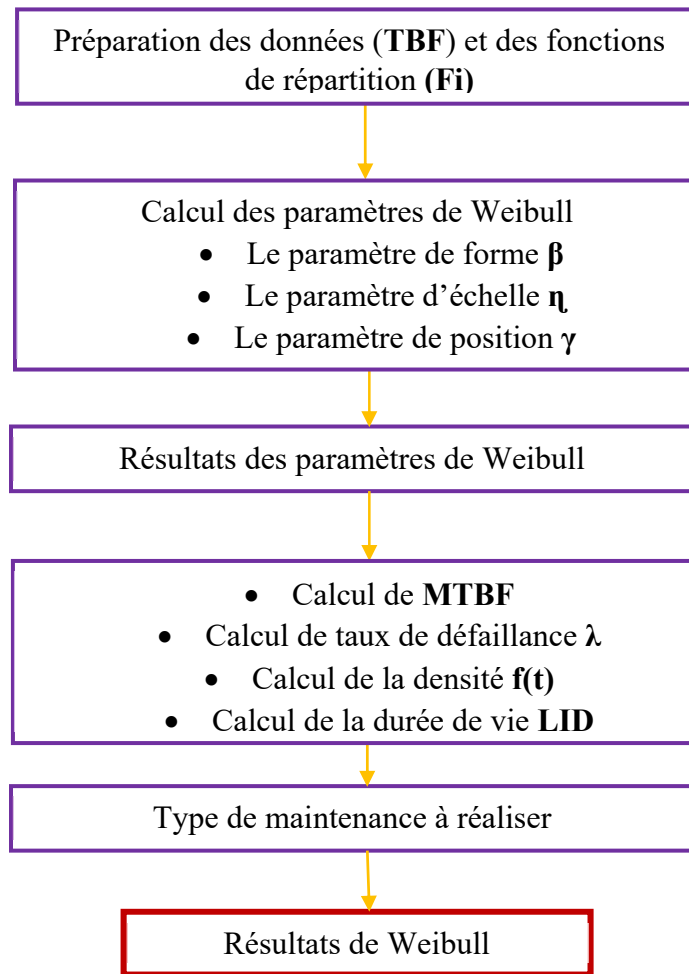


Figure IV. 20 Logigramme de la méthode Weibull

IV.5.4.8.6 Plan d'action (notification des tâches d'intervention)

La figure IV.21 représente une interface de Plan d'action. Dans cette rubrique, l'application va déclencher une alarme de notification pour planifier des interventions. Cette partie génère ces plans après le calcul de la durée de vie de chaque organe et après la réalisation des interventions sur chaque composant.

En utilisant les données insérées dans l'historique des interventions déjà terminer (la machine, le système à intervenir et la date de l'intervention sur la panne), L'utilisateur reçu des messages et des notifications de plan d'action pour lui rappeler de faire l'intervention. On peut consulter le tableau des plans d'actions et planifier manuellement des interventions depuis l'historique des pannes de chaque système. Après chaque nouvelle intervention, le plan d'action fait le calcul de la durée de vie des organes d'une façon automatique pour planifier à jour le plan d'action automatiquement et mettre à jour les nouvelles notifications.

N°	Machine	Système	Tâche	Date planifiée
1	scie a ruban	Système d'entrain...	Vérification programmée	20-08-2023
2	scie a ruban	Système de refroi...	Vérification programmée	29-09-2023
3	scie a ruban	Panneau de com...	Vérification programmée	03-06-2023

Figure IV. 21 Plan d'action des tâches d'intervention

IV.5.5 Utilisateurs de l'application

Le tableau IV.2 indique les différents utilisateurs de notre application ainsi les services offerts pour chaque utilisateur :

