



UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

SPECIALITE : INGENIERIE DES SYSTEMES ELECTROMECHANIQUES

THEME

**Amélioration de la fiabilité d'un système
électromécanique par l'utilisation des opérations de la
maintenance préventive**

Proposé et dirigé par :

Dr. GHEMARI Zine

Présenté par :

Mr. BELOUADAH Abdenaceur

ANNÉE UNIVERSITAIRE: 2015/2016

N° d'ordre : ISE-186

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

-A ma très chère mère

-A mon cher père

Qui ont beaucoup sacrifié pour années

-A mes frères et Ames très chères sœurs

-A toute ma famille

-A mes camarades sur tout :

Pour conclut, je le dédie à :

***Tous les amis de ISE et tous les enseignants du La faculté
technologie.***

ABDENACEUR BELOUADEH

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous tenons à remercier Dieu, notre Créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce Travail.

Nous tenons à remercier Dr. GHEMARI Zine notre Promoteur pour son grand soutien et ses conseils Considérables

Nous remercions également tous les professeurs du Département génie électrique

Il est également très agréable de remercier tous des étudiants qui ont Contribué à ce travail et me soutien constante

Que toute personnes ayant participé de près ou de loin à la Réalisation de ce travail accepte nos Grandet sincères Remerciements.



Table des matières

Introduction Générale	1
Chapitre I. La fontion maintenance	2
I.1. Introduction	3
I.2. la maintenance	3
I.2.1.La Maintenance comme politique	4
I.2.2.Le rôle de la maintenance	4
I.3. Les types de maintenance	5
I.3.1. La maintenance corrective	5
I.3.2.La maintenance préventive	5
I.4. Les opérations de la maintenance	6
I.4.1.Les opérations de maintenance corrective	6
I.4.2.Les opérations de maintenance préventive	4
I.5.Les niveaux de maintenance	7
I.5.1.1er niveau de maintenance	7
I.5.2 2 ^{ème} niveaux de maintenance	7
I.5.3.3ème niveaux de maintenance	7
I.5.4.4ème niveaux de maintenance	8
I.5.5.5ème niveaux de maintenance	8
I.6.L'intérêt de maintenance	9
I.7. L'environnement de la maintenance	10
I.8. La mise en place de cette maintenance	10
I.9.les Avantages et les Inconvénients de cette maintenance	10
I.10.objectifs de la maintenance	11
I.11.Evolution de la maintenance	11
I.12.Les tâches de maintenance	11
I.13.Conclusion	12
Chapitre II. La sureté de fonctionnement	13
II.1.Introduction	14
II.2. La sûreté de fonctionnement	14
II.2.1 Évolution historique de sûreté de fonctionnement	14
II.2.2.Eléments constatifs de SDF	16
II.2.2.1.Fiabilité	16
II.2.2.2 La Maintenabilité	26
II.2.2.3 La Disponibilité	26
II.2.2.4 La Sécurité	30
II.3.les Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto) »	30
II.3.1Histogramme de PARETO	30
II.3.2 L'analyse ABC	31
II.3.3 Courbe théorique	32
II.4 Conclusion	32
ChapitreIII .Historique de l'entreprise	33
III.1. Introduction	34
III.2. Représentation de MEI	34
III.3. Organigramme de la société	36
III.4. Capacité de MEI	36
III.5. Travaux sur les machines-outils	37
III.6. Equipement matériels	40
III.7. Les ateliers de la MEI	41
III.8. Description de la machine l'aléseuse fraiseuse	42

III.9. Particularités de la machine	42
III.10. Caractéristiques principales de la machine	43
III.11. Conclusion	44
Chapitre IV L'analyse statistique de la FMD	45
IV.1. Introduction	46
IV.2. Historique des pannes	46
IV.3. L'analyse FMD	48
IV.3.1. Test KOMOGOROV-SMIRNOV	51
IV.3.2. Calculs de la fiabilité, de la densité probabilité et du taux de défaillance	54
IV.3.4 La maintenabilité	57
IV.3.5 Disponibilité intrinsèque théorique	59
IV.4. Conclusion	60
Conclusion générale	61
Références bibliographiques	62

Liste des figures

Figures du chapitre I		
	Figure I.1 : Organigramme de différentes méthodes de la maintenance	6
	Figure I.2 : L'assurance du produit	10
Figures du chapitre II		
	Figure II.1 : Exemple de densité de probabilité	17
	Figure II.2 : Exemple de fonction de réparation	18
	Figure II.3 : Taux de défaillance en fonction du temps	19
	Figure II.4 : Système avec n composantes en séries	20
	Figure II.5 : Système avec n composants en parallèles	21
	Figure II.6 : l'impacte de la maintenance sur la fiabilité des équipements	25
	Figure II.7 Composante de la disponibilité	27
	Figure II.8 Histogramme de PARETO	31
	Figure II.9 Courbe théorique d'analyse ABC	32
Figures du chapitre III		
	Figure III.1 : siège social & Ateliers de M'sila	35
	Figure III.2 : Missions de la société	35
	Figure III.3 : L'organigramme de la société	36
	Figure III.4 : ateliers de M'sila	37
	Figure III.5 : Usinage de pièces Rectification de vilebrequins	37
	Figure III.6 : Equilibrage d'une route turbine à gaz	38
	Figure III.7 : La métallisation au plasma	38
	Figure III.8 : rechargement manuel de métaux antifrictions(a) Machine pour application par centrifugation de métaux(b)	39
	Figure III.9 : Le control de qualité	40
	Figure 0.10 : l'aléuseuse-fraiseuse WD130 A	43
Figures du chapitre IV		
	Figure IV.1 : L'interface de logicielFiabOptim	48
	Figure IV.2 : Papier fonctionnel de loi de Weibull	50
	Figure IV.3 :Fonction de répartition F(t)	53
	Figure IV.4 : La fonction de fiabilité R(t)	55
	Figure IV.5 : Densité de probabilité f(t)	55
	Figure IV.6 : Taux de défaillance $\lambda(t)$	56
	Figure IV.7 : La maintenabilité en fonction de TTR	59

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

chapitre I :		
	Tableau I.1 : Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance	9
chapitre IV :		
	Tableau IV.1 L'historique des pannes de la machine Aléseuse Fraiseuse.	46
	Tableau IV.2 Calcul de la fonction de répartition	49
	Tableau IV.3 les paramètres de calcul de fiabilité.	50
	Tableau IV.4 Estimation de la fiabilité et la fonction de répartition.	52
	Tableau IV.5 Calculs de la fiabilité, du temps de défaillance et de la densité de probabilité.	54
	Tableau IV.6 le calcul de la maintenabilité.	58

Glossaire

MTT: L'estimation de la durée moyenne s'écoulant entre la mise en service du système et la survenance.

MBF: Maintenance basé sur la fiabilité.

MTBF :La durée moyenne entre deux défaillances consécutives.

MTTR :Le temps moyen mis pour réparer le système.

$\lambda(t)$:Taux de défaillance.

TBF : Temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.

f(t) : Densité de probabilité.

F (t): La fonction de répartition.

R (t) :La fonction de fiabilité.

M(t) : Fonction maintenabilité.

D (t) : Fonction de disponibilité.

Di : Disponibilité intrinsèque.

B : paramètre de forme.

Γ : Paramètre de position.

MTBF : La durée moyenne entre deux défaillances consécutives.

Dn : La différence de test de Kolmogorov Smirnov.

$\mu(t)$: Taux de réparation.

a et b : nombre réel.

FMD : Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité

Introduction Générale

La maintenance joue un rôle très important dans le domaine industriel, à partir leur influence sur le niveau de la sureté de fonctionnement des systèmes électromécaniques. Le niveau de la sureté de fonctionnement peut améliorer par l'optimisation d'un ensemble des paramètres tel que la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité.

Au sens de dépannage d'un système électromécanique, toujours, il existe des activités de maintenance. Mais ces activités étaient au départ peu ou pas formalisées : elles n'étaient pas nécessairement assurées par du personnel spécialisé, ni encadrées par des méthodes spécifiques. De plus, elles consistaient à réparer un équipement une fois que celui-ci était défaillant, mais n'intégraient que peu la notion de "préventif", c'est-à-dire des interventions visant à prévenir la panne.

La notion formalisée de "maintenance" est relativement récente. Elle est apparue avec l'automatisation des systèmes de production, les enjeux économiques et industriels croissants, les réglementations strictes pour la protection de l'individu et de l'environnement.

La fonction de maintenance ne peut se réduire à la seule activité d'entretenir un parc de machine mais a vocation à intervenir dans tout le cycle de l'exploitation du système (choix et conception du matériel, mise en service, détermination des plans de maintenance, organisation et logistique des activités de maintenance, suivi de l'évolution du système, etc.).[1]

Notre travail est basé sur le choix d'une machine importante dans l'entreprise MEI (la machine Aléseuse Fraiseuse) et l'amélioration de la fiabilité de cette machine par une proposition d'un ensemble des solutions concernant les éléments le plus tombe en panne et par suggestion d'un plan préventif basé sur les opérations de la maintenance préventive systématique. Pour atteindre ces objectifs, on segmente notre travail en quatre chapitres.

Le premier chapitre présente une mise en valeur de la maintenance comme impérative nécessaire à une meilleure garantie de la disponibilité des équipements toujours en faveur d'un meilleur rendement de la production et de l'économie. Quelques définitions concernant la maintenance corrective et la maintenance préventive.

Le deuxième chapitre est consacré à étudier la sureté de fonctionnement dans la maintenance et présente l'état de l'art de l'évaluation des stratégies de maintenance.

Le troisième chapitre présente l'historique de l'entreprise et la définition de la machine choisie.

Le quatrième chapitre est la partie spéciale de notre mémoire où on va calculer puis améliorer la fiabilité de la machine choisie par une proposition des solutions de défaillances et par une suggestion d'un plan préventif.

CHAPITRE I.

LA FONCTION DE MAINTENANCE

I.1.Introduction

A la fin des années 70, l'entretien était souvent le parent pauvre des services de l'entreprise. Les dirigeants le considéraient uniquement comme un poste de dépenses et ne pensaient qu'à réduire ses coûts.

L'entretien se contentait d'intervenir sur un système défaillant pour relancer la production et effectuait les opérations courantes préconisées par le constructeur. Il n'y avait donc pas de prise en compte des caractéristiques spécifiques et des conditions de fonctionnement (cadence, ancienneté, température ambiante, etc.) des matériels. On pouvait donc être conduit à effectuer (sans évaluation a priori ou a posteriori) trop ou pas assez d'entretien.

Les choses ont évolué : la part du coût machine dans le coût de production ne cesse d'augmenter aux dépens de celui de la main-d'œuvre. Ceci est dû à l'automatisation presque systématique des procédés, et à leurs coûts croissant.

Dans ces conditions, la fonction maintenance est devenue stratégique. Entretien, c'est subir alors que maintenir, c'est prévoir et anticiper.

Les coûts directs de maintenance sont devenus secondaires voire négligeables par rapport aux coûts indirects (non production, conséquences de la panne). [1][2]

I.2.la maintenance

On définit la maintenance selon des normes telle que :

- La norme AFNOR X60-010 qui définit la maintenance par l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé . Au sens strict du terme, la maintenance agit sur les biens et considère l'ensemble des opérations d'entretien destinées à accroître la fiabilité ou pallier des défaillances [1].

- La norme AFNOR NF EN 13306 offre une vision plus précise de la maintenance en indiquant que la maintenance intègre l'ensemble des activités techniques, administratives ou de management qui ont pour but de "maintenir ou de rétablir un équipement dans un état ou des conditions données de sûreté de fonctionnement pour accomplir une fonction requise

Généralement, elle fait partie d'un ensemble d'actions effectuées pour que l'entreprise Plus puisse prospérer. En effet, les installations industrielles sont perturbées, tout au long de leur exploitation, par des dysfonctionnements qui affectent les couts de production, la qualité des produits et des services, la disponibilité, la sureté, la sécurité des personnes... [3]

•Selon la norme française NF EN 13306 X 60-319, la maintenance peut-être définie par:" l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise".

I.2.1 La Maintenance comme politique

La maintenance est une politique qui prend en compte :

- a)- le choix des méthodes d'entretien (les différents modes de maintenances).
- b)- les améliorations.
- c)- la place des équipements dans le procédé de fabrication (hiérarchisation).
- d)- la formation du personnel d'entretien et de production [4]

I.2.2 Le rôle de la maintenance

Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise ; cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production. Cependant, tous les équipements n'ont pas le même degré d'importance d'un point de vue maintenance. Le service devra donc, dans le cadre de la politique globale, définir les stratégies les mieux adaptées aux diverses situations. La fonction maintenance sera alors amenée à établir des prévisions ciblées : [1]

- **Prévisions à long terme** : elles concernent les investissements lourds ou les travaux durables. Ce sont des prévisions qui sont le plus souvent dictées par la politique globale de l'entreprise.
- **Prévisions à moyen terme** : la maintenance doit se faire la plus discrète possible dans le planning de charge de la production. Il lui est donc nécessaire d'anticiper, autant que faire se peut, ses interventions en fonction des programmes de production. La production doit elle aussi prendre en compte les impératifs de suivi des matériels.
- **Prévisions à courts termes** : elles peuvent être de l'ordre de la semaine, de la journée, voire de quelques heures. Même dans ce cas, avec le souci de perturber le moins possible la production, les interventions devront elles aussi avoir subi un minimum de préparation. [1]

I.3. Les types de maintenance

Généralement, la maintenance est divisée en deux types :

- La maintenance corrective
- La maintenance préventive

I.3.1 La maintenance corrective

La maintenance corrective est définie par la norme AFNOR NF X 60 010 comme une maintenance effectuée après défaillance, où l'on distingue deux types d'intervention : [3]

Palliative (dépannage) qui est basé sur l'opération de dépannage, parce que la défaillance est partielle.

Curative (réparation) qui est basé sur l'opération de réparation parce que la défaillance est totale

I.3.2 La maintenance préventive

D'après la norme AFNOR (X-60-010), on peut définir la maintenance préventive comme une maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.

On distingue deux méthodes de cette maintenance :

I.3.2.1. La maintenance préventive systématique

Selon la norme AFNOR X-60-010, on définit la maintenance systématique comme étant une maintenance préventive effectuée suivant un échancier établi, suivant le temps ou le nombre d'unité d'usage.

I.3.2.2. La maintenance préventive conditionnelle

Selon la norme AFNOR X-60-010, on définit la maintenance conditionnelle comme étant une maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé révélateur de l'état du bien [1] et la maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence de la partie faible de l'équipement.

