

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A. Mira de Bejaïa

Faculté de Technologie
Département de Génie électrique



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Electromécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

THEME

**Etude et calcul de la fiabilité d'un convoyeur et
d'une machine à cylindre**

Préparé par :

Mr. MOUHOUBI Zakari

Mr. YAHIAOUI Faycal

Membres du jury :

Promotrice : Mme. ABDELLI Radia

Président : Mr. LAGGOUNE Radouane

Examineur : Mr. KABYL Kamal

PROMOTION 2022/2023

Remerciement

Avant tout nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé pour mener à terme la réalisation de notre mémoire de fin d'étude.

En premier lieu nous voudrions remercier notre directrice de mémoire Madame Radia ABDELLI professeur à l'université de Béjaïa, pour sa patience, son accueil, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, et de nous avoir assuré l'encadrement pour l'élaboration de ce mémoire.

Nous tenons à remercier aussi les ingénieurs et les techniciens de l'entreprise AGRODIV pour avoir proposé et dirigé ce travail, pour leurs remarques et leurs conseils pour nous aider durant toute la période de stage.

Nous désirons aussi remercier les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Enfin une mention spéciale à nos familles qui sont une source permanente de motivation et de bonheur.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui
me sont chers :*

Mes chers parents que Dieu les protège

Mes chers frères Halim et Sofiane

Mes chères sœurs

Mes chères nièces Malak et Céline

Mon cher binôme Faycel Yahiaoui

Mes chers amis : N. Adem, M. Dady, B. Didine et G. Zahir

Mes chères amies : B. Sarah, H. Thafrara et D. Dyhia

ZAKI

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui
me sont chers :*

Mes chers parents que Dieu les protège

Mes chers frères Bilal et Toufek

Mes chères sœurs

Mes chères nièces

Mon cher binôme Zakari Mouhoubi

Mes chers amis Y. Karim, H. Hamza et M. Dady

Mes chères amies I. Akila, D. Dyhia et H. Thafrara

FAYCAL



SOMMAIRE

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Liste des symboles

Introduction générale 1

Présentation de l'entreprise

1. Présentation de l'entreprise 3

1.1. Présentation de la société ERIAD-Sétif-Les Moulins de la Soummam 3

1.2 Description de l'unité de Kherrata 3

1.3 Structure de l'unité de production 3

1.4. Les procédés suivis et les machines utilisés dans l'entreprise 4

1.5. Organigramme récapitulatif des services et différents composants de l'entreprise 6

Chapitre I: Généralité sur la maintenance

I.1. Introduction 7

I.2. L'évolution de la maintenance 7

I.3. Généralités sur la maintenance 8

I.3.1. Définition 8

I.3.2. Objectifs de la maintenance 8

I.3.3. Les différents types de la maintenance 9

I.3.3.1. Maintenance corrective 9

I.3.3.2. Maintenance préventive 9

I.3.4. Principales opérations de la maintenance 12

I.3.4.1. Opérations de maintenance corrective 12

I.3.4.2. Opérations de la maintenance préventive 13

I.4. Généralités sur la fiabilité	13
I.4.1. Définition	13
I.4.2. Application sur la fiabilité	13
I.4.3. Différentes lois de la fiabilité.....	14
I.4.3.1. Loi Binomiale	14
I.4.3.2. Loi de Poisson.....	15
I.4.3.3. Loi normale	15
I.4.3.4. Loi exponentielle	15
I.4.3.5. Loi de Weibull	17
I.4.3.6. Loi de Gamma.....	17
I.4.4. Paramètres de la fiabilité.....	18
I.4.4.1. Moyenne des temps de bon fonctionnement MTBF	18
I.4.4.2. Taux de défaillance	18
I.4.5. Configuration série.....	20
I.4.6. Configuration parallèle	21
I.5. Méthodes d'optimisation de la maintenance.....	21
I.5.1. Diagramme de Pareto.....	22
I.5.2 Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)	23
I.6. Conclusion	24

Chapitre II: Les convoyeurs et les machines à cylindres

II.1. Introduction	25
II.2. Les convoyeurs	25
II.2.1. Définition.....	25
II.2.2. Types des convoyeurs.....	26
II.2.2.1. Convoyeur à chaîne	26
II.2.2.2. Convoyeurs à bande.....	26
II.2.2.3. Convoyeur à bande métallique	27

II.2.2.4. Convoyeurs à bandes textiles	28
II.2.2.5. Convoyeur à raclette	28
II.2.2.6. Convoyeur à bande magnétique	29
II.2.3. Les composants des convoyeurs à bande	30
II.2.4. Mode de fonctionnement de convoyeur a bande	31
II.2.5. diagnostic des pannes des convoyeurs à bande	31
II.2.6. Stratégies de la maintenance des convoyeurs à bande.....	31
II.2.6.1. Opération de la maintenance préventive.....	31
II.2.6.2. Opérations de la maintenance corrective.....	32
II.3. Les machines à cylindres	32
II.3.1. Définition.....	32
II.3.2. Les composants des machines à cylindres.....	34
II.3.3. Principe de fonctionnement de machine à cylindres	35
II.3.4. Diagnostic des machines à cylindres	36
II.3.4.1. Les pannes des machines à cylindres	36
II.3.4.2. Les effets des pannes	36
II.3.4.3. Diagnostic des pannes des machines à cylindres.....	37
II.4. Conclusion	38

Chapitre III: Etude et calcul de la fiabilité de convoyeur et de la machine à cylindre

III.1. Introduction	39
III.2. Etude et calcul de la fiabilité de convoyeur à bande	39
III.2.1. Historique des pannes.....	39
III.2.2. Calcul de temps de bon fonctionnement	40
III.2.3. Classement et calcule de temps de répartition de la fiabilité de système.....	40
III.2.4. Application de la loi de Weibull	41
III.2.5. Calcul les différentes fonctions $R(t_i)$, $F(t_i)$, $\lambda(t_i)$ et $f(t_i)$	42

III.2.6. Test d'adéquation (test Kolmogorov-Smirnov)	43
III.2.7. Calcul de la fiabilité de convoyeur	44
III.2.8. La fonction de fiabilité théorique	44
III.2.9. La fonction de répartition théorique	45
III.2.10. Densité de probabilité théorique	46
III.2.11. Fonction de taux de défaillance.....	46
III.2.12. Analyse des résultats de fiabilité.....	47
III.2.13. Diagramme de PARETO et classification ABC	48
III.2.14. Analyse AMDEC	49
III.3. Etude et calcule de la fiabilité de la machine à cylindres.....	51
III.3.1. Historique des pannes.....	51
III.3.2. Calcul de temps de bon fonctionnement	52
III.3.3. Classement et calcule de temps de répartition de la fiabilité de système.....	52
III.3.4. Application de la loi de weibull	53
III.2.5. Calcul les différentes fonctions $R(t_i)$, $F(t_i)$, $\lambda(t_i)$ et $f(t_i)$	54
III.3.6. Test d'adéquation (test Kolmogorov-Smirnov)	54
III.3.7. Calcul de la fiabilité de machine à cylindre	55
III.3.8. La fonction de fiabilité théorique	55
III.3.9. La fonction de la répartition théorique	56
III.3.10. La fonction de densité de probabilité théorique	57
III.3.11. La fonction de taux de défaillance	57
III.3.12. Analyse des résultats de fiabilité.....	58
III.3.13. Diagramme de PARETO et classification ABC	58
III.3.14. Analyse AMDEC	60
III.4. Conclusion.....	61

Chapitre VI: Optimisation des politiques de maintenance

VI.1. Introduction.....	62
VI.2. Optimisation des politiques de maintenance.....	62
VI.2.1. Politique de maintenance selon l'âge.....	63
VI.2.2. Politique de maintenance en bloc.....	63
VI.3. Application et comparaison entre les politiques de maintenance	64
VI.3.1. Estimation des coûts.....	64
VI.3.1.1. Estimation des coûts de main d'œuvre par heure	64
VI.3.1.2. Estimation des coûts de perte de production.....	65
VI.3.1.3. Élément de sortie.....	65
VI.3.1.4. Coût d'une réparation minimale.....	66
VI.3.2. Cas d'étude de convoyeur	67
VI.3.2.1. Comparaison des coûts des deux politiques.....	67
VI.3.2.2. Politique de maintenance en bloc pour le convoyeur.....	67
VI.3.2.3. Politique de maintenance selon l'âge pour le convoyeur.....	68
VI.3.2.4. Interprétation des résultats	70
VI.3.3. Cas d'étude de machine à cylindre	70
III.3.3.1. Comparaison des coûts des deux politiques	70
VI.3.3.2. Politique de maintenance en bloc pour la machine à cylindre	71
VI.3.3.3. Politique de maintenance selon l'âge pour la machine à cylindre	72
VI.3.2.4. Interprétation des résultats	73
VI.4. Conclusion	73
Conclusion générale.....	74

Annexes

Annexe 1 75

Annexe 2 76

Bibliographie



LISTE DES FIGURES

Liste des figures

Présentation de l'entreprise

Figure 1 : Schéma d'organigramme récapitulatif des services et différents composants de l'entreprise.....	6
--	---

Chapitre I

Figure I.1 : Evolution de la maintenance dans le temps	8
Figure I.2 : Intervention préventive systématique	10
Figure I.3 : Intervention non programmable.....	11
Figure I.4 : Types de maintenance	12
Figure I.5 : Probabilités complémentaires	14
Figure I.6 : Tracé de la loi exponentielle	16
Figure I.7 : Taux de défaillance de gamma.....	18
Figure I.8 : Courbe en baignoire	20
Figure I.9 : Configuration série.....	20
Figure I.10 : Configuration parallèle.....	21
Figure I.11 : Courbe de Pareto.....	22

Chapitre II

Figure II.1 : Convoyeur à chaîne	26
Figure II.2 : Convoyeur à bande	27
Figure II.3 : Convoyeur à bande métallique	28
Figure II.4 : Convoyeur à bandes textile	28
Figure II.5 : Bande en textile	28
Figure II.6 : Convoyeur à raclette.....	29
Figure II.7 : Bande magnétique	29
Figure II.8 : Les principaux éléments de convoyeur à bande	30
Figure II.9 : La machine à cylindres	33
Figure II.10 : Les composants de machine à cylindres.....	34
Figure II.11 : Schéma fonctionnel de l'appareil à cylindres.....	35

Chapitre III

Figure III.1 : La courbe de Weibull de convoyeur	42
Figure III.2 : Courbe de fonction de fiabilité de convoyeur	44
Figure III.3 : Courbe de fonction de répartition	45
Figure III.4 : Courbe de densité de probabilité.....	46
Figure III.5 : Courbe de taux de défaillance.....	47
Figure III.6 : Diagramme de Pareto pour le convoyeur.....	48
Figure III.7 : La courbe de Weibull de la machine à cylindre	53
Figure III.8 : Courbe de fonction de fiabilité	55
Figure III.9 : Courbe de fonction de répartition théorique	56
Figure III.10 : Courbe de densité de probabilité théorique	57
Figure III.11 : Courbe de taux de défaillance.....	57
Figure III.12 : Diagramme de Pareto pour la machine à cylindre	59

Chapitre VI

Figure VI.1 : Les coûts de maintenance en fonction de fréquence des interventions.....	62
Figure VI.2 : Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance de type l'âge.	63
Figure VI.3 : Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance de type l'âge	64
Figure VI.4 : Comportement de coût en fonction de l'âge de remplacement pour le convoyeur	69
Figure VI.5 : Comportement de coût en fonction de l'âge de remplacement pour la machine à cylindre.....	72



LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Fonctions statistiques de la loi exponentielle	16
---	----

Chapitre III

Tableau III.1 : Historique des pannes d'un convoyeur à bande	39
Tableau III.2 : Calcul de temps de bon fonctionnement de convoyeur.....	40
Tableau III.3 : La fonction de répartition et de fiabilité de convoyeur	41
Tableau III.4 : Les différentes fonctions de la loi de Weibull.....	43
Tableau III.5 : Durée des pannes de différents organes	48
Tableau III.6 : Tableau d'analyse d'AMDEC de convoyeur	50
Tableau III.7 : Historique des pannes de machine à cylindres.....	51
Tableau III.8 : Temps de bon fonctionnement de machine à cylindre.....	52
Tableau III.9 : La fonction de répartition et de fiabilité de machine à cylindre.....	53
Tableau III.10 : Les différentes fonctions de la loi de Weibull.....	54
Tableau III.11 : Durée de panne de différents organes	59
Tableau III.12 : Tableau d'analyse d'AMDEC de la machine à cylindre.....	60

Chapitre VI

Tableau VI.1 : Estimation des coûts de main d'œuvre par heure	64
Tableau VI.2 : Coût d'une intervention de maintenance par heure	65
Tableau VI.3 : Élément de sortie pour le convoyeur et la machine à cylindre.....	66
Tableau VI.4 : Coût minimale d'un convoyeur et la machine à cylindre.....	66
Tableau VI.5 : Les résultats des coûts pour le convoyeur	70
Tableau VI.6 : Les résultats des coûts pour la machine à cylindre.....	73



LISTE DES SYMBOLES

Liste des symboles

P : La probabilité.

F : La fréquence.

G : La gravité.

D : La détection.

t : Une variable de temps.

F (t) : La probabilité de défaillance cumulé.

R (t) : La probabilité de bon fonctionnement.

E (t) : L'espérance mathématique.

λ (t) : Le taux de défaillance.

μ (t) : Le taux de réparation.

β (beta) : Paramètre de forme de la loi de Weibull.

η (éta) : Paramètre d'échelle de la loi de Weibull.

γ (gamma) : Paramètre de position de la loi de Weibull.

α (alpha) : Paramètre de la loi de Gamma.

R (t) : La fiabilité du système.

f (ti) : La densité de probabilité.

M (ti) : La maintenabilité.

N : Nombre réel.

Ni : Nombre d'intervention.

Dn_{max} : La fréquence maximale.

F (th) : La fonction de répartition.

C_p : Le coût de la maintenance préventif.

C_c : Le coût de la maintenance correctif.

C_{min} : Le coût de maintenance minimal.

$C(t)$: Le coût de maintenance.

$H(t)$: Le taux de hasard cumulé.

C^* : Le coût optimal.

T^* : La périodicité optimale.



LISTE DES ABRÉVIATIONS

Liste des abréviations

AFNOR : Association française de normalisation.

MTBF : Moyen de temps entre deux défaillances.

MUT : Moyen de temps de fonctionnement.

MTTF : Moyen de fonctionnement d'une entité avant la première défaillance.

NF : La norme française.

Ipsi : Intervention préventive systématique.

AMDEC : Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité.



INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale

La maintenance est un processus essentiel dans de nombreux domaines, qu'il s'agisse de la gestion des infrastructures, des machines industrielles, des véhicules, des systèmes informatiques et électroniques ou même des bâtiments. L'objectif de la maintenance est de prévenir les pannes et les défaillances en effectuant régulièrement des actions de surveillance, d'entretien et de réparation. Cela permet de maximiser la disponibilité des équipements, d'éviter les perturbations dans les processus de production, d'améliorer la sécurité et de réduire les coûts liés aux réparations d'urgence ou au remplacement prématuré des équipements.

La maintenance vise à assurer le bon fonctionnement, la durabilité des équipements, en minimisant les temps d'arrêt et en optimisant les performances, et augmenter la fiabilité des systèmes qu'est l'objectif principal de la maintenance [1].

La fiabilité est un concept clé dans de nombreux domaines, notamment l'ingénierie, la technologie, les systèmes complexes et même les relations humaines. Elle se réfère à la capacité d'un système, d'un produit ou d'un processus à fonctionner de manière constante et prévisible dans des conditions spécifiées, pendant une durée donnée.

Dans notre travail, nous allons prendre un convoyeur et une machine à cylindre disponibles au niveau de l'entreprise AGRODIV comme deux exemples d'application pour étudier leur fiabilité. Nous allons partager notre mémoire en quatre parties. Tout d'abord, commençant par la présentation de l'entreprise ou on a suivi notre stage pratique.

Le premier chapitre présentera les généralités sur la maintenance en la définissant et décrivant ses différents types. Ensuite, nous définissons la fiabilité en citant ses différentes lois.

Le deuxième chapitre présentera la définition du convoyeur et de la machine à cylindre en citant leurs types et leur mode de fonctionnement, puis la détermination des différentes pannes usuelles en identifiant leurs causes ainsi que leurs effets sur les systèmes.

Dans le troisième chapitre, à partir de la documentation historique de l'entreprise nous allons identifier les temps de bon fonctionnement des systèmes étudiés pour déterminer les paramètres de la loi de Weibull par le logiciel EasyFit afin de calculer la fiabilité du nos systèmes, on terminera par l'analyse de nos résultats par les méthodes de Pareto et l'Amdec.

Introduction générale

Le quatrième chapitre sera consacré à l'optimisation de la politique de maintenance. D'après nos données et calculs, nous avons proposé la meilleure politique de maintenance pour chaque système étudié.



**PRESENTATION
DE L'ENTREPRISE**

1. Présentation de l'entreprise

1.1. Présentation de la société ERIAD-Sétif-Les Moulins de la Soummam

Les moulins de la Soummam est une société par action, dénommée ERIAD-Sétif « Les Moulins de la Soummam/SPA » SIDI-AICH. Une des filiales du groupe ERIAD-Sétif créé lors de la filialisation des unités de production le 01 octobre 1997. Son siège social est implanté à la daïra de SIDI-AICH à une distance de 45kms au nord-ouest de la wilaya de Bejaia, elle est constituée de deux sites abritant deux unités à caractère industriel et commercial : l'unité de SIDI-AICH (moulin semoulerie d'une capacité de trituration de 4400Qx/j et un moulin mixte semoule et farine d'une capacité de trituration de 3000Qx/j) et l'unité de KHERRATA (semoulerie d'une capacité de trituration de 1000Qx/j).

1.2. Description de l'unité de Kherrata

L'unité de Kherrata est une semoulerie parmi les plus anciennes semouleries de l'Algérie, malgré tous les temps et les évènements et les générations qui se sont succédés, la semoulerie de Kherrata garde toujours sa spécificité de produire la semoule sans recourir à l'investissement dans d'autres créneaux, malgré la disponibilité du terrain.

L'unité de Kherrata est l'héritage de la période coloniale, elle a été mise en service par le colonel HUGENE DUSSIAUX en 1890, elle a été l'objet de quelques modifications techniques en 1927 par le colonel. A l'indépendance elle a été déclarée comme un bien de l'état et intégrée au sein de la SN-SENPAC le 25 mars 1965 société nationale, elle a bénéficié d'une rénovation par un changement radical de ses équipements de production de marque « MOLINO » fournisseur d'origine turque, travaux débutés en 1991, l'unité est réceptionnée en 1995 (le bâtiment de production est resté le même depuis sa construction initiale).

1.3. Structure de l'unité de production

L'établissement de production de l'unité est réparti en trois parties :

- Partie de production constituée de cinq étages, elle est partagée en deux parties :
 - La première partie est composée de différents ateliers destinés au nettoyage, stockage, séparation et conditionnement
 - La deuxième partie est réservée pour la mouture, broyage, blutage, sassage et le convertissage.
- Partie de récupération du produit fini et d'emballage.

- Partie de stockage.

1.4. Les procédés suivis et les machines utilisées dans l'entreprise

Les opérations suivies par l'entreprise pour obtenir le produit fini, on trouve :

- Trémie et Pont bascule : Le blé est livré en camion au moulin en provenance d'une coopérative agricole. Il est pesé au niveau du pont bascule lors de l'arrivée, puis déversé dans une trémie dont la capacité de réception est de 400Qx.
- Elévateur a godets : Le transport de blé dur par l'intermédiaire d'une vis sans fin et d'un élévateur (transport à godets) vers le premier nettoyeur séparateur pour y subir un pré nettoyage
- Nettoyeur séparateur : Le blé dur sort des silos par l'intermédiaire d'une vis sans fin et l'élévateur vers le second nettoyeur séparateur pour éliminer les gros déchets restants.
- Trieur : Le blé dur est porté par gravité dans ces appareils qui sont des cylindres se constituant d'alvéoles rondes ou hélicoïdales de petits diamètres qui permettent d'éliminer les grains ronds et longs dimensions inférieures à celle du blé.
- Brosse verticale : Elle permet d'éliminer toutes les impuretés et poussières pouvant adhérer aux grains de blé. Ce dernier est soumis à un choc contre un manteau perforé.
- Mouilleur : elle permet de s'assurer que les grains de blé ou d'autres sont humidifiés avant d'être broyés. L'humidification des grains aide à les rendre plus souples, ce qui facilite le processus de broyage et améliore la qualité de produit finis.
- Balance automatique : le produit se transporte par gravité vers une balance automatique d'une capacité de 25Kg appelée balance avant B1. En passant par un appareil magnétique pour capter les débris ferreux appelé TARARE.
- Appareil à cylindre : l'opération de broyage et la fragmentation du blé en particules grosses et moyennes se fait sous l'effet des cannelures des rouleaux des appareils à cylindres positionnés en tranchant sur tranchant.
- Plansichter : Le blutage est assuré par le plansichter, équipements disposants de tamis superposés garnis de toiles à bluter d'ouverture de mailles décroissant en dimension de l'entrée de produit à la sortie de plansichter.
- Sasseur : Opération réalisée grâce à des appareils appelés sasseurs qui remplissent deux fonctions : Sassage et classement des semoules en fonction de leurs poids et volumes, Purification des semoules grâce à un système d'aspiration en éliminant les particules fines de sous-produits.

Présentation de l'entreprise

- Conditionneuse : La semoule est acheminée vers une conditionneuse de capacité de 3000Kg/24h. Elle est conditionnée en 25Kg, 10Kg et 5Kg grâce à une balance réglable dans des sacs en polypropylène, coudée et étiquetée.

