

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : Génie

Electrique

N° :



FILIERE : ELECTROMECHANIQUE

OPTION : MAINTENANCE

INDUSTRIELLE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : YACOUBA SAADOU Farouk

Intitulé :

APPLICATION DE LA MAINTENANCE
INDUSTRIELLE POUR L'AUGMENTATION DU
PROFIT ECONOMIQUE D'UNE ENTREPRISE

Soutenu devant le jury :

Dr. DEFDAF Mabrouk	Université de M'SILA	Président
Pr.GHEMARI Zine	Université de M'SILA	Rapporteur
Dr. CHERIF Billal	Université de M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

DEDICACES

DEDICACES

À l'aide de Dieu, j'ai pu réaliser ce travail que je dédie :

À mes très chers parents pour leur soutien inconditionnel, leur bienveillance, abnégation et encouragements tout au long de mes études.

À tous mes professeurs (depuis les primaires) pour la transmission de leur immense et noble sagesse qui est pour moi l'une des plus grandes vertus.

À mes frères et sœurs, à ma famille et mes amis.

Enfin je dédie ce travail à tous mes collègues de classe, pour leur camaraderie et à tous ceux qui m'ont motivé et inspiré à poursuivre mes études, à croire et à me dépasser.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Je voudrai d'abord adresser toute ma reconnaissance à mon encadreur, Pr. GHEMARI Zine, pour sa patience, sa disponibilité et ses astucieux conseils qui m'ont guidé et ont contribué à alimenter ma réflexion tout au long de ce travail.

À mes très chers parents, qui ont été toujours là. Merci pour le moral, le soutien, et les encouragements qui m'ont donné la force et le courage d'accomplir ce projet.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à tous les professeurs du département de génie électrique (université Mohamed Boudiaf/M'Sila), pour leur sagesse, dévouement et leur assistance tout au long de mes études universitaires.

J'aimerais aussi remercier les respectables membres du jury de m'avoir accordé leurs temps pour commenter, discuter et juger mon travail.

En fin, à toutes les personnes, trop nombreux pour les citer, qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce projet. Recevez ici, mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : ETAT DE L'ART SUR LA MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS INDUSTRIELS.

I-1 Introduction	4
I-2 Objectif de la maintenance	4
I-3 Définition de la maintenance	4
I-4 Les différents types de maintenance	5
I-4-1 Maintenance corrective.	5
I-4-1-1 Définition	5
I-4-1-2 Les types de maintenance corrective	6
I-4-2 Maintenance préventive	6
I-4-2-1 Définition	6
I-4-2-2 Les types de maintenance préventive.....	6
I-5 Les niveau de la maintenance	9
I-6 La fonction maintenance	11
I-6-1 Méthodes	11
I-6-2 Ordonnancement	12
I-6-3 Réalisation des interventions	12
I-7 Evolution de la maintenance	12
I-8 Opération de maintenance	13
I-8-1 Opérations de maintenance corrective	13
I-8-1-1 Localisation de défaillance	14
I-8-1-2 Remise en état	14
I-8-1-3 Durabilité	14
I-8-2 Opérations de maintenance préventive.....	15
I-8-2-1 Entretien	15
I-8-2-2 Surveillance	15
I-8-2-3 Révision	16
I-8-2-4 Préservation	16
I-9 Coûts de la maintenance	16

I-9-1 Facteur économique	16
I-9-2 Facteur de l'environnement et la santé	18
I-10 Choix de la politique de maintenance	19
I-11 Conclusion	20

**CHAPITRE II : LES STRATEGIES DE LA MAINTENANCE ET SURETE DE
FONCTIONNEMENT**

II-1 Introduction	22
II-2 Analyse fonctionnelle	22
II-2-1 Intérêt et but	22
II-2-2 Principes de l'analyse fonctionnelle	25
II-2-2-1 Notion de système	25
II-2-2-2 Notion de fonction	26
II-2-2-2-1 Les différentes fonctions	26
II-2-2-3 Types d'analyse fonctionnelle	26
II-2-2-3-1 L'analyse fonctionnelle du besoin ou analyse fonctionnelle externe	26
II-2-2-3 -2 L'analyse fonctionnelle du produit ou analyse fonctionnelle interne	27
II-2-3 Outils d'analyse fonctionnelle	27
II-2-3-1 Démarche du projet	27
II-2-3-2 La Bête a corne : Recherche de la fonction globale	28
II-2-3-3 La Pieuvre.....	28
II-2-3-4 Le tableau fonctionnel	29
II-2-3-5 Cahier des charges fonctionnel.....	29
II-3 Analyse des causes de défaillance	30
II-3-1 Diagramme de causes/effets.....	30
II-3-1-1 Définition.....	30
II-3-1-2 Domaines d'utilisation	30
II-3-1-3 Méthodologie pour construire le diagramme d'Ichikawa	30
II-3-1-4 Représentation graphique du diagramme de cause et défaillance	32
II-3-2 Histogramme de PARETO (méthode ABC)	32
II-3-2 -1 Intérêt de la méthode.	33
II-3-2 -2 L'analyse ABC	33

II-3-2 -2-1 Comment tracer la courbe ABC	34
II-4 Optimisation et sécurisation d'un procès	34
II-4-1 Analyse des Modes de Défaillances de leur effet et de leur Criticité : AMDEC.....	34
II-4-1-1 Définition.....	35
II-4-1-2 Objectifs de l'AMDEC	35
II-4-1-3 Les types de l'AMDEC.	35
II-4-1-3-1 L'AMDEC produit	35
II-4-1-3-2 L'AMDEC processus	36
II-4-1-3-3 L'AMDEC montage	36
II-4-1-3-4 L'AMDEC contrôle	36
II-4-1-3-5 L'AMDEC sécurité	36
II-4-1-3-6 L'AMDEC machine	36
II-4-1-4 Application de l'AMDEC.....	36
II-4-1-5 Les modes de défaillance.....	37
II-4-1-6 Les causes de défaillance.....	38
II-4-1-7 Criticité des conséquences	38
II-4-1-8 Propositions d'améliorations	39
II-4-2 La méthode GANTT	39
II-4-2-1 Généralité	39
II-4-2-2 Présentation de la méthode	40
II-4-2-3 Utilisation du diagramme	41
II-4-2-4 Optimisation	42
II-4-2-5 Pourquoi utilité la méthode de GANTT	43
II-5 LA Sûreté de fonctionnement	43
II-5.1 Etude FMD	43
II-5.1 La fiabilité.	43
II-5.1.1 Les différents types de fiabilité	43
II-5.1.2 Objectifs de la fiabilité	44
II-5.1.3 Analyse de la fiabilité	44
II-5.2 La maintenabilité	46

II-5.2.1 Amélioration de la maintenabilité	47
II-5.3 La disponibilité	47
II-5.3.1 Quantification de la disponibilité	47
II-5.3.2 Différents niveaux de la disponibilité	48
II-6 Conclusion	49

CHAPITRE III : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE (Maghreb-Pipe).

III-1 Introduction	51
III-2 Généralités	51
III-2.1 Historique	51
III-2.2 L'organigramme de Direction d'Usine	52
III-2.3 Composition du produit.	52
III-2.4 Matière première	54
III-2.5 Fabrication	56
III-2.5.1 Enroulement Filamentaire Continue	56
III-2.5.2 Enroulement Filamentaire Discontinue	56
III-2.5.3 Description des machines	57
III-2.6 Caractéristiques	58
III.3 L'Intérêt du stage	59
III.4 Remarque retenue durant ce stage	59
III.5 Conclusion	59

**CHAPITRE IV : APPLICATION DE L'ANALYSE FMD SUR LA MACHINE SGM
CW2600**

IV.1 Introduction	61
IV.2 Historique des pannes	61
IV.3 L'analyse FMD	62
II.3.1 La Fiabilité	62
II.3.2 La maintenabilité	71
II.3.3 La Disponibilité.	73
IV.4 Pratique de la méthode d'analyse de défaillances	75

IV.4.1 La courbe ABC	75
IV.4.2 Interprétation des résultats de la courbe	76
IV.5 Mise en place d'un plan de maintenance préventive systématique sur la machine SGM ..	78
IV.6 Proposition d'un plan de maintenance préventive conditionnelle sur la machine SGM CW2600	80
IV.6.1 Surveillance et Diagnostic	80
IV.6.2 Fréquence des inspections et des entretiens	81
IV.6.3 Processus de maintenance	81
IV.6.4 L'équipe de maintenance	81
IV.6.5 Avantage attendu	82
IV.7 Conclusion	85
CONCLUSION GENERALE	86
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	89
Annexes	
Résumé	

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.1 :Les deux grands types de maintenance	5
Figure I.2 :Les différents types de maintenance corrective	6
Figure I.3 :Les différents types de maintenance préventive	6
Figure I.4 :Maintenance préventive conditionnelle	7
Figure I.5 :Maintenance préventive systématique.	8
Figure I.6 :Schéma globale des types de maintenance industrielle	9
Figure I.7 :Les trois fonctions opérationnelles de la maintenance.....	11
Figure I.8 :Evolution de la maintenance depuis 1940.....	13
Figure I.9 :Fonction globale de politique de maintenance préventive Conditionnelle	19
Figure I.10 :Détermination de la durée de vie optimale.	20

Chapitre II

Figure II.1 :Démarche générale de l'analyse fonctionnelle.....	23
Figure II.2 :Démarche du projet.	27
Figure II.3 :Diagramme Ichikawa.	32
Figure II.4 :Histogramme de PARETO	32
Figure II.5 :Courbe ABC.	33
Figure II.6 : Le diagramme de GANTT	40
Figure II.7 : La progression du diagramme de GANTT	42
Figure II.8 : Optimisation du diagramme de GANTT	42
Figure II.9 : Taux de défaillance ; courbe en baignoire	45
Figure II.10 : Les trois périodes de la courbe baignoire	46

Chapitre III

Figure III.1 : Organigramme de l'entreprise Maghreb Pipe.....	52
Figure III.2 :La paroi du tuyau PRV	53
Figure III.3 :Revêtement interne du tuyau	53
Figure III.4 :Revêtement externe.....	54
Figure III.5 :La matière première	55
Figure III.6 :Machine à enroulement filamentaire discontinue	57

Chapitre IV

Figure IV.1 : Fonction de répartition $F(t)$	65
Figure IV.2 : Fonction de fiabilité.....	69
Figure IV.3 : Densité de probabilité.	70
Figure IV.4 : Fonction de taux de défaillance.....	70
Figure IV.5 :La Courbe de Maintenabilité.....	73
Figure IV.6 :La Courbe de la disponibilité instantanée en fonction de TTR.....	75
Figure IV.7 :La Courbe ABC.....	76
Figure IV.8 : méthode de mesure de vibration à l'aide de l'homme	83
Figure IV.9 : exemple de détection d'un défaut sur une installation électrique	84
Figure IV.10 : exemple de défaut de roulement d'un moteur électrique	85
Figure IV.11 : exemple de défaut d'engrenage, avant et après la corrosion.....	85

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau I.1 : Niveau de maintenance 10

Chapitre II

Tableau II.1 La présentation traditionnelle de l'étude fonctionnelle d'un appareil 25

Tableau II.2 : Les paramètres pour tracer la courbe ABC 34

Tableau II.3 : Les modes de défaillance 38

Chapitre III

Tableau III.1 Caractéristique du produit de MPI 59

Chapitre IV

Tableau IV.1 : Historique des pannes de la machine SGM 61

Tableau IV.2 : Les paramètres de la loi de Weibull 63

Tableau IV.3 : Calculs de la fonction de répartition théorique 63

Tableau IV.4 : Valeurs de la fonction de répartition réelle 64

Tableau IV.5 : Ecart entre la fonction théorique $F(i)$ et la fonction réelle $F(t)$ 66

Tableau IV.6 : Calcul de la fiabilité, densité de probabilité, et taux de défaillance 68

Tableau IV.7 : Calcul de la maintenabilité 72

Tableau IV.8 : les valeurs de disponibilité instantané 74

Tableau IV.9 : les données de la courbe ABC 75

Tableau IV.10 : Explications des éléments les plus tombants en panne 77

Tableau IV.11 : la proposition d'un plan de maintenance préventive systématique 79

Tableau IV.12 : Les techniques de surveillance adaptée aux éléments les plus tombants en panne 82

NOMENCLATURE

SGM : SLEEVE GROUING MACHUNE

MTBF :La durée moyenne entre deux défaillances consécutives. [Heure]

MTTR : Le temps moyen mis pour réparer le système.[Heure]

λ (t) : Taux de défaillance.(panne/heure)

TBF : Temps de bon fonctionnement entre deux défaillances. [Heure]

f (t) :Densité de probabilité.

F (t) : La fonction de répartition.

R (t) : La fonction de fiabilité.

M(t) :Fonction maintenabilité.

D (t) : Fonction de disponibilité.

Dn :La différence de test de Kolmogorov Smirnov.

μ (t) :Taux de réparation. (intervention/heure)

FMD : Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité.

γ : Paramètre de position.

η : Paramètre d'échelle

Di : Disponibilité intrinsèque.

β :paramètre de forme.

Introduction Générale

L'histoire de la maintenance industrielle est aussi ancienne que celle de l'industrie, mais elle n'est devenue une activité de premier plan que dans le courant des années 1980. Considéré comme une activité au sens de dépannage d'un système électromécanique, la maintenance industrielle n'était pas nécessairement assurée par des personnels spécialisés, ni encadrés par des méthodes spécifiques. De plus, elle consistait à réparer un équipement une fois que celui-ci était défaillant mais n'intégrait que peu la notion de "préventif", c'est-à-dire les interventions visant à prévenir la panne.[1]

Aujourd'hui, dans un contexte économique mondial de plus en plus concurrentiel, il devient primordial de gérer au mieux l'outil de production dont les performances sont étroitement liées au processus de la maintenance. Cela se traduit par des actions d'intervention humaines pour corriger, vérifier et s'assurer de la continuité de la production. En effet, la gestion optimale de l'outil de production tout au long de sa durée de vie, passe par la recherche d'un compromis entre les objectifs souvent conflictuels [2]. On distingue d'une part les performances économiques, coûts et bénéfiques, et d'autres parts les aspects de fiabilité et la disponibilité des installations. Pour apporter des éléments d'aide à la décision face à ce problème, il est plus que nécessaire de disposer d'outils et méthodes permettant d'analyser les installations et d'évaluer quantitativement leurs performances en termes de sûreté de fonctionnement.

La complexité de ces installations et des comportements des matériels qui les composent conduit à des stratégies de maintenance complexe, composées des différentes tâches. Par ailleurs la nature aléatoire des phénomènes de dégradation et de défaillance rend difficile la détermination d'une stratégie pour prendre des décisions relatives à leur maintenance.

Dans le cadre de notre travail, je vais effectuer un stage au sein de l'entreprise Maghreb-Pipe, où nous allons choisir d'étudier la machine SGM CW2600 en raison de son importance cruciale pour l'entreprise. Nous procéderons à une analyse approfondie de cette machine et, sur la base de nos observations, proposerons un ensemble de solutions ainsi qu'un plan de maintenance préventive additionnelle ciblant les éléments les plus sujets aux pannes. Pour atteindre notre objectif, notre mémoire est structuré en quatre chapitres, résumés comme suit :

- Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique des recherches développées sur la maintenance des équipements industriels. Nous allons présenter une revue littéraire qui met en évidence les concepts de base de la maintenance, son importance et ses objectifs.

- Le deuxième chapitre est une étude éclairée de la stratégie de maintenance et aussi la sûreté de fonctionnement (la fiabilité, la maintenabilité, et la disponibilité)
- Le troisième chapitre quant à lui, est une brève présentation de l'entreprise Maghreb Pipe/ M'sila (l'entreprise qu'on va faire notre stage).
- Le quatrième chapitre, qui est la partie la plus importante de notre mémoire est une application sur la machine choisie afin de pouvoir faire des propositions qui permettront d'optimiser la fiabilité et réduire les panne.

CHAPITRE I

ETAT DE L'ART SUR LA MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS INDUSTRIELS.

Ce chapitre du mémoire est consacré à une synthèse bibliographique de recherches développées sur la maintenance des équipements industriels. Nous avons présenté en détaille une revue littéraire qui met en évidence les concepts de base de la maintenance industrielle, son importance qui devient de plus en plus indispensable et ses objectifs dans les entreprises. Nous nous sommes aussi intéresser sur le poids économique de la maintenance dans les entreprises parce qu'il s'agit de déterminer les différentes stratégies et politiques de la maintenance dans les entreprises et que, nous allons bien-sûr utiliser dans la suite de notre travail. Nous avons présentée aussi des définitions de base afin de nous permettre une compréhension effective et éclairée sur notre sujet de mémoire.

Cette synthèse bibliographique va nous permettre de comprendre les méthodes de maintenance des équipements pour les processus industriels et de confirmer que celle-ci bien appliqué peut sans nul doute augmenter le profit économique d'une entreprise.

I-1 Introduction

La maintenance des équipements industriels est une fonction stratégique dans les entreprises avec pour vocation d'assurer la disponibilité optimale des installations de production et de leurs annexes, impliquant un minimum économique de temps d'arrêt. [3] Aujourd'hui différente de celle que nous avons connue hier, la maintenance est en constante évolution car intimement liée au développement de la technologie, la nécessité de réduire le coût de production dans les entreprises, nous assistons à l'apparition des nouveaux modes de gestion.

Cependant, pour assurer la disponibilité des équipements qui permet à l'entreprise d'agir sur la régularité de sa production et sur ses coûts de fabrication, la maintenance demande une bonne organisation, une planification et des mesures méthodiques.

I-2 Objectif de la maintenance

« La première génération de maintenance, exclusivement corrective, date d'avant la fin de la seconde guerre mondiale. L'objectif est de mettre en place des opérations de réparation après l'occurrence de la défaillance. À cette époque, la maintenance était considérée comme un mal nécessaire » [4]

Aujourd'hui, l'objectif des équipes de maintenance est de maintenir les installations de production en bon état et assurer le rendement maximal tout en optimisant le coût. Elle n'a plus comme seul objectif de réparer l'outil de travail mais aussi de prévoir et éviter les dysfonctionnements. Dans ses objectifs on peut citer entre autre :

- Réduire au minimum les dépenses de la maintenance.
- Augmenter les profits.
- Maintenir les équipements.
- Assurer une performance (rendement) de haute qualité.
- Assurer la disponibilité maximale des équipements.
- Pousser à la dernière limite la durée de vie de l'installation.
- Respecter l'environnement et la sécurité des travailleurs.

NB : Les objectifs peuvent surtout changé avec le temps.

I-3 Définition de la maintenance

-D'après la norme AFNOR (NF X 60-010):

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

-La norme FD X 60-000 (AFNOR, 2002) définit la maintenance : « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise »

I-4 Les différents types de maintenance

Dans les définitions données plus haut, on trouve deux mots qui reviennent. Maintenir (action de prévenir) et rétablir (action de corriger), alors, on peut citer deux types maintenances:

- Maintenance corrective
- Maintenance préventive

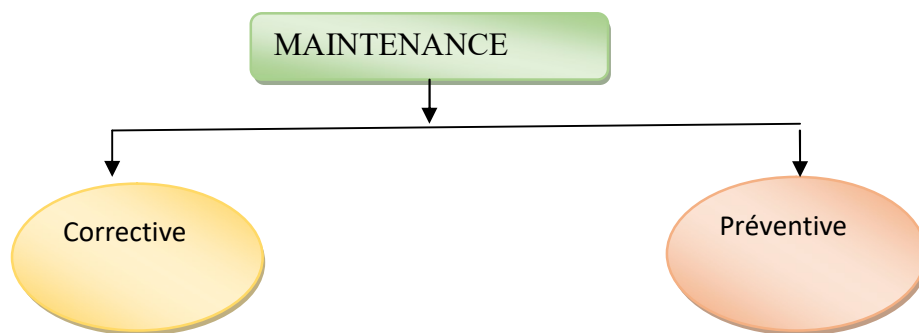


Figure I.1 : Les deux grands types de maintenance

I-4-1 Maintenance corrective.

I-4-1-1 Définition :

La norme AFNOR (NF X 60 -010) définit la maintenance corrective comme une maintenance effectuée après défaillance.

«Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise »(Extrait norme NF EN 13306 X60319).

I-4-1-2 Les types de maintenance corrective :

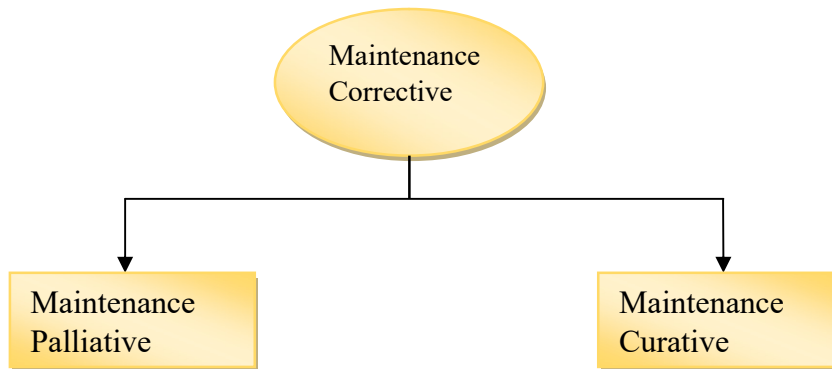


Figure I.2 : Les différents types de maintenance corrective

- ❖ **Maintenance palliative** : « Ce sont des activités de la maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou une partie de la fonction requise » [5].

Appelé couramment dépannage, cette maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives.

- ❖ **Maintenance curative** : appliquée lorsque l'indisponibilité du matériel n'a pas de conséquences majeures sur la production, la maintenance curative est la réparation complète du matériel.

I-4-2 Maintenance préventive

I-4-2-1 Définition :

« Maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu » [3].

I-4-2-2 Les types de maintenance préventive:

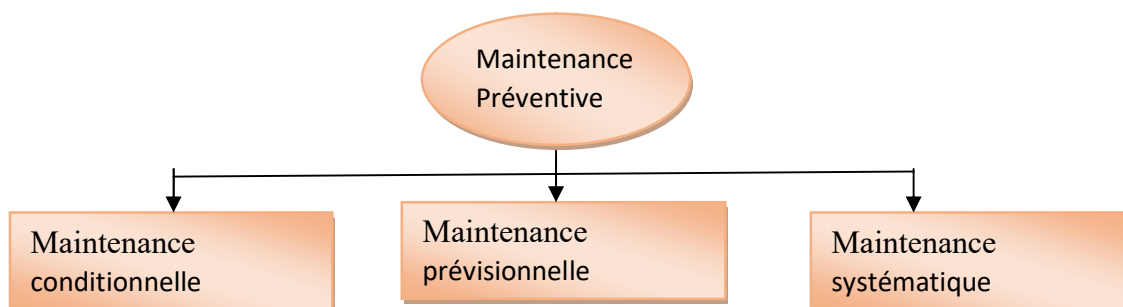


Figure I.3 : les différents types de maintenance préventive

❖ **Maintenance préventive conditionnelle :** AFNOR X-60-010 la définit : « Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé révélateur de l'état du bien ».

✚ **Les Avantages :**

- Espacer les maintenances.
- Réduire le coût de maintenance.
- Réduire le stock de rechange.
- Réduire la durée de l'intervention
- Réduire les indisponibilités et élimine les dommages secondaires.

