

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GENIE ELECTRIQUE

N° : MI 05



DOMAINE:SCIENCES ET ECHNOLOGIES

FILIERE : ELECTROMECHANIQUE

OPTION : MAINTENANCE INDUSTRIELLE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par : NASRI Djamel et TALEB Elyamine

Intitulé

Etude de Maintenance des Machines Électriques Tournantes

Soutenu devant le jury composé de:

-MABRAK Samir	Université Mohamed Boudiaf – M'sila	Président
- GHEMARI Zine	Université Mohamed Boudiaf – M'sila	Rapporteur
- ZORIG Assam	Université Mohamed Boudiaf – M'sila	Examineur

Année universitaire : 2018 /2019

DÉDICACE

NOUS DÉDIONS CE TRAVAIL :
À TOUTE NOS FAMILLES, LES
FRÈRES ET LES AMIS
ET LES TRÈS CHÈRES AMIES
ET SUR TOUT NOTRE
ENCADREUR.

DR. GHEMARI ZINE

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 nous soutien constante
Que toute personnes ayant participées de près ou
de loin à la

Réalisation de ce travail accepte nos Grandet
sincères

Remerciements.

Table des matières

Table des matières

Table des matières.....	III
Glossaire	VII
Introduction générale.....	
Chapitre I. La maintenance et la théorie de calcul (Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité).....	3
I.1 Introduction.....	4
I.2 Définition de maintenance	4
I.3 Les objectifs de la maintenance	4
I.4 Le rôle de la maintenance :	5
I.5 Types de maintenances	5
I.5.1 Maintenance préventive.....	6
I.5.2 Maintenance Corrective.....	8
I.6 Niveaux de maintenance :	9
I.7 Échelons de maintenance :	12
I.8 Politiques de maintenance.....	12
I.8.1 Les politiques de maintenance	13
I.9 Les indicateurs de performance de la maintenance :	13
I.10 La maintenance et la sûreté de fonctionnement	14
I.10.1 Etude de FMD	14
I.10.2 Fiabilité.....	14
I.10.3 La maintenabilité:.....	19
I.10.4 Disponibilité.....	21
I.11 Méthode ABC (Diagramme Pareto).....	22
I.11.1 Diagramme de Pareto	22
I.11.2 Définition de la méthode ABC.....	23
I.11.3 Courbe théorique :	23
I.12 Conclusion.....	24
Chapitre II. Les défauts des machines tournantes.....	
II.1 Introduction	26
II.2 Machines tournantes :	26
II.2.1 rotor	26
II.2.2 La structure :	27
II.2.3 Les liaisons :	27
II.3 Classification des machines électriques.....	27
II.4 Défauts des machines électriques tournantes.....	28
II.4.1 Défauts statorique.....	31
II.4.2 Défauts rotoriques	32

II.5	Les Techniques d'analyse	40
II.5.1	Analyse vibratoire	40
II.5.2	Analyse d'huiles	42
II.5.3	Thermographie IR	42
II.5.4	L'analyse acoustique	43
II.6	Conclusion.....	45
Chapitre III. Présentation entreprise(MEI).....		
III.1	-Historique de MEI (M'sila):	47
III.2	-Présentation de MEI (m'sila):.....	47
III.3	Nom et Symbole de l'entreprise:	48
III.4	1Structure organisation de MEI	48
III.5	Activités de MEI (m'sila) :	49
III.6	capacité de MEI:.....	51
III.6.1	Travaux sur machine outils:.....	51
III.6.2	Equilibrage industriel :	51
III.6.3	Revêtements et rechargement :	51
III.6.4	Application sur métal blanc:	51
III.6.5	Production de pièce de remplacement :	52
III.6.6	Contrôle, Mesures et essais:.....	52
III.6.7	Equipement matériels	52
III.7	Les ateliers de la MEI:.....	53
III.7.1	Atelier diesel :	53
III.7.2	Atelier de Maintenance:.....	53
III.7.3	Atelier de bobinage:	54
III.8	Description de la machine l'aléuseuse fraiseuse	54
III.8.1	Particularités de la machine	54
III.8.2	Caractéristiques principales de la machine.	55
Chapitre IV. L'analyse Statistique (FMD)..... 56		
IV.1	Introduction	57
IV.2	Historique des pannes	57
IV.3	L'analyse FMD.....	60
IV.3.1	La fiabilité.....	60
IV.3.2	Test KOMOGOROV – SMIRNOV	64
IV.3.3	Calculs de la fiabilité, de la densité probabilité et du taux de défaillance	66
IV.3.4	Calcul de R (MTBF).....	68
IV.3.5	Calcul de F(MTBF).....	68
IV.3.6	La densité de défaillance f(MTBF)	68
IV.3.7	Calcul de λ (MTBF)	69
IV.4	La maintenabilité	69
IV.5	Disponibilité intrinsèque théorique	71
IV.6	Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)»	71
IV.6.1	La courbe ABC	72
IV.6.2	Interprétation des résultats	73
IV.7	Recommandations :	74
IV.8	Conclusion.....	75
Conclusion générale 76		

Liste des Figures

Figure I-1-Types de maintenances et évènements associés.....	6
Figure I-2-Méthodes de maintenance et les évènements associés.....	9
Figure I-3.Taux de défaillance, Courbe en baignoire	16
Figure I-4. Probabilité de réparation au cours de temps.....	20
Figure I-5.Composante de la disponibilité	21
Figure I-6.Diagramme de Pareto ou courbe ABC	23
Figure II-1- Machines électrique tournante.....	28
Figure II-2-Dégradation du bien et durée de vie [2].....	29
Figure II-3-Évolution du pourcentage des défauts par bonnet 2008.....	30
Figure II-4-Court-circuit dans une phaseFigure II-5-masse dans l'encoche	32
Figure II-6-Défaut sur la cageFigure II-7- Défaut sur la bague extérieure.....	33
Figure II-8-Défaut sur la bague intérieure.....	33
Figure II-9-Types d'excentricité : (a) statique ; (b) dynamique ; (c) mixte.	34
Figure II-10-Défaut d'un rotor à cage d'écureuil : (a) rupture de barres ; (b) rupture d'anneau de court-circuit.....	35
Figure II-11-Défaut de Balourd.....	36
Figure II-12-Engrenages à axes parallèles (A et B).à axe concourant (C)	36
Figure II-13 L'usure d'engrenage	37
Figure II-14-Les piqûresd'engrenages	37
Figure II-15-L'Écaillage d'engrenages.....	38
Figure II-16- Fissuration ou cracks "Engrenages" Écaillage.....	38
Figure II-17-Le grippage "Engrenage".....	39
Figure II-18-Défauts désalignement	39
Figure II-19-Figure. L'utilisation de différentes méthodes d'analyse dans le monde	40
Figure II-20-Défaut de roulement	43
Figure II-21-Exemple de défaut sur une installation électrique.....	43
Figure III-1-L'organigramme de la société.....	49
Figure III-2-l'aléseuse-fraiseuse WD130 A.	55
Figure IV-1-L'interface de logiciel FiabOptim.....	61
Figure IV-2 -Papier fonctionnel de loi de Weibull.....	63
Figure IV-3-La fonction de répartition en fonction du TBF	65
Figure IV-4-La fonction de fiabilité R(t).....	67
Figure IV-5-Densité de probabilité f(t).....	67
Figure IV-6-Taux de défaillance lambda(t).....	68
Figure IV-7.Courbe de la maintenabilité	71
Figure IV-8-La courbe ABC.....	73
Figure IV-9: le remplacement de la pompe de l'huile par trois moteurs asynchrones...	74

Liste des Tableaux

Tableau II-1- Classification des défauts de machine électrique selon leurs origines [8]	30
Tableau II-2-Techniques d'analyse de l'état d'une machine tournante [6]	45
Tableau IV-1 -L'historique des pannes de la machine Aléseuse Fraiseuse	60
Tableau IV-2 -Les résultats de simulation de la fonction de répartition et de fiabilité par le logiciel FiabOptim	62
Tableau IV-3-Les paramètres de calcul de fiabilité	63
Tableau IV-4-La comparaison entre la fonction de répartition réelle et la fonction de répartition théorique	65
Tableau IV-5	66
Tableau IV-6	70
Tableau IV-7- les données pour tracer la courbe ABC	72

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 des machines tournantes est un sujet qui a reçu un grand intérêt ces dernières années. Initialement, elle était destinée à surveiller les installations et le fonctionnement afin d'éviter des dégradations et des catastrophes économiques et humaines causées par des défauts inattendus. Et aussi à la réparation, l'intervention rapide et minimiser le temps d'arrêt. Pour éviter des arrêts de production, il faut surveiller en permanence ces équipements et "traquer" tous les signes précurseurs de défauts avant qu'il ne soit trop tard. Pour cela, il existe une grande variété de techniques d'analyse.

Les méthodes de la surveillance ont toujours des procédés de diagnostic, utilisés pour la détection des différents défauts statoriques et rotoriques

La surveillance des machines électriques tournantes est aujourd'hui un point essentiel de la Fiabilité et de la sûreté de fonctionnement des systèmes électriques. Les aspects diagnostic et détection de défaut des organes de conversion électromécanique en font partie intégrante et requièrent la mise au point de techniques de mesure, d'acquisition, d'analyse et d'aide à la décision. Le succès de ces techniques passe nécessairement par une bonne connaissance de la machine ainsi que de son comportement en présence d'un défaut interne.

Dans ce contexte, le mémoire comporte quatre chapitres structuré comme suit.

- Le premier chapitre est consacré à l'étude de la maintenance des machines électriques tournantes. Il présente les différents types de maintenance et les opérations set les techniques de maintenance préventive .La sûreté de fonctionnement et les méthodes de calcul de fiabilité aussi sont bien détaillées.
- Le deuxième chapitre présenter a les défauts statoriques et rotoriques dans les machines électriques tournantes et les différentes techniques de diagnostic et de surveillances leurs avantages et inconvénients.
- Le troisième chapitre est une description de l'entreprise qui on va faire notre stage d'une part et les ateliers de l'entreprise MEI de Msila d'une autre part.
- 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.

