

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique

Projet de Fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master II en Electromécanique

Option : Maintenance Industrielle

Thème

**La stratégie de la maintenance Basée sur la
Fiabilité (application sur le convoyeur à chaine).**

Préparé par :

BORDJAH Tarek
BOUAMARA Tackfarinas

Dirigé par :

M^r B.YAHIAOUI
M^r J.BOUAMARA

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Avant tout, nous remercions **DIEU** le tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé durant toutes ces années d'étude et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé.

Nous tenons à remercier nos parents ainsi que toutes nos familles pour leurs encouragements et leurs soutiens de tous les instants.

Nous tenons à remercier notre encadreur, Mr B. YAHIAOUI, enseignant à l'université de Bejaia et Mr J. BOUAMARA, directeur de **SARL SILEX service** pour avoir proposé et dirigé ce travail, pour leurs entières disponibilités, leurs remarques constructives et leurs temps consacrés aux corrections.

Nos remerciements vont également aux membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Dédicaces

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

*À mes chers parents, qui se sont sacrifiés pour m'offrir un
climat idéal de travail et qui n'ont jamais cessé de me
témoigner leurs affections et de m'apporter leurs soutient
depuis
toujours, que le Bon Dieu les garde et les protège.*

À mes très chères sœurs et mes frères.

À tous mes chers amis

À toute la promotion 2020 de maintenance industrielle.

BORDJAH Tarek

Dédicaces

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

*À mes chers parents, qui se sont sacrifiés pour m'offrir un
climat idéal de travail et qui n'a jamais cessé de me témoigner
ses affections et de m'apporter ses soutient depuis
toujours, que le Bon Dieu les garde et les protège.*

*À mes très chers sœurs et frères
et ma grande famille.*

À tous mes chers amis

À toute la promotion 2020 maintenance industrielle

BOUAMARA Tackfarinas

Table de Matières

Introduction générale	01
Présentation de l'entreprise	02
Chapitre 01 : généralités sur la maintenance	
Introduction	05
I.1. l'évolution de la maintenance	05
I.2 quelques définitions	06
I.3 typologie de la maintenance.....	07
I.3.1 la maintenance corrective	07
I.3.2 la maintenance préventive	08
I.4 Organisation du service maintenance	09
I.4.1 maintenance centralisée	09
I.4.1 maintenance décentralisée	10
I.5 Les niveaux de la maintenance	10
I.6 choix de la forme de maintenance à mettre en œuvre.....	11
I.7 Les moyens de maintenance	12
I.7.1 Moyens humains	12
I.7.2 Moyens matérielles	13
I.8 Objectifs de la maintenance	13
I.8.1 Les objectifs généraux	13
I.8.2 Les objectifs techniques.....	14
I.8.3 Les objectifs financiers	14
I.9 Analyse de système de maintenance.....	14
I.9.1 Missions de service maintenance.....	14
I.10 Les systèmes d'information et la maintenance	15
I.10.1 pourquoi une GMAO.....	15
I.10.2 les étapes d'un projet GMAO	16
I.10.3 le choix d'un outil GMAO bien adapté	16
I.10.4 apport de la GMAO	16

Chapitre 02 : fiabilité des systèmes industriels

Introduction	18
II.1 Concepts de base (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité)	18
II.1.1 Fiabilité.....	18
II.1.2.Maintenabilité.....	23
II.1.3 Disponibilité	23
II.2 Pannes et défaillances	23
II.2.1 Définition de la défaillance	23
II.2.2 Comment se manifeste la défaillance	23
II.2.3 Classification des défaillances.....	24
II.2.4 Le mode de défaillance.....	25
II.3 Lois de probabilités usuelles en fiabilité	27
II.3.1 La loi exponentiel	27
II.3.2 La loi de WEIBULL.....	28
II.3.3 La loi GAMMA	28
II.4 Maintenance basée sur la fiabilité (MBF)	29
II.4.1 Différents phases d'une étude MBF	29
II.4.2 Objectifs de la MBF	30
II.5 Analyse de dysfonctionnement des systèmes (AMDEC).....	31
II.5.1 Histoire et évolution	31
II.5.2 Objectifs de l'AMDEC.....	31
II.5.3 Présentation de différents types de l'AMDEC	32
II.5.4 Les avantages généraux de la méthode AMDEC	32
II.5.5 Mise au point de la méthode AMDEC	33
Conclusion.....	37

Chapitre 03 : description et diagnostique (des pannes) de la machine

Introduction	38
III.1 Définition de convoyeur à chaîne.....	38
III.2 Les types de convoyeurs	38
III.2.1 Convoyeur à chaîne.....	39
III.2.2 Convoyeur à bande.....	39

III.2.3 Convoyeur à chaîne tubulaire.....	40
III.2.4 Elévateur à godets	41
III.2.5 Convoyeur à rouleaux	42
III.2.6 Critères de choix de types de convoyeurs	42
III.3 Convoyeur à chaîne	43
III.3.1 Avantages de convoyeurs à chaîne	44
III.4 Initiation à l'étude	44
III.4.1 description du convoyeur à chaîne	44
III.4.2 Analyse AMDEC	48
III.4.2.1 Diagramme d'ISHIKAWA	48
III.4.2.2 Tableau d'analyse AMDEC.....	49
III.4.3 Synthèse d'étude	50
III.4.3.1 Actions correctives	50
III.4.4 Diagramme de PARETO et classification ABC	51
III.4.4.1 Interprétation du diagramme PARETO	52
Conclusion.....	52

Chapitre 04 : étude et calcul de fiabilité

Introduction	54
IV.1 Etude de fiabilité	54
IV.1.1 Historique des pannes de convoyeur à chaîne	54
IV.1.2 Calculs temps de bon fonctionnement	55
IV.1.3 Classement le temps de bon fonctionnement et calcule le temps de répartition et la fiabilité de système	56
IV.1.4 Application du modèle de weibull	57
IV.1.5 Calcul de la fiabilité $R(t_i)$, la fonction de répartition $F(t_i)$, le taux de défaillance $\lambda(t_i)$, la densité de probabilité $f(t_i)$ Test de Kolmogorov-Smirnov	57
IV.1.5.1 Test d'adéquation (test Kolmogorov-Smirnov).....	58
IV.1.5.2 Calcul la fiabilité de convoyeur à chaîne.....	59
IV.1.5.3 Courbe de la fonction de fiabilité théorique	59
IV.1.5.4 Courbe de la fonction de répartition théorique.....	60
IV.1.5.5 Courbe de la densité de probabilité théorique	60
IV.1.5.6 Courbe des taux de défaillance théorique.....	61
IV.1.6 Analyse des résultats de la fiabilité de système	62

IV.1.7 Des solutions pour augmenter la fiabilité de système.....	62
IV.2 Elaboration un plan de maintenance préventive	62
IV.3 Contribution à l'optimisation de maintenance préventive	63
IV.3.1 Gestion de pièces de rechange	64
IV.3.2 Gestion des interventions	64
Conclusion.....	65
Conclusion générale	66

Références bibliographiques

Annexes

Introduction générale

Auparavant, la fonction maintenance a été considérée pendant longtemps comme une fonction secondaire entraînant des dépenses non productives. On l'assimilait souvent à l'entretien autrement dit aux réparations et aux dépannages des outils de production.

Ces dernières décennies, il s'est produit une évolution de la notion de la maintenance qui englobe de plus en plus la maîtrise économique de la disponibilité des outils de production. Pour que les entreprises résistent dans un monde fondé sur la compétitivité, elles cherchent toujours à optimiser la fiabilité de leurs systèmes de production. La productivité des entreprises est basée sur la sûreté de fonctionnement de leurs équipements. Afin de satisfaire ces exigences, un système efficace pour la gestion de la maintenance industrielle est à concevoir.

Pour que la fonction de maintenance soit optimale au sein des entreprises, il faut une bonne compréhension du fonctionnement des machines. Et pour cela, il faudra mettre en œuvre l'analyse fonctionnelle.

Dans notre mémoire, on a pris un convoyeur à chaîne comme un exemple d'application. Les systèmes de convoyage sont de très grandes importances dans des chaînes de production des entreprises.

Ce mémoire est organisé en quatre parties : avant de commencer on présentera l'entreprise d'accueil, ses fonctions, ses activités ainsi que son organisations. Dans le premier chapitre, nous rappellerons les concepts de maintenance industrielle, leurs différentes méthodes et missions. Le deuxième chapitre est consacré pour la fiabilité et des méthodes d'analyse des systèmes industriels. Ensuite, le troisième chapitre est consacré pour la description de convoyeur à chaîne et l'analyse de ses composants à l'aide de la méthode AMDEC. Dans le dernier chapitre, On a conclu notre travail avec l'étude de fiabilité de convoyeur et une mise en place d'un plan de maintenance préventive.

1. Entreprise Sarl SILEX services

SILEX services est une entreprise spécialisée dans le secteur des services et maintenance industrielle, et l'accompagnement du projet. La politique de l'entreprise vise à apporter des solutions pour ses clients sur l'ensemble du territoire algérien dans le respect de la qualité, des coûts et des délais.

- Année de création : Sept. 2015
- Domaine d'activité : Services Industriels (Maintenance, Projets, ...)

SILEX Plast :

- Année de création : Oct.2018, en phase projet
- Domaine d'activité : Production

SILEX Consult : En création

- Domaine d'activité : Performance industrielle, Sécurité Industrielle.

2. Organisation de l'entreprise

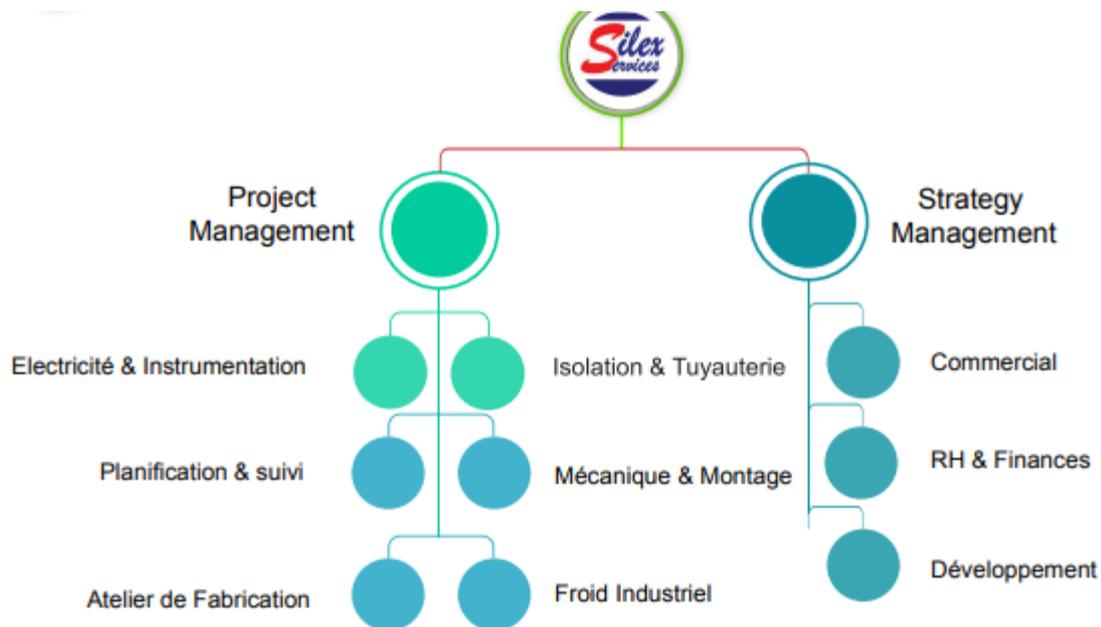


Figure 1 : organisation de l'entreprise.

3. Domaines d'activités

- ELECTRICITÉ ET INSTRUMENTATION
- FROID INDUSTRIEL
- MÉCANIQUE ET MONTAGE
- TUYAUTERIE, CHAUDRONNERIE, ISOLATION
- ENGINEERING ET MAINTENANCE

3.1. Maintenance et assistance technique

Maintenance :

- Des ensembles mécaniques et électromécaniques
- Des installations hydrauliques et pneumatiques

3.2. Electricité et instrumentation

Installation des infrastructures électriques industrielles et tertiaires : HT/BT, courants forts et courants faibles et éclairage.

Travaux de mise en service, maintenance et de mise à niveau des installations électriques.

Atelier de câblage des tableaux de basses tensions.

3.3. Froid industriel

Installation et maintenance de systèmes de refroidissement et de climatisation industriels : Climatisation centralisée, traitement d'air, split system, Tour de refroidissement, Groupe d'eau glacée, chambre froide....

3.4. Tuyauterie, chaudronnerie et isolation

Installation et réalisation sur site d'ouvrages chaudronnés, charpente métallique, cuverie, tuyauterie, ensemble mécano soudé, et travaux d'isolation.

4. Quelques chiffres de SARL Silex service

Depuis sa création en 2015, ne cesse de grandir en multipliant son chiffre d'affaire et le nombre de ses employés.

KPI's : Key Performance Indicator (indicateur clé de performance).

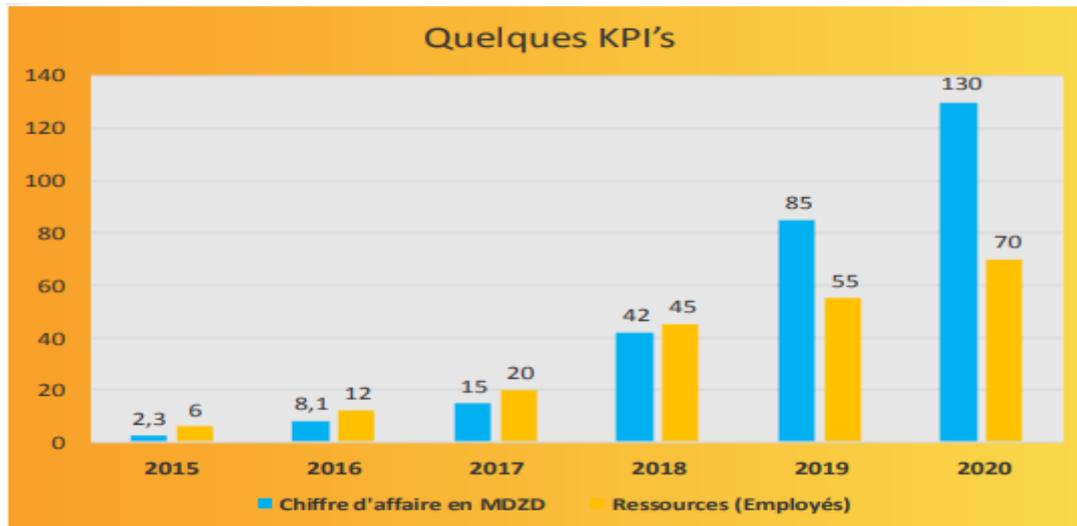


Figure 2 : indicateurs clé de performance (chiffre d'affaire et nombre des employés).

5. Références de l'entreprise

Depuis 5 ans, SARL Silex services a participé à de nombreux projets dont voici quelques références :



Figure 3 : références de l'entreprise SARL Silex services.

Chapitre I :

Généralités sur la maintenance.

Introduction

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

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

I.1 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 des cinquante dernières années. Ces changements ont le but d'affecté 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 les machines étaient robustes et relativement lentes, mais ces machines étaient fiables.

À partir des années 1950 avec la reconstruction de l'industrie après la guerre, en particulier celles du Japon et de l'Allemagne, Un marché 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 des stratégies préventives, correctives, proactives et même amélioratives [2].

I.2 Quelques définitions

Les définitions de base dans la fonction de maintenance sont :

- La **défaillance** est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. Après défaillance d'une entité, celle-ci est en état de panne [3].
- Le **diagnostic** est un processus de recherche des causes et des conséquences d'une défaillance, à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle d'un test ou d'un historique de pannes. 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 [3].
- La **maintenance** est « l'ensemble des actions techniques, administratives et de gestion durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ». Maintenir un bien est considéré comme étant une action à long terme contrairement à l'action rétablir, considérée à court terme [3].

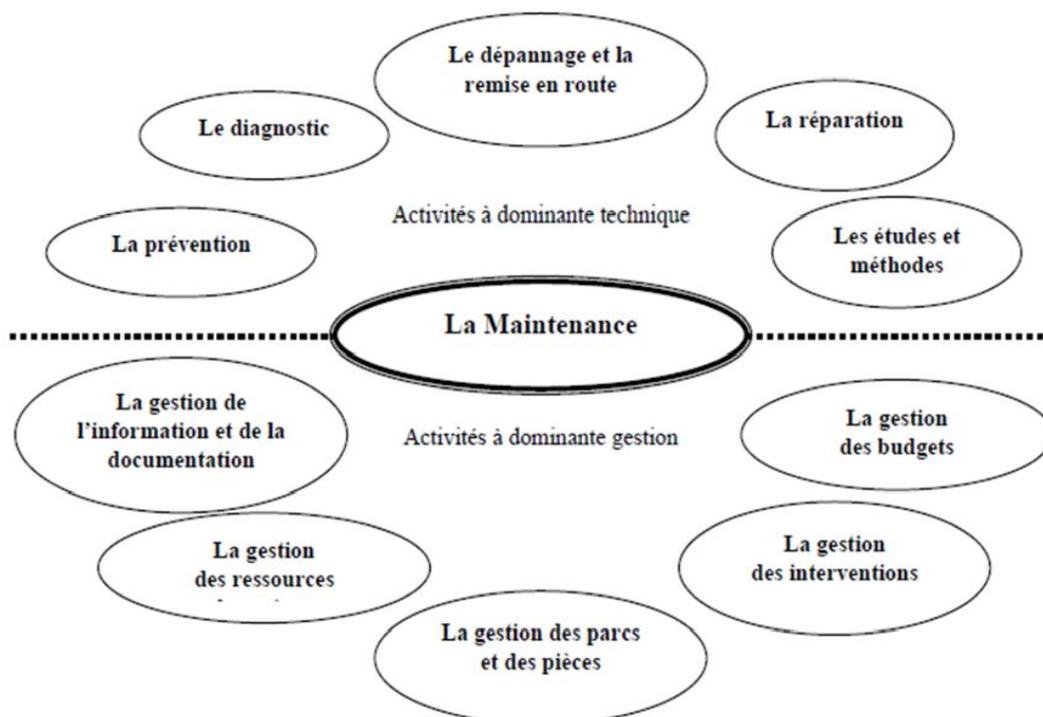


Figure I.1 : Le contenu de la fonction maintenance [3].