1.5. Organigramme récapitulatif des services et différents composants de l'entreprise

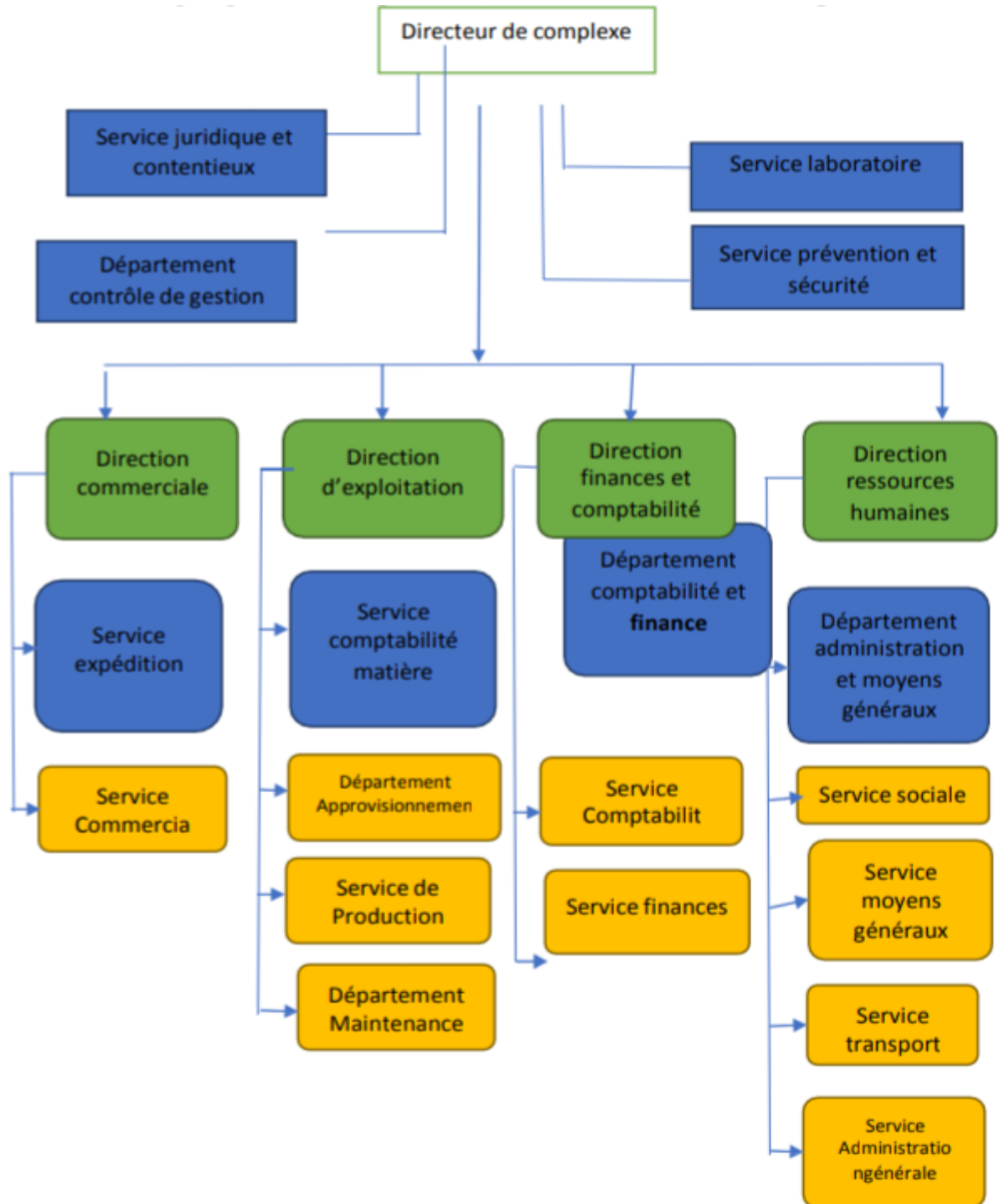
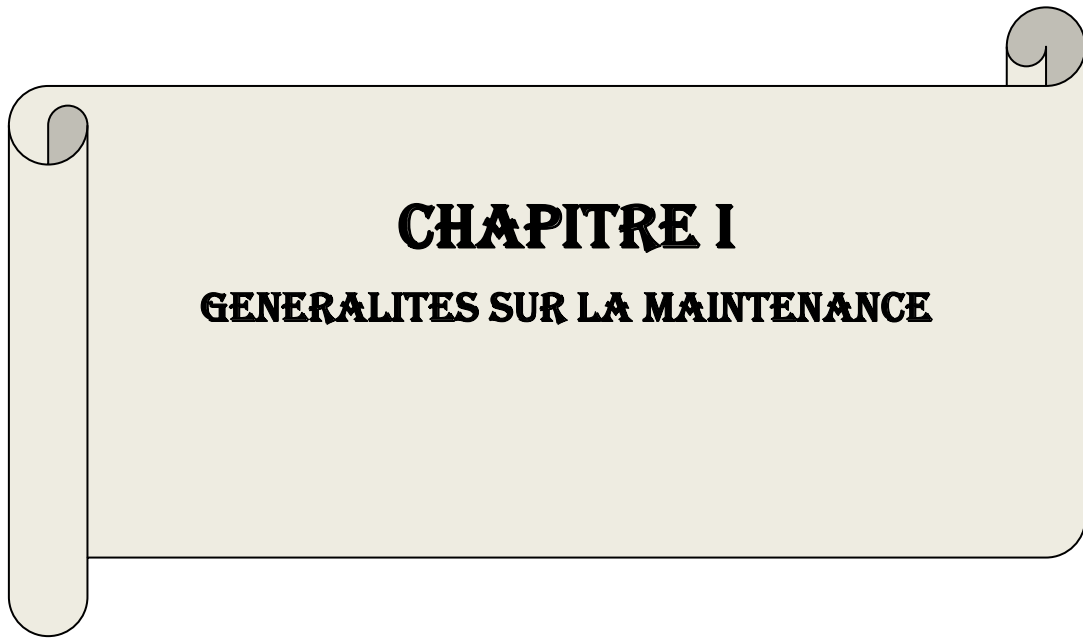


Figure 1 : Schéma d'organigramme récapitulatif des services et différents composants de l'entreprise.



CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA MAINTENANCE

I.1. Introduction

Le grand souci commun des entreprises est l'augmentation de la productivité, cela place les problèmes de sûreté de fonctionnement au centre de leurs préoccupations. Puisque la maintenance apporte une contribution essentielle à la sûreté de fonctionnement d'un bien, vu le coût élevé des pannes, l'investissement dans une stratégie de maintenance participe aux résultats finaux de l'entreprise et devient une des fonctions essentielles dans un système de production.

Dans ce chapitre, on donne certaines notions fondamentales sur la maintenance et son importance dans le domaine industriel.

I.2. L'évolution de la maintenance

Beaucoup de choses se sont passées dans l'ingénierie depuis la révolution industrielle, mais les changements les plus spectaculaires se sont produits au cours de cinquante dernières années. Ces changements ont le but d'affecter la façon dont l'usine de l'industrie a été maintenue. Avant la seconde guerre mondiale, la fonction de maintenance était l'intervention sur la machine lorsqu'elle tombe en panne, mais si la machine fonctionne bien, aucune activité liée à la maintenance n'est effectuée, durant cette période, la machine était robuste et relativement lentes, mais ces machines étaient fiables.

A partir des années 1950 avec la reconstruction de l'industrie après la guerre, en particulier celles du Japon et de l'Allemagne, un marché est beaucoup plus compétitif s'est développé, obligeant les fabricants à augmenter leur production. Cette augmentation de la production a nécessité de meilleures pratiques de maintenance, ce qui a conduit au développement de la maintenance préventive planifiée.

Au cours du dernier demi-siècle, la maintenance a connu une évolution très profonde. Cette évolution a touché les stratégies, les attitudes, les habitudes, les moyens et les méthodes. La maintenance a évolué du concept d'entretien suite à la défaillance d'un système, à celui d'une politique de maintenance basée sur les stratégies préventives, correctives [1].

La maintenance a été donc évoluée dans le temps, celle-ci peut être classée en quatre générations par apport aux concepts de la maintenance avec ses points de transition respectifs. Cette partie représente un aperçu sur l'évolution de la maintenance selon les différentes générations [3].

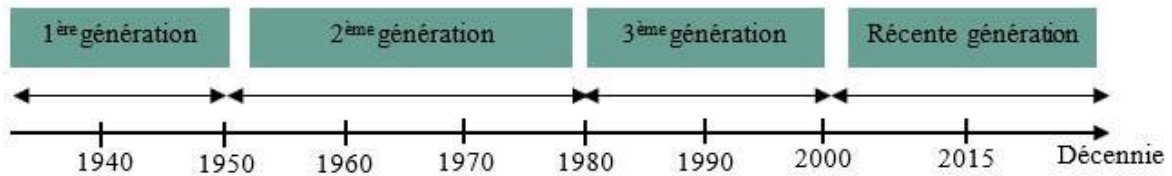


Figure I. 1 : Evolution de la maintenance dans le temps

I.3. Généralités sur la maintenance

I.3.1. Définition

En industrie, la maintenance est l'une des fonctions essentielles du système de production et dans les systèmes fortement automatisés, elle est une fonction capitale. La notion de maintenance est définie par la norme NF 60 010 : « c'est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ». Parfois, la maintenance constitue un élément stratégique de l'entreprise qui nécessite des moyens importants et beaucoup de dépenses.

Une maintenance mal organisée, mal gérée ou mal exécutée, peut avoir des impacts néfastes sur le fonctionnement du système de production :

- Arrêts multiples et indisponibilité des installations,
- Surcoûts de production,
- Grands risques de mauvaise qualité et d'indisponibilité des produits.

De même, une mauvaise maintenance ou une maintenance insuffisante, peut être parfois à l'origine d'importantes catastrophes (aéronautique, transport, nucléaire,...) et peut mettre en danger l'existence même de l'entreprise [2].

I.3.2. Objectifs de la maintenance

D'une manière générale, la maintenance a pour but d'assurer la disponibilité maximale des équipements de production à un coût optimal [2].

Les principaux objectifs que doit se fixer la fonction maintenance sont :

- Améliorer la fiabilité du matériel.
- Garantir la qualité des produits.
- Améliorer l'ordonnancement des travaux.

- Assurer les sécurités humaines.
- Améliorer la gestion de stock.

I.3.3. Les différents types de la maintenance :

Il existe des différents types de la maintenance, décliné en deux grandes catégories identifiables : la maintenance corrective et la maintenance préventive.

I.3.3.1. Maintenance corrective

Le concept de maintenance corrective concerne l'ensemble des activités réalisées après l'apparition de la défaillance d'un bien ou la dégradation de ses fonctionnalités, dans l'intention de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Ces activités évoluant la localisation de la défaillance, ainsi que la remise en état nominal suivi d'un contrôle de bon fonctionnement. Le caractère provisoire ou définitif permet d'envisager les notions de la maintenance palliative et curative. Les intervalles de temps séparent les dates d'exécution des tâches de maintenance corrective et les dates de détections des défaillances [4].

a. Maintenance palliative

La maintenance palliative destinée de permettre à un matériel du point de vue sureté ou disponibilité, d'accomplir provisoirement tout ou une partie d'une fonction requise. Elle correspond aux dépannages provisoires qui seront suivis ultérieurement d'interventions curatives [5].

b. Maintenance curative

La maintenance curative qui a pour but de rétablir un matériel défaillant dans un état spécifié, ou de lui permettre d'accomplir définitivement ses fonctions requises. L'intervention peut avoir lieu juste après l'apparition d'une défaillance ou après un dépannage [5].

I.3.3.2. Maintenance préventive

On recommande de suivre ce type de plan de maintenance pour planifier et réaliser des interventions de maintenance préventive à des intervalles préétablis ou en fonction de certains critères définis, afin d'assurer efficacement le bon fonctionnement de l'équipement. Ces interventions visent également à réduire la probabilité de défaillance, et il est important de souligner que les actions de maintenance préventive permettent de minimiser les coûteux

arrêts de production. On peut distinguer trois types d'interventions préventives parmi celles-ci [6] :

a. Maintenance préventive systématique

Ce type de maintenance préventive se distingue par sa périodicité systématique, elle est réalisée à des intervalles de temps bien définis en amont, ce service de maintenance permet ainsi de remplacer les composants régulièrement, ce qui améliore la productivité des équipements industriels. Cet entretien préventif repose donc sur une inspection régulière des différents équipements qui permette de collecter les informations nécessaires sur les différents composants de la chaîne de production et de prévenir efficacement les pannes, les défaillances et l'usure prématurée [8]. La figure ci-après montre que l'intervention préventive systématique (I_{ps}) s'effectue après un échancier (périodique) d'intervention prédéterminée (T) constante.

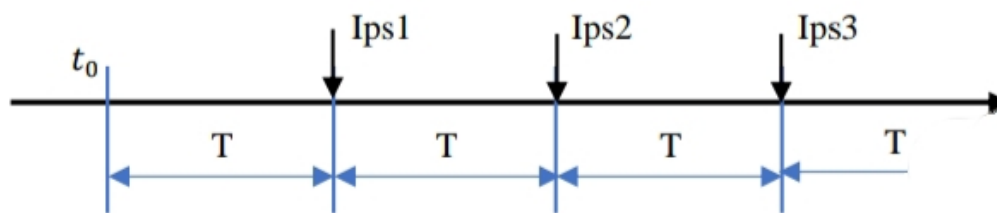


Figure I.2 : Intervention préventive systématique

b. Maintenance préventive conditionnelle

Ce type de préventive est fondé sur une surveillance continue de système ainsi que des paramètres significatifs de son fonctionnement. Pratiquement, ce type de maintenance se base sur le principe d'éviter tout remplacement d'un élément tant que ce dernier ne présente pas des signes de vieillissement ou d'usure. Mais elle présente aussi des inconvénients : Il n'est pas toujours possible de trouver ce paramètre significatif de fonctionnement et de le mesurer, parfois donc le remplacement de notre composant peut être urgent, effectivement une intervention non programmable déclenchée (Fig. I. 3) [4].

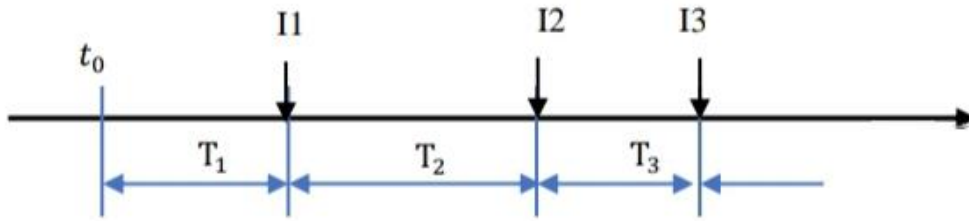


Figure I.3 : Intervention non programmable

Sur la figure (I. 3), (I_i) représente l'intervention de maintenance préventive conditionnelle, dont $T_1 \neq T_2 \neq T_3$, qui représente la période d'intervention.

c. Maintenance prévisionnelle

La maintenance conditionnelle prévisionnelle est exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évolution des paramètres significatifs de la dégradation du bien. Cette politique de maintenance se définit comme étant une maintenance préventive dépendante de l'examen de l'évolution contrôlée des paramètres significatifs de dégradation d'un système, permettant de planifier les interventions nécessaires [7].

Dans ce cadre, nous résumons à l'origine, dans le milieu industriel, en général, une maintenance mixte est appliquée aux systèmes. Cela pour améliorer les conditions des fonctions existantes, En effet la maintenance préventive est destiné à réduire la probabilité de défaillance, mais il subsiste une part de maintenance corrective incompressible. Il est donc nécessaire de considérer des stratégies qui combinent les deux : maintenance corrective et maintenance préventive.

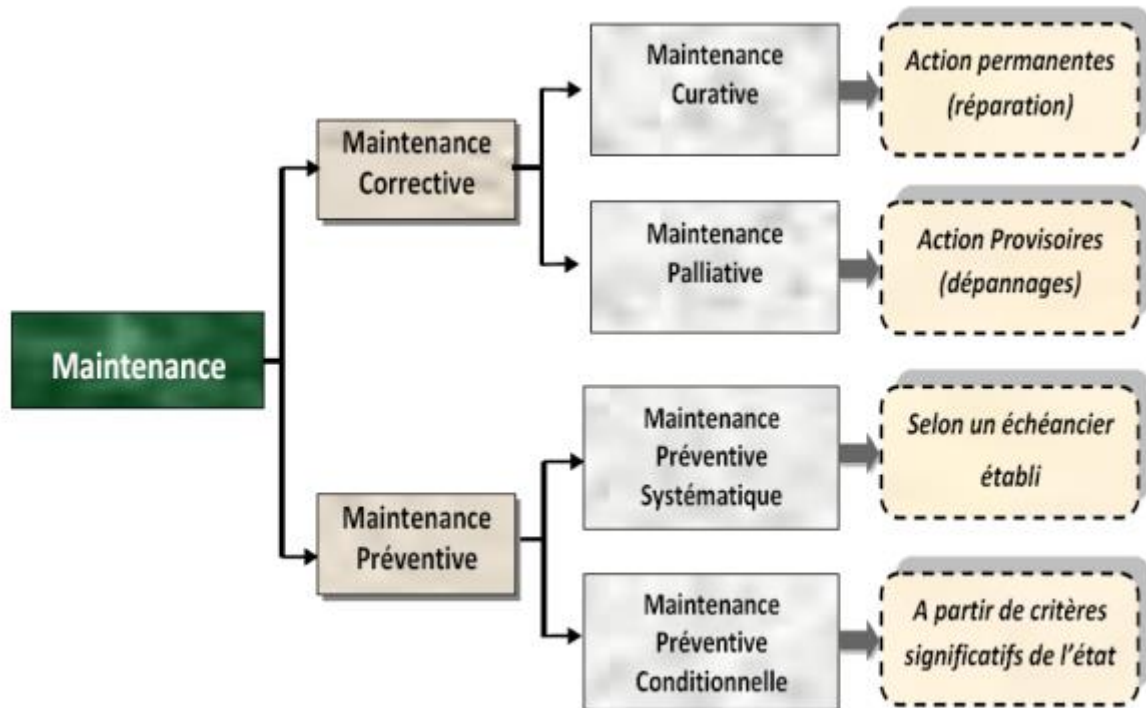


Figure I. 4 : Types de maintenance

I.3.4. Principales opérations de la maintenance

Généralement, de nombreux types d'opérations des systèmes coexistent afin de fournir aux industriels des possibilités d'optimiser le rendement d'un système et encore favoriser la qualité de production, en effet nous découvrons ces concepts en détail pour plus d'éclaircissement sur chaque type d'intervention de maintenance [5].

I.3.4.1. Opérations de maintenance corrective

Dans ce cadre, nous trouvons certaines opérations de maintenance corrective dont les définitions sont données ci-dessous [4].

a. Dépannage : Le dépannage est l'une des opérations de maintenance les plus courantes. Elle consiste à intervenir après une panne d'un composant pour le remettre en état de fonctionnement, donc elle est effectuée selon des critères prédéterminés par un diagnostic préalable et peut être effectué de façons temporaire.

b. Réparation : C'est une intervention définitive, cela signifie qu'on répond à un besoin après une panne ou une défaillance. L'équipement doit fonctionner dans les conditions identiques pour lesquelles il a été conçu. Ainsi, la réparation peut être appliquée par exemple sur les tuyauteries industrielles.

c. Diagnostic : Identification de la cause probable de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'information provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test.

I.3.4.2. Opérations de la maintenance préventive

Ces types d'intervention répondent à plusieurs objectifs, tout d'abord mettre en place ce plan d'opérations ont pour but de préserver les performances des matériels et d'éviter les réparations coûteuses, ainsi ces opérations visent à mettre à jour régulièrement le système [6].

a. Inspection : C'est des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et d'exécuter des réglages simples qui ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de production ou des équipements.

b. Contrôle : De nos jours, des techniques sont utilisées pour caractériser les propriétés des composants, cela permettra de détecter les défauts prématurément et évitera ainsi les défaillances catastrophiques dans les secteurs industriels.

c. Visite : C'est une opération de surveillance, nous procédons donc à un certain nombre de visites complètes qui entraînent le démontage de matériel pour vérifier son état, et pour procéder au remplacement systématique des composants élémentaires dits d'usure, de ce fait un certain nombre de visites intermédiaires entre deux visites complètes, afin de déceler prématurément un début de dégradation sur ces composants élémentaires, et éventuellement de le corriger avant la prochaine visite complète [10].

I.4. Généralités sur la fiabilité

I.4.1. Définition

Aptitude d'un temps à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné (NF EN 13306) ou « caractéristiques d'un bien exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné » (NF X 60-500) [8].

I.4.2. Application sur la fiabilité

Un dispositif mis en marche pour la première fois à (t_0) tombera en panne à un instant non connu a priori « t » : date de la panne est une variable aléatoire de la fonction de répartition « $F(t)$ » [8].

- $F(t)$ est la probabilité d'une défaillance avant l'instant (t_i) :

$$F(t) = \Pr(t \leq t_i) \quad (I.1)$$

- $R(t)$ est la probabilité de bon fonctionnement à (t_i) :

$$R(t) = \Pr(t > t_i) \quad (I.2)$$

- Probabilités complémentaires :

$$F(t) + R(t) = 1 \quad \text{Ou} \quad \int_0^{t_i} f(t)dt + \int_{t_i}^{+\infty} f(t)dt = 1 \quad (I.3)$$

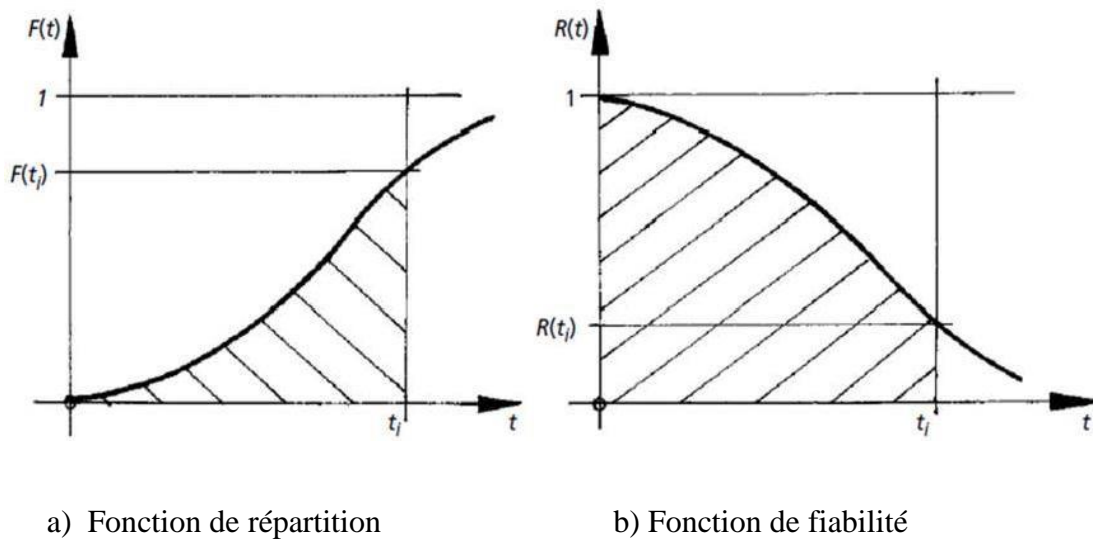


Figure I.5 : Probabilités complémentaires

I.4.3. Différentes lois de probabilité utilisées en fiabilité

Pour évaluer la fiabilité, il est donc nécessaire de recourir à certains outils mathématiques de calcul de probabilité. L'objet n'est pas ici de présenter de façon détaillée les différentes lois, retenons simplement que l'utilisation de quelques-unes peut être nécessaire pour la détermination de la fiabilité [8].

I.4.3.1. Loi Binomiale

Elle permet d'évaluer le nombre d'éléments défaillants d'un échantillon prélevé dans une population dont on connaît la probabilité de défaillance.

$$P(x = k) = C_n^k x^k (1 - P)^{n-k} \quad \text{Avec} \quad C_n^k = \frac{n!}{(n-k)!k!} \quad (I.4)$$

Avec les paramètres de signification:

- $(n \geq 0)$: nombre d'épreuves
- $(0 \leq p \leq 1)$: probabilité de succès

I.4.3.2. Loi de Poisson

Elle permet, lorsque l'on connaît le taux de défaillance d'un système sur une longue période, de calculer la probabilité d'une panne sur une période plus courte. Le cas du temps d'une production par exemple.

$$P(x = k) = \frac{e^{-m}}{k!} m^k \quad (\text{I.5})$$

L'espérance mathématique

$$E(x) = m = \lambda.T \quad (\text{I.6})$$

I.4.3.3. Loi normale

La loi normale est très répandue parmi les lois de probabilités car elle s'applique à de nombreux phénomènes. En fiabilité, la distribution normale est utilisée pour présenter la distribution des durées de vies des dispositifs en fin de vie (usure) car le taux de défaillance est toujours croissant. On ne l'utilisera que si la moyenne des durées de vie est supérieure à trois fois l'écart type.

I.4.3.4. Loi exponentielle

Elle est particulièrement bien adaptée lorsque le taux de défaillance est constant. De ce fait, on l'emploie dans le cas de matériels électriques ou électroniques et pour les systèmes mécaniques lors de leur période de maturité.

L'espérance mathématique est $E(t) = \frac{1}{\lambda}$ et son expression est $R(t) = e^{-\lambda t}$ représente la loi de la fiabilité en fonction du temps. Voir la loi (I.6).

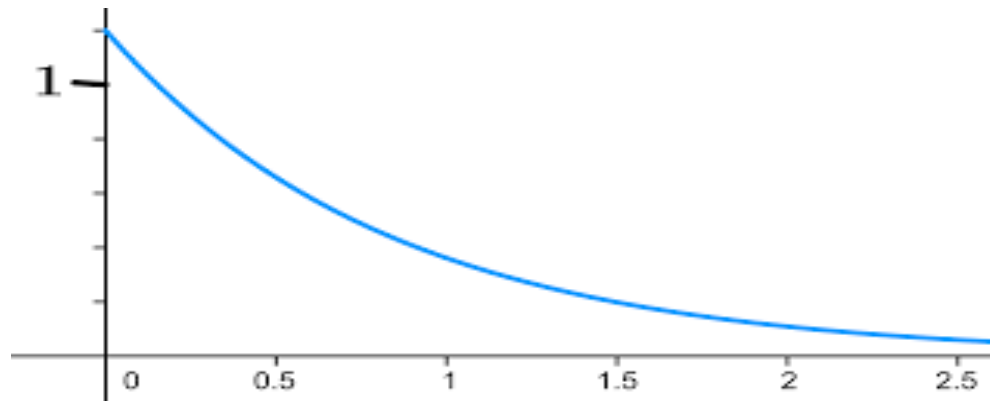


Figure I.6 : Tracé de la loi exponentielle

A cette fonction $R(t)$ est associée une fonction $F(t) = 1 - R(t)$, dite fonction de répartition. Elle représente en quelque sorte la probabilité, en fonction du temps, de connaître une défaillance.

La densité de probabilité $f(t)$ peut se définir comme la répartition probable des défaillances, appelée aussi distribution des défaillances :

$$f(t) = \lambda(t) \times R(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (\text{I.7})$$

Le taux de défaillance est quant à lui:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (\text{I.8})$$

Le tableau suivant montre les fonctions statistiques de la loi exponentielle.