A la fin de ce mémoire une conclusion qui montera tous les résultats obtenu avec des recommandations.

**Chapitre I. La maintenance et la théorie de calcul
(Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité)**

Chapitre I-La maintenance et la théorie de calcul (FMD)

I.1 Introduction

Les entreprises sont de plus en plus sensibilisées à l'importance des coûts induits par les défaillances accidentelles des systèmes de production. Alors que la maintenance, jusqu'à très récemment, était considérée comme un centre de coûts, nous sommes de plus en plus conscients qu'elle peut contribuer d'une manière significative à la performance globale de l'entreprise [1]. La maintenance est devenue une des fonctions stratégiques de l'entreprise. Loin d'être aujourd'hui stabilisée, elle évolue au gré de 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 [2].

Aujourd'hui, il ne s'agit pas seulement de réparer est prévenir, il faut aussi savoir empêcher de tomber en panne, plus qu'une simple technique d'intervention efficace sur le fonctionnement, la maintenance est devenue une technique d'anticipation, d'organisation et de gestion. [1]

Dans ce chapitre, nous présentons quelques notions et définitions de base utilisés dans le domaine de la surveillance des machines tournantes.

I.2 Définition de maintenance

La norme AFNOR NF X 60 010 [AFNOR, 2002] définit la maintenance par l'expression suivante : «La maintenance constitue 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 qui lui permet d'accomplir la fonction requise ».

La maintenance vise la conservation de l'état préalablement défini (le bon état) mais permet aussi la reconstitution et l'amélioration. L'entretien peut être vu comme une condition nécessaire mais insuffisante de la maintenance.

I.3 Les objectifs de la maintenance

se résumant comme suit :

- Réduire le nombre d'arrêts sur casse ;
- Fiabiliser l'outil de production ;

- Augmenter son taux de disponibilité ;
- Dépanner rapidement les équipements.
- Améliorer la sécurité du travail, etc.

La définition de la maintenance fait donc apparaître 4 notions :

- **Maintenir** qui suppose un suivi et une surveillance
- **Rétablir** qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut
- **Etat** qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance
- **Coût optimal** qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique [3]

I.4 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 :

Prévisions à long terme (au delà d'une année) : 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 (dans l'année en cours) : 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 faire l'objet d'un minimum de préparation. [4]

I.5 Types de maintenances

Les experts ont défini deux grandes classes de maintenance selon la présence de défaillance :

La maintenance corrective (en présence de défaillance) et la maintenance préventive (en absence de défaillance) comme illustré sur la (figure I-1)

La défaillance est définie par la norme AFNOR NF X 60 010 [AFNOR, 2002] comme suit: «La défaillance est ou la cession de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise».

Nous distinguons deux formes de défaillances :

Défaillance partielle : altération de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

Défaillance complète : cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

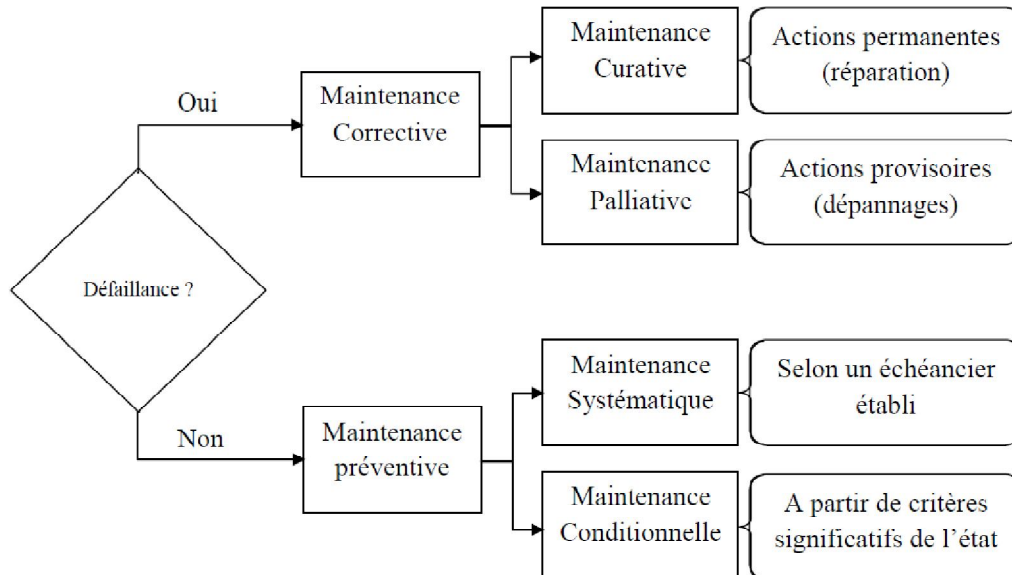


Figure I-1-Types de maintenances et évènements associés [5].

I.5.1 Maintenance préventive

«C'est une maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien» [AFNOR, 2002].

Cette maintenance vise la prédiction de la date à laquelle une action de maintenance doit s'effectuer en se référant à un modèle de dégradation théorique des composants mécaniques de la machine. La maintenance prévisionnelle part des informations recueillies à partir de la surveillance de l'état du matériel et de la conduite d'analyses périodiques dans le but de déterminer l'évolution de la dégradation du matériel et la période d'intervention.

I.5.1.1 Buts de la maintenance préventive :

- Augmenter la durée de vie des matériels
- Diminuer la probabilité des défaillances en service
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne
- Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions

- Éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc.
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production
- Diminuer le budget de maintenance
- Supprimer les causes d'accidents graves. [6]

La maintenance préventive peut être systématique ou conditionnelle.

I.5.1.2 La maintenance préventive systématique

«C'est une maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien» [AFNOR, 2002].

Cas d'application :

- Équipements soumis à une législation en vigueur (sécurité réglementée) : appareils de levage, extincteurs, réservoirs sous pression, convoyeurs, ascenseurs, monte-charge, etc.
- Équipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves : tous les matériels assurant le transport en commun des personnes, avions, trains, etc.
- Équipements ayant un coût de défaillance élevé : éléments d'une chaîne de production automatisée, processus fonctionnant en continu (industries chimiques ou métallurgiques).
- Équipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevés au cours de leur temps de service : consommation excessive d'énergie, éclairage par lampes usagées, allumage et carburation déréglés (moteurs thermiques), etc. [6]

I.5.1.3 La maintenance préventive conditionnelle

«C'est une maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent» [AFNOR, 2002].

I.5.1.4 Les opérations de maintenance préventive

- **Les inspections** : contrôles de conformité réalisés en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien. En général, l'inspection peut être réalisée avant, pendant ou après d'autres activités de maintenance (EN 13306 : avril 2001).
- **Visites** : opérations de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité déterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies préalablement qui peuvent entraîner des démontages d'organes et une immobilisation du matériel. Une visite peut entraîner une action de maintenance corrective.

- **Contrôles** : vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut :
 - Comporter une activité d'information
 - Inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement
 - Déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective

Les opérations de surveillance (contrôles, visites, inspections) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien. Elles sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage. [7]

I.5.2 Maintenance Corrective

La maintenance corrective est définie par la norme AFNOR comme [AFNOR, 2002]: «C'est la maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise». L'intervention, étant curative, se fait après l'apparition de la défaillance.

Cette maintenance corrective peut être décomposée encore: la maintenance palliative et la maintenance curative.

a. Maintenance palliative: l'action de dépannage permet de remettre provisoirement le matériel à un niveau de performance acceptable mais inférieur au niveau optimal.

b. Maintenance curative: l'intervention qui suit la défaillance permet le rétablissement d'un niveau de performance optimal du matériel.

I.5.2.1 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. [7]

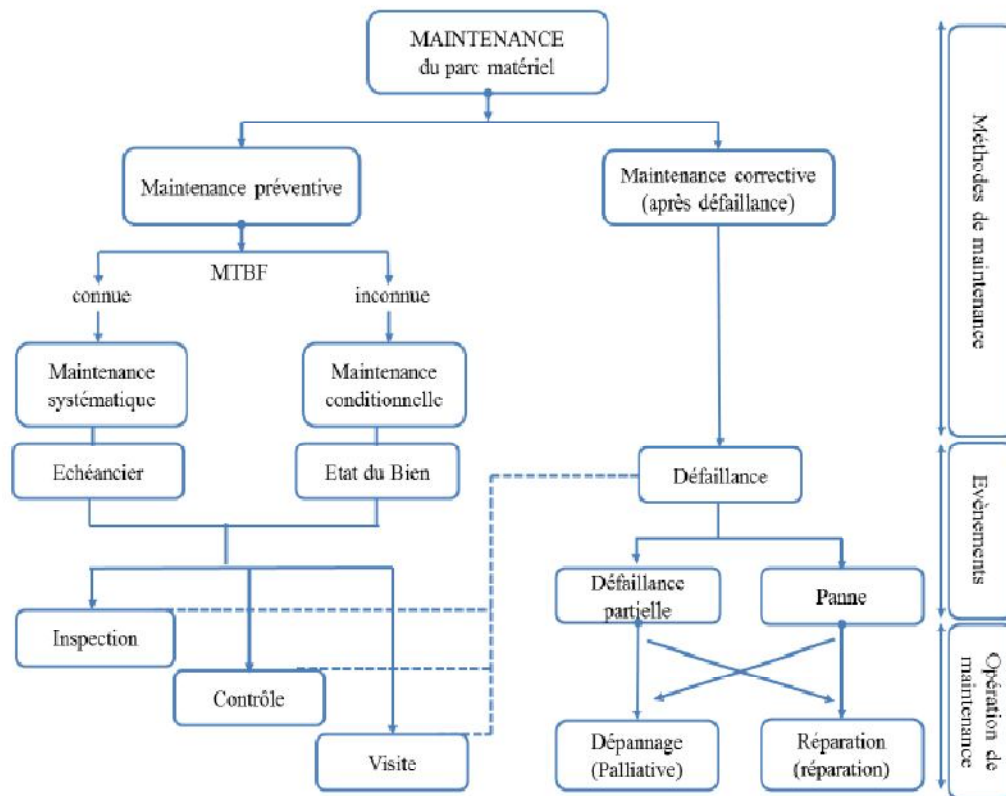


Figure I-2-Méthodes de maintenance et les évènements associés.