Tableau IV.2 Utilisateurs de l'application

Utilisateurs	Services offerts
Les techniciens de maintenance	<ul style="list-style-type: none"> - Exécution et enregistrement des interventions. - La consultation de l'historique. - Réaliser des comptes rendus sur les travaux.
Ingénieurs	<ul style="list-style-type: none"> - Préparation et la planification des travaux. - Faire une étude sur les interventions à réaliser. - Création de demandes d'intervention. - La consultation de l'historique. - Réaliser des comptes rendus sur les travaux.
Responsable de maintenance	<ul style="list-style-type: none"> - Pareto des pannes et des défaillances. - AMDEC des organes et composants critiques. - Weibull pour le calcul des grandeurs de FMD (MTBF, durée de vie des composants...) - Gestion et suivi des travaux. - Suivi de l'évolution des performances des équipements.
Magasiniers	<ul style="list-style-type: none"> - Réception des matériels et leur gestion. - Identification des demandes des intervenants à l'avance et leur préparation. - Gestion des outillages et matériel de hall. - Inventaires.

IV.5.6 Test final

L'application finale subira un test qui va permettre de faire une vérification finale du système et pour confirmer que notre produit répondre aux besoins exprimés. Ce test est réalisé avec la présence du responsable du hall qui va valider et évaluer notre application réalisée. Ce test consiste à faire des essais sur les fonctionnalités de l'application. Si le système est validé, l'organisation va prendre notre système comme leur système de GMAO, si non le système sera refusé et le travail va recommencer jusqu'à l'arrivé à un produit qui va répondre aux besoins de l'institution.

IV.6 Conclusion

Dans cette partie, il s'agit de la réalisation et de la mise en œuvre de notre application. Nous avons commencé le chapitre par une présentation de la GMAO avec ces différents objectifs. Après on a pu faire une étude de besoin pour réaliser le cahier des charges fonctionnelles de notre application qui contient plusieurs informations nécessaires lors de la réalisation du système (objectif global, objectif spécifique, analyse fonctionnelle...). Notre étude a ensuite abordé les différents outils utilisés, les différents utilisateurs du système, les différentes interfaces de l'application et les différents modules réalisés. Finalement, nous clôturons notre travail par la présentation de l'application réalisée.

Chapitre V

INTERVENTIONS SUR LA SCIE CIRCULAIRE

V.1 Introduction

Les opérations de maintenance ont un objectif principal c'est de garder les équipements toujours disponibles en état de marche, garantisse un bon déroulement du processus de production ou de fabrication des pièces et optimiser la durée de vie des machines.

Dans cette partie de travail nous présenterons notre expérience retenue après l'intervention sur la scie circulaire. Donc dans ce chapitre on va présenter l'opération de diagnostic de l'état de la scie circulaire PEHAKA ROBOTER 250 SL et les pannes lesquelles nous avons rencontré, on va présenter aussi les opérations et les interventions réalisées sur ces pannes.

V.2 Conditions d'utilisation des scies mécaniques

V.2.1 Pression de coupe

La pression de coupe fait référence à la force exercée sur la pièce de travail pendant la coupe. Une pression excessive peut entraîner une surchauffe de la lame, une usure prématurée, des coupes irrégulières et une dégradation de la qualité de la coupe.

D'autre part, une pression insuffisante peut entraîner des vibrations excessives, une instabilité de la pièce de travail [42].

V.2.2 Choix de la denture

La denture s'exprime en nombre de dents au pouce. Pour choisir le nombre des dents dans la lame à scier par rapport au centimètre ou en pouce, pour les dents de la lame, vous devez connaître la taille et la forme des pièces à couper (la dureté du métal à scier, l'épaisseur des pièces à scier...).

- **Les grosses dents** : sont donc utilisées pour des matériaux comme le bois, elles sont rapides.
- **Les dents moyennes** : sont destinées aux applications multi-usages. Bois, plastiques, aciers.
- **Les dentures progressives** : permettent d'étendre la plage d'utilisation d'une lame, ou d'en rendre l'usage plus rapide ou plus précis [42].