✚ **Les inconvénients :**

- Formation.
- Choix et achat d'un système
- Choix des points, pré-étude, limites etc.

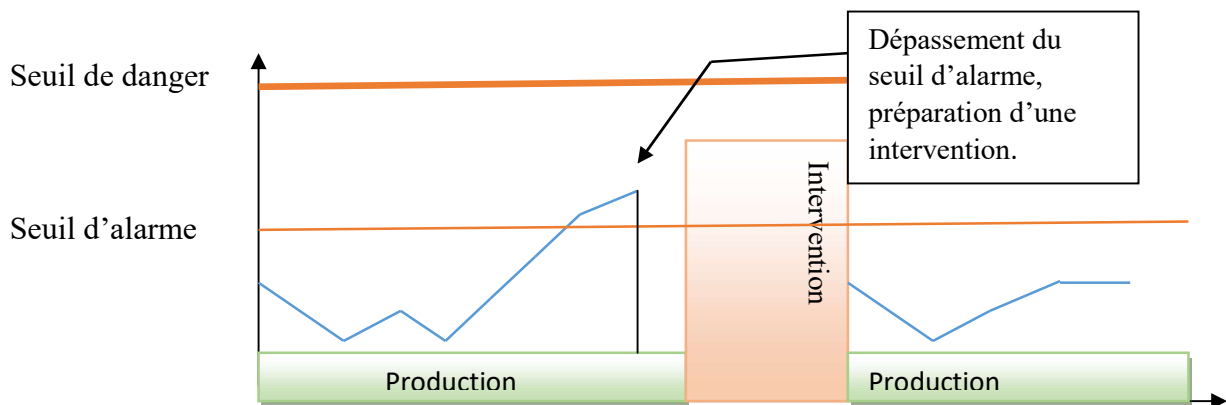


Figure I.4 : Maintenance préventive conditionnelle

❖ **Maintenance préventive systématique :** « Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage » [3]

✚ **Les Avantages :**

Avec cette maintenance, les périodes d'interventions sont fixes. Elle permet :

- D'éviter les détériorations importantes.
- De diminuer les risques des pannes imprévues.
- Réduction des coûts et des durées de maintenance par rapport à l'entretien curatif.

✚ **Les inconvénients :**

- révisions non nécessaires.
- remplacement de pièces en bon état.

- création de défauts lors des remontages (si les procédures ne sont pas claires et contrôlées).

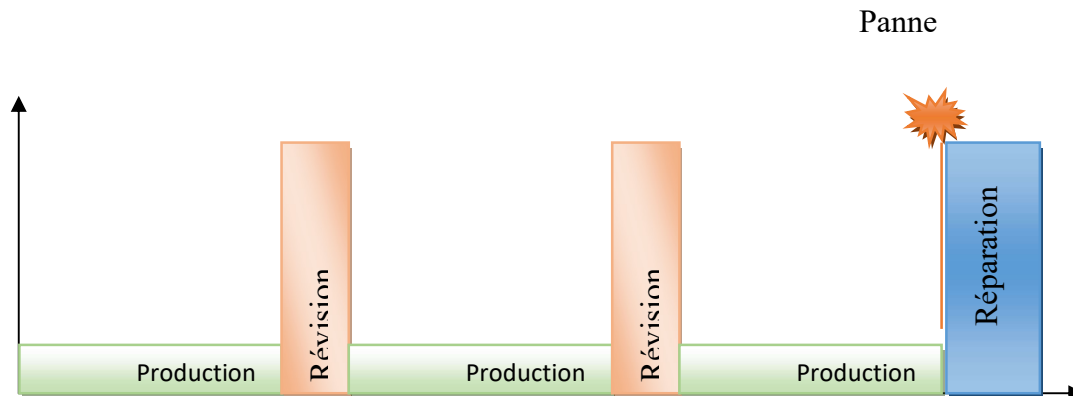


Figure I.5: Maintenance préventive systématique.

❖ **La maintenance prévisionnelle** : développée depuis quelques années, la maintenance prévisionnelle est une nouvelle méthode de déclenchement des interventions de maintenance qui a pour objectif de prévoir l'instant d'occurrence de la défaillance en fonction de l'état d'usure ou de dégradation du système et de ses conditions de fonctionnement [4].

📌 **Les avantages** :

- Réduction du nombre de pannes ;
- Fiabilisation des productions ;
- Amélioration de la sécurité du personnel et de l'image de l'entreprise ;
- Réduction des périodes d'immobilisation des équipements, d'où la réduction des coûts ;
- Augmentation du rendement de l'entreprise;

📌 **Les inconvénients** :

- Inefficacité parfois de pronostic.

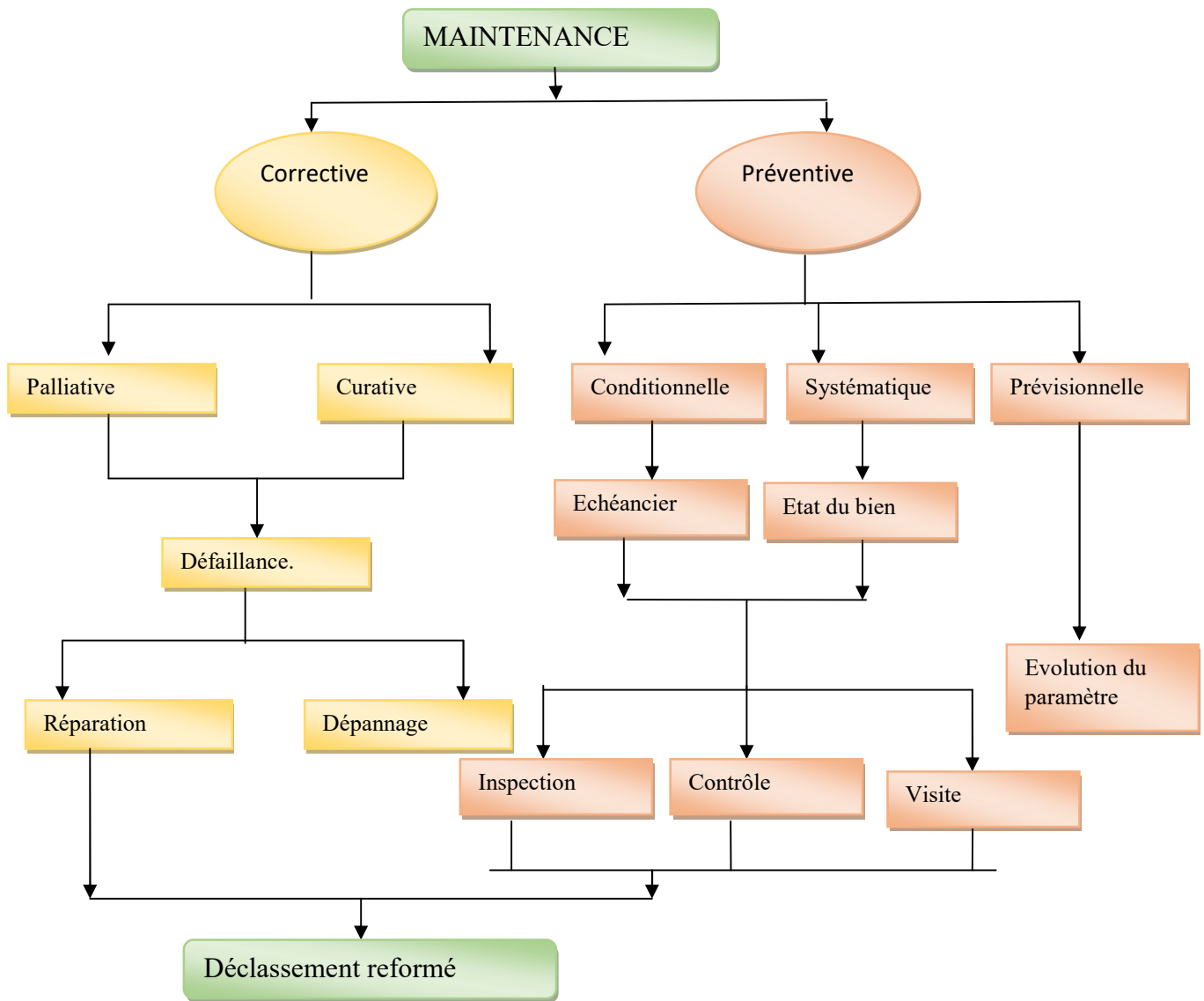


Figure I.6 : Schéma globale des types de maintenance industrielle

I-5 Les niveau de la maintenance.

Le degré du développement de la maintenance est classifié en 5 niveaux. Ces niveaux sont donnés par la norme à titre indicatif pour servir de guide et leur utilisation pratique n'est concevable qu'entre des parties qui sont convenues de leur définition précise selon le type de bien maintenir. [6]

1er niveau : Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement, ou échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, tels que voyants ou certains fusibles, etc.....Ce type

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

2e niveau: Dépannage par échange standard des éléments prévus à cet effet et opérations mineures de maintenance préventive, telles que graissage ou contrôle de bon fonctionnement. Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité de qualification moyenne, sur place, avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance, et à l'aide de ces mêmes instructions. On peut se procurer les pièces de rechange transportables nécessaires sans délai et à proximité immédiate du lieu d'exploitation.

3e niveau: Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que réglage général ou réalignement des appareils de mesure. Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans le local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipements et en utilisant l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance du bien ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin

4e niveau: Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesure utilisés pour la maintenance, et éventuellement la vérification des étalons du travail par les organismes spécialisés. Ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé.

5e niveau: Rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier central ou à une unité extérieure. Par définition, ce type de travaux est donc effectué par le constructeur, ou par le reconstruteur, avec des moyens définis par le constructeur et donc proches de la fabrication.

Tableau I.1 : Niveau de maintenance

NIVEAU	ACTIVITE
Niveau 1	Ronde petit entretien, graissage
Niveau 2	Echange standard, contrôles du bon fonctionnement.

Niveau 3	Diagnostic, petites réparation, opération mineures préventives.
Niveau 4	Travaux de maintenance préventive et corrective, réglage des moyens de mesure.
Niveau 5	Rénovation, reconstruction et réparation.

I-6 La fonction de la maintenance.

La mission principale de la fonction maintenance est le maintien par des actions préventives et correctives de la disponibilité de l’outil de production; c'est-à-dire de son aptitude à accomplir une fonction requise, dans des conditions d’utilisation données, pendant une période donnée par les normes AFNOR [7]. Pour dire que la mission principale de la maintenance est la gestion optimisée des équipements de production en fonction des objectifs propres à l’entreprise [8].

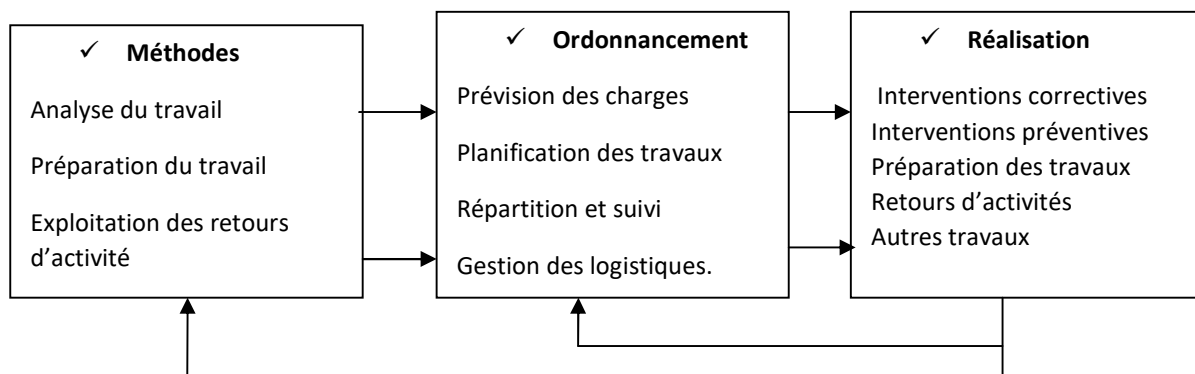


Figure I-7: Les trois fonctions opérationnelles de la maintenance

I-6-1 Méthodes

« La préparation est la vocation première des services méthodes. Pour la maintenance corrective, la préparation passe par l’anticipation des risques encourus, puis par une anticipation des problèmes qui peuvent freiner l’intervenant. Pour la maintenance préventive, elle consiste à définir le plan de maintenance d’un équipement, puis à évaluer son coût et son efficacité afin de les optimiser » [9].

D’autres activités sont généralement confiées au service méthode :

- Propositions d'améliorations techniques et/ou organisationnelles,
- Assistance technique sur site - soutien aux intervenants sur site - aide au diagnostic

I-6-2 Ordonnancement

Cette fonction a la responsabilité de la synchronisation des actions de maintenance internes ou externalisées. Les missions principales de l'ordonnancement sont la planification des travaux, l'optimisation des moyens en fonction des délais et chemins critiques, et le contrôle de l'avancement des travaux. Cela peut s'exprimer sous la forme : prévoir à l'instant t et un endroit x où un personnel p muni d'un outillage o et des matières m exécutera la tâche M en harmonie avec les autres travaux connexes [9].

I-6-3 Réalisation des interventions

La fonction réalisation a pour objet d'utiliser les moyens mis à disposition, suivant les procédures imposées, dans les délais préconisés, pour réaliser dans les règles de l'art, une tâche définie et remettre le matériel dans un état spécifié [10].

La réalisation peut nécessiter un diagnostic c'est-à-dire identifier et caractériser la défaillance.

I-7 Evolution de la maintenance.

D'après Moubray dans [12] depuis les années 1940, l'évolution de la maintenance peut être tracée à travers trois générations, comme il est montré sur la figure ci-dessous.

La troisième génération commence au milieu industriel dès les années 70, le processus de changement dans l'industrie rassemble encore plus de dynamiques et de remises en causes. Ces changements peuvent être classés sous les rubriques :

- Nouvelles attentes,
- Nouvelles recherches,
- Nouvelles techniques [11].

2000	3ème génération -Augmentation de la disponibilité et de la fiabilité dans une plus grande sécurité. -Meilleure qualité des produits. -Réflexion sur les dommages causés à l'environnement. -Meilleur rapport coût efficacité.
1990	
1980	
1970	2ème génération -Le processus à une disponibilité supérieure. -La durée de vie des composants est supérieure. -Réflexion sur l'optimisation des coûts
1960	
1950	1ère génération -Remplacement du composant lorsqu'il est détruit
1940	

Figure I.8 : Evolution de la maintenance depuis 1940

I-8 Opération de maintenance.

I-8-1 Opérations de maintenance corrective

Ces opérations peuvent être classées en trois groupes d'actions.

- ❖ Le premier groupe concerne la localisation de la défaillance ; il comprend les opérations suivantes : le test, la détection, le dépistage et le diagnostic.
- ❖ Le deuxième groupe concerne les opérations de la remise en état ; il comprend les opérations suivantes : le dépannage, la réparation et la modification soit et du matériel ou du logiciel.
- ❖ Le troisième groupe concerne la durabilité ; il comprend les opérations suivantes : la rénovation, la reconstitution et la modernisation

I-8-1-1 Localisation de défaillance

C'est l'action qui conduit à rechercher précisément le (les) élément(s) par le(s) quel(s) la défaillance se manifeste.

- ✚ **Test** : c'est une opération qui permet de comparer les réponses d'un système à une sollicitation appropriée et définie, avec celles d'un système de référence, ou avec un phénomène physique significatif d'une marche correcte.
- ✚ **Détection** : c'est l'action de déceler au moyen d'une surveillance accrue, continue ou non, l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément défaillant.
- ✚ **Dépistage** : c'est une action qui vise à découvrir les défaillances dès leur début par un examen systématique sur des équipements apprenant en état de fonctionnement.
- ✚ **Diagnostic** : c'est l'identification de la cause probable de la (ou les) défaillance(s) à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test. Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances de préciser les opérations de maintenance corrective nécessaires.

I-8-1-2 Remise en état

La remise en état de fonctionnement peut consister à réaliser l'une des opérations suivantes:

- ✚ **Dépannage** : c'est une action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement.
- ✚ **Réparation** : c'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après défaillance.
- ✚ **Modification** : c'est une opération à caractère définitif effectuée sur un bien en vue d'en améliorer le fonctionnement, ou d'en changer les caractéristiques d'emploi.

I-8-1-3 Durabilité

La durabilité est la durée de vie ou durée de fonctionnement potentielle d'un bien pour la fonction qui lui a été assignée dans des conditions d'utilisation et de maintenance données les opérations maintenance qui concernent la durabilité d'un bien sont les suivantes.

- ✚ **Rénovation** : inspection complète de tous les organes, reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, vérification des caractéristiques et

éventuellement réparation des pièces et sou ensembles défectueux, conservation des pièces bonnes.

- ✚ **Reconstitution** : remise en l'état défini par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes durabilité, la capacité de production, l'efficacité, la sécurité, etc.
- ✚ **Modernisation** : remplacement d'équipements, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciel apportant, grâce à des perfectionnements techniques existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien.

I-8-2 Opérations de maintenance préventive

Ces opérations peuvent être classées en quatre groupes d'actions.

- ❖ Le premier groupe concerne l'entretien ; il comprend les opérations suivantes : le nettoyage, la dépollution et le retraitement de surface.
- ❖ Le deuxième groupe concerne la surveillance ; il comprend les opérations suivantes : l'inspection le contrôle et la visite.
- ❖ Le troisième groupe concerne la révision ; il comprend les opérations suivantes : la révision partielle et la révision générale.
- ❖ Le quatrième groupe concerne la préservation ; il comprend les opérations suivantes : la mise en conservation, la mise en survie et la mise en service.

I-8-2-1 Entretien :

L'entretien comprend les opérations courantes et régulières de la maintenance préventive tels que le nettoyage, la dépollution et le retraitement de surface qu'ils soient externes ou internes. Par exemple, on peut signaler pour le nettoyage extérieur l'existence de divers types de nettoyage en fonction de la structure et de l'état d'un bien, des produits utilisés et de la méthode employée (les solutions alcalines aqueuses, les solvants organiques, le soufflage aux abrasifs, etc.). Il faut aussi préciser que le retraitement de surface inclut les opérations suivantes de lubrification et de graissage.

I-8-2-2 Surveillance :

Les termes définis ci-après sont représentatifs des opérations nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

- ✚ **Inspection** : c'est une activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'un mission définie. Elle n'est pas obligatoirement limitée à la comparaison avec des données préétablies. Cette activité peut s'exercer notamment au moyen de ronde.
- ✚ **Contrôle** : c'est une vérification de la conformité à des données préétablies, suivi d'un jugement. Le contrôle peut:
 - ✓ Comporter une activité d'information.
 - ✓ Inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement
 - ✓ Débouché sur des actions correctives.
- ✚ **Visite** : c'est une opération consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du 1er niveau.

I-8-2-3 Révision

C'est l'ensemble des actions d'examens, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles des révisions générales.

I-8-2-4 Préservation

Elle comprend les opérations suivantes :

- ✚ **Mise en conservation** : c'est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de non-utilisation.
- ✚ **Mise en survie** : c'est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de manifestations de phénomènes d'agressivité de l'environnement à un niveau supérieur à celui défini par l'usage de référence.
- ✚ **Mise en service** : c'est l'ensemble des opérations nécessaires, après l'installation du bien à sa réception, dont la vérification de la conformité aux performances contractuelles.

I-9 Coûts de la maintenance.

I-9-1 Facteur économique

Le contrôle des coûts de maintenance est la base essentielle pour l'identification des équipements gros consommateurs de budget d'entretien et des pratiques opérationnelles trop

couteuses. Pour cela, la pratique d'une comptabilité analytique par centre de coût est indispensable pour traiter les informations sur le coût et les présenter d'une manière exploitable pour la maintenance [13].

Pour la plupart des entreprises, le pilier économique est pris en compte en premier, car c'est la raison d'existence de l'entreprise. La plupart des entreprises ont un but lucratif et éventuellement investissent dans l'écologie et/ou le social. Cependant, il est important de remarquer qu'une maintenance optimisée peut alors permettre de faire des économies importantes sur le long terme [MT9565], et d'éviter des accidents qui peuvent occasionner des coûts élevés et des conséquences économiques dramatiques pour l'entreprise (Amoco Cadiz, Bhopal...) [MT9555].

Investir pour améliorer le climat social, investir pour être plus respectueux de l'environnement, ne sont possibles que si l'entreprise a les moyens d'investir. L'activité de maintenance est une activité ayant encore un grand potentiel dans l'entreprise, car mieux maîtriser les défaillances, c'est éviter toutes les conséquences qui conduisent l'entreprise à des pertes. Les défaillances conduisent à une altération du fonctionnement de l'entreprise qui a des conséquences financières multiples. Parmi les conséquences des défaillances, nous pouvons énumérer [4] :

- Coûts matériels directs : réparation des matériels, dégâts secondaires, main d'œuvre ;
- Impacts commerciaux, image de marque : diminution du prix de vente, perte de parts de marché, coûts de la publicité, risques de boycottage.
- Impacts juridiques : coûts de contentieux, des assurances, des pénalités, des frais de justice, des procédures, des avocats, des amendes ;
- Coûts à long terme : embauche de personnel (en cas de surcharge de maintenance), mise en place de procédures de sécurité et de matériels de sécurité, certification des utilisateurs ;
- Coûts secondaires : expertise des avaries, ré-conception du système, frais consultants ;
- Impacts sur la production : manque à gagner, perte de production, perte de qualité, chômage technique, coûts des stocks, pertes de résultats ;
- Impacts sur l'environnement : dépollution, démantèlement, requalification vis-à-vis des réglementations, adaptation aux normes environnement ;
- Dommages corporels : soins médicaux, assurances-vie, arrêts de travail, incapacité, premiers secours, rentes et indemnités. La performance économique dépend d'une

bonne maintenance des installations, afin que les entreprises puissent remplir leurs contrats en approvisionnant leurs clients

Exemple : Soit un équipement dont les données statiques sur deux années de service sont les suivantes.

Nombre des pannes dans un mois	0	1	2	3	4
Nombre des mois où il y avait eu panne.	2	8	10	3	1

Sachant que le coût moyen pondéré d'une panne est de 1200,00DA, il s'agit de calculer le budget annuel espéré.

Nombre des pannes dans un mois	Fréquence en mois	Fréquence en %	Valeur espérée
N	F(n)	$P(n)=F(n)/24$	$n.P(n)$
0	2	0.083	0
1	8	0.333	0.333
2	10	0.417	0.834
3	3	0.125	0.375
4	1	0.042	0.168

Le total des valeurs espérées T représente le nombre moyen de panne par mois.

$$T = \sum n.P(n) = 1.710 \text{ pannes par mois}$$

La moyenne pondérée des pannes annuelles est de :

$$1.710 \times 12 = 20.52 \text{ pannes par an}$$

Le budget annuel espéré sera de :

$$20.52 \times 1200,00 = 24\,624,00$$

I-9-2 Facteur de l'environnement et la santé :

Une mauvaise gestion de la maintenance peut avoir des conséquences néfastes sur l'environnement. De grandes catastrophes industrielles comme le naufrage de l'Amoco Cadiz (1978), l'accident de l'usine de pesticides de Bhopal (1984) ou plus récemment la rupture de

deux barrages miniers qui a libéré des dizaines de milliers de mètres cubes de boue polluée dans le Minas Gerais au Brésil (2015) en sont l'illustration [MT9555].