I.6 Niveaux de maintenance :

La maintenance et l'exploitation d'un bien s'exercent à travers de nombreuses opérations, parfois répétitives, parfois occasionnelles, communément définies jusqu'alors en 5 niveaux de maintenance.

Le classement de ces opérations permet de les hiérarchiser de multiples façons. Ce peut être en fonction des critères suivants :

Définir qui fait quoi au regard de chacun des niveaux de maintenance :

- le personnel de production ;
- le personnel de maintenance en tenant compte de la qualification de l'intervenant
- le personnel de l'entreprise ou un sous-traitant ;

- une combinaison des 3.

- **1^{er} Niveau :**

Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés 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.

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

Exemples en maintenance préventive : ronde de surveillance d'état, graissages journaliers, manœuvre manuelle d'organes mécaniques, relevés de valeurs d'état ou d'unités d'usage, test de lampes sur pupitre, purge d'éléments filtrants, contrôle d'encrassement des filtres.

Exemples en maintenance corrective : remplacement des ampoules, ajustage, remplacement d'éléments d'usure ou détériorés, sur des éléments composants simples et accessibles.

- **2^{ème} Niveau :**

Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en oeuvre 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.

Commentaire : Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité de qualification moyenne, sur place, avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance, et à l'aide de ces mêmes instructions.

On peut se procurer les pièces de rechange transportables nécessaires sans délai et à proximité immédiate du lieu d'exploitation.

- **3^{ème} Niveau :**

Opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en oeuvre 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.

Commentaire : Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans le local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipements et en utilisant l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance du bien ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin.

- **4^{ème} Niveau :**

Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou 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.

Commentaire : Ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé doté d'un outillage général (moyens mécaniques, de câblage, de nettoyage, etc.) et éventuellement des bancs de mesure et des étalons de travail nécessaires, à l'aide de toutes documentations générales ou particulières.

- **5^{ème} Niveau :**

Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou 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.

Remarques sur une décomposition différente :

On observe que la décomposition détaillée en 5 niveaux de maintenance proposée ci-dessus peut être parfois ramenée à 4 ou à 3 niveaux selon d'autres normes ou usages. Une classification simplifiée sur 3 niveaux distingue :

- les opérations de maintenance simples (réglages, remplacements de consommables, graissages, etc.). Elles concernent en particulier les tâches effectuées sur les « Unités Remplaçables en Ligne (URL) » qui sont caractérisées par une détection aisée de leurs défaillances ou dégradations et un remplacement simple, sans démontage des
-

éléments avoisinants. Cette 1^{ère} classe d'interventions rassemble les niveaux 1 et 3 de la classification en 5 niveaux ;

- les opérations de maintenance de complexité moyenne (réparations de composants, contrôles intrusifs, examens des parties internes d'un matériel, visites, etc.). Elles s'appliquent en particulier aux « Unités Remplaçables en Atelier (URA) » qui ne peuvent pas être aisément changées sur le terrain. On retrouve ici le niveau 4 de la décomposition en 5 niveaux ;
- les opérations de maintenance majeures qui s'identifient au niveau 5 et qui sont généralement effectuées par le constructeur ou des sociétés spécialisées. [6]

I.7 Échelons de maintenance :

Il est important de ne pas confondre les niveaux de maintenance avec la notion d'échelon de maintenance qui spécifie l'endroit où les interventions sont effectuées. On définit généralement 3 échelons qui sont :

- la **maintenance sur site** : l'intervention est directement réalisée sur le matériel en place ;
- la **maintenance en atelier** : le matériel à réparer est transporté dans un endroit, sur site, approprié à l'intervention ;
- la **maintenance chez le constructeur** ou une **société spécialisée** : le matériel est alors transporté pour que soient effectuées les opérations nécessitant des moyens spécifiques.

Bien que les 2 concepts de niveau et d'échelon de maintenance soient bien distincts, il existe souvent une corrélation entre le niveau et l'échelon : les opérations de niveaux 1 à 3, par exemple, s'effectuant sur site, celles de niveau 4 en atelier, et celles de niveau 5 chez un spécialiste hors site (constructeur ou société spécialisée).

Si cela se vérifie fréquemment, il convient cependant de ne pas en faire une généralité. On peut rencontrer en milieu industriel des tâches de niveau 5 effectuées directement sur site.

I.8 Politiques de maintenance

L'analyse des politiques de maintenance en vue d'optimiser la performance des entreprises (de différents points de vue allant du financier à la disponibilité) est un sujet de recherche exploré par de nombreux laboratoires. Bien que n'étant pas l'objet principal de ce

travail de thèse, nous ne pouvions exposer la maintenance et ses coûts sans évoquer l'optimisation par l'amélioration des politiques de maintenance au travers d'une courte analyse bibliographique [2].

I.8.1 Les politiques de maintenance

Faut-il réparer complètement un système lorsqu'il tombe en panne ? Est-il préférable de le réparer à moindre coût en réparant uniquement les composants nécessaires à son bon fonctionnement ? Comment choisir le degré optimal de maintenance corrective ? Voici autant de problèmes industriels auxquels répond l'analyse des politiques de maintenances [AFN86]. La maintenance est en effet un processus qui se caractérise par des choix d'exécution. La juste répartition entre les différents modes de maintenance envisageable, appelée détermination des politiques de maintenance, a un impact non négligeable sur les coûts de possession d'un système.

I.9 Les indicateurs de performance de la maintenance :

Il est impossible d'améliorer un système sans en avoir décrit les caractéristiques : dans notre cas, c'est au travers d'indicateurs de performance qu'est analysée la maintenance. Un "indicateur" est une information choisie, associée à un phénomène et destinée à en observer périodiquement les évolutions au regard d'objectifs préalablement définis. [2]

Si le nombre d'indicateurs doit être limité, ils doivent néanmoins permettre d'évaluer l'impact de la maintenance sur le système. Pour cela, la norme française XP X 60-020 [AFN95] présente des indicateurs de coût de maintenance, de disponibilité (et par extension de coût d'indisponibilité), de niveau de sécurité et de coût de la défaillance. Ces indicateurs sont bien souvent ramenés à des ratios tels que le rapport des coûts de maintenance sur la valeur du bien à maintenir, ou encore le rapport entre les coûts et l'usage : - coût par heure de production - coût par km parcouru - etc. Par conséquent, il apparaît que tous les indicateurs (à l'exception des indicateurs de niveau de sécurité) se regroupent autour de problèmes de rentabilité. Les facteurs de performance en maintenance sont représentatifs d'une part, de ce que coûte la maintenance et d'autre part, de la disponibilité associée, à savoir ce que rapporte le système. En nous appuyant sur ces indicateurs, nous analyserons plus en détail les notions de coûts de maintenance. [2]

I.10 La maintenance et la sûreté de fonctionnement

Dans sa définition originelle, le terme "sûreté de fonctionnement" représente "l'ensemble des aptitudes d'un produit qui lui permettent de disposer des performances fonctionnelles spécifiées, au moment voulu, pendant la durée prévue, sans dommage pour lui-même et son environnement" [AUG98]. La sûreté de fonctionnement couvre ainsi les quatre notions que sont la fiabilité, la sécurité, la maintenabilité et la disponibilité, auxquelles on peut ajouter, selon les applications, la survivabilité et l'invulnérabilité.

La sûreté dans son ensemble doit être étudiée d'un bout à l'autre de la conception du système. Elle se fera par:

- le choix des composants de la partie opérative : puissance et distribution d'énergie
- l'implantation des composants
- le choix de la partie commande et de son câblage
- les procédures de fonctionnement. [2]

I.10.1 Etude de FMD

I.10.2 Fiabilité

La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir les fonctions requises dans des conditions données pendant une durée donnée. Elle est caractérisée par la probabilité $R(t)$ que l'entité E accomplisse ces fonctions, dans les conditions données pendant l'intervalle de temps $[0; t]$, sachant que l'entité n'est pas en panne à l'instant 0.

$$R(t) = \text{Prob}\{E \text{ non défaillante sur } [0; t] \} . [7]$$

Définition selon la NF X 06-501 : la fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée. [7]

I.10.2.1 Paramètres nécessaires à la mesure de fiabilité

I.10.2.1.1 Variable aléatoire:

On appelle variable aléatoire (x) celle à laquelle nous pouvons associer une probabilité pour chaque valeur de (x)

- variable aléatoire continue: intervalle de temps entre défaillance consécutives d'un matériel.
- variable discrète : nombre de défaillance d'un matériel sur une période donnée ou pour une quantité fabriquée [9]

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

I.10.2.1.2 Densité de probabilité :

Généralement en fiabilité elle est notée $f(t)$ et représente la probabilité de défaillance en un intervalle de temps (t) .

I.10.2.1.3 La fonction de répartition:

$F(t)$ est la notation générale de la probabilité de défaillance dans l'intervalle de temps $[0, T]$.

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (I-2)$$

I.10.2.1.4 La fonction de fiabilité :

Nous appelons $R(t)$ la fonction de fiabilité, qui représente la probabilité de fonctionnement sans défaillances pendant un temps (t) , ou la probabilité de survie jusqu'à un temps (t) .