Fonction statistique	Loi de la fonction
Fonction de fiabilité	$R(t) = e^{-\lambda t}; t \geq 0 \text{ et } \lambda \geq 0$
Densité de probabilité	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}; t \geq 0$
Taux de défaillance	$\lambda(t) = \lambda$
Durée de vie moyenne	$MUT = \frac{1}{\lambda}$

Tableau I.1: Fonctions statistiques de la loi exponentielle

I.4.3.5. Loi de Weibull

Contrairement à la loi exponentielle, la loi de Weibull convient quel que soit la valeur du taux de défaillance. Grâce à sa souplesse, elle s'adapte à toutes les valeurs de $\lambda(t)$ mais elle permet en plus de déterminer dans quelle période de sa vie (jeunesse, maturité, vieillesse) se trouve le système étudié.

Outre son adaptabilité à toutes les situations, le modèle de Weibull livre d'autres informations en plus de niveau de fiabilité d'un dispositif à un instant (t).

Les trois paramètres β , η et γ de son expression:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{I.9})$$

Le paramètre de forme β de la courbe de densité de probabilité, si sa valeur est inférieure à 1, alors $\lambda(t)$ est décroissant, indiquant que le système est en période de jeunesse permettant une analyse plus fine et donc une image plus précise de l'état du système. Le paramètre β fournit des indications à la fois qualitatives et quantitatives du taux de défaillance instantané.

Maintenant, si β est égal ou très voisin de 1, c'est le signe d'un comportement régulier du système avec un taux de défaillance sensiblement constant. C'est donc la période de maturité qui est la plus longue dans le cycle de vie d'un matériel.

Enfin, si la valeur du paramètre de forme β est supérieur à 1, alors le modèle de Weibull est encore plus instructif. Dans ce cas, β révèle d'abord une phase d'obsolescence et c'est l'expression quantitative qui viendra davantage l'attention, car il est possible de lier la valeur au degré d'obsolescence de matériel.

I.4.3.6. Loi de Gamma

Une variable aléatoire T est de loi gamma de paramètre α , λ ($\alpha > 0$ et $\lambda > 0$) ; notée par G ($\alpha ; \lambda$); si et seulement si [9]:

- Sa densité est :

$$F[t] = [(\lambda^\alpha) / T(\alpha)] * t^{\alpha-1} * e^{-\lambda t}; T > 0 \quad (\text{I.10})$$

$$T(\alpha) = \int_0^{+\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (\text{I.11})$$

- Sa durée de vie moyenne est :

$$MTTF = \frac{\alpha}{\lambda} \quad (I.12)$$

1. Si $\alpha < 1$; le taux de défaillance est décroissant donc le système s'améliore.
2. Si $\alpha > 1$; le taux de défaillance est croissant donc le système s'use.
3. Si $\alpha = 1$; le taux de défaillance est constant et on retrouve la loi exponentielle.

Ces trois cas sont représentés dans la Figure I.7

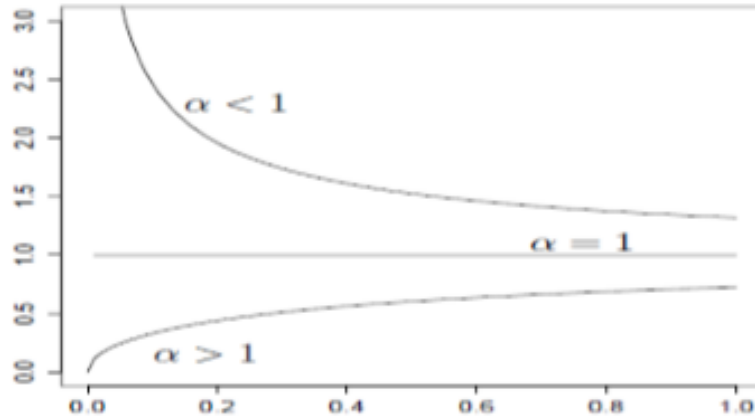


Figure I.7 : Taux de défaillance de gamma.

I.4.4. Paramètres de la fiabilité

I.4.4.1. Moyenne des temps de bon fonctionnement MTBF

La MTBF est la moyenne des temps de bon fonctionnement. Un temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances. La moyenne de ces temps est un indicateur indispensable pour tout gestionnaire d'un parc matériel.

La MTBF global est la résultante des MTBF des composants du système. Elles sont calculées à partir des renseignements des historiques des systèmes ou des documents d'activité des techniciens de maintenance [8].

I.4.4.2. Taux de défaillance

Pour un ensemble des systèmes, le taux de défaillance représente une proportion ramenée à l'unité de temps d'éléments qui ayant survécu à un instant arbitraire t , ne sont plus en vie à l'instant $(t+dt)$. Sa forme générale est le rapport:

$$\frac{\text{Nombre de défaillance}}{\text{durée d'usage}} \quad (\text{I.13})$$

Le taux moyen de défaillance s'obtient également par la relation suivante ou le taux de défaillance est constant:

$$\frac{1}{MTBF} \quad (\text{I.14})$$

L'écriture mathématique du taux de défaillance à l'instant t , noté $\lambda(t)$, est la suivante [10]:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \right) \quad (\text{I.15})$$

Le taux de défaillance d'un dispositif à l'instant t est donc défini par:

$$\lambda(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} = \frac{dF(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (\text{I.16})$$

- **Evolution du taux de défaillance**

Au cours de vie d'un système, le comportement de celui-ci n'est pas et ne peut pas être constant. Après une période dite de jeunesse, le système connaît une période de maturité qui, elle-même, précède une période de vieillesse.

Le taux de défaillance peut être assimilé à un indicateur représentatif du rythme auquel surviennent les défaillances. Lors des trois phases de la vie d'un système, ce taux n'est pas constant. Si nous représentons le taux de défaillance en fonction du temps, nous obtenons une courbe appelée « baignoire » qui est divisée en trois parties : la première est appelée période de jeunesse où le taux de panne est en décroissance ce qui correspond aussi au rodage, la deuxième partie n'est autre que la durée de vie utile : c'est la zone où le taux de panne est constant, la dernière partie est appelée période de vieillissement où d'usure: en atteignant cet âge, le composant commence à vieillir et le taux de défaillance augmente en fonction du temps.

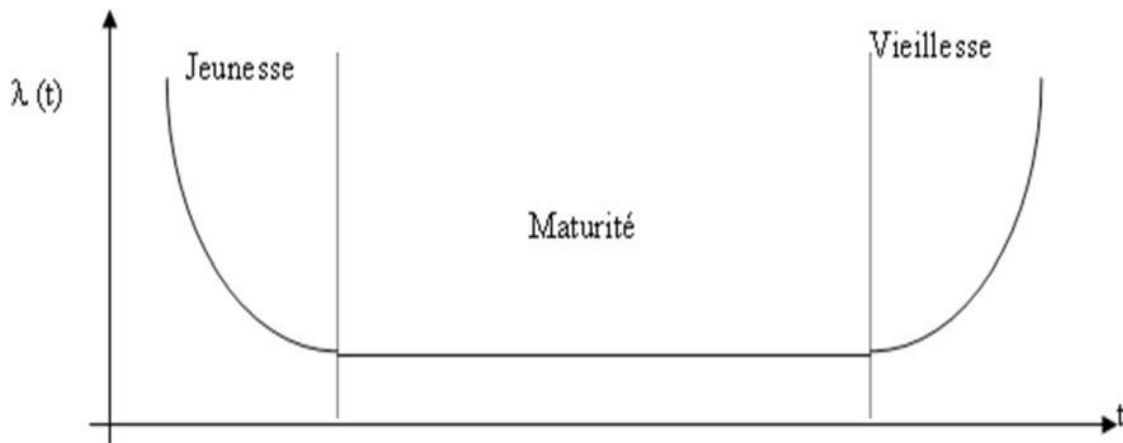


Figure I.8 : Courbe en baignoire

I.4.5. Configuration série

Ce système fonctionne si tous ses composants fonctionnent. Il est composé de (n) équipements supposés indépendants, de durée de vie (T_i) et de fiabilité (R_i) pour (i) variant de 1 à (n) [11], [12].



Figure I.9 : Configuration série.

La durée de vie du système est donnée par : $T = \min(T_i)$

Ce qui signifie qu'il tombe en panne dès qu'un des (n) éléments tombe en panne. Sa fiabilité est alors celle de l'élément le moins fiable. Soit $R(t)$ la fiabilité du système, on a alors:

$$R(t) = P(T > t) = P(\min(T_i) > t) = P(T_1 > t, T_2 > t, \dots, T_n > t) \quad (\text{I.17})$$

Si les composants étant indépendants, alors :

$$R(t) = P(T_1 > t) \cdot P(T_2 > t) \dots P(T_n > t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \dots R_n(t) \quad (\text{I.18})$$

D'où :

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (\text{I.19})$$

I.4.6. Configuration parallèle

Le système est défaillant si et seulement si tous ses éléments sont défaillants. C'est-à-dire que le système est capable de fonctionner avec au moins l'un de ses composants.

$$R(t) = 1 - P(T < t) = 1 - P(T1 < t, T2 < t, \dots, < Tn < t) \quad (I.20)$$

Si les composants du système sont indépendants alors :

$$R(t) = 1 - P(T1 < t) \cdot P(T2 < t) \dots P(Tn < t) \quad (I.21)$$

D'où :

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad (I.22)$$

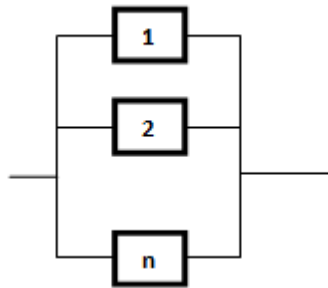


Figure 1.10 : Configuration parallèle.

I.5. Outils pour l'optimisation de la maintenance

Dans le contexte actuel d'ouverture des marchés, les entreprises doivent améliorer leur produit et donc leur productivité. « Produire plus et moins cher », avoir une meilleure disponibilité des moyens de production. Or la maintenance doit comprendre une maintenance mieux ciblée, qui augmente la disponibilité et une maintenance mieux maîtrisée, qui donne moins de dépenses [13].

Au vu de l'importance du processus de maintenance et de son impact sur les performances des installations, des méthodes d'optimisation ont été développées permettant d'aider les responsables de la maintenance à construire ou à modifier les stratégies, telle que la méthode AMDEC, la méthode Ishikawa (ou le diagramme Causes Effets), Le diagramme de Pareto, méthode des 5S, etc.

I.5.1. Diagramme de Pareto

La méthode d'ABC est une méthode graphique qui met en évidence les cas les plus représentatifs d'une situation tout en mettant en évidence le peu d'importance des éléments les plus faibles, c'est un outil d'aide à la décision. La loi repose sur une série d'éléments clairement définie et traitée en fonction d'un critère correspondant à un caractère et pour une période donnée.

Exemples :

- Série : machines-outils
- Critère : nombre d'interventions
- Caractère : le plus important

La démarche de la méthode se décline en cinq étapes principales :

- Classer dans un tableau les valeurs en fonction du caractère choisi (en général, le classement est décroissant).
- Ordonner les valeurs, c'est-à-dire leur affecter un numéro d'ordre.
- Cumuler les valeurs.
- Tracer la courbe en pourcentage des valeurs cumulées du critère en fonction du pourcentage des éléments cumulés qui en sont responsables.
- Exploiter les résultats.

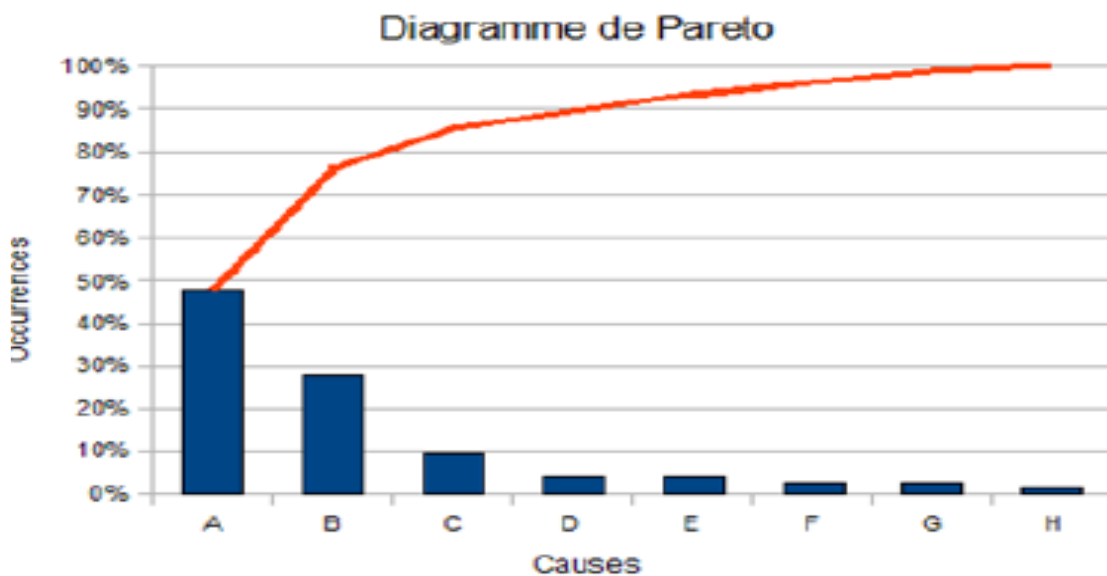


Figure I.11 : Courbe de Pareto.

Il s'agit de délimiter sur la courbe obtenue des zones à partir de l'allure de la courbe. En général la courbe possède deux cassures, ce qui permet de définir trois zones :

- La première partie de la courbe détermine la zone appelée A.
- La seconde partie de la courbe détermine la zone appelée B.
- La troisième partie de la courbe détermine la zone appelée C.

L'étude porte dans un premier temps sur les éléments constituant la zone A en priorité. Si les décisions et les modifications apportées aux éléments de la zone A ne donnent pas satisfaction, on continuera l'étude sur les premiers éléments de la zone B jusqu'à satisfaction.

Les éléments appartenant à la zone C peuvent être négligés, car ils ont peu d'influence sur le critère étudié [14].

I.5.2. Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

Le mot AMDEC signifie l'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité. C'est une technique d'analyse préventive permettant d'identifier et de traiter les causes potentielles de défauts et de défaillance avant qu'ils ne surviennent. L'AMDEC est une méthode rigoureuse de travail en groupe très efficace grâce à la mise en commun de l'expérience et des connaissances de chaque participant à condition toutefois que l'animateur AMDEC soit suffisamment expérimenté [15]. On peut faire :

- Une AMDEC Produit : pour vérifier la conformité d'un produit développé par rapport aux exigences du client.
- Une AMDEC Processus : pour valider la fiabilité du processus de fabrication.
- Une AMDEC Moyen : pour vérifier la fiabilité d'un équipement.

Le principe consiste à recenser toutes les causes potentielles de chaque mode de défaillance et d'évaluer la criticité. Cette dernière résulte d'une triple cotation quantifiée :

- Note « F » : Occurrence ou fréquence d'apparition de la cause.
- Note « D » : Détection, probabilité de non détection de la cause.
- Note « G » : Gravité ou sévérité de l'effet du défaut ou de la défaillance.

L'indice de criticité est obtenu par le produit des trois notes :

$$C = G * F * D \quad (I.23)$$

Remarque :

Plus la criticité est importante, plus le mode de défaillance est considéré et préoccupant. Lorsque la criticité dépasse la limite prédéfinie par le groupe, ce dernier recherche les actions d'amélioration possible pour la ramener à un niveau acceptable en jouant sur :

- La gravité (exemple : la gravité d'une fuite de carburant sera diminuée par la mise en place d'un bassin de rétention).
- L'occurrence (exemple : en augmentant la fiabilité d'un composant, en jouant sur la maintenance préventive...).
- La non détection (exemple : en mettant en place des outils de contrôle et de surveillance, en formant les contrôleurs...).

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé le cadre général de la maintenance, qui a pour objectif d'établir et de maintenir un équipement dans des conditions de production optimale. Aussi nous avons constaté que l'étude de fiabilité est justement l'un des outils indispensables pour réduire les pannes probables de ces équipements.

La maintenance préventive a une mission émergente qui nous conduit à une meilleure gestion centrée sur une procédure qui minimise l'apparition d'un événement imprévu, dans le but de réduire les temps d'arrêts et d'augmenter la fiabilité des équipements. La loi de Weibull est essentiellement très importante pour caractériser le comportement du produit dans les différentes phases de vie.



CHAPITRE II

LES CONVOYEURS ET LES MACHINES À CYLINDRE

II.1. Introduction

Les convoyeurs et les machines à cylindre sont des équipements industriels couramment utilisés dans divers secteurs de production pour faciliter le transport et le traitement de matériaux en vrac tels que les grains, les produits chimiques, les minéraux et les aliments.

Les convoyeurs sont des systèmes de transport mécaniques qui peuvent être utilisés pour déplacer des matériaux horizontalement, verticalement ou en pente. Ils sont composés d'un cadre en acier, d'un système de propulsion, d'une bande transporteuse et d'un système de support de la bande. Les convoyeurs sont largement utilisés dans les industries manufacturières, de la construction et de l'exploitation minière pour déplacer des matériaux en vrac à travers des distances plus ou moins longues [18].

Les machines à cylindre sont des équipements utilisés pour le traitement des matériaux en vrac. Ils sont constitués d'un cylindre rotatif avec des rainures ou des nervures en spirale qui servent à séparer les matériaux en fonction de leur taille ou de leur densité. Les machines à cylindre sont couramment utilisées dans les industries alimentaires pour le traitement du riz, du blé et d'autres céréales, ainsi que dans les industries minières pour la séparation des minéraux en fonction de leur densité.

II.2. Les convoyeurs**II.2.1. Définition**

Le convoyeur industriel est un outil de manutention automatique qui permet de déplacer des produits finis ou bruts d'un poste à un autre par le mécanisme de transmission de puissance. Cette dernière est transmise d'un arbre moteur vers un ou plusieurs arbres récepteurs par l'intermédiaire de courroies ou de chaînes. Le produit ou la marchandise étant placée sur une bande (reliée à la chaîne ou à la courroie) ou sur une tôle, se déplace d'une manière uniforme dans un circuit fermé. La vitesse de déplacement est relative à la vitesse de rotation du moteur et peut être réduite ou augmentée selon la volonté de l'opérateur en tenant compte de quelques paramètres tels que la productivité et la cadence de production [16].

Le rôle du convoyeur est de remplacer le travail de l'ouvrier qui trouve beaucoup de peine à accomplir ces tâches d'où l'influence sur la productivité, ils sont utilisés dans plusieurs secteurs :

- L'industrie agro-alimentaire.
- La médecine et la pharmacie.
- La manutention de matériaux.
- La métallurgie.
- L'automobile.
- La grande distribution.
- L'industrie de l'emballage.

II.2.2. Types des convoyeurs

Il existe plusieurs types des convoyeurs utilisés dans l'industrie, on distingue les convoyeurs suivants :

II.2.2.1. Convoyeur à chaîne

Ce type de convoyeur industriel est équipé d'une ou plusieurs chaînes en fonction de la complexité du convoyage et du poids des pièces à véhiculer le long de la chaîne d'approvisionnement ou de montage. Il existe ainsi des machines dotées de chaînes en acier, en inox et en plastique. Du fait de la rigidité de la structure, le convoyeur à chaîne peut même assurer le transport de palette. Les dimensions de largeur et hauteur, la capacité et la vitesse du transport dépendra du produit et des besoins spécifiques de chaque installation.



Figure II.1 : Convoyeur à chaîne [16]

II.2.2.2. Convoyeurs à bande

Les convoyeurs à bande sont caractérisés par le type de bande transporteuse utilisée (matériaux, texture, épaisseur) et par la position du groupe de motorisation (central ou en extrémité). Les convoyeurs à bande modulaire permettent, grâce à leur bande rigide en acétal,

d'accumuler des charges (avec frottement entre la bande et les objets transportés). La bande est en fait une chaîne en plastique qui vient s'engrener dans des pignons également en plastique. En matière de maintenance, l'avantage est de ne pas avoir de centrage et de tension de bande à effectuer, contrairement à un convoyeur à bande classique.



Figure II.2: Convoyeur à bande

II.2.2.3. Convoyeur à bande métallique

Ces convoyeurs sont principalement utilisés dans le domaine de la métallurgie, ils permettent de transporter des pièces coupantes, abrasives, lourdes et à des températures élevées. Ces convoyeurs sont particulièrement adaptés à l'évacuation des chutes de découpe et de copeaux métallique et non ferreux les rendant incompatibles avec un convoyeur magnétique [17].

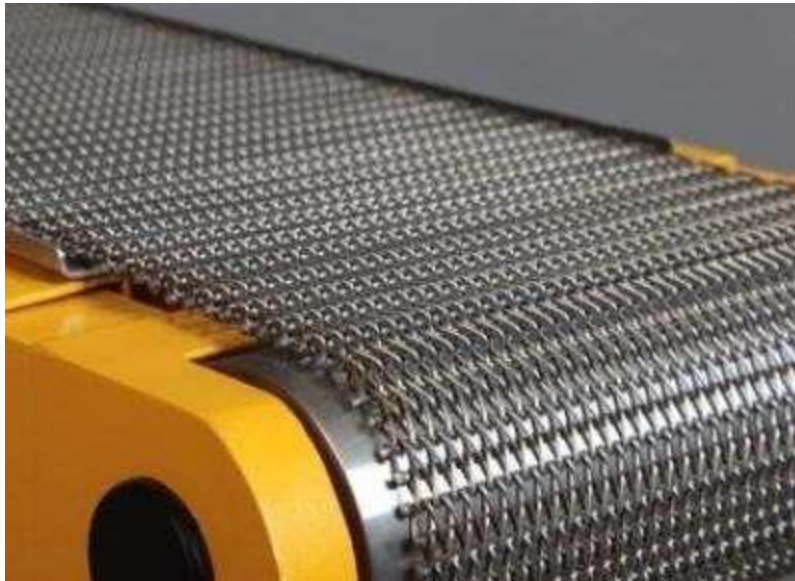


Figure II.3: Convoyeur à bande métallique

II.2.2.4. Convoyeurs à bandes textiles

Les bandes transporteuses à carcasse textile ont, suivant leur domaine d'utilisation, des revêtements avec différentes propriétés ainsi que des carcasses textiles à un ou plusieurs plis. Ce sont des produits endurants pour une multitude d'opérations de transport dans la construction mécanique en général, ainsi, que dans de nombreux autres secteurs industriels.



Figure II.4 : Convoyeur à bandes textile



Figure II.5 : Bande en textile

II.2.2.5. Convoyeur à raclette

Le convoyeur à raclette est un engin de transport continu dont l'organe de traction est une chaîne ou deux sans fin portant des raclettes. Lors du déplacement de la chaîne, les raclettes

accrochent la matière chargée et la déplacent dans le couloir en tôle dans le sens du mouvement de la chaîne.

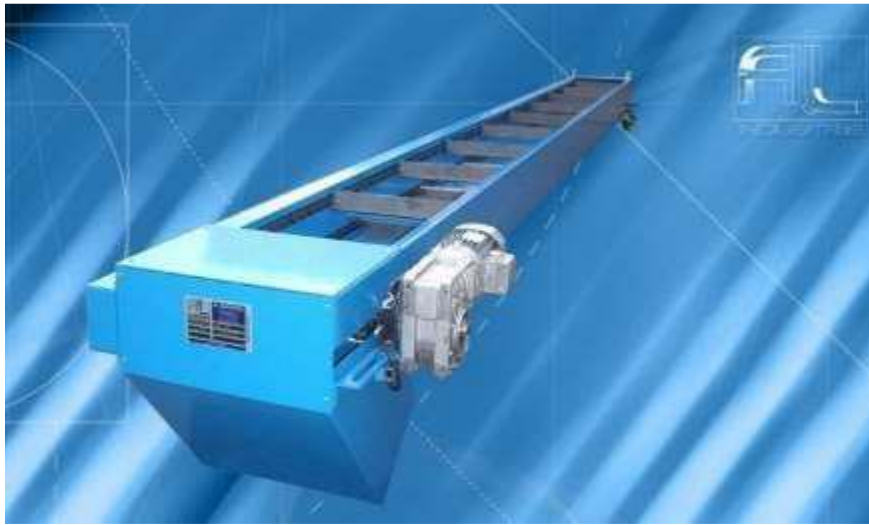


Figure II.6 : Convoyeur à raclette

II.2.2.6. Convoyeur à bande magnétique

Est un appareil muni d'une bande avec une partie magnétique qui est placée en dessous de la bande permet d'attirer les produits métalliques vers le bas leur donnant ainsi plus de stabilité. Les convoyeurs à tambour magnétique permettent la séparation des particules ou déchets métalliques. Souvent employé en fonderie pour extraire les déchets métalliques d'un transporteur de sable après l'opération de décochage [17].