Et même sans qu'il ne se produise d'accident, les atteintes à l'environnement se produisent constamment dans des productions industrielles par le biais de rejets dans l'eau et de la pollution. Le rôle de la maintenance associée à l'environnement, la santé et la sécurité des personnes, n'est donc pas seulement d'éviter des accidents aux conséquences écologiques ou humaines, mais elle a aussi pour rôle d'améliorer l'impact écologique de l'entreprise.

I-10 Choix de la politique de maintenance PC

Vu que la maintenance exige une combinaison rationnelle des moyens et qu'elle est permanente, elle nécessite une politique préalablement établie. Les travaux de recherche dans le domaine maintenance ont pour objectif de définir une politique de maintenance préventive conditionnelle basée sur l'utilisation d'outils adéquats et adaptée à un système mécanique complexe. Cette politique de maintenance permettra ainsi à l'équipe de surveillance de diagnostiquer les défauts apparaissant sur le système en fonctionnement, et de décider des interventions de réparation [14], comme il est montré sur la figure suivante :

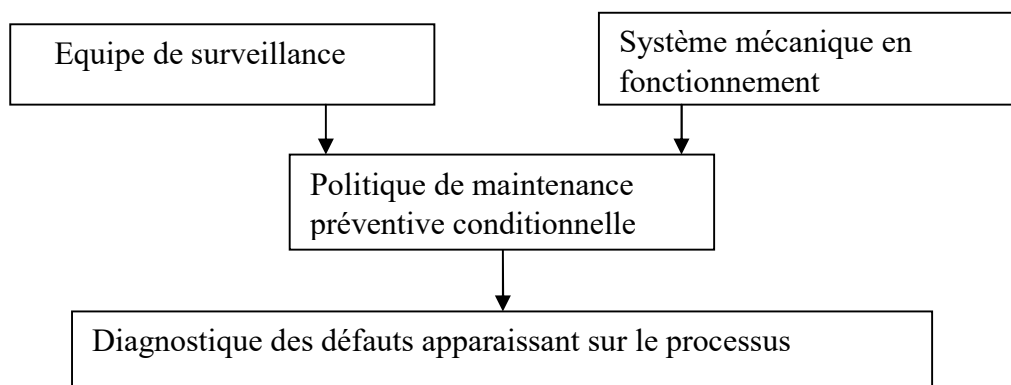


Figure I-9 : Fonction globale de politique de maintenance préventive conditionnelle

Le choix de cette politique de maintenance est déterminé par le calcul du coût global de durée de vie (life cycle cost.), en se basant sur des contraintes bien identifiées, A long terme, il s'agit d'abord de juger de la durée de vie optimale d'une machine en estimant la somme des coûts suivants : Coût d'achat A , coût de fonctionnement f , coût total de maintenance M et la valeur de revente éventuelle VR , le coût global CG est donné par l'équation (I.1) suivante :

$$CG = A + f + M - VR \quad (\text{I.1})$$

Le coût total de maintenance ayant tendance à augmenter avec l'âge de la machine, et la valeur de revente à diminuer, il est intéressant de déterminer la durée au bout de laquelle on atteint un minimum [15].

Cette durée de vie optimale correspond à l'abscisse du point de contact de la tangente à la courbe passant par l'origine présentée sur la figure suivante

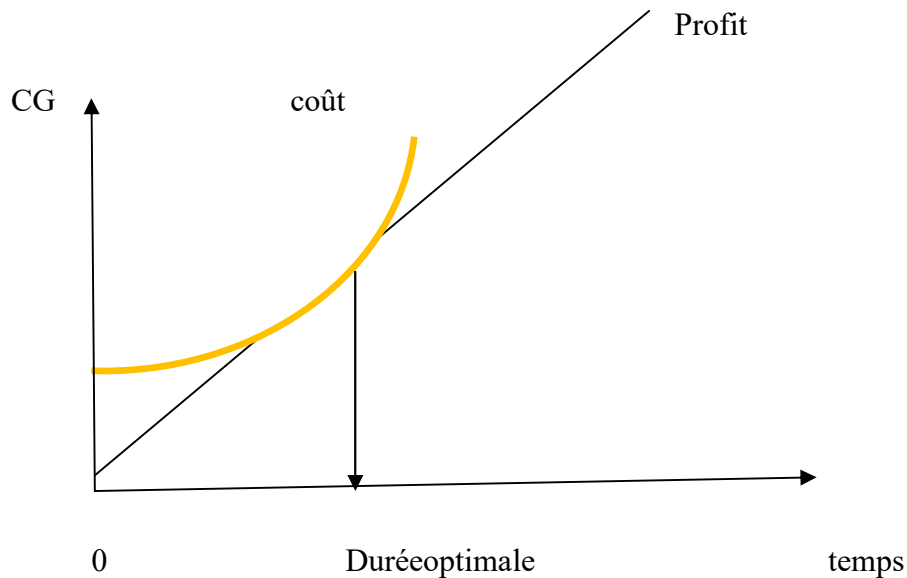


Figure I-10 Détermination de la durée de vie optimale.

I-11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous venons de présenter l'essentiel de la synthèse bibliographique attachée à la fonction de la maintenance des équipements industriels.

Avec beaucoup de clarté et de précision, nous avons expliqué son importance trop capitale dans les entreprises et que la maintenance évolue au cours du temps.

Il est aussi important de remarquer que l'objectif de la maintenance est de réduire les dépenses inutiles, assurer une performance de haute qualité et augmenter les profits de l'entreprise.

CHAPITRE II

LA STRATEGIE DE MAINTENANCE ET LA SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT

Dans ce chapitre intitulé **la stratégie de maintenance et la sûreté de fonctionnement**, nous avons présenté les différentes stratégies d'analyses de cause de défaillance et de l'optimisation d'un procès qui va nous permettre, entre autres, d'établir les conditions d'existence et d'unicité d'une stratégie optimale et d'effectuer des analyses de sensibilité.

En suite, la deuxième partie de ce chapitre est réservé à la sûreté de fonctionnement qui couvre ainsi les quatre notions que sont la fiabilité, la sécurité, la maintenabilité et la disponibilité d'un système.

II-1 Introduction.

Une stratégie de maintenance est une règle de décisions qui établit la séquence des actions de maintenance à entreprendre en fonction du niveau de dégradation de l'équipement et des seuils acceptables d'exploitation. Chaque action de maintenance permet de spécifier l'utilisation des ressources appropriées [15].

Elle rend le système fiable tout en faisant diminuer le nombre de panne, facilement maintenable parce qu'elle permet la maîtrise des éléments et leurs fonction, disponible car elle permet d'agir sur les éléments critiques et sécurisé car elle permet de dominer les défaillances, surtout les plus critiques et catastrophiques.

II-2 Analyse fonctionnelle.

II-2-1 Intérêt et but

Elle consiste à répertorier les différents organes d'un équipement en précisant leurs rôles respectifs afin d'en déduire le principe de fonctionnement et ses conditions d'utilisation, souvent à partir d'un schéma qui doit être connu à l'avance. Dans l'analyse fonctionnelle d'un équipement, l'objet technique remplit une fonction déterminée qui répond au besoin d'un utilisateur lui-même conditionné par différents facteurs (techniques, économiques, réglementaires, sociologiques...). La fonction ainsi déterminée est décomposée en sous-fonctions de plus en plus simples auxquelles on apportera des solutions techniques. Ces fonctions sont définies en termes de finalités sans aucun a priori de solutions et La diversité des solutions techniques possible déterminera l'ampleur du choix d'appareils ayant la même fonction globale. .

Cette approche fonctionnelle s'inscrit dans une démarche inductive pédagogiquement. Elle répond à la question de comment garantir une culture minimale des solutions techniques sans réaliser une approche exhaustive des équipements.

Elle est indispensable à la maîtrise des risques en tant qu'étape fondamentale de l'analyse des modes de défaillance (prévention des risques techniques) et de l'analyse de la valeur (prévention des risques financiers). Elle fonde ainsi, par exemple, l'analyse de la valeur, l'analyse du risque, l'AMDEC etc.

L'approche par fonction, dans la conception des systèmes, met en œuvre un raisonnement inductif (causes / conséquences) qui impose, avant tout diagnostic ou recherche de solution, de définir des finalités. Elle permet ainsi de :

- ❖ S'assurer de répondre à un besoin et d'identifier les degrés de liberté
- ❖ Remettre en cause les solutions existantes et d'élargir les champs des possibilités

- ❖ Mieux circonscrire les zones d'étude et d'optimiser localement les solutions sans perdre de vue l'ensemble.

L'objet de la démarche fonctionnelle peut être un produit technologique ou non, mais aussi un service, un processus, un projet, une organisation, une entreprise ... Il est possible de mener l'étude fonctionnelle d'un logement, de son installation de chauffage, de la conception de son éclairage, de son système de ventilation, du réfrigérateur ou du four qui équipe sa cuisine mais aussi de la distribution d'eau potable d'une ville, d'une crèche municipale ... etc., voire même d'un groupe ou d'une organisation sociale.[19]

La figure ci-dessous montre la démarche générale de l'analyse fonctionnelle en équipements :

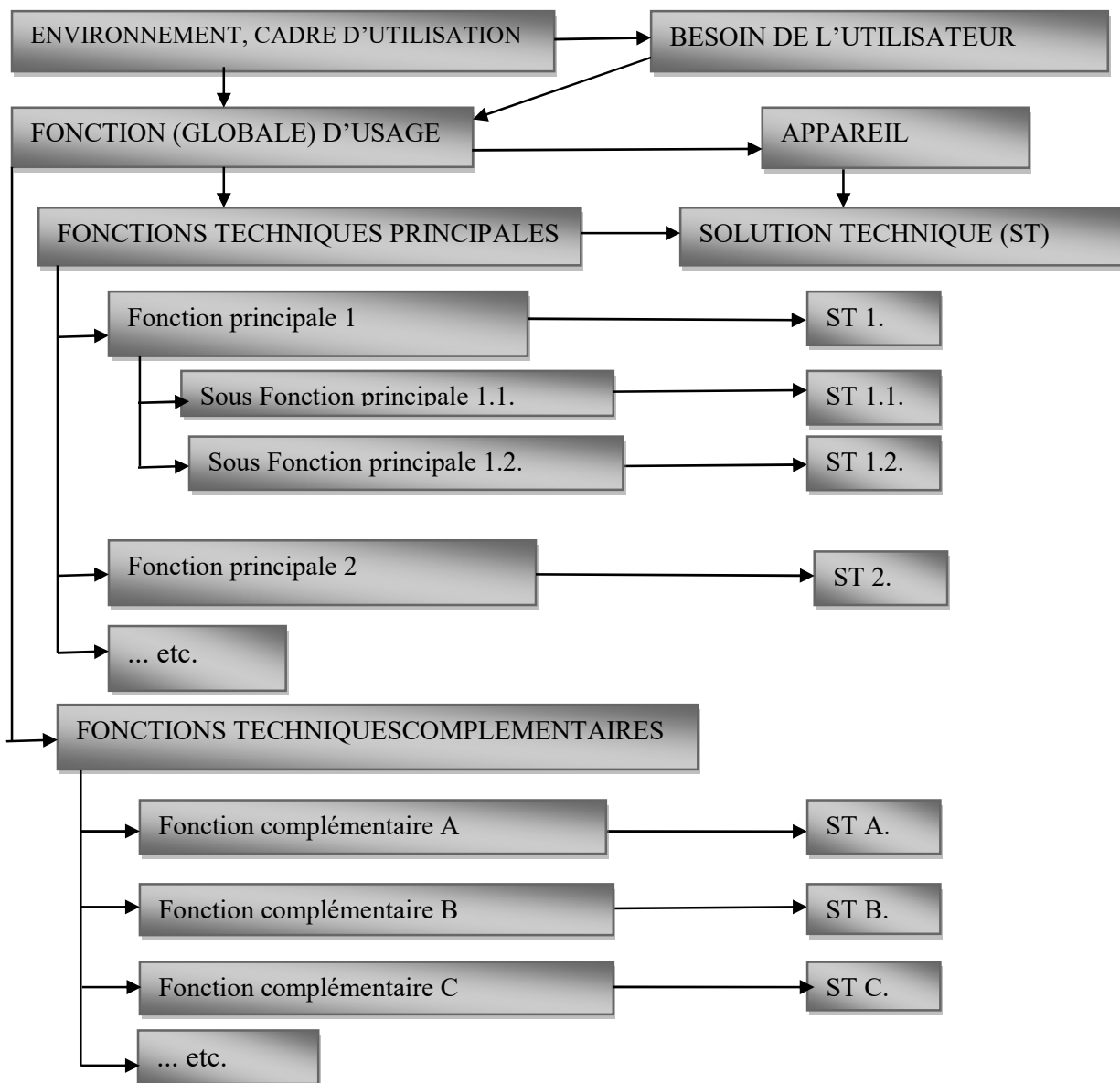


Figure II.1: Démarche générale de l'analyse fonctionnelle

Chaque objet technique (appareil) ou système étudié remplit une fonction globale d'usage (ou fonction de service) pour répondre à un besoin spécifique de l'utilisateur. Dans un contexte donné, ce besoin est déterminé par des contraintes matérielles, techniques, réglementaires, économiques, sociologiques ... qu'il convient de préciser. Par exemple :

Contraintes matérielles : alimentation en énergie, alimentation en eau, évacuations, dimensions, conception du local...

Contraintes techniques : performances, capacité, consommation d'énergie, calorifugeage, durée de vie, robustesse, dimensions, bruit ...

Contraintes économiques : coûts d'achat, de fonctionnement, des accessoires indispensables, de l'entretien et de la maintenance ...

Contraintes professionnelles : type et importance de la production, concept et procès de production, méthode de travail, types de produits utilisés, nombre de repas, fréquence d'utilisation, certification et respect des normes, formation et adaptation des utilisateurs ou du personnel.

Contraintes d'hygiène, de sécurité et d'ergonomie : respect des réglementations en vigueur, respect de la marche en avant, facilité d'entretien, limitation et traitement des nuisances et des émissions de polluant, ambiances thermique, lumineuse et sonore, conditions de travail ... etc.

Cette fonction d'ensemble est décomposée en fonctions techniques principales qui sont indispensables à la réalisation du service attendu et en fonctions techniques complémentaires (ou secondaires) qui, elles, ne lui sont pas absolument nécessaires mais qui améliorent les performances de l'appareil ou apportent à l'utilisateur confort et simplicité d'utilisation, sécurité, facilité d'entretien ... etc.

Les solutions techniques sont la traduction matérielle (dispositifs ou organes de l'appareil) de chaque fonction technique.

Chacune de ces fonctions techniques (principales ou secondaires) peut être plus ou moins complexe, elle peut alors être décomposée, dans une analyse descendante sur autant de niveaux que nécessaire, jusqu'à des fonctions techniques élémentaires qui seront remplies par des solutions techniques simples (organe précis et identifié) [19].

- b) Un système est en relation avec son environnement (système ouvert) : quelles sont la nature, l'importance et la densité de ces échanges ?
- c) Un système est séparé de son environnement par une frontière. La définition de la frontière d'un système ouvert ne s'impose pas d'elle même à l'analyste, d'une part le système peut être composé de sous-systèmes., d'autre part la frontière est choisie en fonction de l'objectif poursuivi par l'étude. [19]

II-2-2-2 Notion de fonction

D'après la norme AFNOR NF X 50-151, l'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser et / ou valoriser les fonctions du produit (matériel, logiciel, processus, service) attendues par l'utilisateur.

Une fonction est l'action d'un élément constitutif d'un système exprimée exclusivement en termes de finalité (par ce qu'il « fait »). [19]

II-2-2-2-1 Les différentes fonctions

Il existe plusieurs types de fonction tels que :

- ❖ Fonction principale (ou fonction de service) : fonction attendues d'un produit pour répondre à un besoin ou un élément du besoin (matériel, physiologique, psychologique, socioculturel) de l'utilisateur. Elle peut être une fonction d'usage (service rendu) ou une fonction d'estime (conditions du service rendu).
- ❖ Fonction technique : fonction interne au produit nécessaire aux solutions retenues pour assurer les fonctions de service.
 - Fonction technique principale ou élémentaire: permet de remplir une fonction d'usage, de rendre un service attendu.
 - Fonction technique complémentaire ou secondaire : permet de remplir une fonction d'estime (sécurité, ergonomie, confort, environnement, législation ...)

II-2-2-3 Types d'analyse fonctionnelle :

Les différents types d'analyse fonctionnelle sont :

II-2-2-3-1 L'analyse fonctionnelle du besoin ou analyse fonctionnelle externe :

Elle met en évidence chacune des fonctions de service (ou fonctions principales) qu'elles soient d'usage ou d'estime ainsi que chacune des fonctions contraintes. Outil de dialogue avec

l'utilisateur, elle permet d'obtenir les données nécessaires à la conception du système et le cahier des charges fonctionnel qui doit être validé par le client (utilisateur).

II-2-2-3 -2 L'analyse fonctionnelle du produit ou analyse fonctionnelle interne :

Elle dégage après validation du besoin, chaque fonction technique principale et complémentaire et permet la matérialisation des concepts de solutions techniques. [19]

Elle caractérise le fonctionnement interne de l'objet ou système technique et consiste à :

- ✓ Définir le système, sa fonction globale, sa frontière, les entrée - sorties de matières d'œuvre avec l'environnement.
- ✓ Rechercher les fonctions techniques, les décomposer en sous – fonctions.
- ✓ Etablir et caractériser les liens entre éléments de l'objet ou système technique étudié.

II-2-3 Outils d'analyse fonctionnelle

II-2-3-1 Démarche du projet

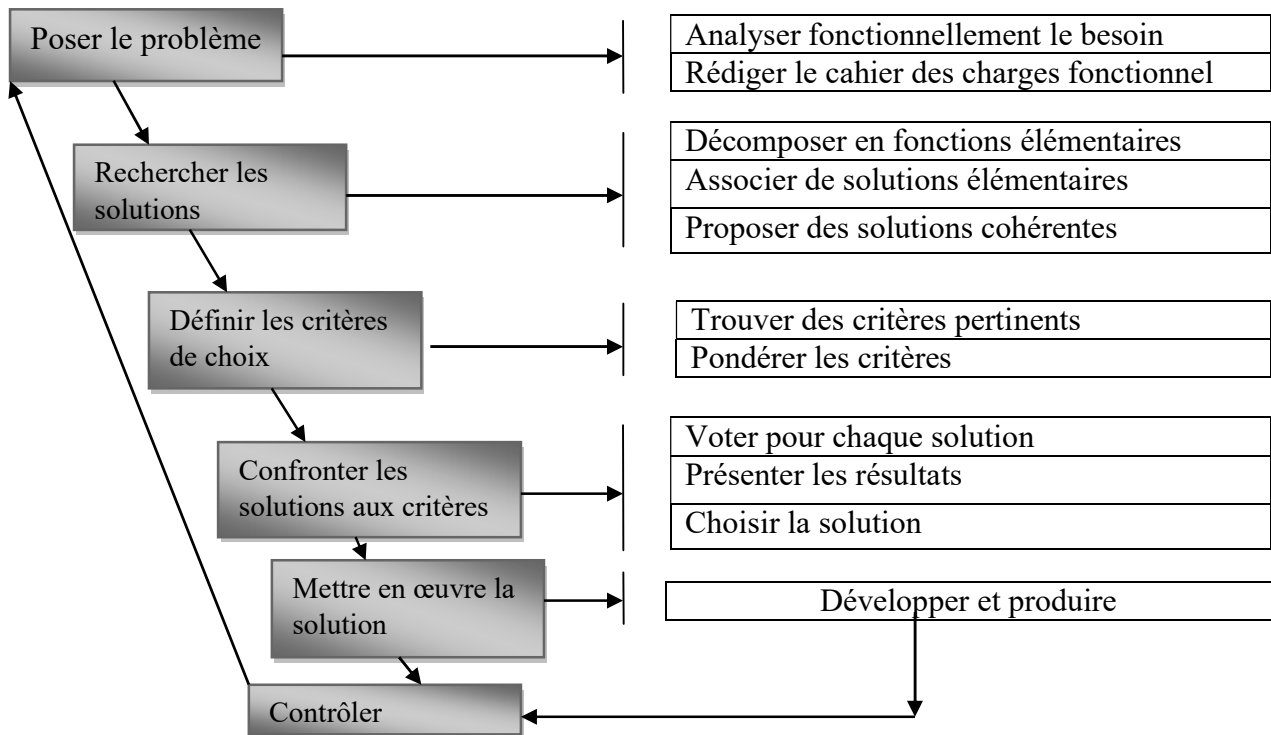


Figure II.2 : Démarche du projet

Ecueils à éviter :

- ✓ Rapidité excessive dans les premières étapes
- ✓ Niveau insuffisant de l'analyse

- ✓ Pensée orientée solution et non fonction
- ✓ Absence de retour sur l'attendu.

II-2-3-2 La Bête a corne : Recherche de la fonction globale

Cet outil (qui est un des éléments de la méthode APTE) définit le besoin auquel répond le système. Souvent les acteurs d'un projet privilégient des solutions déjà connues sans analyser concrètement le besoin qui justifie le projet. Avant d'imposer un « comment » ou une solution, il faut se tourner vers l'utilisateur et/ou le demandeur, pour aboutir de manière structurée à la solution, car un projet n'a de sens que s'il satisfait le besoin. Il convient donc d'exprimer le besoin et rien que le besoin dès le lancement d'un projet. Il s'agit d'explicitier l'exigence fondamentale qui justifie la conception, ou la ré-conception d'un produit. [19]

II-2-3-3 La Pieuvre

Cet outil (issu de la méthode APTE) identifie les fonctions d'un système ou d'un produit, recherche les fonctions attendues et leurs relations dans l'analyse fonctionnelle du besoin (ou analyse fonctionnelle externe).

Fonctions principales : Quelles sont les raisons pour lesquelles l'objet a été créé ? Pour chaque phase de son cycle de vie, il s'agit d'identifier les relations créées par l'objet entre deux ou plusieurs éléments de son milieu d'utilisation (extérieur à l'objet). Il faut ensuite exprimer le but de chaque relation créée, chaque but détermine ainsi une fonction principale :

Une fonction principale est exprimée par 2 milieux extérieurs et un verbe.

Fonctions contraintes : Quelles sont les contraintes auxquelles l'objet doit satisfaire ? Pour chaque position d'utilisation, il s'agit de définir les contraintes imposées au produit par son milieu extérieur d'utilisation. Cela revient à identifier les relations entre l'objet et un élément du milieu d'environnement. Le but de ces relations est appelé fonction de contrainte. [19]

Une fonction de contrainte est exprimée par 1 milieu extérieur et un verbe.

Elles peuvent parvenir de façon différente :

- contrainte imposée par l'action d'un élément du milieu extérieur,
- contrainte d'interface avec un produit existant,
- exigence particulière (de l'utilisateur).

II-2-3-4 Le tableau fonctionnel.

Il permet une caractérisation des fonctions principales ou de contraintes.

Critères d'évaluation : paramètre retenu pour apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte respectée.

Echelle d'évaluation ou niveau : repère dans l'échelle adoptée pour un critère d'appréciation d'une fonction.