La probabilité d'avoir au moins une défaillance avant le temps (t) , qui représente la probabilité cumulative des défaillances, est appelé : « probabilité de défaillance »

I.10.2.1.5 Taux de défaillance:

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

$$\lambda(t) \cdot d(t) = \frac{F(t+dt)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1-F(t)} = \lambda(t) = \beta \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (I-3)$$

Avec $\lambda(t)$ taux de défaillance de la pièce d'âge t . [9]

$$\text{On a donc : } \lambda(t) = \frac{F(t)}{R(t)}$$

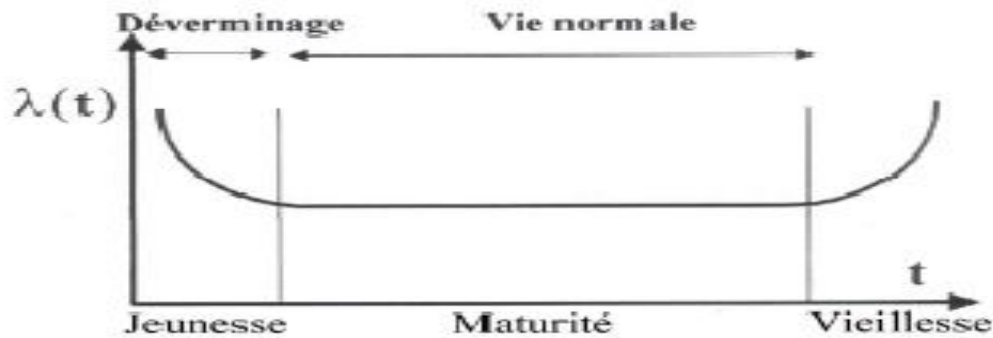


Figure I-3. Taux de défaillance, Courbe en baignoire

I.10.2.1.6 La MTBF :

Le temps moyen jusqu'à défaillance (ou moyenne des temps de bon fonctionnement) est

$$MTBF = \frac{\sum \text{Nombre de bon fonction}}{\text{Nombre de interval de temps bon fonction}} \quad (I-4)$$

I.10.2.2 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. [4]

I.10.2.2.1 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 . [4]

Elle est caractérisée par :

– la fiabilité

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (I-5)$$

– la densité de probabilité

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (I-6)$$

– le taux de défaillance $\lambda(t) = \lambda$ (I-7)

I.10.2.2.2 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

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (I-8)$$

– la densité de probabilité

$$f(\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (I-9)$$

– le taux de défaillance

$$\lambda(\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (I-10)$$

I.10.2.2.3 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. [4]

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (I-11)$$

– la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (I-12)$$

–La fiabilité est donnée par:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{(t-\mu)}{\sigma}\right) \quad (I-13)$$

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 :

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (I-14)$$

I.10.2.2.4 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

$$R = 1 - \Phi\left(\frac{\log(t)-\mu}{\sigma}\right) \quad (I-15)$$

– la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{1}{\sigma.t.\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log(t)-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (I-16)$$

– le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \left(\frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log(t)-\mu}{\sigma}\right)^2}}{t \int_0^{\infty} \sigma\sqrt{2\pi}f(t)dt} \right) \quad (I-17)$$

I.10.2.2.5 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

$$f(t) = \left(\frac{t^{a-1} e^{-\frac{t}{b}}}{b^a \Gamma(a)} \right) \quad (I-18)$$

– le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \left(\frac{t^{a-1} e^{-\frac{t}{b}}}{b^a \int_t^\infty \Gamma(a) f(\mu) d\mu} \right) \quad (I-19)$$

I.10.2.2.6 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

$$f(t) = \left(\frac{t^{a-1} (1-t)^{b-1}}{\Gamma(a)\Gamma(b)} \right) \quad (I-20)$$

– la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{1}{b-a} \quad (I-21)$$

I.10.3 La maintenabilité:

La maintenabilité est « l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions, avec des procédures et des moyens précis ».

La maintenabilité caractérise la facilité de remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement.

La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation MTTR:[9]

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \quad (I-22)$$

I.10.3.1 Taux de réparation μ :

Taux de réparation μ est donné par la relation suivante :

$$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}} \quad (\text{I-23})$$

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

Il s'y ajoute le temps de réparation proprement dit (Figure I-4) donne l'allure de la probabilité de réparation d'un composant tombé en panne en $t=0$

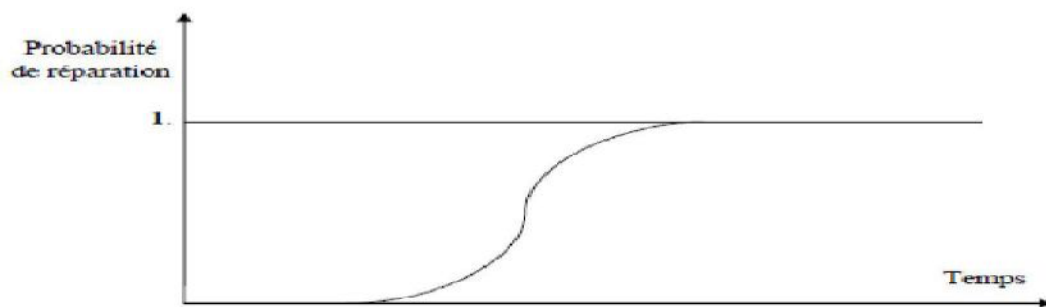


Figure I-4. Probabilité de réparation au cours de temps[t]

I.10.3.2 Amélioration de la maintenabilité

L'amélioration de la maintenabilité passe par :

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

Il assurera de ce fait la réduction des durées de détection des pannes d'état, diminuant, ainsi les TTR l'amélioration de la maintenabilité d'une manière considérable.

Le maintenicien doit améliorer la maintenabilité par les actions suivantes:

- 1- disponibilité de la documentation tenue à jour du matériel.
- 2- utilisation des systèmes d'aide au diagnostic
- 3- utilisation des capteurs intégrés pour la localisation de la panne
- 4- disponibilité des accessoires outillages. [9]

I.10.4 Disponibilité

I.10.4.1 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 I-5). [4]

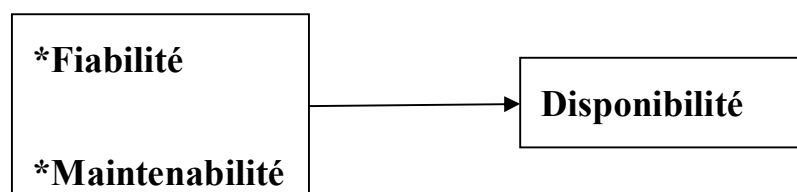


Figure I-5. Composante de la disponibilité

I.10.4.2 Les types de disponibilité

I.10.4.2.1 Disponibilité intrinsèque théorique

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

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (I-24)$$

I.10.4.2 Disponibilité instantanée

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constante et d'un taux de réparation μ [16] constant, la disponibilité instantanée est [9]:

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (I-25)$$

I.10.4.3 Amélioration de la disponibilité des installations

Par définition, la disponibilité, c'est l'aptitude d'une installation à accomplir sa mission à un instant déterminé. En améliorant la disponibilité, on améliore l'efficacité, donc la productivité et les résultats. Cela dit, il existe plusieurs manières d'agir sur la disponibilité. La première, c'est d'agir sur la disponibilité "constructeur", en prenant des matériels plus fiables, plus maintenables, et forcément plus onéreux. La seconde consiste à agir sur la disponibilité "opérationnelle". Celle-ci est directement liée à la politique de maintenance de l'utilisateur, de l'organisation et des moyens mis en oeuvre. Par exemple, un ensemble de machines enchaînées disponibles peut s'avérer globalement indisponible si aucune coordination des interventions de réglage et de maintenance n'est effectuée. En investissant dans la maintenance, il est clair que l'industriel va améliorer la disponibilité "opérationnelle". Entre disponibilité "constructeur" et disponibilité "opérationnelle", l'industriel doit choisir quel est l'investissement le plus rentable. La question qui se pose est du style : « *Faut-il augmenter le temps d'utilisation pour augmenter l'efficacité globale ?* ». Le coût global optimum à rechercher impose de prendre en compte de très nombreux paramètres : le coût d'acquisition et d'installation, les coûts d'exploitation et de maintenance et bien sûr les pertes dues à l'indisponibilité des équipements. [9]

I.11 Méthode ABC (Diagramme Pareto)

I.11.1 Diagramme de Pareto

Le diagramme de Pareto est un outil statistique qui permet d'identifier l'importance relative de chaque catégorie dans une liste d'enregistrements, en comparant leur fréquence d'apparition.

Un diagramme de Pareto est mis en évidence lorsque 20 % des catégories produisent 80 % d'un nombre total d'effets. Cette méthode permet donc de déterminer rapidement quelles sont les priorités d'actions. Si on considère que 20 % des causes représentent 80% des occurrences, agir sur ces 20 % aide à solutionner un problème avec un maximum d'efficacité. [7]

I.11.2 Définition de la méthode 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. [4]

I.11.3 Courbe théorique :

Cumul des interventions $\% \sum t_i$

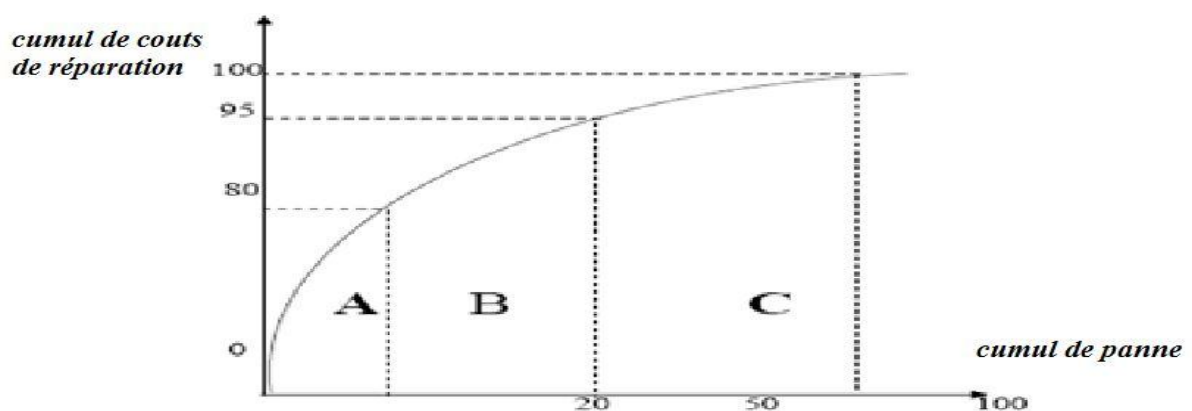


Figure I-6. Diagramme de Pareto ou courbe ABC

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. [4]

I.12 Conclusion

Dans ce chapitre, des généralités sur la maintenance des machines tournantes sont donnés. Nous avons défini les mots nécessaires dans le domaine de surveillance des machines tournantes, les types, les opérations et les niveaux de maintenance .Les lois de calculs des paramètres de la sureté de fonctionnement tels que la fiabilité, la maintenabilité et la disponible sont citées et définies .Le prochain chapitre est consacré aux principaux défauts des machines électriques tournantes et les différentes méthodes d'analyse.