I.3 Typologie de la maintenance

Les types, ou stratégies, de maintenance sont classés par la norme AFNOR, 2001 comme suite.

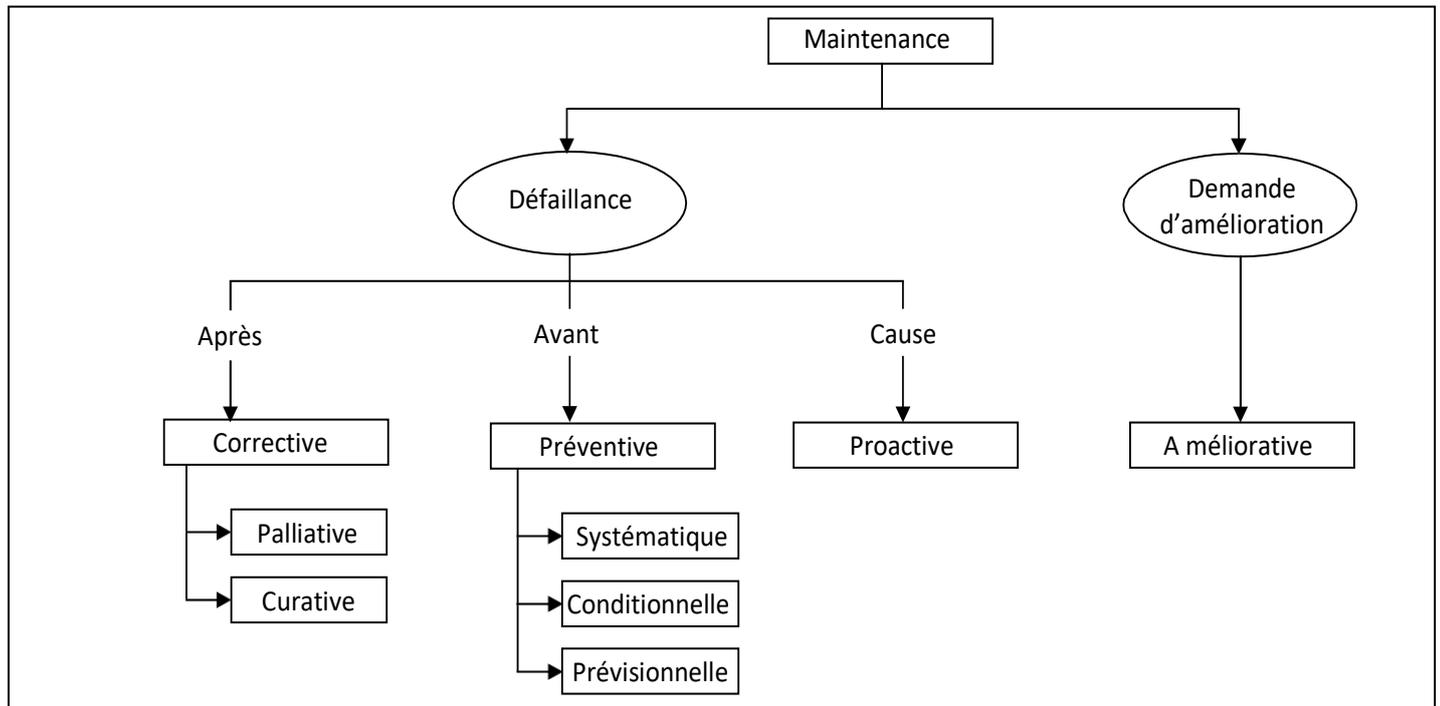


Figure I.2 : Taxonomie de la maintenance. [4]

I.3.1- La maintenance corrective

Exécutée après la détection d'une panne et destinée à remettre une entité dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement.

Ses actions s'effectuent par étapes, dans l'ordre suivant :

- Test : comparaison des mesures avec une référence,
- Détection : déceler l'apparition d'une défaillance,
- Localisation : les éléments par lesquels la défaillance se manifeste,
- Diagnostic : analyse des causes de la défaillance,
- Dépannage et réparation : remise en état (avec ou sans modification),
- Contrôle : contrôle du bon fonctionnement,
- Amélioration éventuelle : éviter la réapparition de la panne,
- Historique : mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure.

Une intervention de la maintenance corrective peut être de caractère provisoire (dépannage) appelée maintenance palliative, ou de caractère définitif (réparations) appelé maintenance curative [3].

I.3.1.1- Maintenance corrective curative

Elle permet de rétablir un matériel ou une entité dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Elle ne prend en compte que les défaillances dites catalectiques.

I.3.1.2- Maintenance corrective palliative

Elle permet à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Étant entendu que ces actions de dépannage seront suivies d'actions curatives, elle ne prend en compte que les défaillances dites catalectiques.

I.3.2- La maintenance préventive

Exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits, suite à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs, et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou de la dégradation du fonctionnement du bien, et augmenter la fiabilité et la disponibilité des machines. Cette maintenance se dissocie en [4] :

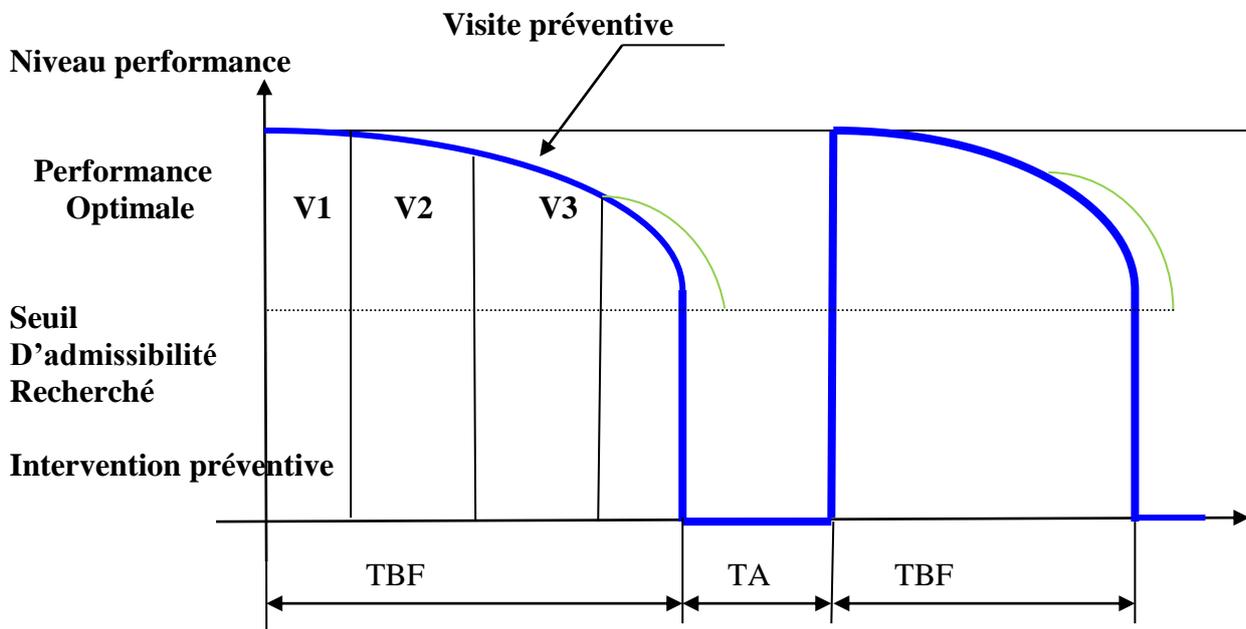


Figure I.3 : Intervention préventive [1].

- **La maintenance systématique** : exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage indépendamment de l'état du bien. Elle repose sur le calcul du MTBF (Mean Time Between Failures, Temps Moyen entre pannes).
- **La maintenance conditionnelle** : basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. L'intérêt d'une telle stratégie est de pouvoir utiliser les machines au maximum possible en diminuant le temps d'arrêt dû aux opérations de maintenance corrective systématique.

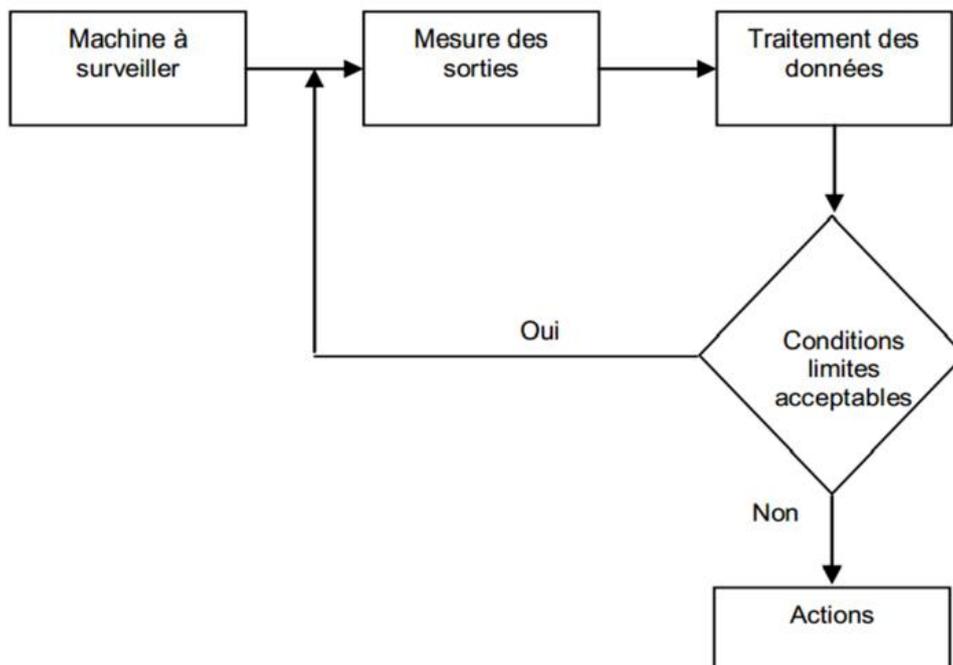


Figure I.4 : Structure de la maintenance conditionnelle [4]

I.4-Organisation du service maintenance

Deux types d'organisation peuvent être mises en place selon la spécificité et la taille de l'entreprise [6] :

I.4.1-Maintenance centralisée

Ce type d'organisation prévoit la centralisation de toutes les activités de maintenance sous forme d'une seule entité. Cette entité gère la maintenance globale de toute l'entreprise

(ateliers et secteurs). Parmi les avantages de ce type d'organisation on peut citer :

- la facilité de planning
- la facilité de surveillance
- des magasins bien équipés
- le contrôle effectif de la main-d'œuvre

I.4.2-Maintenance décentralisée

Chaque secteur d'activité a son atelier sectoriel de maintenance. Comme caractéristiques de ce type d'organisation, on trouve :

- un service rapide
- les connaissances spécialisées
- une prise en charge de chaque installation
- moins de paperasse
- les frais réels de maintenance par poste de travail.

I.5 Les niveaux de la maintenance

Les tâches de maintenance sont classées en cinq niveaux. Ceux-ci font référence à la complexité des tâches à effectuer et, entre autres aux ressources matérielles nécessaires à la réalisation de chacune des tâches [5] :

- **Tâches de maintenance du 1^{er} niveau :**

Comporte des réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage ; ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité, sans avoir la nécessité à un outillage spécifique.

- **Tâches de maintenance du 2^{ème} niveau :**

Comporte des opérations de dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou opérations mineures de maintenance préventive qui peuvent nécessiter un outillage standard.

• Tâches de maintenance du 3^{ème} niveau :

Nécessite une identification et un diagnostic des pannes. La réparation s'effectue toujours par un échange de composants fonctionnels et les réparations mécaniques à réaliser sont mineures. L'outillage nécessaire est courant et prévu pour ce type d'intervention. De plus des appareils de mesure (banc d'essai, contrôle, etc...) sont nécessaires pour la remise en route correcte de l'équipement qui a nécessité l'intervention.

• Tâches de maintenance du 4^{ème} niveau :

Est celui des travaux importants de maintenance corrective ou préventive. Un outillage plus spécialisé est généralement requis tel que du matériel d'essai ou de test, un banc de contrôle, ... etc.

• Tâches de maintenance du 5^{ème} niveau :

Comporte les travaux de rénovation, de reconstruction ou réparations importantes confiés à un atelier central. Les moyens nécessaires pour effectuer ce type d'intervention sont proches de ceux qui ont été utilisés lors de la fabrication de l'équipement par le constructeur. Après avoir défini l'activité du service de maintenance dans le milieu industriel, nous allons maintenant en détailler la composition avec notamment ses ressources.

I.6 Choix de la forme de maintenance à mettre en œuvre

Pour faciliter le choix de la forme de maintenance à mettre en œuvre, un « arbre de décision » oriente l'agent des méthodes sur une des formes de maintenance envisageable a priori [1].

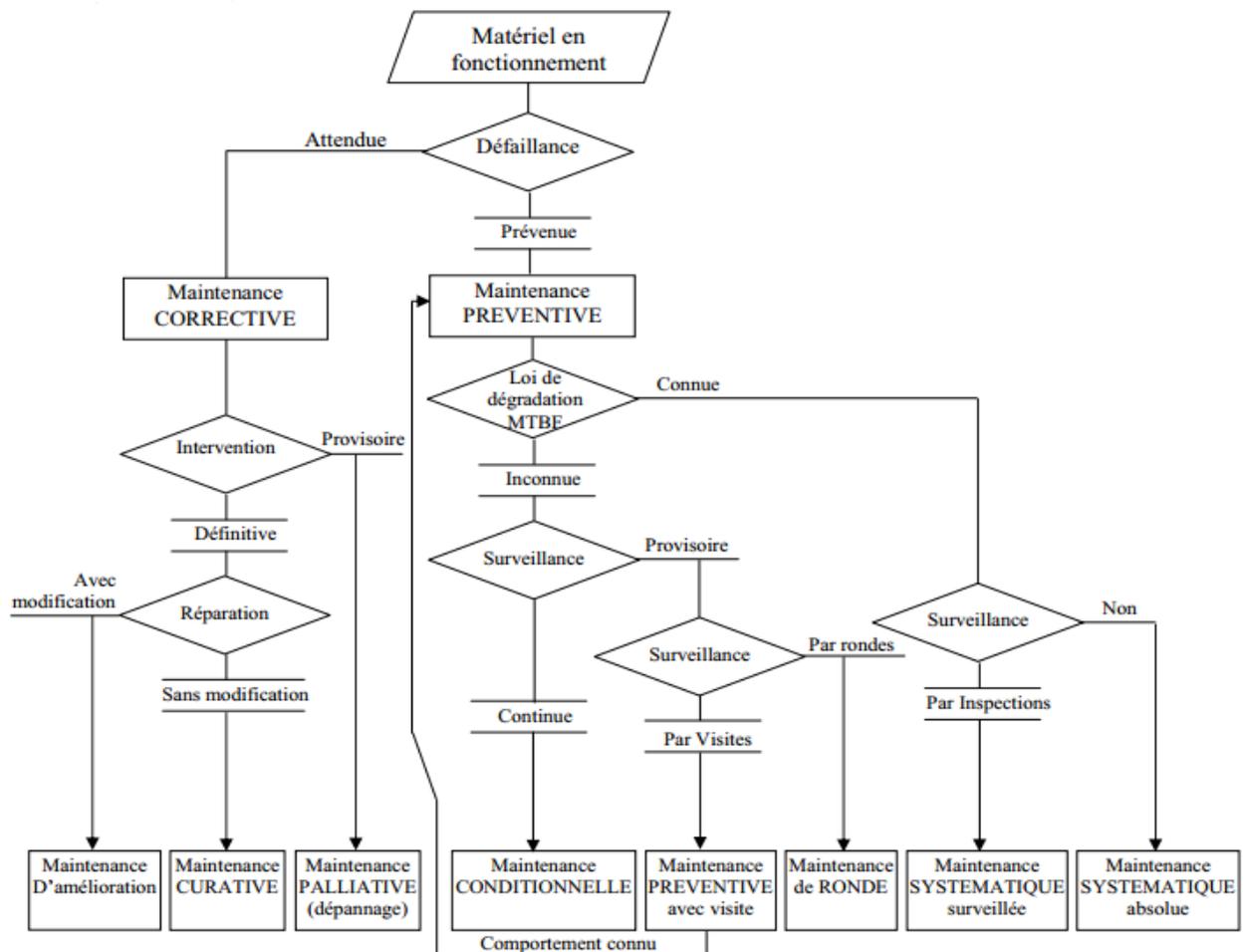


Figure I.5 : Exemple d'arbre de décision pour choisir la forme de maintenance adaptée à un sous-ensemble [1]

I.7 les moyens de maintenance

I.7.1 Moyen humains

En maintenance, les tâches sont très précises. D'où la nécessité d'avoir une main d'œuvre qui soit de qualité parce que les standards sont difficilement déterminés. Pour avoir les moyens humains adéquats, il suffit [8] :

- D'avoir une politique de besoins humains.
- De déterminer les structures (organigramme, hiérarchie, notion de spécialiste)
- De déterminer le niveau des effectifs
- D'assurer la formation nécessaire

I.7.2 Moyen matériels

Il est insensé d'investir dans des grosses installations sans penser aux très faibles outils et matériels nécessaires à la vie de ces installations. Le concepteur, lui, est très fréquemment une société qui n'exploite pas les installations qu'elle conçoit.

Généralement, il ne tient pas compte des conditions particulières d'entretien et attache une trop faible attention à la maintenabilité des équipements et à ses moyens [8].