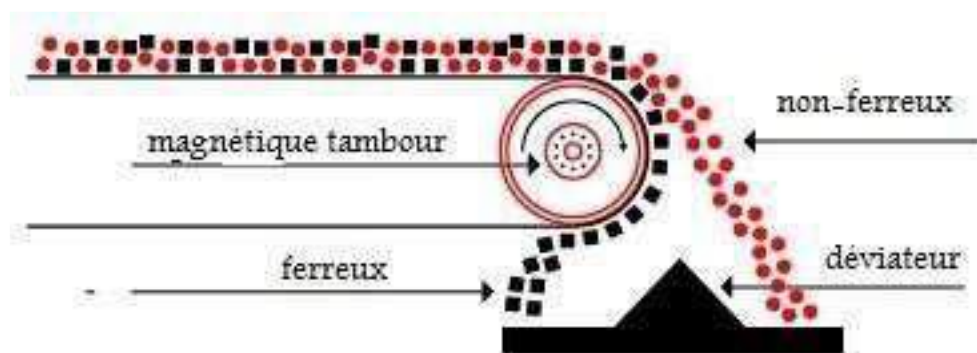


Figure II.7 : Bande magnétique

II.2.3. Les composants des convoyeurs à bande

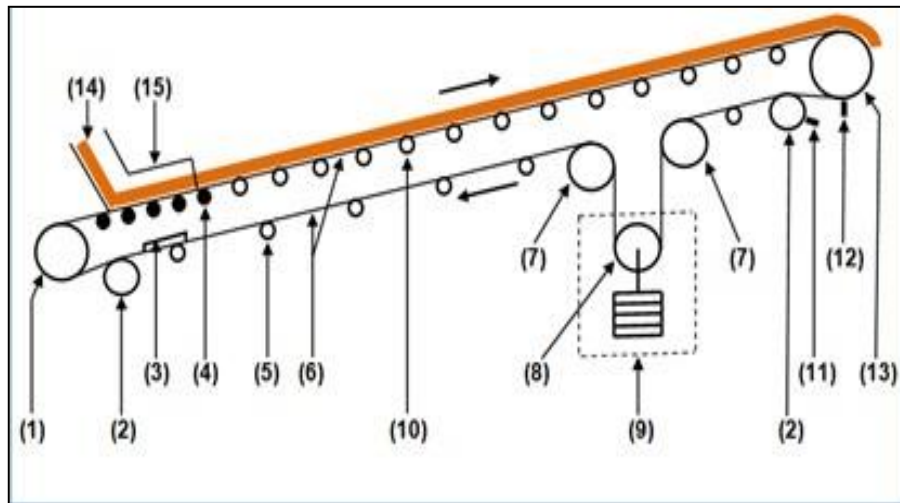


Figure II.8 : Les principaux éléments de convoyeur à bande [19]

- (1) Tambour de renvoi
- (2) Poulie souple (entête et en queue)
- (3) Nettoyeur de courroie interne (racleur de courroie interne)
- (4) Poulies à choc (rouleaux à impact)
- (5) Retour de rouleaux (rouleaux de renvoi)
- (6) Courroie
- (7) Poulies de contrainte
- (8) Poulie releveuse
- (9) Tendeur contrepoids
- (10) Les rouleaux du support (rouleaux porteurs)
- (11) Nettoyeur de poulie (racleur de poulie)
- (12) Nettoyeur de courroie externe (racleur de courroie externe)
- (13) La poulie d'entraînement
- (14) Matériaux
- (15) Trémie

II.2.4. Mode de fonctionnement de convoyeur à bande

Le fonctionnement d'une bande transporteuse consiste dans le mouvement d'un support physique continué, la bande montée sur plate-forme de dimensions variables et qui peuvent porter des accessoires complémentaires (Rives de guidage, butés finales, dérailleurs, déflecteurs, roues et d'autres types d'accessoires pneumatiques ou mécaniques). La vitesse et la capacité de charge selon les caractéristiques du matériel à transporter (poudre, poussière, grains, colis, etc.) comme le type de la bande transporteuse.

II.2.5. Diagnostic des pannes des convoyeurs à bande

Le diagnostic d'un convoyeur à bande est l'identification du mode de fonctionnement, à chaque instant, par ses manifestations extérieures. Son principe général consiste à confronter les données relevées au cours du fonctionnement réel du convoyeur avec la connaissance que l'on a de son fonctionnement normal ou défaillant [20].

Le diagnostic est défini essentiellement par deux tâches :

- L'observation des symptômes de la défaillance
- L'identification de leurs causes à l'aide d'un raisonnement logique [21], [22]

II.2.6. Stratégies de la maintenance des convoyeurs à bande

Il existe deux types des de la maintenance pour les systèmes des convoyeurs à bande :

- La maintenance préventive
- La maintenance corrective

II.2.6.1. Opération de la maintenance préventive

La remise en service du système obéit à certaines conditions [23] :

- ✓ Vérification de l'état de la bande transporteuse.
- ✓ Graissage des paliers.
- ✓ Vérification de l'état et du niveau de l'huile des réducteurs.
- ✓ Elimination de tout danger pouvant provenir de l'unité d'entraînement.
- ✓ Lubrification des réducteurs.
- ✓ Conformité de la tension et fréquence du réseau avec les valeurs indiquées sur la plaque signalétique.

II.2.6.2. Opérations de la maintenance corrective

Ces opérations peuvent être classées en deux groupes d'actions :

a. La localisation de défaillance

C'est l'action qui conduit à rechercher précisément les éléments par lesquels la défaillance se manifeste, on distingue [23] :

- **Le 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.
- **La 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.
- **Le 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.
- **Le diagnostic** : C'est l'identification de la cause probable de la défaillance 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 et de préciser les opérations de maintenance corrective nécessaires.

b. La remise en état

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

- **Le dépannage** : C'est une action sur un bien en panne, en vue de la remettre en état de fonctionnement compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.
- **La modification** : C'est une opération à caractère définitif effectuée sur un bien en vue d'améliorer le fonctionnement, ou d'en changer les caractéristiques d'emplois [23].

II.3. Les machines à cylindres

II.3.1. Définition

L'appareil à cylindres est la machine principale des installations meunières et des installations de mouture en général que ce soit pour la mouture de céréales ou d'autres produits (sel, granulé de caoutchouc, etc.). La mouture dans la meunerie comprend essentiellement les opérations de pré-broyage, de broyage, de désagrégée, de convertissage du caryopse, des céréales et des produits intermédiaires. Toutes les opérations susmentionnées

sont effectuées par l'appareil à cylindres en variant les paramètres techniques indiqués ci-après sur les cylindres de la machine. Les paramètres varient aussi bien pour les rouleaux d'alimentation du produit que pour ceux de broyage :

- Caractéristiques métallurgiques du matériau de construction, dimensions.
- Typologie des cannelures des surfaces extérieures des cylindres.
- Vitesses périphériques différentes entre les deux cylindres broyeurs.
- Un seul module composé d'une paire de cylindres: il est possible de placer le côté postérieur à une paroi.
- Deux modules opposés, unis entre eux par des boulons à haute résistance : combinaison semblable à celle de l'appareil à cylindres traditionnel.
- Deux modules opposés mais distancés entre eux de façon à permettre le passage des tuyaux pour le transport pneumatique des produits broyés. Le tout uni par des boulons et des pièces-entre toises de façon à composer une seule machine [24].



Figure II.9: La machine à cylindres

II.3.2. Les composants des machines à cylindres

La machine se compose essentiellement des parties suivantes (figure II.10):

A : Globe d'entrée produit

B : Sondes de détection de présence produit dans le globe

C : Dispositifs extractibles : Clapet de réglage-Rouleaux - Vis d'alimentation

D : Cylindres broyeurs: rapide et lent

E : Organes de transmission mouvement rouleaux d'alimentation

F : Organes de transmission mouvement cylindres broyeurs

G : Système de réglage du parallélisme et de la distance entre les cylindres broyeurs

H : Système de réglage des dispositifs d'alimentation du produit

I : Trémie de récolte produit par gravité ou par aspiration

1: Accessibilité frontale

2: Accessibilité latérale

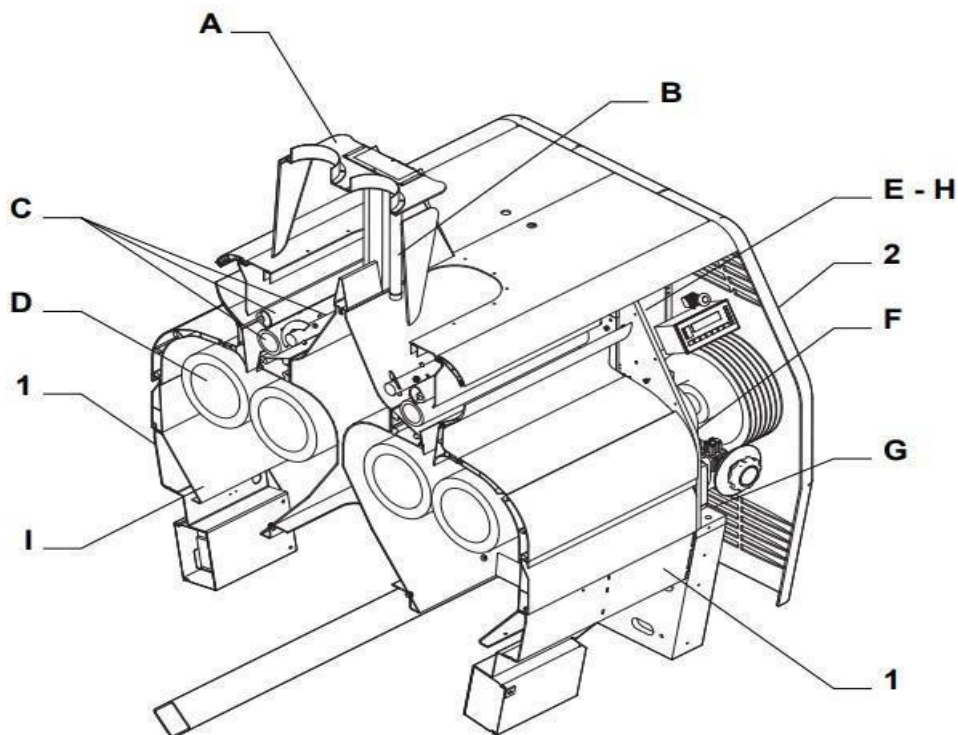


Figure II.10 : Les composants de machine à cylindres

II.3.3. Principe de fonctionnement de la machine à cylindre

Le produit déjà conditionné prêt à être broyer est introduit dans le globe d'alimentation (01). Grâce à des sondes (02) qui indiquent la quantité de produit se trouvant à l'intérieur du globe Figure (II.11), le flux du produit arrive sur les rouleaux de broyage (05) et est réglé automatiquement par un volet (03) et par les rouleaux de distribution (04). Après avoir été broyé, le produit descend par gravité ou par aspiration dans des trémies (06) et est convoyé à destination. Les cylindres broyeurs sont refroidis et maintenus propres (donc toujours efficaces) par un système de nettoyage de la surface des rouleaux ainsi que par de l'air aspiré depuis l'extérieur. Les cylindres ont un diamètre extérieur de 250mm ou de 300 mm. Dans certains passages il n'est pas nécessaire de tamiser le produit broyé, il est par conséquent possible de regrouper dans la même machine quatre passages.

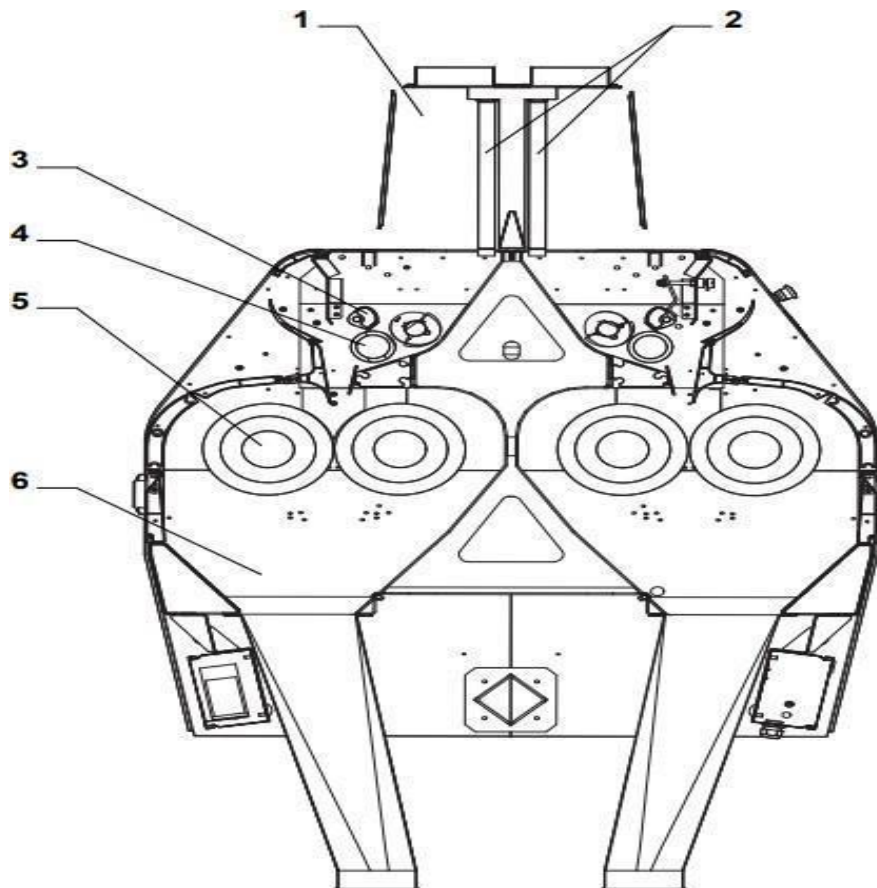


Figure II.11: Schéma fonctionnel de l'appareil à cylindres

II.3.4. Diagnostic des machines à cylindres

II.3.4.1. Les pannes des machines à cylindres

Les machines à cylindres peuvent rencontrer plusieurs pannes courantes, notamment :

- ✓ Problèmes de tension : des variations de tension dans le matériau peuvent causer des problèmes d'alignement des cylindres et des problèmes de formation de feuilles.
- ✓ Encrassement des cylindres : cela peut se produire en raison de l'accumulation de débris sur les cylindres. L'encrassement peut réduire la qualité de la feuille et provoquer des cassures.
- ✓ Problèmes de lubrification : une lubrification inadéquate peut entraîner une usure prématurée des cylindres et réduire la qualité de la feuille.
- ✓ Problèmes de chauffage : des problèmes de chauffage peuvent survenir lorsque les cylindres ne chauffent pas de manière uniforme, ce qui peut entraîner des cassures de feuilles.
- ✓ Problèmes d'alignement : des problèmes d'alignement des cylindres peuvent entraîner une formation inégale de la feuille et une usure prématurée des cylindres.

Il est important de procéder à un entretien régulier et préventif pour éviter ces pannes et maintenir les machines à cylindres en bon état de fonctionnement.

II.3.4.2. Les effets des pannes

Les effets des pannes courantes des machines à cylindres peuvent être différents selon la nature de la panne et le moment où elle survient. Voici quelques effets possibles :

- ✓ Problèmes de qualité du produit : les variations de tension, l'encrassement des cylindres et les problèmes de lubrification peuvent tous avoir un impact sur la qualité de la feuille produite par la machine à cylindres. La feuille peut avoir des irrégularités, des imperfections ou des cassures.
- ✓ Perte de temps et d'argent : les pannes de la machine à cylindres peuvent entraîner une interruption de la production, ce qui peut entraîner une perte de temps et d'argent pour l'entreprise. Les réparations nécessaires peuvent également être coûteuses.
- ✓ Risques pour la sécurité : les pannes de la machine à cylindres peuvent également présenter des risques pour la sécurité des travailleurs qui l'utilisent ou qui se trouvent à

proximité de la machine. Des précautions doivent être prises pour minimiser ces risques.

- ✓ Diminution de la durée de vie de la machine : une utilisation continue de la machine avec des pannes non réparées peut entraîner une usure prématurée de ses composants, ce qui peut réduire sa durée de vie.

Il est important de réagir rapidement aux pannes de la machine à cylindres pour minimiser les effets négatifs et réduire les coûts associés. Une maintenance régulière et préventive peut également aider à réduire les risques de pannes et à maintenir la machine en bon état de fonctionnement.

II.3.4.3. Diagnostic des pannes des machines à cylindres

La maintenance préventive et la maintenance corrective peuvent aider à diagnostiquer les pannes des machines à cylindres. Voici comment chacun de ces méthodes peut être utilisée pour le diagnostic :

- **Maintenance préventive**

Cette méthode implique une inspection régulière de la machine à cylindres pour détecter tout signe de problèmes potentiels avant qu'ils ne se manifestent en pannes plus importantes. Voici quelques éléments clés qui peuvent être inspectés :

- ✓ Les cylindres : ils doivent être inspectés pour tout signe d'usure, de fissures ou d'encrassement. Tout problème de surface peut affecter la qualité de la feuille produite.
- ✓ Les systèmes de tension : ils doivent être inspectés pour tout signe de variation de tension dans le matériau, qui peut causer des problèmes d'alignement des cylindres.
- ✓ Les systèmes de chauffage : ils doivent être inspectés pour tout signe de surchauffe ou de sous-chauffe, qui peuvent causer des cassures de feuilles ou des problèmes de qualité.

- **Maintenance corrective**

Cette méthode est utilisée pour résoudre les problèmes de panne après leur apparition. Elle peut inclure :

- ✓ La vérification des composants endommagés : lorsque la panne est identifiée, la maintenance corrective peut être utilisée pour vérifier les composants endommagés et les remplacer si nécessaire.
- ✓ Le nettoyage des cylindres : si l'encrassement des cylindres est identifié comme étant la cause de la panne, la maintenance corrective peut être utilisée pour nettoyer les cylindres et les remettre en état de fonctionnement.
- ✓ Le remplacement des pièces usées : si l'usure des composants est identifiée comme la cause de la panne, la maintenance corrective peut être utilisée pour remplacer les pièces usées et améliorer la durée de vie de la machine.

En utilisant une combinaison de maintenance préventive et corrective, les pannes des machines à cylindres peuvent être diagnostiquées de manière efficace, minimisant ainsi les temps d'arrêt et les coûts de réparation.

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté les convoyeurs et les machines à cylindres avec leurs composants, ainsi que leur principe de fonctionnement.

Nous avons découvert que les convoyeurs et les machines à cylindre sont des outils essentiels dans de nombreuses industries pour faciliter le transport et le traitement de matériaux en vrac de manière efficace et économique.



CHAPITRE III

**ETUDE ET CALCUL DE LA FIABILITÉ DE
CONVOYEUR ET DE LA MACHINE À CYLINDRES**

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, on va étudier l'évaluation de la fiabilité d'un convoyeur à bande et d'une machine à cylindre. En se basant sur l'historique des machines, nous calculons le temps de bon fonctionnement, ce qui nous permet d'obtenir les valeurs réelles de la fonction de répartition et de fiabilité. En utilisant le modèle de Weibull, nous sommes en mesure de calculer les valeurs de chaque fonction de répartition, de fiabilité et le taux de défaillance. Ces résultats sont représentés graphiquement pour chaque paramètre. À la fin de ce chapitre, nous élaborerons un plan de maintenance préventive afin de réduire les temps d'arrêt des machines.

III.2. Etude et calcul de la fiabilité de convoyeur à bande**III.2.1. Historique des pannes**

Ce tableau représente l'historique des pannes de convoyeur à bande au niveau de l'entreprise.

N°	Date et heure de début de panne	Date et heure de fin de panne	Temps d'arrêt	Motif de panne	Type de maintenance
01	17/04/2020 à 19h30	17/04/2020 à 20h	30 min	Rouleau	Corrective
02	29/05/2020 à 10h	29/05/2020 à 12h	2h	Roulements	Préventive
03	11/06/2020 à 15h	11/06/2020 à 18h30	3h 30 min	Moteur	Corrective
04	08/09/2020 à 11h	08/09/2020 à 12h	1h	Poulie	Corrective
05	19/12/2020 à 16h	19/12/2020 à 18h	2h	Poulie	Corrective
06	03/03/2021 à 13h	03/03/2021 à 13h 30 min	30 min	Roulement	Corrective
07	05/05/2021 à 13h 30 min	06/05/2021 à 14h	30 min	Rouleau	Corrective
08	30/09/2021 à 11h	30/09/2021 à 12h	1h	Courroie	Corrective
09	15/12/2021 à 16h 30 min	15/12/2021 à 17h	30 min	Roulement	Corrective
10	18/02/2022 à 10h	18/02/2022 à 12h	2h	Roulement	Corrective
11	25//05/2022 à 17h	25/05/2022 à 18h	2h	Moteur	Préventive
12	19/07/2022 à 10h	19/07/2022 à 10h 30 min	30 min	Roulement	Corrective

Tableau III.1 : Historique des pannes d'un convoyeur à bande [25]

III.2.2. Calcul de temps de bon fonctionnement

D'après le dossier historique des pannes de convoyeur à bande, on calcule le temps de bon fonctionnement (TBF) de manière suivante :

$$TBF(n) = [(n + 1) - n] \quad (III.1)$$

TBF 1	998.5 h
TBF 2	1315.5 h
TBF 3	2132 h
TBF 4	2453 h
TBF 5	1773 h
TBF 6	1488.5 h
TBF 7	3549.5 h
TBF 8	1829 h
TBF 9	1553.5 h
TBF 10	2311 h
TBF 11	3624 h

Tableau III.2 : Calcul de temps de bon fonctionnement de convoyeur

III.2.3. Classement et calcul de temps de répartition de la fiabilité du système

Estimation de F (ti) et calcule de R (ti).

- Si $N \leq 25$, on utilise la méthode des rangs médians :

$$F(ti) = \frac{\sum Ni - 0.3}{(N + 0.4)} \quad (III.2)$$

$$R(ti) = 1 - F(ti) \quad (III.3)$$

N°	TBF croissant (h)	$\sum Ni$	F (ti)	F (ti) %	R (ti) %
01	998.5	1	0.06	6	94
02	1315.5	2	0.15	15	85
03	1488.5	3	0.24	24	76
04	1553.5	4	0.32	32	68
05	1773	5	0.41	41	59
06	1829	6	0.5	50	50
07	2132	7	0.59	59	41
08	2311	8	0.67	67	33
09	2453	9	0.76	76	24
10	3549.5	10	0.85	85	15
11	3624	11	0.94	94	6

Tableau III.3 : La fonction de répartition et de fiabilité de convoyeur

D'après le temps de bon fonctionnement et le nombre des interventions, on a calculé la fonction de répartition ainsi que les de valeurs de la fonction fiabilité de système étudié.

III.2.4. Application de la loi de Weibull

Nous utilisons le logiciel EasyFit pour tracer la droite de Weibull et déterminer ses paramètres pour calculer la fiabilité de convoyeur à bande.

Où $h(x)$ représente la droite de Weibull.