- ✓ Mesure des vibrations des bruits.
- ✓ Mesure de température.
- ✓ Mesure de pression dans les différents organes.
- ✓ Analyse des vibrations : Il se fait généralement dans les ateliers de réparation situés à la base industrielle.
- ✓ Analyse des huiles. [5]

La figure I.1 illustre l'organigramme des différentes méthodes de la maintenance :

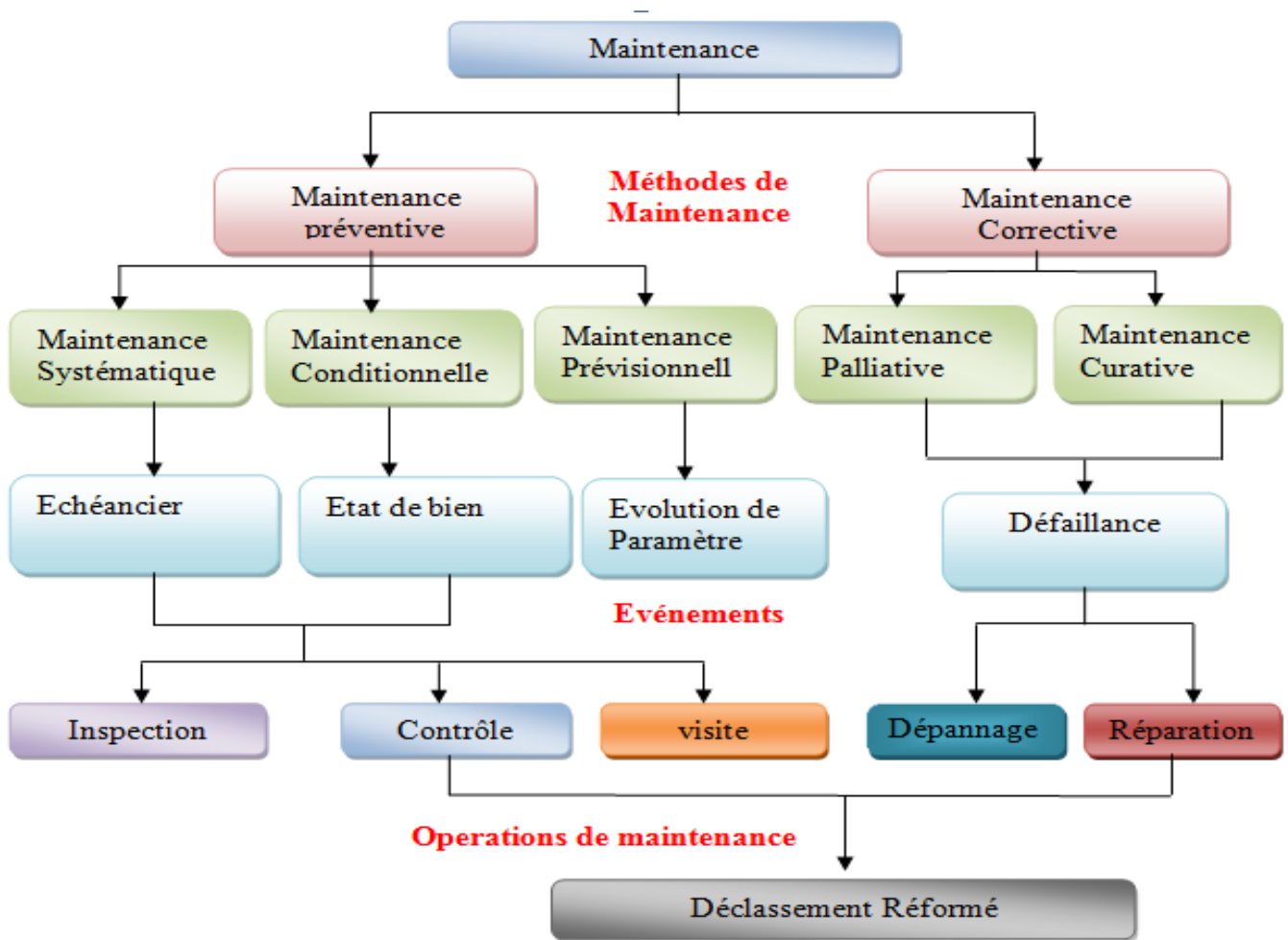


Figure I.1 Organigramme de différentes méthodes de la maintenance [1]

I.4. Les opérations de maintenance

I.4.1 Les opérations de maintenance corrective

- **Dépannage**

Il est une action exécutée pour permettre à un bien défaillant d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée.

- **Réparation**

Elle est une action exécutée pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

- **Révisions**

Ensemble des actions et examens de contrôle et d'intervention effectuée en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour nombre d'unités d'usage donnée.

I.4.2. Les opérations de maintenance préventive

• Inspection

C'est l'activité de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies, et d'exécution de réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni l'arrêt des équipements.

• Contrôle

Il correspond à des vérifications de conformité par rapport à des données prédéterminées suivies d'un jugement. Le contrôle peut comporter une activité d'information, inclure une décision, acceptation, rejet.....

• Visite

C'est l'opération de surveillance de maintenance préventive systématique qui s'opère selon une périodicité prédéterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'organes et un immobilisation Du matériel. [6].

I.5. Les niveaux de maintenance

Les opérations à réaliser sont classées, selon leur complexité, en cinq niveaux. Les niveaux pris en considération sont ceux de la norme NF X-60-010.

I.5.1 1er niveau de maintenance

Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipement de soutien intégré au bien. Ce type d'opération peut être effectué par l'utilisateur du bien avec, le cas échéant, les équipements de soutien intégrés au bien et à l'aide des instructions d'utilisation.

I.5.2 2ème niveaux de maintenance

Actions qui nécessitent des procédures simples et des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en œuvre simple. Ce type d'actions de maintenance est effectué par un personnel qualifié avec les procédures détaillées et les équipements de soutien définis dans les instructions de maintenance. Un personnel est qualifié lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur un bien présentant certains risques potentiels, et est reconnu apte pour l'exécution des travaux qui lui sont confiés, compte tenu de ses connaissances et de ses aptitudes

I.5.3 3ème niveaux de maintenance

Opérations qui nécessitent des procédures complexes et des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en œuvre complexes. Ce type d'opération de maintenance peut être effectué

par un technicien qualifié, à l'aide de procédures détaillées et des équipements de soutien prévus dans les instructions de maintenance

I.5.4 4ème niveaux de maintenance

Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés. Ce type d'opération de maintenance est effectué par un technicien ou une équipe spécialisée à l'aide de toutes instructions de maintenance générales ou particulières.

I.5.5. 5ème niveaux de maintenance

Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et des équipements de soutien industriels, Par définition, ce type d'opérations de maintenance (rénovation, reconstruction, etc.) est effectué par le constructeur ou par un service ou société spécialisée avec des équipements de soutien définis par le constructeur et donc proches de la fabrication du bien concerné [1]

Ces niveaux de maintenance font référence à la complexité des tâches à effectuer et aux ressources humaines et matérielles nécessaires à la réalisation de chacune des tâches. Cette spécification est détaillée dans le tableau 1. Le système de maintenance ainsi situé permet de préciser, de limiter et de dégager les responsabilités et les attentes envers ce système. Cependant, ceci constitue une condition nécessaire mais malheureusement non suffisante pour réussir l'implantation d'un système de maintenance dans une entreprise. [7]

Tableau I.1 Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance [3]

Niveaux	Personnel d'intervention	Moyens
I	Exploitant sur place.	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
II	Technicien habilité sur place.	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation, plus pièces de rechange trouvées à proximité sans délai.
III	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance.	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, de contrôle, etc.
IV	Equipe complète, polyvalente en atelier central.	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.
V	Equipe complète, polyvalente en atelier central.	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.

I.6. L'intérêt de maintenance

Généralement, la maintenance est jouée un rôle très important dans le domaine industriel à cause de ses intérêts tel que:

- Diminuer les travaux urgents.
- Faciliter la gestion de la maintenance.
- Favoriser la planification des travaux.
- Rendre possible la préparation, l'ordonnancement et la gestion des stocks
- Eviter les périodes de dysfonctionnement avant panne, ainsi que les dégâts éventuels provoqués par une panne intempestive.
- Augmenter la sécurité. [1]

I.7. L'environnement de la maintenance.

La maintenance s'intègre dans le concept global de la sûreté de fonctionnement, qui lui-même s'intègre dans l'assurance Produit.

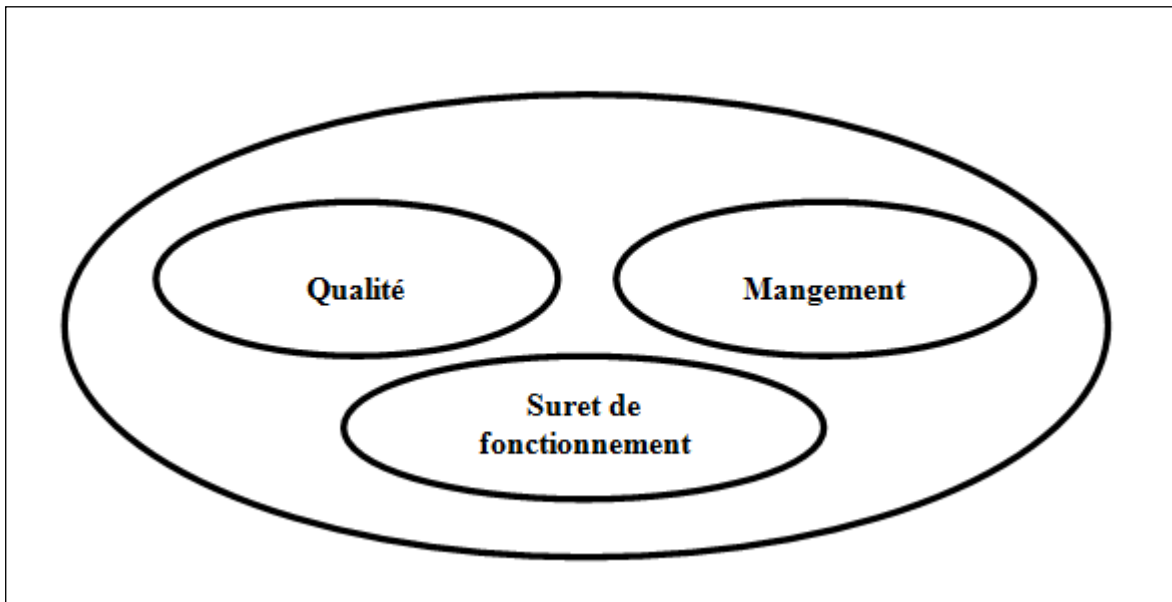


Figure I.3 : assurance du produit. [8]

I.8. La mise en place de la maintenance

- 1) Etude préalable pour déterminer un coût probable.
- 2) Choisir les fréquences fixes d'intervention (en rapport avec la MTBF).
- 3) Planification des tâches et mesures de sécurité.
- 4) Préparation des documents.
- 5) Exécution et rapports de visite.
- 6) Exploitation des résultats : pour l'historique et le réajustement des fréquences [1]

I.9. Les avantages et les inconvénients de maintenance

I.9.1 Les avantages de la maintenance

C'est une maintenance facile à gérer car les périodes d'interventions sont fixes, elle permet

- d'éviter les détériorations importantes.
- de diminuer les risques d'avaries imprévues.

I.9.2 Les inconvénient de la maintenance

Reposer sur la notion de MTBF et ne prends pas en compte les phénomènes d'usure.

I.10. Objectifs de la maintenance

L'objectif de la maintenance est de limiter les effets de ces perturbations afin d'atteindre les performances exigées et des actions sont élaborées de manière a :

- Limiter les indisponibilités,
- Garantir la qualité des produits et des services,
- Maitriser les couts,
- Protéger les personnes, l'environnement et les biens. [8]

I.11. Evolution de la maintenance

Au fil du développement de la concurrence et de la course à la compétitivité qui entraîne la recherche de la qualité totale et surtout la réduction des coûts, au fur et à mesure de la complexification et de l'automatisation des processus de production, la maintenance est devenue une des fonctions stratégiques de l'entreprise. Loin d'être aujourd'hui stabilisée, elle évolue au gré des nouvelles technologies de l'information et de communication NTIC, l'introduction de nouvelles méthodes de gestion, du développement technologique des outils de production, en particulier dans les domaines de la mesure et du contrôle de fonctionnement, de la systématisation progressive, de l'usage des normes et des procédures [1].

I.12. Les tâches de maintenance

Les politiques de maintenance définies selon la méthode OMF sont composées d'opérations de maintenance différentes :

Des taches de maintenance préventive systématique : des remplacements de tout ou partie d'un matériel effectués a dates fixes, des observations de l'état du matériel (contrôles, inspections, tests, ...),

- ✚ des taches de maintenance préventive conditionnelle : des taches de remise en état entraînées par la détection d'une éventuelle de gradation,

- ✚ des taches de maintenance corrective : des taches de remise en état effectuées suite à la défaillance du matériel.

Les taches de remise en état préventives systématiques et correctives sont relativement simples à décrire puisque leur processus de décision dépend soit d'une Périodicité donnée soit de l'apparition

d'un mode de défaillance. On peut dans ce cas se référer aux modèles de maintenance élémentaires, parmi lesquels :

- les modèles bases sur l'âge, ou âge-replacement policiers,
- les modèles de remplacement par blocs, ou block-replacement policiers,

En revanche, les taches de maintenance préventive conditionnelle sont basées sur L'observation de l'état de dégradation du matériel. Il faut donc représenter les phénomènes qui peuvent être à l'origine des décisions de remise en état, à savoir:

- le mécanisme de dégradation lui-même, comme dans la majorité des modèles de maintenance conditionnelle en général, [9]

I.13. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons illustré la notion de maintenance, classifié leurs différentes méthodes et montré ses objectives dans le domaine industriel d'une part et on a cité les opérations de maintenance et vu les cinq niveaux de maintenance d'une autre part. Dans le chapitre suivant, on va étudier la sûreté de fonctionnement et voir les paramètres de SDF.

CHAPITRE II

LA SURETE DE FONCTIONNEMENT

II.1 Introduction

Dans l'industrie, on parle de plus en plus de sûreté de fonctionnement. Cette discipline, qui a acquis ce nom et sa forme actuelle principalement au cours du dernier demi-siècle et dans les secteurs de la défense, de l'aéronautique, de l'espace, du nucléaire, puis des télécommunications et des transports, serait désormais utile, voire indispensable, à tous les secteurs de l'industrie et même d'autres activités.

De quoi s'agit-il ? La sûreté de fonctionnement est une riche palette de méthodes et de concepts au service de la maîtrise des risques.[10]

La Sûreté de fonctionnement(Sdf) ou la science des « défaillances » qui est suivant les domaines d'applications : analyse de risque (milieu pétrolier),élastique, cinétique (science du danger), FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) que nous avons l'étudiée dans ce chapitre II, où on caractérisons à la fois par les études structurelles statiques et dynamiques des systèmes, du point de vue prévisionnel mais aussi opérationnel et expérimental (essais, accidents), en tenant compte des aspects probabilités et des conséquences induites par les défaillances techniques et humaines.[1]

II.2 La sûreté de fonctionnement

II.2.1 Évolution historique de sûreté de fonctionnement

Avant de donner les nombreuses définitions exactes et de résumer certaines notions, il est bon de rappeler l'historique des évolutions industrielles ou autres qui ont amené à préciser ces notions. Dans les années du milieu du XX^{ème} siècle, il s'est avéré que les produits fabriqués, de technologie de plus en plus complexe, n'avaient pas la fiabilité qu'on pouvait en espérer : nombreux appareils défectueux avant même d'être livrés, fonctionnement ne répondant pas aux besoins, mauvaise adaptation à la maintenance, fragilité, etc. Ce sont les notions de complexité d'une part et de recherche d'une plus grande sécurité d'autre part, qui ont influencé l'évolution industrielle au cours du XX^{ème} siècle. En ce qui concerne la « sécurité » et la « sûreté de fonctionnement », les utilisateurs aussi bien que les concepteurs, confrontés aux dysfonctionnements divers, évoquaient la notion de « mauvaise qualité » ou de « fiabilité insuffisante » mais aussi de risques (risques de panne, risque d'indisponibilité, risque d'accident) avec une hiérarchie allant du simple risque de mauvais fonctionnement à la catastrophe. Différents acteurs du développement ou de l'utilisation avaient peu de liens entre eux : des utilisateurs confrontés à des produits mal adaptés ou non fiables, des développeurs peu au courant de l'utilisation réelle des produits, des fabricants confrontés aux défauts lors des contrôles, des responsables de sécurité souhaitant réduire le nombre d'accidents.[11][12]

Ainsi, les problèmes rencontrés commençaient à être classés en deux catégories, celles relevant de la :

-sûreté de fonctionnement d'une part, incluant fiabilité (réponse au risque de panne), maintenabilité (réponse au risque de maintenance difficile, voire impossible), disponibilité (réponse au risque de non-mise à disposition au moment du besoin)

-sécurité d'autre part, (réponse au risque d'accident ou de catastrophe).