Tolérance acceptée :

- flexibilité : indication sur les possibilités de moduler un niveau pour un critère.
- limites: niveau de critère d'appréciation au-delà ou en-deçà duquel le besoin est non satisfait (minimum, maximum)

II-2-3-5 Cahier de charges fonctionnelles

Le Cahier des Charges Fonctionnel (CDCF) d'un projet est un document par lequel la maîtrise d'ouvrage exprime son besoin pour le projet. Ce besoin doit être formulé en termes de fonctions que le futur utilisateur aura à accomplir, ou que le système devra accomplir pour lui.

- Le CDCF permet en outre : de provoquer chez le concepteur /réalisateur (prestataire) la conception et la réalisation du produit le plus efficient,
- De faciliter le dépouillement des propositions des prestataires,
- De favoriser le dialogue entre les partenaires.

Définition AFNOR : Document par lequel le demandeur exprime son besoin (ou celui qu'il est chargé de traduire) en terme de fonctions de services et de contraintes. Pour chacune d'elles sont définis des critères d'appréciation et leurs niveaux. Chacun de ces niveaux doit être assorti d'une flexibilité.

Le CDCF doit être rédigé indépendamment des concepts de solutions envisageables afin de laisser le plus grand éventail de concepts de solutions possibles. Le CDCF doit permettre au maximum l'expression du besoin dans les termes des différents utilisateurs selon les phases de l'état vivant du produit. [18]

Le Cahier des Charges Fonctionnel est la conclusion des travaux d'analyse de la valeur et d'analyse fonctionnelle qui symbolisent la démarche d'expression du besoin :

- ✓ Orienter l'étude

- ✓ Rechercher l'information
- ✓ Traduire le besoin en fonctions
- ✓ Formaliser les travaux
- ✓ Contrôler le CDCF Besoin
- ✓ Valider le CDCF Besoin

II-3 Analyse des causes de défaillance

II-3-1 Diagramme de causes/effets

II-3-1-1 Définition

C'est un outil permettant de visualiser et d'identifier de façon ordonnée les causes possibles d'un effet constaté que l'on cherche à analyser, et donc de déterminer les moyens pour y remédier.

Ainsi appelé diagramme de causes/effets" ou "en arêtes de poisson", l'outil créé par le japonais Kaoru Ishikawa fait partie de ceux à posséder dans sa trousse à outils spéciale "résolution des problèmes".C'est la représentation graphique d'une méthode d'analyse dite méthode des « 5M » (abréviation de **Main d'œuvre**, **Matériel**, **Matière**, **Méthodes**, **Milieu** ou **Maintenance** ou **Management** ou **Mercatique**) destinée à mettre en évidence les liens de causalité entre les éléments conduisant à un même effet.

II-3-1-2 Domaines d'utilisation

Il est utilisé pour la maîtrise de la qualité et est souvent employé par les cercles de qualité pour ordonner des idées émises lors d'une séance de remue-méninges (brainstorming). Il est utilisé également pour les études concernant la maintenance, la fiabilité et la sécurité (méthode AMDEC).

II-3-1-3 Méthodologie pour construire le diagramme d'Ichikawa

- 1) **L'effet** : l'effet doit être formulé en termes simples, admis par l'ensemble des participants : que veut-on améliorer, changer, modifier, quel est l'effet attendu ? La transformation doit être mesurable pour apprécier une modification de façon objective.

L'effet doit constamment rester visible pour permettre de recentrer la démarche à tout moment.

- 2) **Identifier les causes** : c'est la période de recherche d'idées (brainstorming). L'important est de noter, sans classer, les idées venant de toute part. Tout doit être noté de façon visible pendant toute la séance.
- 3) **Les mots-clés** : l'émetteur de chaque phrase formulée, doit souligner le ou les mots-clés. Cet état fait souvent resurgir des idées nouvelles qui seront notées à la suite, elles seront traitées à la fin.
- 4) **Les principales familles** : pour favoriser la recherche, la méthode des 5M est couramment utilisée. Elle permet d'orienter la réflexion vers les 5 domaines, desquels sont généralement issues les causes. Toute autre organisation mieux adaptée au problème peut, bien entendu, être utilisée.
 - ✓ **Machines**: c'est tout ce qui nécessite un investissement, du matériel, des locaux, du gros outillage.
 - ✓ **Main d'œuvre** : c'est l'ensemble du personnel
 - ✓ **Méthodes** : ce sont les gammes, les modes d'emploi, les notices, les instructions écrites ou non.
 - ✓ **Matières** : c'est tout ce qui est consommable (les matières premières, les fluides, les énergies).
 - ✓ **Milieu** : c'est l'environnement physique et humain. Les conditions de travail, l'ergonomie, les relations, les clients, problèmes de fournisseurs.
- 5) **Tracer le diagramme** : le diagramme est tracé en reportant dans l'ordre des idées formulées. Seuls les mots-clés sont indiqués sur les flèches.
- 6) **Choisir** : le choix des causes sur lequel va porter l'analyse commence par déterminer les familles (de machine jusqu'à milieu) qui semblent être les plus importantes.
- 7) **Définir l'objectif** : l'objectif doit être exprimé en termes de valeur de l'évolution et en temps que l'on s'accorde pour vérifier l'évolution.
- 8) **Les moyens** : choisir les méthodes de mesure, les tests, les procédures.
- 9) **Confronter aux résultats antérieurs** : à ce stade, il est important de vérifier si l'effet désiré est obtenu. Dans le cas contraire, le groupement suivant est abordé jusqu'à l'obtention de l'amélioration.

II-3-1-4 Représentation graphique du diagramme de causes à effets.

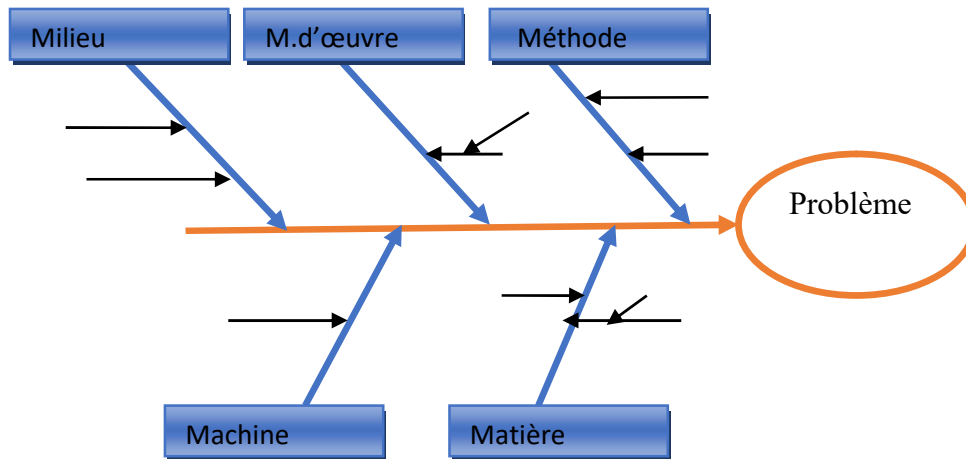


Figure II.3 : Diagramme Ichikawa

II-3-2 Histogramme de PARETO (méthode ABC)

Il peut être utilisé pour établir la répartition des causes de défaillances causées par tout l'ensemble du mécanisme de levage et leurs fréquences d'interventions, et de définir les priorités des actions. L'histogramme se construit de la manière suivante :

- En abscisse, on reporte les causes de défaillances
- En ordonnée, on reporte les fréquences d'apparitions des défauts. On peut alors attaquer les défauts par ordre d'importance.

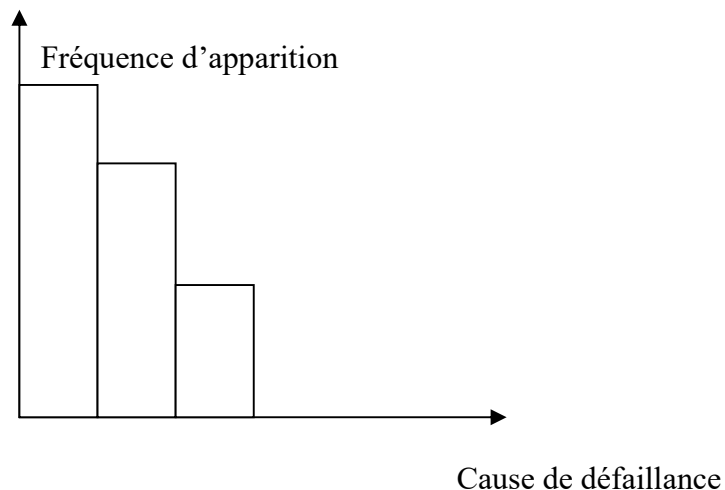


Figure II.4 : Histogramme de PARETO

NB : nous pouvons aussi établir un diagramme de PARETO pour chaque cause principale

II-3-2 -1 Intérêt de la méthode.

Comme nous voyons, cette analyse permet de ne pas se laisser prendre par des travaux de très faible importance par rapport au volume des autres travaux : l'objectif étant de rentabiliser les actions. [18]

II-3-2 -2L'analyse ABC

Issue des travaux de WILFREDO PARETO, cette loi fait sortir une concordance entre le faible pourcentage du nombre d'événements observés et le fort pourcentage de la variable induite étudiée et qui permet de faire apparaître les éléments représentatifs :

- ✓ D'une fabrication.
- ✓ Du produit en stock.
- ✓ Des clients, des fournisseurs.
- ✓ Des pannes, des prélèvements

Donc, c'est un moyen d'analyse qui permet de mettre en évidence, les individus d'une population les plus marqués par le critère qui aura un impact significatif sur l'ensemble du fonctionnement.

Cette façon de procéder permettra de maîtriser petit à petit les différents domaines d'intervention et aidera à mieux planifier les travaux de maintenance corrective ou préventive.

Courbe théorique :

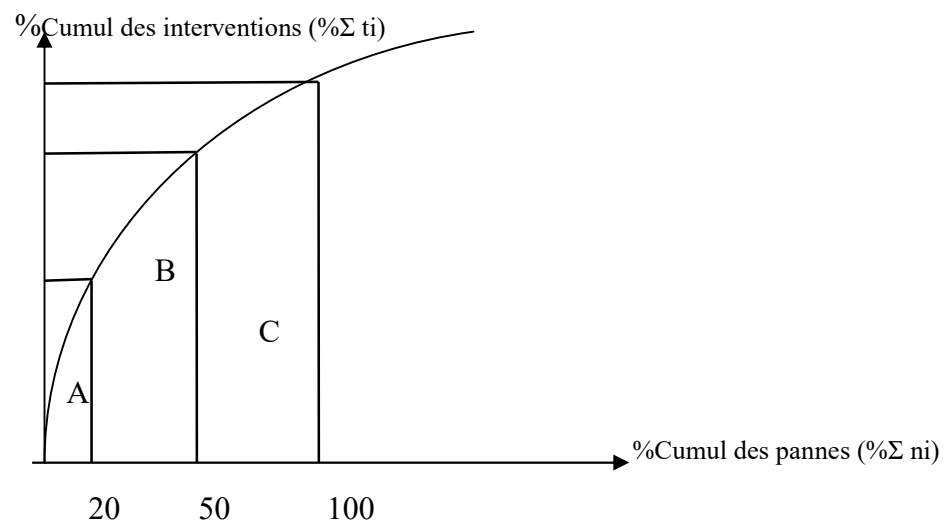


Figure II.5 : Courbe ABC

Zone A : (zone de priorité) dans cette zone 20% des pannes représentent 80% des temps d'arrêts.

Zone B : les 30% de pannes supplémentaires ne coûtent que 15% supplémentaires ;

Zone C : les 50% de pannes restantes ne concernent que 5% du coût global.

Alors la préparation des travaux de maintenance doit porter sur les pannes de la zone A.

II-3-2 -2-1 Comment tracer la courbe ABC[20].

- 1- On classe les pannes par ordre décroissant et devant chaque panne sa durée.
- 2- On calcule les cumuls des temps et des pannes
- 3- On calcule les pourcentages cumulés des temps et des pannes
- 4- On établit un graphique en abscisse les pourcentages cumulés des pannes et en ordonnées les pourcentages cumulés des temps.

Tableau II.2 : Les paramètres pour tracer la courbe ABC.

N° de machine	Nombre d'heures d'arrêt Ti	Nombre de pannes Ni	Cumul des nombres de panne Σ ni	Pourcentage du cumul des nombres de panne. %Σ ni	Cumul des nombres d'heures d'arrêt Σ ti	%Cumul des nombres d'heures d'arrêt %Σ ti

Avec :

Ti : Nombre d'heures d'arrêt

Ni : Nombre de pannes

Σ ni : Cumul des nombres de panne

%Σ ni : Pourcentage du cumul des nombres de panne.

Σ ti : Cumul des nombres d'heures d'arrêt

%Σ ti : Pourcentage du cumul des nombres d'heures d'arrêt

II-4 Optimisation et sécurisation d'un procès

II-4-1 Analyse des Modes de Défaillances de leur effet et de leur CriticitéAMDEC

II-4-1-1 Définition :

L'AMDEC est une méthode d'analyse préventive de la sûreté de fonctionnement des produits et des équipements. C'est un outil d'analyse qui permet de construire la qualité des produits fabriqués ou des services rendus et favorise la maîtrise de la fiabilité en vue d'abaisser le coût global. Elle est régie par la norme AFNOR X 60-510.

L'AMDEC a été créée aux États-Unis par la société Mc Donnell Douglas en 1966 [16]. Elle consistait à dresser la liste des composants d'un produit et à cumuler des informations sur les modes de défaillance, leur fréquence et leurs conséquences.

Cette méthode a fait ses preuves dans des industries : spatiale, armement, mécanique, électronique, automobile, chimique etc. Aujourd'hui dans un contexte plus large comme celui de la qualité totale, la prévention n'est pas limitée à la fabrication. Il est possible d'anticiper les problèmes dans tous les systèmes du processus d'affaires et de rechercher a priori des solutions préventives. C'est pourquoi l'application de l'AMDEC dans les différents systèmes est très utile parfois indispensable. [20]

II-4-1-2 Objectifs de l'AMDEC

C'est une technique d'analyse prévisionnelle qui permet d'estimer les risques d'apparition de défaillance ainsi que les conséquences sur le bon fonctionnement du moyen de production, et d'engager les actions correctives nécessaires. Elle a pour objectif :

- ✓ Une disponibilité maximale
- ✓ Analyser les conséquences des défaillances,
- ✓ Identifier les modes de défaillances,
- ✓ Préciser pour chaque mode de défaillance les moyens et les procédures de détection,
- ✓ Déterminer l'importance ou la criticité de chaque mode de défaillance,
- ✓ Classer les modes de défaillance,
- ✓ Etablir des échelles de signification et de probabilité de défaillance.

II-4-1-3 Les types de l'AMDEC.

II-4-1-3-1 L'AMDEC Produit :

Utilisée pour fiabiliser les systèmes par l'analyse des défaillances dues aux erreurs de conception. Ce type d'AMDEC est donc initialisé en phase de développement produit au moment de sa conception.

L'AMDEC peut être réalisée à différents stades de la conception du produit, en ne perdant pas de vue qu'elle sera d'autant plus efficace qu'elle interviendra plutôt dans le processus de conception.

- Au stade de l'analyse fonctionnelle
- Au stade de la définition du produit

II-4-1-3-2 L'AMDEC processus :

L'AMDEC Processus est utilisée pour analyser les défaillances générées par le processus de fabrication. Ce type d'AMDEC est idéalement initialisé en phase d'industrialisation au moment de la définition du processus de fabrication et de la conception des moyens.

II-4-1-3-3 L'AMDEC montage

On emploie aussi l'expression AMDEC assemblage. Pour certains produits ou pour certaines étapes de la fabrication d'un produit, le procédé (ou une partie du procédé seulement) sera constitué par une succession d'opérations totalement (ou partiellement) manuelles.

II-4-1-3-4 L'AMDEC contrôle :

Ici encore, on est très proche de l'AMDEC procédé. Pour ces opérations de contrôle, les modes de défaillances pourraient être qualifiés de modes de défaillance génériques, puisqu'ils seront toujours du type : Absence ou oubli du contrôle, déclarer un produit bon ou un produit mauvais.

II-4-1-3-5 L'AMDEC sécurité :

Pour assuré la sécurité des opérations dans les procédés ou il existe des risques pour l'homme.

II-4-1-3-6 L'AMDEC machine :

Analyse de la conception et/ou de l'exploitation d'un moyen ou équipement de production pour améliorer la disponibilité et la sécurité de celui-ci.

II-4-1-4 Application de l'AMDEC

Ces outils peuvent procurer un encadrement très utile car les analyses qualitative et quantitative de l'AMDEC s'insèrent dans une méthodologie globale (également applicable pour un produit déjà conçu) :

- ✓ définition de l'étude ;
- ✓ préparation de l'étude ;
- ✓ analyse et évaluation des défaillances potentielles ;
- ✓ actions correctives ou préventives ;
- ✓ réévaluation après actions correctives ;
- ✓ criticité résiduelle et liste des points critiques ;
- ✓ planification et mise en place des actions correctives.

À partir de ces analyses préalables, un premier prototype est élaboré pour être testé. Chaque problème constaté amène de nouvelles analyses et des modifications qui poussent à l'élaboration d'un nouveau prototype. Comme il s'agit de produits différents, les données de fiabilité de chaque prototype apparaissent indépendantes.

« L'analyse de l'accroissement de la fiabilité (ou RGA pour ReliabilityGrowthAnalysis) tire profit de l'ensemble des résultats des essais, sans soit, pour différents prototypes améliorés selon une procédure test -fixe- test Cette approche, tout comme les essais accélérés, n'est pas simplement mathématique. Une bonne méthodologie est nécessaire pour mener à des conclusions pertinentes ; donc la méthode peut évaluer le potentiel de développement de la fiabilité pour une stratégie donnée. Le produit peut être amélioré ou laissé non corrigé après apparition d'un mode de défaillance. De ce fait, l'AMDEC est considérée comme un outil de planification du développement de la fiabilité ». [17]

II-4-1-5 Les modes de défaillance.

C'est la manière dont un système vient à ne pas fonctionner. Il est relatif à la fonction de chaque élément. Une fonction a 4 façons de ne pas être correctement effectuée :

Plus de fonction : la fonction cesse de se réaliser,

Pas de fonction : la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite,

Fonction dégradée : la fonction ne se réalise pas parfaitement, altération de performances

Fonction intempestive : la fonction se réalise lorsqu'elle n'est pas sollicitée.

Tableau II.3 : Les modes de défaillance.

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 / 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 bélier) 	

II-4-1-6 Les causes de défaillance

Il existe 4 types de causes amenant le mode de défaillance :

- ✓ Causes internes au matériel,
- ✓ Causes externes au matériel : matériel en amont,
- ✓ Causes externes dues à l'environnement, au milieu, à l'exploitation,
- ✓ Causes externes dues à la main d'œuvre.

II-4-1-7 Criticité des conséquences

La criticité est en fait la gravité des conséquences de la défaillance, déterminée par calcul

F : Fréquence d'apparition de la défaillance : elle doit représenter la probabilité d'apparition du mode de défaillance résultant d'une cause donnée.

D : Fréquence de non-détection de la défaillance : elle doit représenter la probabilité de ne pas détecter la cause ou le mode de défaillance avant que l'effet survienne.

G : Gravité des effets de la défaillance : la gravité représente la sévérité relative à l'effet de la défaillance.

Chaque critère comporte 4 niveaux de gravité notés de 1 à 4.

C ou I.P.R. : Evaluation de la criticité : elle est exprimée par l'Indice de Priorité des Risques.

Si I.P.R. < 12 Rien à signaler

Si 12 < I.P.R. > 18 Surveillance accrue à envisager, valeur à la limite de l'acceptable

Si I.P.R. > 18 Mise en place d'actions permettant de corriger donc d'améliorer le moyen ou l'installation utilisé

La valeur relative des criticités des différentes défaillances permet de planifier les recherches en commençant par celles qui ont la criticité la plus élevée.

$$C = F \times D \times G \text{ (II.1)}$$

II-4-1-8 Propositions d'améliorations

La réduction de l'I.P.R. (C) peut se faire par modification technique, par le changement de la méthode de maintenance appliquée et / ou par la mise en place de documents relatifs aux modes opératoires, aux procédures,...

Un plan d'action sera établi pour fixer des priorités par rapport aux améliorations proposées. Des critères économiques sont à prendre en compte pour hiérarchiser. [18]

II-4-2 La méthode GANTT

II-4-2-1 Généralité :

Le premier diagramme de Gantt fut élaboré dans les années 1890 par l'ingénieur polonais Karol Adamiecki dans le cadre de ses recherches en techniques de gestion et de planification. Mais c'est la version de ce diagramme réalisée quinze ans plus tard par l'américain Henry Gantt, ingénieur et consultant en management, qui fut définitivement adoptée et tire d'ailleurs son nom de ce dernier.

Cette méthode consiste à déterminer la meilleure manière possible de positionner les différentes tâches d'un projet à exécuter sur une période déterminée en fonction de : Des durées de chacune des tâches; des contraintes d'antériorité entre les différentes tâches, des délais à respecter, des capacités de traitement (qui peuvent évoluer en fonction des heures supplémentaires accordées, des investissements réalisés).

Il est important de noter que le diagramme de Gantt s'utilise souvent en complément du diagramme de PERT (Program Evaluation and Review Technic), particulièrement dans le cas de projets complexes impliquant une interdépendance des tâches.

Le diagramme de GANTT classique utilise le critère de représentation suivant :

On commence le plus tôt possible les tâches qui n'ont pas d'antécédent, puis on représente les tâches ayant pour antécédent les tâches déjà représentées et ainsi de suite. Ce système conduit à créer des stocks, et ne correspond pas à un système juste à temps. On peut cependant le modifier en commençant les tâches au plus tard.

Pour définir les liens entre les différentes tâches d'un projet, différentes possibilités existent:

- ✓ Priorité à la fabrication du produit ayant la date de livraison la plus rapprochée (pour respecter les délais).
- ✓ Première commande confirmée, première commande exécutée (ce qui n'est pas forcément une bonne solution, car elle peut conduire à augmenter les stocks).
- ✓ Priorité à la tâche dont la durée est la plus courte (méthode qui permet de diminuer le temps de changement de série).
- ✓ Priorité à la tâche ayant la plus petite marge.

Marge = temps restant à courir jusqu'à la livraison - le temps total d'achèvement(II.2)

- ✓ Priorité à la tâche ayant le ratio critique le plus faible.

$$r = \frac{\text{temps restant à courir jusqu'à livraison}}{\text{somme des temps des operation restant à effectuer}} \quad \text{(II.3)}$$

Ces deux derniers critères ont pour objectif de tenir compte à la fois des délais et des temps de fabrication.

II-4-2-3 Utilisation du diagramme.

Il permet de visualiser l'évolution du projet et de déterminer sa durée de réalisation.

On peut mettre en évidence les flottements existants sur certaines tâches, (le flottement correspond au temps de retard qu'on peut avoir sur une tâche, sans pour autant augmenter la durée globale de réalisation du projet). On peut représenter la progression du travail sur le diagramme et connaître à tout moment l'état d'avancement du projet.