I.8 Objectifs de la maintenance

On peut distinguer plusieurs types d'objectifs de la fonction de maintenance : [2]

I.8.1 Les objectifs généraux

- **Assurer la production prévue (quantité)** : Il faut faire constamment des compromis entre les besoins de production et les arrêts nécessaires à la maintenance avant défaillances.
- **Maintenir la qualité du produit fabriqué (qualité)** : Il faut savoir les tolérances admissibles en qualité et les surveiller afin de rectifier les situations problématiques.
- **Respecter les délais (temps)** : Nous discutons ici tant des délais d'intervention que les délais de fabrication. Comme les programmes et calendriers de production ont été réalisés en collaboration entre la production et la maintenance, il est essentiel que le service maintenance respecte ses prévisions de temps d'intervention dans une maintenance préventive ou corrective.
- **Rechercher les coûts optimaux (rentabilité)** : élaborer des devis précis de réparation reposant sur les diagnostics en profondeur touchant la cause de la détérioration ou de la défaillance et non seulement les symptômes.
- **Respecter les objectifs humains (sécurité)** : Les conditions sécuritaires de travail doivent être l'obsession du service maintenance. La maintenance est parfois une fonction à haut risque, pour son propre personnel lors de l'intervention, que pour le reste des employés après la fin des travaux si l'équipement ou l'environnement n'est pas remis en bon état pour la production.
- **Préserver l'environnement (environnement)** : La maintenance doit souvent utiliser ou travailler en fonction de la présence de matières polluantes ou nuisibles pour

l'environnement ou pour le personnel de l'entreprise. Les contraintes d'intervention doivent respecter la préservation d'un environnement de travail sain.

- **Respecter le cadre législatif (lois) :** les opérations de maintenance doivent respecter le cadre législatif à tous les niveaux.

Évidemment, L'objectif de rentabilité est le plus important car il permet l'atteinte des autres objectifs. La maintenance doit donc se donner comme objectif de contribuer activement à l'atteinte de la rentabilité et la compétitivité de l'entreprise, et garder un compromis entre besoins techniques, humains et économiques.

I.8.2 Les objectifs techniques

Les contraintes de production portent essentiellement sur une disponibilité satisfaisante des équipements et sur la sécurité des personnes, cette dernière étant le lot des industries du transport ou celles exploitant des équipements dangereux. Les objectifs techniques visent un taux maximum de disponibilité, un nombre minimal d'arrêts, un taux de fiabilité élevé, un MTBF haut, un MTTR (Mean Time To Restore) bas.

I.8.3 Les objectifs financiers

L'objectif financier consiste à réaliser ces objectifs techniques au moindre coût, et avec une meilleure rentabilité, sur un horizon de plusieurs années en tenant compte du coût de cycle de vie. Pour minimiser ces coûts et prendre les bonnes décisions économiques, il faut considérer tous les coûts d'un équipement : étude, devis, achat, installation, indisponibilité, sécurité, formation et disposition finale.

I.9. Analyse de système de maintenance

I.9.1.Missions de service maintenance :

Avec le développement technologique connu ces dernières années et le besoin des entreprises à optimiser le rendement et maximiser leur production, le service maintenance doit satisfaire les besoins de production. Les missions de la maintenance peuvent être classées sur trois plans interdépendants [1] :

I.9.1.1- Au plan technique

- Accroître la durée de vie des équipements ;
- Améliorer leur disponibilité et leur performance ;
- Améliorer l'interface production-maintenance (GMAO) ;

I.9.1.2- Au plan économique

- Réduire les couts de défaillance (améliorer les prix de revient) ;
- réduire le cout global des équipements ;
- participé à l'image de marque de l'entreprise ;

I.9.1.3-Au plan social

- réduire le nombre d'interventions en urgence et ainsi réduire le risque d'accidents ;
- se mettre en conformité avec la législation sur la sécurité et l'environnement ;

I.10 Les systèmes d'information et la maintenance**I.10.1 Pourquoi une GMAO**

La mise en place d'une Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO) vise à diminuer les frais généraux et de fournir à tout personnel de maintenance des informations plus détaillées et plus fiables. On peut facilement justifier ces frais en imaginant les conséquences économiques et financières, dues à la perturbation de la productivité de l'entreprise, causée par l'absence d'un système fiable de gestion de la maintenance. L'informatisation des activités de maintenance concerne : la gestion technique des équipements (ontologies et taxonomies), la gestion des opérations de maintenance préventive et corrective, la gestion des ressources humaines et matérielles (pièces de rechanges, lubrifiants...), la gestion des coûts et du budget de maintenance, la documentation technique, l'élaboration d'une analyse globale de la fonction maintenance.

Ainsi, une GMAO participe à une meilleure organisation, à un gain de temps et d'efficacité, à l'allégement des tâches, et à une meilleure exploitation de l'historique des données qui permet la connaissance en temps réel des facteurs conditionnant la prise de décision et l'élaboration des statistiques. Avant l'implantation d'une GMAO il est nécessaire de préparer un cahier de charge qui doit définir la structure de la fonction maintenance voulue avec une répartition claire des tâches, déterminer les besoins des utilisateurs en informations et présenter un schéma informatique avec les moyens prévus et les objectifs. Une fois mise en service, la GMAO exige une grande rigueur de toutes les transactions effectuées, un respect intégral des procédures de mise en application, une tenue à jour méticuleuse des différents supports de données et une analyse périodique des résultats obtenus [2].

I.10.2 Les étapes d'un projet GMAO**i. Étude de faisabilité :**

Elle passe par le dimensionnement du projet en termes de ressources matérielles, humaines et financières, menée à l'aide d'un consultant expérimenté en GMAO.

ii. Rédaction du cahier des charges de consultation :

L'idée du "juste nécessaire" doit éviter d'investir dans des fonctions inutiles, inadaptées, superflues et coûteuses.

iii. Choix de l'outil GMAO et de ses modules nécessaires :

A partir d'un problème bien posé, la réponse est supposée aisée. Le choix du logiciel se fera après appel d'offre détaillé et essais sur les produits sélectionnés.

iv. Implantation, plan de formation et démarrage :

Le moment de l'implantation doit être bien choisi, en dehors d'une période de forte activité, et doit être précédé d'une forte information. Mais la crainte "à priori de l'informatique" étant toujours forte. Cette information doit porter à la fois sur les objectifs généraux de l'informatisation, sur les caractéristiques de l'outil sélectionné et sur le rôle de chaque secteur.

I.10.3 Le choix d'un outil GMAO bien adapté

L'implantation d'une GMAO nécessite toujours au préalable une analyse fine et détaillée des besoins, une définition précise des objectifs, une préparation soignée des acteurs et l'adhésion de tous. Ces prérequis permettront d'une part d'effectuer un choix pertinent parmi les propositions du marché et de l'autre part réfléchir aux organisations les plus intelligentes et les plus efficaces. L'entreprise qui prend la décision d'investir dans un outil de GMAO doit remettre en question les habitudes acquises par les différents services de l'entreprise qui utilisent pour des raisons historiques des systèmes de codage différents pour le même équipement [7].

I.10.4 Apport de la GMAO

Les apports d'une GMAO sont nombreux et il s'agit d'un outil absolument indispensable à toute entreprise de maintenance souhaitant gagner en efficacité au niveau opérationnel.

Parmi le périmètre couvert :

- Parc d'équipement installé : recensement, localisation, fiche technique, historique, etc. ;
- Demande d'intervention(DI) : toute personne autorisée peut signaler une anomalie sur le web ;
- Planification des équipes technique, gestion des disponibilités et des compétences ;
- Pièces détachées : nomenclature, suivi, approvisionnement ;
- Contrats : gamme de maintenance, plans de maintenance, facturation ;
- Suivi de couts : main d'œuvre, déplacements, pièces, etc. [9] ;

Chapitre II :

Fiabilité des systèmes
industriels.

Introduction

L'exécution de la maintenance dans une entreprise industrielle est d'une importance capitale pour maintenir les équipements en état de bon fonctionnement. Le calcul de la fiabilité d'un équipement constitue un outil incontournable pour évaluer l'efficacité de n'importe quelle entité. Pour une modélisation de la fiabilité d'un système, il est nécessaire de connaître les modes de défaillance auxquels il est soumis.

Le choix d'une loi de comportement du matériel (calcul de la fiabilité) devient une tâche très compliquée et nécessite une banque de données. Dans ce chapitre on va voir des notions de base liées à la fiabilité des systèmes industriels.

Dans ce chapitre, nous rappelons certains concepts de fiabilité, non seulement pour introduire certaines définitions, mais également pour mettre en évidence l'ampleur de l'effort nécessaire pour mettre en place une stratégie de maintenance adéquate. Il est important aussi de comprendre les phénomènes de défaillance des équipements.

II.1 Concepts de base (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) :

II.1.1 Fiabilité :

II.1.1.1 Définition :

La fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant une durée donnée.

C'est la probabilité que l'équipement fonctionne sans défaillance jusqu'à l'instant t .
Expression mathématiquement :

$$R(t) = P\{T \geq t\}$$

Où T est une variable aléatoire qui caractérise les durées de vie d'un équipement.

La fonction de fiabilité est décroissante en fonction de temps t :

$$\lim_{t \rightarrow 0} R(t) = 1$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$$

II.1.1.2 Concepts de fiabilité :

- **durée de vie :**

La durée de vie d'un système est la période qui sépare sa mise en exploitation de l'apparition de sa défaillance. On mesurera la durée de vie d'un équipement par le nombre d'heure durant lesquelles il aura effectivement fonctionné [10].

- **Fonction de répartition :**

La fonction de répartition de l'équipement est la probabilité complémentaire de la fonction de fiabilité $R(t)$.

Cette fonction définit la probabilité de défaillance de l'équipement avant l'instant t [19].

$$F(t) = P(T < t) = 1 - R(t) \quad (\text{II.1})$$

- **Les différentes phases du cycle de vie d'un bien :**

L'évolution de taux de défaillance d'un produit pendant toute sa durée de vie est caractérisée par ce qu'on appelle en analyse de fiabilité la courbe en baignoire. Le taux de défaillance est élevé au début de la vie du dispositif. Ensuite, il diminue assez rapidement avec le temps, cette phase de vie est appelée période de jeunesse. Après il se stabilise à une valeur qu'on souhaite aussi basse que possible pendant une période appelée période de vie utile. A la fin, il remonte lorsque l'usure et le vieillissement font sentir leurs effets, c'est la période de vieillissement [11] :

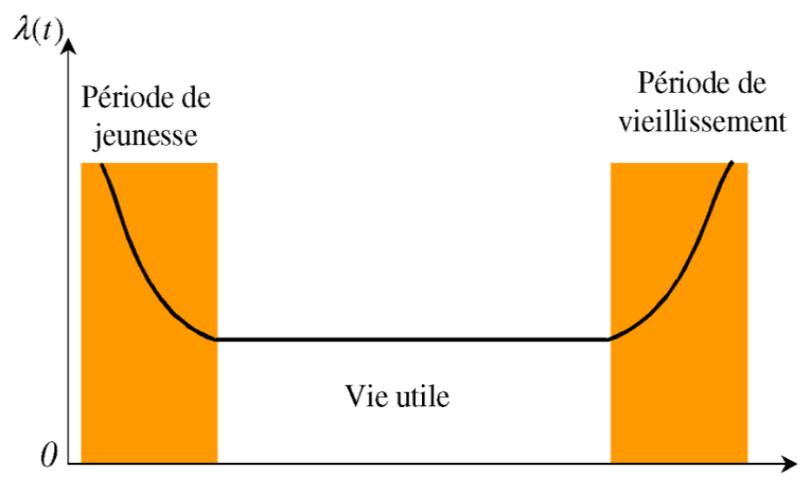


Figure II.1 : Courbe en baignoire.

II.1.1.3 Signification de quelques indicateurs de fiabilité

- **MTTF** (Mean Time To [first] Failure) :

Le MTTF représente une estimation du temps moyen de fonctionnement avant la première défaillance (concerne les systèmes non-réparable), ce temps à un rôle important en fiabilité, il est souvent pris comme un indicateur permettant la comparaison des fiabilités des systèmes fourni par un constructeur.

Il est défini par :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (\text{II.2})$$

Le MTTF est calculé par la surface délimitée par $R(t)$ [11].

- **MTBF** (Mean Time Between Failure) :

Le MTBF est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances, le MTBF d'un composant ou d'un ensemble de composants peut être exprimé en heures.

En d'autres termes, il correspond à l'espérance de la durée de vie t .

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps

$$MTBF = \frac{\Sigma(\text{durée de fonctionnement} - \text{durée de panne})}{\text{nombre de pannes}} \quad (\text{II.3})$$

$$\text{Si } \lambda \text{ est constant : } MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Par définition le MTBF est la durée de vie moyenne d'un système.

Application : une pompe hydraulique a fonctionnée pendant 6500 heures en service continu avec 6 pannes dont la durées respectives sont : 7 ; 16 ; 4.5 ; 23 ; 11 et 8 heures. Déterminer son MTBF.

$$MTBF = \frac{6500 - (7 + 16 + 4.5 + 23 + 11 + 8)}{6} = 1071,75 \text{ heures}$$

Et si λ est supposé constant $\lambda = \frac{1}{MTBF} = 9,33.10^{-4}$ défaillances/heures [11].

- **MTTR**

Exprime la moyenne des temps de taches de réparation. Il est calculé en additionnant les temps de maintenance ainsi que les temps annexes de détection et de préparation. Le tout divisé par le nombre d'intervention. [11]

$$MTTR = \frac{\text{temps d'arrêt total}}{\text{nombre d'arrêt}}$$

$$\mu = 1/MTTR \quad (\text{II.4})$$

II.1.1.4 Les types de la fiabilité :

a- Fiabilité prévisionnelle

Elle consiste à prévoir la fiabilité dès le début de projet, à partir d'une analyse qualitative et/ou quantitative. Elle s'exécute dès la première phase du projet sous forme de prévisions succinctes, puis de façon plus détaillée lorsque la définition des composants est réalisée. Elle permet ainsi de prendre des orientations optimales en matière de conception.

b- Fiabilité estimée :

Consiste à quantifier la fiabilité à partir d'essais ou calculs. Dès que l'on dispose de pièces prototypes, il est possible de réaliser des essais dits de robustesse pour identifier les faiblesses de la conception du produit. Lorsque le produit est suffisamment robuste, des essais de quantification ou de validation de la fiabilité sont réalisés.



Figure II.2 : Banc d'essai de fiabilité, élément clé de la fiabilité expérimentale.

c- Fiabilité opérationnelle :

Consiste à évaluer la fiabilité en service à partir de données du retour d'expérience (REX). Elle se pratique dès les premières mises en service et permet ainsi de corriger des défauts de conception et de procès.

II.1.1.5 Fiabilité des systèmes constitués de plusieurs composants :

- **Montage en série :**

La fiabilité R_s d'un ensemble de n constituants connecté en série est égale au produit des fiabilités respectives de chaque composant.

$$R_s = R_A * R_B * R_C * \dots * R_n$$

Si les composants ont la même fiabilité :

$$R_s = n . R \tag{II.5}$$



Figure II.3 : composants d'un système connecté en série

- **Montage en parallèle :**

La fiabilité d'un système peut être augmentée en plaçant les composants en parallèle. Un dispositif constitué de n composants en parallèle ne peut tomber en panne que si les n composants tombent en panne au même moment.

F_i est la probabilité de panne de composant, la fiabilité associé R est son complémentaire :

$$F_i = 1 - R_i \tag{II.6}$$

La probabilité de pannes F_s de l'ensemble des n composants en parallèle, est égale au produit des F_i entre eux.

$$F_s = F_1 . F_2 \dots F_n = (1 - R_1) (1 - R_2) \dots (1 - R_n)$$

La fiabilité R_s de l'ensemble est donnée par la relation : $R_s = 1 - F_s$ donc :

$$R_s = 1 - ((1 - R_1) (1 - R_2) \dots (1 - R_n))$$

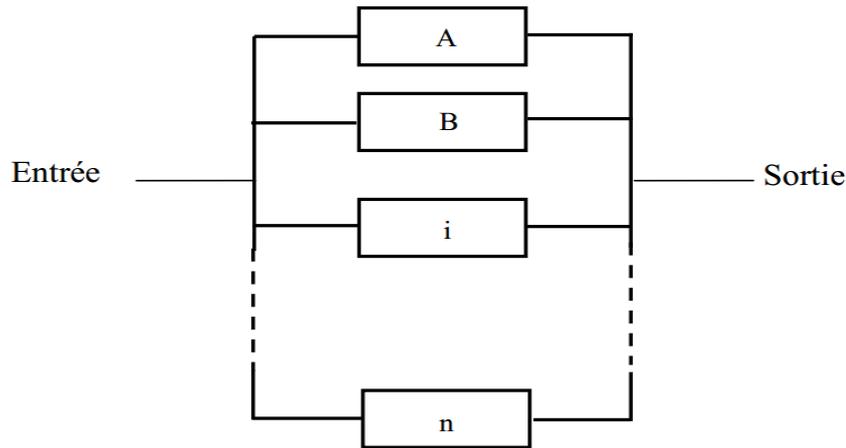


Figure II.4 : composants d'un système connecté en parallèle.

II.1.2 Maintenabilité

II.1.2.1 Définition :

L'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrits.

II.1.3 Disponibilité

II.1.3.1 Définition

Est l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires soit assurée.

II.2 Pannes et défaillances

II.2.1 Définition de la défaillance

Altération ou cessation d'un bien à accomplir une fonction requise, c'est donc la perte de disponibilité du bien. Après défaillance d'une entité, celle-ci est en état de panne.

II.2.2 Comment se manifeste la défaillance :

A l'initiation de la défaillance, elle peut se trouver sur un défaut de matière, un défaut de conception, un défaut de fabrication, puis la défaillance se propage et s'opère souvent par des modes de défaillances en fonctionnement comme l'usure, fatigue..., etc. Cela amène à la

perte de bon fonctionnement qui intervient généralement d'une façon accélérée, consécutive à la propagation dans le temps, ou d'une façon soudaine. [12]

II.2.3 Classification des défaillances :

Les caractéristiques d'une défaillance doivent être bien identifiées afin de prévoir et d'organiser l'intervention nécessaire pour la remise de l'entité dans son état initial. Les défaillances sont classifiées comme suit [12] :

II.2.3.1 En fonction de la vitesse d'apparition :

- **Défaillance progressive :** elle est due à une évolution progressive des caractéristiques d'une entité. En général, elle peut être repérée par une inspection ou un contrôle antérieur. Elle peut aussi être évitée par la mise en place d'une maintenance spécifique. Ces défaillances concernant principalement les organes mécaniques.
- **Défaillance soudaine :** brutale, elle est due à une évolution quasi instantanée des caractéristiques d'une entité. Une anticipation de ce type de défaillance est impossible pour effectuer une intervention avant la manifestation de cette défaillance.

II.2.3.2 En fonction de l'instant d'apparition :

- **Défaillance en fonctionnement :** Elle se produit sur l'entité alors que la fonction requise est utilisée.
- **Défaillance à l'arrêt :** Elle se produit sur l'entité alors que la fonction requise n'est pas utilisée.