L'ensemble de ces évolutions s'est fait progressivement à partir des années 1950 et 1960. L'électronique et l'informatique de pointe ont été les secteurs pionniers de la sûreté de fonctionnement en raison, entre autres, d'une volonté politique de réussite dans les secteurs spatial ou nucléaire. Le domaine militaire conventionnel a suivi rapidement, puis celui du civil complexe (aéronautique, centraux téléphoniques, etc.), enfin le domaine grand public (automobiles, téléviseurs, etc.).

En matière de réglementation et de normalisation, la prise en compte des notions de sûreté a amené à constituer des groupes de travail dans les différents organismes nationaux ou internationaux, puis à établir des liens entre eux. L'objectif était de rendre le plus cohérent possible les nombreux textes existants. Cependant, il est important de constater une scission entre les groupes qui incluent la sécurité dans la sûreté de fonctionnement et ceux qui la mettent à part, une difficulté supplémentaire étant apportée par la traduction anglais-français (exemple : *dependability, security, safety*).

Enfin, un critère qui s'est développé progressivement est celui du facteur humain, dont les dysfonctionnements ajoutent un éclairage supplémentaire aux analyses de risque. Ainsi, au fil des temps, à partir de différents domaines de l'activité industrielle et de différentes fonctions dans l'entreprise, les acteurs économiques ont regroupé l'ensemble des problèmes liés aux risques dans ces deux notions de sûreté de fonctionnement et de sécurité, qui se retrouvent dans la notion très globale de maîtrise des risques.[10]

Après cette brève synthèse de l'évolution historique qui a amené à l'étude et à la détermination des notions de sûreté de fonctionnement et de sécurité, nous donnons dans la suite les diverses définitions des fonctions, comportements et services d'un système ainsi que les concepts de base de la sûreté. Nous présentons ensuite les attributs de la sûreté (disponibilité, fiabilité, sécurité-innocuité, confidentialité, intégrité, maintenabilité), les entraves de la sûreté (fautes, erreurs, défaillances) et enfin les moyens pour la sûreté (prévention des fautes, tolérance aux fautes, élimination des fautes, prévision des fautes). [1]

La **sûreté de fonctionnement** est définie comme l'aptitude à délivrer un service de confiance justifiée. Cette définition met l'accent sur la justification de la confiance, cette dernière pouvant être définie comme une dépendance acceptée explicitement ou implicitement. La **dépendance** d'un système d'un autre système est l'influence, réelle ou potentielle, de la sûreté de fonctionnement de ce dernier sur la sûreté de fonctionnement du système considéré. La **fonction** d'un système est ce à quoi le système est

destiné, comme elle est décrite par la spécification fonctionnelle, qui inclut les performances attendues du système. Le **comportement** d'un système est ce que le système fait pour accomplir sa fonction, et est décrit par une séquence d'états. Le **service** délivré par un système est son comportement tel que perçu par son ou ses utilisateurs. Un **utilisateur** est un autre système, éventuellement humain, qui est en interaction avec le système considéré. La partie de la frontière du système où ont lieu les interactions avec ses utilisateurs est l'**interface** du service. Un service est considéré correct si et seulement si le service délivré accomplit la fonction du système. La **défaillance** (du service) est un événement qui survient lorsque le service délivré dévie du service correct, soit parce qu'il n'est plus conforme à la spécification, soit parce que la spécification ne décrit pas de manière adéquate la fonction du système. Une **erreur** est une partie de l'état susceptible d'entraîner une défaillance. Une **faute** est une cause adjugée ou supposée d'une erreur. Les modes de défaillance sont les manières selon lesquelles un système peut défaillir, classées selon leur gravité.

La **sûreté de fonctionnement** peut aussi être définie comme l'aptitude à éviter des défaillances du service plus fréquentes ou plus graves que ce qui est acceptable. Les défaillances du service plus fréquentes ou plus graves que l'acceptable sont les défaillances de la sûreté de fonctionnement. [11][12]

II.2.2 Eléments constatifs de SDF

II.2.2.1 La Fiabilité

II.2.2.1.1 Fiabilité des systèmes

Dans cette partie nous allons exposer les principales définitions utilisées dans les analyses de la fiabilité des systèmes ainsi que les indicateurs et les paramètres utilisés dans ce domaine.

II.2.2.1.2 Fiabilité et taux de défaillance d'un composant élémentaire

D'après la norme AFNOR (Association française de normalisation) X NF, 06-501, la fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise ou à satisfaire les besoins des utilisateurs, dans des conditions données, pendant une durée donnée.

La fiabilité $R(t)$ d'un composant élémentaire à l'instant t est généralement mesurée par la probabilité qu'il n'y ait pas de défaillance sur l'intervalle de temps $[t_0, t]$ sous des conditions de fonctionnement données, sachant que le système est en bon fonctionnement à l'instant t_0 .

D'autres fonctions peuvent être déterminées à partir de $R(t)$ par exemple $F(t) = 1 - R(t)$: la fonction complémentaire de la fiabilité définie par la probabilité qu'un composant soit défaillant entre t_0 et t .

Par ailleurs, le taux de défaillance $\lambda(t)$ permet d'estimer la probabilité conditionnelle qu'une défaillance se produise sur le composant élémentaire pendant un temps δt à l'instant t , en sachant que le composant n'a pas eu de défaillance sur $[t_0, t]$.

Puisque nous allons utiliser ces grandeurs dans les calculs de la suite du travail, nous exposons ces concepts d'une manière plus détaillée.

Soit T une variable aléatoire mesurant la durée de fonctionnement du composant avant défaillance (ou également la durée de vie pour les composants non réparables).

Sachant qu'une variable aléatoire est définie par sa fonction de répartition et par sa densité de probabilité. [13]

• $F(t) = P[T \leq t]$ est la fonction de répartition de la variable aléatoire T . Elle possède les propriétés suivantes :

$$\lim_{t \rightarrow 0} F(t) = 0 \text{ et } \lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1 \quad (\text{II.1})$$

$F(t)$ est non décroissante $0 \leq F(t) \leq 1$.

• $f(t)$ est la densité de probabilité de T (ou fonction de distribution) :

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(u) du. \quad (\text{II.2})$$

$f(t)dt$ est la probabilité pour que T soit compris entre t et $t + \delta t$.

Les figures (II.1) et (II.2) illustrent des exemples de fonctions de répartition et la densité de probabilité. $F(t_1)$ est la surface délimitée par la courbe $f(t)$ et la droite qui coupe l'axe de t à l'instant t_1 , pour cette raison la fonction de répartition est appelée également la probabilité cumulée.

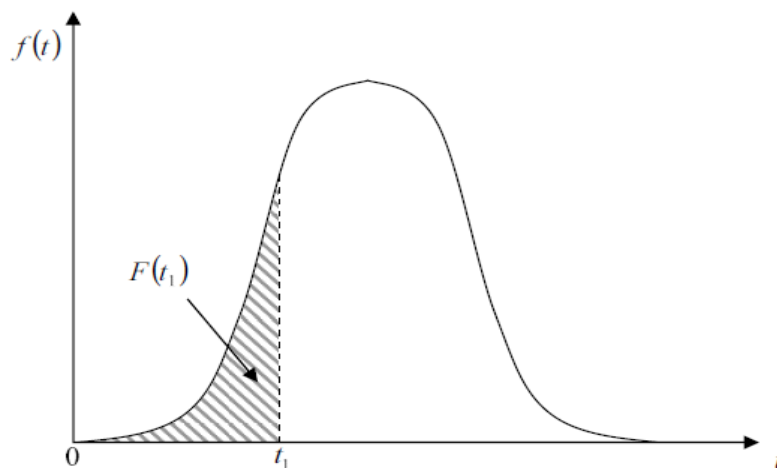


Figure II.1 Exemple de densité de probabilité

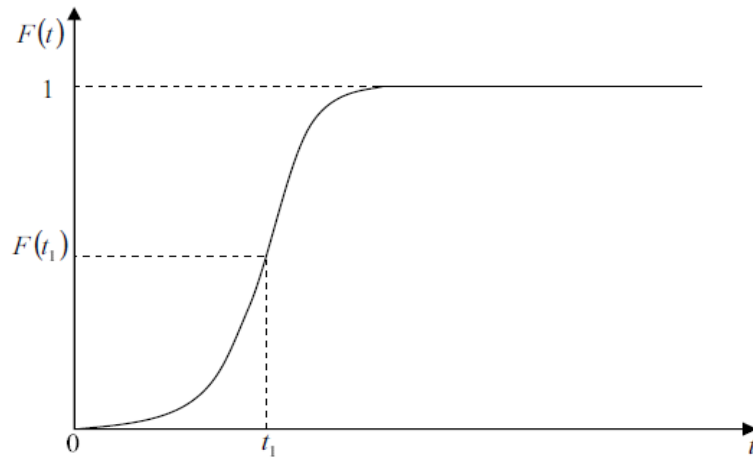


Figure II.2 Exemple de fonction de réparation

Rappelons que par définition :

$$R(t) = P[T > t] \text{ et } F(t) = 1 - R(t), \text{ (II.3)}$$

Par conséquence, la fonction complémentaire de la fiabilité $F(t)$ est la fonction de répartition de T et $R(0) = 1, R(\infty) = 0$.

D'après la définition précédente, nous pouvons écrire le taux de défaillance $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\delta t} P[t < T \leq t + \delta t | T > t] \quad \text{(II.4)}$$

Nous pouvons l'écrire également :

$$\lambda(t)dt = P[t < T \leq t + \delta t | T > t] \quad \text{(II.5)}$$

D'après le théorème des probabilités conditionnelles, l'équation devient :

$$\lambda(t)dt = \frac{P[t < T \leq t + \delta t \cap T > t]}{P[T > t]} \quad \text{(II.6)}$$

Sachant que $T > t$ est incluse dans l'événement $t < T \leq t + \delta t$ donc

$$P[t < T \leq t + dt \cap T > t] = P[t < T \leq t + dt] = f(t)dt = -\frac{dR(t)}{dt}dt \quad \text{(II.7)}$$

Notons que $R(t) = P[T > t]$.

Nous pouvons en déduire, une relation entre le taux de défaillance et la fiabilité :

$$\lambda(t) = -\frac{dR(t)/dt}{R(t)} \quad | \quad t_0=0 \quad \text{(II.8)}$$

En intégrant les deux membres de 0 à t, sachant que $R(0) = 1$:

$$R(t) = \exp \left\{ - \int_0^t \lambda(t).dt \right\} \quad (II.9)$$

Comme l'indique la courbe en baignoire de la figure (II.3), le taux de défaillance est dépendant du temps sur toute la durée de vie du composant élémentaire. Durant la période de jeunesse, les pannes nombreuses du début diminuent avec le temps contrairement à la période de vieillissement où le nombre de pannes s'accroît sans cesse. La période la plus importante est la période de vie utile durant laquelle le nombre de pannes est le plus faible. Pour simplifier les calculs, il est communément admis pendant la période de vie utile que le taux de défaillance soit approximé par une constante appelée λ .

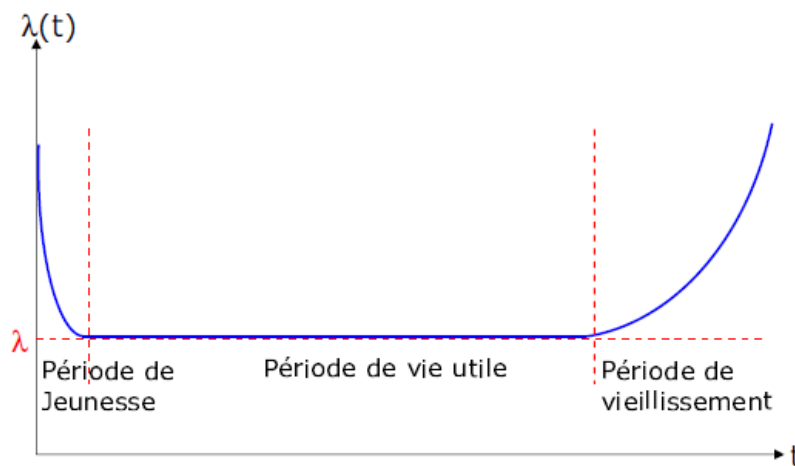


Figure II.3 Taux de défaillance en fonction du temps

Sinon, le problème posé est de modéliser ces grandeurs par des lois de probabilité connues. En effet, il existe plusieurs lois, à titre d'exemple la loi exponentielle, la loi normale, la loi log-normale, la loi de Weibull et la loi Gamma.

II.2.2.1.3 MTTF

Un autre indicateur de fiabilité est le MTTF (MeanTime To Failure) qui représente une estimation du temps moyen de fonctionnement avant la première défaillance, ce temps a un rôle important en fiabilité, il est souvent pris comme un indicateur permettant la comparaison des fiabilités des systèmes fournis par un constructeur. Il est défini par :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (II.10)$$

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

Dans le cas d'une distribution exponentielle, lorsque le taux de défaillance est constant, le temps moyen de fonctionnement MTTF est égal à $\frac{1}{\lambda}$.

II.2.2.1.4 type des Fiabilité des systèmes

Dans le cas des systèmes multi composants la défaillance du système dépend de la défaillance d'un certain nombre de composants suivant la structure du système. Pour calculer la fiabilité d'un système, son taux de défaillance et son MTTF à partir des propriétés de ses composants (fiabilité, taux de défaillance et MTTF), il faut définir la structure de propagation des défaillances dans le système.

En fiabilité, deux types de systèmes sont à distinguer les systèmes ayant une structure élémentaire et ceux ayant une structure complexe. Une structure élémentaire contient des composants indépendants en série ou en parallèle ou toutes combinaisons possibles de ces deux cas. Un système pouvant être décomposé en plusieurs modules à structure élémentaire est considéré comme système simple ou compliqué si sa taille est très importante. À l'inverse nous parlons de systèmes complexes quand le système n'est pas constitué de structure élémentaire et si les composants ne sont pas indépendants. [1]

II.2.2.1.4.1 Composants en série

Soit un système S constitué de n composants C_i en série, $i = 1 \dots n$.

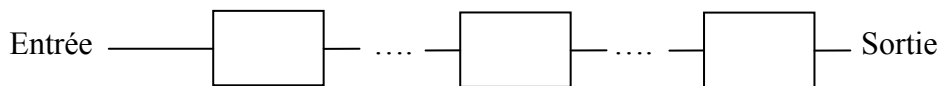


Figure II.4 Système avec n composants en séries

La fiabilité du système est :

$$R_{sys}(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (\text{II.11})$$

Avec $R_i(t)$ la fiabilité du composant C_i .