Chapitre II : *Les défauts des machines tournantes*

I.13 Introduction

Les machines tournantes jouent un rôle souvent stratégique dans un procédé de fabrication, Toutefois, ces machines peuvent être affectées par des défauts potentiels qui se répercutent sur la production, la qualité du service et la rentabilité des installations. Par conséquent, il est très intéressant de développer des systèmes de diagnostic pour détecter de manière anticipée les défauts pouvant surgir dans ces machines.

Le diagnostic est basé sur la caractérisation des conditions des systèmes mécaniques et permet la détection précoce d'un tel défaut possible. L'évaluation du type et de la position du défaut conduit à la réduction du temps d'arrêt. En conséquence, une approche de diagnostic consiste à réduire le temps et le coût nécessaire pour la réparation. Ces considérations ont encouragées l'investissement des ressources dans le champ de diagnostic.

Le traitement des données est une approche largement utilisée qui permet la caractérisation directe de l'état du système. Plusieurs techniques avancées de traitement de signal ont été proposées dans les dernières décennies. Chaque technique est basée sur un aspect théorique différent et les résultats obtenus sont généralement différents. Certaines techniques peuvent être plus convenables que d'autres pour un système spécifique ou un composant, et dépendent aussi des conditions de l'environnement. Donc il est très important de choisir convenablement une technique efficace pour le cas et les conditions de travail.

Ce chapitre donne une explication générale sur les principaux défauts des machines tournantes et les différents types des techniques d'analyse

I.14 Machines tournantes :

Les machines tournantes sont des systèmes dans lesquels peut se distinguer :

- Un rotor.
- Une structure.
- Des liaisons.

I.14.1 rotor

Le rotor est une structure dont les éléments tournent autour d'une ligne de rotation. Le rotor fait de plusieurs matériaux (acier, cuivre, bois, plastique...), réalise une fonction bien définie (manipulation de fluides, de solides, parcours dans un champ électromagnétique...).

I.14.2 La structure :

La structure non rotative comprend les éléments essentiels suivants :

- **Les coussinets** de faibles dimensions au droit des tourillons du rotor. Des bagues peuvent être substituées aux coussinets : roulements.
- **Les paliers** qui relient les coussinets (bague) au stator.
- **Le stator** ou enveloppe de la machine ; il contient des éléments essentiels : circuit magnétique dans les machines électriques, ailette pour les turbomachines... etc.
- **Le massif** des systèmes embraqués peut prendre des formes beaucoup plus variées que celles des systèmes terrestres dont les massifs sont liés aux radies. Une interface adapte le stator au massif. Cette adaptation exige de résoudre un problème qui relève de la suspension des machines dont peut dépendre la tranquillité vibratoire, spécialement celle de l'envenimement.
- **Le radier** est un élément spécifique aux systèmes terrestres. Il assure la liaison entre le massif et sols et a pour mission de diminuer les pressions exercées au sol dans des limites acceptables. C'est par lui que les séismes perturbent les machines tournantes ; il peut être responsable de certains délignages entre les paliers. [8]

I.14.3 Les liaisons :

Le rotor est lié à la structure non rotative par des liaisons qui assurent le guidage du rotor.

Les liaisons sont classées dans trois ensembles :

- Les liaisons à fluides ;
- Les liaisons à roulements ;
- Les liaisons magnétiques. [8]

I.15 Classification des machines électriques

La classification des machines peut se faire de plusieurs manières :

- Selon la façon d'alimenter ou de délivrer le courant/ tension.
- Selon la construction.

Selon le type d' alimentation

- Machines à Courant Continu.
- Machines à courant continu soit série, parallèle ou compound.

- Machines à courant alternatif.
- Machines synchrones.
- Machines asynchrones.

Selon leur construction.

- Machines asynchrones.
- Machines sans collecteur.
- Machine synchrone à aimants permanents.
- Machines avec collecteur.
- Machines à courant continu.
- Machines synchrones.

De plus, les machines multiphasées (dont le nombre de phases est supérieurs à trois) sont apparues dans les années 1920 pour la segmentation de puissances des alternateurs, dont les caractéristiques sont présentées ci-dessous [10]

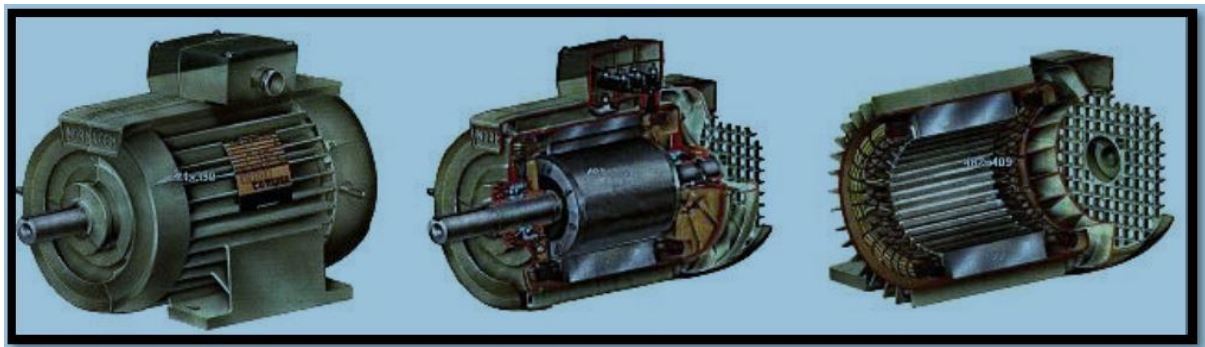


Figure I-7- Machines électrique tournante

I.16 Défaits des machines électriques tournantes

Dans ce paragraphe sont présentés différents défauts des machines électriques, leurs origines et leur classification. Une défaillance de machine électrique représente tout incident donnant lieu à un comportement anormal de la machine et qui peut à court ou long terme provoquer son endommagement. Les raisons de défaillances dans les machines tournantes électriques ont leur origine dans la conception, la tolérance de fabrication, l'assemblage, l'installation, l'environnement de travail, nature de la charge et le calendrier de maintenance.

les défauts peuvent être classés selon leurs origines en deux catégories : interne et externe. Les défauts internes sont provoqués par les constituants de la machine (bobinages du stator et du rotor, circuits magnétiques, cage rotorique, entrefer mécanique, etc.). Les défauts externes sont causés par le type d'alimentation, la charge mécanique ainsi que par l'environnement d'utilisation de la machine.[11]

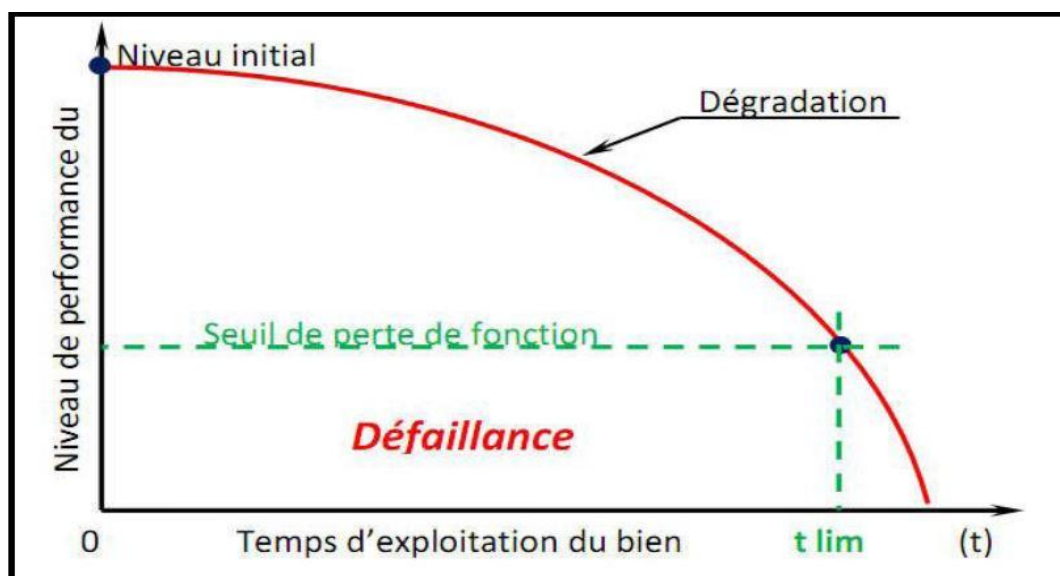


Figure I-8-Dégradation du bien et durée de vie [2]

Une classification des défauts qui existent dans les machines électriques selon leurs origines est présentée dans le Tableau II.1 [14]

Défaillances des machines électriques	Interne	Mécanique	Contact entre le stator et rotor
			Défaut de roulements
			Excentricité
		Électrique	Mouvement des enroulements et des tôles
			Défaillance au niveau de l'isolation
			Rupture de barre
			Défaillance au niveau du circuit magnétique

Défaillances des machines électriques	Externe	Mécanique	Charge oscillante
			Surcharge de la machine
			Défaut de montage
		Environnementale	Humidité
			Température
			Propreté
		Électrique	Fluctuation de la tension
			Sources de tensions déséquilibrées
			Réseau bruité

Tableau I-1- Classification des défauts de machine électrique selon leurs origines [8]