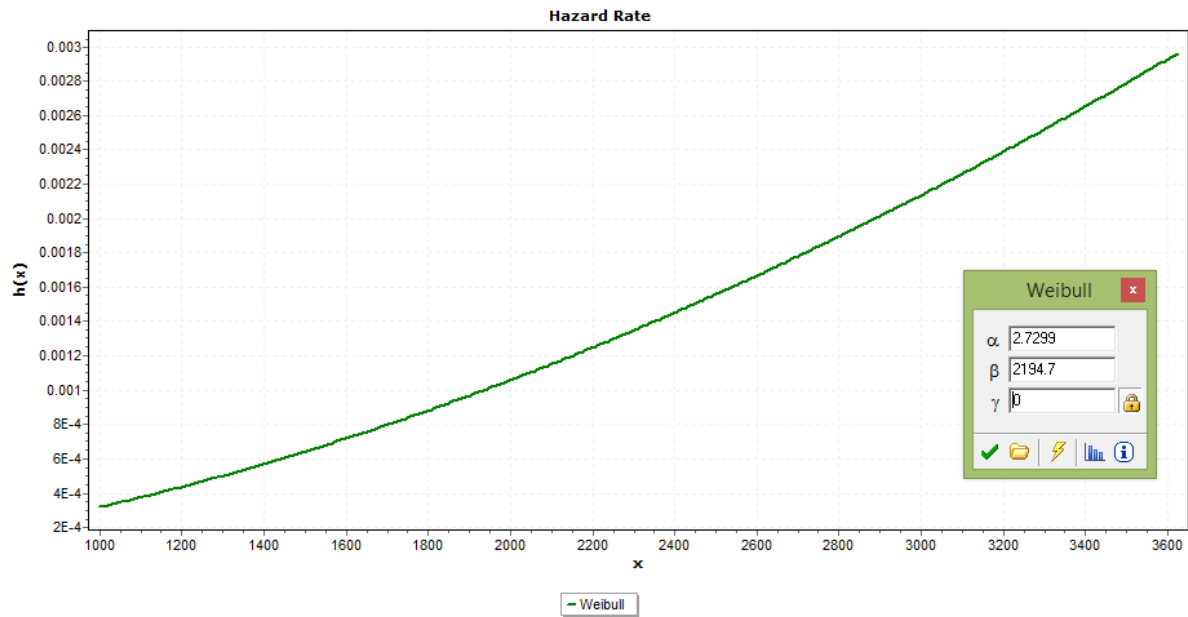


Figure III.1 : La courbe de Weibull de convoyeur

Après le tracé de la droite de Weibull, le logiciel nous a donné les valeurs des paramètres suivants :

Paramètre	Valeur
γ : paramètre de position	0
β : paramètre de forme	2.7299
η : paramètre d'échelle	2194.7

III.2.5. Calcul les différentes fonctions R (ti), F (ti), λ (ti) et f (ti)

A l'aide de la loi de Weibull, on calcul les fonctions suivantes :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (III.4)$$

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

$$f(t) = \lambda(t).R(t) \quad (III.6)$$

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

$$D(ni) = |F(ti) - F(ti)_{th}| \quad (III.8)$$

Où :

- λ (t) : Taux de défaillance (heure).
- γ : Paramètre de position de la loi de Weibull (heure).
- β : Paramètre de forme de la loi de Weibull.
- η : Paramètre d'échelle de la loi de Weibull (heure).

Rang	TBF (h)	F (ti)	R th (ti)	λ th (ti) (10 ⁻⁴)	F (ti) théorique	f th (ti) (10 ⁻⁴)	D (ni)
1	998.5	0.06	0.89	3.18	0.11	2.83	0.05
2	1315.5	0.15	0.78	5.13	0.22	4	0.07
3	1488.5	0.24	0.707	6.35	0.293	4.49	0.053
4	1553.5	0.32	0.677	6.84	0.323	4.63	0.003
5	1773	0.41	0.572	8.59	0.428	4.91	0.018
6	1829	0.5	0.544	9.05	0.456	4.92	0.044
7	2132	0.59	0.396	11.83	0.604	4.68	0.014
8	2311	0.67	0.316	13.6	0.684	4.29	0.17
9	2453	0.76	0.257	15.07	0.743	3.87	0.017
10	3549.5	0.85	0.024	28.5	0.976	0.68	0.126
11	3624	0.94	0.019	29.6	0.981	0.56	0.041

Tableau III.4 : Les différentes fonctions de la loi de Weibull

III.2.6. Test d'adéquation (test Kolmogorov-Smirnov)

D'après le tableau précédent on trouve que la fréquence maximale est:

$$Dn_{\max} = 0.17 \quad \text{(III.9)}$$

Et selon la table de Kolmogorov-Smirnov (voir l'annexe 1) avec :

n = 11 et $\alpha = 0.05$ on trouve:

$$D(n, \alpha) = 0.39122 \quad \text{(III.10)}$$

Donc $Dn_{\max} < D(n, \alpha)$ ou $0.17 < 0.39122$

Alors la loi de Weibull est acceptée pour ce système.

III.2.7. Calcul de la fiabilité de convoyeur

MUT : correspond à la durée moyenne de temps de bon fonctionnement après réparation du système.

$$MUT = \gamma + A \times \eta \quad (III.11)$$

On a : $\eta = 2194.7$; $\beta = 2.73$; $\gamma = 0$;

Et selon la table de la loi de Weibull on trouve (voir l'annexe 2) :

$A = 0.888986$	et	$B = 0.34963$
----------------	----	---------------

$$MUT = 0 + 0.888986 \times 2194.7 = 1952.97 \quad (III.12)$$

$MTBF = 1952.97h$	(III.13)
-------------------	----------

D'après l'équation (III.4), on trouve la fiabilité de convoyeur :

$R(t) = 0.483 = 48.3\%$	(III.14)
-------------------------	----------

III.2.8. La fonction de fiabilité théorique

R(t) : Probabilité de non- défaillance dans l'intervalle de temps [0, t] c'est à dire la probabilité de défaillance au-delà du temps (t).

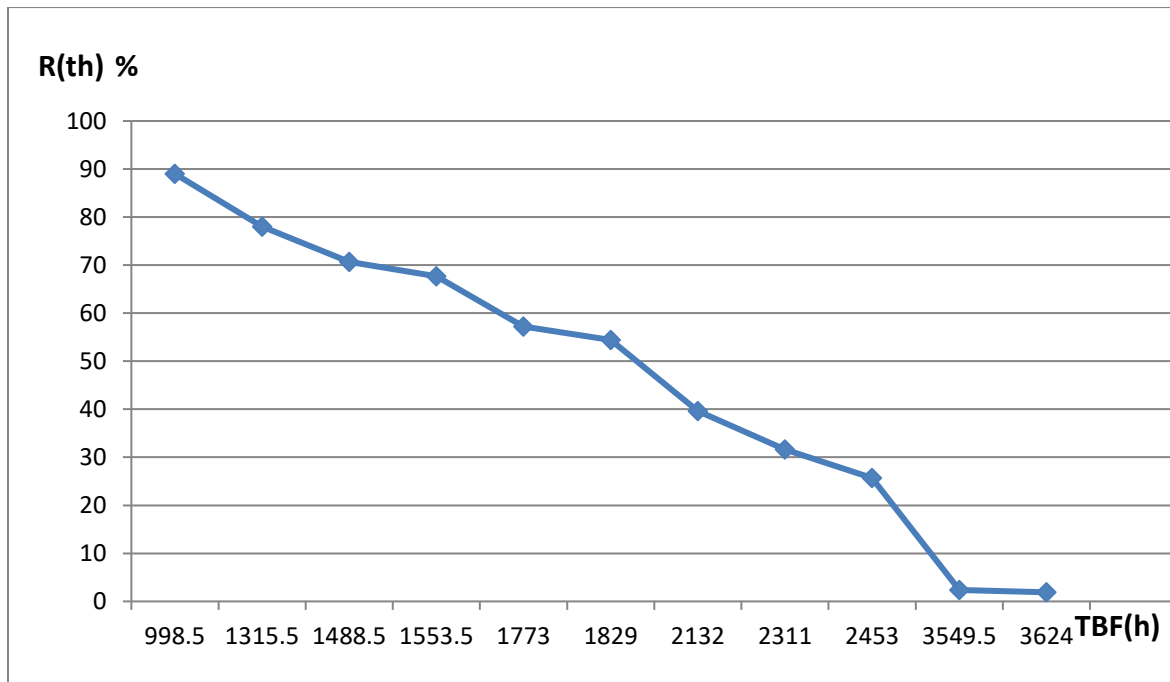


Figure III.2 : Courbe de fonction de fiabilité de convoyeur

D'après l'allure obtenue, on observe que la fonction de fiabilité R(t) est décroissante avec le TBF. Cela suggère que les défauts sont causés par des défaillances mécaniques et

électriques, telles que les vibrations de convoyeur, l'usure, la dégradation, la surcharge, les erreurs de conception, ou une maintenance inadéquate. Tout cela peut entraîner des pannes et des interruptions dans le fonctionnement du système, ce qui peut entraîner des coûts importants en termes de temps, d'argent et de ressources. Étant donné que le temps $t(MTBF)=1952,97$ heures est atteint, il est recommandé de passer à une stratégie de maintenance préventive conditionnelle pour diminuer le nombre des pannes et augmenter la fiabilité de système.

III.2.9. La fonction de répartition théorique

$F(t)$: Probabilité d'avarie cumulée au temps de 0 à t.

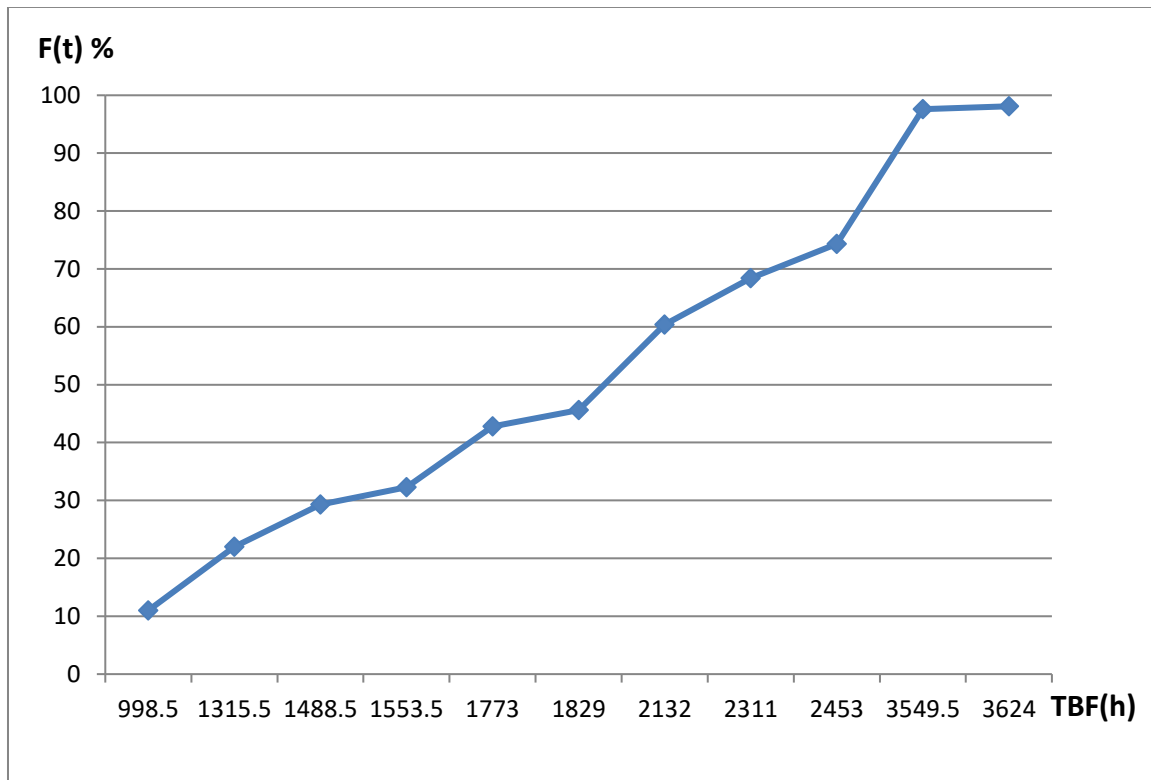


Figure III.3 : Courbe de fonction de répartition

D'après l'allure obtenue, on constate qu'il est cohérent avec l'étude théorique de la loi de Weibull, qui montre que la fonction de répartition est inversement proportionnelle à la fonction de fiabilité $R(t)$. Cela signifie que si la fiabilité diminue, la probabilité de défaillance augmente. En revanche, la fonction de répartition est proportionnelle au temps de fonctionnement, ce qui signifie que plus le temps d'utilisation augmente, plus il est probable qu'il y ait une ou plusieurs défaillances du système.

III.2.10. Densité de probabilité théorique

$f(t)$: Probabilité d'avarie au temps (t) , (probabilité d'avoir une seule avarie au temps (t)).

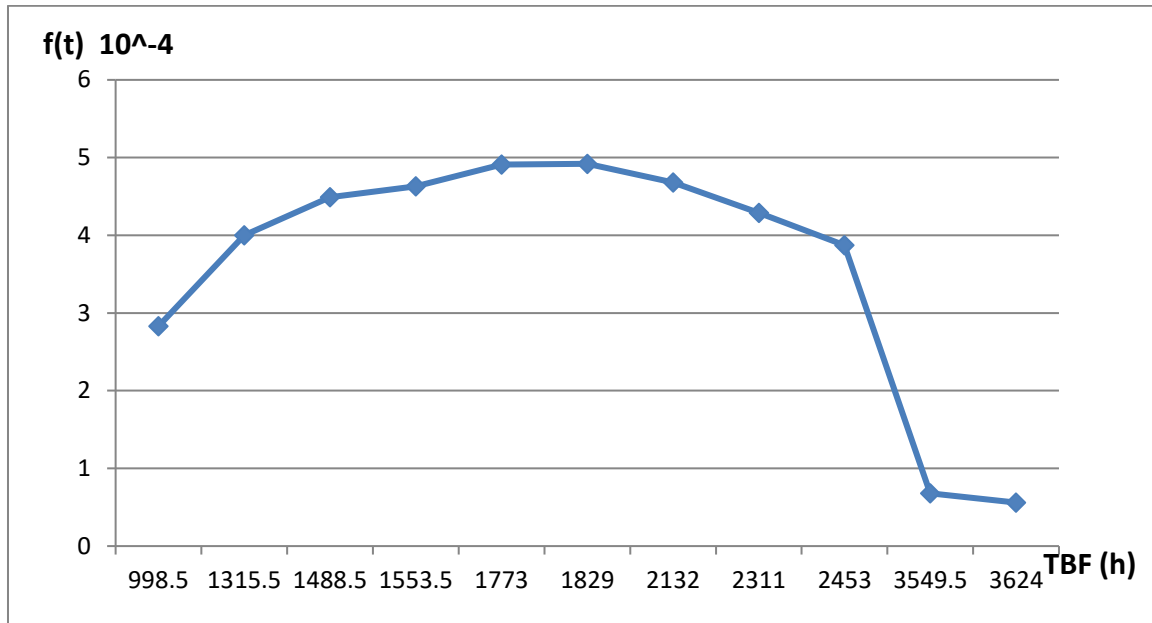


Figure III.4 : Courbe de densité de probabilité

La fonction $f(t)$ nous permet de visualiser la forme de la distribution des défaillances enregistrées et leur répartition par rapport aux TBF. Dans notre cas, la densité de probabilité augmente dans l'intervalle $[998.5-1829]$ et diminue dans l'intervalle $]1829-3624]$.

III.2.11. Fonction de taux de défaillance

$\lambda(t)$ représente la probabilité qu'un dispositif en bon état à l'origine subisse une panne au cours de l'unité de temps $(t + \Delta t)$.

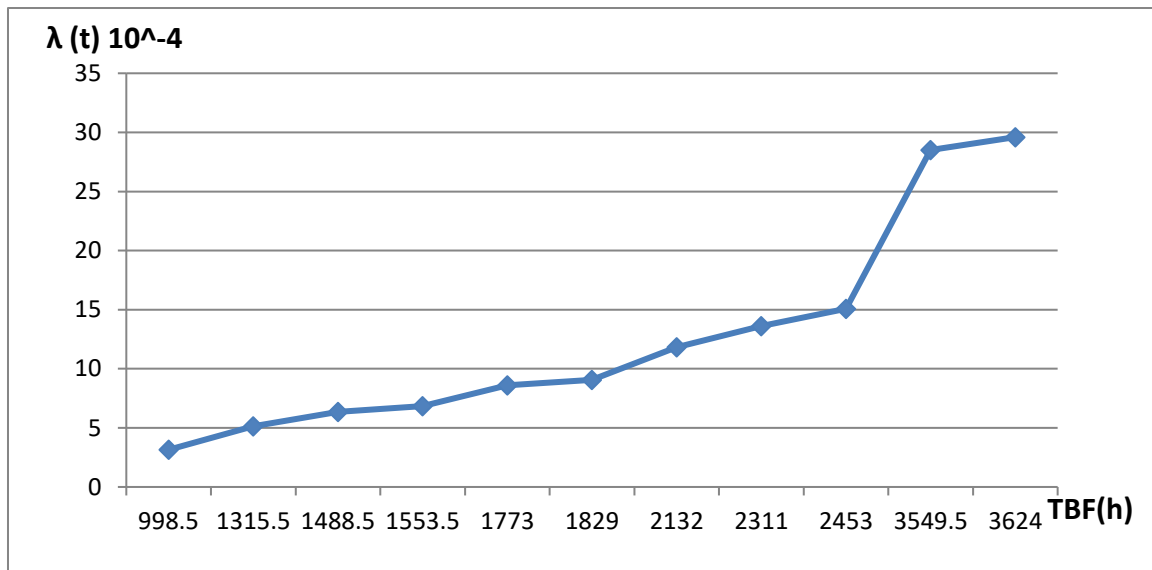


Figure III.5 : Courbe de taux de défaillance

Nous pouvons observer que le taux de défaillance augmente, ce qui est en accord avec la loi de Weibull. Si nous comparons cette courbe avec celle en forme de baignoire, nous constatons que le taux de panne est plus élevé. Par conséquent, nous pouvons en conclure que le convoyeur étudié se situe dans la période de vieillissement (avec un paramètre $\beta > 1$).

III.2.12. Analyse des résultats de fiabilité

Selon nos calculs et les résultats obtenus, nous avons trouvé que la fiabilité de notre système est de 48.3 %. Cependant, notre système a connu nombreux arrêts. Ce problème peut être attribué à plusieurs raisons :

- Le système est en vieillissement.
- Manque de pièces de rechange.
- Absence de maintenance préventive.
- Mode d'utilisation non respecté.
- Environnement agressif.

Et pour faire diminuer les arrêts et augmenter la fiabilité de notre système, nous proposons quelques solutions possibles :

- Planifier un programme de maintenance préventive amélioré.
- Assurer la disponibilité des pièces de rechange de qualité supérieure.
- Améliorer les conditions environnementales.
- Améliorer le mode d'utilisation.

- Former et sensibiliser le personnel.

III.2.13. Diagramme de PARETO et classification ABC

Le tableau suivant montre les différentes données pour les analyser avec le diagramme de Pareto.

Organe	Durée de panne (h)	Durée d'arrêt (%)	Cumulé (%)
Moteur	5.5	34.375	34.375
Roulements	5.5	34.375	68.75
Poulie	3	18.75	87.5
Rouleau	1	6.25	93.75
Courroie	1	6.25	100
Total	16	100	/

Tableau III.5 : Durée des pannes de différents organes

D'après les résultats de tableau, on va représenter le diagramme de Pareto dans la figure ci-dessus :

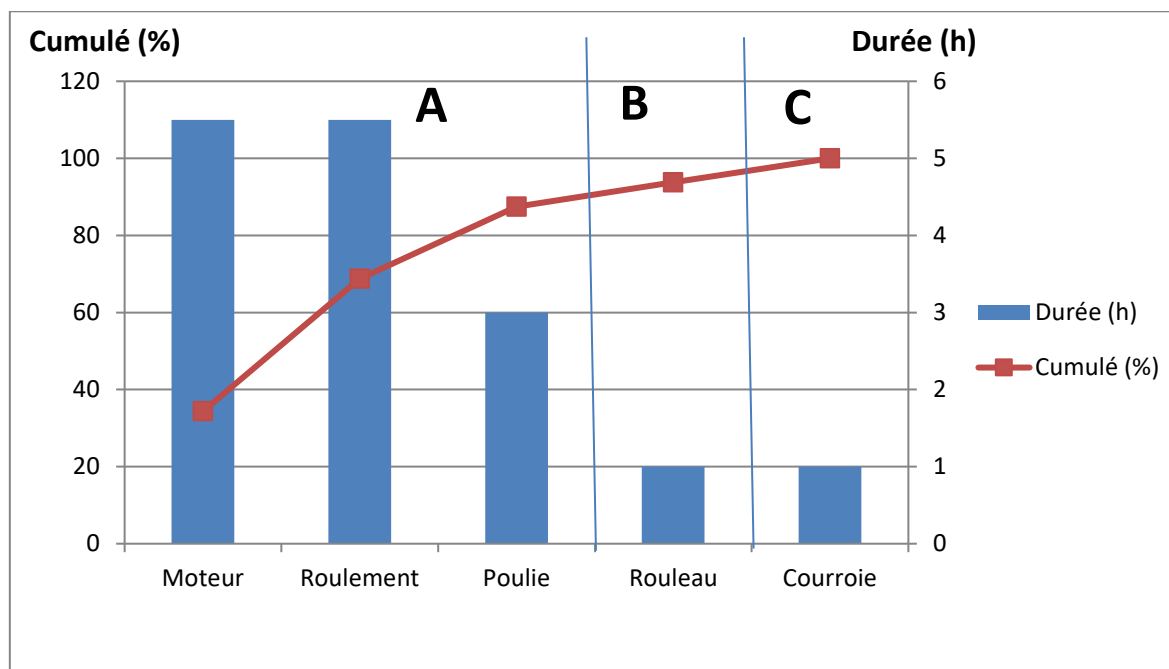


Figure III.6 : Diagramme de Pareto pour le convoyeur

Commentaire sur le diagramme :

- Zone **A** : on trouve que le moteur, les roulements et la poulie représentent 87.5% des causes de défaillance de convoyeur, pour cela il faudra des interventions nécessaires pour éliminer ou de réduire les pannes d'au moins de 50%.
- Zone **B** : lorsque les causes principales seront réduites de 50%, les rouleaux deviendront la cause principale.
- Zone **C** : les causes de courroie deviendront négligeables, pour cela, il n'est pas judicieux de perdre du temps pour analyser ces sources de problèmes et faire des actions.

III.2.14. Analyse AMDEC

Nous déterminons dans le tableau ci-dessus les causes des pannes usuelles de convoyeur étudié avec [28] :

- La gravité de panne:
 - Note 1 : arrêt de production inférieure à 1 heure.
 - Note 2 : arrêt de production inférieure à 4 heures.
 - Note 3 : arrêt de production inférieure à 1 jour.
 - Note 4 : arrêt de production supérieure à 1 jour.
- La fréquence de panne :
 - Note 1 : moins d'une fois par an.
 - Note 2 : moins d'une fois par mois.
 - Note 3 : moins d'une fois par semaine.
 - Note 4 : plus d'une fois par semaine.
- La détection de panne:
 - Note 1 : détection efficace permettant une action préventive.
 - Note 2 : système présentant des possibilités de non-détection.
 - Note 3 : système de détection peu fiable.
 - Note 4 : aucune détection
- La criticité :

$$C = G * F * D \quad (\text{III.15})$$

Le Groupe de travail doit décider d'un seuil de criticité pour intervenir au delà de ce seuil.

Organe	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effets	G	F	D	C
Moteur	Entrainer le convoyeur	Rupture de roulement	Manque de graisse	Blocage des pignons	1	2	2	4
		Rupture de l'arbre	Augmentation de température	Arrêt de moteur	2	1	3	6
Réducteur	Contrôle de vitesse de moteur	Corrosion	Manque de lubrifiant	Broutage des engrenages	1	1	2	2
		Usure des pignons	Huile insuffisant	Réduction de l'efficacité	2	1	2	4
Accouple-ment	Assurer la liaison entre l'arbre de moteur et l'arbre de réducteur	Usure des roulements	Vieillessement	Mauvais entraînement de moteur	2	1	1	2
		Grippage des pignons	Défaut d'alignement des arbres	Bruit excessif	2	1	3	6
Les rouleaux	Entraînement de bande de convoyage	Usure des rouleaux	Vieillessement	Usure de bande	1	2	4	8
Les racleurs	Gratter la matière	Usure des racleurs	Surcharge	Perte d'efficacité de nettoyage	1	2	1	2

Tableau III.6 : Tableau d'analyse d'AMDEC de convoyeur

* **Synthèse d'étude :** nous avons identifié les pannes usuelles sur les composants essentiels de convoyeur étudié, nous allons proposer ces actions préventives, correctives et amélioratives pour traiter les problèmes survenus :

- Changement et graissage des roulements de moteur.
- Respecter la charge conseillée.
- Nettoyage de réservoir et de le remplir avec une nouvelle huile.
- Changement des rouleaux et les racleurs usés.
- Surveillance des vibrations et la température de moteur.
- Contrôle systématique d'alignement d'accouplement.
- Analyse d'huile de réducteur.

*** Arbre des causes :**

- **Main d'œuvre :** erreur de montage, manque de formation et de motivation, erreur de diagnostic, mauvaise utilisation des machines, absence, ignorance.
- **Milieu :** température anormale, manque d'éclairage, changement des postes de travail, taux de poussière et présence d'eau.
- **Méthodes :** absence de mode opératoire, méthode obsolète, planning de maintenance absent, manque de pièce de rechange.
- **Machine :** défaut de conception, manque de lubrifiant, défaut d'aspiration, défaut d'alimentation, usure, vibration de moteur.
- **Matériau :** mauvaise conditions de stockage, lubrifiant pollué, qualité de produit non conforme.

III.3. Etude et calcul de la fiabilité de la machine à cylindres

III.3.1. Historique des pannes

Ce tableau représente l'historique des pannes de la machine à cylindre au sein de l'entreprise.