III.2.2.1.4.2 Composants en parallèle

Soit un système S constitué de n composants C_i en parallèle,

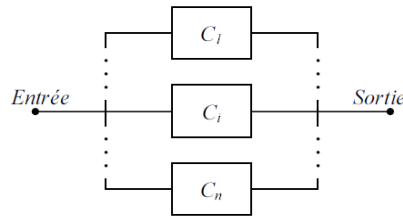


Figure II.5 Système avec n composants en parallèles

La fiabilité du système est :

$$R_{\text{sys}}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad (\text{II.12})$$

II.2.2.1.5 Les principales lois

La fiabilité est, de plus en plus fréquemment, une grandeur quantitative et nécessite la connaissance des distributions de durée de vie afin de l'estimer. Dans le cadre du système mécatronique, ces distributions doivent absolument tenir compte de tous les mécanismes de défaillance associés aux différentes technologies.

Nous présentons 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 mécatronique. Nous rappelons les principales propriétés de ces lois, les fonctions de fiabilité associées, les densités de probabilité ainsi que les taux de défaillance. [14]

II.2.2.1.5.1 Loi exponentielle

Cette loi a de nombreuses applications dans plusieurs domaines. Elle décrit la vie des matériels qui subissent des défaillances brutales. La loi exponentielle est la plus couramment utilisée en fiabilité électronique pour décrire la période durant laquelle le taux de défaillance des équipements est considéré comme constant (défaillance aléatoire). Elle décrit le temps écoulé jusqu'à une défaillance, ou l'intervalle de temps entre deux défaillances.

Elle est définie par un seul paramètre, le taux de défaillance, λ . [15]

Elle est caractérisée par :

– la fiabilité

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (\text{II.13})$$

– la densité de probabilité

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (\text{II.14})$$

– le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \lambda \quad (\text{II.15})$$

II.2.2.1.5.2 Loi de Weibull

La loi de Weibull, est souvent utilisée en mécanique ; elle caractérise bien le comportement du produit dans les trois phases de vie selon la valeur du paramètre de forme β : période de jeunesse ($\beta < 1$), période de vie utile ($\beta = 1$) et période d'usure ou vieillissement ($\beta > 1$). La loi de Weibull est définie par deux paramètres η et β .

Elle est caractérisée par :

– la fiabilité

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.16})$$

– la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.17})$$

– le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{II.18})$$

II.2.2.1.5.3 Loi normale

La loi normale est très répandue parmi les lois de probabilité car elle s'applique à de nombreux phénomènes. La loi normale est définie par la moyenne μ et l'écart type σ :

– la fonction de répartition. [15]

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\Pi}} \int_0^t e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (\text{II.19})$$

– la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\Pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (\text{II.20})$$

La fiabilité est donnée par:

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{(t - \mu)}{\sigma}\right) \quad (\text{II.21})$$

Si t suit une loi normale (μ, σ) , $u = \frac{t - \mu}{\sigma}$ suit une loi normale centrée réduite dont la fonction de répartition, notée ϕ , est donnée par :

$$\phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (\text{II.22})$$

II.2.2.1.5.4 Loi log-normale

Une variable aléatoire continue et positive t est distribuée selon une loi log normale si son logarithme est distribué suivant une loi normale. Cette distribution est utilisée en fiabilité pour modéliser les défaillances par fatigue. La loi log-normale a deux paramètres μ et σ :

– la fiabilité

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{\log(t) - \mu}{\sigma}\right) \quad (\text{II.23})$$

– la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{1}{\sigma.t.\sqrt{2\Pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log(t) - \mu}{\sigma}\right)^2} \quad (\text{II.24})$$

– le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log(t) - \mu}{\sigma}\right)^2}}{t \int_0^{\infty} \sigma \sqrt{2\Pi} f(t) dt} \quad (\text{II.25})$$

II.2.2.1.5.5 Loi Gamma

Elle représente la loi de probabilité d'occurrence de a événements dans un processus poissonnier. Par exemple si t_i est le temps entre les défaillances successives d'un système, et que t_i suive une distribution exponentielle, le temps cumulé d'apparition de a défaillances suit une loi Gamma :

– la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{t^{a-1} e^{-\frac{t}{b}}}{b^a \Gamma(a)} \quad (\text{II.26})$$

– le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{t^{a-1} e^{-\frac{t}{b}}}{b^a \int_t^{\infty} \Gamma(a) f(u) du} \quad (\text{II.27})$$

II.2.2.1.5.6 Loi Bêta

Cette loi représente, en particulier, la probabilité pour qu'un matériel survive jusqu'à un instant t , quand on essaie n matériels. D'où son intérêt dans l'évaluation de la durée des essais de fiabilité. La loi Bêta a deux paramètres a et b :

– la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} t^{a-1} (1-t)^{b-1} \quad (\text{II.28})$$

II.2.2.1.5.7 Loi uniforme

La loi uniforme est souvent utilisée en fiabilité pour les essais bayésiens en l'absence de connaissances pour construire l'information a priori. Cette loi peut prendre toute valeur dans un intervalle (a, b) avec une densité de probabilité constante.

– la fonction de répartition

$$F(t) = \frac{t-a}{b-a} \quad (\text{II.29})$$

– la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{1}{b-a} \quad (\text{II.30})$$

II.2.2.1.5.8 La loi de Birnbaum-Saunders

Pour caractériser des défaillances dues à la propagation de fissure par fatigue, Birnbaum et Saunders (1969) ont proposé une distribution de vie basée sur deux paramètres. Cette distribution, pour une

variable aléatoire non négative T , est obtenue en tenant compte des caractéristiques de base du processus de fatigue. La variable aléatoire T représente les instants de défaillance.

La densité de probabilité d'une loi Birnbaum et Saunders de paramètres α et β est donnée par la formule :

$$f(t) = \frac{1}{2\sqrt{2\Pi}\alpha^2\beta t^2} \cdot \frac{t^2 - \beta^2}{\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{\beta}{t}\right)^{\frac{1}{2}}} \cdot \exp\left[\frac{1}{2\alpha^2}\left(\frac{t}{\beta} + \frac{\beta}{t}\right)\right] \quad (\text{II.31})$$

Avec $t > 0; \alpha > 0, \beta > 0$

La fonction de fiabilité est donnée par la formule:

$$R(t) = 1 - \phi\left\{\frac{1}{\alpha}\left[\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{\beta}{t}\right)^{\frac{1}{2}}\right]\right\} \quad \alpha > 0, \beta > 0 \quad (\text{II.32})$$

Où ϕ est la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite. [1]

II.2.2.1.6 Relation entre la maintenance et la fiabilité

La figure II.6 présente la contribution des différents types de maintenance en ce qui concerne la fonction de fiabilité ($R(t)$) et la durée de vie utile de l'équipement.

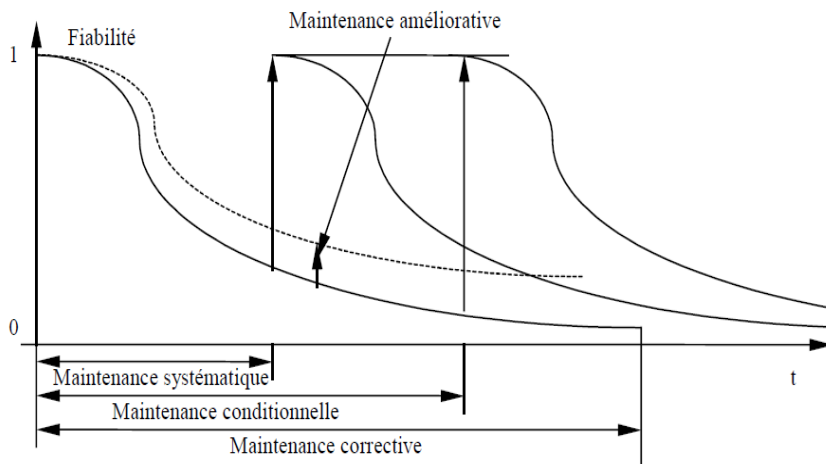


Figure II.6 : l'impact de la maintenance sur la fiabilité des équipements.

Il va sans dire qu'une réduction du taux de panne $\lambda(t)$ entraîne une amélioration de la fonction de fiabilité $R(t)$. C'est dans cette optique que la maintenance améliorative a été instaurée. La maintenance préventive, avec toutes ses variantes, va en revanche tenter de ramener le taux de panne à son niveau le plus bas en remplaçant le composante usée sans améliorer les caractéristiques intrinsèques de l'équipement. [11]

II.2.2.2 La Maintenabilité

II.2.2.2.1 Définition

C'est l'aptitude d'un système 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 (AFNOR (1993), norme NF x 60- 010).

C'est la probabilité que la maintenance d'un système S accomplie dans des conditions données, soit effectuée sur l'intervalle (0, t) sachant qu'il est défaillant à l'instant $t = 0$.

$M(t) = \Pr(S \text{ est réparé sur l'intervalle } (0, t))$ [16]

II.2.2.2.2 Les critères de maintenabilité

Les normes NF X 60-300 et X 60-301 spécifient cinq types de critères de maintenabilité. Le première est relatif à la surveillance de la maintenance préventive. Il est important de connaître à ce niveau l'accessibilité de la composante, sa démonstrabilité et son interchangeabilité. Le deuxième est relatif à la maintenance corrective, plus particulièrement, le temps de recherche de panne ou de défaillance et le temps de diagnostic. Le troisième critère est relatif à l'organisation de la maintenance, pris en compte par la périodicité du préventif, le regroupement à des périodes identiques, l'homogénéité de la fiabilité des composants, la présence d'indicateurs et de computeurs et la complexité des interventions. L'avant-dernier critère est lié à la qualité de la documentation technique. Celui-ci comporte la valeur du contenu, la disponibilité de la documentation, le mode de transmission et les principes généraux de rédaction et de présentation de la documentation technique. Le dernier critère de maintenabilité est lié au suivi de bien par le fabricant. [11]

II.2.2.3 La Disponibilité

II.2.2.3.1 définition de Disponibilité

La disponibilité est définie comme l'« aptitude d'un dispositif, sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de la logistique de maintenance, à remplir ou à être en état de remplir une fonction à un instant donné ou dans un intervalle de temps donné » (cf. NF X 60-503).

Cette définition est très dense et comporte trois parties qui méritent d'être commentées séparément.

« sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de la logistique de maintenance.. »

Cela confirme qu'il ne faut pas confondre fiabilité et disponibilité, et que la fiabilité est une des trois composantes de la disponibilité (figure II.7).

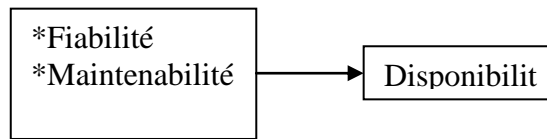


Figure II.7 Composante de la disponibilité

– la fiabilité caractérise l'aptitude d'un matériel à fonctionner sans défaillance pendant un temps donné ;

– la maintenabilité caractérise l'aptitude d'un matériel à être maintenu (maintenance préventive), ou rétabli (maintenance corrective) dans son état de fonctionnement, en un temps donné.

On conçoit alors aisément que plus la fiabilité et la maintenabilité sont élevées (respectivement, moins de défaillances et temps de réparation plus faibles), meilleure sera la disponibilité.

Sous le terme « logistique de maintenance », on désigne l'organisation autour du dispositif, souvent génératrice de temps annexes : attente de pièces de rechange, attente des réparateurs, temps nécessaire à la consignation de certaines installations avant l'intervention, délais administratifs... Ces temps annexes ne modifient pas la maintenabilité des dispositifs (il s'agit d'une caractéristique intrinsèque du matériel), mais s'ajoutent aux temps de réparation, donc diminuent la disponibilité.

« ... à remplir ou à être en état de remplir une fonction ... » On s'intéresse donc à un dispositif opérationnel, c'est-à-dire soit en marche, soit prêt à fonctionner, mais non utilisé.

En effet, un dispositif peut être disponible (opérationnel) sans être en état de fonctionnement ; c'est le cas, par exemple, d'un équipement de production en attente de produits ou d'un dispositif de secours en attente de sollicitation.

Par contre, le dispositif est indisponible lorsqu'il fait l'objet d'opérations de maintenance préventive nécessitant son arrêt. [17]

On notera que, si la maintenance préventive peut être un moyen d'assurer un niveau convenable de fiabilité, trop de maintenance préventive peut conduire à une diminution de la disponibilité.

« ... à un instant donné ou dans un intervalle de temps donné ... »

Dans tous les cas, on exprimera la disponibilité par un pourcentage, mais il y a lieu de distinguer la disponibilité instantanée et la disponibilité stationnaire.

On parlera de disponibilité instantanée lorsque l'on s'intéresse à l'état d'un dispositif à un instant donné. La disponibilité instantanée est alors définie comme la probabilité que le dispositif soit opérationnel à un instant donné.

On parlera de disponibilité stationnaire lorsqu'on s'intéresse à l'état « moyen » d'un dispositif dans un intervalle de temps donné. La disponibilité stationnaire est alors définie comme la proportion du temps pendant laquelle le dispositif est opérationnel.

On peut souhaiter pour certains dispositifs qu'ils soient disponibles (donc ni en panne ni en maintenance préventive) à un instant donné ; c'est le cas, par exemple, d'un véhicule de secours ou d'un système d'armes. Il s'agit alors d'une préoccupation de disponibilité instantanée.

Pour d'autres dispositifs, on souhaiterait qu'ils soient disponibles « en permanence » ; c'est le cas, par exemple, d'une installation de production d'énergie ou d'un équipement de production de type « processus continu ». Il s'agit alors d'une préoccupation de disponibilité stationnaire.

Pour les équipements de production dans l'industrie manufacturière, les préoccupations peuvent être différentes selon les organisations de production. [1]

Dans une organisation en flux tendus (juste à temps), on attend du dispositif qu'il soit disponible à l'heure prévue pour le lancement du lot de fabrication. Il s'agit alors d'une préoccupation de disponibilité instantanée.

Dans une organisation en flux poussés (production sur stocks), on attend du dispositif qu'il soit disponible, par exemple, pendant 90 ou 95 % du temps possible de production, les stocks permettant de rendre transparents pour les clients les 5 ou 10 % d'indisponibilité. Il s'agit alors d'une préoccupation de disponibilité stationnaire.

II.2.2.3.2 Disponibilité instantanée et disponibilité stationnaire

Pour un dispositif ou une machine caractérisé par les paramètres λ et μ , supposés être constants, on montre que la disponibilité instantanée s'exprime par la relation :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (\text{II.33})$$

On démontre également que la disponibilité stationnaire, notée D_∞ , est la limite de $D(t)$ quand t tend vers l'infini.

Autrement dit :

- La vie du dispositif est une succession de phases : en état de marche (ou opérationnel), en état de panne, en état de marche...

- La fréquence des états de panne est en relation avec le paramètre de fiabilité λ , et la durée des états de panne est en relation avec le paramètre de maintenabilité μ .
- $D(t)$ donne la probabilité de trouver le dispositif dans l'état de marche (ou opérationnel) à l'instant.
- Sur une période de temps courte, cette probabilité n'est pas la même à chaque instant, mais sur une période de temps très longue (infinie), le dispositif atteint un régime stationnaire dans cette alternance des phases marche/panne, et la probabilité de le trouver en état de marche est alors la même à chaque instant.
- Si à chaque instant, la probabilité de le trouver en état de marche est la même, par exemple 90 %, on peut considérer qu'il passe 90 % du temps en état de marche.
- La disponibilité stationnaire correspond alors au ratio : temps de marche/temps total.