II.2.3.3 En degré d'importance :

- **Défaillance partielle :** elle reste d'une ou des caractéristiques d'un bien au-delà des limites spécifiées, mais elle n'entraîne pas une disparition complète de la fonction requise. On parle alors de fonctionnement dégradé. Un tel état peut être toléré sur une période longue. Mais dans ce cas, la fonction du système est limitée.
- **Défaillance totale :** elle résulte d'une déviation d'une ou des caractéristiques d'un bien au-delà des limites spécifiées en entraînant une disparition complète de la fonction requise.

II.2.3.4 En fonction de la vitesse d'apparition et de degré d'importance :

- **Défaillance par dégradation :** elle est à la fois progressive et partielle. Ce sont les défaillances les plus faciles à prévoir et à anticiper. S'il n'y a pas de suivi, elles

conduisent généralement à une défaillance complète, ex : corrosion, usure par frottement.

- **Défaillance catalectique** : qui est à la fois soudaine et complète.

II.2.3.5 En fonction des causes :

- **Défaillance due à une faiblesse inhérente (intrinsèque)** : elle est propre au système lors des conditions normales d'utilisation. La défaillance survient alors que le système n'est pas soumis à des contraintes dépassant ses possibilités. Bien souvent, c'est la conception et/ou la réalisation qui peuvent être mises en cause.
- **Défaillance par fausse manœuvre** : opération incorrecte dans l'utilisation de l'entité.

II.2.3.6 En fonction de son origine :

- **Défaillance intrinsèque** : c'est le système lui-même qui est à l'origine de la défaillance.
- **Défaillance extrinsèque** : les défaillances sont dues à des causes extérieures (maintenance, exploitation). Le système n'est pas responsable de la défaillance.

II.2.3.7 En fonction des conséquences :

- **Défaillance critique** : susceptible de causer des dommages (aux personnes, bien, environnement).
- **Défaillance majeure** : affecte une fonction majeure de l'entité.
- **Défaillance mineure** : n'affecte pas une fonction majeure de l'entité.

II.2.3.8 En fonction de leur caractère

- **Défaillance reproductible** : la cause peut reproduire la défaillance
- **Défaillance non reproductible** : la cause ne reproduit jamais la défaillance.

II.2.4 Le mode de défaillance :

II.2.4.1 Définition :

Un mode de défaillance est la manière selon laquelle cette défaillance est observée. Généralement, il décrit la façon dont la défaillance survient et son impact sur l'opération de l'équipement.

II.2.4.2 Les modes de défaillance généraux (NF X60-510) :

La norme AFNOR X60510 propose une liste de 33 modes de défaillance relatifs aux parties « commande », indiqués dans le tableau, mais généralement on travaille avec 5 modes de défaillance génériques suivants :

- Perte de la fonction.
- Fonctionnement intempestif.
- Refus de s’arrêter.
- Refus de démarrer.
- Fonctionnement dégradé.

Tableau II.1 : Modes de défaillance génériques :

01	Défaillance structurelle (rupture)	02	Ne s’arrête pas
02	Blocage physique (coincement)	20	Ne démarre pas
03	Vibrations	21	Ne commute pas
04	Ne reste pas en position	22	Fonctionnement prématuré
05	Ne s’ouvre pas	23	Fonctionnement retardé
06	Ne se ferme pas	24	Entrée erronée (augmentation)
07	Défaillance en position ouverte	25	Entrée erronée (diminution)
08	Défaillance en position fermée	26	Sortie erronée (augmentation)
09	Fuite interne	27	Sortie erronée (diminution)
10	Fuite externe	28	Perte de l’entrée
11	Dépasse la limite supérieure tolérée	29	Perte de la sortie
12	Est en dessous de la limite supérieure	30	Court-circuit (électrique)
13	Fonctionnement intempestif	31	Circuit ouvert (électrique)
14	Fonctionnement	32	Fuite électrique
15	Fonctionnement irrégulier	33	Autres conditions de défaillances exceptionnelles suivant les caractéristiques du système, les conditions de fonctionnement et les contraintes opérationnelles.
16	Indicateur erronée		
17	Ecoulement réduit		
18	Mise en marche erronée		

II.3 Lois de probabilité usuelles en fiabilité :

La fiabilité est une mesure quantitative nécessite la connaissance des distributions de la durée de vie à fin de l'estimer.

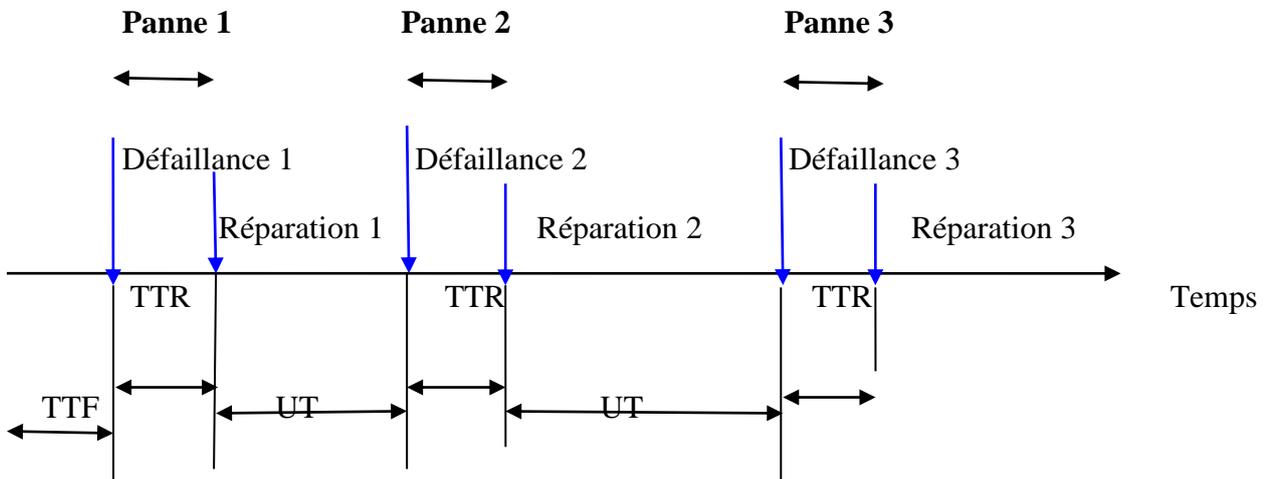


Figure II.5 : Evolution d'un système dans le temps.

On présente dans cette section les lois et les modèles de fiabilité susceptibles, selon l'expérience, de représenter des distributions de durée de vie qui interviennent le plus fréquemment dans l'analyse de la fiabilité telles la loi exponentielle et la loi de Weibull où on rappelle les principales propriétés de ces lois, les fonctions de fiabilité associées, les densités de probabilité ainsi que les taux de défaillance [13].

II.3.1 loi exponentiel

Cette loi a de nombreuses applications dans plusieurs domaines. C'est une loi simple, très utilisée en fiabilité dont le taux de défaillance est constant. Elle décrit la vie des matériels qui subissent des défaillances brutales [14].

Elle se retrouve à partir de la loi fondamentale de la fiabilité avec (λ) constant. La probabilité de survie entre 0 et (t) devient $R(t) = e^{-\lambda t}$

- Densité de probabilité : $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$

- fonction de répartition : $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t}$.

- Espérance mathématique : $E(t) = 1/\lambda = MTBF$. (II.7)

- Ecart Type : $\delta = 1/\lambda$. (II.8)

II.3.1.1 Domaine d'utilisation de la loi exponentielle

La courbe en baignoire relative à la durée de vie d'un système fait apparaître une période de maturité plus ou moins longue pendant laquelle le taux de défaillance d'un système est sensiblement constant. C'est le champ d'application de la loi exponentielle qui repose sur l'hypothèse ($\lambda = \text{constante}$), donc ($MTBF = 1/\lambda$), les équipements électroniques se prêtent bien à l'utilisation de la loi exponentielle lorsque les composants sont déterminés.

II.3.2 La loi de Weibull

La loi de Weibull, notée par $W(\beta, \eta, \gamma)$, est souvent utilisée en mécanique. Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations [24].

La distribution de Weibull est décrite par trois paramètres :

1. Le paramètre de position (ou de localisation) γ est, comme son nom l'indique, un paramètre qui régit la position d'une distribution de probabilité.
2. Le paramètre d'échelle η est un paramètre qui régit l'aplatissement d'une loi de probabilités. Il renseigne sur l'étendue de la distribution.
3. Le paramètre de forme β est un paramètre la forme de la distribution.

Elle est caractérisée par :

- La fonction répartition : $F(t) = 1 - e^{-[(t-\gamma)/\eta]^\beta}$
- La fiabilité : $R(t) = e^{-[(t-\gamma)/\eta]^\beta}$

Les trois phases de vie selon la valeur du paramètre de forme β :

- Si $\beta < 1$ (le taux de défaillance est décroissant), période de jeunesse.
- Si $\beta = 1$ (le taux de défaillance est constant), période de vie utile.
- Si $\beta > 1$ (le taux de défaillance est croissant), et période du sure ou vieillissement.

II.3.3 La loi 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 :

- Sa densité est :

$$F(t) = [(\lambda^\alpha / \Gamma(\alpha)) * t^{(\alpha-1)} * e^{-\lambda t}] \quad T > 0, \quad \text{(II.9)}$$

$$T(\alpha) = \int_0^{+\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt. \quad \text{(II.10)}$$

- Sa durée de vie moyenne est :

$$\text{MTTF} = \alpha/\lambda \quad (\text{II.11})$$

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.
4. Ces trois cas sont représentés dans la Figure II.8.

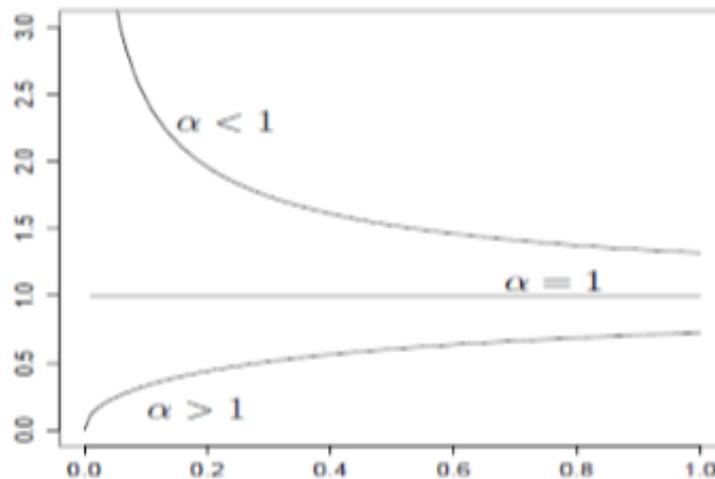


Figure II.8 : Taux de défaillance de gamma.

II.4 Maintenance basée sur la fiabilité (MBF)

La MBF (la maintenance basée sur la fiabilité) est un véritable outil de conception de la maintenance préventive, en conciliant les doubles enjeux disponibilité/cout global de possession des installations. Parmi les outils ou les méthodes qu'elle utilise, on trouve (AMDEC) mode de défaillances de leurs effets et de leur criticité. Cette technique apporte une connaissance approfondie de fonctionnement et des interactions d'un système, par l'analyse systématique des relations causes-effets. Elle occupe une place importante dans l'optimisation de la fonction maintenance. Aujourd'hui, l'intérêt économique de la fonction maintenance réside dans l'anticipation des anomalies potentielles, plus que dans les actions correctives, voire la maîtrise du processus de production [15].

II.4.1 Différentes phases d'une étude MBF

Une étude de fiabilité est basée sur les phases suivantes [16] :

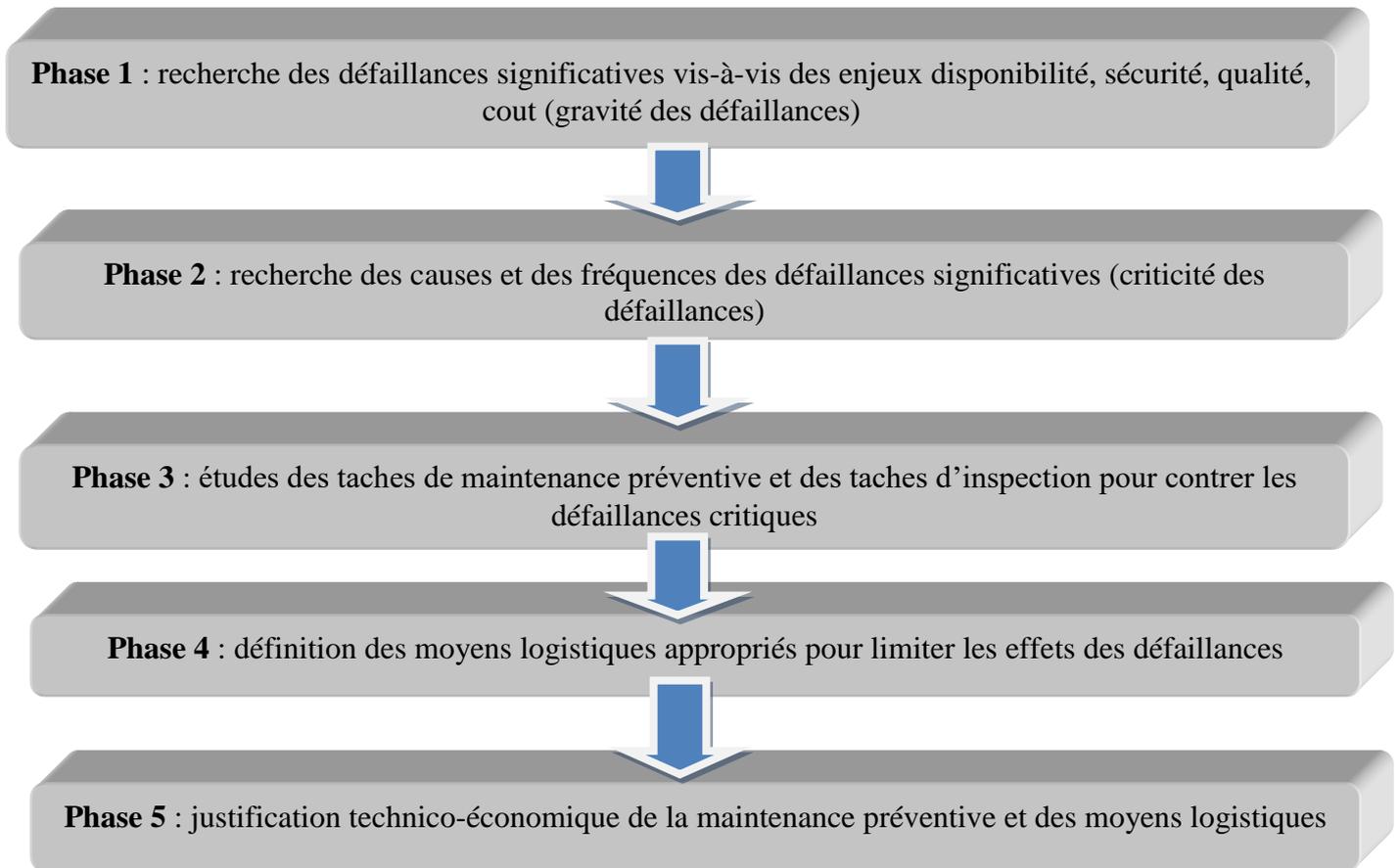


Figure II.9 : Phases d'une étude MBF

II.4.2 Objectifs de la MBF

L'objectif principal est d'améliorer la disponibilité des équipements sélectionnés comme critiques par leur influence sur la sécurité, sur la qualité et, par leur impact sur les flux de production. Améliorer la disponibilité implique la réduction des défaillances techniques par la mise en place d'un plan préventif, mais aussi la réduction des durées des pertes de production par une nouvelle répartition des tâches entre la production et la maintenance. Les autres objectifs recherchés sont : **[16]**

- La maîtrise des coûts par l'optimisation du plan de maintenance préventive, en faisant porter l'effort de prévention « au bon endroit et au bon moment », donc par élimination de tâches préventives constatées improductives.
- La mise en œuvre d'une démarche structurée par analyse systématique de chaque mode de défaillance qui permet de justifier les décisions prises.
- La mise en œuvre d'une démarche participative au niveau des groupes de travail MBF ou au niveau des tâches réparties entre production et maintenance.
- La rapidité des résultats associés à une faible perturbation de l'organisation.

II.5 Analyse de dysfonctionnement des systèmes (AMDEC)

Un système est constitué des composants élémentaires. Sa fiabilité dépend à la fois de fiabilité de ces composants et de la façon dont le bon fonctionnement ou la panne de chaque composant influe sur le bon fonctionnement ou la panne de système. Donc, l'objet de cette section est la détermination de la fiabilité d'un système à partir de la fiabilité de ses composants.

II.5.1 Histoire et Evolution

L'AMDEC ou (*FMECA (failure modes effects and criticality analysis)*) a été créée aux Etats-Unis par la société Mc Douglas en 1966. Elle consistait à dresser la liste des composants d'un produit et à cumuler des informations sur les modes de défaillance, leur fréquence et leurs conséquences. La méthode a été mise au point par la NASA et le secteur de l'armement pour évaluer l'efficacité d'un système. Dans un contexte spécifique, cette méthode est un outil de fiabilité. Elle est utilisée pour les systèmes où l'on doit respecter des objectifs de fiabilité et de sécurité. A la fin des années soixante-dix, la méthode fut largement adoptée par Toyota, Ford, Peugeot, Volvo et d'autres grands constructeurs d'automobiles.

La méthode d'abord été utilisée pour évaluer la fiabilité des produits, puis les processus de production, et sert maintenant à analyser le risque et la criticité de processus divers. C'est un outil courant des programmes de gestion de la qualité. Elle est utilisée systématiquement dans l'industrie à risque et est un outil obligatoire de l'accréditation à certaines normes, par exemple, celles de l'industrie automobile [17].

Actuellement, les AMDEC sont mises en œuvre :

- De façon réglementaire : sûreté des industries à risque (nucléaire, chimie, aérospatiale, etc.)
- De façon contractuelle : équipement de l'automobile principalement.
- De façon volontaire : construction d'une bonne disponibilité à l'origine ou amélioration de la disponibilité en phase d'exploitation.