- Modéliser la planification de tâches nécessaires à la réalisation d'un projet.
- Visualiser l'évolution du projet, de déterminer sa durée de réalisation.
- Mettre en évidence les flottements existant sur certaines tâches. (Le flottement correspond au temps de retard qu'on peut avoir sur une tâche particulière sans autant augmenter la durée globale de réalisation de projet).
- Représenter la progression du travail et de connaître à tout moment l'état d'avancement du projet, mais également un bon moyen de communication entre les différents acteurs d'un projet.

II-5 La sûreté de fonctionnement.

Dans sa définition originelle, le terme "sûreté de fonctionnement" représente "l'ensemble des aptitudes d'un produit qui lui permettent de disposer des performances fonctionnelles spécifiées, au moment voulu, pendant la durée prévue, sans dommage pour lui-même et son environnement". La sûreté de fonctionnement couvre ainsi les quatre notions que sont la fiabilité, la sécurité, la maintenabilité et la disponibilité et doit être étudiée d'un bout à l'autre de la conception d'un système. Elle se fera par:

- ✓ Le choix des composants de la partie opérative : puissance et distribution d'énergie
- ✓ L'implantation des composants
- ✓ Le choix de la partie commande et de son câblage
- ✓ Les procédures de fonctionnement [21].

II-5.1 Etude FMD

II-5.1 La fiabilité.

La norme **NF X 60-500** définit la fiabilité comme « l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné ». Les paramètres importants de la fiabilité sont donc les conditions d'utilisation du système, le temps ou le nombre de cycles. Elle dépend aussi de la fonction remplie par ce dispositif.

II-5.1.1 Les différents types de fiabilité:

- **Fiabilité intrinsèque** : elle est propre à un matériel et à un environnement donné et ne dépend que de ce matériel.
- **Fiabilité extrinsèque** : elle résulte des conditions d'exploitation, de la qualité de la maintenance, d'une manière générale d'événement relatif à l'intervention humaine.

- **Fiabilité implicite:** basée sur l'expérience et dont le but est de réduire la fréquence et la durée des arrêts.
- **Fiabilité explicite:** dont le concept est formé mathématiquement, elle permet de déterminer rigoureusement le degré de confiance dans le matériel.

II-5.1.2 Objectifs de la fiabilité

- Mesurer une garantie dans le temps ;
- Evaluer rigoureusement un degré de confiance ;
- Déchiffrer une durée de vie ;
- Evaluer avec précision un temps de fonctionnement ;
- Déterminer la stratégie de l'entretien ;
- Choisir le stock. [21]

II-5.1.3 Analyse de la fiabilité :

Selon la **loi de Weibull** qui est une loi qui continue à être utilisée le long du cycle de vie d'un matériel, les fonctions de la fiabilité dépendent de trois paramètres : β , γ , η caractérisent ce modèle.[22]

- **Densité de probabilité:**

Généralement notée $f(t)$, la densité de probabilité représente la probabilité de défaillance en un intervalle de temps (t) .

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{(\beta-1)} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.4})$$

- **La fonction de répartition :**

La fonction de répartition $F(t)$ représente la probabilité des pannes cumulées de défaillance dans un intervalle $[0 ; t]$.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.5})$$

- **La fonction de fiabilité:**

Nous appelons $R(t)$ la fonction de fiabilité. Elle représente la probabilité de fonctionnement sans défaillances pendant un temps (t) , ou la probabilité de survie jusqu'à un temps (t) . La probabilité d'avoir au moins une défaillance avant le temps (t) , elle représente la probabilité cumulative des défaillances, et est appelée : « probabilité de défaillance » [22].

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.6})$$

- **Taux de défaillance:**

Prenons maintenant une pièce ayant servi pendant une durée t et encore survivante. La probabilité qu'elle tombe en panne entre l'âge t qu'elle a déjà et l'âge $T + dt$ est représentée par la probabilité conditionnelle qu'elle tombe en panne entre T et $T + dt$, sachant qu'elle a survécu jusqu'à T . D'après le théorème des probabilités conditionnelles cette Probabilité est égale à :

$$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{II.7})$$

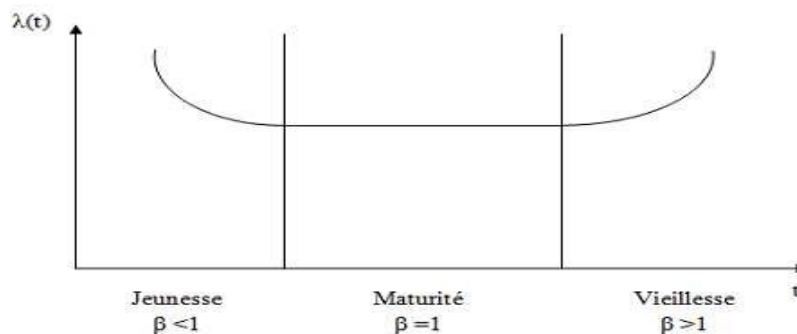


Figure II.9 : taux de défaillance ; courbe en baïonnette

La vie d'un composant peut donc être divisée en trois périodes [21]:

- **la période de jeunesse :** le taux de défaillance diminue : la probabilité de panne d'un composant décroît avec le temps, les défaillances sont dues à des problèmes de qualité (mise en place des procédés et déverminage).
- **La période maturité :** est représentée par un taux de défaillance constant : la probabilité d'une panne est indépendante du nombre d'heures de fonctionnement de l'équipement (pannes aléatoires). Cette période, souvent inexistante pour la mécanique, est celle de référence pour l'électronique.
- **la période de vieillesse :** la probabilité de panne augmente avec le nombre d'heures de fonctionnement : plus l'équipement est vieux, plus il est probable d'avoir une défaillance. Ce type de comportement est caractéristique des systèmes soumis à usure ou autres détériorations progressives qui correspondent à des taux de défaillance croissants. La fiabilité se limite généralement à l'étude des phases 2 et 3, on exclut les

problèmes de qualité en ne tenant pas compte du déverminage qui a lieu lors de la première phase.

- **MTBF :**

La moyenne du temps de bon fonctionnement est calculée par la formule

$$MTBF = \gamma + A\eta \quad (\text{II.8})$$

- **Signification des différents paramètres de la loi de Weibull**

- **Paramètre de forme β**

Ce paramètre donne l'allure de la distribution des défaillances

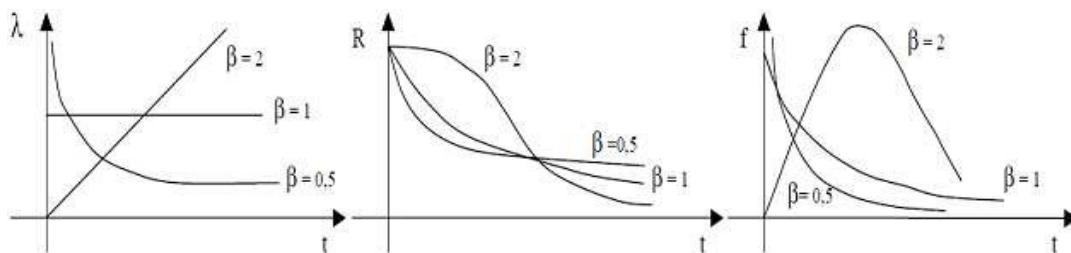


Figure II.10 : les trois périodes de la courbe en baignoire avec différentes valeurs de β

- **Paramètre de position γ**

Son unité est celle de la variable, il explique la survie du lot.

Si $\gamma < 0$ dès la réception du matériel, il y a défaillance.

Si $\gamma > 0$ il y a survie totale du lot.

- **Paramètre d'échelle η**

En unité de temps qui est associé à l'échelle utilisée sur le graphe d'ALAIN PLATT. Ce dernier qui est en papier de WEIBULL utilise la méthode graphique pour l'estimation des Paramètres de cette loi. Il est gradué:

En abscisse : $\ln(t)$ (II.9)

En ordonnée : $\ln(\ln(\frac{1}{1-F(t)}))$ (II.10)

II-5.2 La maintenabilité

La maintenabilité est « l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des

conditions, avec des procédures et des moyens précis ». La maintenabilité caractérise la facilité de remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement. La maintenabilité est caractérisée par[21] :

- **La moyenne des temps techniques de réparation MTTR**

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \text{ (II.11)}$$

- **Taux de réparation μ :**

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \text{ (II.12)}$$

La probabilité de réparation d'un composant est principalement fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai t avant que le composant puisse être réparé. Ce délai t comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation.

Et la maintenabilité se calcule par la formule :

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \text{ (II.13)}$$

II-5.2.1 Amélioration de la maintenabilité

L'amélioration de la maintenabilité passe par :

- Le développant des documents d'aide à l'intervention,
- L'aptitude de la machine au démontage (modification, risquant de coûter chère).
- L'accessibilité.
- L'interchangeabilité et la standardisation.
- La facilité de remplacement.
- L'aide au diagnostic. [21]

II-5.3 La disponibilité:

C'est l'aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée. Cette aptitude dépend de la combinaison de la fiabilité, de la maintenabilité et de la logistique de maintenance. Les moyens extérieurs nécessaires autres que la logistique de maintenance n'affectent pas la disponibilité du bien (NF EN 13306).

II-5.3.1 Quantification de la disponibilité :

La disponibilité peut se mesurer :

- a) sur un intervalle de temps donné (disponibilité moyenne),
- b) à un instant donné (disponibilité instantanée),
- c) à la limite, si elle existe, de la disponibilité instantanée lorsque $t \rightarrow \infty$ (disponibilité asymptotique).

II-5.3.2 Différents niveaux de la disponibilité :

On distingue cinq types de la disponibilité :

- **Disponibilité intrinsèque théorique :**

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

$$D_i = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} \quad (\text{II.14})$$

- **Disponibilité moyenne**

La disponibilité moyenne sur un intervalle de temps donné peut-être évalué par les rapports suivants :

$$D_m = \frac{TCBF}{(MCBF + TCI)} \quad (\text{II.15})$$

Avec : TCI: Temps cumulé d'immobilisation ; TCBF = temps cumulé de bon fonctionnement

- **Disponibilité opérationnelle**

Pour cette mesure, sont pris en compte les temps logistiques, ce qui donne:

$$D_0 = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR + MTL)} \quad (\text{II.16})$$

Avec :

MTL : moyenne des temps logistiques

- **Disponibilité asymptotique**

Lorsque λ et μ sont indépendants de temps et quand (t) devient grand, on constate que D (t) tend vers une valeur constante. Cette valeur est souvent dénommée disponibilité asymptotique, notée A_∞ et est égale à :

$$A_{\infty} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (\text{II.17})$$

Avec

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (\text{II.18}) \\ \mu = \frac{1}{MTBR} \quad (\text{II.19}) \end{array} \right.$$

- **Disponibilité instantanée**

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constant et d'un taux de réparation μ constant, on montre que la disponibilité instantanée a pour expression :

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\mu + \lambda)t} \quad (\text{II.20})$$

II-6 Conclusion

Nous avons consacré ce chapitre à une étude détaillée sur la stratégie de la maintenance dans les entreprises, de ces analyses utilisé pour la maîtrise de la qualité de produit, la protection des personnels et établir la répartition des causes de défaillance causés par l'ensemble du mécanisme (définir les priorités) et surtout sur les notions de base, concernant la fiabilité, maintenabilité et la disponibilité pour bien comprendre les mots clés de notre travail, on a vu au cours de ce chapitre, les différentes méthodes de calcul pour évaluer la fiabilité, la fonction de répartition et le taux de défaillance.

Cependant chaque stratégie a ses propres coûts, avantages, et niveaux d'efficacité. Il est donc important de choisir une stratégie ou une combinaison de stratégies qui correspondent le mieux aux besoins de votre entreprise et l'implantée.

CHAPITRE III

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE (MAGHREB-PIPE)

Dans cette partie de notre travail, nous allons vous présenter une brève présentation de l'entreprise Maghreb-Pipe, experte de premier plan dans la fabrication des systèmes de canalisations en PRV à destination des utilisateurs dans le domaine des grands transferts, ainsi que pour des applications dans les réseaux d'assainissement, d'irrigation, d'eau potable et d'eaux industrielle. De son historique en passant par l'organigramme de la direction de l'usine, la composition, la fabrication, caractéristique etc., nous allons décrire de la manière la plus claire cette entreprise qui se démarque dans son domaine.

III-1 Introduction

Nous avons eu l'honneur d'effectuer un stage à Maghreb-Pipe entreprise qui nous a aidés de s'orienter vers le but fixé et de s'éclaircir plus sur la façon de procéder pour mener à bien notre projet de fin d'étude.

Nous savons tous que pour tout système hydraulique, un réseau de tuyauterie résistant aux intempéries et robuste capable d'un transfert de fluide ininterrompu dans des conditions d'humidité, d'eau salée, de sol contaminé ou de produits corrosifs est essentiel. Les matériaux usuels pour lesquels ces conditions sont néfastes, nécessitent un entretien coûteux et présentent un danger pour l'environnement en cas de fuite. Mais les systèmes de canalisations armée de fibres de verre (PRV) fabriqués par Maghreb Pipes Industries ne sont pas concernés par ce problème, ils sont déjà utilisés depuis plus de 40 ans dans les environnements les plus corrosifs. Résistant et parfaitement étanche, disponible des plus petit au plus grand diamètre, les systèmes canalisation MPI sont synonyme d'adaptation et de sécurité.

Alliant le choix des technologies les plus performantes au savoir-faire éprouvé d'un personnel Compétent et qualifié, l'usine Maghreb Pipe Industries est la référence nationale pour la fabrication des systèmes de canalisation en PRV (polyester renforcé de fibre de verre). Les procédés de fabrication utilisés par Maghreb Pipe Industries font appel aux dernières technologies appliquant les normes et les standards les plus stricts.

III-2 Généralités

III-2.1 Historique

L'entreprise Maghreb Pipe Industries a développé dès sa création en 2004 une expertise de premier plan dans la fabrication de systèmes de canalisations en PRV à destination des utilisateurs dans le domaine des grands transferts, ainsi que pour des applications dans les réseaux d'assainissement, d'irrigation, d'eau potable et d'eaux industrielles. L'expertise développée à ce jour, a permis une totale maîtrise de la nouvelle technologie de production de canalisations en PRV donnant à nos produits une qualité de standards internationaux. La nature de nos produits, notamment en ce qui concerne les produits spécifiques a naturellement permis de développer une parfaite qualité d'écoute du client, à l'effet de répondre exactement aux caractéristiques techniques désirées, afin de satisfaire nos clients. Une solution de confiance ... Accordant une place prépondérante à la recherche et au développement, Maghreb Pipe Industries est en mesure de vous présenter des solutions innovatrices et d'anticiper vos

besoins en vous proposant des systèmes de canalisations en PRV (Polyester renforcé de fibre de Verre) durablement étanches, en prenant en considération le coût d'exploitation lors du choix de la solution retenue. Evolutive et flexible, elle s'adapte constamment aux nouveaux besoins exprimés par nos clients, et s'appuie sur une méthode de conduite de projet rigoureuse et éprouvée

III-2.2 L'organigramme de Direction d'Usine

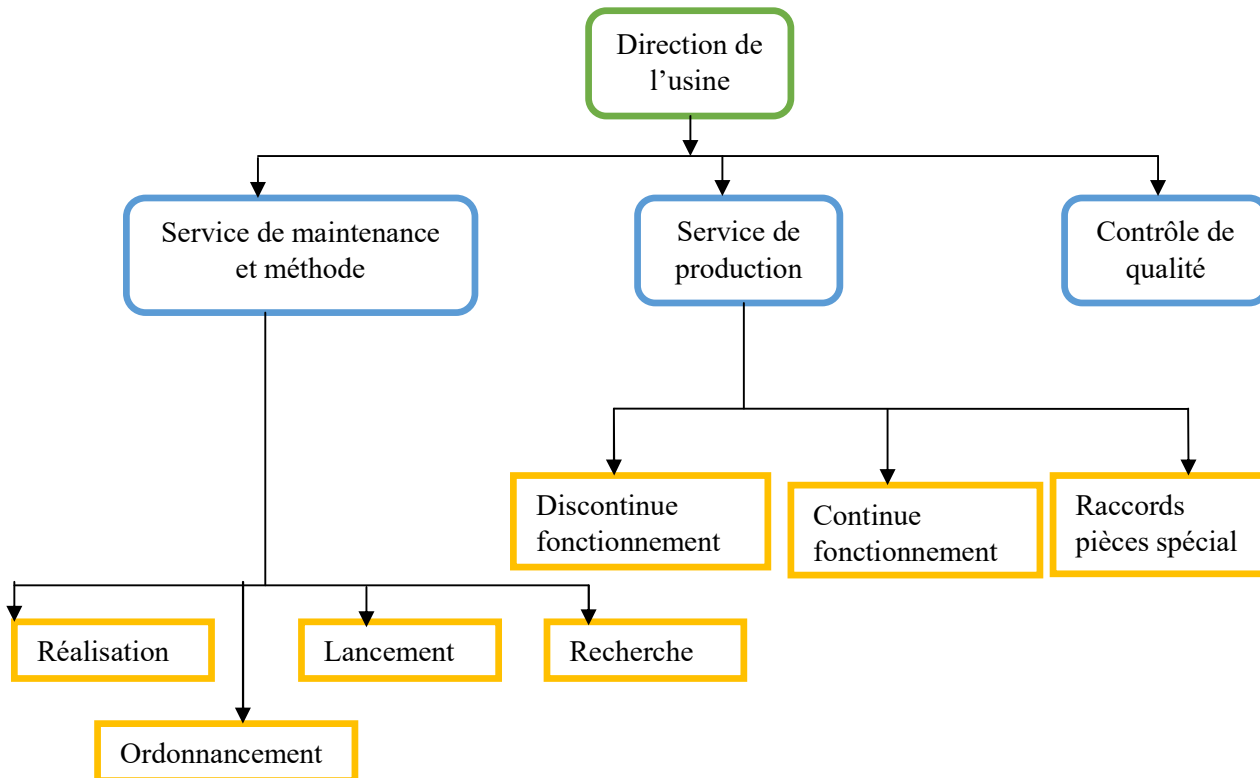


Figure III.1 : Organigramme de l'entreprise Maghreb Pipe

III-2.3 Composition du produit.

❖ Composition de la paroi du tuyau.

La paroi du tuyau PRV se compose de trois couches parfaitement adhérentes l'une à l'autre, chacune ayant différentes caractéristiques et propriétés en rapport à sa fonction. Différents renforcements et résines peuvent être employés dans chaque couche.

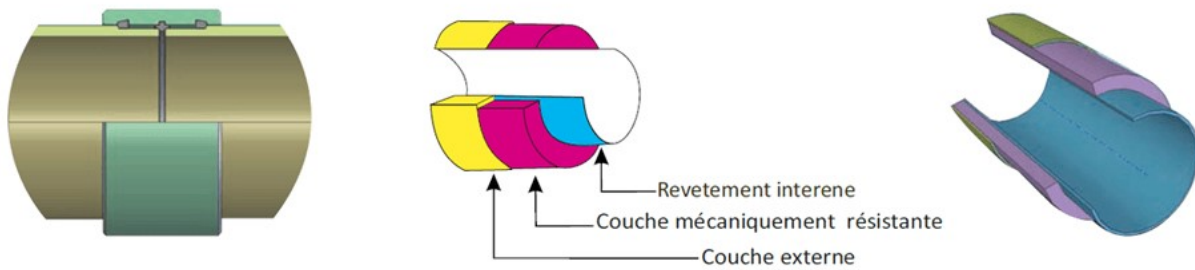


Figure III.2 :La paroi du tuyau PRV

❖ Revêtement interne

Le revêtement ou la couche chimiquement résistante est la couche interne de la tuyauterie ; elle est en contact direct avec le fluide transporté. Cette couche a pour fonction de garantir la résistance maximum à la corrosion chimique et l'imperméabilité de tout le tuyau grâce à :

- Une teneur plus élevée en résine,
- Un genre spécial de résine utilisé,
- Un genre spécial de renforcement de verre utilisé.

Le recouvrement est généralement fait de deux couche secondaires monolithiques: celle de l'intérieur, en contact direct avec le fluide, est renforcée avec 1 ou plusieurs voiles de surfacage de verre » C » résistant chimiquement ($20 \div 33 \text{ g/m}^2$), avec un rapport résine/verre d'environ 90% en poids, celle externe, est renforcée avec des plis de mat de verre » E » de $375 \div 450 \text{ g/m}^2$ ou avec une quantité équivalente de stratifié de verre coupé » E « , avec un rapport résine/ verre d'environ 70% en poids. L'épaisseur standard du revêtement est de $0.8 \div 1.2$ millimètre environ, une épaisseur plus élevée peut être fournie sur demande.

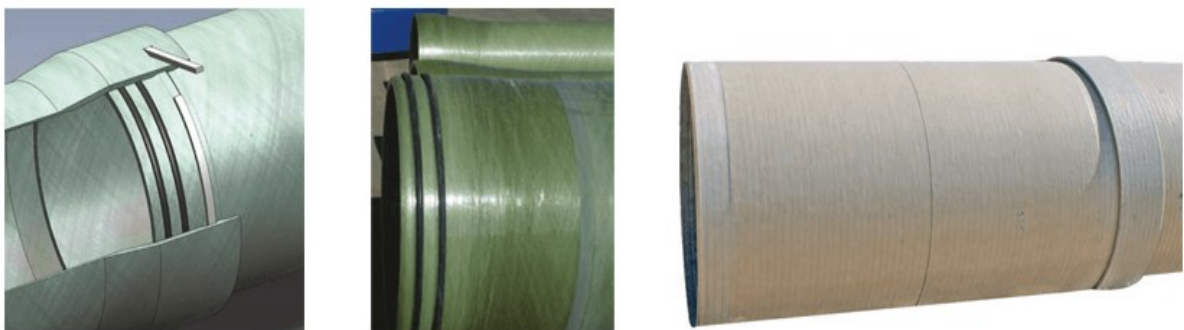


Figure III.3 : Revêtement interne du tuyau

La teneur élevée en fibres de verre de renforcement garantit la résistance mécanique de toute la tuyauterie contre les tensions dues à la pression interne et / ou externe, aux charge externes dues à la manipulation et à l'installation, aux charges de remblais, aux charges de la circulation, aux charges thermiques, aux la charges de flexion, etc.... La couche est obtenue de différentes manières, selon la technologie de fabrication par application, sur le revêtement en partie traité précédemment, d'une résine thermodurcissable ; d'un stratifié continu de verre » E » enroulé sur le tuyau sous une tension contrôlée, avec différents angles d'enroulement ; de stratifié coupé de verre » E » ; de sable de silice (agrégat).

Les deux premiers éléments sont toujours présents dans un tuyau en fibre de verre fabriqué selon la technologie **Maghreb Pipe Industries**. Cette couche peut contenir des agrégats (matériau granulaire inerte tel que le sable de silice) afin d'augmenter la rigidité de tout le tuyau. L'épaisseur d'une couche mécaniquement résistante dépend des conditions de calcul.

❖ Revêtement externe

La couche de finition est la couche externe du tuyau, elle a une épaisseur minimum de 0.2 ÷ 0.3 millimètre ou plus selon la spécification de la conception. Le revêtement extérieur peut avoir également un pigment blanc ou de couleur, sur demande.