II.2.2.3.3 Expression de la disponibilité stationnaire

Les relations suivantes sont souvent données pour évaluer la disponibilité (sans autre précision) :

$$D = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (\text{II.34})$$

Ou :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{II.35})$$

Dans l'hypothèse où λ et μ sont supposés constants, on notera que les relations (II.34) et (II.35) sont rigoureusement équivalentes, puisque $MTBF = 1/\lambda$ et $MTTR = 1/\mu$.

On remarquera également que la relation (II.34) correspond au premier terme de la relation (II.31), constant quel que soit t (le second terme de la relation (II.33) tend vers zéro quand t tend vers l'infini).

La relation (II.34) correspond donc à la disponibilité stationnaire définie précédemment.

Les relations usuelles (II.34) ou (II.35) ne peuvent alors être utilisées que lorsque l'on s'intéresse à la disponibilité stationnaire.

II.2.2.3.4 Disponibilité des systèmes

Nous donnons ci-après quelques cas-type et, pour chacun, la façon d'évaluer la disponibilité.

Rappel du point de vue de la fiabilité :

- On qualifie de « système série » un système tel que la défaillance d'un seul de ses composants entraîne la défaillance du système.
- On qualifie de « système parallèle » un système qui n'est défaillant que lorsque tous ses composants sont défaillants.

- On qualifie de « système mixte » un système constitué de sous-ensembles de type série, mis en parallèle.

II.2.2.3.4.1 Cas des systèmes série

On montre que la disponibilité stationnaire d'un système série constitué de n composants s'exprime par la relation suivante (où $D_{\infty i}$ est la disponibilité stationnaire du composant i) :

$$D_{\infty \text{système}} = \frac{1}{\left[\sum_{i=1}^n 1/D_{\infty i} \right] - (n-1)} \quad (\text{II.36})$$

II.2.2.3.4.2 Cas des systèmes parallèle

On montre que la disponibilité stationnaire d'un système parallèle constitué de n composants s'exprime par la relation suivante (où $D_{\infty i}$ est la disponibilité stationnaire du composant i) : [6]

$$D_{\infty \text{système}} = \frac{1}{1 + \prod_{i=1}^n (1 - D_{\infty i})} \quad (\text{II.37})$$

II.2.2.4 La Sécurité

C'est l'aptitude d'un produit à ne pas entraîner de dommages graves aux personnes, à l'environnement ou aux biens. Caractérisé par sa probabilité. La sûreté de fonctionnement regroupe les activités d'évaluation de la Fiabilité, de la Disponibilité, de la Maintenabilité et de la Sécurité (FDMS) d'une organisation, d'un système, d'un produit ou d'un moyen. Ces propriétés sont différentes mais complémentaires. [18]

II.3 Les Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto) »

II.3.1 Histogramme de PARETO

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

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

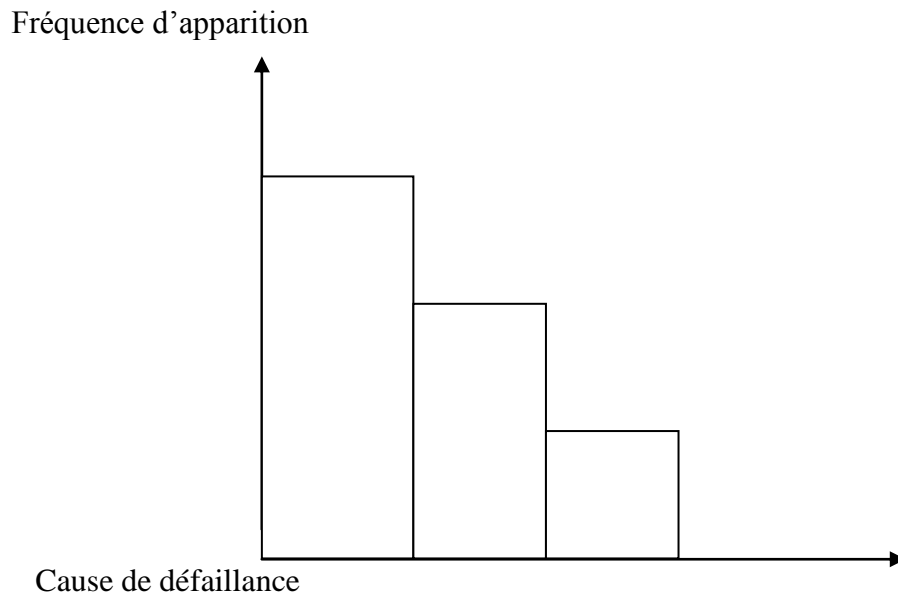


figure : IV.8. Histogramme de PARETO

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

Intérêt de la méthode :

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

II.3.2 L'analyse ABC :

Cette loi est issue des travaux de WILFREDO PARETO , économiste italien (1848 – 1923) , elle fait sortir une concordance entre le faible pourcentage du nombre d'événements observés et le fort pourcentage de la variable induite étudiée et qui permet de faire apparaître les éléments représentatifs :

- a. D'une fabrication.
- b. Du produit en stock.
- c. Des clients, des fournisseurs.
- d. Des pannes, des prélèvements.

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

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

II.3.3 Courbe théorique :

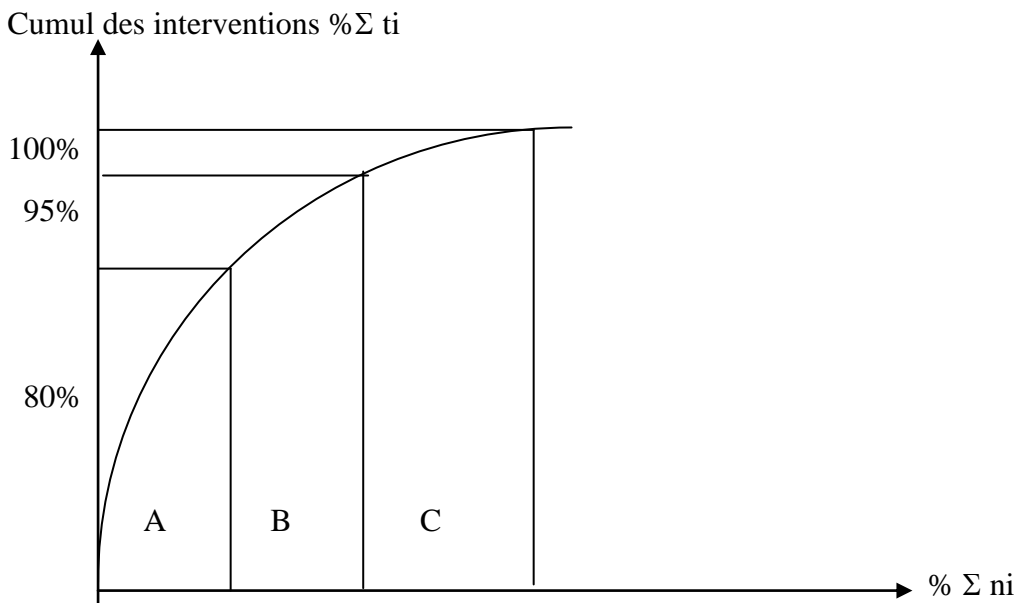


Figure: IV.8 courbe théorique d'analyse ABC

20% 50% 100% Cumul des pannes

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

Zone B : dans cette zone 30% des pannes représentent 15% des temps d'arrêts, c'est la zone la moins importante.

Zone C : dans cette zone 50% des pannes représentent 5% des heures d'arrêt , c'est la zone la moins importante .

Comment constituons-nous le diagramme ABC

1 - On classe les pannes par ordre croissant et devant chaque panne sa durée

2 - On calcule les cumuls des temps et des pannes

3 - On calcule les pourcentages cumulés des temps et des pannes

4 – On établit un graphique en abscisse les pourcentages cumulés des pannes et en ordonnées les pourcentages cumulés des temps. [19][1]

II.4 Conclusion

Nous avons consacré à travers ce chapitre les notions de base concernant la fiabilité, maintenabilité et la disponibilité pour bien comprendre les mots clés de notre travail, on vu aussi au cours de ce chapitre, la théorie de la méthode ABC et l'histogramme de PARETO. Dans la suite de mémoire, nous allons faire une application de la méthode MBF.

CHAPITRE III :
INFORMATION GENERALES SUR
L'ENTREPRISE

III.1 Introduction

Le but de ce chapitre est de présenter la société algérienne maintenance des équipements industriels dont on a fait notre stage, et de donner une vue de l'organisation interne spécifiant le procédé de fabrication des profilés commercialisables qui comprend trois ateliers : refonte, traitement des surfaces et l'extrusion.

III.2 Représentation de MEI

La société de maintenance des équipements industriels (MEI / SPA) a pour mission principale la maintenance des équipements industriels et de production d'énergie.

Elle a Créée le 02/01/1998, MEI est devenue au fil du temps un professionnel industriel capable de répondre à l'ensemble des besoins en matière de maintenance industrielle pour Sone gaz. Outre les ateliers de M'sila, MEI dispose aussi de deux ateliers régionaux situés l'un à BECHAR et l'autre à TOUGGOURT, ce qui lui donne la capacité d'assurer :

- la rénovation des groupes électrogènes en ateliers,
- l'inspection des turbines gaz, vapeur et groupe diesel sur site,
- la rénovation des machines électriques tournantes MT, BT,
- les travaux de grosse mécanique (tournage, fraisage, rectification ...),
- l'équilibrage de roues de turbines, rotors de gros moteurs électriques, rotors turbocompresseurs et turboalternateurs,
- les traitements thermiques,
- la chaudronnerie (rebutage, fabrication de ballons BP, distillateurs thermiques, moules de buses, réparation de vannes hydrauliques, fabrication des baffles et réparation des cheminées, turbines à gaz,
- la réparation de coussinets tous types confondus...,
- la réparation et le revêtement des pièces par projection plasma (APS et HVOF).

MEI emploie 683 agents et a réalisé un chiffre d'affaires de 1,19 Milliards de dinars en 2006. La société de maintenance des équipements industriels MEI a certifié depuis octobre 2003 son SMQ selon la norme ISO 9001/2000. Pour améliorer ses performances environnementales MEI a lancé en 2007 une démarche pour obtenir la certification d'un système de management environnemental selon le référentiel ISO 14001/2004.

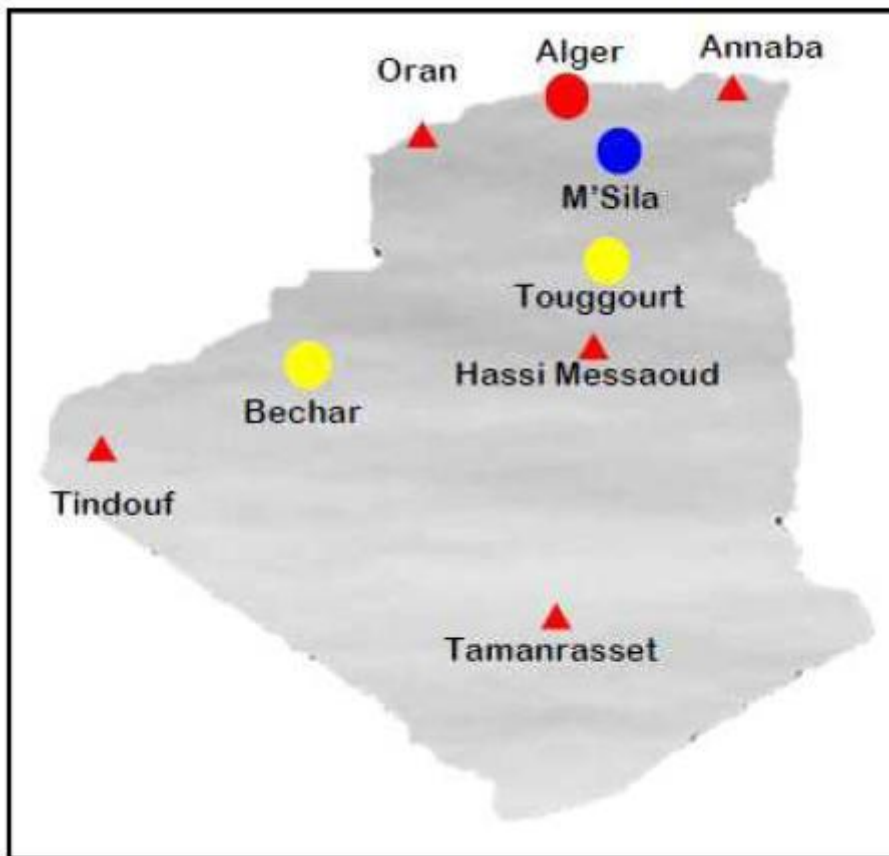


Figure III.1 : siège social & Ateliers de M'sila

III.2.1 Missions de la société

Avec nos partenaires et sociétés alliées , nous répondons aux besoins de clients de manière professionnelle , compétente et faible , dans les domaine de la maintenance mécanique et électrique, le reconditionnement et l'assemblage des moteur diesel ainsi que dans la fabrication d'accessoire et de pièces de remplacement , afin de rencontrer pleinement leurs objectifs en terme de disponibilité de leur outil de production .



Figure III.2 : Missions de la société

III.3 Organigramme de la société

Structure organisation

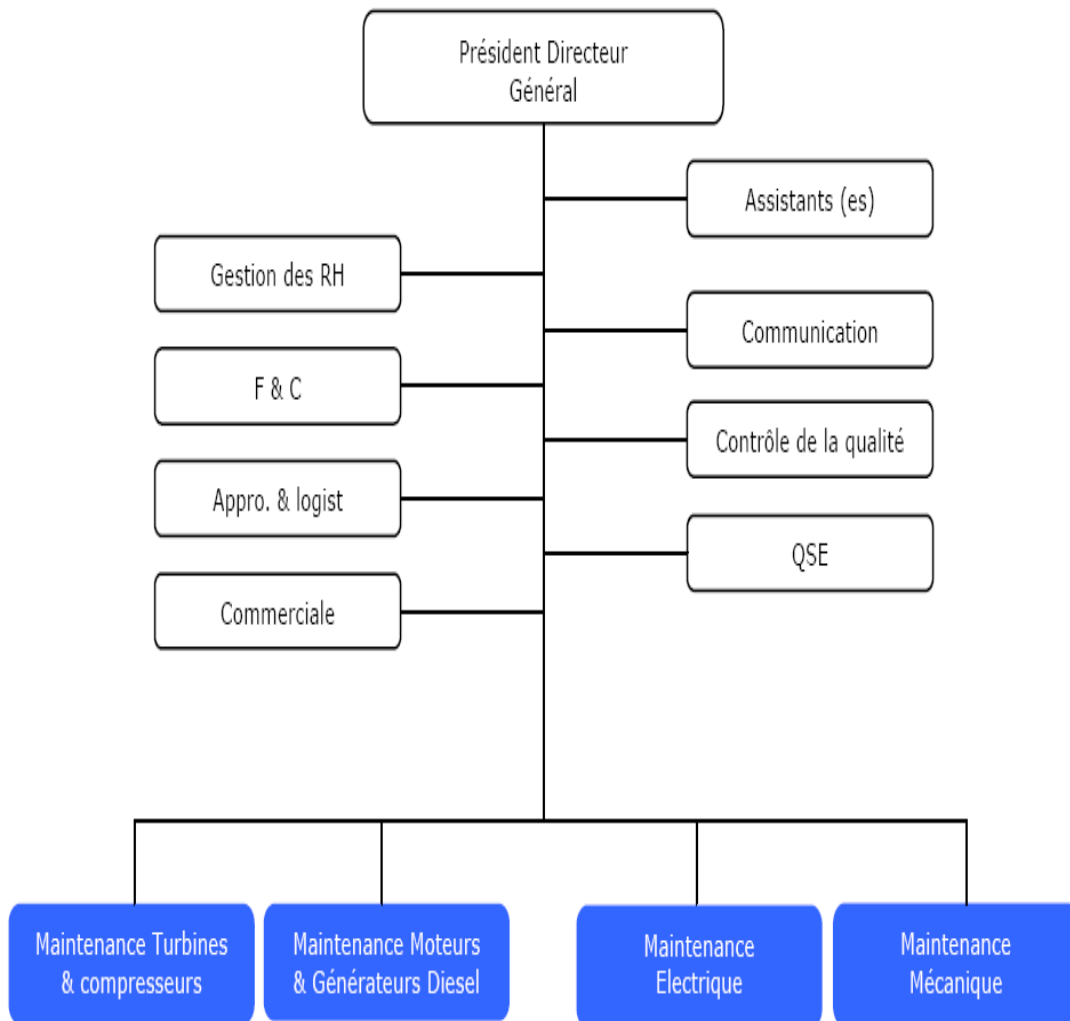


Figure III.3 : L'organigramme de la société.