II.5.2 Objectif de l'AMDEC

La méthode AMDEC a pour objectif :

- D'identifier les causes et les effets de l'échec potentiel d'un procédé ou d'un moyen de production.

- D'identifier les actions pouvant éliminer (ou du moins réduire) l'échec potentiel

La méthode consiste à imaginer les dysfonctionnements menant à l'échec avant même que ceux-ci ne se produisent. C'est donc essentiellement une méthode prédictive.

II.5.3 Présentation des différents types d'AMDEC

On distingue usuellement trois types d'AMDEC : L'AMDEC produit, AMDEC moyens et enfin AMDEC process.

- **AMDEC produit**

Appliqué au produit, l'AMDEC produit Consiste à analyser la conception d'un produit dans le but d'améliorer sa qualité et sa fiabilité prévisionnelle. AMDEC produit a pour objectif d'identifier assez tôt les défauts du produit et les points critiques du produit et ainsi d'imaginer des solutions et apporter d'éventuelles modifications avant la validation finale des choix techniques.

- **AMDEC moyens**

Elle concerne l'analyse des défaillances liées aux machines, elle permet une analyse une fois que les machines ont été choisies, et de valider ou d'infirmer les choix techniques pour construire la machine. AMDEC aura pour but de savoir comment les différentes fonctions de la machine ne pourraient pas être satisfaites et donc d'anticiper les produits défectueux.

- **AMDEC process**

Ce type d'AMDEC consiste à analyser des modes de défaillance liés au processus de fabrication. Il permet de : [18]

- Définir les points critiques du processus.
- Proposer des changements sur le processus.
- Déterminer des mesures de secours ou de mesures préventives.
- Elaborer et suivre un plan d'action.

II.5.4 Les avantages généraux de la méthode AMDEC

La méthode AMDEC confronte les connaissances de tous les secteurs d'activités de l'organisation, pour obtenir, dans un ordre significatif, les résultats suivants [18] :

- La satisfaction du client, qui est l'objectif majeur de l'AMDEC.

- Le pilotage de l'amélioration continue par la gestion de plan d'actions.
- L'amélioration de la communication.
- L'amélioration de la stabilité des produits, procédés, services, machines...
- La réduction des coûts.
- L'optimisation des contrôles, des tests, des essais.
- L'élimination des causes de défaillances.

II.5.5 mise au point de la méthode AMDEC

La méthode AMDEC consiste à définir quelque élément essentiel, qui est :

• Analyse fonctionnelle

La défaillance est la disparition ou la dégradation d'une fonction des éléments constituant le système. Donc pour trouver les défaillances potentielles il faut connaître ces éléments et leurs fonctions.

1. Composants :

Consiste à définir tous les organes composant le système. Pour un système, un composant est un élément intègre non dissociable.

2. Fonctions

Sont des actions à effectuer par ses éléments, permettent la réalisation de la fonction globale de système. Un composant peut avoir plusieurs fonctions.

• Analyse des défaillances

Celle-ci consiste à identifier toutes les défaillances possibles, à déterminer les modes de défaillance, à identifier les effets relatifs à chaque mode de défaillance, à analyser et à trouver les causes possibles et les plus probables des défaillances potentielles.

1. Modes de défaillance

La façon par laquelle est constatée l'incapacité d'un composant à remplir une fonction requise. C'est donc le processus qui, à partir d'une cause intérieure ou extérieure au bien, entraîne la défaillance considérée.

2. Causes de défaillance

Le changement d'état du système suit un processus initié par la cause de défaillance. La recherche des causes de défaillance peut être facilitée par l'emploi de la méthode connue dit (5M) (méthode d'Ishikawa). cette méthode montre qu'une cause d'anomalie peut être éloignée de l'organe dans le temps

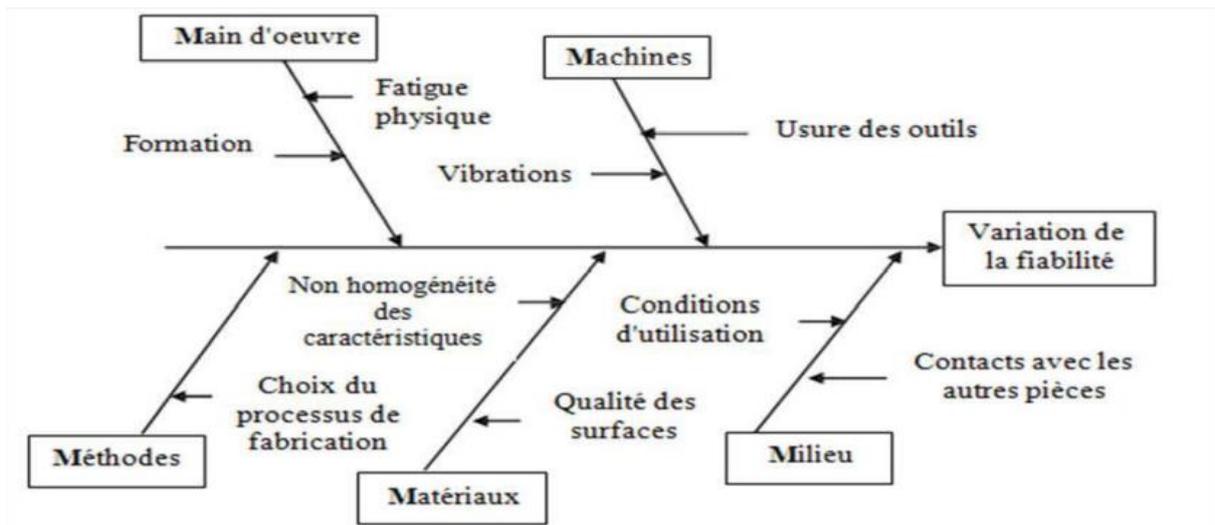


Figure II.10 : diagramme d'Ishikawa [20]

3. Effets

On constate deux (02) catégories :

- Les effets sur le système : ils sont les conséquences directes du dysfonctionnement sur l'ensemble du dispositif.
- Les effets locaux : logiquement et évidemment ces cas se rencontrent lorsque l'on n'a pas pu les détecter plus tôt.

• Evaluation

Il s'agit de l'estimation de l'indice de criticité de trio cause-mode-effet de la défaillance potentielle étudiée selon certains critères. Souvent dans la pratique on considère qu'une défaillance est d'autant plus importante si :

- Ses conséquences sont graves.

- ii. Elle se produit souvent.
- iii. Elle se produit et on risque de ne pas la détecter.

Chaque critère reçoit un indice sur une échelle qui varie de 1 à 4 en fonction de son importance.

1- Fréquence (F)

Relatif à la fréquence d'apparition de la défaillance, cette fréquence exprime la probabilité combinée d'apparition du mode de défaillance par l'apparition de la cause de la défaillance. Sa valeur allant de un (1) à quatre(4).

Tableau II.2 : Grille de l'échelle de la fréquence

Niveau	Valeur	Définition
Très faible	1	Défaillance rare
Faible	2	Défaillance possible
Moyen	3	Défaillance occasionnelle
Elevé	4	Défaillance fréquente

2- Gravité (G)

Relatif aux conséquences provoquées par l'apparition du mode défaillance en termes de ces indices :

- Qualité des pièces produites.
- Sécurité des hommes ou des biens.
- Temps d'intervention.

Tableau II.3 : Grille de l'échelle de gravité

Niveau	Valeur	Définition
Mineure	1	-arrêt de production : moins de 15 min -aucune ou peu de pièce de rechange nécessaire
Moyenne	2	-arrêt de production : de 15 min à une heure
Majeure	3	-arrêt de production : 1 heure à 2 heures -pièces en stock
Grave	4	-arrêt de production : 2 heures et plus -long délai de livraison

3- Détection (D)

Elle est relative à la possibilité de détecter la défaillance avant qu'elle ne se produise.

Tableau II.4 : Grille de l'échelle de détection

Niveau	Valeur	Définition
Evident	1	Détection certaine
Possible	2	Détectable par l'opérateur, vibrations ou par méthodes d'inspections
Improbable	3	Difficilement détectable, moyens complexes
Impossible	4	Indétectable

4- Criticité (C)

Lorsque les trois (03) critères ont été évalués dans une ligne de la synthèse AMDEC, on fait le produit des 03 notes obtenues pour calculer la criticité.

Tableau II.5 : Critères de criticité

Niveau	Définition
$c < 9$ a	Faible : aucun problème particulier. Surveillance habituelle.
$9 < c < 15$ b e	Acceptable : nécessite une surveillance particulière et/ou une révision de la politique de maintenance.
$c > 15$ a u	Forte : surveillance accrue. Remise en cause de la maintenance. Eventuellement, arrêt pour amélioration.

- **Mesures à appliquer**

Après la mise en évidence des défaillances critiques, l'analyse AMDEC définit des actions de nature à traiter le problème identifié.

Les actions sont de trois (3) types :

i. Actions préventives :

On agit pour prévenir la défaillance avant qu'elle se produise et pour l'empêcher de se produire.

ii. Actions correctives :

Lorsque le problème n'est pas considéré comme critique, on agit au ou il se présente. L'action doit alors être la plus courte possible pour une remise aux normes de façon rapide.

iii. Actions amélioratives :

Il s'agit généralement des modifications du procédé ou de la modification technologique du moyen de production, destinées à faire disparaître totalement le problème. Le coût de ce type d'action n'est pas négligeable et il est considéré comme un investissement.

Conclusion

Dans Ce chapitre, nous avons présenté brièvement les notions de base sur la fiabilité des systèmes, les méthodes d'analyse des machines ou une chaîne de production. Dans le premier lieu, on a défini les notions fondamentales (F.M.D (Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité)). Ensuite, on a présenté les différentes formes de pannes et défaillances qui peuvent se présenter dans une machine.

Après on a vu les deux méthodes d'analyse les plus utilisés en industrie, l'AMDEC et la Maintenance Basée sur la Fiabilité.

Les systèmes de convoyage prennent une place importante au sein des entreprises, ils permettent de faciliter le déplacement des matières d'œuvre et des produits. Le chapitre suivant sera consacré à la description de convoyeur à chaîne en analysant ses modes de défaillance et la criticité de ses organes.

Chapitre III :

DESCRIPTION ET DIAGNOSTIQUE
DES PANNES DE LA MACHINE.

Introduction

Vue le développement connu dans l'industrie et le besoin des entreprises à des moyens de transport à l'intérieur de l'unité de production, l'homme a pu arriver à l'industrialisation et le développement des moyens de transport des marchandises à l'intérieur de l'unité (unité de production) qui est le convoyeur.

Le convoyage est un autre terme pour désigner le transport d'un produit fini ou semi-fini d'un poste à un autre à l'intérieur de l'unité de production. Il s'agit de déplacement des matériaux en vrac ou des marchandises au détail dans un système.

Au cœur de ce chapitre, on va essayer de donner une description générale des convoyeurs dans l'industrie et de détailler sur les convoyeurs à chaîne.

III.1. Définition de convoyeur à chaîne

Un convoyeur est un mécanisme ou une machine qui permet le transport d'une charge isolée (cartons, bacs, sacs, etc.) ou de produit en vrac (aliments, poudre, terre) de façon continue sur un trajet prédéterminé.

III.2 Les types des convoyeurs

Dans l'industrie, l'homme a pu arriver à faciliter le déplacement des matières au sein de l'entreprise. Les convoyeurs jouent généralement un rôle clé et efficace pour surmonter les difficultés de transfert de divers matières premières et de produits finis [21]. Il existe plusieurs types de convoyeurs, parmi eux, on trouve :

- Convoyeur à chaîne
- Convoyeur à vis sans fin
- Convoyeur à godets
- Convoyeur à bande
- Convoyeur à chaîne tubulaire
- Convoyeur à rouleaux
- Convoyeur magnétique
- Convoyeur à air
- Convoyeur à raclettes

III.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 III.1 : convoyeur à chaîne

III.2.2 Convoyeur à bande

Le convoyeur à bande est conçu pour transporter des produits en continu sur la face supérieure de la bande. Les surfaces de la bande (supérieure sur le brin porteur et inférieure sur le brin de retour) sont en contact avec une série de rouleaux montés sur le châssis du convoyeur en un ensemble appelé station-support. A chaque extrémité du convoyeur, l'un d'eux étant relié à un groupe d'entraînement pour transmettre le mouvement.

Ce convoyeur est composé de :

- Les tambours
- Brin de retour
- La bande
- Brin porteur



Figure III.2 : convoyeur à bande.

III.2.3 Convoyeur à chaîne tubulaire

Un convoyeur tubulaire est un convoyeur dont la courroie est refermée sur elle-même afin de former un tube. Ce type de convoyeur permet entre autre de protéger le produit des conditions atmosphériques externes, d'éviter les pertes et de réduire les émissions de poussières. Ce type de courroie permet de parcourir des courbes horizontales et verticales ainsi que des angles de dénivellations élevés. Aux points de chargements et de déchargement, la courroie est ouverte en auge pour accueillir ou décharger le matériel. La transition est assurée grâce au positionnement des rouleaux. La courroie est maintenue en tube par des rouleaux positionnés en hexagone sur le pourtour.

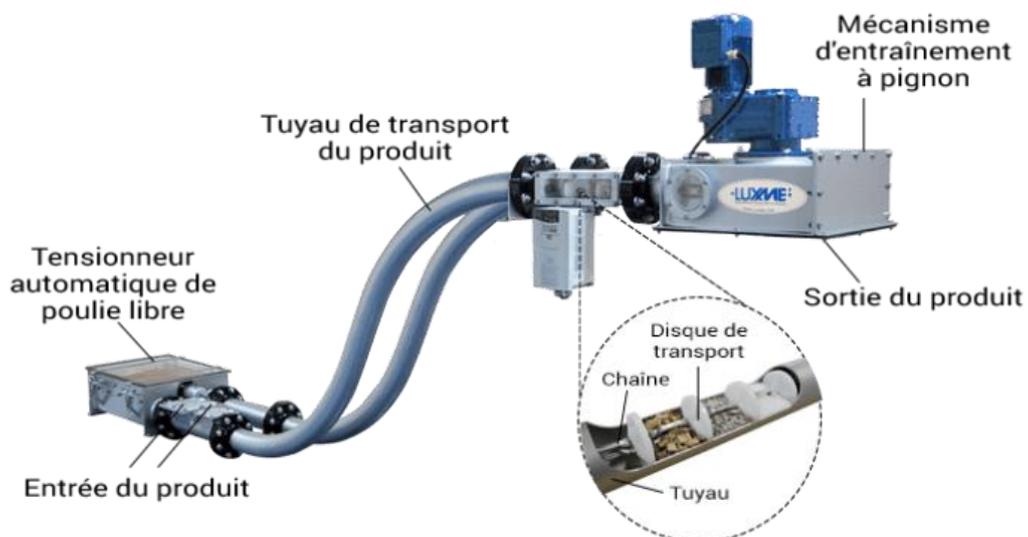


Figure III.3 : schéma d'un convoyeur à chaîne tubulaire.

III.2.4 Elévateur à godets

Elévateur à godets est un élément essentiel pour transporter des matériaux verticalement à plusieurs mètres de hauteur en utilisant le moins d'espace physique possible et en même temps en toute sécurité et rapidement. Les convoyeurs élévateurs sont conçus pour élever des matériaux comme : ciment, mortier, plâtre, agrégats, fertilisant...

Un élévateur à godet est constitué de trois sous-ensembles :

- La base d'élévateur, où sont remplis les godets.
- La colonne, dans laquelle la bande monte et redescend.
- Le sommet de l'élévateur, où se fait la vidange des godets.

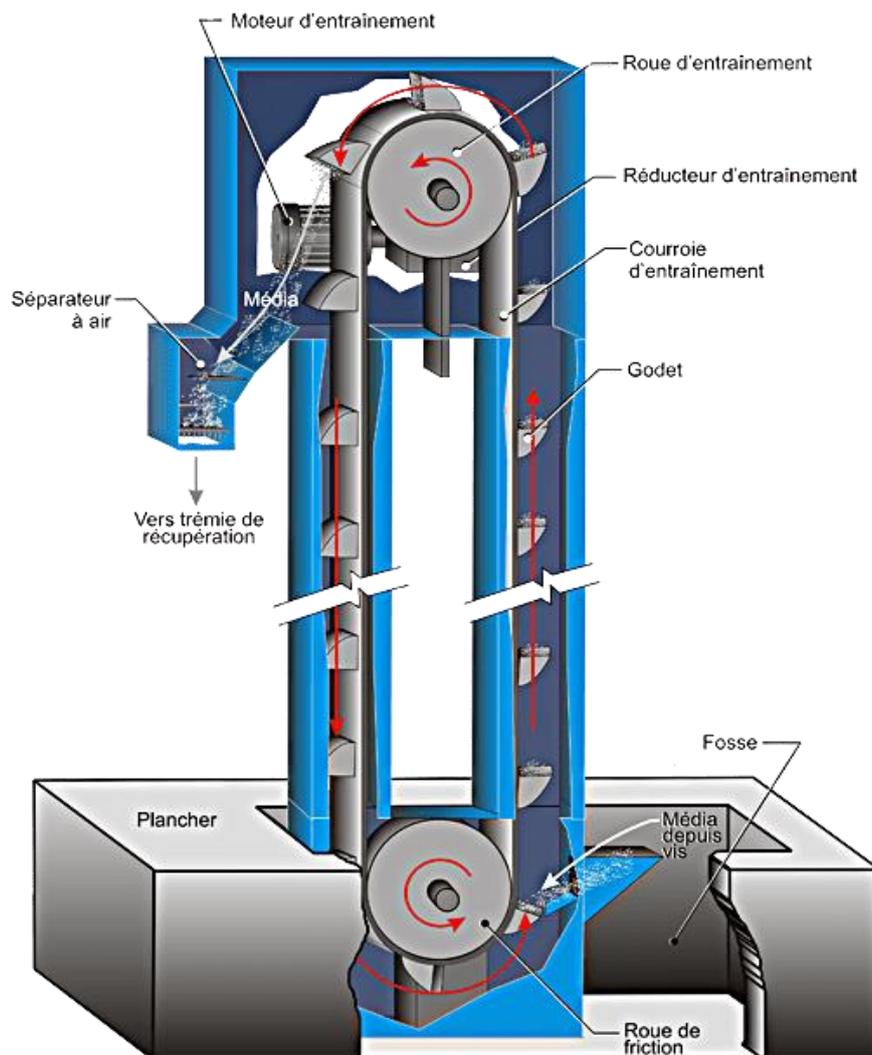


Figure III.4 : schéma d'un Elévateur à godets

III.2.5 Convoyeur à rouleaux

Le convoyeur à rouleaux ou transporteur à rouleaux est constitué de rouleaux cylindriques ou coniques dont le fonctionnement peut être motorisé, manuel ou basé sur la gravité. La charge à fond plat ainsi posée roule d'un point à un autre sur le trajet décrit qui peut même inclure des virages grâce à l'installation de rouleaux coniques dans les virages. Même lorsqu'il est manuel, le convoyeur à rouleaux est un réel renfort pour le confort de travail des opérateurs qui n'ont plus besoins de porter les charges mais n'ont qu'à poussé la charge d'un point à un autre.