Statistiquement, les études récentes faites par Bonnett sur les machines de grande puissance, exploitées dans l'industrie pétrochimique, montre que 69 % de pannes se situent sur les roulements, 21% au stator, 7% au rotor et 3% dans les autres régions de la machine (voir figure II.3-) [11]

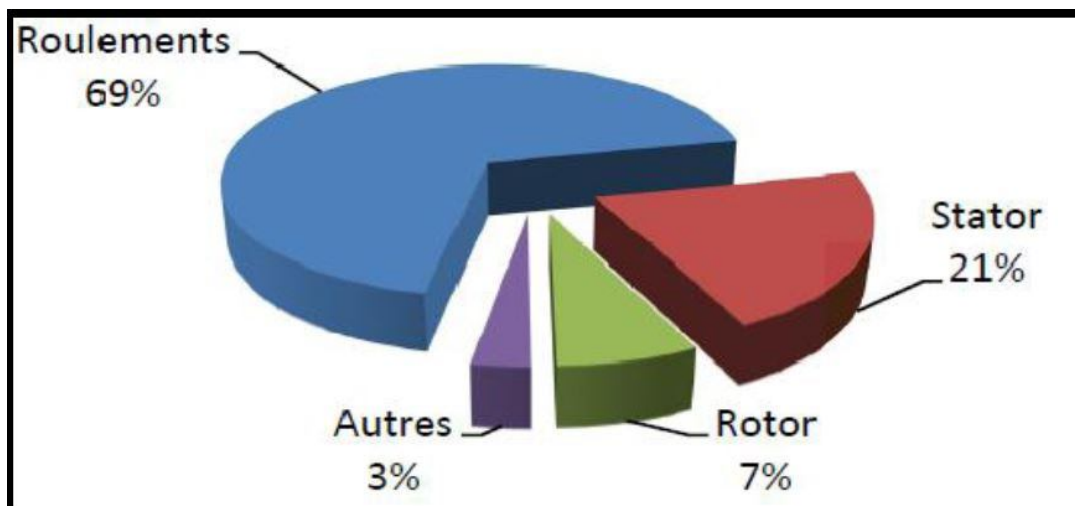


Figure I-9-Évolution du pourcentage des défauts par bonnet 2008

I.16.1 Défauts statorique

La majeure partie de défauts statoriques est attribuée à la dégradation d'isolants qui se manifestent sous la forme d'un court-circuit entre spires, d'un court-circuit entre deux phases ou d'un court-circuit entre une phase et la carcasse.

I.16.1.1 Le court-circuit entre spires :

De la même phase est un défaut fréquent qui peut apparaître soit au niveau des têtes de bobines soit dans les encoches, ce qui entraîne une diminution du nombre de spires effectives de l'enroulement. D'autre part, il entraîne aussi une augmentation des courants statoriques dans la phase affectée, une légère variation de l'amplitude sur les autres phases et dans le cas des machines asynchrones, il amplifie les courants dans le circuit rotorique. La contrainte thermique amenée par le courant de court-circuit risque d'entraîner la propagation du défaut à d'autres spires, ce qui peut conduire au déclenchement des protections électriques dans l'alimentation.

I.16.1.2 Un court-circuit entre phases

Peut arriver en tout point du bobinage, mais les plus fréquents apparaissent dans les têtes de bobines, puisque c'est dans celles-ci que les conducteurs de phases différentes se côtoient. L'influence de ce type de défaut sur le fonctionnement de la machine dépend de la localisation du défaut (de la partie affectée). Si le court-circuit est proche de l'alimentation entre phases, il induit des courants très élevés qui conduisent à la fusion des conducteurs d'alimentation ce qui provoque un arrêt net de la machine. Si le court-circuit est proche du neutre entre deux phases, il engendre un déséquilibre des courants de phases avec un risque moindre de fusion des conducteurs.

L'apparition de ce type de défaut dans le cas des machines asynchrones, provoque une augmentation des courants dans les barres ainsi que dans les anneaux du rotor à cage. [3]

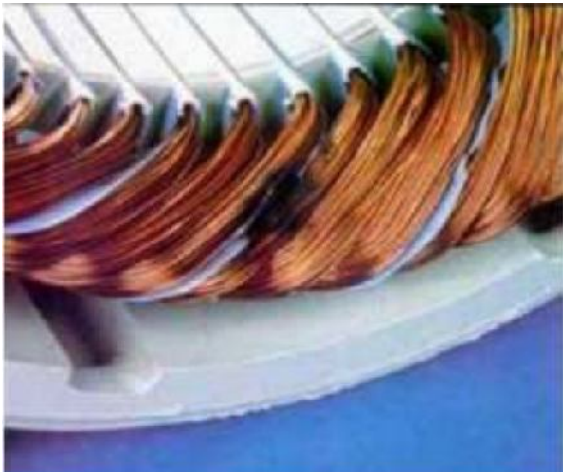


Figure I-10-Court-circuit dans une phase



Figure I-11-masse dans l'encoche

I.16.1.3 Causes des défauts du stator

L'enroulement statorique d'une machine électrique est soumis à des efforts induits par une variété de facteurs, parmi les plus importants, une surcharge thermique, les vibrations mécaniques, les pics de tension provoqués par le réglage de fréquence, etc. les causes les plus fréquentes des défauts d'enroulement statorique sont :

- Échauffement excessif du noyau et des enroulements du stator,
- Fissures dans la tôle, de fixation, et des jonctions,
- Mauvaise connections des têtes des enroulements,
- Contamination provoquée par le pétrole, l'humidité, et la saleté,
- Court-circuit,
- Surcharge à la mise sous tension,
- Décharges électriques,
- Fuites dans les systèmes de refroidissement [11]

I.16.2 Défauts rotoriques

Les défauts du rotor peuvent être considérés comme plus complexes et plus variés que les défauts du stator. Les défauts rotoriques les plus rencontrés dans une machine peuvent être classés comme suit :

I.16.2.1 Défauts de roulements

Comme il est indiqué sur la (Figure II.3), la majorité des défauts dans les machines électriques concernent les défauts de roulements qui ont de nombreuses causes telles que l'écaillage de fatigue, la contamination du lubrifiant, une charge excessive ou des causes électriques comme la circulation de courants de fuite induits par les onduleurs.

Les défauts de roulements entraînent de manière générale plusieurs effets mécaniques dans les machines tels qu'une augmentation du niveau sonore et l'apparition de vibrations par les déplacements du rotor autour de l'axe longitudinal de la machine. Ce type de défaut induit également des variations (oscillations) dans le couple de charge de la machine asynchrone. Le point ultime de roulements défectueux est le blocage du rotor.[3]



Figure I-12-Défaut sur la cage



Figure I-13- Défaut sur la bague extérieure



Figure I-14-Défaut sur la bague intérieure

I.16.2.2 Excentricité

Les conséquences des défauts mécaniques se manifestent généralement au niveau de l'entrefer par des défauts d'excentricité. L'excentricité d'une machine électrique est un phénomène qui évolue dans le temps et qui existe de sa fabrication. Celle-ci passe en effet par différentes étapes d'usinage et de montage qui induisent un décentrement du rotor par rapport au stator. Lors du fonctionnement de la machine, deux causes principales aggraveront l'excentricité. La première est inhérente à la chaîne cinématique dans laquelle la machine intervient et qui peut imposer une force radiale sur l'arbre de cette machine, qui va engendrer une usure des roulements et une amplification du décentrement. Le deuxième phénomène risquant d'aggraver l'excentricité est quant à lui inhérent au fonctionnement de la machine ; en effet, le décentrement génère un déséquilibre dans la distribution des efforts radiaux entre le stator et le rotor. L'effort radial est maximal à l'endroit où se situe l'épaisseur minimale de l'entrefer et va tendre à diminuer encore plus la valeur de l'entrefer minimum et augmenter par conséquent encore plus le déséquilibre des efforts radiaux. Le point ultime de

l'excentricité est le frottement du stator sur le rotor, qui est synonyme de destruction rapide de la machine.

Trois catégories d'excentricité sont généralement distinguées:

- L'excentricité statique (figure I-9-(a)) – généralement due à un désalignement de l'axe de rotation du rotor par rapport à l'axe du stator. La cause principale c'est un défaut de centrage des flasques.
- L'excentricité dynamique (figure I-9-(b)) – correspond, elle à un centre de rotation du rotor différent du centre géométrique du stator, mais, de plus, le centre du rotor tourne autour du centre géométrique de ce stator. Ce type d'excentricité est causé par une déformation du cylindre rotorique, une déformation du cylindre statorique ou la détérioration des roulements à billes.
- L'excentricité mixte (figure I-9(c)) – la somme des deux cas présentés ci-avant. [3]