N°	Date et heure de début de panne	Date et heure de fin de panne	Temps d'arrêt	Motif de panne	Type de maintenance
01	02/01/2019 à 11h	02/01/2019 à 12h	1h	Pignon	Corrective
02	23/09/2019 à 13h 30 min	23/09/2019 à 16h	2h 30 min	Roulement	Corrective
03	02/03/2020 à 9h	02/03/2020 à 10h	1 h	Courroie	Corrective
04	07/05/2020 à 10h 30 min	07/05/2020 à 12h	1h 30 min	Joint	Préventive
05	14/12/2020 à 16h	14/12/2020 à 16h 30 min	30 min	Courroie	Corrective
06	20/02/2021 à 08h	20/02/2021 à 10h	2 h	Roulement	Corrective
07	15/06/2021 à 11h	15/06/2021 à 14h	3 h	Poulie	Corrective
08	27/06/2021 à 12h	27/06/2021 à 13h	1 h	Courroie	Préventive
9	23/07/2021 à 9h 30 min	23/07/2021 à 12 h	2h 30 min	Moteur	Corrective
10	19/02/2022 à 14h	19/02/2022 à 16 h	2 h	Roulement	Corrective
11	11/10/2022 à 11h 30 min	11/10/2022 à 15 h 30 min	4 h	Cylindre	Corrective

Tableau III.7 : Historique des pannes de machine à cylindres [25]

III.3.2. Calcul de temps de bon fonctionnement

D'après le dossier historique des pannes de la machine à cylindre et l'équation (III.1), on calcul le temps de bon fonctionnement (*TBF*) du système :

TBF 1	6098.5 h
TBF 2	3859.5 h
TBF 3	1585.5 h
TBF 4	6895 h
TBF 5	1624 h
TBF6	2763 h
TBF7	289 h
TBF 8	910.5 h
TBF 9	5068.5 h
TBF 10	5613.5 h

Tableau III.8 : Temps de bon fonctionnement de la machine à cylindre

III.3.3. Classement et calcul de temps de répartition de la fiabilité de système

Estimation de $F(t_i)$ et calcule de $R(t_i)$.

- Si $N \leq 25$, on utilise les équations (III.2) et (III.3).

N°	TBF croissant (h)	$\sum Ni$	F (ti)	F (ti) %	R (ti) %
01	289	1	0.067	6.7	93.3
02	910.5	2	0.163	16.3	83.7
03	1585.5	3	0.259	25.9	74.1
04	1624	4	0.355	35.5	64.5
05	2763	5	0.451	45.1	54.9
06	3859.5	6	0.548	54.8	45.2
07	5068.5	7	0.644	64.4	35.6

08	5613.5	8	0.74	74	26
09	6098.5	9	0.836	83.6	16.4
10	6895	10	0.932	93.2	6.8

Tableau III.9 : La fonction de répartition et de fiabilité de machine à cylindre

D’après le temps de bon fonctionnement et le nombre des interventions, on a calculé la fonction de répartition ainsi les valeurs de la fonction de fiabilité de système étudié.

III.3.4. Application de la loi de weibull

Nous utilisons le logiciel EasyFit pour tracer la droite de Weibull et déterminer ses paramètres pour calculer la fiabilité de la machine à cylindre.

Où $h(x)$ représente la droite de Weibull.

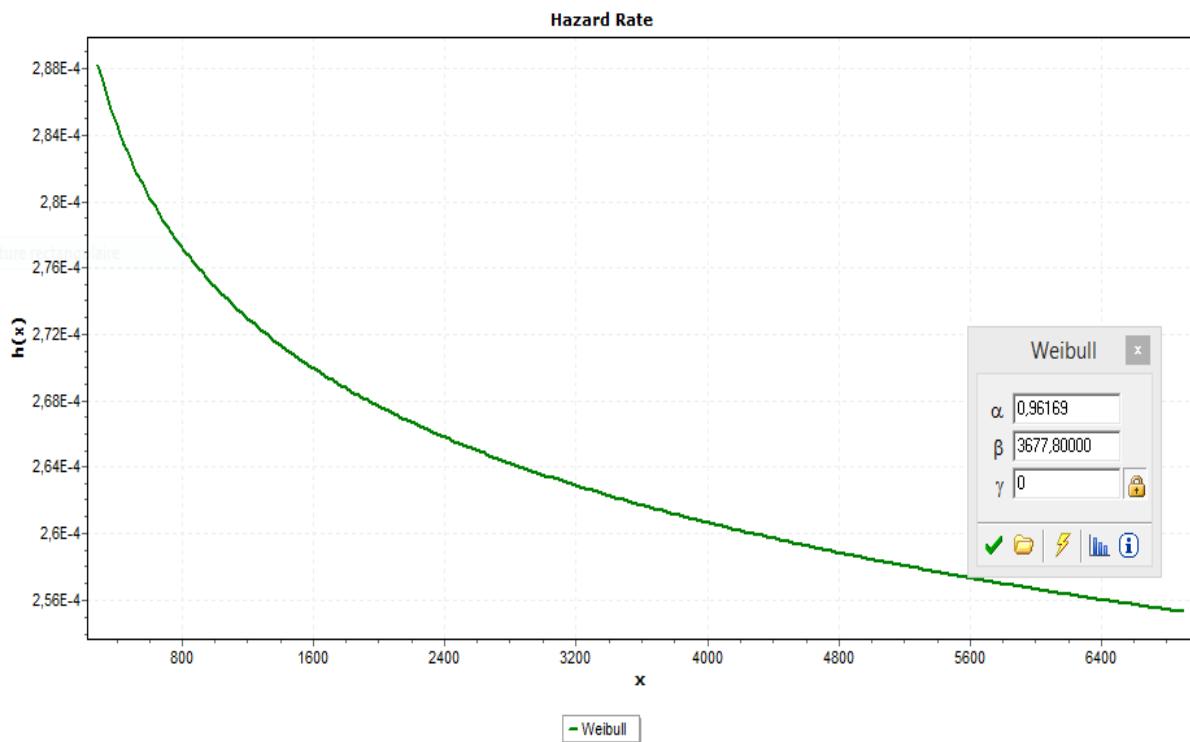


Figure III.7 : La courbe de Weibull de la machine à cylindre

Après le tracement de la droite de Weibull, le logiciel nous a donné les valeurs des paramètres suivants :

Paramètre	Valeur
γ : paramètre de position	0
β : paramètre de forme	0.96169
η : paramètre d'échelle	3677.8

III.2.5. Calcul des différentes fonctions $R(t_i)$, $F(t_i)$, $\lambda(t_i)$ et $f(t_i)$

A l'aide de la loi de Weibull, on calcule les fonctions suivantes :

Rang	TBF (h)	F (ti)	R th (ti)	λ th (ti) (10 ⁻⁴)	F (ti) théorique	f th (ti) (10 ⁻⁴)	D (ni)
01	289	0.067	0.916	2.88	0.084	2.638	0.017
02	910.5	0.163	0.769	2.46	0.231	1.891	0.068
03	1585.5	0.259	0.64	2.523	0.36	1.74	0.101
04	1624	0.355	0.633	2.526	0.337	1.598	0.018
05	2763	0.451	0.467	2.58	0.533	1.205	0.082
06	3859.5	0.548	0.35	2.615	0.65	0.915	0.102
07	5068.5	0.644	0.256	2.643	0.744	0.676	0.1
08	5613.5	0.74	0.222	2.654	0.778	0.589	0.038
09	6098.5	0.836	0.196	2.663	0.804	0.521	0.032
10	6895	0.932	0.16	2.676	0.84	0.428	0.092

Tableau III.10 : Les différentes fonctions de la loi de Weibull

III.3.6. Test d'adéquation (test Kolmogorov-Smirnov)

D'après le tableau précédent on trouve la fréquence maximale :

$$Dn_{\max} = 0.102 \quad (\text{III.16})$$

Et selon la table de Kolmogorov-Smirnov (voir l'annexe 1) avec :

$n = 10$ et $\alpha = 0.05$ on trouve:

$$D(n, \alpha) = 0.40925 \quad (\text{III.17})$$

Donc $Dn_{\max} < D(n, \alpha)$ ou $0.102 < 0.40925$

Alors la loi de Weibull est acceptée pour ce système.

III.3.7. Calcul de la fiabilité de machine à cylindre

On a : $\eta = 3677.8$; $\beta = 0.96$; $\gamma = 0$;

Et selon la table de la loi de Weibull, on trouve (voir l'annexe 2) :

$A = 1.02341$	et	$B = 1.07769$
---------------	----	---------------

D'après l'équation (III.11) nous pouvons calculer donc :

$$MUT = 0 + 1.02341 \times 3677.8 = 3763.9 \quad (III.18)$$

$MTBF = 3763.9h$ (III.19)

D'après l'équation (III.4), on trouve la fiabilité du système :

$R(t) = 0.36 = 36\%$ (III.20)

III.3.8. La fonction de fiabilité théorique

$R(t)$: Probabilité de non- défaillance dans l'intervalle de temps $[0, t]$ c'est à dire la probabilité de défaillance au-delà du temps (t) ,

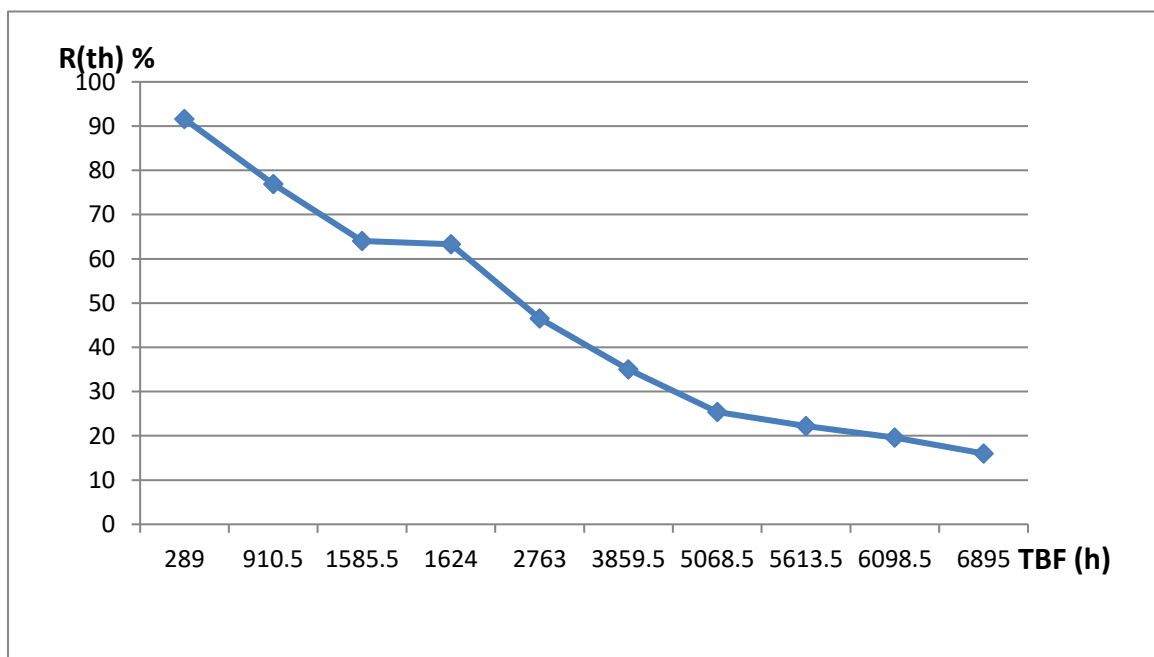


Figure III.8 : Courbe de fonction de fiabilité

D'après le graphe obtenu, nous constatons que la fonction de fiabilité $R(t)$ est décroissante avec le temps moyen entre les pannes. Cela indique que les pannes sont causées soit par des défaillances mécanique ou électrique, notamment les vibrations, la surcharge, conception irrégulière ou une maintenance inutile. Au temps où le système atteint l'instant 3763.9 heures, l'équipe de maintenance doit réagir et planifier une nouvelle stratégie de maintenance pour augmenter la fiabilité et réduire les temps d'arrêt du système.

III.3.9. La fonction de la répartition théorique

$F(t)$: Probabilité d'avarie cumulée au temps de 0 à t.

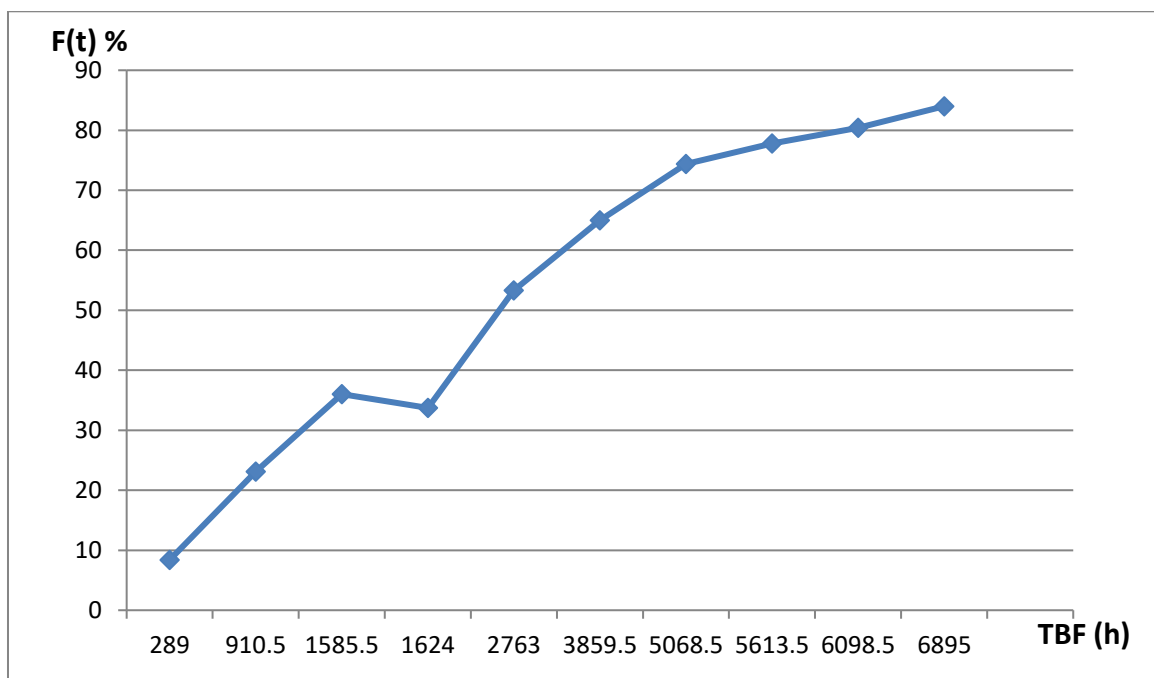


Figure III.9 : Courbe de fonction de répartition théorique

Le graphe obtenu est en accord avec notre étude théorique de la loi de Weibull qui démontre une relation inverse entre la fonction de répartition et la fonction de fiabilité. Ainsi, lorsque la fiabilité du système diminue, la probabilité de défaillance augmente. Parallèlement, la fonction de répartition augmente au fil de temps de fonctionnement, ce qui implique que plus le temps d'utilisation augmente, plus il est probable d'apparition d'une ou plusieurs défaillances sur le système.

III.3.10. La fonction de densité de probabilité théorique

$f(t)$: Probabilité d’avarie au temps (t) , (probabilité d’avoir une seule avarie au temps (t)).

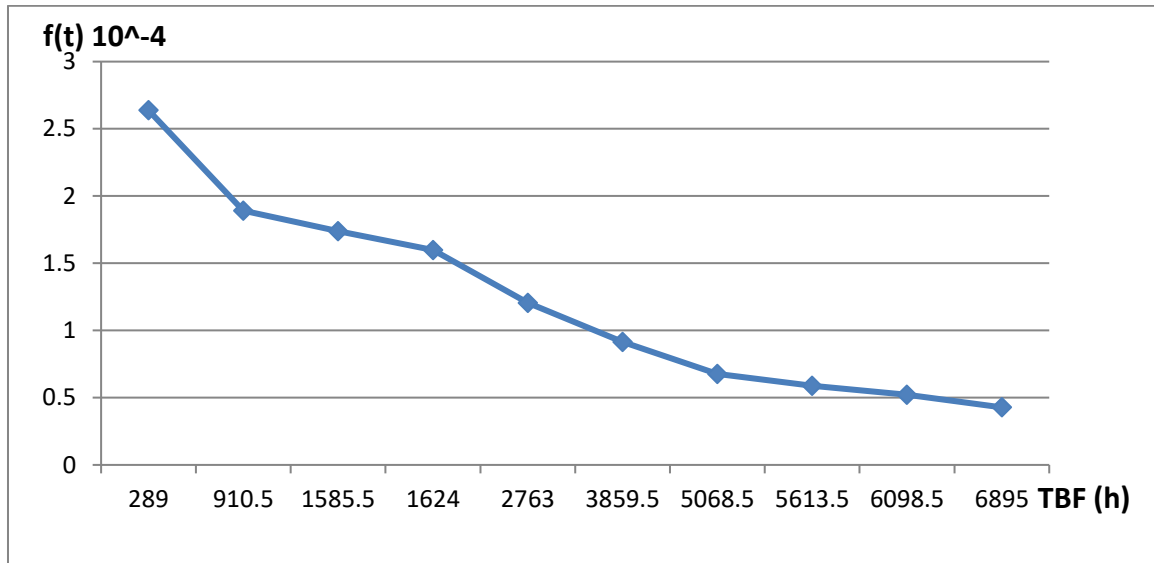


Figure III.10 : Courbe de densité de probabilité théorique

La fonction $f(t)$ nous offre une représentation visuelle de la distribution des défaillances enregistrées et de leur répartition en fonction des temps moyens entre les pannes. Dans notre cas, la densité de probabilité montre une diminution avec le temps de fonctionnement.

III.3.11. La fonction de taux de défaillance

$\lambda(t)$: Probabilité d’avarie au temps $(t + \Delta t)$ d’un dispositif qui était en bon fonctionnement au début de l’unité de temps (t) .

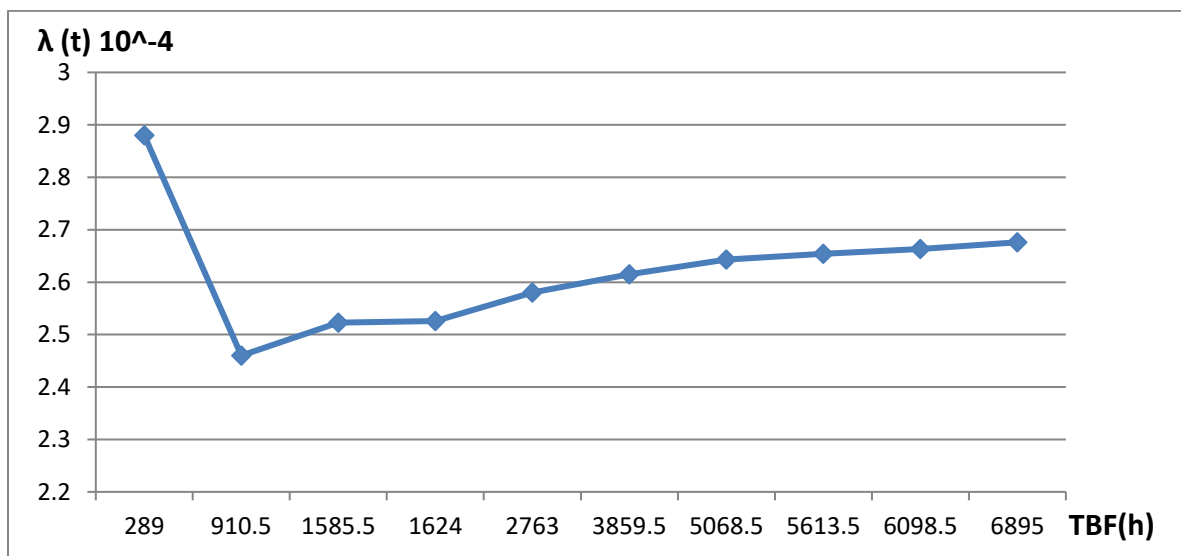


Figure III.11 : Courbe de taux de défaillance.

D'après l'allure obtenu, nous constatons une diminution du taux de défaillance dans l'intervalle [289 ; 910.5] et une petite augmentation dans l'intervalle]910.5 ; 6895]. En comparant cette courbe avec celle en forme de baignoire, nous remarquons que le taux d'apparition de panne est en diminution puis une petite augmentation au fil de temps. Par conséquent, nous pouvons conclure que la machine à cylindre étudié se trouve dans la période de jeunesse (avec un paramètre $\beta < 1$).

III.3.12. Analyse des résultats de fiabilité

Après nos calculs et les résultats obtenus, nous avons trouvé que la fiabilité de la machine à cylindre est de 36 %. En effet, notre système a subi plusieurs pannes malgré qu'il se trouve dans la période de jeunesse, ce qui signifie que la machine n'est pas fiable. Ce problème peut être attribué à plusieurs facteurs :

- Erreurs de conception.
- Fabrication défectueuse.
- Variabilité de qualité des composants.
- Conditions d'utilisation inadaptées.

Pour diminuer les arrêts et augmenter la fiabilité de système, nous proposons quelques solutions possibles :

- Programmer une nouvelle politique de maintenance.
- Faire des tests approfondis pour la détection d'éventuels problèmes des composants.
- Formation du personnel et amélioration de conception.

III.3.13. Diagramme de PARETO et classification ABC

Ce tableau montre les différentes données pour les analyser avec le diagramme de Pareto :

Organe	Durée de panne (h)	Durée d'arrêt (%)	Cumulé (%)
Roulement	6.5	38.23	38.23
Poulie	3	17.64	55.87
Moteur	2.5	14.7	70.57
Courroie	2.5	14.7	85.27
Joint	1.5	8.82	94.09

Pignon	1	5.88	100
Total	17	100	/

Tableau III.12 : Durée de panne de différents organes.

D’après les résultats du tableau, on va représenter le diagramme de Pareto dans la figure ci-dessus :

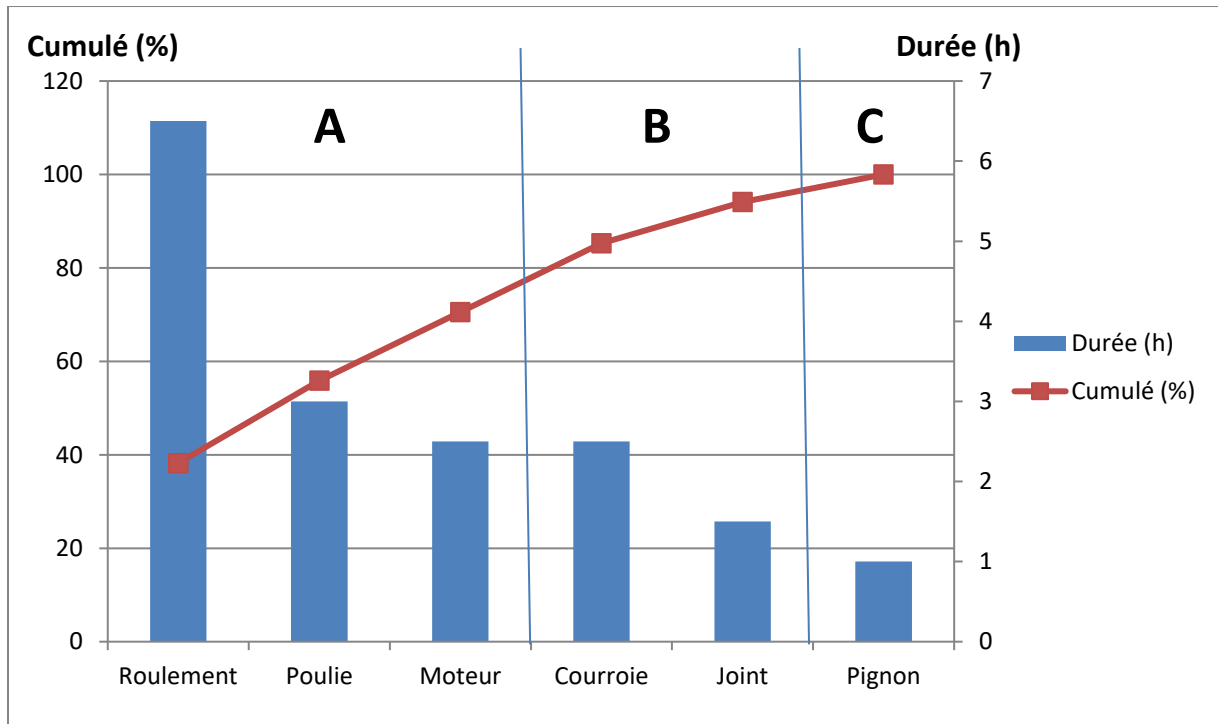


Figure III.13 : Diagramme de Pareto pour la machine à cylindre

Commentaire sur le diagramme

- Zone A : on trouve que les roulements, la poulie et le moteur représentent 70.57% des causes de défaillance de la machine à cylindre, pour cela il faudra des interventions importantes pour supprimer ou de diminuer les pannes d’au moins de 50%.
- Zone B : lorsque les causes principales seront réduites de 50%, la courroie et le joint deviendront la cause principale des arrêts de la machine.
- Zone C : les causes de pignon deviendront négligeables, c’est pour ça qu’il n’est pas important de réagir et faire des interventions pour régler de telles problèmes.