Figure III.5 : schéma d'un convoyeur à rouleaux

III.2.6 Critères de choix de types de convoyeurs :

Pour choisir judicieusement le convoyeur adapté à l'installation, il faut attarder sur différents critères :

- Type de produit (granules, palettes, texture,
- La charge : la capacité de charge (lourd, léger...).
- Trajet de convoyage (rectilignes, courbes, inclinés...).
- Le cout.

III.3. Convoyeur à chaîne

Les convoyeurs à chaînes permettent le déplacement de charges, qui ne pourraient pas l'être sur des convoyeurs à rouleaux (cas des palettes ou containers dont les « skis » sont perpendiculaires au sens de déplacement).

Selon la rigidité de la charge à transporter, le nombre de chaînes est augmenté de sorte à réduire l'entre-axe des chaînes. Il existe des convoyeurs à une, deux, trois, quatre, voire cinq chaînes et plus.

Ces convoyeurs se caractérisent par le nombre de chaînes, le matériau des chaînes (acier, inox, plastique) ainsi que la robustesse de leur châssis porteur qui dépend de la charge à supporter.

Les convoyeurs se diffèrent entre eux par leurs constructions, et les convoyeurs à chaîne sont conçus pour s'adapter à divers matériaux (granuleux, matières en vrac, etc.) et tâches (déplacement et traitement de charges). La construction des convoyeurs à chaîne est comme suit [22] :

- L'entrée de matière à transportée ;
- La chaîne de convoyage : fabriqué en acier spécial ;
- Station de conduite : ensemble moteur-réducteur et l'interrupteur de sécurité ;
- Station de tension : utilisé pour garder la chaîne de convoyage tendue ;
- Rouleaux de retour ;
- Jambes de soutien ;
- La sortie ;

Les convoyeurs à chaîne sont conçus pour déplacer plusieurs types de matières, généralement les matières en vrac sèche, granuleuse et d'autres. Parmi eux on trouve [22] :

- Le riz blanc.
- Les engrais.
- La graine.
- Maïs.
- Les poudres.
- Les copeaux de bois.

III.3.1 Avantages des convoyeurs à chaîne :

Les convoyeurs à chaîne sont utiles pour les activités de transport entre postes de travail dans le processus de fabrication de produits. Les avantages des systèmes de convoyeur à chaîne résident dans [22] :

- Leur conception étanche à la poussière.
- Le convoyage de charges lourdes.
- Courtes distances verticales en option.
- Réduction des opérations de maintenance.

III.4. Initiation de l'étude :

Problématique :

La plupart des moyens de transport présentent des arrêts qui peuvent influencer directement sur la productivité, et afin d'identifier et éviter les anomalies possibles du moyen de transport, nous allons faire une analyse du convoyeur et à partir de l'historique des pannes de convoyeur on va élaborer un plan de maintenance. Notre but dans cette étude est d'améliorer le temps de disponibilité du convoyeur à chaîne tout en mettant le doigt sur la source et la cause d'anomalie et en essayant de trouver une solution réelle et faisable.

III.4.1 Description du convoyeur à chaîne :

- **Moteur :**
C'est un moteur asynchrone triphasé avec 4 pôles, sa puissance nominale est : 1.5 KW et sa tension nominale est : 380V.



Figure III.6 : moteur asynchrone triphasé

- **Réducteur de vitesse :**

Un réducteur sert à réduire la vitesse d'un moteur (hydraulique, pneumatique, thermique, électrique) avec transmission de la puissance motrice vers une machine réceptrice en absorbant le moins d'énergie il permet d'augmenter le couple moteur afin d'entraîner en rotation un organe récepteur sous l'effet d'un nouveau couple.

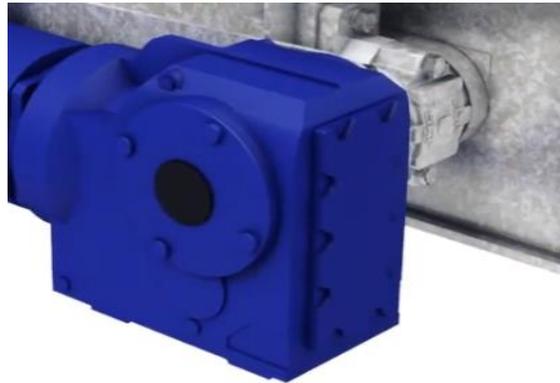


Figure III.7 : réducteur de vitesse couplé avec le moteur

- **Accouplement moteur-réducteur**

Assure la liaison entre l'arbre de moteur et l'arbre de réducteur.

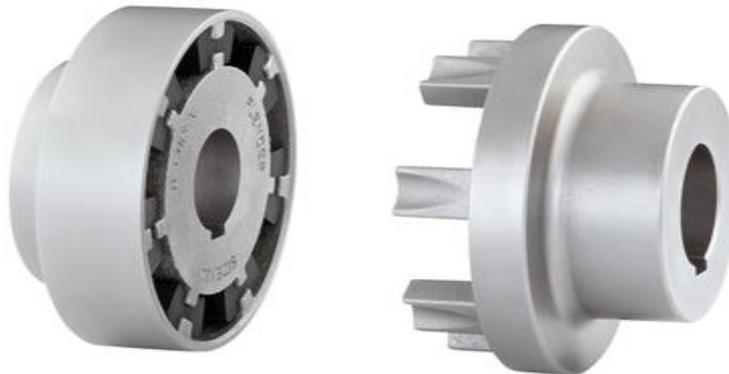


Figure III.8 : accouplement

- **Chaîne transporteuse :**

Le convoyeur à chaîne est conçu pour déplacer à sec les matières en vrac, telles que les céréales, granulés et copeaux. Ces chaînes sont équipées des racleurs.



Figure III.9 : Chaîne de convoyeur à chaîne avec racleurs

- **Les roues de transmission**

Roue de transmission est une roue dentée utilisé pour la transmission de puissance à travers un mécanisme. La roue dentée, en tournant, entraîne la chaîne de convoyeur.

- **Rouleaux de retour**

Les rouleaux de retour maintiennent la chaîne de convoyeur. Ces rouleaux sont fabriqués en acier ou en nylon. Ils permettent de minimiser la friction



Figure III.10 : Rouleaux de retour

- **Paliers**

CHAPITRE III : *description et diagnostic des pannes de la machine*

Un palier est un composant tribologique, utilisé en construction mécanique pour supporter et guider, en rotation, des arbres de transmission.



Figure III.11 : Palier

- **Capteur de vitesse**

Capteur de vitesse est un instrument servant à mesurer la vitesse de rotation de l'arbre de transmission.

- **Capteur de colmatage**

Indicateur de colmatage est un dispositif qui est conçu pour indiquer à quel moment l'élément filtrant en service doit être changé ou régénéré.



Figure III.12 : capteur de colmatage

Tableau III.1 : fiche technique de convoyeur à chaîne CIMBRIA RM-10 [22]

Données de conception	caractéristiques	Unité
-----------------------	------------------	-------

Capacité maximal	334	m ³ /h
Densité maximal de	850	Kg/m ³
Vitesse de la chaine	0.60	m/s
Niveau de pression acoustique	75-85	dB
Longueur totale de la chaine	7	m
Nombre de rouleaux de retour		-
Puissance de moteur	1.5	KW
Vitesse de moteur	1440	Tr/min

III.4.2. Analyse AMDEC

III.4.2.1. Diagramme d'ISHIKAWA :

Figure (III.13) présente le diagramme d'ISHIKAWA prenant comme objectif de déterminer les causes des modes de défaillance du convoyeur à chaine.

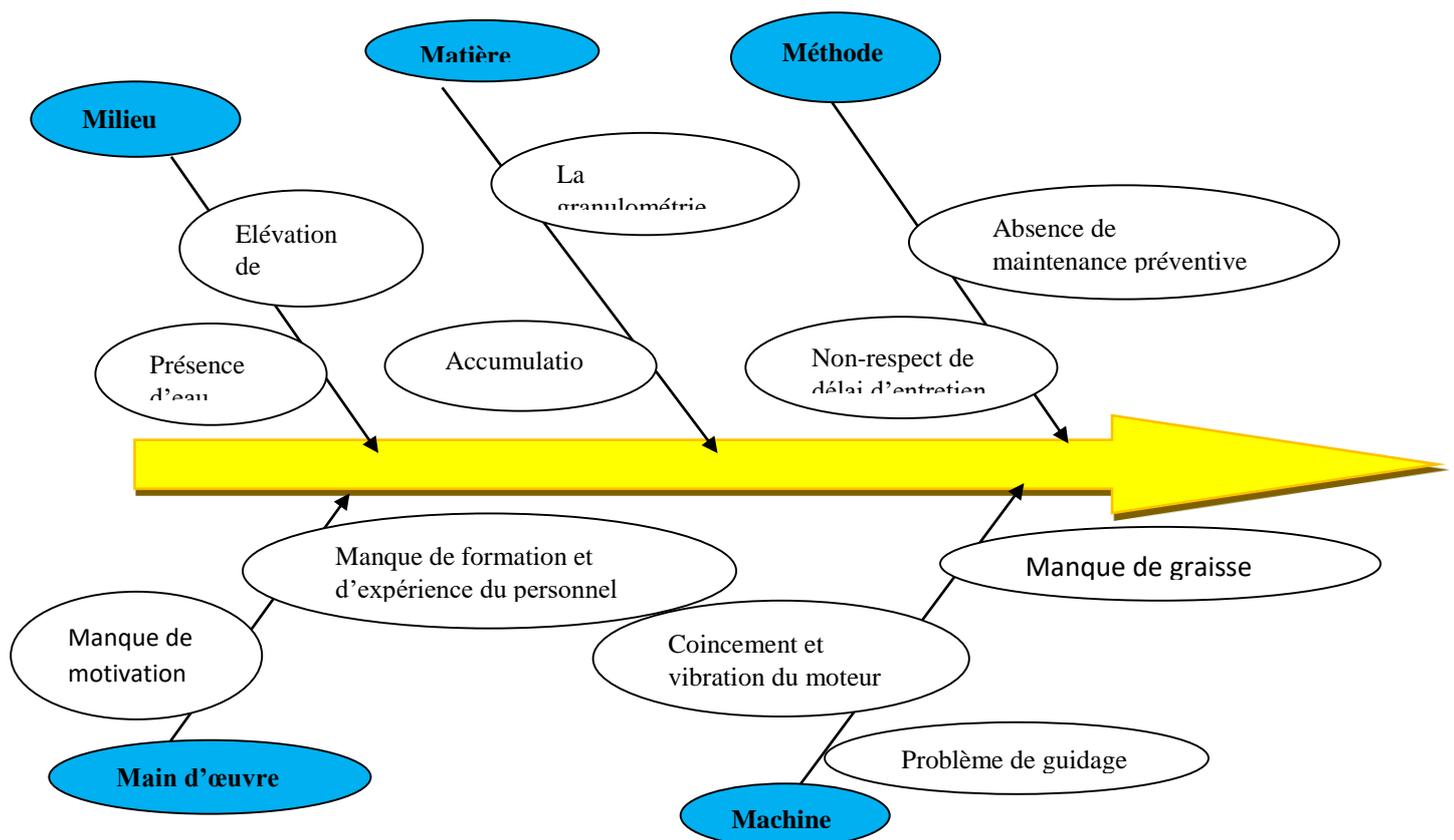


Figure III.13 : Diagramme d'ISHIKAWA.

III.4.2.2. Tableau d'analyse AMDEC

Tableau III.2 : Analyse AMDEC

CIMBRIA RM-10								
composant	Fonction	Mode de défaillance	Cause	effet	F	G	D	C
Moteur	Entrainer le convoyeur.	-rupture des pattes de fixation.	- vibration du moteur.	- blocage de la chaîne.	3	4	2	24
		-rupture de roulement.	- manque de graisse.	- blocage de pignon.	2	2	3	12
		-rupture de l'arbre.	- élévation de température.	- arrêt de rotation du moteur.	1	4	4	16
L'accouplement	Assurer la liaison entre l'arbre de moteur et l'arbre réducteur.	-Usure de roulements.	- vieillissement.	-Mauvais entraînement du moteur.	1	2	3	6
		- grippage de pignon	-défaut d'alignement des arbres.	-mauvais entraînement de la chaîne.	3	2	3	18
Le réducteur	Réduire la vitesse de moteur.	-manque de l'huile.	-Manque de graisse.	-Mauvais entraînement des pignons.	2	2	3	12
		-usure des pignons du réducteur.	-Niveau insuffisant de l'huile et pollué ou inadéquate.	-blocage de chaîne.	2	3	2	12
chaîne	-Entrainer le convoyeur.	-Fonctionnement irrégulier.	-Chaîne détendue.	-convoyeur se déplace de façon irrégulière.	2	4	2	16
Roues de transmission	Transmission du mouvement.	-Ecaillage de denture du pignon fixe.	-Vieillessement des pignons utilisés. -lubrification très faible.	-Usure de la chaîne.	2	4	1	8
Les rouleaux	Facilité l'entraînement de la chaîne de convoyage.	-Usure de rouleaux.	-Vieillessement des rouleaux.	-usure de la chaîne.	3	1	2	6
Les racleurs	Transporter et gratter la matière	Déformation du racleur.	-Effort mal reparti sur le long de racleurs.	-Manque de nettoyage	2	2	1	4
		-usure des racleurs.	-excès de la quantité transportée.	-diminution de débit.	2	1	3	6

Dans le tableau AMDEC, nous noterons seulement les causes principales de défaillance et les effets les plus graves qui leur sont correspondants en définissant pour chacun de ces modes de défaillance leur criticité.

III.4.3. Synthèse d'étude :**III.4.3.1 Action corrective :**

Vu l'apparition des défaillances sur les éléments critiques de convoyeur à chaîne, nous avons proposé des actions à engager contre les défaillances les plus fréquentes avant que l'équipement soit défaillant. Ces interventions sont représentées de la façon suivante :

- **Moteur** : lorsque la température ou bien la vibration du moteur dépasse le seuil critique (100 °C, 7 m/s), il faut réagir de la manière suivante :
 1. Graisser les roulements du moteur.
 2. Diminuer la charge transportée.
 3. Changement des roulements du moteur.
- **Accouplement** : lorsque l'accouplement n'est pas bien aligner, il faut réagir comme suit :

Réalignement de l'accouplement.
- **Réducteur** : lorsque l'huile du réducteur est polluée il faut intervenir de la manière suivante :
 1. Vider le réservoir d'huile.
 2. Remplir le réservoir avec l'huile de rinçage.
 3. Nettoyer le réservoir d'huile.
 4. Remplir le réservoir avec une nouvelle huile.
- **La chaîne** : lorsque l'épaisseur de la chaîne diminue il y'a deux cas :
 1. La chaîne est vieillie : dans ce cas il faut changer la chaîne.
 2. La chaîne est encore neuve : dans ce cas il faut réagir de la manière suivante :
 - Nettoyer la chaîne systématiquement.
 - Changer les rouleaux usés.
 - Changer les racleurs usés.
- **Les rouleaux** : lorsque les rouleaux sont usés il faut les changer.
- **Les racleurs** : lorsque les racleurs sont usés il faut les changer.

III.4.4 Diagramme de PARETO et classification ABC

Le tableau ci-dessous illustre les différentes données pour créer le diagramme de PARETO

Tableau III.3 : la durée des pannes des sous-ensembles de la chaîne transporteuse

CHAPITRE III :***description et diagnostique des pannes de la machine***

Organes	Durée de panne en H	% de durée d'arrêt	% cumulés
Moteur	35	29.7	29.7
Chaine	31.5	26.7	56.4
Accouplement	23	19.5	75.9
Réducteur	12.5	10.2	86.1
Glissieres	7	5.9	92
Racleurs	4	3.4	95.4
Paliers	2.5	2.1	97.5
Roues de transmission	1.5	1.3	98.8
Capteur de colmatage	1	0.8	99.6
Capteur de vitesse	0	0	99.6
Totale	118	99.6	-

Après le remplissage du tableau, vient la phase de la représentation du diagramme de PARETO afin d'en sortir les organes critiques. La figure ci-dessous représente le diagramme PARETO obtenu à partir du tableau **III.3** :

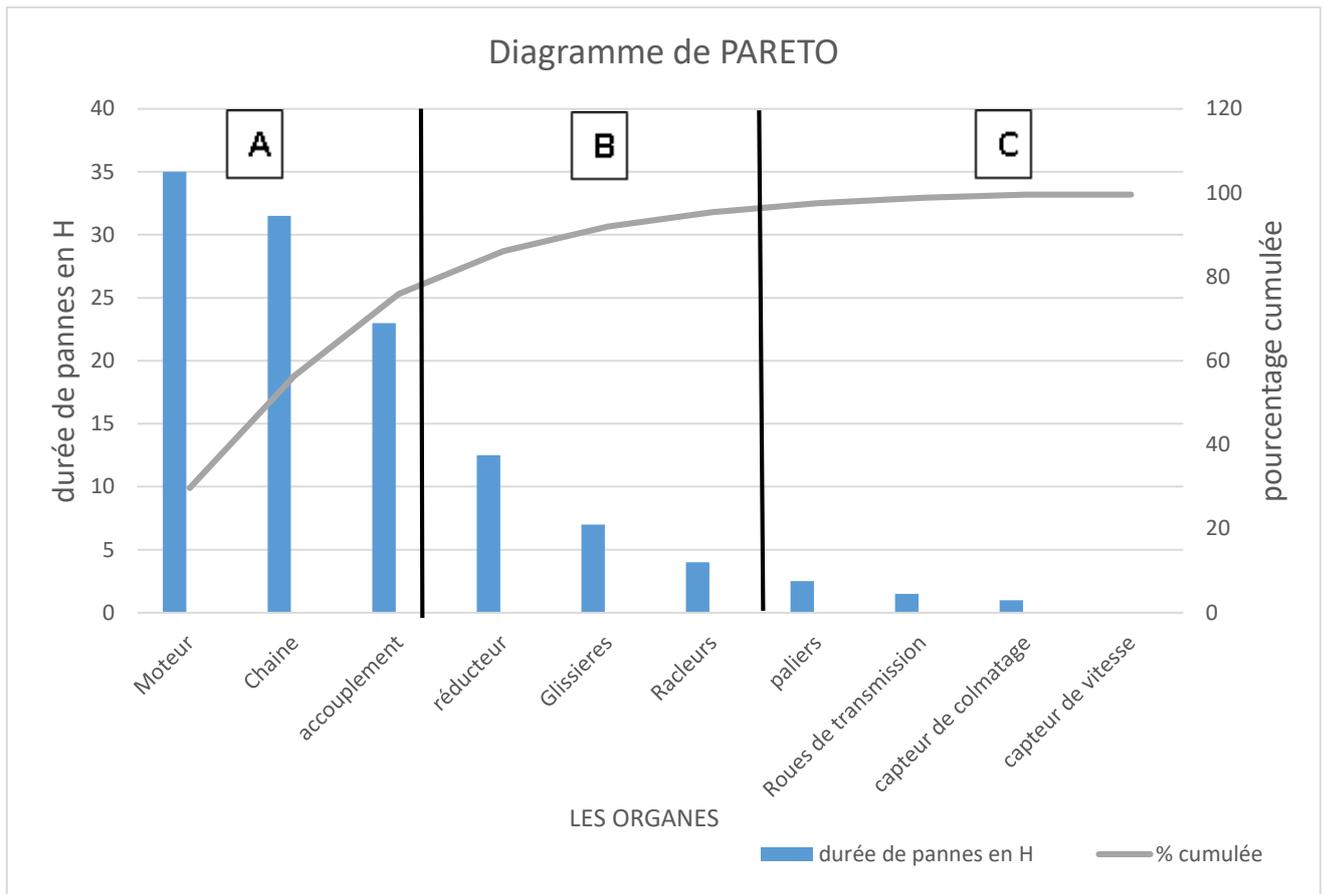


Figure III.14. Diagramme de PARETO.