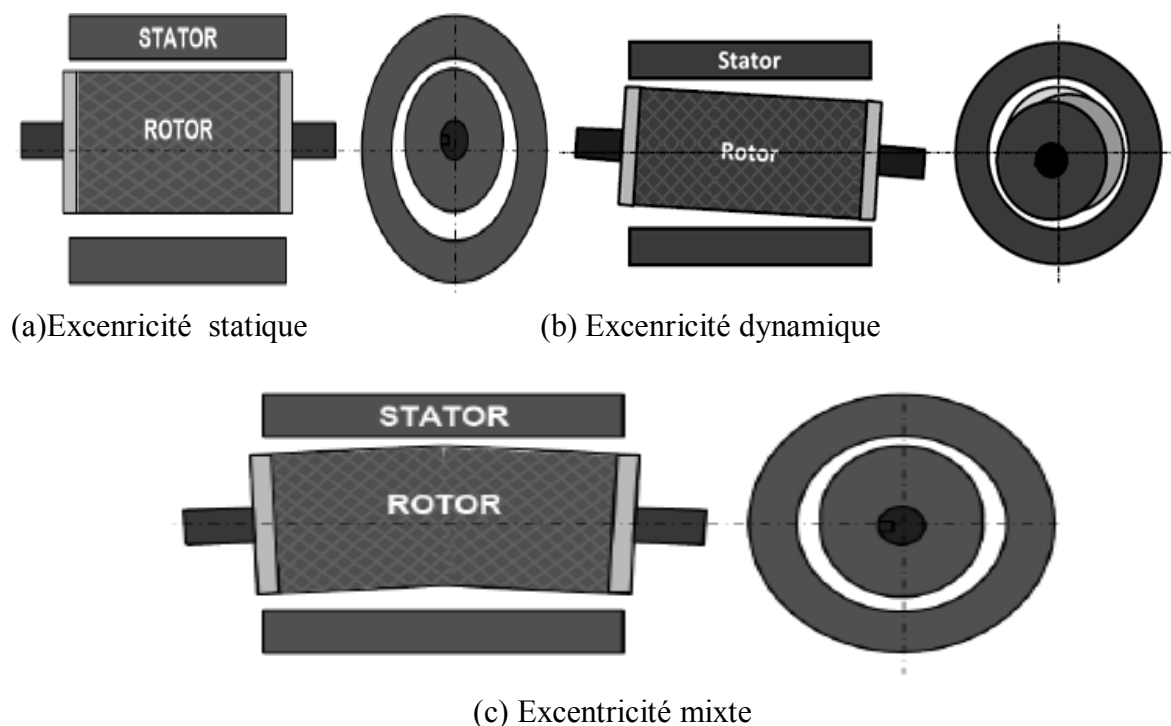
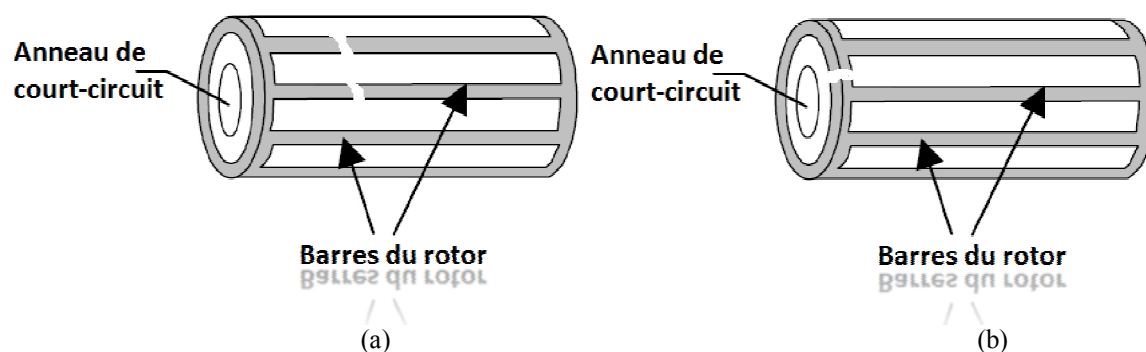


Figure I-15-Types d'excentricité : (a) statique ; (b) dynamique ; (c) mixte.

I.16.2.3 Défauts de rupture de barres et d'anneau de court-circuit

Les mêmes défauts qu'au stator peuvent se retrouver dans un rotor bobiné. Pour une machine asynchrone avec un rotor à cage d'écureuil, les défauts se résument à la rupture de barres ou à la rupture d'anneaux de court-circuit (figure I-10)



-Figure I-16-Défaut d'un rotor à cage d'écureuil : (a) rupture de barres ; (b) rupture d'anneau de court-circuit.

Les ruptures de barres ou de portions d'anneau peuvent être dues, par exemple, à une surcharge mécanique (démarrages fréquents, etc.), à un échauffement local excessif ou encore à un défaut de fabrication (bulles d'air ou mauvaises soudures). Cela fait apparaître des oscillations sur les courants et le couple électromagnétique d'autant plus apparentes que l'inertie est très grande (vitesse constante). Si l'inertie de l'entraînement est plus faible, des oscillations apparaissent sur la vitesse mécanique et sur l'amplitude des courants statoriques. La cassure de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres dans une machine asynchrone à cage. Ces cassures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux, d'autant que les portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. Il convient de mentionner, qu'un mauvais dimensionnement des anneaux, conduit à une détérioration des conditions de fonctionnement ou une surcharge de couple et, donc, à des courants pouvant entraîner leur cassure.

L'apparition d'un défaut de rupture de barres n'induit pas à un arrêt de la machine, du fait que le courant qui traversait la barre cassée se répartit sur les barres adjacentes. Ces barres sont alors surchargées, et les contraintes thermiques et électromécaniques engendrées peuvent conduire à leur rupture, et ainsi de suite jusqu'à la rupture d'un nombre suffisamment important de barres pour provoquer l'arrêt de la machine.

Devant la multitude des défauts envisageables et les conséquences de leurs apparitions, les techniques de surveillance se sont rapidement imposées auprès des utilisateurs des machines électriques. Elles commencent également à intéresser les concepteurs. [3].

I.16.2.4 Défaut de Balourd

Le balourd est un défaut qui se rencontre en présence du déséquilibre de l'arbre d'une machine tournante.

Ce phénomène se produit à la vitesse de rotation et est causé par une mauvaise répartition spatiale des masses dans la structure, entraînant un déplacement du centre de gravité en dehors de l'axe géométrique du rotor de la machine tournante.

La force engendrée par le balourd est fonction de la masse, et du rayon du cercle sur lequel le rotor tourne.

Elle est proportionnelle au carré de la vitesse de rotation. [12]

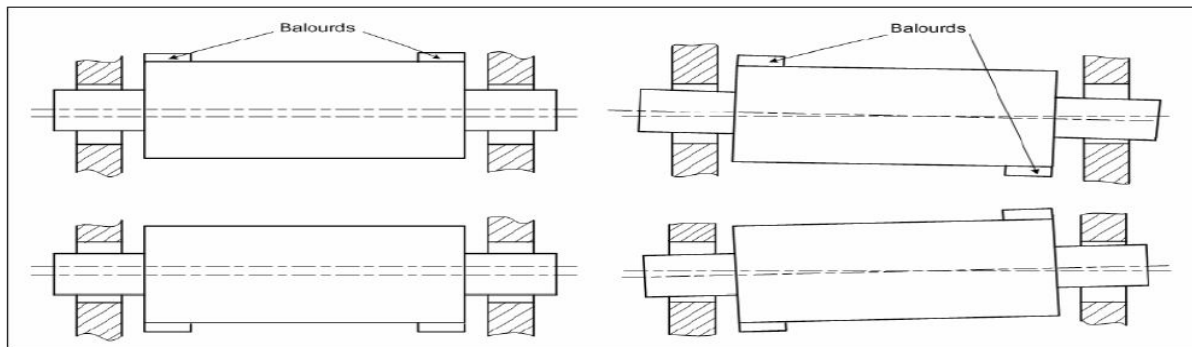


Figure I-17-Défaut de Balourd.

I.16.2.5 Défauts d'engrenages

L'engrenage est un des mécanismes élémentaires les plus utilisés pour transmettre du mouvement, et adapter les vitesses de rotation entre organes moteurs et récepteurs. Il est constitué de deux roues dentées mobiles autour d'axes de rotation, et dont l'une entraîne l'autre par l'action de dents successivement en contact.

Ces défauts sont liés aux dégradations de la denture (denture cassée ou abimée, usure uniforme ou non, pitting localisé ou réparti, mauvais centrage). On peut observer aussi du fretting (corrosion, frottement) qui se traduit par un enlèvement de métal lorsque l'engrenage est mal lubrifié et que les efforts sont importants [15]

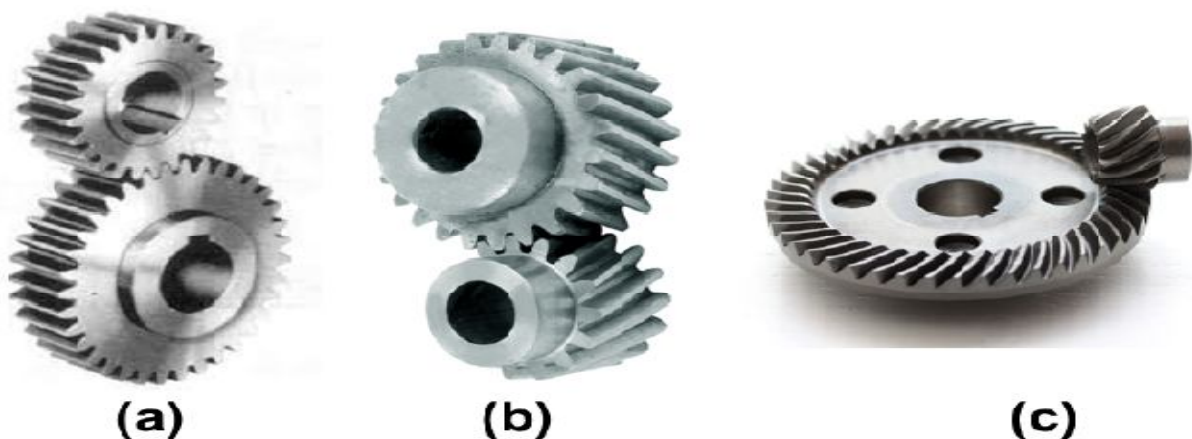


Figure I-18-Engrenages à axes parallèles (A et B).à axe concourant (C)

I.16.2.5.1 L'usure

L'usure est un phénomène local caractérisé par un enlèvement de matière dû au glissement de deux surfaces l'une contre l'autre. Le développement de l'usure est lié à la charge et à la vitesse de glissement en chaque point des surfaces de contact, ainsi qu'à la présence plus ou moins grande d'éléments abrasifs dans le lubrifiant. L'usure normale, progresse lentement, elle est inversement proportionnelle à la dureté superficielle de la denture. L'usure anormale se produit lorsque le lubrifiant est souillé de particules abrasives ou lorsque le lubrifiant est corrosif, elle conduit à un mauvais fonctionnement de l'engrenage, voire à sa mise hors service. [12]



Figure I-19 L'usure d'engrenage

I.16.2.5.2 Les piqûres (Pitting)

Il s'agit des trous peu profonds, qui affectent toutes les dents. Le pitting est une avarie qui se produit surtout sur des engrenages en acier de construction relativement peu dur [12]



Figure I-20-Les piqûres d'engrenages

I.16.2.5.3 L'Écaillage

Il se manifeste aussi sous forme de trous, mais ceux-ci sont beaucoup moins nombreux, plus profonds et plus étendus que ceux des piqûres. APPORT DE LA MCSA ...