V.2.3 Réglage de la vitesse de coupe

La figure ci-dessous représente le tableau de sélection des paramètres de coupe de la scie :


PEHAKA EINSATZ-EMPFEHLUNGEN JOB SELECTOR CHART RECOMMENDATIONS DE SCIAGE TABLA DE SELECCION DE TRABAJOS						
MATERIAL	WERKSTOFF-NR.	AISI	BS	AFNOR	N/mm ²	
C 10	1.0301	1008	2 A	CC 10	500	B
C 15	1.1141	1009	2	XC 15, XC 18	600	
C 22	1.0402	1020	3 A, 3 C	CC 20	600	
C 45	1.0503	1043	8	CC 45	650	
9 S 20	1.0711	B 1112	1 A	S 200	400	
9 S Mn Pb 2S	1.0718	12 L 14		S 200 Pb	420	
40 Mn 4	1.1157	1039		35 M 5	700	
46 Mn 4	1.1159	1050	43 B	40 M 5	7880	
42 Mn V 7	1.5223	1340 (H)				
34 Cr 4	1.7033	5132 (H)	18 B, 18 C	32 C 4	700	
25 Cr Mo 4	1.7218	4130 (H)	19 A	25 CD 4 (S)	650	
50 Cr Mo 4	1.7228	4147 (H), 4150 (H)		42 CD 4 (TS)	850	
36 Cr Ni Mo 4	1.6511	9840	362	20 NCD 2	800	
30 Cr Ni Mo 8	1.6580	4337	24, 110	35 NCD 6	980	
C 80 M 1	1.1525	W 109 Special		Y ₁ 90	900	
C 110 W 2	1.1654	W 110 Extra		Y ₂ 120	900	
100 Cr 6	1.3505	EN 52 100	31	100 C 6	900	
14 Ni Cr 14	1.5752	E 9315	36 A	12 NC 15	900	
X 210 Cr 12	1.2080	D 3	BD 3	Z 200 C 12	900	D
X 37 Cr Mo W 5 1	1.2606	H 12	BH 12	Z 38 CDWV 5		
X 50 Ni Cr WV 13 13	1.2731	~ 343	54	Z 45 CNWS 15		
S 6-5-2	1.3343	M 2	BM 2	6-5-2	900	B
S 2-9-1	1.3346	M 1	BM 1	2-8-2		
S 10-4-3-10	1.3207	T 15	BT 42	18-0-2-10	900	
S 18-1-2-10	1.3265	T 5	BT 5			
X 40 Cr 13	1.4034	24	56 D	Z 40 C 14	≤ 800	
X 12 Cr Ni S 18 8	1.4305	303, 304 S	58 M	Z 10 CNF 18-09	600	
X 2 Cr Ni Mo 18 10	1.4404	316 L (C)	58 H	Z 2 CND 17-12		
X 80 Cr Ni Si 20	1.4747	310, 314	59	Z 10 CA S 18	800	
X 15 Cr Ni Si 25 20	1.4841			Z 12 CN 25 20		
HASTELLOY A HASTELLOY B, C INCONEL, TITAN	2.4600				800 850 1000	
GG 20-35 GGG 60-70	0.6020/0.6035 0.7060/0.7070	Cast Iron, Class 30, ferrit. Cast Iron, Pearlitic 80-60-03		FT 14-30 FGS 60-2	200-350 600-700	A
Cu 99, Ms 60, Kunststoffe		Copper, Brass Artificial material L 232		UZ 40	400	B
Al 99, Al Mg 4			AG 3 T			A
Al 2-17% Si				AU 4 G		B
Bronze				Bronze ordin.	360	A
Al-Bronze					600	

Figure V.1 Tableau de sélection des paramètres de coupe [43]

V.2.4 Réglage de la tension de la lame

Le réglage de la tension de la lame se fait à l'aide d'un basculeur qui est monté sur le cylindre de la scie. Le basculeur permet de régler la tension de la lame en exerçant une pression sur celle-ci. En utilisant ce dispositif, vous pouvez augmenter ou diminuer la tension de la lame selon les besoins [42].