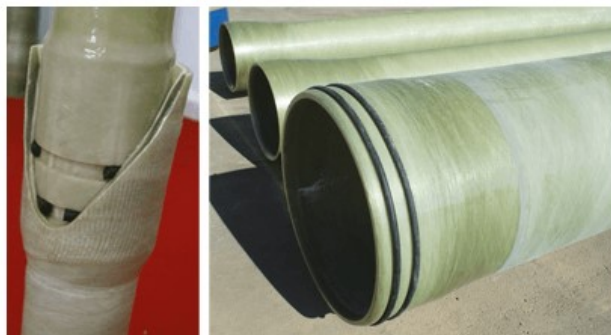


Figure III.4 : Revêtement externe

III-2.4 Matière première

❖ Matrice polymère (résine)

Maghreb Pipe Industries emploie habituellement trois types de résine :

- Polyester iso phtalique
- Polyester ortho phtalique
- Vinyles ter

Les résines ci-dessus présentent plusieurs caractéristiques intéressantes telles que :

- Durcissement à température ambiante
- Propriétés mécaniques élevés
- Inertie chimique
- Liaison très forte avec les fibres de verre.



Figure III.5 :La matière première

La résine iso phtalique et le résine ortho phtalique ont une température de service maximum de 50° C environ. La résine d'ester de vinyle (Vinyles ter) combine une inertie chimique très bonne et des propriétés mécaniques élevées dans les stratifiés. Les propriétés des résines sont mesurées chaque fois qu'il est nécessaire groupe simple selon le contrôle de qualité interne de Maghreb Pipe Industries et le plan d'inspection.

❖ **Fibres**

Ce sont des fibres de verre, finalement les mêmes fibres que l'on observe dans les isolations en fibres de verre. Parfois on utilise aussi des microsphères de verre. Les renforcements de verre sont faits à partir de deux types différents de composition de verre :

- Le verre « C » qui assure d'excellentes propriétés d'inerties chimique contre la corrosion Chimique.
- Le verre « E » a une résistance mécanique très élevée. Les renforcements de verre indiqués par Maghreb Pipe Industries se composent de :

- Voiles de surfaçage de verre « C », utilisés comme renforcement pour le premier pli du Stratifié.
- Mats de fils coupés de verre « E », utilisés pour des opérations de moulage à la main telles que la fabrication des raccords
- Stratifiés continus de verre « E » à enrouler, employés dans opérations d'enroulement pour obtenir des structures anisotropes où la distribution de la résistance mécanique dépend de l'orientation des fibres continues.
- Stratifiés tissés, utilisés dans les opérations de moulage à la main en alternant des couches de stratifiés tissés avec des couches de mats pour améliorer la force mécanique du stratifié.

La matrice polymère colle les fibres de verre ensemble un peu comme le ciment collerait les granulats. Les tuyaux sont un assemblage de ces couches avec d'autres adjonctions afin de former plusieurs couches dures ou moins dures, lisses ou moins lisses.

III-2.5 Fabrication

Au Maghreb-Pipe industrie, les tuyaux sont fabriqués selon deux procédés de fabrication.

III-2.5.1 Enroulement Filamentaire Continue

Ce procédé utilise un mandrin de reformation sur lequel le tuyau de fibre de verre est fabriqué sans interruption pour être coupé à la longueur exigée (habituellement 12 m). La résine, les fibres de verre coupées, le sable de grande pureté et les stratifiés continus et tendus sont appliqués dans des rapports prédéterminés afin de donner au tuyau les propriétés requises.

Les caractéristiques principales de ce procédé sont les suivantes :

- Assemblage par manchon
- Extrémités lisses

Les tuyaux fabriqués par enroulement filamentaire continu sont utilisés pour :

- L'écoulement gravitaire et les basses et moyennes pressions
- Les applications souterraines

III-2.5.2 Enroulement Filamentaire Discontinue

Ce procédé fabrique des tuyaux en fibre de verre dans des longueurs standard (habituellement 12 m), sur un mandrin rotatif. En ajustant les vitesses relatives de rotation du mandrin et le

mouvement de la tête de distribution du verre, le tuyau hélicoïdalement renforcé est formé. L'ajustement du rapport des matières premières, qui peut inclure un sable de silice de grande pureté, peut également charger les propriétés du tuyau.

Les caractéristiques principales de ce procédé sont les suivantes :

- Assemblage par tulipe et bout-uni
- Extrémités à tulipe et bout-uni monolithiques avec la paroi du tuyau en l'angle d'enroulement, des caractéristiques différentes d'axe et de bandage peuvent être obtenues.

Les tuyaux fabriqués par enroulement filamentaire discontinu sont utilisés pour :

- L'écoulement gravitaire et les moyennes et hautes pressions.
- Toutes applications souterraines et en surface.



Figure III.6 :Machine à enroulement filamentaire discontinu

III-2.5.3 Description des machines:

En tant qu'équipement principal de la ligne de production, il est conçu pour la fabrication de tuyaux en PRV. La constitution du mécanisme et son principe de fonctionnement sont les suivants:

Il se compose principalement d'un dispositif d'entraînement de mandrin, d'un cadre global, d'un poussoir de bande d'acier, d'un disque de came de faisceau, d'une tête de circulation de bande, d'une tête de sortie de bande, d'un faisceau pour support de bande, d'une bande d'acier, de dispositifs de hachage de doublure pour la doublure et la structure, d'un dispositif d'alimentation en sable, d'une étagère à mèches hachée pour la doublure et la structure, étagère à mèches de cerceau pour doublure et structure, dispositifs de mélange et de pulvérisation de résine pour doublure et structure, système de chauffage infrarouge, enrouleur de mylar, enrouleur de voile de surface, enrouleur de couche externe, rouleaux pneumatiques pour doublure et structure, rouleau pneumatique de finition, hydraulique table élévatrice,

dispositif de coupe et de meulage en ligne, dépoussiéreur, système de contrôle PLC, système de contrôle électrique, etc.

La transmission principale de la bobineuse est assemblée avec un moule composé d'un disque à came, d'une tête de sortie de bande, d'une tête de circulation de bande, de poutres pour support de bande et d'une bande d'acier en boucle fermée.

Une fois le moule en rotation avec la transmission, la bande d'acier s'enroule sur les poutres réparties autour du cercle du disque à came et se déplace de manière axiale sous l'impulsion des poussoirs. La bande sera poussée vers l'avant à une largeur de bande à chaque révolution complète du mandrin. Lorsqu'elle arrive à l'extrémité arrière de la poutre, la bande d'acier sera conduite dans le tube creux du mandrin via la tête de sortie et la tête de circulation, puis reviendra au point de départ. De cette manière, la bande d'acier forme un processus de circulation d'enroulement, de poussée vers l'avant, de sortie, d'entrée et de rembobinage.

Enroulez le mylar et le voile de surface sur la bande pendant qu'il forme le mouvement cyclique d'enroulement. Et, simultanément, sur la bande, pulvérisez de la résine à travers un dispositif de pulvérisation pour la couche de doublure et la structure vers le haut, étalez des mèches hachées via des dispositifs de hachage pour la couche de doublure et la couche structurelle, alimentez le sable par le dispositif d'alimentation en sable et le cerceau à vent se déplaçant à partir de l'étagère à mèches. Une fois que le cerceau mèche, le hachoir, la résine et le sable sur la bande sont complètement mélangés et imprégnés de l'effet de rouleau pneumatique, il avance avec la bande de manière axiale dans la zone de chauffage infrarouge à durcir, puis continue jusqu'à quitter la bande mouler. La table élévatrice hydraulique se lèvera séquentiellement et les rouleaux sur la table supportent le tuyau durci. Le tuyau sera coupé après avoir atteint une certaine longueur et les deux extrémités seront coupées par des dispositifs de coupe et de rognage en ligne. De cette manière, la production d'un tuyau est effectuée. La quantité de mèches hachées pour la couche de revêtement et la couche structurelle, la mèche de cercle, le sable ainsi que la résine sont préréglées et contrôlées par PLC qui contrôle également la température de la résine et du sable.

III-2.6 Caractéristiques

MPI produit principalement des tuyaux de ce que l'on appelle dans notre région de gros diamètre c'est-à-dire plus de 80mm voire même jusqu'à 2600 mm de diamètre pour les plus grosses pièces que l'entreprise a construites. Il est possible d'utiliser ces produits pour des

réseaux d'eau gravitaire, réseaux sous pression (eau potable, eau industrielle) et aussi pour des systèmes de rétention. C'est pour cela qu'ils ont une grande résistance à la pression nominale. La rigidité annulaire est aussi relativement élevée.

Tableau III.1 : Caractéristique du produit de MPI

Gamme MPI	
Diamètre nominal (DN)	80-2600mm
Pression nominale (PN)	4 ; 6 ; 10 ; 16 ; 20 bar
Rigidité annulaire nominale	1250 ; 2500 ; 5000 ; et 10000 N/m ²
Produits : conduites pour l'assainissement, conduites d'eau potable, conduites d'aération.	

III.3 L'Intérêt du stage.

Notre stage au sein de l'entreprise Maghreb-Pipe nous a permis d'avoir une approche très détaillée sur nos objectifs à atteindre pour achever notre recherche et bien planifier l'organisation de notre travail.

Durant notre séjour, on a eu le temps d'assister à différentes opérations de fabrication des tuyaux dont les chaînes sont totalement décomplexées et surtout avons bénéficié d'une explication très riche sur les deux procédés de fabrication.

Par la suite, nous avons eu des explications sur les programmes de la maintenance préventive et de savoir quel type de maintenance est adapté par l'entreprise.

III.4 Remarque retenue durant ce stage

Durant l'observation, la machine SLEEVE GROUING MACHUNE (SGM) a retenu notre attention en raison du nombre élevé de pannes qu'elle a subies en si peu de temps.

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait la présentation de l'entreprise Maghreb-Pipe et les différents types des procédés de fabrication qu'ils utilisent. Nous avons donné à la fin de ce chapitre une remarque pertinente qui mérite d'être signalé à l'entreprise et qui fera l'objet de notre travail. Nous avons choisi d'étudier la machine SGM en raison de son importance dans cette entreprise.

CHAPITRE IV

APPLICATION DE L'ANALYSE FMD SUR LA MACHINE SGM CW2600

L'objectif de ce chapitre est de nous permettre de mettre en application, l'évolution de la sûreté de fonctionnement d'un système de production sélectionné pendant notre stage à Maghreb Pipe. Nous allons calculer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité du système choisis, et observé l'évolution de celles-ci au cours du temps.

Nous allons calculer la fiabilité de la moyenne de bon fonctionnement afin de connaître l'état de santé de notre machine et puis utilisé stratégie de maintenance pour extraire les composants les plus de défaillants.

Enfin, nous allons faire des propositions pour une bonne optimisation de la sûreté de fonctionnement et permettre de conserver le plus longtemps possible les performances des équipements au moindre coût.

IV.1 Introduction

Afin d'évaluer la sûreté de fonctionnement d'un système de production dans une entreprise, il est essentiel de sélectionner un système et de recueillir son historique de pannes pour calculer sa fiabilité, sa maintenabilité et sa disponibilité. Après notre stage à Maghreb-Pipe, la machine SLEEVE GROUVING MACHUNE(SGM CW2600) a particulièrement retenu mon attention en raison du nombre élevé de pannes qu'elle a subies en peu de temps.

Dans notre mémoire, nous avons choisi d'étudier cette machine (SGM CW2600) en raison de son importance au sein de l'entreprise Maghreb-Pipe.

IV.2 Historique des pannes

Après avoir examiné l'historique des pannes de la machine SGM au sien de l'entreprise Maghreb-Pipe, nous avons compilé et résumé les informations pertinentes dans le tableau ci-dessous. Ce tableau inclut les pannes survenues, les dates de remise en service après chaque panne, les temps de réparation nécessaires pour chaque incident, ainsi que les temps de bon fonctionnement entre chaque panne (voir le tableau suivant). Ces données nous permettront d'analyser la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité de la machine.

Tableau IV.1 : Historique des pannes de la machine SGM

N°	Pannes	Temps de réparation (H : mn)	Date de remise en service	TBF (h)
1	Endommagement de disque de coupe	0 : 30	27/02/2018	432
2	Outil stoppeur en panne	1 :05	28/03/2018	264
3	-Endommagement de bague de rainurage	0 : 50	14/06/2018	660
4	Endommagement de bague d'écartement	0 :25	17/07/2018	288
5	Axe porte outil en panne	1 : 15	18/07/2018	12
6	Moteur électrique de l'aspirateur de panne	2 : 25	26/07/2018	72
7	Endommagement de bague d'écartement	0 : 25	31/07/2018	60
8	Moteur électrique de l'aspirateur de panne	1 : 38	20/11/2018	948
9	Contacteur de ligne en panne	2 : 00	04/12/2018	120
10	Vérin de maintien des manchons arrêté	1 : 45	13/12/2018	84

11	Endommagement de bague d'écartement	1 : 10	25/12/2018	120
12	Endommagement disque stoppeur	1 : 53	28/12/2018	36
13	Endommagement disque stoppeur	1 : 10	04/01/2019	60
14	Outil stoppeur en panne	1 : 20	05/01/2019	12
15	Endommagement disque stoppeur	1 : 05	16/04/2019	864
16	Endommagement de bague d'écartement	1 : 10	06/05/2019	192
17	Disjoncteur d'alimentation en panne	0 : 53	29/05/2019	204
18	Endommagement de bague d'écartement	1 : 30	11/06/2019	132
19	Vérin de maintien des manchons Arrêté	1 : 20	09/07/2019	240
20	Endommagement de bague d'écartement	1 : 35	10/07/2019	12
21	Disjoncteur d'alimentation en panne	1 : 00	08/10/2019	780
22	Outil stoppeur en panne	1 :04	30/12/2019	720

IV.3 L'analyse FMD

II.3.1 La Fiabilité

Pour simuler la fonction de fiabilité et déterminer les valeurs des paramètres associés, nous avons utilisé un logiciel de simulation avancé, FiabmOpti. Ce logiciel est spécialement conçu pour l'analyse de la fiabilité et intègre plusieurs fonctionnalités clés. Il permet non seulement d'ajuster automatiquement différentes distributions statistiques aux données d'échantillon recueillies, mais aussi de comparer ces ajustements pour sélectionner le modèle le plus approprié. En utilisant des algorithmes d'optimisation sophistiqués, FiabmOpti identifie les distributions qui offrent le meilleur ajustement en termes de précision statistique et de pertinence par rapport aux données réelles, facilitant ainsi une modélisation précise et fiable des comportements de panne et de réparation du système étudié.

L'exécution de ce logiciel en entrant les temps de bon fonctionnement nous a permis d'extraire les différents paramètres nécessaires pour calculer la fonction de répartition réelle

F(t). Cela nous permettra également de choisir le modèle adéquat (acceptable). Ces paramètres sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV.2 : Les paramètres de la loi de Wiebull.

Paramètres	Valeurs
Beta	0,757
Eta	275,61
Gamma	1,88
MTBF	327.33

❖ **Fonction de répartition théorique.**

Les TBF, classés par ordre croissant, sont présentés dans le tableau suivant, qui comprennent également les valeurs de la fonction de répartition théorique F(i) calculées selon la méthode des rangs moyens (N (nombre de TBF) >20). On a :

$$F(i) = \frac{Ni}{N+1} \text{ (IV.1)}$$

Tableau IV.3 : Calculs de la fonction de répartition théorique

N°	TBF	F(i)
01	12	0,04347826
02	12	0,08695652
03	12	0,13043478
04	36	0,17391304
05	60	0,21739130
06	60	0,26086956
07	72	0,30434782
08	84	0,34782608
09	120	0,39130434
10	120	0,43478260
11	132	0,47826086
12	192	0,52173913
13	204	0,56521739

14	240	0,60869565
15	264	0,65217391
16	288	0,69565217
17	432	0,73913043
18	660	0,78260869
19	720	0,82608695
20	780	0,86956521
21	864	0,91304347
22	948	0,95652173

❖ Fonction de répartition réelle

Le tableau suivant comporte les valeurs de la fonction de répartition réelle $F(t)$ calculées par la formule :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-y}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{IV.2})$$

Tableau IV.4 : Valeurs de la fonction de répartition réelle

N°	TBF	F(t)
01	12	0,07869404
02	12	0,07869404
03	12	0,07869404
04	36	0,18590355
05	60	0,26494944
06	60	0,26494944
07	72	0,29869514
08	84	0,32960251
09	120	0,40936508
10	120	0,40936508
11	132	0,43253264

12	192	0,52996798
13	204	0,54649854
14	240	0,59148347
15	264	0,61814829
16	288	0,64254130
17	432	0,75355885
18	660	0,85523622
19	720	0,87313213
20	780	0,88852008
21	864	0,90660756
22	948	0.92143504

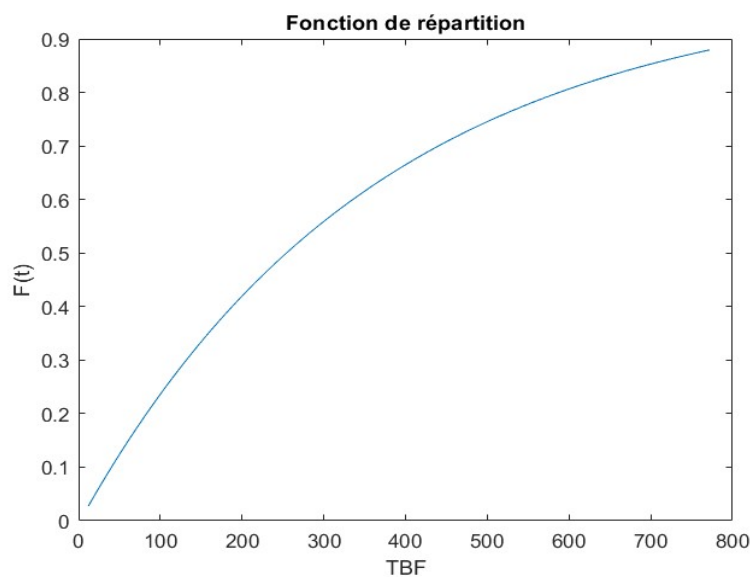


Figure IV.1 : Fonction de répartition $F(t)$

La figure VI illustre la fonction de répartition en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF). On observe que cette fonction augmente progressivement avec le temps. En d'autres termes, à mesure que le temps de bon fonctionnement s'augmente, la probabilité cumulée de défaillance du système augmente également, ce qui est caractéristique des fonctions de répartition. Cette tendance montre que plus un système fonctionne longtemps, plus il est probable qu'il rencontre une défaillance.

❖ Test (KOLMOGOROV-SMIRNOV)

Pour valider que le modèle est approprié pour le calcul des différentes fonctions (fiabilité, fonction de répartition, densité de probabilité et taux de défaillance), nous utilisons le test de Kolmogorov-Smirnov.

En effet, avant de valider les différentes lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour déterminer si le modèle proposé doit être accepté ou rejeté en utilisant le test de Kolmogorov-Smirnov avec un seuil de confiance de $\alpha = 5\%$. Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique $F(t)$ et la fonction empirique $F(i)$, puis à prendre la valeur maximale en valeur absolue, $D_{n,max}$. Cette valeur est ensuite comparée avec $D_{n,\alpha}$, qui est donnée par la table de Kolmogorov-Smirnov.

La différence entre les deux fonctions de répartition est donnée par le tableau ci-dessous :

Tableau IV.5 : Ecart entre la fonction théorique $F(i)$ et la fonction réelle $F(t)$.

N°	F (ti) théorique	F(t) réelle	Dn
01	0,04347826	0,07869404	0,03521578
02	0,08695652	0,07869404	0,00826248
03	0,13043478	0,07869404	0,05174074
04	0,17391304	0,18590355	0,01199051
05	0,21739130	0,26494944	0,04755814
06	0,26086956	0,26494944	0,00407988
07	0,30434782	0,29869514	0,00565268
08	0,34782608	0,32960251	0,01822357
09	0,39130434	0,40936508	0,01806074
10	0,43478260	0,40936508	0,02541752
11	0,47826086	0,43253264	0,04572822
12	0,52173913	0,52996798	0,00822885
13	0,56521739	0,54649854	0,01871885
14	0,60869565	0,59148347	0,01721218
15	0,65217391	0,61814829	0,03402562

16	0,69565217	0,64254130	0,05311087
17	0,73913043	0,75355885	0,01442842
18	0,78260869	0,85523622	<u>0,07262753</u>
19	0,82608695	0,87313213	0,04704518
20	0,86956521	0,88852008	0,01895487
21	0,91304347	0,90660756	0,00643591
22	0,95652173	0,92143504	0,03508669

D'après le tableau IV, $D_n \max = D_{18 \max} = 0,0726$ et d'après le tableau de KOMOGOROV – SMIRNOV (voir l'annexe A), $D_n \cdot \alpha = D_{18} \cdot 0,05 = 0,309$.

$D_{18,0.05} > D_{18 \max}$ implique que le modèle de Weibull est acceptable.

❖ **Calculs de la fiabilité $R(t)$, de la densité de probabilité $f(t)$ et du taux de défaillance $\lambda(t)$.**

Nous avons effectué les calculs de la fiabilité, de la densité de probabilité et du taux de défaillance, puis avons résumé les résultats sous forme de tableau. Ces calculs ont été réalisés à l'aide des formules suivantes :

✓ **Fiabilité $R(t)$:**

La fiabilité d'un système à un instant t est la probabilité que le système fonctionne correctement jusqu'à ce moment. Elle est calculée à partir de la fonction de survie, qui est complémentaire à la fonction de distribution cumulative ($F(t)$)

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{IV.3})$$

✓ **Taux de défaillance $\lambda(t)$:**

Le taux de défaillance, aussi appelé taux de risque, est le rapport entre la densité de probabilité de défaillance et la fiabilité restante du système à l'instant t :

$$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{IV.4})$$

✓ **Densité de probabilité $f(t)$:**

La densité de probabilité de défaillance est la fonction dérivée de la fonction de distribution cumulative. Elle donne la probabilité instantanée de défaillance par unité de temps à l'instant t :

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (IV.5)$$

Les résultats de calcul sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau IV.6 : Calcul de la fiabilité, densité de probabilité, et taux de défaillance.

TBF	R(t)	$\lambda(t)$	f(t)
12	0,92130596	0,00613103	0,00564855
12	0,92130596	0,00613103	0,00564855
12	0,92130596	0,00613103	0,00564855
36	0,81409645	0,00456321	0,00371489
60	0,73505056	0,00400923	0,00294699
60	0,73505056	0,00400923	0,00294699
72	0,70130486	0,00383047	0,00268633
84	0,67039749	0,00368622	0,00247123
120	0,59063492	0,00337456	0,00199313
120	0,59063492	0,00337456	0,00199313
132	0,56746736	0,00329615	0,00187046
192	0,47003202	0,00300599	0,00141291
204	0,45350146	0,00296162	0,0013431
240	0,40851653	0,00284597	0,00116263
264	0,38185171	0,00278033	0,00106167
288	0,35745870	0,00272176	0,00097292
432	0,24644115	0,00246507	0,00060749
660	0,14476378	0,00222302	0,00032181
720	0,12686787	0,00217638	0,00027611
780	0,11147992	0,00213436	0,00023794

864	0,09339244	0,00208185	0,00019443
948	0,07856496	0,00203534	0,00015991

À partir des valeurs présentées dans le tableau IV.6, nous avons effectué des simulations sur MATLAB, obtenant ainsi les courbes de la fiabilité, de la densité de probabilité, et du taux de défaillance (Figure IV.2, Figure IV.3, Figure IV.4).