III.3.14. Analyse AMDEC

Dans le tableau AMDEC nous noterons les causes principales de défaillance et les effets qui leur sont correspondants en définissant pour chacun de ces modes leur criticité avec :

- La gravité de panne :
 - Note 1 : arrêt de production inférieure à 1 heure.
 - Note 2 : arrêt de production inférieure à 4 heures.
 - Note 3 : arrêt de production inférieure à 1 jour.
 - Note 4 : arrêt de production supérieure à 1 jour.
- La fréquence la panne :
 - Note 1 : moins d'une fois par an.
 - Note 2 : moins d'une fois par mois.
 - Note 3 : moins d'une fois par semaine.
 - Note 4 : plus d'une fois par semaine.
- La détection de la panne :
 - Note 1 : détection efficace permettant une action préventive.
 - Note 2 : risques de non-détection.
 - Note 3 : détection faible.
 - Note 4 : détection impossible.
- D’après l’équation (III.15), on calcul la criticité.

Le Groupe de travail doit décider d’un seuil de criticité pour intervenir au-delà de ce seuil.

Organe	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effets	G	F	D	C
Moteur	Fonctionner la machine	Rupture des pattes de fixation	Vibration de moteur	Arrêt de rotation de moteur	2	1	2	4
Les cylindres	Ecraser les grains	Usure de la surface	Désalignement des cylindres	Arrêt de la machine	3	2	1	6
Poulie	Entrainer la rotation des cylindres	Fissure de la poulie	Fatigue de matériau	Dommages supplémentaires	2	2	3	12
Courroie	Transmission de mouvement de puissance	Rupture	Vieillessement	Perte de productivité	1	3	3	6
Joint	Empêcher la fuite de fluide	Fuite	Mauvaise installation	Perte de fluide	2	3	2	12

Tableau III.12: Tableau d’analyse d’AMDEC de la machine à cylindre

- **Synthèse d'étude :** Après avoir identifié les pannes courantes sur les composants essentiels de la machine étudiée, nous avons élaboré des actions préventives, correctives et amélioratives afin d'éviter la dégradation du système et d'éviter les pannes :
 - Alignement correct des cylindres.
 - Changement des joints de qualité supérieure.
 - Surveillance et mesure des vibrations et de température de moteur.
 - Faire des tests pour évaluer les performances du système.
 - Analyse d'huile de réducteur .
 - Utilisation des capteurs pour les inspections irrégulières.
 - Remplacement des pièces d'usure.
 - Vérification de calibrage des composants du système.
 - Nettoyage des composants du système.
 - Lubrification des pièces mobiles.

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié la fiabilité de convoyeur et de la machine à cylindre en utilisant la loi de Weibull afin de calculer le MTBF après avoir déterminé les paramètres de Weibull à l'aide du logiciel EasyFit. Ces paramètres nous ont permis de calculer la fonction de répartition, le taux de défaillance et la densité de probabilité. Nous avons constaté que la fiabilité de convoyeur et la machine à cylindre est faible, cependant nos systèmes ont subi plusieurs pannes. En conclusion, nous avons proposé quelques solutions pour réduire les arrêts et augmenter la fiabilité des systèmes.



CHAPITRE VI

OPTIMISATION DES POLITIQUES DE MAINTENANCE

VI.1. Introduction

Les politiques de maintenance sont des stratégies mises en place pour gérer efficacement les actions de maintenance d'une entreprise. Elles jouent un rôle crucial dans la préservation de l'intégrité, tels que les équipements, les infrastructures et les systèmes. L'objectif principal des politiques de maintenance est d'optimiser la disponibilité et la durée de vie des systèmes, tout en minimisant les coûts associés à leur maintenance.

VI.2. Optimisation des politiques de maintenance

L'optimisation des politiques de maintenance désigne le processus d'amélioration continue et systématique des stratégies de maintenance des systèmes d'une entreprise. L'objectif est d'obtenir le meilleur équilibre possible entre la disponibilité des équipements et les coûts de maintenance. L'optimisation des politiques de maintenance repose sur l'analyse approfondie des données afin de prendre des décisions éclairées. Elle vise à réduire les temps d'arrêt des systèmes et minimiser les coûts de maintenance. Elle consiste à atteindre l'équilibre optimal entre la maintenance préventive et corrective, tout en respectant les objectifs établis. La figure suivante représente les effets de la fréquence des opérations de maintenance sur les coûts préventifs et correctifs.

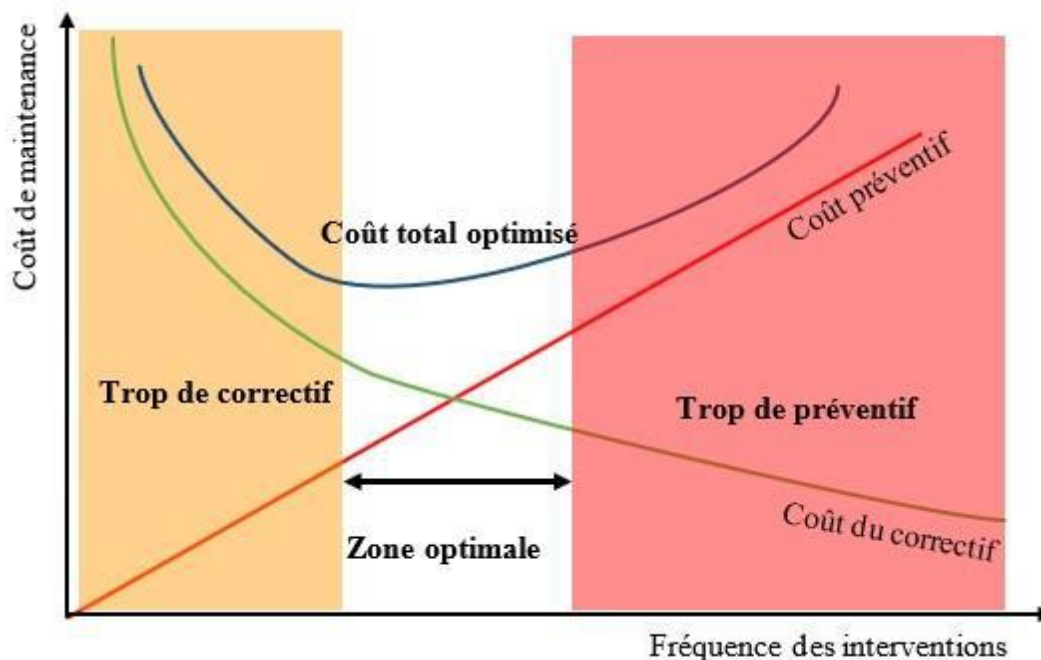


Figure VI.1 : Les coûts de maintenance en fonction de la fréquence des interventions

VI.2.1. Politique de maintenance selon l'âge

La stratégie de maintenance de type âge consiste à faire un remplacement préventif seulement lorsque l'équipement atteint l'âge T soit la période de remplacement préventif choisie. La durée de remplacement T est déterminée de façon à effectuer un remplacement préventif un peu avant le moment où on estime que l'équipement risque de tomber en panne. Toutefois, si une panne survient avant l'âge T , un remplacement correctif est effectué [26]. La figure suivante représente un schéma des séquences des événements dans cette stratégie.

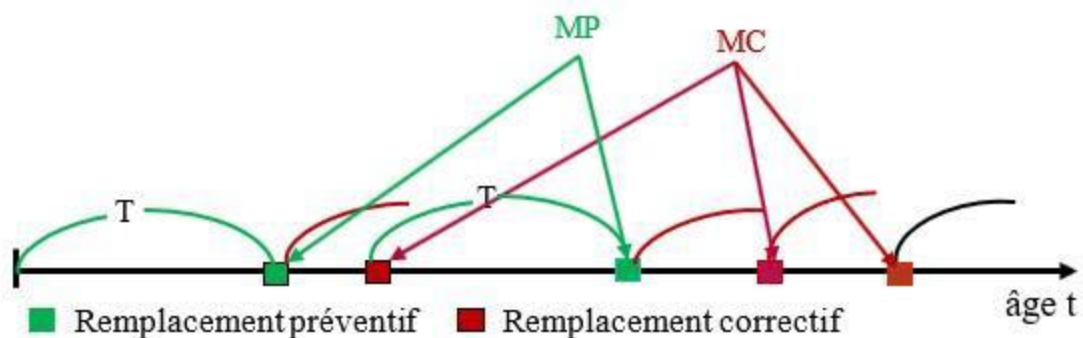


Figure VI.2 : Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance de type l'âge.

VI.2.2. Politique de maintenance en bloc

Appelé aussi politique de maintenance préventive périodique, elle tire son nom de la politique courante consistant à remplacer un bloc ou un groupe d'unités dans un système à l'instant déterminée. De ce fait, la stratégie de maintenance de type bloc consiste à faire un remplacement correctif de composants à la défaillance, ou un remplacement préventif à des intervalles de temps prédéterminés KT ($K=1,2,3,\dots$) indépendamment de l'historique des pannes et de leur âge, et réparé à la défaillance intermédiaire où T est une constante [27]. La figure suivante représente un schéma des séquences des événements dans cette stratégie.

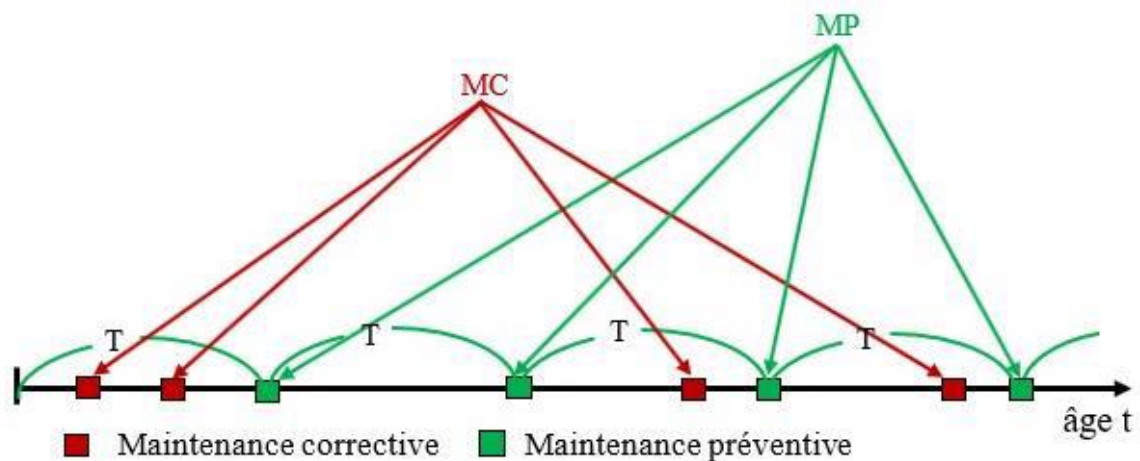


Figure VI.3 : Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance de type l'âge

VI.3. Application et comparaison entre les politiques de maintenance

VI.3.1. Estimation des coûts

Pour faire notre étude, nous tenons en compte des données sur les coûts de l'entreprise. Les coûts de maintenance corrective et préventive ont été estimés avec les responsables de la maintenance au niveau de l'entreprise Agrodiv.

VI.3.1.1. Estimation des coûts de main d'œuvre par heure

Le tableau suivant représente l'estimation des coûts de main d'œuvres par heure des actions de maintenance pour un ingénieur et un technicien de maintenance au sein de l'entreprise Agrodiv.

Main d'œuvre	Ingénieur	Technicien en maintenance
Coût de main d'œuvre par heure (DA /h)	400.00	307.00

Tableau VI.1 : Estimation des coûts de main d'œuvre par heure

Le tableau VI.1 représente les coûts de main d'œuvre des actions de maintenance préventives et correctives, on calcule le coût d'une intervention préventive par la somme des coûts de main d'œuvre (ingénieur électrique ou mécanique + technicien en maintenance) selon la nature de la panne, qui égale dans notre exemple à 707.00 DA/h. Le coût d'une action corrective est calculé par la somme des coûts de main d'œuvre (ingénieur mécanique +

ingénieur électrique + technicien en maintenance), vu que la plupart des machines contiennent des parties électrique et mécanique, dans notre exemple le coût égale à 1107.00 DA/h.

Type d'action	Préventive	Corrective
Main d'œuvre		
Technicien en maintenance	307.00	307.00
Ingénieur mécanique	400.00	400.00
Ingénieur électrique		400.00
Total	707.00	1107.00

Tableau VI.2 : Coût d'une intervention de maintenance par heure

VI.3.1.2. Estimation des coûts de perte de production

Pour la partie de conditionnement de sac de semoule de 25 Kg, la quantité de production se varie selon la demande de marché, mais on estime la valeur moyenne avec 96 Tonnes en 24 H, qui soit 4 T/ Heure. On trouve ces prix :

- Prix de produit sorti d'usine : 930.00 DA
- Prix de produit net acheté : 840.00 DA
- Prix d'emballage pour une unité 25 kg : 18.00 DA
- Prix des frais : ouvrier, transport, électricité : 25.00 DA

Le bénéfice net dans un sac de 25 Kg de semoule est la différence entre le prix de vente et l'ensemble des dépenses. On trouve :

$$930.00 - (840.00 + 18.00 + 25.00) = 47.00DA \quad (VI.1)$$

D'après nos calculs, nous trouverons que le bénéfice net dans un sac de 25 Kg de semoule est de 47.00 DA, d'après notre estimation de valeur moyenne de production qui est de 4 T/H (4000 Kg/H), ce qui nous donne un coût de perte de production de 188000.00 DA/H.

VI.3.1.3. Elément de sortie

Le tableau suivant représente les coûts des pièces de rechange et la durée de remplacement pour le convoyeur et la machine à cylindre. On calcule les coûts de remplacement par :

$$C_p = \text{coût de main d'œuvre} + \text{coût de pièce de rechange.} \quad (\text{VI.2})$$

$$C_c = \text{coût de main d'œuvre} + \text{coût de pièce de rechange} + \text{coût de perte de production.} \quad (\text{VI.3})$$

Cas d'étude	Convoyeur	Machine à cylindre
Coût de pièces de rechange (DA)	68000.00	54000.00
Durée de remplacement (H)	4	7
Coût de main d'œuvre (DA)	4428	7749
Coût de remplacement préventif C_p (DA)	72428	61749
Coût de remplacement correctif C_c (DA)	824428	1377749

Tableau VI.3 : Elément de sortie pour le convoyeur et la machine à cylindre

VI.3.1.4. Coût d'une réparation minimale

Pour optimiser la maintenance préventive, nous faisons l'hypothèse que le coût de la maintenance correctif C_c est dix fois supérieur que le coût de la maintenance préventive C_p : $C_c = 10 ; C_p = 1$. Donc, nous avons estimé que le coût de réparation minimale coûterait 1/10 de coût de remplacement correctif :

$$C_{min} = \frac{1}{10} C_c \quad (\text{VI.4})$$

Par conséquent, on trouve les coûts minimaux suivant :

Cas d'étude	Convoyeur	Machine à cylindre
Coût minimale C_{min} (DA)	82442.8	137774.9

Tableau VI.4 : Coût minimale d'un convoyeur et la machine à cylindre

VI.3.2. Cas d'étude de convoyeur

Nous allons présenter deux politiques de maintenance en utilisant des formules mathématiques. Ensuite, nous calculerons les temps et les coûts optimaux associés à chaque politique. Cette comparaison des résultats nous permettra de choisir le modèle le plus approprié à notre situation. D'après la conclusion obtenue dans le chapitre III que notre système se situe dans la période de vieillesse ($1 < \beta$), il est indispensable d'intégrer une politique de maintenance idéale qui permettra de faire face à cette dégradation et d'augmenter la fiabilité de système, et maximiser les bénéfices de production de l'entreprise.

VI.3.2.1. Comparaison des coûts des deux politiques

Dans notre étude, nous allons faire une comparaison entre la politique de maintenance selon l'âge et celle en bloc pour le convoyeur.

VI.3.2.2. Politique de maintenance en bloc pour le convoyeur

Nous proposons de traiter le problème à l'aide d'une approche analytique qui nous permettra d'évaluer les critères de coûts de notre système. D'après les résultats obtenus dans le troisième chapitre sur les paramètres de Weibull, on utilise la formule suivante :

$$C(t) = \frac{C_{\min}}{T} \int_0^T \lambda(t) dt + \frac{C_p}{T} \quad (\text{VI.5})$$

D'après l'équation :

$$H(t) = \int_0^T \lambda(t) dt \quad (\text{VI.6})$$

On aura :

$$\int_0^T \lambda(t) dt = \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \quad (\text{VI.7})$$

On remplace par des valeurs :

$$C(t) = \frac{82442.8}{T} \int_0^T (1.24 * 10^{-3} \left(\frac{t}{2194.7}\right)^{1.73} dt) + \frac{72428}{T} \quad (\text{VI.8})$$

Les résultats obtenus sont :

$$C(t) = \frac{0.603 * 10^{-4} T^{2.73} + 72428}{T} \quad (\text{VI.9})$$

Notre objectif est de trouver T^* qui minimise l'expression $C(t)$, pour cela il suffit de résoudre l'équation :

$$\frac{\partial c(t)}{\partial T} = 0 \quad (\text{VI.10})$$

Le minimum de la fonction de coût $C(t)$ est atteint lorsque sa dérivée s'annule, donc :

$$\frac{\partial c(t)}{\partial T} = \frac{1.043 * 10^{-4} T^{2.73} + 72428}{T^2} \quad (\text{VI.11})$$

Pour avoir T^* il faut que :

$$1.043 * 10^{-4} T^{2.73} - 72428 = 0 \quad (\text{VI.12})$$

Ce qui donnera :

$$T^* = \sqrt[2.73]{694419942} \quad (\text{VI.13})$$

La périodicité optimale obtenue, d'après notre étude pour le cas de convoyeur sur la politique de maintenance en bloc est la suivante :

$$T^* = 1732.56 \text{ Heures} \quad (\text{VI.14})$$

Nous remplacerons T^* dans l'expression de $C(t)$ nous aurons :

$$C^* = 65.97 \text{ DA/ Heures} \quad (\text{VI.15})$$

VI.3.2.3. Politique de maintenance selon l'âge pour le convoyeur

On a la formule de l'espérance de coût de maintenance comme suit :

$$C(t) = \frac{C_p R(t) + [1 - R(t)] C_c}{\int_0^T R(t) dt} \quad (\text{VI.16})$$

Nous constatons que la résolution de l'expression $C(t)$ analytiquement est impossible, nous allons faire un appel aux méthodes numériques par un modèle de simulation de la stratégie de maintenance à l'aide d'un programme Matlab suivant :

```

clear all
clc
A=[];
H=[];
for t=[1:5000]
    A=[A,[t]];
    R(t)=exp(-(0.0012*t).^2.73);
    F(t)=quad(@(t)exp(-(0.0012*t).^2.73),0,t);
    c=(72428*R(t)+(1-R(t))*82442.8)/F(t);
    H=[H,[c]];
end
plot(A,H);
xlabel('Temps(heures)')
ylabel('Cout(Dinar algerien)T')

```

Les résultats de cette simulation sont représentés dans la figure suivante :

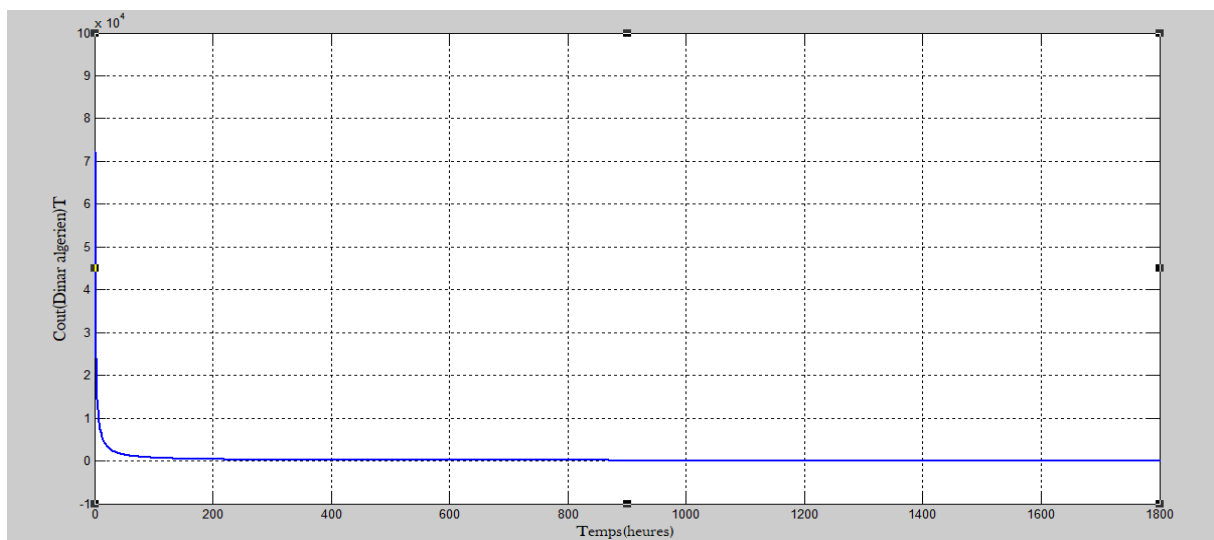


Figure VI.4 : Comportement de coût en fonction de l'âge de remplacement

- **Commentaire**

D'après les résultats de simulation, nous avons constaté que la valeur optimale (T^*) à laquelle il faut effectuer une maintenance préventive, se trouve dans un intervalle de temps de remplacement préventif à un coût optimal obtenu lors de la simulation. Cet intervalle dans lequel il serait économique d'effectuer le remplacement préventif. D'après l'allure, nous avons trouvé que le coût de remplacement moyen par heure (C^*) de la stratégie de la maintenance type âge est approximativement de :

$$C^* = 111 \text{ DA/ Heures} \quad (\text{VI.17})$$

Et l'âge optimale est de :

$$T^* = 1249 \text{ Heures} \quad (\text{VI.18})$$

VI.3.2.4. Interprétation des résultats

Le tableau suivant représente les résultats obtenus :

Le convoyeur	Politique de maintenance de type âge	Politique de maintenance en bloc
Coût optimale C^* (DA/H)	111	65.97
Périodicité optimale T^* (H)	1249	1732.6

Tableau VI.5 : Les résultats des coûts pour le convoyeur

D'après les résultats illustrés dans le tableau précité, on constate que la politique de maintenance en bloc est meilleure, du point de vue économique, que celle de type de maintenance selon l'âge, nous remarquons que le coût optimal de politique selon l'âge est supérieur à celui de politique en bloc, c'est pour cela qu'il est préférable de choisir la politique de maintenance en bloc pour ce système.

VI.3.3. Cas d'étude de machine à cylindre

Nous allons examiner deux politiques de maintenance en utilisant des formules mathématiques. Ensuite, nous déterminerons les temps et les coûts optimaux associés à chaque politique. Cette comparaison des résultats nous aidera à choisir le modèle le plus adapté à notre situation. À partir de la conclusion du chapitre III qui indique que notre système présente une faible fiabilité, il est essentiel d'intégrer une politique de maintenance idéale. Celle-ci nous permettra de faire face à cette dégradation et d'augmenter la fiabilité du système, tout en maximisant les bénéfices de production de l'entreprise.

III.3.3.1. Comparaison des coûts des deux politiques

Dans notre étude, nous allons effectuer une comparaison entre la politique de maintenance basée sur l'âge et la politique de maintenance en bloc pour la machine à cylindre.