V.2.5 Lubrification

Un lubrifiant est une substance utilisée pour réduire la chaleur due à la friction entre les deux surfaces en mouvement relatif, afin de minimiser l'usure. Le lubrifiant est fait à base d'un mélange de l'huile et de l'eau [44].

V.3 Lame de scie

V.3.1 Causes de défaillance de la lame

Il existe plusieurs causes qui déclenchent la défaillance dans une lame qui ont :

- **Le long stockage des lames dans le magasin** : la commande des lames était réalisée d'une façon aléatoire. Donc, on arrive des fois à avoir plusieurs lames dans le magasin. Ce qui donne la dégradation de la lame même avant l'utilisation.

- **Capteur de vitesse défaillant** : pour utiliser la machine de la meilleure manière, il faut avoir une connaissance continue sur la valeur de la vitesse sinon l'utilisateur ne peut pas régler ces paramètres pour une coupe idéale ce qui provoque la cassure de la lame.
- **Manque des lames d'origine de la scie** : des fois les responsables lors de la commande des lames et lorsqu'ils ne trouvent pas les pièces d'origine de la machine, ils ramènent d'autres lames et ils vont faire des modifications pour qu'elle soit adaptable à la scie. Généralement la lame ne va pas résister longtemps et elle va être cassée.
- **Défauts de conception** : on peut recevoir des composants avec matériaux de mauvaise qualité ou le choix de matériaux inappropriés.
- **Erreurs d'installation** : on peut avoir des défauts d'installation de la lame dans la scie (mal orienté ou sur serrage).
- **Une mauvaise utilisation** : il faut savoir que la machine est souvent utilisée par les étudiants pour les TP, PFE...et la majorité entre eux n'ont pas l'expérience nécessaire pour une utilisation correcte.

V.3.2 Etapes pour choisir la lame de scie

Avant de lancer des commandes pour acheter les lames, il faut d'abord choisir le type des lames qui convient et pour savoir bien choisir la lame, il faut respecter les conditions suivantes :

- 1- **Déterminer les dimensions du ruban** : avant de commander une lame, il faut d'abord préciser les dimensions du ruban par exemple : 3700 mm...
- 2- **Identifier les caractéristiques du matériau à coupé** : taille, forme, épaisseur...
- 3- **Choisir le produit à utiliser** : sélectionner le matériau à couper...
- 4- **Prendre en compte les spécifications** : la vitesse de coupe, durée de vie de l'outil, tension de la lame, l'environnement de travail et de stockage...
- 5- **Choisissez les dents adaptées** : le type des dents de la lame à ruban est crucial pour obtenir une coupe efficace. Différents types de dentures conviennent à différents matériaux.

V.3.3 Optimisation de la durée de vie de la lame

Afin de maximiser la durée de vie de la lame, il faut suivre certains conseils qui sont les suivantes :

- Il faut vérifier avant de démarrer la machine, que la tension du ruban est idéale pour l'opération.
- Utiliser les paramètres de coupe adéquates avec l'opération.
- Garantir une bonne évacuation des copeaux en changeant régulièrement la brosse de la machine.
- Effectuez un entretien régulier : assurez-vous de nettoyer et d'entretenir d'une manière régulière : enlevez la saleté et les débris après chaque utilisation. Remplacez les pièces usées ou endommagées.
- Évitez les surcharges et les mauvaises utilisations.
- Assuré lors d'une commande des lames, de ramener des lames adéquates avec les spécifications et les besoins d'utilisation.

- Interdire l'utilisation la scie sans la présence du personnel qualifié.
- Il faut faire attention lors de l'installation de la lame pour avoir une installation correcte.
- Eviter les commandes aléatoires des lames pour éviter la dégradation des lames avant l'utilisation.
- Il faut vérifier la qualité des lames avant de les acheter ou de les faire entrer au magasin.