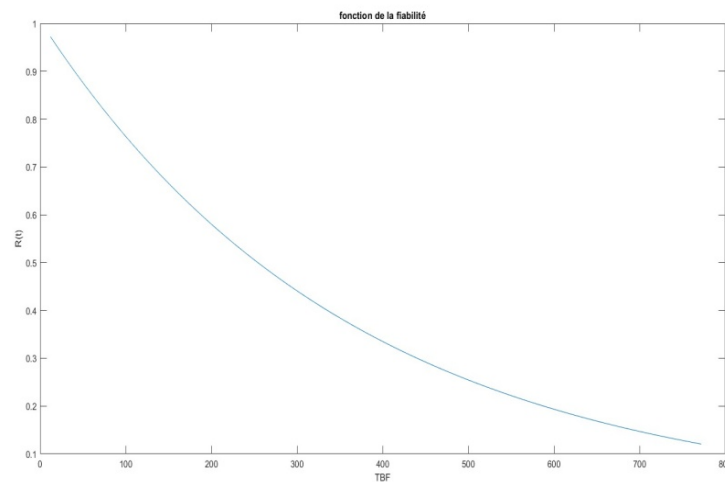


Figure IV.2 : Fonction de fiabilité

La figure IV.2 présente la fonction de fiabilité $R(t)$ en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF). Cette fonction représente la probabilité qu'un système ou un composant continue de fonctionner correctement jusqu'à un instant t donné.

En examinant la courbe, on observe que $R(t)$ diminue progressivement avec l'augmentation du temps de bon fonctionnement. Cela indique que, à mesure que le temps passe, la probabilité que le système continue de fonctionner sans défaillance diminue. Cette décroissance de la fiabilité est typique dans les systèmes où l'usure, le vieillissement, ou d'autres facteurs de dégradation augmentent la probabilité de défaillance au fil du temps. En résumé, la figure illustre clairement comment la fiabilité décroît en fonction du temps, reflétant la tendance naturelle des systèmes à devenir moins fiables à mesure qu'ils sont utilisés plus longtemps.

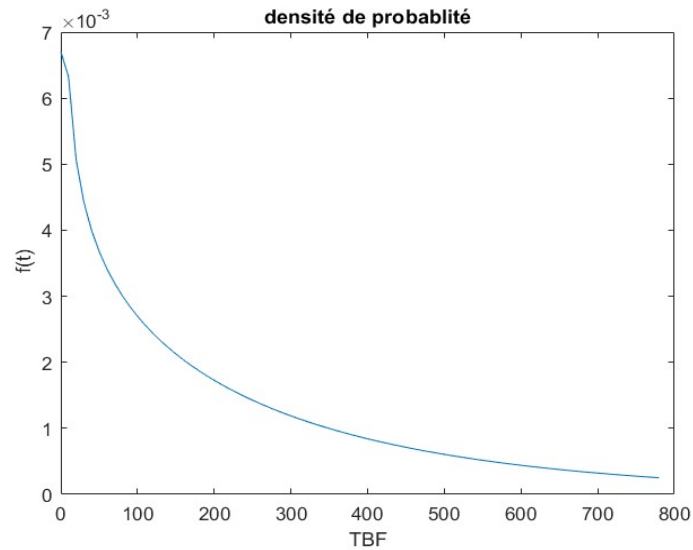


Figure IV.3 : Densité de probabilité.

La figure IV.3 illustre comment la densité de probabilité de défaillance diminue au fur et à mesure que le temps de bon fonctionnement augmente, ce qui peut refléter une amélioration de la fiabilité du système après les premières périodes de fonctionnement.

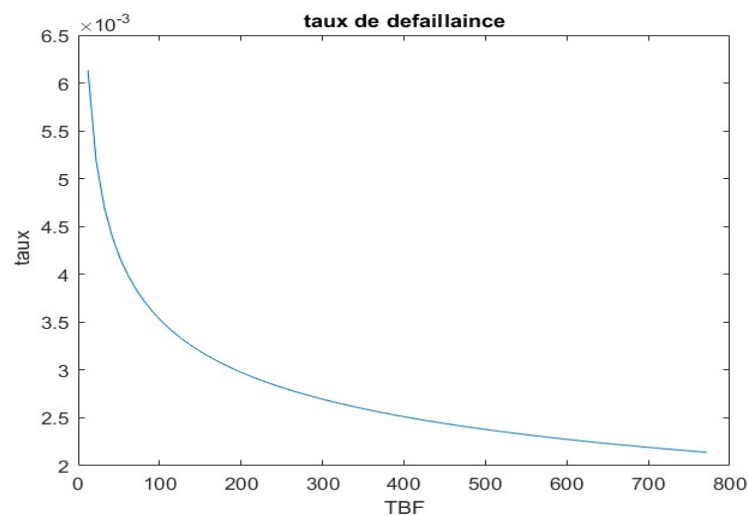


Figure IV.4 : Fonction de taux de défaillance.

La figure IV.4 représente la fonction du taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF).

En analysant la courbe présentée dans la figure IV.4, on observe que le taux de défaillance $\lambda(t)$ diminue à mesure que le TBF augmente. Cela signifie que la probabilité de défaillance par unité de temps est plus élevée au début de la période de fonctionnement, mais décroît au fur et à mesure que le système continue de fonctionner.

❖ Calcul de la fiabilité R (MTBF)

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

$$R(\text{MTBF}) = e^{-\left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{327,33-1,88}{275,61}\right)^{0,757}}$$

$$\boxed{R(\text{MTBF}) = 0,3217}$$

❖ Calcul de la fonction de répartition F (MTBF)

$$F(\text{MTBF}) = 1 - e^{-\left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^\beta} ; R(\text{MTBF}) = e^{-\left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Alors

$$F(\text{MTBF}) = 1 - R(\text{MTBF}) = 1 - 0,3217$$

$$\boxed{F(\text{MTBF}) = 0,67483}$$

❖ Calcul de $\lambda(\text{MTBF})$

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

$$\lambda(\text{MTBF}) = \left(\frac{0,757}{275,61}\right) \left(\frac{327,33-1,88}{275,61}\right)^{(0,757-1)}$$

$$\boxed{\lambda(\text{MTBF}) = 0,00263}$$

❖ La densité de défaillance f (MTBF).

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

$$f(t) = \left(\frac{0,757}{275,61}\right) \left(\frac{327,33-1,88}{275,61}\right)^{(0,757-1)} \cdot e^{-\left(\frac{327,33-1,88}{275,61}\right)^{0,757}}$$

$$\boxed{f(\text{MTBF}) = 0,000836}$$

II.3.2 La maintenabilité

La maintenabilité est une mesure de la capacité à restaurer un système défaillant à un état opérationnel dans un délai spécifique. Elle est souvent représentée par une fonction de densité de probabilité ou par une fonction de distribution cumulative, qui caractérise le temps nécessaire pour effectuer des réparations.

La fonction de maintenabilité $M(t)$ est généralement donnée par la relation :

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}; \quad \text{On a : } \mu = \frac{1}{MTTR}$$

$$\text{Avec : } MTTR = \frac{\sum TTR}{N} = 1,238 \text{ h}$$

$$\mu = 0,803 \text{ h}^{-1}$$

Nous avons résumé le calcul de la maintenabilité pour chaque temps de réparation TTR dans le tableau suivant :

Tableau IV.7 : Calcul de la maintenabilité.

N°	Temps de réparation (h)	M(t)
1	0,42	0,286
2	0,42	0,286
3	0,50	0,331
4	0,83	0,486
5	0,88	0,507
6	1,00	0,552
7	1,06	0,573
8	1,08	0,579
9	1,08	0,579
10	1,16	0,606
11	1,16	0,606
12	1,16	0,606
13	1,25	0,633
14	1,33	0,656
15	1,33	0,656
16	1,50	0,700
17	1,58	0,719
18	1,63	0,730
19	1,75	0,755

20	1,88	0,779
21	2,00	0,799
22	2,42	0,857

La présentation graphique de la maintenabilité en fonction de temps de réparation illustrée par la figure suivante :

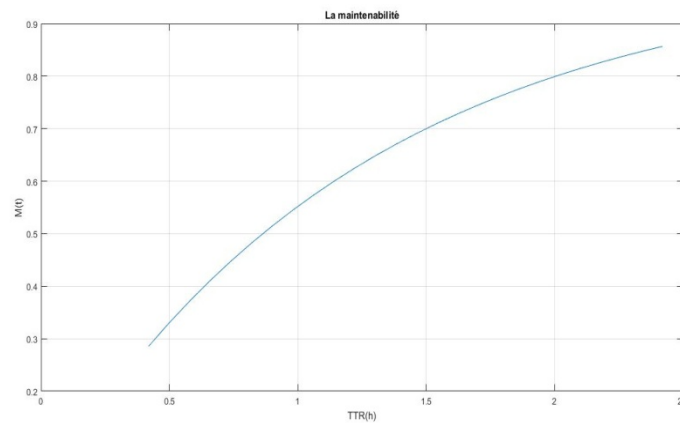


Figure IV.5 :La maintenabilité en fonction du temps de réparation.

La Figure IV.5 montre la maintenabilité en fonction des temps de réparation (TTR), on remarque d'après cette figure que la maintenabilité augmente avec l'augmentation du temps de réparation (TTR).

II.3.3 La Disponibilité.

❖ La Disponibilité intrinsèque théorique.

Noté D, la disponibilité intrinsèque théorique est calculée par l'équation :

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

$$D = \frac{327,33}{327,33 + 1,246} ; \quad D = 0,996 = 99,6\%.$$

❖ La Disponibilité instantanée.

Elle est calculée en fonction du taux de défaillance et du taux de réparation et est exprimée par l'équation suivante :

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

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}; \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{327,33}$$

$$\lambda = 0.003$$

$$\mu = 0,803 h^{-1}$$

Tableau IV.8 : les valeurs de disponibilité instantané.

N°	Temps de réparation (h)	D(t)
1	0,42	0,9989
2	0,42	0,9989
3	0,50	0,9987
4	0,83	0,9981
5	0,88	0,9981
6	1,00	0,9979
7	1,06	0,9978
8	1,08	0,9978
9	1,08	0,9978
10	1,16	0,9977
11	1,16	0,9977
12	1,16	0,9977
13	1,25	0,9976
14	1,33	0,9975
15	1,33	0,9975
16	1,50	0,9973
17	1,58	0,9973
18	1,63	0,9972
19	1,75	0,9971
20	1,88	0,9971
21	2,00	0,9970

22	2,42	0,9968
----	------	--------

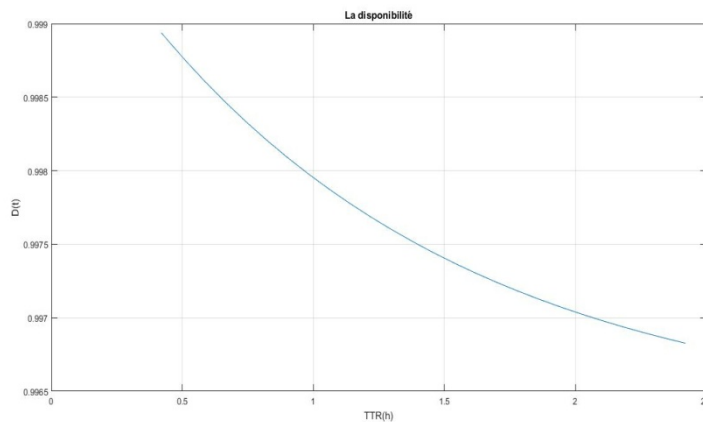


Figure IV.6 :La disponibilité instantanée en fonction du temps de réparation.

La Figure IV.6 montre l'évolution de la disponibilité en fonction des temps de réparation (TTR), on remarque d'après cette figure que la disponibilité décroît avec l'augmentation du temps de réparation (TTR).

IV.4 Pratique de la méthode d'analyse de défaillances

IV.4.1 La courbe ABC

Après avoir calculé les pourcentages du cumul de temps de panne et du cumul de nombre de panne (valeurs résumé par le tableau ci-dessous), ses valeurs nous permettront de tracer la courbe ABC qui aussi nous permettra de classer les défaillances et extraire les éléments les plus défaillants.

Tableau IV.9 : Les données de la courbe ABC.

N°	Elément en panne	Temps de réparation	Cumul (T.R)	% (T.R)	Nombre de panne	Cumul nbrs de panne	% nombre de panne
1	Bague d'écartement	7,59	7,59	27,68	6	6	27,27
2	Outil stoppeur	6,24	13,83	50,44	6	12	54,55
3	Moteur électrique	4,05	17,88	65,21	2	14	63,64
4	Vérin de maintien	3,08	20,96	76,44	2	16	72,73
5	Contacteur de ligne	2	22,96	83,73	1	17	77,27

6	Disjoncteur d'alimentation	1,88	24,84	90,59	2	19	86,36
7	Axe porte outil	1,25	26,09	95,15	1	20	90,91
8	Bague de rainurage	0,83	26,92	98,18	1	21	95,45
9	Disque de coupe	0,5	27,42	100	1	22	100

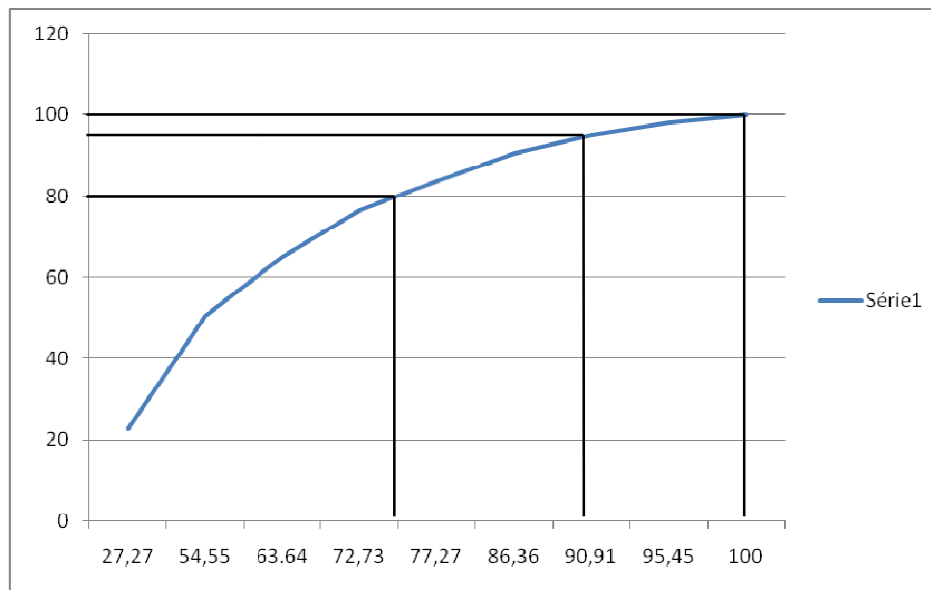






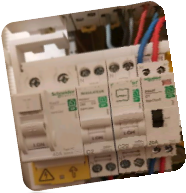
Figure IV.7 :La courbe ABC.


IV.4.2 Interprétation des résultats de la courbe

- ❖ **Zone "A"**: on voit que d'après cette zone qu'environ de 72,73 % des pannes représente 76,44 % des heures d'arrêts, cette zone contient les éléments les plus défectueux (Bague d'écartement ; Outil stoppeur ; Moteur électrique ; Vérin de maintien).
- ❖ **Zone "B"**: Dans cette zone, les 18,71% des pannes représentent 18,18% des heures d'arrêts. Cette zone contient des éléments moins de temps d'arrêt par comparaison avec les éléments de la zone A (Contacteur de ligne ; Disjoncteur d'alimentation ; Axe porte outil).
- ❖ **Zone "C"**: Dans cette zone les 9,09 % des pannes restantes ne représentent que de 4,85% des heures d'arrêts.

D'après la Figure IV.6 et l'interprétation des résultats de la courbe, on constate que les éléments les plus tombants en panne concerne la zone A et B résumé dans le tableau suivant :

Tableau IV.10 :Explication des éléments les plus tombants en panne

Elément	Rôle de l'élément	Image
Bague d'écartement	La bague d'écartement est une pièce qui, comme son nom l'indique, crée un espace ou un écartement entre deux composants de la machine.	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 1 2 </div> 
Outil stoppeur	L'outil stoppeur de la machine SGM CW2600 est un disque qui fait freiner le Vérin de la machine une fois la machine éteinte.	
Moteur électrique	Il converti l'énergie électrique en énergie mécanique et donc en mouvement pour faire tourner la machine.	
Vérin de maintien	Pour stabiliser et sécuriser les composants mobiles de la machine, le vérin permet d'éviter tout mouvement ou vibration qui pourrait compromettre la performance de la machine.	
Contacteur de ligne	C'est un dispositif électromécanique qui a pour rôle principal d'établir et d'interrompre le courant circulant dans un circuit de puissance. Souvent utilisé pour commander des moteurs électriques.	

Disjoncteur d'alimentation	Le disjoncteur a pour fonction de protéger les différents circuits de l'installation électrique	

IV.5 Mise en place d'un plan de maintenance préventive systématique sur la machine SGM

Après avoir interprété la courbe ABC, nous avons identifié les éléments les plus critiques de notre système. Ces éléments, classés dans les zones A et B, sont ceux qui tombent le plus fréquemment en panne et nécessitent donc une attention particulière. La courbe ABC nous a permis de prioriser les interventions de maintenance en fonction de la criticité et de la fréquence des pannes.

Pour optimiser la fiabilité et la disponibilité des équipements, nous avons établi un plan de maintenance préventive systématique avec des interventions à différentes fréquences : hebdomadaire (H), mensuelle (M), trimestrielle (T), semestrielle (S), et annuelle (A). Ce plan est spécialement conçu pour les éléments des zones A et B.

1- Maintenance Hebdomadaire (H)

- Inspection visuelle : Vérification des signes de détérioration, de corrosion, ou de fuite.
- Nettoyage : Enlèvement de la poussière et des débris des surfaces et composants exposés.
- Lubrification : Application de lubrifiants sur les pièces mobiles pour minimiser l'usure.

2- Maintenance Mensuelle (M)

- Tests de fonctionnement : Exécution de tests opérationnels pour assurer que tous les composants fonctionnent correctement.
- Inspection des connexions électriques : Vérification des câblages et des connexions pour éviter les courts-circuits et les pannes électriques.
- Contrôle des niveaux de fluides : Inspection et réapprovisionnement des niveaux de liquides (huile, refroidissement, etc.).

3- Maintenance Trimestrielle (T)

- Analyse des vibrations : Utilisation de capteurs pour détecter les déséquilibres et les anomalies dans les composants rotatifs.

- Contrôle des roulements : Inspection et remplacement des roulements usés.
- Calibration des capteurs: Vérification et ajustement des capteurs pour garantir la précision des mesures.

4- Maintenance Semestrielle (S)

- Inspection détaillée des composants critiques : Démontage partiel des équipements pour une inspection approfondie.
- Contrôle des systèmes de sécurité : Vérification et test des dispositifs de sécurité et des systèmes de protection.
- Test des systèmes de secours : Simulation et test des systèmes de secours pour assurer leur bon fonctionnement en cas de panne.

5- Maintenance Annuelle (A)

- Révision complète : Démontage complet et inspection de tous les composants principaux.
- Mise à jour des logiciels : Mise à jour des logiciels de contrôle et des firmwares des équipements électroniques.
- Formation du personnel: Sessions de formation et de mise à jour des compétences pour le personnel de maintenance.

Le tableau suivant montre notre plan de maintenance préventive systématique proposé :

Tableau IV.11 : la proposition d'un plan de maintenance préventive systématique

SLEEVE GROUING MACHUNE (SGM CFW2600)								
N°	Eléments	Périodicité						Opération / Observation
		J	H	M	T	S	A	
1	Bague d'écartement				X			Nettoyage de la bague d'écartement, / Changer en cas de défaillance.
2	Outil stoppeur			X				Contrôle de l'outil et inspection du disque stoppeur / changer en cas de défaillance ;
3	Moteur électrique				X			Inspection de l'isolation du bobinage et de la ventilation du moteur / Démontage des roulements et montage des nouveaux roulements.
4	Vérin de maintien						X	Démontage et inspection du vérin / lubrifier le vérin ;
5	Contacteur de ligne				X			Nettoyage de la poussière et l'huile / resserrage de tous les vis des câbles de connexion.

6	Disjoncteur d'alimentation				X			Inspection visuelle et nettoyage du disjoncteur d'alimentation / serrer les vis des câbles et changer en cas de défaillance.
---	----------------------------	--	--	--	---	--	--	--

Ce plan de maintenance préventive systématique vise à réduire les pannes imprévues et à augmenter la durée de vie des équipements en assurant une surveillance continue et des interventions régulières. En se concentrant sur les éléments critiques identifiés par la courbe ABC, nous pouvons optimiser les ressources de maintenance et améliorer la fiabilité globale du système.

IV.6 Proposition d'un plan de maintenance préventive conditionnelle sur la machine SGM CW2600.

Le plan de maintenance préventive conditionnelle a pour objectif d'optimiser la disponibilité et la fiabilité de la machine SGM CW2600 tout en minimisant les interruptions de production et les coûts de maintenance. Cette approche repose sur la surveillance continue de l'état de la machine et l'exécution des opérations de maintenance en fonction des données réelles collectées.

En maintenance préventive conditionnelle, le défaut est détecté avant d'engendrer un arrêt de la machine. Le principe est de surveiller la machine régulièrement et de noter son évolution. Par rapport à la maintenance corrective, elle permet d'éviter les pannes, donc les coûts d'indisponibilité qui peuvent représenter jusqu'à 2/3 des coups de production. [22]

IV.6.1. Surveillance et Diagnostic

Pour mettre en œuvre une maintenance conditionnelle efficace, il est crucial d'installer des systèmes de surveillance et de diagnostic capables de détecter les signes précurseurs de défaillance. Les éléments suivants seront surveillés :

- Vibrations : Utilisation de capteurs de vibrations pour détecter les déséquilibres, les roulements usés, et autres anomalies mécaniques.
- Température : Surveillance des températures des composants critiques comme les moteurs, les roulements et les systèmes de refroidissement.
- Bruit : Capteurs acoustiques pour identifier des changements anormaux dans les niveaux de bruit, indicateurs de défaillances potentielles.
- Lubrification : Surveillance de la qualité et du niveau des lubrifiants pour éviter les frottements excessifs et l'usure prématurée.

- Courant électrique : Analyse des courants électriques pour détecter des anomalies dans les moteurs et les circuits électriques.

IV.6.2. Fréquence des Inspections et des Entretien

La fréquence des inspections et des opérations de maintenance sera déterminée en fonction des données collectées par les systèmes de surveillance. Un programme type pourrait inclure :

Inspections hebdomadaires : Vérification des niveaux de lubrification, nettoyage des filtres, et inspection visuelle des composants externes.

Inspections mensuelles : Analyse des vibrations, vérification des connexions électriques, et inspection thermique des composants critiques.

Inspections trimestrielles : Test complet des systèmes de diagnostic, calibration des capteurs, et analyse approfondie des données collectées pour identifier les tendances de dégradation.

Interventions conditionnelles : Basées sur les seuils de tolérance prédéfinis pour chaque paramètre surveillé (par exemple, une vibration excessive déclencherait une intervention immédiate).