III.4 Capacité de MEI

Maintenance des Equipements Industriels dispose de plusieurs workshops, tous Complètement équipés en vue de la révision, de la réhabilitation, de la réparation de Divers types de machines tournantes : Turbines gaz et vapeur, moteurs et générateurs Diesel, moteurs électriques, alternateurs...

MEI possède, également, un parc de machines d'usines très complet, lui permettant De travailler sur des pièces mécaniques de toutes formes, de tous métaux, de petites et De grandes dimensions avec précision.



Figure III.4 : ateliers de M'sila.

III.5 Travaux sur les machines-outils

Usinage des pièces, simples ou complexes, jusqu'à un diamètre maximum de 4000 mm, une longueur de 15000 mm et un poids maximum de 280 tonnes.

Rectification des pièces jusqu'à 6 mètres de longueur et 1.6 mètre de diamètre.



(a) Usinage de pièces

(b) Rectification de vilebrequins

Figure III.5 : Usinage et Rectification vilebrequins de pièces.

III.5.1 Equilibrage industriel

- Equilibrer les pièces seules ou les assemblages (ensemble constitué de Plusieurs pièces).
- Effectuer l'équilibrage dynamique des pièces tournantes avant leur Remontage sur machine,

Jusqu'au poids maximum de 70 tonnes, pour un diamètre de 3500 mm ou une longueur de 11740 mm



(a) Equilibrage d'une route turbine
à gaz (pièce seule)

(b) Equilibrage d'un rotor
turbina gaz (pièce assemblée)

Figure III.6 : Equilibrage d'une route turbina gaz.

III.5.2 Revêtements et rechargement

- 1- La métallisation aux fils
- 2- La métallisation au plasma
- 3- La métallisation HVOF
- 4- Le rechargement à l'arc, à la tige

Des procédés applicables sur pièces neuves ou à remettre en état et qui préservent les caractéristiques mécaniques des pièces.



Figure III.7 : La métallisation au plasma.

III.5.3 La métallisation industrielle

- Tôlerie (sablage, peinture)
- Mécano-soudure
- Soudure

III.5.4 Chaudronnier industrielle

MEI a développé, au fil des ans, un savoir-faire dans le domaine des applications sur métal blanc, qui lui permet des remises à neuf de paliers et de patins jusqu'à 6500 mm de diamètre.



(a) Application par rechargement manuel de métaux antifrictions



(b) Machine pour application par centrifugation de métaux

Figure III.8 : rechargement manuel de métaux antifrictions(a) Machine pour application par centrifugation de métaux(b)

Nous fabriquons de nouvelles pièces détachées pour vos machines. Les réalisations peuvent être:

- Faites à partir de plans
- Faites à partir de modèles
- De petites à de grandes dimensions

III.5.5 Contrôle de qualité

MEI entretient un système d'organisation pour le contrôle de la qualité de ses produits et services.

MEI est capable de réaliser du :

- Contrôle dimensionnel
- Contrôle géométrique
- Contrôle de dureté
- Contrôle d'état de surface
- Contrôle d'épaisseur de revêtement
- Contrôle non destructif (PT, MT, UT) Plus de 350 appareils de mesures sont à la disposition de leurs inspecteurs qualifiés.



Figure III.9 : Le control de qualité.

III.5.6 Mesures et essais

MEI dispose de plusieurs bancs et plateformes d'essais dont :

- Banc d'essais pour moteurs et générateurs diesel jusqu'à 4 MW.
- Banc d'essais pour pompes d'injection
- Banc d'essais pour régulateur hydraulique
- Banc d'essais pour moteurs électriques et alternateurs (MT & BT)

III.6 Equipement matériels

- Installation plasma.
- Machine de régulation par centrifugation.
- Tour parallèle de 15m d'entre point.
- Tour parallèle de 6m d'entre point.
- Tour verticale.
- Aléuseuse fraiseuse.
- Equipement pour la réparation des moteurs BT, MT.
- Banc d'essai (moteur et cabine).
- Equipement schnick.
- Banc d'essai pompes injection.
- Machine a déglacé les chemises (honteuses).
- Four sous vide horizontale.
- Cabine de peinture.
- Banc d'essai pour régulateur hydraulique.

- Équipement pour contrôle par magnétoscopie fixes et transportable.
- Lots d'installations de métrologie (étalonnés).
- Lots d'appareil de contrôle par ultrason.

III.7 Les ateliers de la MEI

Les ateliers de la MEI sont :

III.7.1 Atelier de fabrication mécanique

L'atelier de fabrication assure les différents types de travaux de fabrication mécanique :

- Tournage (tour 15m, 6m, 3m, 2m, tour vertical) ;
- alésage (aléseuse fraiseuse) ;
- fraisage (fraiseuse universel, aléseuse fraiseuse) ;
- équilibrage (équilibrage schnick) ;
- rectification (rectifieuse de vilebrequin RG600 et RG450) ;
- Honage (honteuse) : pour déglacer les chemises, ajustage, perçage, et généralement la Préparation de la pièce mécanique telle que (coussinet de différents diamètres, vilebrequin, Arbre, rotor,..)

III.7.2 Atelier de chaudronnerie

Cet atelier assure les travaux de réparation et confection (soudage, cintrage,..) des pièces : Il est équipé essentiellement des machines suivantes :

- Cisaille guillotine, cisaille universelle, plieuse de tôle.
- Rouleuses de tôles, banc d'oxycoupage, poste a soudure :
 - Soudage à l'arc électrique.
 - Soudage par point (résistance)
 - Soudage TIG
 - Soudage MIG
 - Soudage oxyacétylénique

III.7.3 Atelier métallurgie

Il composé le four pour l'étamage, le préchauffage la fusion de régule et d'une machine à réguler par centrifugation, cette atelier répand au besoin de réglage de réparation de coussinets turbo alternateur des groupes TV et TG de diamètre (100 à 2000mm) ainsi que les gros patins des fours de cimenteries. L'atelier métallurgie comporte aussi

- Installation (cabine) de sablage et cabine de peinture : pore sabler et peindre les moteurs, les coussinets et les déferents pièces mécanique.
- Stand métallisation des paliers :
- Rechargement a la baguette.
- Rechargement par centrifugation.
- Rechargement par coulée statique.

III.8 Description de la machine l'aléuseuse fraiseuse

La machine est destinée à percer et aléser avec précision les trous dont l'espacement exact est obtenu à l'aide d'un projecteur optique. Elle est employée en autre pour les opérations de fraisage avec outils dans la broche ou dans l'arbre creux.

Lorsque la machine est équipée d'accessoires facultatifs, elle peut usiner les faces difficilement accessibles et sous différentes pentes. Dans ce but diverses sortes d'appareils de fraisage sont prévues .Lorsque la machine est équipée d'un plateau à surfaces amovible, elle permet de travaille de gros trous et les surfaces cylindriques.

Ainsi que de dresser les faces autour des alésages de dimensions importantes. D'autre accessoires facultatifs permettent de tailler les filetages en système métrique et anglo-saxon, d'aléser les trous à l'aide des barre d'alésage, d'une lunette, d'un table pivotante,...etc.

la machine est destinée avant tout aux travaux sur des pièces de fonderie ou soudées de grand encombrement. En un seul montage peuvent être effectuées plusieurs différentes opérations.

III.9 Particularités de la machine

- Grand gamme des vitesses de broche et changement de vitesse même pendant la marche de lamachine sans charge.
- Montage très soigné de la broche en acier nitruré offrant les garanties de précision et de longue durée de vie.
- Vitesses d'avance infiniment variables de la broche, du chariot porte-broche et du montant obtenues à l'aide de trois servocommandes hydraulique.
- Montage minutieux de la broche nitrurée, garantissent la précision et une longue durée de vie.

Avance de la broche, du chariot porte-broche et du montant réglables en continu à l'aide de trois servocommandes hydrauliques.

- Possibilité de déplacement horizontale du chariot port-Broch.

- Lecture numérique des coordonnées pour le déplacement du montant du chariot port- broche éventuellement pour la sortie de la broche avec présélection des coordonnées.
- Blocage automatique de tous les ensembles mobiles(ce n'et que l'ensemble devant se déplacer qui est débloqué) réduisant les temps auxiliaire.
- Possibilité de fraisage oblique dans trois plans perpendiculaires sous n'importe quel angle, grâce a la combinaison des mouvements du chariot porte-broche et du montant, ce qui permet de réduire les temps d'usinage surtout pour le fraisage des surfaces d'assise irréguliers ...etc.
- Télécommande de la machine, concentrée dans un panneau pendentif actionné par moteur, ce qui rend le service rapide et simple.
- Capotage parfait des glissières du banc, permettant d'augmenter la durée de vie.
- Graissage centrale et par ensembles de tous les mécanismes mobiles et surfaces de glissement nécessitant le service minimal.



Figure 0.10 : l'aléuseuse-fraiseuse WD130 A.

III.10 Caractéristiques principales de la machine.

- Diamètre de la broche..... 130mm.
- Cône de la broche 15550metric.
- Diamètre de l'arbre creux 221,44mm.
- Echelonnées en 26 étages (gammeR20/2)2,8-900tr/mn.
- Régime du moteur de commande de la broche..... 1440tr/mn.
- Puissance du moteur de commande de la broche 18,5kw.
- Couple de torsion maxi sur l'arbre creux 80000kpsm.

III.11 Conclusion

Ce chapitre a été intéressé premièrement à des généralités sur la machine Aléuseuse Fraiseuse, sa composition des matériels, ensuite on a expliqué le procédé d'extrusion de protection au niveau de l'entreprise (MEI) qui est l'un des modes de fabrication des profilés commercialisables , où nous avons essayé de donner une vue concernant ce procédé, enfin on a représentés l'importance de la machine Aléuseuse Fraiseuse dans la société. Pour évaluer l'état de cette machine, il est bien de connaitre dans le suivant chapitre la théorie de l'analyse FMD.

L'ANALYSE STATISTIQUE (FMD)

IV.1.Introduction

Généralement, pour appliquer l'analyse FMD, Il doit être choisi un système et leur historique des pannes. L'évaluation du niveau de la sureté de fonctionnement est faite par l'étude de la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité. Dans notre travail, on choisit la machine Aléuseuse Fraiseuse à cause de son importance dans l'entreprise MEI.

IV.2.Historique des pannes

D'après l'historique des pannes de la machine choisie (Aléuseuse Fraiseuse), on résume les temps d'arrêt et les temps de bon fonctionnement dans le tableau IV.1.

N°	Type de panne	Temps d'arrêt (h)	Temps du bon fonctionnement (h)
01	panneau d'command ne fonction pas	07	24
02	Arrêt du mouvement de l'axe Z	50	32
03	panne an niveaux d'axe Z	45	80
04	panne le changement du broche)	14	176
05	panne de pompe hydraulique du travail vertical	66	184
06	fuite d'huile au niveau du bac de la pompe hydraulique	17	192
07	panne de table d'alésage	09	200
08	panne de la broche ne tourne pas	87	208

09	la broche ne tourne pas	90	216
10	panne d'axe X	44	232
11	sou de tirage	10	240
12	panne de servomoteur	100	248
13	Réparation de panne électrique	06	256
14	Réparation de la table panne électrique	120	260
15	panne de servomoteur	16	264
16	bruit anormale donne la broche	30	288
17	fuit d'huile au niveau du pressostat	04	320
18	panne d'axe Y	12	328
19	panne d'axe X	18	368
20	Réparation de la panne électrique	10	432

Tableau IV.1 L'historique des pannes de la machine Aléreuse Fraiseuse.

IV.3.L'analyse FMD

IV.3.1.La fiabilité

Pour simuler la fonction de fiabilité, on utilise un logiciel de simulation qui s'appelle Fiab Optim.

FIABOPTIM est un logiciel destiné à l'analyse numérique et graphique des données de Fiabilité.

Il permet, à partir des données opérationnelles ou expérimentales, d'estimer la loi de distribution des défaillances, d'estimer les paramètres caractéristiques de ces lois et de calculer ensuite la fiabilité prévisionnelle du système étudié pour les dates (temps, cycles, km, etc....) désirées. L'interface de ce logiciel est illustrée par la figure IV.1.



Figure IV.1 : L'interface de logiciel Fiab Optim.

Le logiciel opère à partir d'un fichier où sont stockées les données de fiabilité.

Vous pouvez enregistrer les données sous format OFI pour les données individuelles.

Si vos données ne sont pas encore enregistrées, vous devez les saisir à l'aide d'une fenêtre de saisie (bouton Saisie).

Vous pouvez vérifier la saisie des données de type individuelles en cliquant sur le bouton Affichage, et même les corriger à partir de ce tableau.

Dans l'étude individuelle, on consiste à choisir une méthode parmi celles proposées en fonction du modèle choisi.

On va réaliser l'estimation selon la méthode choisie (estimation par la méthode de : Johnson Rangs Moyens)

L'exécution du logiciel FiabOptim donne les résultats qui montrés par le tableau IV.2 et la figure IV.2.

Ranges	TBF	F(t)
01	24	0,04761905
02	32	0,0952381
03	80	0,1428571
04	176	0,1904762
05	184	0,2380952
06	192	0,2857143
07	200	0,3333333
08	208	0,3809524
09	216	0,4285714
10	232	0,4761905
11	240	0,5238095
12	248	0,5714286
13	256	0,6190476
14	260	0,6666667
15	264	0,7142857
16	288	0,7619048
17	320	0,8095238
18	328	0,8571429
19	368	0,9047619
20	432	0,952381

Tableau IV.2 Calcule la fonction de répartition.