VI.3.3.2. Politique de maintenance en bloc pour la machine à cylindre

A partir des équations (VI.5), (VI.6), (VI.7), nous allons calculer le coût de maintenance de notre système :

On remplace par des valeurs :

$$C(t) = \frac{137774.7}{T} \int_0^T (2.6 * 10^{-4} (\frac{t}{3677.8})^{0.96} dt) + \frac{61749}{T} \quad (\text{VI.19})$$

Les résultats obtenus sont :

$$C(t) = \frac{2.75 * 10^{12} T^{1.96} + 61749}{T} \quad (\text{VI.20})$$

Notre objectif est de trouver T^* qui minimise l'expression $C(t)$, pour cela il suffit de résoudre l'équation (VI.10) :

Le minimum de la fonction de coût $C(t)$ est atteint lorsque sa dérivée s'annule, donc :

$$\frac{\partial c(t)}{\partial T} = \frac{2.64 * 10^{12} T^{1.96} - 61749}{T^2} \quad (\text{VI.21})$$

Pour avoir T^* il faut que :

$$2.64 * 10^{12} T^{1.96} - 61749 = 0 \quad (\text{VI.22})$$

Ce qui donnera :

$$T^* = \sqrt[1.96]{2.3 * 10^{-8}} \quad (\text{VI.23})$$

La périodicité optimale obtenue, d'après notre étude pour le cas de la machine à cylindre sur la politique de maintenance en bloc est la suivante :

$$T^* = 1.27 * 10^{-4} \text{ Heures} \quad (\text{VI.24})$$

Nous remplacerons T^* dans l'expression de $C(t)$ nous aurons :

$$C^* = 986229018 \text{ DA/ heures} \quad (\text{VI.25})$$

VI.3.3.3. Politique de maintenance selon l'âge pour la machine à cylindre

Nous constatons que la résolution de l'expression (VI.16) analytiquement est impossible, nous allons faire un appel aux méthodes numériques par un modèle de simulation de la stratégie de maintenance à l'aide d'un programme Matlab suivant :

```
clear all
clc
A=[];
H=[];
for t=[1:5000]
    A=[A,[t]];
    R(t)=exp(-(0.00026*t).^0.96);
    F(t)=quad(@(t)exp(-(0.00026*t).^0.96),0,t);
    c=(61749*R(t)+(1-R(t))*137774.9)/F(t);
    H=[H,[c]];
end
plot(A,H);
xlabel('Temps(heures)')
ylabel('Cout(Dinar algerien)T')
```

Les résultats de cette simulation sont représentés dans la figure suivante :

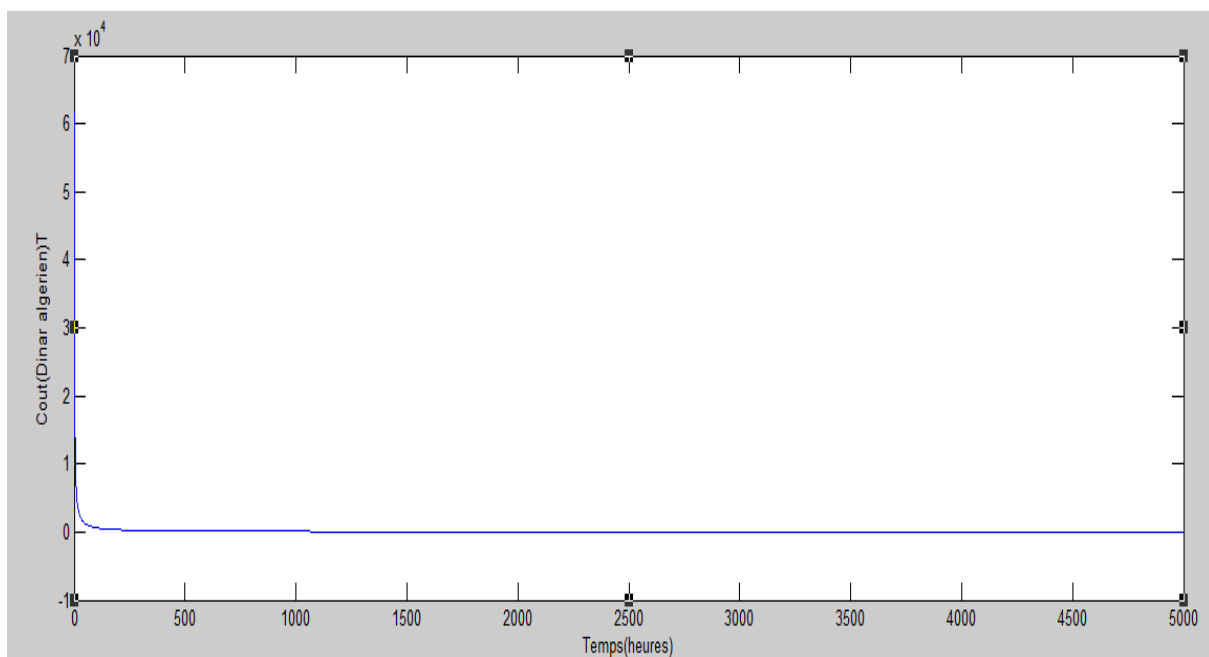


Figure VI.5 : Comportement de coût en fonction de l'âge de remplacement

- **Commentaire**

D'après les résultats de simulation, nous avons constaté que la valeur optimale (T^*) à laquelle il faut effectuer une maintenance préventive, se trouve dans un intervalle de

temps de remplacement préventif à un coût optimal obtenu lors de la simulation. Cet intervalle dans laquelle il serait économique d'effectuer le remplacement préventif. D'après l'allure, nous avons remarqué que le coût de remplacement moyen par heure (C^*) de la stratégie de la maintenance type âge est approximativement de :

$$C^* = 4830 \text{ DA/ Heures} \quad (\text{VI.26})$$

Et l'âge optimale est de :

$$T^* = 42 \text{ Heures} \quad (\text{VI.27})$$

VI.3.2.4. Interprétation des résultats

Les résultats présentés dans le tableau suivant, indiquent que la politique de maintenance basée sur l'âge est économiquement plus avantageuse que la politique de maintenance en bloc. Par conséquent, il est préférable d'opter pour la politique de maintenance basée sur l'âge pour ce système.

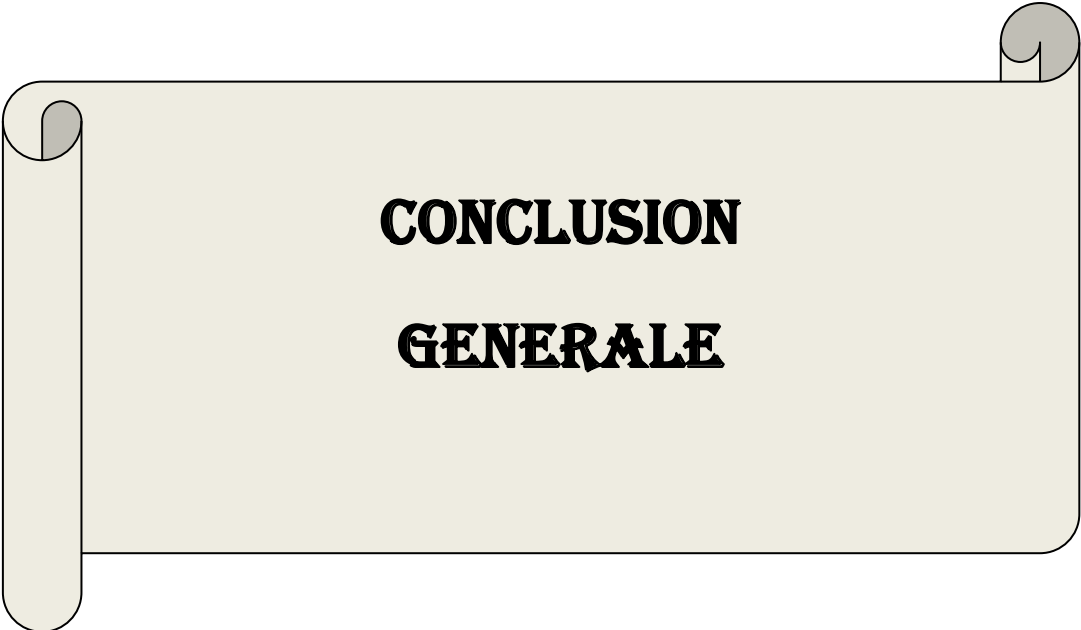
Le tableau suivant représente les résultats obtenus :

La machine à cylindre	Politique de maintenance de type âge	Politique de maintenance en bloc
Coût optimale C^* (DA/H)	4830	986229018
Périodicité optimale T^* (H)	42	$1.27 \cdot 10^{-4}$

Tableau VI.6 : Les résultats des coûts pour la machine à cylindre

VI.4. Conclusion

Dans notre chapitre, nous avons présenté l'importance de politique de maintenance au sein d'une entreprise. Ensuite, nous avons fait une analyse des données de l'entreprise Agroddiv sur les coûts de maintenance, nous avons comparé entre la politique de maintenance en bloc et la politique selon l'âge pour le convoyeur puis pour la machine à cylindre, nous avons découvert que la politique de maintenance en bloc est préférable pour le convoyeur, et la politique selon l'âge est plus adéquate pour la machine à cylindre.



CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

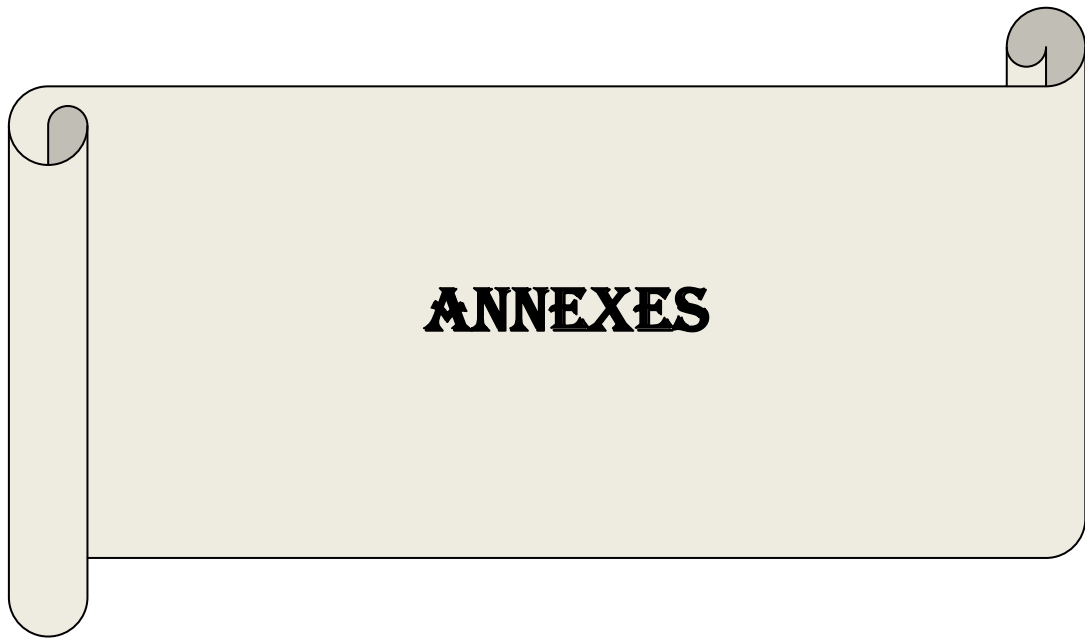
L'objectif premier d'une entreprise économique est de maximiser ses bénéfices tout en minimisant les coûts. Pour atteindre cet objectif, il est essentiel pour l'entreprise de mettre en place des procédures et des stratégies nécessaires pour réduire les risques de pannes dans sa chaîne de production et à améliorer la fiabilité de ses équipements.

Dans notre mémoire, nous avons utilisé le fichier historique de l'entreprise qui nous a aidés de découvrir les pannes usuelles de convoyeur et de la machine à cylindre, puis nous avons calculé les temps de bon fonctionnement pour chaque système. L'objectif de notre étude est d'identifier les paramètres de Weibull à l'aide de logiciel Easy Fit pour comparer nos résultats avec la courbe en baignoire et découvrir dans quelle période de vie appartiennent nos équipements étudiés. En effet, nous avons constaté que le convoyeur se trouve dans la période de vieillesse avec un paramètre de ($\beta > 1$) et la machine à cylindre dans la période de jeunesse avec un paramètre de ($\beta < 1$).

Ensuite, après avoir déterminé l'intensité de défaillance de chaque système, leur taux de défaillance ainsi que la fonction de fiabilité et tracé leur allures, nous avons trouvé que les deux machines sont peu fiables avec une fiabilité de moins de 50%. C'est pour cela, en utilisant la méthode de Pareto et Amdec, nous avons déterminé les causes principales des pannes des systèmes, puis on a proposé quelques actions préventives, amélioratives et correctives pour faire limiter le nombre de pannes et réduire les temps d'arrêt des systèmes, pour atteindre l'objectif de l'entreprise.

A la fin de notre étude, nous avons vu l'influence de la politique de maintenance sur les objectifs de l'entreprise. Pour notre cas d'analyse, nous avons déterminé et calculé la politique de maintenance la mieux adéquate pour chaque système où on a constaté que la politique de maintenance en bloc est préférable pour le convoyeur, et celle selon l'âge est la meilleure pour la machine à cylindre.

Enfin, notre étude nous a permis de découvrir l'importance de la stratégie de maintenance suivi dans l'entreprise, elle est essentielle pour garantir la fiabilité des équipements, réduire les coûts, prolonger la durée de vie des équipements et améliorer la qualité des produits. Elle joue un rôle clé dans la performance globale de l'entreprise et contribue à sa compétitivité sur le marché.



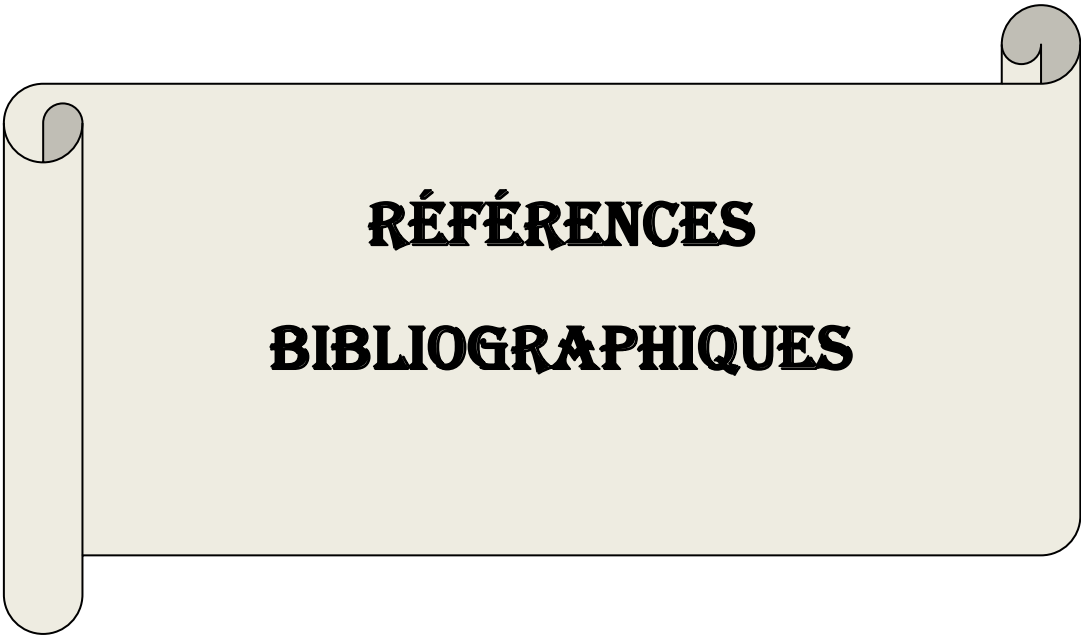
ANNEXES

Annexe 1 : Test de Kolmogorov- Smirnov

$n \setminus \alpha$	0.001	0.01	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2
1		0.99500	0.99000	0.97500	0.95000	0.92500	0.90000
2	0.97764	0.92930	0.90000	0.84189	0.77639	0.72614	0.68377
3	0.92063	0.82900	0.78456	0.70760	0.63604	0.59582	0.56481
4	0.85046	0.73421	0.68887	0.62394	0.56522	0.52476	0.49265
5	0.78137	0.66855	0.62718	0.56327	0.50945	0.47439	0.44697
6	0.72479	0.61660	0.57741	0.51926	0.46799	0.43526	0.41035
7	0.67930	0.57580	0.53844	0.48343	0.43607	0.40497	0.38145
8	0.64098	0.54180	0.50654	0.45427	0.40962	0.38062	0.35828
9	0.60846	0.51330	0.47960	0.43001	0.38746	0.36006	0.33907
10	0.58042	0.48895	0.45662	0.40925	0.36866	0.34250	0.32257
11	0.55588	0.46770	0.43670	0.39122	0.35242	0.32734	0.30826
12	0.53422	0.44905	0.41918	0.37543	0.33815	0.31408	0.29573
13	0.51490	0.43246	0.40362	0.36143	0.32548	0.30233	0.28466
14	0.49753	0.41760	0.38970	0.34890	0.31417	0.29181	0.27477
15	0.48182	0.40420	0.37713	0.33760	0.30397	0.28233	0.26585
16	0.46750	0.39200	0.36571	0.32733	0.29471	0.27372	0.25774
17	0.45440	0.38085	0.35528	0.31796	0.28627	0.26587	0.25035
18	0.44234	0.37063	0.34569	0.30936	0.27851	0.25867	0.24356
19	0.43119	0.36116	0.33685	0.30142	0.27135	0.25202	0.23731
20	0.42085	0.35240	0.32866	0.29407	0.26473	0.24587	0.23152
25	0.37843	0.31656	0.30349	0.26404	0.23767	0.22074	0.20786
30	0.34672	0.28988	0.27704	0.24170	0.21756	0.20207	0.19029
35	0.32187	0.26898	0.25649	0.22424	0.20184	0.18748	0.17655
40	0.30169	0.25188	0.23993	0.21017	0.18939	0.17610	0.16601
45	0.28482	0.23780	0.22621	0.19842	0.17881	0.16626	0.15673
50	0.27051	0.22585	0.21460	0.18845	0.16982	0.15790	0.14886
OVER 50	1.94947	1.62762	1.51743	1.35810	1.22385	1.13795	1.07275
	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}

Annexe 2 : Table de la loi de Weibull

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



RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie

- [1] K. Mahfoudi, Gestion et organisation de la maintenance Projet de mise à niveau de la formation professionnelle en Algérie, Support technique, 2008.
- [3] N. S. Arunraj et J. Maiti, Risk-based maintenance: Technique and application, Journal of hazardous materials, 142.3, 2007, p. 653-661.
- [4] F. Monchy et J.-P. Vernier, Maintenance Méthodes et organisations, livre, Paris : Dunod, 2000-2010.
- [5] H. Procaccia, E. Fertou, et M. Procaccia, Fiabilité et maintenance des matériels industriels réparables et non réparables, Tec et Doc ,2011.
- [7] L. Pintelon et A. Parodi-Herz, Maintenance: An Evolutionary Perspective, in Complex System Maintenance Handbook, London: Springer London, 2008, p. 21-48. doi: 10.1007/978-1-84800-011-7_2.
- [8] Document, Amélioration maintenance des équipements au niveau de l'atelier de tissage, DENITEX-SEBDOU.
- [9] Norme AFNOR, Terminologie relative la Fiabilité - Maintenabilité – Disponibilité, Éd. Association française de normalisation, afnor, 1988.
- [10] O. Tebbi, Estimation des lois de fiabilité en mécanique par les essais accélérés, thèse de doctorat, France, 09 mars 2005.
- [11] J. C. Ligeron, P. Lionnet. La fiabilité en exploitation, organisation et traitement des données. Ed. Techniques et documentation, Lavoisier, 1993.
- [12] P. Lionnet. Optimisation d'une politique de maintenance. Ed. Techniques et documentation, Lavoisier, 1993.
- [13] J. Bufferne. Fiabiliser les équipements industriels, Eyrolles, 2008.

Références bibliographiques

- [16] H. Breidenbach, Convoyor Belt Technique Design and Calculation, NETHERLANDS, 1983.
- [17] Manuel Opérateur du Conditionnement de Sucre 1Kg, entreprise Cevital.
- [20] B. Ilhem, Modélisations et outils d'aide au diagnostic de défauts de machines synchrones et à reluctance variable, thèse doctorat, université Constantine, Algérie, 2013.
- [21] A. Subais, Contribution au diagnostic des systèmes complexes, thèse doctorat, université Toulouse, France 2007.
- [22] M. Ammar, surveillance et diagnostic des defaults des machines électriques : applications aux moteurs asynchrones, thèse doctorat université Skikda, Algérie 2012.
- [23] M. Ridha, M. Toufik, Etude Mécanique et électrique d'un convoyeur à bande afin d'augmenter sa charge, université Béjaïa, 2013.
- [24] Manuel d'usage et d'entretien de l'appareil à cylindre Synthesis SY09.
- [25] Documentation de l'entreprise AGRODIV, Historique des pannes, 2023.
- [26] H. Boudhar, M. Dahane et N. Rezg, New dynamic for the optimization of opportunities to use new and remanufactured spare part in stochastic degradation contexte , journal: Intelligent manufacturing 2017, P. 28: 437-454, DOI: 10.1007/s 10845-014-0989-1.
- [27] N. Toshio. Z. Xufeng et Y. Won, Optimal age remplacements and inspection policies with random failure and remplacements times , International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, 18(05), 2011, P. 405-416.
- [28] Cours, stratégie de maintenance, master 1 maintenance industrielle, Professeur Laggoune Radouane, Université de Béjaïa.



WEBOGRAPHIE

Webographie

- [2] <https://www.mcours.com/liste/cours-maintenance-informatique>.
- [6] La norme française, AFNOR, site internet,
<https://www.standard-industrie.com/maintenance-industrielle/la-maintenance-preventive/>
- [14] https://www.academia.edu/24947978/LA_METHODOLOGIE_AMDEC.
- [15] Les outils et méthodes de la gestion de la qualité :
<http://www.directive.fr/articles/BPR.html>.
- [18] CNESST : appareils de manutention, convoyeur, Site internet :
<http://www.csst.qc.ca/prevention>.

A horizontal scroll graphic with a light beige background and a dark outline. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges showing a slight curve. The word "RÉSUMÉ" is written in a bold, black, serif font in the center of the scroll.

RÉSUMÉ

Résumé

La maintenance joue un rôle primordial dans l'industrie en assurant la disponibilité, la fiabilité et la performance des équipements de production. Elle permet de prévenir les pannes, d'optimiser les coûts d'exploitation. Le but de notre mémoire est de prendre le convoyeur et la machine à cylindre au sein de l'entreprise Agrodiv comme un exemple de calcul de leur fiabilité, qui nous permet de déterminer la phase de vie des systèmes étudiés. Puis, en utilisant les méthodes Amdec et Pareto, on a pu déterminer les causes des pannes des équipements qui influent sur la fiabilité des machines et proposé des solutions pour réduire le temps d'arrêt des systèmes étudiés. Enfin, grâce à des données de l'entreprise, on a fait une étude d'analyse d'optimisation des politiques de maintenance, qui nous permet de faire une comparaison entre la politique en bloc et celle selon l'âge pour chaque système étudié afin de trouver la meilleure politique pour chacun d'eux.

Abstract

Maintenance plays a key role in the industry by ensuring the availability, reliability and performance of production equipment. It helps prevent breakdowns and optimize operating costs. The purpose of our thesis is to take the conveyor and the cylinder machine within the Agrodiv company as an example of calculating their reliability, which allows us to determine the life phase of the systems studied. Then, using the Amdec and Pareto methods, we were able to determine the causes of equipment failures that affect the reliability of the machines and proposed solutions to reduce the downtime of the systems studied. Finally, thanks to company data, we carried out a study of optimization analysis of maintenance policies, which allows us to make a comparison between the block policy and that according to age for each system studied in order to found the best policy for each of them.

ملخص

تلعب الصيانة دورًا رئيسيًا في الصناعة من خلال ضمان توافر وموثوقية وأداء معدات الإنتاج. يساعد في منع الأعطال وتحسين تكاليف التشغيل. الغرض من أطروحتنا هو أخذ الناقل وآلة الطحن داخل شركة Agrodiv كمثال لحساب موثوقيتها ، مما يسمح لنا بتحديد مرحلة الحياة للأنظمة المدروسة. بعد ذلك ، باستخدام طريقتي Amdec و Pareto ، تمكنا من تحديد أسباب أعطال المعدات التي تؤثر على موثوقية الآلات واقتراح حلول لتقليل وقت تعطل الأنظمة المدروسة. أخيرًا، بفضل بيانات الشركة، أجرينا دراسة لتحليل التحسين لسياسات الصيانة، مما يسمح لنا بإجراء مقارنة بين سياسة الكتلة و سياسة وفق العمر لكل نظام تمت دراسته من أجل العثور على أفضل سياسة لكل منها.