V.3.3.1 Rodage de la lame

Lors de l'installation d'une nouvelle lame, l'opération de rodage est nécessaire afin de maximiser la durée de vie de l'outil parce qu'elle dépend fortement du rodage. Le but de rodage est de préparer la lame progressivement à votre environnement (matière, machine, façon de travailler). Pour effectuer le rodage de la lame neuve. Il faut réduire la vitesse de défilement du ruban ainsi que la vitesse d'avance, le nombre de coupes de rodage dépend du matériau à couper. La durée de rodage dépend de type de matière à couper et selon la dureté de la matière.

V.4 Diagnostique et intervention sur la scie circulaire

Dans cette partie de travail, on a résumé l'ensemble de l'étude réalisée sur les problèmes rencontrés dans la machine ainsi que les solutions que nous avons réalisées afin de les résoudre.

V.4.1 Diagnostique des pannes détectées dans la scie

Après le diagnostic d'état de la scie circulaire, nous avons listé plusieurs problèmes et défaillances qui sont :

- **Cassure de la lame** : nous avons trouvé que la lame souffre d'une cassure et ce problème rendre la machine non fonctionnelle.



Figure V.2 Cassure de la lame

- **Accumulation des copeaux** : nous avons remarqué qu'il y a un cumul énorme des copeaux ce que peut engendrer la saleté de la scie et la possibilité d'avoir des copeaux dans le réservoir de lubrifiant.



Figure V.3 Accumulation des copeaux

- **Des tuyaux colmatés** : nous avons remarqué que plusieurs tuyaux sont bouchés ce qui bloque le passage de lubrifiant lors de la procédure de refroidissement.



Figure V.4 Tuyaux colmatés

- **Dégradation de l'état de lubrifiant :** nous avons trouvé que l'état de lubrifiant était dégradé et il ne peut pas assurer sa fonction de la meilleure manière.



Figure V.5 Ancien lubrifiant

- **Problème dans le capteur de vitesse :** nous avons trouvé que le capteur de vitesse ne travaille pas en coordination avec le tachymètre ce qui donne l'indisponibilité de la valeur de la vitesse.



Figure V.6 Le non fonctionnement du capteur

V.4.2 Intervention pour la maintenance de la scie

Après l'opération de diagnostic de l'équipement, nous avons réalisé plusieurs opérations de maintenance pour essayer de régler certains problèmes, parmi ces actions de maintenance on peut lister :

- **Changement de la lame** : pour le problème de cassure de la lame, nous avons changé cet outil avec un autre qui est nouveau.