IV.6.3. Processus de maintenance

Le processus de maintenance comprendra plusieurs étapes clés :

- Collecte des données : Les capteurs collectent en continu des données sur les paramètres critiques.
- Analyse des données : Utilisation de logiciels de diagnostic pour analyser les données en temps réel et identifier les écarts par rapport aux valeurs normales.
- Planification des interventions : En fonction des analyses, les interventions de maintenance seront planifiées et exécutées avant que les défaillances ne se produisent.
- Rapports et suivi : Chaque intervention sera documentée et analysée pour améliorer le programme de maintenance et affiner les seuils de déclenchement des interventions futures.

IV.6.4. Équipe de Maintenance

Une équipe dédiée à la maintenance conditionnelle sera formée pour assurer la mise en œuvre et le suivi du plan. Cette équipe comprendra :

- Techniciens de maintenance : Formés aux techniques de diagnostic et de réparation spécifiques à la machine SGM CW2600.
- Ingénieurs de fiabilité : Responsables de l'analyse des données, de l'identification des tendances et de la planification des interventions.
- Superviseurs de maintenance : Chargés de la coordination des interventions et de la communication avec les autres départements.

IV.6.5. Avantages Attendus

- Réduction des temps d'arrêt : En intervenant avant que les défaillances ne se produisent, les temps d'arrêt imprévus seront minimisés.
- Optimisation des coûts : En ciblant uniquement les composants nécessitant une intervention, les coûts de maintenance seront réduits.
- Amélioration de la fiabilité : Une surveillance continue permet de détecter et de corriger les problèmes avant qu'ils n'affectent la production.
- Prolongation de la durée de vie des équipements : En maintenant les composants dans des conditions optimales, leur durée de vie sera prolongée.

Pour les éléments les plus tombants en panne, nous proposons quelques techniques et méthodes de diagnostics adapter à chaque élément. Le tableau suivant indique les techniques de surveillance adaptée pour les principaux composants (Tableau IV.12).

Tableau IV.12 : Les techniques de surveillance adaptée aux éléments les plus défectueux

Éléments	Surveillance vibratoire	Analyse acoustique	Analyse des huiles	Thermographie infrarouge	Mesure électrique
Bague d'écartement	X	X	X	X	
Outil stoppeur	X	X	X	X	
Moteur électrique	X	X	X	X	X
Vérin de maintien	X		X	X	
Contacteur de ligne		X		X	X
Disjoncteur d'alimentation		X		X	X

L'adaptation des techniques de surveillance aux composants les plus défectueux permet d'optimiser les efforts de maintenance et d'accroître la fiabilité et la disponibilité des équipements. En combinant différentes techniques de détection, il est possible de couvrir une large gamme de défauts, qu'ils soient en surface ou internes, visibles ou cachés.

D'après le tableau ci-dessus résumant les techniques de surveillance adaptée aux composants les plus défectueux, on constate une importante adaptation des éléments à ces différentes techniques de détection telle que :

✚ L'analyse vibratoire.

La plus connue et la plus largement utilisée car adaptée aux composants mécaniques et aux machines industrielles en fonctionnement. Elle permet de détecter la majorité des défauts susceptibles d'apparaître dans la machine tournante. Cette méthode peut nous aider à améliorer la fiabilité et la sûreté des composants comme :

1. Moteur électrique de la machine.
2. Le vérin de maintien de la machine.
3. La bague d'écartement
4. Et aussi l'outil stoppeur.

❖ Avantage et inconvénient de l'analyse vibratoire.

Les principaux avantages sont :

- Les mesures sont faciles à prendre
- Détection d'un défaut au stade précoce
- Possibilité de réaliser un diagnostic approfondi pour en connaître l'origine.
- Autorise une surveillance continue.
- Permettre de surveiller l'équipement à distance. [22]
- Et cette technique a comme première méthode de mesure : l'homme (la touché, la vue et l'ouïe).

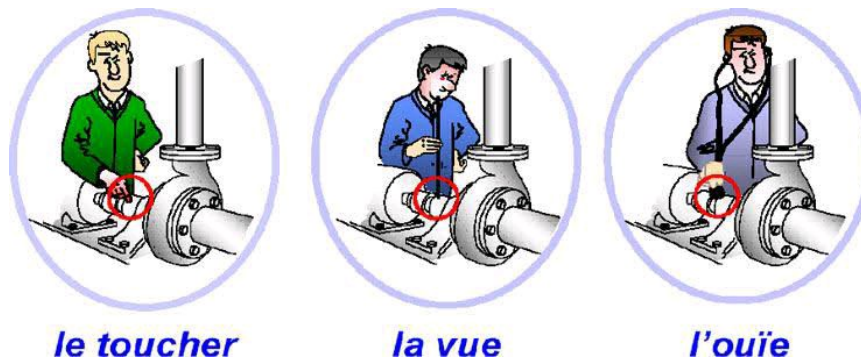


Figure IV.8 : Méthode de mesure de vibration à l'aide de l'homme

Les inconvénients sont :

- Spectre parfois difficile à interpréter
- Dans le cas de la surveillance continue, installation relativement coûteuses.

✚ Analyse acoustique

L'analyse acoustique utilisée en maintenance préventive consiste à écouter avec un appareil appelé contrôleur ou détecteur ultrasonore, les ultrasons émis par la machine en

fonctionnement. L'appareil de contrôle détecte les ondes ultrasonores de fréquence supérieure à 20KHz, et ils les convertissent en son audible (de 50Hz à quelque KHz). Cette méthode peut aussi nous aider à surveiller et à améliorer la fiabilité des composants comme :

1. Moteur électrique de la machine.
2. L'outil stoppeur.
3. La bague d'écartement
4. Contacteur de ligne
5. Disjoncteur d'alimentation.

Thermographie infrarouge

La thermographie infrarouge est une technologie de la maintenance prédictive pour localiser les problèmes rapidement et en toute sécurité. La caméra infrarouge capte au travers d'un milieu transmetteur, les rayonnements émis par une scène thermique. Le système radiométrique convertit la puissance de rayonnement en signaux numérique ou analogique.

Avec son vaste domaine d'application, cette technique peut permettre de détecter la probabilité des pannes sur des composants comme :

1. Moteur électrique de la machine.
2. Le vérin de maintien de la machine.
3. La bague d'écartement
4. L'outil stoppeur
5. Contacteur d'alimentation
6. Disjoncteur de ligne.

❖ Exemples de la thermographie infrarouge [22].

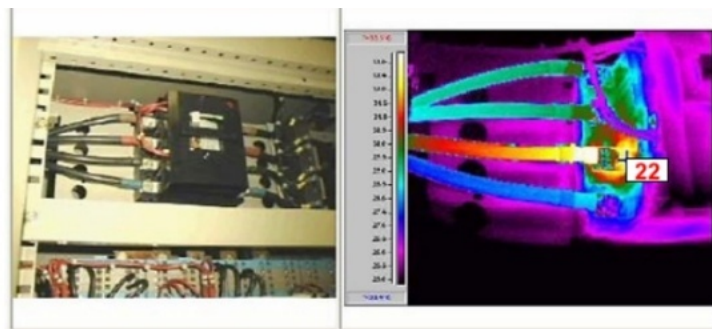


Figure IV.9 : exemple de détection d'un défaut sur une installation électrique



Figure IV.10 : exemple de défaut de roulement d'un moteur électrique

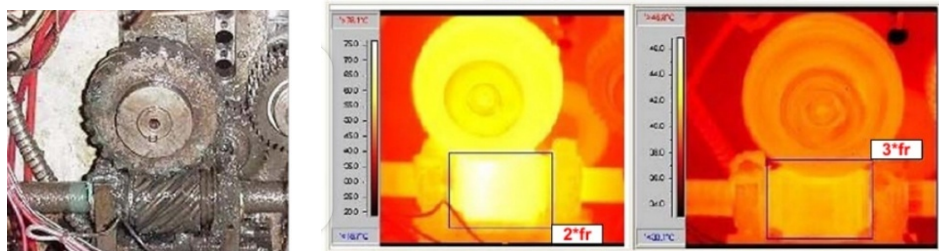


Figure IV.11 : exemple de défaut d'engrenage, avant et après la corrosion

La mise en place d'un plan de maintenance préventive conditionnelle pour la machine SGM CW2600 permettra d'optimiser ses performances, de réduire les interruptions de production et d'augmenter la rentabilité de l'entreprise. Une surveillance continue et une intervention ciblée sont les clés de la réussite de ce programme de maintenance.

IV.7 Conclusion

Le stage que j'ai effectué au sein de l'entreprise Maghreb-Pipe m'a permis de choisir la machine SGM CW2600 en raison de son importance pour cette entreprise. Durant ce stage, j'ai également extrait l'historique des pannes de cette machine. En appliquant les lois de la sûreté de fonctionnement, notamment la loi de Weibull, nous avons pu calculer la fiabilité, le taux de défaillance et la densité de probabilité de chaque élément. Nous avons également déterminé la fiabilité de la moyenne des temps de bon fonctionnement $R(MTBF)$ pour évaluer l'état de santé global de notre machine.

De plus, nous avons utilisé la méthode d'analyse de défaillance, en particulier la courbe ABC, pour identifier les éléments les plus susceptibles de tomber en panne. Grâce à cette approche méthodique, nous avons pu non seulement identifier les éléments les plus défaillants mais aussi proposer des mesures concrètes pour réduire les pannes. Ces actions visent à optimiser la maintenance, limiter les interruptions de production et garantir une disponibilité maximale de la machine.

Conclusion Générale

Pour être et rester compétitive, une entreprise doit produire toujours mieux (qualité) avec le coût le plus bas. Pour minimiser ce coût, elle doit produire sans interruption, c'est-à-dire sans défaut afin d'atteindre la production maximale par unité de temps. Et pour apporter une réponse à ce problème, il est nécessaire de disposer d'outils et méthode permettant d'analyser les installations et d'évaluer quantitativement leurs performances en termes de sûreté de fonctionnement.

Le stage que j'ai effectué au sein de l'entreprise Maghreb-Pipe m'a permis de choisir la machine SGM CW2600 en raison de son importance pour les opérations de l'entreprise. Cette machine joue un rôle clé dans les processus de production, ce qui en fait un sujet de choix pour une étude approfondie de la maintenance et de la fiabilité.

Durant ce stage, j'ai entrepris l'extraction de l'historique des pannes de la machine SGM CW2600. Cette étape initiale a été fondamentale pour comprendre les schémas de défaillance et les causes sous-jacentes des interruptions. En analysant ces données historiques, nous avons pu obtenir une vue d'ensemble des problèmes récurrents et des composants les plus vulnérables.

En appliquant les lois de calcul de fiabilité, en particulier la loi de Weibull, nous avons pu calculer des indicateurs clés tels que la fiabilité, le taux de défaillance et la densité de probabilité de chaque élément de la machine. La loi de Weibull, avec ses paramètres spécifiques, nous a aidés à modéliser la durée de vie des composants et à prévoir leur comportement en fonction du temps.

Nous avons également déterminé la fiabilité de la moyenne des temps de bon fonctionnement ($R(MTBF)$) pour évaluer l'état de santé global de la machine. Le $R(MTBF)$ est une mesure essentielle qui nous a permis d'estimer la durée moyenne entre deux pannes successives, offrant ainsi une indication précieuse sur la performance et la robustesse de la machine.

Cette analyse détaillée nous a permis de comprendre non seulement la fréquence des pannes, mais aussi leur distribution et leurs impacts potentiels sur la production. Ces informations sont importantes pour développer des stratégies de maintenance préventive et prédictive, visant à améliorer la disponibilité et la fiabilité de la machine SGM CW2600. C'est-à-dire diminuer le coût de la maintenance et augmenter le temps de production et profit économique de l'entreprise Maghreb Pipe.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Zakarya DIF ADJISSI Mehdi, Amélioration de la production d'un système par l'application de la maintenance préventive, Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, UNIVERCITE MOHAMED BOUDIAFM'SILA ,2018.
- [2] BOUDIAF Adel, Contribution au diagnostic des défauts dans les machines tournante par Analyse Multi résolution, Thèse de doctorat en science, Univ de Guelma, 2016.
- [3] Norme AFNOR (NF X 60-010)
- [4] Émilie HEINTZ, La maintenance : un levier du développement durable, Journal Techniques de l'Ingénieur, Management et ingénierie de l'innovation, 2018.
- [5] François MONCHY, Jean-Pierre VERNIER, maintenance Méthodes et organisations, 3ème édition,
- [6] François MONCHY et Jean-Pierre VERNIER, maintenance (Méthode et organisation). Journal Technique de l'ingénierie, 2010.
- [7]. AFNOR, Maintenance industrielle, Fonction maintenance, FD X60-000, 2002.
- [8]. Anthony KELLY, Maintenance and the industrial organisation, Journal, 2006.
- [9]. Aghezzaf E.H, Jamali, M.A. Ait-Kadi D, An integrated production and preventive maintenance planning model, European Journal of Operational Research, 2007.
- [10] Zouakia ROCHDI, Bouam IDRIS, Tkiouat MOHAMED, journal Industrial systems maintenance & System Safety, 1999.
- [11] Fleurquin G, Riane F, Roland B, Dehombreux P, Hou G, Optimain, Stratégie de maintenance des systèmes complexes, Journal, 2006.
- [12] Moubray J, Reliability CENTERED, la Maintenance, Journal RCM, 2000.
- [13] Bensaada S ; Feliachi D, La maintenance industrielle, journal del'Office des publications universitaire, 2.05.4463, 2002.
- [14] Ewald, F, Les risques industriels et technologiques, Documentation française, n°882, Novembre 2002,
- [15] Enrique CASTILLO, Roberto MÍNGUEZ, Carmen CASTILLO, Sensitivity analysis in optimisation and reliability problems. Reliability Engineering & System Safety 2008.

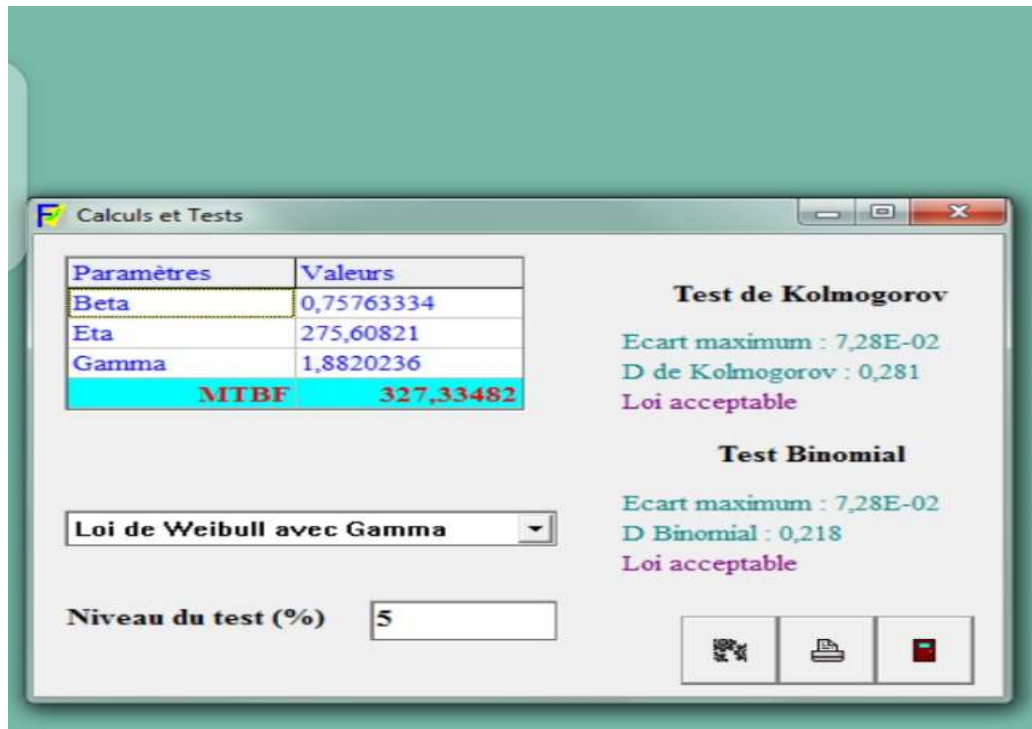
- [16] Rech JIL, Failure mode and effect, journal National Safety Council, 1966.
- [17] Djamel HALIMI, Contribution à l'amélioration de la maintenance préventive des machines dynamiques dans l'industrie des hydrocarbures. Thèse de Doctorat : Fiabilité et Maintenance industrielle.UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES,2014.
- [18] Pr GHEMARI Zine. Stratégie de maintenance, Cours : maintenance industrielle M1UNIVERCITE MOHAMED BOUDIAF M'SILA, 2023
- [19] SEVERIN,L'ANALYSE FONCTIONNELLE, Cours :Biotechnologie B. Lycée des métiers de l'hôtellerie et du tourisme de Toulouse. 2018
- [20] Kélada J ; L'AMDEC, Cours : Ecole des Hauts Etudes Commercial, HEC. 1994.
- [21]. Abdallah KABOUCHE, Techniques de Maintenance Prédictive pour l'Amélioration de la disponibilité des Installations, doctorat d'Etat, 2013.
- [22] Dr Bilal BOUDJELLAL, Technique de détection de défaillance, Support de cours : Maintenance M2, 2019.

Annexes

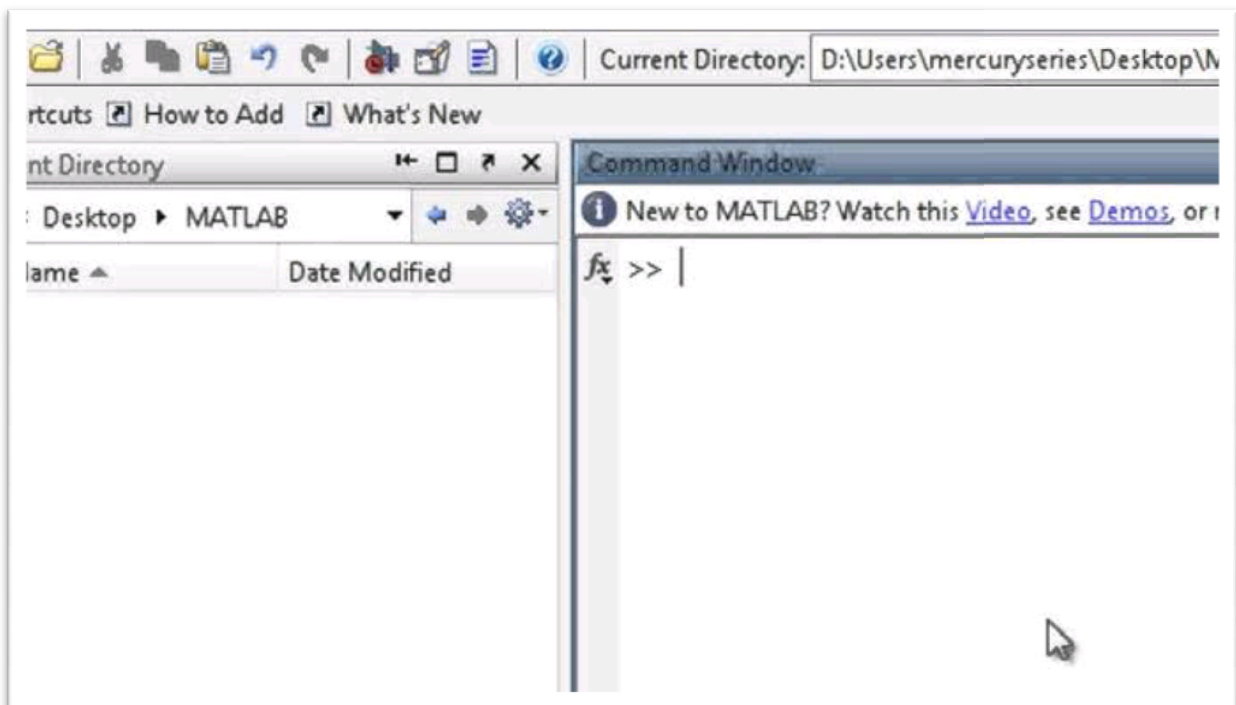
Annexe A : Tableau de kolmogorov-Sminov

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

Annexe C : Logiciel FiabmOpti



Annexe C : MATLAB



Résumé :

Le profit économique d'une entreprise par l'application de la maintenance industrielle est une approche axée sur la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité des machines. Notre mémoire explore l'importance de l'application efficace de maintenance industrielle pour accroître ce profit qui est l'essence de toutes les entreprises.

Dans ce travail, nous avons commencé par un état de l'art sur la maintenance des équipements industrielle permettant de bien comprendre la généralité et surtout l'objectif de la maintenance dans les industries. En suite une étude approfondie de la sûreté de fonctionnement de la machine SGM CW2600 sélectionnée lors de notre stage à Maghreb Pipe, est effectuée, mettant en évidence l'impact des pannes sur la disponibilité (la productivité) et les coûts de réparation associés.

En fin, Nous avons examinées et présentées plusieurs stratégies, notamment la maintenance préventive et corrective, en mettant en évidence les avantages et les limitations de chacune. Et comme perspective, ce mémoire est un levier à encourager les entreprises à investir dans des pratiques de maintenance avancées pour assurer leur compétitivité et leur rentabilité à long terme.

ملخص

الربح الاقتصادي للشركة من خلال تطبيق الصيانة الصناعية هو نهج يركز على الموثوقية، الصيانة، وتوافر الآلات. يستكشف بحثنا أهمية تطبيق الصيانة الصناعية بشكل فعال لزيادة هذا الربح الذي يعد جوهر جميع الشركات في هذا العمل، بدأنا بمراجعة عامة عن صيانة المعدات الصناعية لتمكين فهم عام وخاصة هدف الصيانة في الصناعات. التي تم اختيارها خلال تدريبنا في شركة مغرب بايب، مما SGM CW2600 بعد ذلك، قمنا بدراسة متعمقة لأمان عمل آلة. أبرز تأثير الأعطال على التوافر (الإنتاجية) وتكاليف الإصلاح المرتبطة بها وفي النهاية، قمنا بفحص وتقديم عدة استراتيجيات، بما في ذلك الصيانة الوقائية والتصحيحية، مع تسليط الضوء على مزايا وقيود كل منها. وكأفاق مستقبلية، يعد هذا البحث دافعاً لتشجيع الشركات على الاستثمار في ممارسات الصيانة المتقدمة لضمان تنافسيتها وربحيتها على المدى الطويل.

Abstract :

A company's economic profit through industrial maintenance is an approach focused on the reliability, maintainability, and availability of machines. Our thesis explores the importance of effectively applying industrial maintenance to increase this profit, which is the essence of all businesses.

In this work, we began with a state-of-the-art review of industrial equipment maintenance to provide a thorough understanding of the general aspects and, more importantly, the objectives of maintenance in industries. Next, an in-depth study of the operational safety of the SGM CW2600 machine, selected during our internship at Maghreb Pipe, was conducted, highlighting the impact of breakdowns on availability (productivity) and the associated repair costs.

Finally, we examined and presented several strategies, including preventive and corrective maintenance, highlighting the advantages and limitations of each. As a forward-looking perspective, this thesis serves as a lever to encourage companies to invest in advanced maintenance practices to ensure their competitiveness and profitability in the long term.