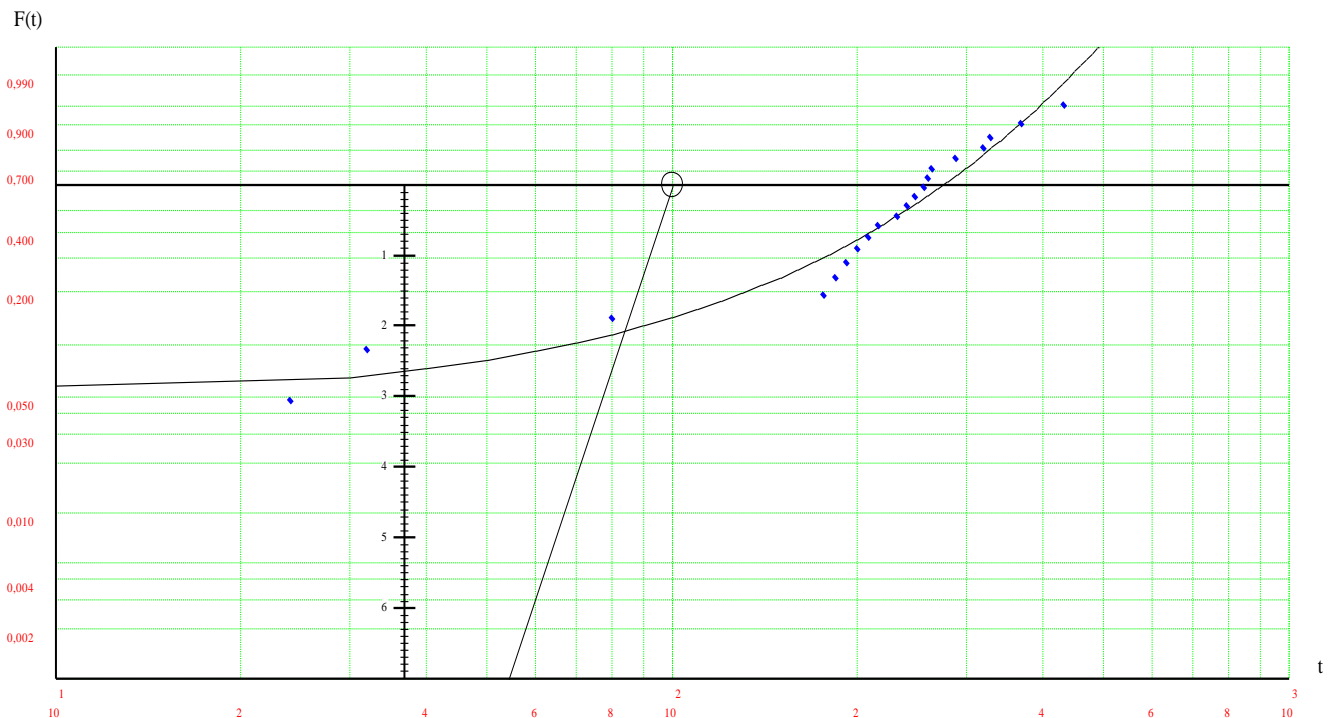


Figure IV.2 : Papier fonctionnel de loi de Weibull.

La figure 0.2 illustre la représentation graphique de la fonction de répartition sur le papier de Weibull. A partir cette courbe, nous pouvons extraire les différents paramètres nécessaires pour calculer la fonction de répartition théorique $F(t)$. Le calcul de $F(t)$ a pour but de choisir le modèle adéquat (acceptable). Les valeurs de ces paramètres sont résumées dans le tableau suivant:

Paramètres	Valeurs
Beta(β)	11 ,446001
Eta(η)	1168,9857
Gamma(γ)	-893,81757
MTBF	224,396601

Tableau IV.3 les paramètres de calcul de fiabilité.

Pour vérifier que le modèle est accepté pour calculer les différentes fonctions (la fiabilité, la densité de probabilité et le taux de défaillance), on utilise le test de KOLMOGOROV-SMIRNOV.

IV.3.1 Test KOMOGOROV - SMIRNOV

L'idée du test est de comparer la fonction réelle de répartition des défaillances à la fonction de répartition théorique.

Il consiste à mesurer l'écart point par point entre ces deux fonctions :

$$D_{ni} = |F(ti) - F(t)| \quad (IV.1)$$

Où :

F (ti) est la fonction de répartition réelle, elle peut être obtenue par la méthode des rangs moyens:

$$F(ti) = \frac{\sum ni}{n+1} \quad (IV.2)$$

F(t) est la fonction de répartition théorique donné par l'équation suivante :

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

On montre que : $D_n = \text{Max}|F(ti) - F(t)|$ suit une loi ne dépendant que de η et on écrit que:

$$P(\text{Max}|F(ti) - F(t)|D_n, a) = 1 - \alpha \quad (IV.4)$$

La valeur de $D_n\alpha$ est donnée par le tableau de KOMOGOROV – SMIRNOV (tableau IV.4).

Les résultats de comparaison entre les deux fonctions de réparation sont présentés dans le tableau suivant :

Ranges	F(t) théorique	F (ti) réelle	Dni
01	0,069008	0,04761905	0,0213
02	0,067039	0,0952381	0,0282
03	0,116374	0,1428571	0,0265
04	0,304215	0,1904762	0,1138
05	0,326309	0,2380952	0,0883
06	0,349396	0,2857143	0,0636
07	0,373440	0,3333333	0,0401
08	0,398396	0,3809524	0,0174
09	0,424204	0,4285714	0,0043
10	0,478066	0,4761905	0,0018
11	0,505929	0,5238095	0,0178
12	0,534262	0,5714286	0,0371
13	0,562934	0,6190476	0,0561
14	0,577351	0,6666667	0,0893
15	0,595330	0,7142857	0,1189
16	0,677942	0,7619048	0,0839
17	0,785206	0,8095238	0,0243
18	0,809502	0,8571429	0,0476
19	0,909090	0,9047619	0,0043
20	0,9853249	0,952381	0,0329

Tableau IV.4 Estimation de la fiabilité et la fonction de répartition.

Le tableau V.5 montre que $D_{\max} = 0.118$ et d'après le tableau de KOMOGOROV – SMIRNOV (tableau IV.4):

$$D_{n,\alpha} = D_{15, 0.05} = 0,3375$$

$D_{n,\max} < D_{15,0,05}$ implique que le modèle de Wiebull est acceptable

La figure ci-dessous représente la fonction de répartition en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF).

Par l'utilisation du logiciel Fiab Optim, on peut présenter graphiquement la fonction de répartition qui montrées parla figure (IV.3)

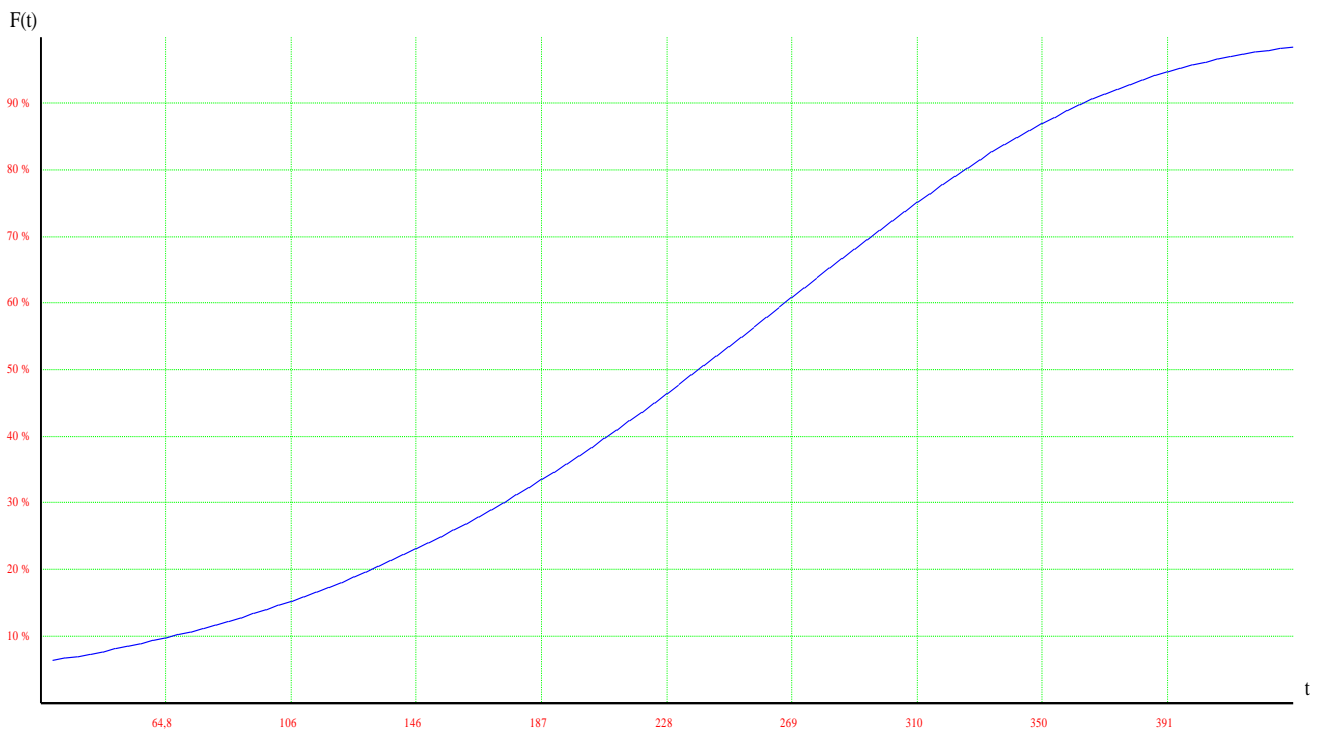


Figure IV.3 :Fonction de répartition F(t).

La figure IV.3 présente la courbe de la fonction de répartition en fonction du temps de bon fonctionnement. On peut conclure d'après cette figure que la fonction de répartition augmente avec l'augmentation du temps de bon de fonctionnement (TBF).

IV.3.3 Calculs de la fiabilité, de la densité probabilité et du taux de défaillance

On résume les calculs des valeurs de la fiabilité, de la densité de probabilité et du temps de défaillance dans le tableau IV.5

TBF	R(t)	$\lambda(t)$	f(t)
24	0,952381	0,00078	0,04761905
32	0,8571429	0,00085	0,0952381
80	0,8095238	0.00145	0,1428571
176	0,7619048	0.0038	0,1904762
184	0,7142857	0.00419	0,2380952
192	0,6666667	0,0045	0,2857143
200	0,6190476	0,00488	0,3333333
208	0,5714286	0,00527	0,3809524
216	0,5238095	0,00568	0,4285714
232	0,4761905	0,0066	0,4761905
240	0,4761905	0,00711	0,5238095
248	0,4285714	0,00765	0,5714286
256	0,3809524	0,0082	0,6190476
260	0,3333333	0,0085	0,6666667
264	0,2857143	0,0088	0,7142857
288	0,2380952	0,010	0,7619048
320	0,1904762	0,014	0,8095238
328	0,1428571	0,015	0,8571429
368	0,0952381	0,02	0,9047619
432	0,04761905	0,036	0,952381

Tableau IV.5 Calculs de la fiabilité, du temps de défaillance et de la densité de probabilité.

Les présentations graphiques de la fiabilité, de la densité de probabilité et du temps de défaillance sont illustrées par les figures suivantes (Figure IV.4, IV.5 et IV.6).

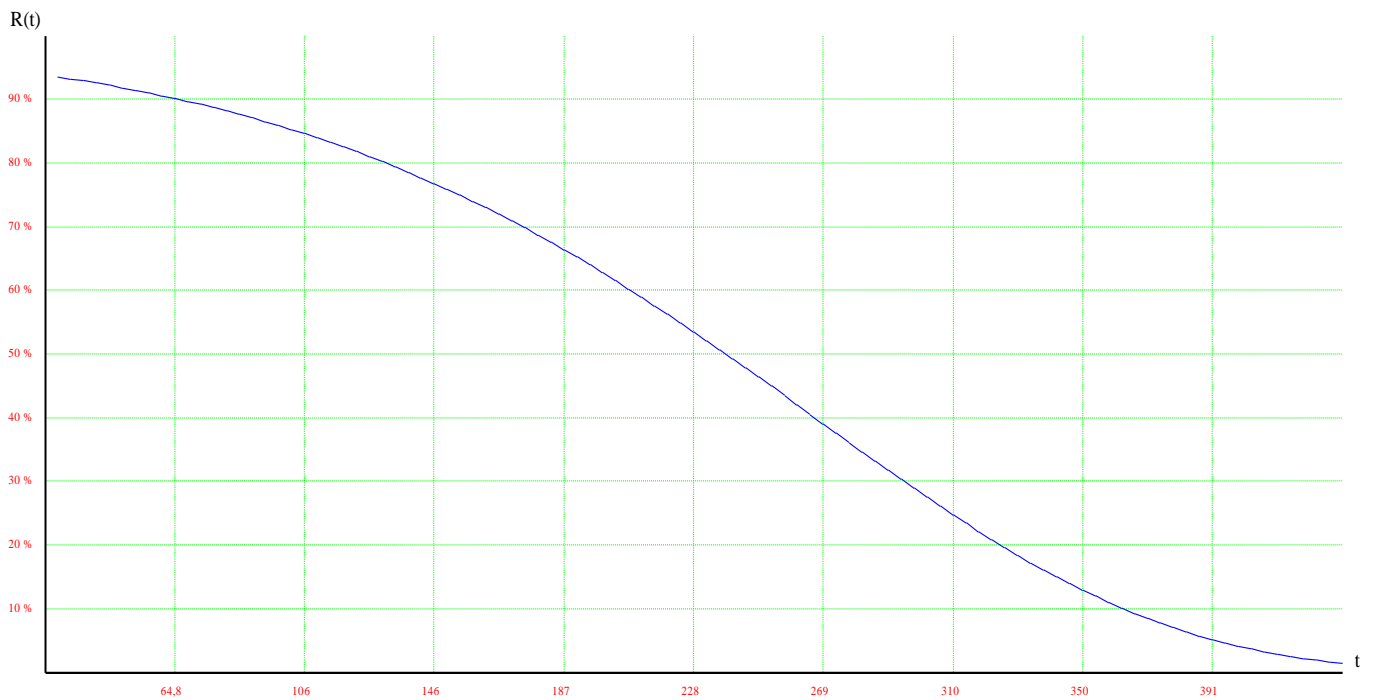


Figure IV.4 : La fonction de fiabilité $R(t)$.



Figure IV.5 : Densité de probabilité $f(t)$.

La courbe de la densité de probabilité montre que cette dernière diminue avec le temps.