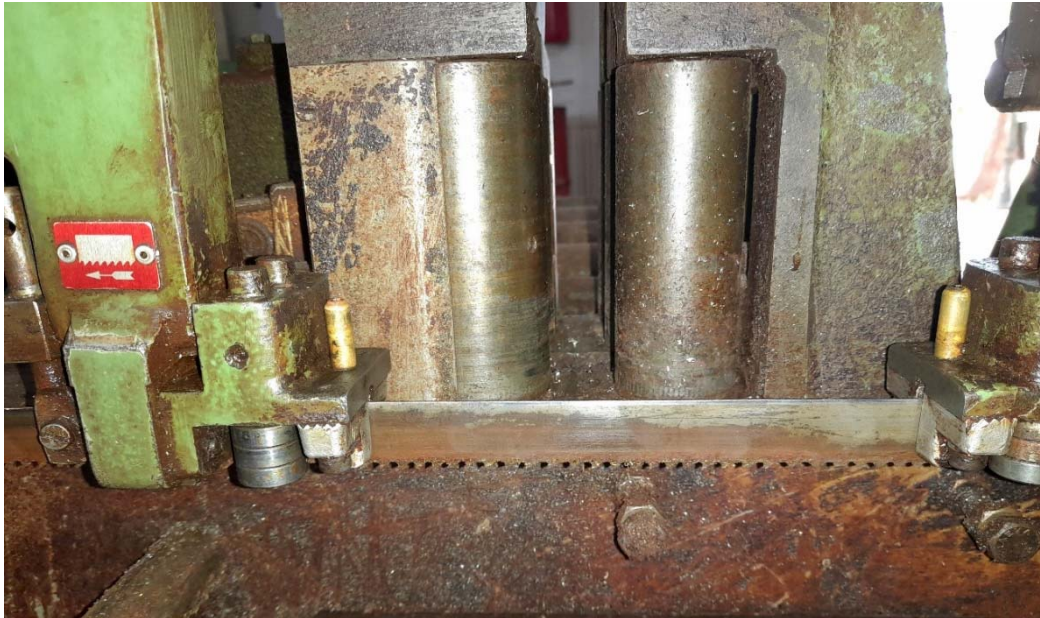


Figure V.7 Changement de la lame

- **Enlèvement des copeaux** : pour résoudre le problème d'accumulation des copeaux, nous avons éliminé tous les copeaux de la machine.



Figure V.8 Enlèvement des copeaux

- **Nettoyage de la machine** : pour régler le problème de la saleté de la machine, nous avons fait une opération de nettoyage avec les moyens disponibles.



Figure V.9 Nettoyage de la machine

- **Changement des tuyaux colmatés** : pour débloquer le passage de fluide, nous avons changé les tuyaux colmatés pour assurer un bon déroulement de la procédure de refroidissement.



Figure V.10 Changement des tuyaux colmatés

- **Changement du lubrifiant dans le réservoir :** nous avons changé le lubrifiant en remplaçant le fluide par un autre qui est nouveau.



Figure V.11 Changement du lubrifiant



Figure V.12 nouveau lubrifiant dans le réservoir

- **Réglage du capteur de vitesse :** nous avons réparé le capteur de vitesse de manière qu'il reste toujours connecté avec le tachymètre et assuré l'affichage continu de la valeur de la vitesse.



Figure V.13 Capteur de vitesse après l'intervention

- **Remplissage d'huile pour le moteur :** nous avons trouvé que le niveau d'huile dans le moteur du système d'entraînement de la roue était dans un niveau très bas. Donc, nous avons fait une opération de vidange du moteur par un remplissage d'huile.



Figure V.14 Remplissage d'huile pour le moteur

- **Graissage des points** : en utilisant la pompe de graissage indiqué dans la figure ci-dessous, nous avons appliqué un lubrifiant approprié sur les points de friction et de mouvement de l'équipement.



Figure V.15 Opération de graissage

- **Changement de tuyaux retour du lubrifiant** : après des dommages physiques constatés dans l'objet, nous avons réalisé une intervention sur le système de refroidissement pour changer le tuyau de retour du lubrifiant vers le réservoir.



Figure V.16 Changement de tuyaux de retour du lubrifiant

V.5 Conclusion

L'objectif de chaque politique de maintenance est de maintenir les équipements dans un état de bon fonctionnement afin d'assurer leurs fonctions principales. Pour assurer cet objectif, nous avons fait quelques interventions sur notre équipement. Dans ce chapitre, nous avons abordé l'expérience qu'on eu avec l'ensemble des actions et des opérations de maintenance, qu'elles soient préventives ou correctives, réalisées sur la scie circulaire. On cite : des réparations, nettoyage et des changements... Enfin, des photos des résultats de chaque opération de maintenance sont présentées.

**CONCLUSION
GENERALE ET
PERSPECTIVES**

De nos jours, le service de maintenance est considéré comme un élément crucial et incontournable pour les entreprises. En effet, le marché exige une compétitivité féroce pour garantir la survie des entreprises dans le monde industriel. Ainsi, chaque entreprise cherche à optimiser son plan d'action et ses moyens de production pour atteindre un rendement maximal. L'informatisation des procédures de maintenance s'avère être une solution pertinente. En effet, grâce au développement de fichiers informatiques exhaustifs, recensant l'ensemble des équipements, des activités de maintenance, des plans et des schémas, ainsi que l'inventaire des stocks d'outils et des pièces, il est possible d'intégrer ces fichiers et d'automatiser les opérations de maintenance grâce à un système de Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO). Cette dernière permet de recenser les événements de maintenance tels que la défaillance, la maintenance préventive et la gestion des stocks.