III.4.4.1 Interprétation du diagramme PARETO :

La zone A doit suivre une politique de maintenance préventive systématique avec un mode opératoire bien définie et une durée déterminée, pour la zone B nous avons le choix d'appliquer une politique de maintenance préventive ou non et la zone C doit suivre une politique de maintenance corrective.

D'après cette analyse, on trouve que 3 organe parmi les 7 organes représentent plus que 80% de la durée cumulée des pannes et qui sont les éléments les plus critiques qui nécessitent une intervention systématique. Ces 3 organes sont :

- Le moteur
- La chaine
- L'accouplement

Conclusion

A travers de ce chapitre, on a essayé de faire une description totale du système de

CHAPITRE III : *description et diagnostique des pannes de la machine*

convoyeur à chaîne afin de comprendre le fonctionnement de la machine.

Avec l'analyse du système par la méthode AMDEC, on a pu constater l'origine possible des défaillances qui peut influencer sur la disponibilité et la fiabilité du convoyeur. A base de cette analyse, nous avons proposés un plan d'actions amélioratives pour faire disparaître ces défaillances. Et le diagramme de PARETO, nous a permis de découvrir les organes les plus critiques afin de les maintenir en premier avant les autres éléments.

Le chapitre qui suit, consiste à faire une étude de fiabilité pour optimiser le plan de maintenance préventive en temps et en moyens.

Chapitre IV :

Etude et calculs de fiabilité.

Introduction

Dans ce chapitre on va étudier la fiabilité de convoyeur à chaîne. À partir de l'historique de la machine on calcule le temps de bon fonctionnement qui permet de calculer les valeurs réelles de la fonction de répartition et de fiabilité. L'application du modèle de weibull nous permet de calculer les valeurs de chaque fonction de répartition, de fiabilité et le taux de défaillance avec une représentation graphique pour chaque paramètre.

A la fin de ce chapitre, on va réaliser un plan de maintenance préventive pour réduire les temps d'arrêts de processus.

IV.1 Etude de fiabilité

IV.1.1. Historique des pannes de convoyeur à chaîne

Ce tableau représente l'historique des pannes de convoyeur à chaîne :

Tableau IV.1 : Historique des pannes de convoyeur à chaîne [23].

N°	Date de panne	Début d'arrêt	Date et heure fin d'arrêt	Temps d'arrêt
01	01/06/2019	08h30	01/06/2019 à 14 h 30	06 h 00
02	16/07/2019	10 h 00	16/07/2019 à 13 h 30	03 h 30
03	17/07/2019	09 h 00	03/07/2019 à 10 h 00	01 h 00
04	02/08/2019	15 h 30	03/08/2019 à 15 h 00	28 h 00
05	20/08/2019	08 h 00	20/08/2019 à 15 h 00	07 h 00
06	01/10/2019	15 h 30	02/10/2019 à 10 h 30	17 h 00
07	05/10/2019	08 h 00	05/10/2019 à 17 h 00	09 h 00
08	19/10/2019	09 h 00	02/11/2019 à 10 h 30	02 h 30
09	23/11/2019	10 h 00	25/11/2019 à 12 h 00	26 h 00
10	25/11/2019	09 h 30	25/11/2019 à 10 h 30	01 h 00
11	12/12/2019	08 h 00	12/12/2019 à 17 h 00	09 h 00
12	14/12/2019	09 h 00	14/12/2019 à 13 h 00	04 h 00

Ce tableau représente l'historique de convoyeur à chaîne pour l'année 2019 avec les dates et la durée des pannes, on a calculé la durée de temps d'arrêt pour le système.

IV.1.2 Calcul temps de bon fonctionnement

Après l'exploitation du dossier historique de convoyeur à chaîne, on peut calculer les temps de bon fonctionnement(TBF) de manière suivante :

TBF : temps de fonctionnement entre défaillance.

TTR : temps moyen pour réparer.

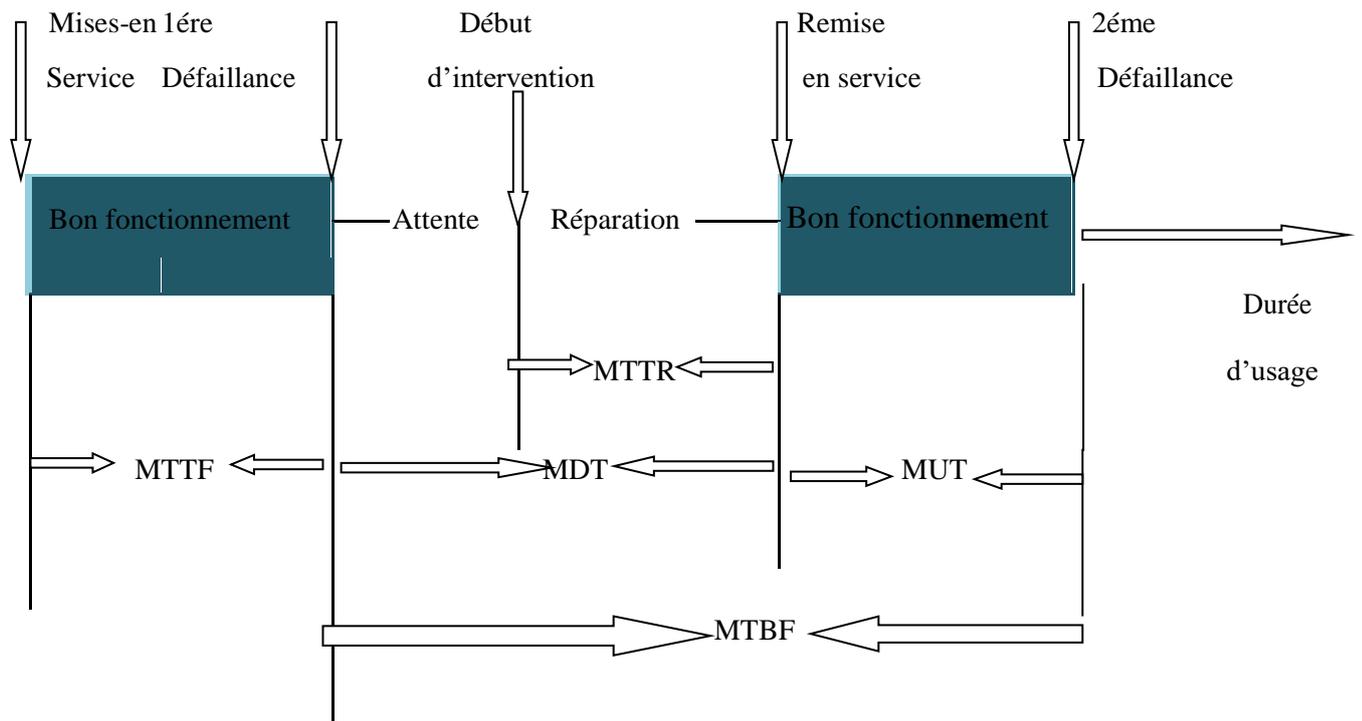


Figure IV.1. Chronogramme des dispositions réparables.

Exemple de calcul :

Tableau IV.2 : exemple calcul du temps de bon fonctionnement.

N°	date de début de l'arrêt	Date de fin de l'arrêt	TBF
01	01/06/2019 à 08 h 30	01/06/2019 à 14 h 30	1105.5 h
02	16/07/2019 à 10 h 00	16/07/2019 à 13 h 20	

$$TBF = [\text{date de début de l'arrêt (n°02)} - \text{Date de début de l'arrêt (n°01)}]$$

$$TBF1 = 1105.5 \text{ heures.}$$

TBF2 =23 h TBF3 =360.5 h TBF4 =430.5 h
 TBF5 =1039.5 h TBF6 =88.5 h TBF7 =337 h
 TBF8 =817 h TBF9=47.5 h TBF10=433.5 h
 TBF11=49 h

IV.1.3 Classement et calcul de temps de répartition et la fiabilité de système

- estimation de Fti et calcul de Rti :
- $N \leq 25$

On utilise la méthode des rangs médianes $F_{ti} = (\sum N_i - 0.3) / (N + 0.4)$

- $R_{ti} = 1 - F_{ti}$ (IV.1)

Tableau IV.3: La fonction de répartition et de fiabilité cumulée.

N°	TBF Croissant	Ni	ΣNi	Fti	Fti%	R(t)%
1	23	1	1	0.06	6.1	93.9
2	47.5	1	2	0.15	14.9	85.1
3	49	1	3	0.24	24	76
4	88.5	1	4	0.32	32	68
5	337	1	5	0.41	41	59
6	360.5	1	6	0.50	50	50
7	430.5	1	7	0.59	59	41
8	433.5	1	8	0.67	67	33
9	817	1	9	0.76	76	24
10	1039.5	1	10	0.85	85	15
11	1105.5	1	11	0.94	94	6

Ce tableau représente le temps de bon fonctionnement croissent avec nombre d'interventions, après on a calculé les valeurs de fonction de répartition et leurs valeur de fonction de fiabilité.

IV.1.4 Application du modèle de weibull

Pour déterminer les paramètres de fiabilité de cette machine nous utilisons le modèle de weibull à trois paramètres par la méthode graphique, Le tracé graphique est confirmé par la droite qui est distinguée sur la **Figure IV.2**

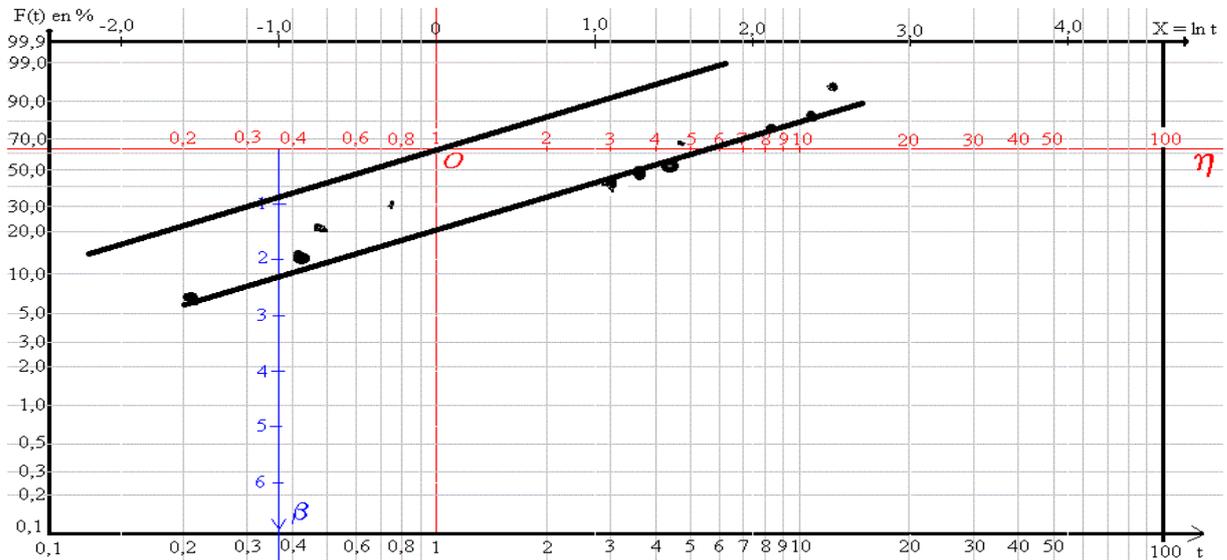


Figure IV.2 : Droite de Weibull numérique.

La détermination graphique des paramètres de la fiabilité nous donne ($\gamma=0$; $\beta=0.9$; $\eta=530$). La figure 2 représente bien la droite des défaillances.

γ : paramètre de position.

β : paramètre de forme.

η : paramètre d'échelle

IV.1.5 Calcul de la fiabilité R (ti), la fonction de répartition F (ti), le taux de défaillance λ (ti), la densité de probabilité f(ti) Test de Kolmogorov-Smirnov

Ci-joint le tableau récapitulatif et comparatif des résultats déterminés par calcul à l'aide de la loi de fiabilité Weibull.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \tag{IV.2}$$

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

$$, f(t) = \lambda(t).R(t), \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \tag{IV.4}$$

Tableau IV.4 Les différentes valeurs utilisées pour la distribution de Weibull

Rang	TBF	F (t _j) réelle	R _{th} (t _j)	λ _{th} (t _j)	F (t _j) théorique	f _{th} (t _j)	D _{ni}
1	23	0.06	0.95	0.00232	0.05	0.00220	0.01
2	47.5	0.14	0.89	0.00226	0.11	0.00201	0.03
3	49	0.24	0.88	0.00217	0.12	0.00191	0.12
4	88.5	0.32	0.82	0.00203	0.18	0.00166	0.14
5	337	0.41	0.60	0.00178	0.40	0.00107	0.01
6	360.5	0.5	0.51	0.00176	0.49	0.00090	0.01
7	430.5	0.59	0.44	0.00175	0.56	0.00077	0.02
8	433.5	0.67	0.43	0.00173	0.57	0.00074	0.10
9	817	0.76	0.25	0.00163	0.75	0.00041	0.01
10	1039.5	0.85	0.16	0.00159	0.84	0.00025	0.1
11	1105.5	0.94	0.14	0.00158	0.86	0.00022	0.08

IV.1.5.1 Test d'adéquation (test Kolmogorov-Smirnov)

D'après le tableau ci-dessus (tableau 4.2) :

La fréquence maximale $D_n \max = 0.1400$ et selon la table K-S (KOLMOGOROV-SMIRNOV) avec :

$N = 11$ et $\alpha = 0.05$ On a :

$$D_{n, \alpha} = D_{11, 0.05} \\ = 0.39122$$

Donc : $D_n \max < D_{n, \alpha}$

Ou : $0.14 < 0.39122$

Donc le modèle Weibull est accepté.

IV.1.5.2 Calcul la fiabilité de convoyeur à chaine

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

$$\text{MUT} = \gamma + A \cdot \eta \quad (\text{IV.5})$$

$$\eta = 530$$

$$\beta = 0.9$$

$$A = 1.0522$$

$$B = 1.17$$

$$\text{MUT} = 0 + 1.0522 \cdot 530$$

$$\text{MUT} = 557.67$$

$$\text{MTBF} = 557.67$$

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

$$R(t) = e^{-\left(\frac{557.67}{530}\right)^{0.9}} = 0.39$$

$$R(t) = \text{MUT} = 0.39 \text{ ou } 39\%$$

IV.1.5.3 Courbe de 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), c'est la fonction de répartition.

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

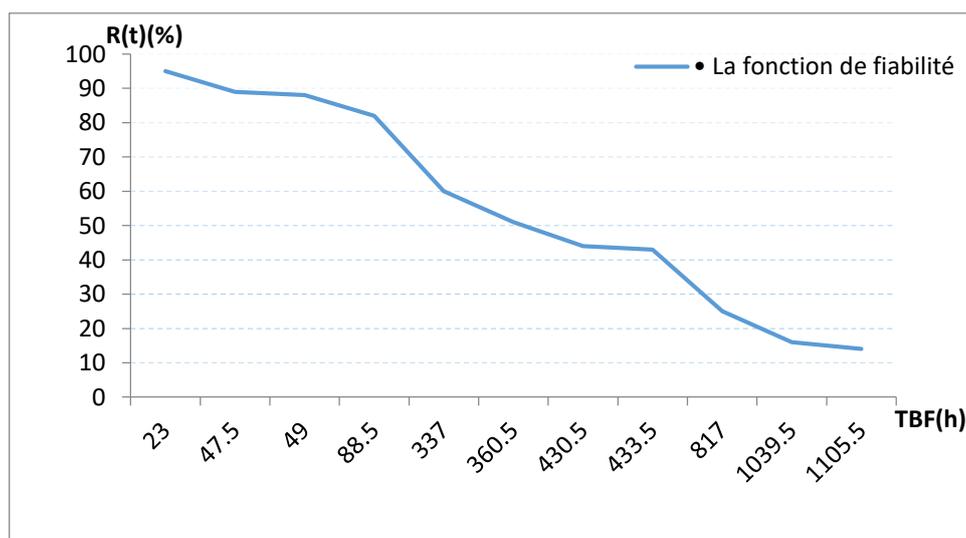


Figure IV.3 : fonction de la fiabilité.