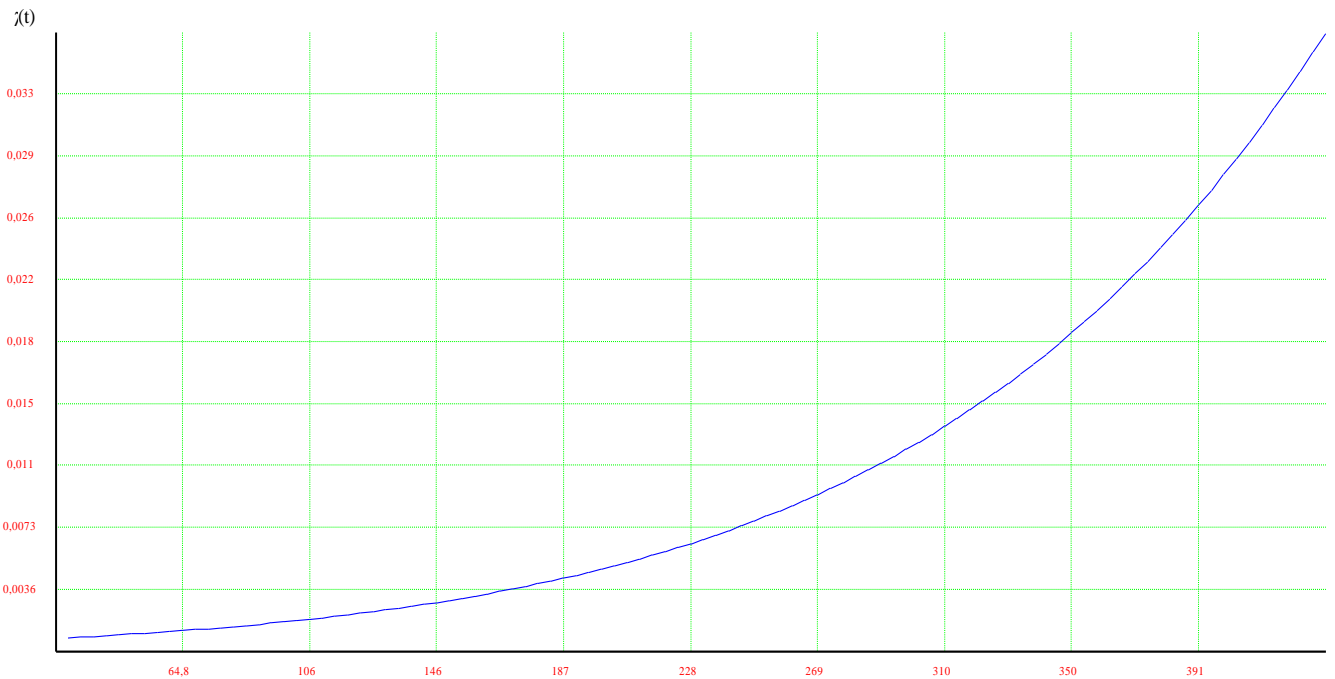


Figure IV6 : Taux de défaillance lambda(t).

La figure IV.6 montre que le taux de défaillance augmente avec la variation du temps.

IV.3.3.1 Calcul de R (MTBF)

Pour la moyenne des temps de bon fonctionnement MTBF = 224,396h, la fiabilité est de :

$$R(MTBF) = e^{-\left[\frac{MTBF-\gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad (IV.5)$$

$$R(MTBF) = e^{-\left[\frac{224,396-(-893,81757)}{1168,9857}\right]^{11,44}} = 0.5478$$

IV.3.3.2 Calcul de F(MTBF)

$$F(MTBF) = 1 - e^{-\left[\frac{MTBF-\gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad (IV.6)$$

$$F(MTBF) = 1 - e^{-\left[\frac{224,396-(-893,8175)}{1168,9857}\right]^{11,44}} = 0.4521$$

IV.3.3.3 La densité de défaillance $f(MTBF)$

La densité de défaillance correspondante à la moyenne du temps de bon fonctionnement est :

$$f(MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\delta}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (IV.7)$$

$$f(MTBF) = \frac{11,44}{1168,98} \left(\frac{224,396+893,81}{1168,98}\right)^{11,44-1} e^{-\left[\frac{224,396+893,81}{1168,98}\right]^{11,44}}$$

$$f(MTBF) = 0,000326$$

IV.3.3.4 Calcul de $\lambda(MTBF)$

$$\lambda(MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\delta}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (IV.8)$$

$$=0,00615$$

D'après les résultats obtenus ci-dessus, on voit que la fiabilité de la machine est réduite à cause de la progressivement du temps d'arrêt. Pour améliorer la fiabilité de la machine à 70%, il faut une moyenne du temps de bon fonctionnement égale à 286.74 h (la moyenne de temps de bon fonctionnement précédente égale à 224.3961h). Pour cela, on va proposer un plan préventif à base des opérations de la maintenance préventive systématique a pour but de minimiser le temps de panne et augmenter le temps de bon de fonctionnement.

IV.3.4 La maintenabilité

La fonction de maintenabilité est donnée par la relation suivante:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (IV.9)$$

Le taux de réparation μ est exprimé par:

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (IV.10)$$

$$\text{Avec } MTTR = \frac{\sum TTR}{N} = 37,75$$

$$\mu = 0,26h^{-1}$$

Le tableau ci-dessous résume le calcul de la maintenabilité, pour N=20 pannes d'après l'historique précédent.

N°	Temps de Réparation (h)	M(t)
01	04	0,646
02	06	0,789
03	07	0,837
04	09	0,903
05	10	0,925
06	11	0,925
07	12	0,955
08	14	0,973
09	16	0,984
10	17	0,987
11	18	0,990
12	30	0,999
13	44	0,999
14	45	0,999
15	50	0,999
16	66	0,999
17	87	0,999
18	90	0,999
19	100	0,999
20	120	0,999

Tableau IV.6 : le calcul de la maintenabilité.

La figure IV.7 présente la maintenabilité en fonction de temps de réparation TTR.

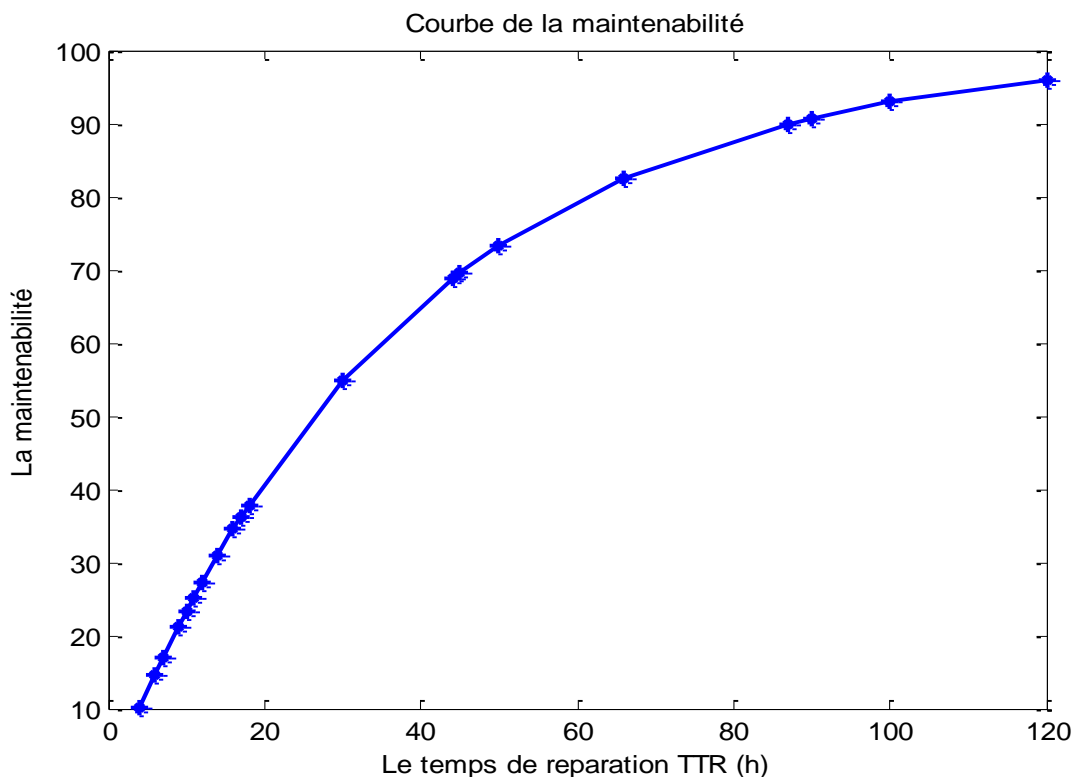


Figure IV.7 : La maintenabilité en fonction de TTR

IV.3.5 Disponibilité intrinsèque théorique

On peut calculer la disponibilité intrinsèque théorique par l'équation suivante :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (IV.11)$$

Avec:

$$MTBF = 224,396$$

$$MTTR = 37,750$$

Alors:

$$\begin{aligned} D &= \frac{224,396}{224,396 + 37,75} \\ &= 0,855 = 85.5\% \end{aligned}$$

D'après la valeur de la disponibilité de la machine, on voit qu'elle est possible de l'améliorer, à partir la progression de la moyenne du temps de bon fonctionnement (MTBF).

On a pour une fiabilité améliorée à une valeur de 70%, une moyenne du temps de bon fonctionnement égale à 286.74h.

Donc la disponibilité pour la moyenne du temps de bon fonctionnement égale à 286.74 est de 88.37%.

Pour obtenir cette amélioration, il doit connaître les éléments les plus défaillants de la machine et faire une préconisation a pour but d'augmenter le temps de bon de fonctionnement et minimiser le temps d'arrêt. Par l'application de la maintenance préventive systématique sur la machine étudiée, on peut faire un plan préventif à base des interventions sur les éléments le plus défaillants c'est-à-dire, on va programmer les opérations de cette maintenance suivant un intervalle du temps prédéterminé, tout ça nous permet d'améliorer MTBF.

Mais le problème majeur est le manque des informations sur les éléments que on va étudier, pour cela, on ne peut pas réaliser le plan préventif.

IV.4. Conclusion

Au cours ce chapitre, nous avons prend les TBF de la machine choisie puis calculé la fonction de répartition réelle et théorique a pour but de choisir la méthode convenable pour estimer la fiabilité de cette machine. La maintenabilité et la disponibilité a été calculé et pour améliorer la fiabilité et la disponibilité, il doit augmenter le temps de bon fonctionnement et minimiser le temps d'arrêt par les opérations de la maintenance préventive systématique.

Conclusion générale

La gestion optimale d'une machine tout au long de sa durée de vie, de la conception au démantèlement, passe par la recherche d'un compromis entre des objectifs souvent conflictuels. On distingue d'une part les performances économiques : coûts et bénéfices, et d'autre part les aspects de fiabilité, de disponibilité, de la sécurité des personnes et de la sûreté des installations. Pour apporter des éléments d'aide à la décision face à ce problème, il est nécessaire de disposer d'outils et méthodes permettant d'analyser les installations industrielles et d'évaluer quantitativement leurs performances en termes de maintenance, tout en respectant les contraintes économiques.

Dans notre travail, nous avons choisi une machine de rôle important dans l'entreprise MEI qui s'appelle Aléseuse Fraiseuse. On a extrait leur historique de pannes pour calculer la fiabilité et la disponibilité.

Pour représenter les résultats, nous avons utilisé un logiciel qui s'appelle FiabOptim, il nous permet de simuler la fiabilité, la densité de probabilité et le taux de défaillance. D'après les résultats obtenus, on voit que la fiabilité de la machine est un peu faible à cause de la progressivement du temps d'arrêt. Pour améliorer la fiabilité de la machine à 70%, il faut une moyenne du temps de bon fonctionnement égale à 286.74 h. Pour cela, il est nécessaire de réaliser un plan préventif à base des opérations de la maintenance préventive systématique.

La maintenabilité et la disponibilité a été calculé et pour améliorer la fiabilité et la disponibilité, il doit augmenter le temps de bon fonctionnement et minimiser le temps d'arrêt par les opérations de la maintenance préventive systématique.

Dans les travaux futurs, nous allons améliorer le niveau de la sûreté de fonctionnement des systèmes électromécaniques par l'application des techniques de la maintenance préventive conditionnelle, telle que l'analyse vibratoire, l'analyse des bruits, l'analyse des huiles et la thermographie.

Références bibliographiques

- [1] **ANTER LEBIDI**, « Développement de la production d'un système électromécanique par une proposition d'une politique de maintenance efficace » Mémoire de Master en génie électrique, université de M'sila, 2014
- [2] **BEN DJAAFER AHMED**, « Réalisation d'un plan de maintenance préventive systématique pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique » Mémoire de Master en génie électrique, université de M'sila, Juin 2013.
- [3] **TOUAMA Elhadj**, « Evaluation des performances de la maintenance des systèmes de production » Mémoire de Master en génie électrique, université de M'sila, Juin 2014.
- [4] **Abdelhadi BENKHELIFA ET Mourad MOHAMMEDI**, « Fiabilité des équipements de D.T.M., analyse fonctionnelle et implications organisationnelles de la fonction maintenance de transport » Mémoire Master, Université kasdi merbah ouargla 2011
- [5] **Negadi Ali**, « la maintenance des Equipements de forage (CAS TP127 HASSI MESSAOUD) » Mémoire de master génie mécanique, université ABDOU BEKR BELKAID-TLEMCEN, juin 2014
- [6] **Oustani Mebrouk / Nedjaa Mohammed Mokhtar**, « Etude maintenance préventive d'un turbocompresseur par analyse des huiles » Mémoire de master Génie mécanique, Université Kasdi Merbah - Ouargla juin 2014
- [7] **LLAURENS Jérémy**, « Mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique » Thèse présentée pour l'obtention du titre de docteur en pharmacie diplôme d'état, université Joseph Fourier, faculté de pharmacie de Grenoble, 16 Février 2011.
- [8] <http://www.technologuepro.com/maintenance-industrielle>
- [9] **Valerie Zille**, « Modélisation et évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des systèmes multi-composants » Thèse de Doctorat, l'Université de Technologie de Troyes, 28 janvier 2009
- [10] <http://www.techniques-ingenieur.fr>
- [11] **Jean .B** « la TPM : un système de production » Technologie (SCEREN - CNDP) – Revue Française de gestion Industrielle, Paris, avril 2008.
- [12] **Mehdi JALLOULI** « méthodologie de conception d'architectures de processeur sûres de fonctionnement pour les applications mécatroniques » Thèse de doctorat en électronique, Université Paul Verlaine – Metz, Juin 2009.
- [13] **Cours télécharger**, <http://www.commentçamarche.org>

- [14] **NICOLAS TERRIER**, « la maintenance », domaine universitaire 38041 grenoble cedex 9 année 2002.
- [15] **BOUANAKA MOHAMED LARBI**, « contribution a l'amélioration des performances opérationnelles des Machines industrielles » Mémoire de magister, université de Constantine 2008
- [16] **Auteur (s)**, « Titre de la référence », N d'édition, édition, année 2007.
- [17] **Mathieu.G**, « Modélisation des coûts de cycle de vie prévision des coûts de maintenance et de la fiabilité Application à l'aéronautique », Thèse de doctorat d'Ecole centrale de Lyon, 2005.
- [18] **Ingexpert**, « Fiabilisation des équipements » 2005/2006
- [19] **MEBARKIA Djalal**, « Recherche d'une solution optimale d'exploitation et de maintenance des gazoducs algériens tenant compte de la fiabilité des équipements des différentes lignes Devant » 2012/2013

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE**

SPECIALITE : INGENIERIE DES SYSTEMES ELECTROMECHANIQUES

Proposé et dirigé par :Dr. GHEMARI zine

Présenté par : BELOUADAH Abdenaceur

Thème :

Amélioration de la fiabilité d'un système électromécanique par l'utilisation des opérations de la maintenance préventive

Résumé :

Dans ce travail, nous avons extrait les TBF de machine Aléseuse Fraiseuse, ensuite on a calculé la fonction de répartition réelle et théorique a pour but de choisir la méthode convenable pour estimer la fiabilité de cette machine, la disponibilité et la maintenabilité ont été chiffré. Pour améliorer la fiabilité à la valeur de 70%, nous avons proposé d'augmenter la moyenne de temps de bon fonctionnement de la machine et minimiser leur temps d'arrêt par l'utilisation des opérations de la maintenance préventive systématique.

Mots clés :

Maintenance, fiabilité, sécurité, sureté.

N° d'ordre:186