En réalité, une GMAO aide à organiser les ordres d'intervention et de contrôler de manière efficace l'inventaire et les données correspondantes. Cette solution intègre les tâches de maintenance : l'ordonnancement, le contrôle, la planification, l'exécution des interventions et le suivi, les tâches administratives telles que l'organisation d'un projet, et enfin l'organisation des données relatives aux plans de travail, aux documents techniques et aux matériaux.

Pour reconnaître la machine critique du hall de technologie, nous avons utilisé un ensemble de méthodes d'optimisation de maintenance (Pareto, AMDEC, Weibull).

Dans cette optique, notre travail présente une application GMAO dédiée au service de maintenance du hall de technologie de la faculté de technologie de notre université. Nous avons réalisé cette application Android pour les besoins et les spécifications du hall, selon le cahier de charge (objectifs de l'application, analyse fonctionnelle, les utilisateurs de l'application...). Pour cela, nous avons adopté une stratégie de réalisation basée sur les outils Delphi et RAD studio. Notre application offre les avantages suivants :

- Suivre la documentation dans le hall.
- Enregistrer les équipements et le personnel de l'institution.
- Avoir un historique et un suivi des interventions.
- Avoir la possibilité d'appliquer les méthodes de maintenance de façon itérative.
- Avoir une planification de la maintenance préventive.
- Créer un flux d'informations entre les membres d'équipes.

Notre application va permettre au hall de technologie de faire un gain en terme de temps, parce qu'elle aide à l'optimisation du service de maintenance pour une meilleure surveillance des équipements ainsi que de maximiser leur durée de vie.

Pour compléter notre travail, nous avons réalisé des interventions de maintenance sur la machine afin de résoudre les problèmes détectés.

En perspectives nous prévoyons d'étendre notre travail aux autres équipements disponibles (tours, fraiseuses, perceuses...), ainsi qu'aux autres services du hall (gestion du stock...). Et pour un meilleur fonctionnement de la scie nous prévoyons de développer des produits chimiques (des additifs) pour éviter le colmatage du lubrifiant.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1] FRIHI D., Cours de maintenance industrielle, Université de Guelma, Juin 2015.
- [2] BOUAMI D., Le grand livre de la maintenance : Concepts, démarches, méthodes, outils et techniques, édition AFNOR, 2019.
- [3] DJENANE A., « Généralités et définitions de la maintenance », Cours maintenance Industrielle M1 FMP. Université de Batna 2, 2020/2021.
- [4] LALOUX G., Management de la maintenance selon l'ISO 9001: 2008. Afnor, 2009.
- [5] KIDDEM A., Application des techniques de gestion de la maintenance, Décembre 2004.
- [6] BENZOUAI M., Gestion de la maintenance industrielle, Université de Batna 2.
- [7] HUBERT F., Cours méthodes de maintenance, BTS maintenance industrielle et production, 2014.
- [8] MONCHY F., VERNIER J.P., Maintenance méthodes et organisations, 3ème édition. DUNOD, Paris, 2010.
- [9] AOUD R., « Les opérations et les niveaux des maintenances », Cours de maintenance, Université de Constantine 1, 2019.
- [10] WADO JOUSSE L., Cours stratégie de maintenance, ENIET-Cameroun, 2014.
- [11] BELHOMME A., Cours de stratégie de maintenance, 2010/2011.
- [12] YOUNES R., Cours généralités sur la maintenance, Université de Béjaia.
- [13] HUBERT F., Cours organisation de maintenance, BTS MS. Concepts et stratégies de maintenance, 2014.
- [14] DEBBAH Y., Cours de gestion de la maintenance industrielle, ISTA, Université de constantine-1, Décembre 2020.
- [15] SCHENK S.A., « vibrations équilibrage sur le site : Application à la maintenance industrielle ». Edition Schenk S A. 1994.
- [16] <https://kitoutils.com/outils/le-diagramme-d-ishikawa> (Consulté le : 23/02/2023).
- [17] Mémoire Mise en place d'un système de maintenance Etude de cas : Société MOULINS HAMAMAT.
- [18] DELOUX E., Politiques de maintenance conditionnelle pour un système a dégradation continue soumis à un environnement stressant, Thèse de Doctorat de l'Université de Nantes, 7/10/2008.
- [19] MEKAMCHA K., Cour gestion des stocks et des approvisionnements, Université de Tlemcen 2017/2018.
- [20] VAN STEENKISTE I., DELERS A., La règle des 80/20 ou la loi de Pareto : Comment mieux s'organiser au quotidien ?, 30 juin 2014.
- [21] <https://www.jacob-industrie.de/blog/die-abc-analyse/> (Consulté le : 12/03/2023).
- [22] CHAFAI M., Management de la maintenance industrielle, Edition 5559, 02/2015.
- [23] Groupe EMITECH, Fiabilité Les essais HALT & HASS, <https://www.emitech.fr/fr/fiabilite-essais-halt-et-hass> (Consulté le : 15/03/2023).
- [24] <https://homeomath2.immingo.net/loiweibull2.html> (Consulté le : 18/03/2023).
- [25] Cour structure générale d'un système automatisé : la fiabilité des systèmes de production, License mécatronique, Université de Troyes.
- [26] VEYSSEYRE R., Statistique et probabilités pour l'ingénieur, 2eme édition. 489p.
- [27] LANDY G., AMDEC Guide pratique, Afnor, Saint Denis, 2011.