D'après l'allure de cette courbe on a remarqué que la dégradation de la fiabilité (probabilité de bon fonctionnement) au cours du cumul de temps entre pannes signifie que le convoyeur à chaîne subit plusieurs arrêts qui provoquent l'arrêt de l'unité.

Cette dégradation est due essentiellement aux vibrations de l'équipement ou la dégradation du matériel soit à une mauvaise maintenance. En considérant le temps $t=MTBF=39\%$ ce chiffre indiquent que la fiabilité de l'équipement est de la moyenne.

IV.1.5.4 Courbe de la fonction de répartition théorique :

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

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

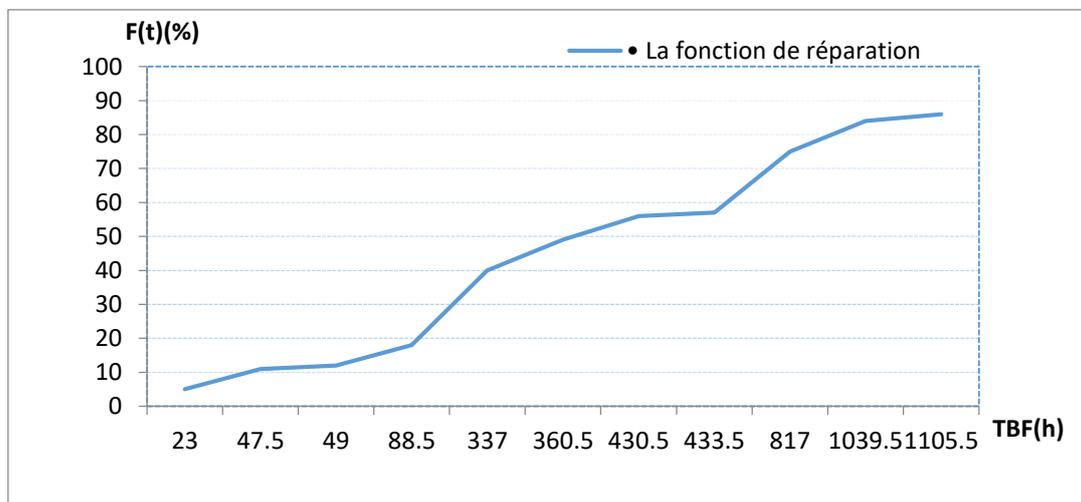


Figure IV.4 : présentation de la fonction de répartition

D'après la courbe, on voit que la répartition des défaillances s'élève avec le temps, c'est-à-dire qu'il est très probable d'avoir une ou des avaries si le temps d'utilisation augmente. Donc il faut prévoir une méthode propre pour éviter les défaillances et par conséquent l'amélioration de la fiabilité.

IV.1.5.5 Courbe de la densité de probabilité théorique :

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

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t)$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \tag{IV.6}$$

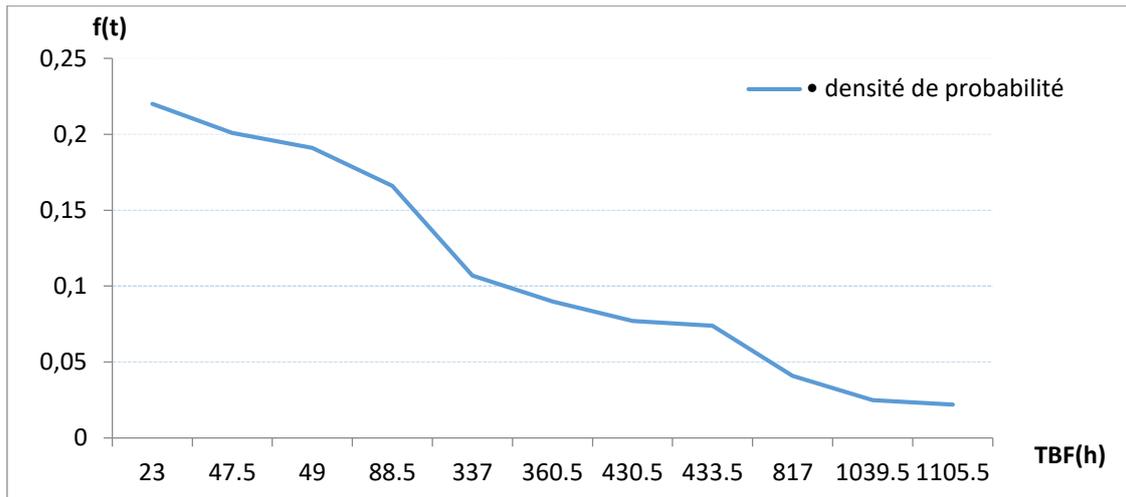


Figure IV.5 : présentation de la densité de probabilité.

L'intérêt de la fonction f(t) étant de voir l'allure de la distribution des défaillances enregistrés. C'est la forte probabilité d'avoir une avarie autour de la MTBF. On remarque que la probabilité de défaillance de convoyeur à un instant t décroît.

IV.1.5.6 Courbe des taux de défaillance théorique :

$\lambda(t)$: la probabilité d'avarie au temps (t+Δt) d'un dispositif qui était en bon fonctionnement au début de l'unité de temps (t).

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

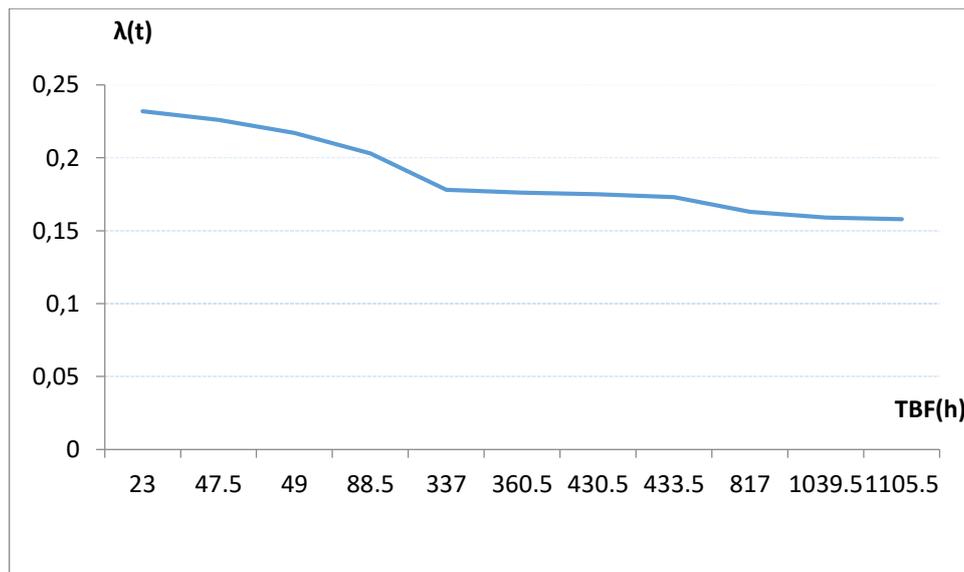


Figure IV.6 : présentation des taux de défaillance.

A partir de la courbe, on remarque que les résultats obtenus dans notre application, le taux de défaillance décroît avec le temps. Selon la théorie, notre équipement se situe en période de jeunesse ($\beta < 1$)

IV.1.6 Analyse des résultats de la fiabilité de système

D'après les résultats que on a calculé on a trouvé que la fiabilité est suffisant ($R(t) = 39\%$), mais le système a subi plusieurs arrêts. Ce problème est reviens au plusieurs raison :

- Le système est à la période de jeunesse :

Le taux de défaillance est élevé au début de la vie du dispositif. Ensuite, il diminue assez rapidement avec le temps.

- La durée de panne est beaucoup élevée :

D'après le diagramme de Pareto on remarque que la durée de panne est très élevé de chacun de (moteur, chaine, accouplement)

- L'absence de la maintenance préventive
- Manque des pièces de rechange

IV.1.7 Des solutions pour augmenter la fiabilité de système

D'après le diagramme de weibull, le système rentre dans un nouveau période qui s'appelle la période de vie utile, dans cette période il se stabilise à une valeur qu'on souhaite aussi basse que possible pendant cette période.

- L'amélioration de la maintenance préventive
- Améliorer la disponibilité des pièces de rechange
- Lubrification : Le graissage et la lubrification sont les bases de la maintenance. Négliger ces opérations conduites inéluctablement à plus de défaillances.
- Respecter le poids indiqué pour préserver la chaine

IV.2 Elaboration un plan de maintenance préventive

Le plan de maintenance est constitué en des tâches de maintenance préventive concentrées autour des causes provoquant l'arrêt de convoyeur.

A l'aide de l'analyse de machine basée sur la fiabilité, on a proposé un plan de maintenance préventive aux anomalies. Trois critères sont pris en compte, à savoir le critère économique, l'efficacité et l'applicabilité.

Tableau IV.5 : plan de MP

Liste des interventions	Fréquence	Durée d'intervention	Observations
-Graissage des roulements de moteur	Mensuelle	1 h	-
-Mesure et suivi des vibrations de moteur	Tous les jours	-	-analyse vibratoire
-Mesure et suivi la température de moteur	Tous les jours	-	-thermomètre
-Contrôle systématique d'alignement d'accouplement	Mensuelle	8 h	-
-Analyse d'huile de réducteur	Annuelle	14 h	-Test
-Vidange le réservoir de réducteur	Mensuelle	15 min	-
-Control des pignons de réducteur	1 / 15 jours	2 h	-visuel
-nettoyage et contrôle de la chaîne	Trimestrielle	6 h	-visuel
-changement de glissières	Semestrielle	7 h	-visuel
-Control et nettoyage de racleurs	Trimestrielle	-	-

Ce tableau représente le plan de maintenance préventive annuel de convoyeur à chaîne. Le rôle de ce plan consiste à améliorer la fiabilité de notre machine. Dans ce tableau, et à base de l'étude qu'on a effectué, on a défini les interventions nécessaires avec la fréquence et la durée de chaque intervention. Dans ce plan, on a intensifié les opérations de maintenance sur les organes les plus défaillants.

IV.3 Contribution à l'optimisation de maintenance préventive

La maintenance préventive est primordiale pour éviter les anomalies possibles dans un système. Ces anomalies imprévues peuvent engendrer des frais très importants sur l'entreprise. Afin d'améliorer la fiabilité et d'éviter les pertes de production il est nécessaire de mettre en œuvre des méthodes pour optimiser la maintenance.

Parmi les éléments contribuant à l'optimisation de la maintenance on trouve :

IV.3.1 Gestion de pièces de rechange

La gestion des stocks des pièces de rechange consiste à rechercher, pour les articles nécessaires :

- La quantité optimale à commander, ou quantité économique ;
- Le moment idéal pour lancer une commande.

Pour une bonne gestion de stocks de pièces de rechanges, il faut prendre en considération :

- a) Coût de stockage :** ensembles des charges dues à la présence de pièces de rechange dans le magasin (Coût d'acquisition, Coût.de possession).
- b) Disponibilité de pièces de rechanges :** il faut que les pièces soit disponibles d'une quantité suffisante.

01. Niveau de stock élevé

- Coût de possession élevé
- Faibles pertes de production

02. Niveau de stock faible

- Faible coût de possession
- Fortes pertes de production

IV.3.2 Gestion des interventions

La gestion des interventions est un point essentiel dans la maintenance préventive. Pour réussir les interventions planifiés, il est nécessaire de

1- Bien former l'équipe d'intervention

- Etablir une direction de maintenance efficace.
- Avoir une équipe pluridisciplinaire.

2- Utiliser un logiciel de gestion de maintenance qui permet :

- D'optimiser l'organisation et la planification des interventions
- de faciliter le suivi et la communication entre les différentes parties prenantes
- de simplifier la documentation de maintenance

Conclusion

Le travail présenté dans ce chapitre nous a permis d'analyser la fiabilité de système. A partir de l'historique de la machine, on a calculé les valeurs de TBF. L'étude de la fiabilité appliquée sur l'organe critique montre que nous sommes en face d'un organe en phase de jeunesse caractérisé par le modèle de Weibull de paramètres ($\beta = 0.9h$, $\eta = 530 h$, $\gamma = 0$). Les paramètres de Weibull nous permettent de calculé les valeurs théoriques (fiabilité, fonction de répartition, taux de défaillance et la densité de probabilité). La fiabilité de convoyeur calculé est jugé suffisante (39%), mais notre systèmes subit plusieurs pannes. Nous avons proposé des solutions pratiques avec un plan de maintenance préventive pour augmenter la fiabilité de convoyeur.

À la fin de ce chapitre on a déterminé quelque élément essentielle pour réussir la maintenance préventive (Gestion de pièces de rechange, Gestion des interventions).

Conclusion Générale

Ce mémoire avait pour ambition d'étudier un système industriel qui est le convoyeur à chaîne afin d'optimiser sa maintenance en réduisant les temps d'arrêt de la machine par la maîtrise des pannes potentielles.

Il a fallu dans le premier chapitre définir la notion de la maintenance (types de maintenance, choix de la forme de la maintenance, les niveaux de maintenance, les moyens, objectifs et mission de maintenance).

Les calculs de fiabilité font désormais partie intégrante de l'étude d'un système industriel. Pour cela, dans le deuxième chapitre, nous avons traité les fonctions suivantes : fonction de fiabilité, fonction de répartition et moyenne des temps de bon fonctionnement, les principales lois utilisées et ses propriétés. Puis, on a présenté les méthodes MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité) et AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité).

Le troisième chapitre est consacré pour la description de convoyeur à chaîne. Nous avons utilisé la méthode d'analyse AMDEC pour déterminer les causes des arrêts et d'apporter des solutions. Ensuite, on a utilisé l'analyse PARETO pour définir les éléments les plus critiques.

Finalement dans le chapitre 4, d'après les analyses et les calculs de fiabilité qu'on a effectuée, on a déduit que la fiabilité de convoyeur, qui est de 39%, est suffisante. Cette fiabilité est due aux arrêts de production causés par la dégradation de ces organes critiques (le moteur, l'accouplement et la chaîne).

Par suite, nous avons élaborés un plan des interventions de maintenance préventive envisageant d'augmenter la disponibilité de la machine et réduire les temps d'arrêt de production.

Références bibliographiques

- [01] **François Monchy**, ‘*Maintenance, méthodes et organisation*’. Éditeur Dunod, 2ème édition, Paris, 2003.
- [02] **Mahfoudi K.** : ‘*Gestion et organisation de la maintenance Projet de mise à niveau de la formation professionnelle en Algérie*’, Support technique (2008).
- [03] **Ly F., Simeu-Abazi Z., Leger J-B.** ‘*Terminologie Maintenance : bilan Groupe de Recherche S.P.S.F., Institut pour la Maîtrise des Risques*’, Grenoble, 1999
- [04] **Ivana Rasovska**, ‘*Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plateforme d’e-maintenance*’, Thèse doctorale, L’UFR des Sciences et Techniques de l’Université de Franche-Comté.
- [05] **Deloux E., Castanier B., and Bérenguer C.**, ‘*Optimisation de la politique de maintenance pour un système à dégradation graduelle stressé*’, 7ème Congrès international pluridisciplinaire Qualité de Sûreté de Fonctionnement, 20, 21 et 22 mars 2007, volume1, Tanger (Maroc), 2007.
- [06] **M. Aidi**, ‘*gestion coopératives des objectifs de simulation de produits industriels*’ ; Colloque IPI Autrans 22-23 janvier 2004
- [07] **Bertrand GIRARD**, ‘*comment réussir votre maintenance*’ .afnor 1986.
- [08] **S. Bensaada, D. Feliachi** « *la maintenance industrielle* », office des publications universitaires, 2002.
- [09] **FREDERIC Marc**, ‘*Maitre en œuvre une GMAO*’, 2ème édition, DUNOD, Paris 2011.
- [10]. **Hoyland A .and Rausand M**, « *System Reliability Theory - Models and Statiscal Methods* », wileyseries in probability and statistics, 2^{ème} édition.
- [11]. **A. BELLAOUAR, S. BELEULMI**, « *Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité*» UNIVERSITE Constantine 1, 106 pages.
- [12] **A. Belhomme**, *cours stratégie de la maintenance*, [http : //btsmiforges.free.fr/](http://btsmiforges.free.fr/), année 2010/2011
- [13]. **Andrieu, C.R**, «*Fiabilité mécanique des structures soumises des phénomènes physiques dépendant du temps* », PhDthesis, Université Blaise Pascal, 2002.

- [14]. **Jean Heng** « *Pratique de la Maintenance préventive* » édition "Dunod", Paris, 2002.
- [15]. **B. Herrou et M. Elghorba**, « *L'AMDEC un outil puissant d'optimisation de la maintenance, application à une moto-compresseur d'une PME marocaine* », CPI 2005, Casablanca-Maroc.
- [16]. **M. BOUANAKA, M. CHAIB, M. BENIDIR M. BELLAOUAR**, « *La maintenance basée sur la fiabilité* », science & Technologie B-N°31, 2010, 35-40.
- [17]. **Josef Kélada**, « *la méthode AMDEC* », Ecole des haute Etude Commercial, 1998.
- [18]. **Gérard Landy**, « *AMDEC Guide Pratique* », AFNOR, 2^{ème} édition, 2007.
- [19]. **A. Kaufman, D. Grouchko, R. Cruon**, « *Modèles mathématiques pour l'étude de la fiabilité des systèmes* », Edition Masson. 1975.
- [20]. **Kaoru Ishikawa**, « *la gestion de la qualité, outils et applications pratiques* », DUNOD, 2002
- [21]. **H. BREIDENBACH**, « *Conveyor Belt Technique Design and Calculation*, »
NETHERLANDS
- [22] documentation de constructeur, « *chaîne conveyor* », Cimbria
- [23] documentation technique de l'entreprise « *historique de la maintenance* » janvier 2019 - décembre 2019.
- [24] Norme AFNOR, « *Terminologie relative la Fiabilité - Maintenabilité – Disponibilité* », Éd. Association française de normalisation (afnor). (1988).

Annexe 1 : table de Kolmogorov-Smirnov

$n \backslash \alpha$	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
	√ n	√ n	√ n	√ n	√ n	√ n	√ 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