- [28] BOUTOU L., LANDY G., SAINTVOIRIN B., AMDEC Guide pratique. (2e éd). AFNOR. Rue Francis de Pressensé, 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex, (2006).
- [29] BIGRET R., FÉRON J.L., Diagnostic maintenance disponibilité des machines tournantes (modèle-mesurage-analyses-des vibrations).
- [30] RIDOUX M., AMDEC- Moyen techniques de l'ingénieur, Base documentaire : méthodes de production dans le thème : Conception et Production et dans l'univers Génie industriel, AG4220, Paris, France, 1999.
- [31] Fiche pratique, 0512 Pratiquer l'AMDEC, Base documentaire : Evaluer et maîtriser le risque chimique, délivré le : 23/06/2014.
- [32] KELADA J., l'AMDEC, École des Études Commerciales : Centre d'étude En qualité totale, 1994.
- [33] KAHOUADJI H.A., Cours gestion de la maintenance, Chapitre 6. V2.0, université de Tlemcen, 2017.
- [34] <https://www.manomano.fr/p/scie-a-metaux-en-aluminium-177701> (Consulté le : 05/04/2023).
- [35] <http://jackadit.com/index.php?page=indus3> (Consulté le : 10/04/2023).
- [36] ZWINGELSTEIN G., Diagnostic des défaillances, HERMES, 1995.
- [37] GABRIEL M., PIMOR Y., Gestion de la maintenance assistée par ordinateur, 1985.
- [38] FRANCASTEL J.C., Quand les machines nous donnent à penser ?, DUNOD, 2002.
- [39] MEYLAN C., Gestion de maintenance assistée par ordinateur, 1999.
- [40] Guide du développer, Borland Delphi 6 pour Windows, Borland international, 2001.
- [41] <https://docwiki.embarcadero.com/RADStudio/Sydney/fr> (Consulté le : 18/04/2023).
- [42] ABDI Z., Etude diagnostic et intervention sur la scie à ruban " PEHAKA ROBOTER 250 SL ", mémoire de master, 2017.
- [43] Dossier technique de la machine, SCIE CIRCULAIRE PEHAKA ROBOTER 250 SL.
- [44] CHORFI S., Cour généralité sur les lubrifiants, ISTA, Université de Constantine, 2020.
- [45] <https://www.google.dz/maps/@34.9192657,-1.3023062,282m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>
- [46] HAMMAMI M., étude de Weibull, Université de sfax