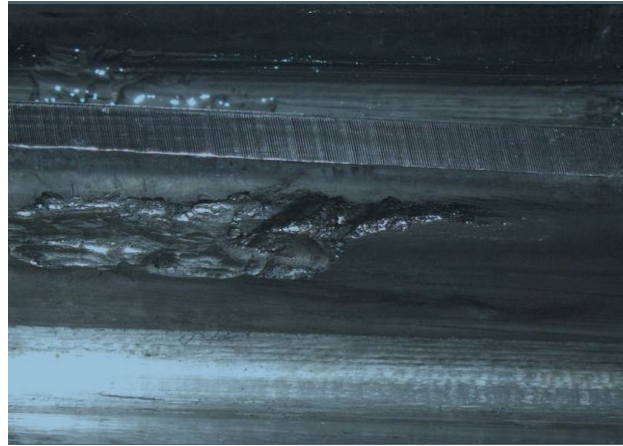


Figure I-21-L'Écaillage d'engrenages

I.16.2.5.4 La fissuration :

Généralement par fatigue, elle progresse à chaque mise en charge, à partir d'un point initial situé presque toujours au pied de la dent, elle apparaît surtout sur des aciers fins, durcis par traitement thermique, qui sont très sensibles aux concentrations de contraintes, l'apparition de ces fissures est la conséquence d'une contrainte au pied de la dent qui dépasse la limite de fatigue du matériau, et est en général située du côté de la dent sollicitée en traction.[12]

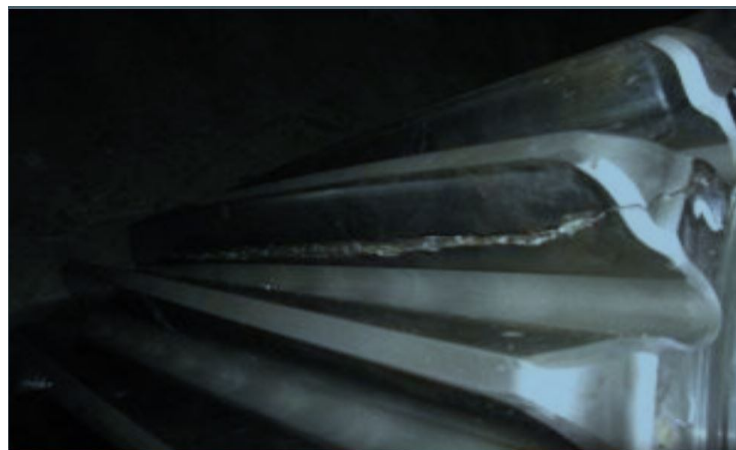


Figure I-22- Fissuration ou cracks "Engrenages" Écaillage.

I.16.2.5.5 Grippage

conséquence directe d'une destruction brutale du film d'huile, ou d'un frottement sous charge provoquant des hausses de températures, le grippage est favorisé essentiellement par des vitesses élevées, de gros modules, un faible nombre de dents en contact.[12]

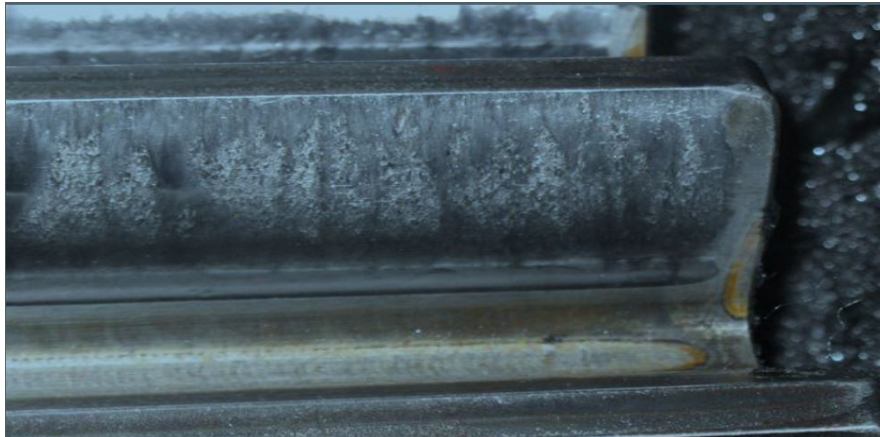


Figure I-23-Le grippage "Engrenage".

I.16.2.6 Désalignement

Un désalignement (Figure II-18) provoque des vibrations à la fréquence de rotation ainsi qu'aux harmoniques d'ordre 2, 3 et parfois 4 (double, triple, quadruple de la fréquence de rotation et parfois même davantage en particulier pour les accouplements à denture où l'on rencontre les harmoniques liés au nombre de dents et à la fréquence de rotation).

La composante axiale de la vibration est particulièrement importante pour l'harmonique d'ordre 2. [13]

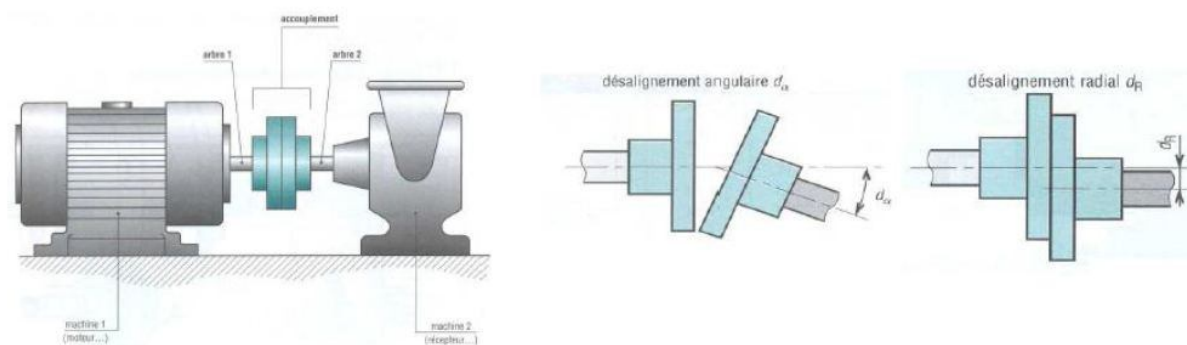


Figure I-24-Défauts désalignement

I.16.2.7 Cause des défauts du rotor

Les causes de défauts du rotor sont les suivants :

- Défauts de fabrication ;
- Conditions de fonctionnement ;
- Les mécanismes de défaillance et les symptômes produits ;
- Court-circuit dans les enroulements rotoriques ;
- Indicateurs pour détecter les défauts liés au rotor ;

- barre cassée. [11]

I.17 Les Techniques d'analyse

Les techniques les plus célèbres pour la prévention des systèmes tournants se résument au contrôle de température (thermographie), le contrôle de débris des huiles, l'analyse acoustique et le contrôle du signal vibratoire (l'analyse vibratoire).

Le contrôle de température permet la détection de défaut mais il n'est pas capable de pronostiquer le défaut. Cette technique est utilisée principalement pour détecter les problèmes de lubrification et des systèmes de refroidissement.

La limitation fondamentale du contrôle de débris des huiles est qu'il y a des matériaux qui n'engendrent pas de débris. Sans débris, aucune détection n'est mise en place [5].

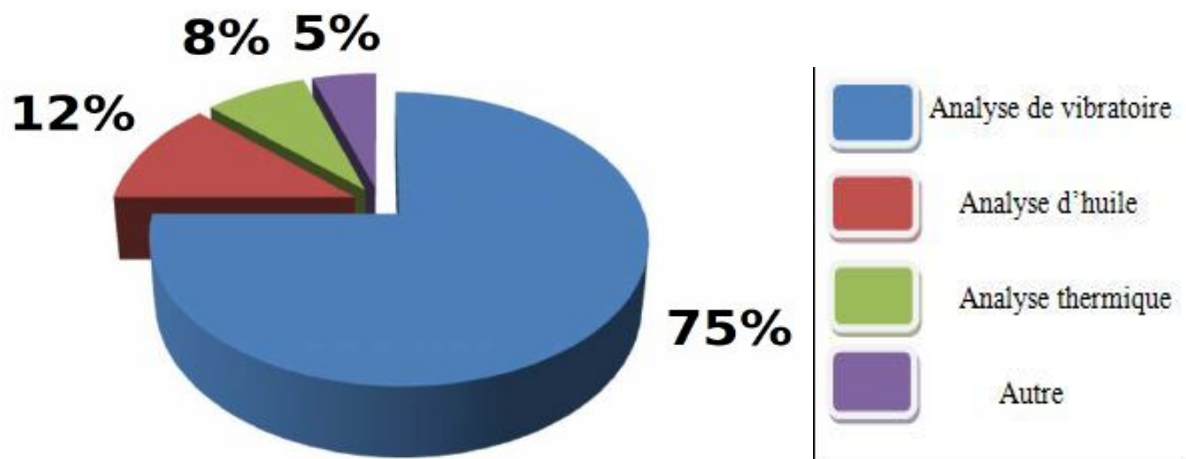


Figure I-25-Figure. L'utilisation de différentes méthodes d'analyse dans le monde

I.17.1 Analyse vibratoire

Est la plus connue et la plus largement utilisée car adaptée aux des composants mécaniques et aux machines industrielles en fonctionnement. Elle permet de détecter la majorité des défauts susceptibles d'apparaître dans les machines tournantes. [12]

I.17.1.1 Objectifs d'analyse vibratoire

L'analyse vibratoire poursuit deux objectifs :

- la détection des défauts
- l'analyse détaillée des défauts.

On utilise à cet effet des paramètres calculés :

- soit dans le domaine temporel,
- soit dans le domaine fréquentiel,

- soit dans les deux à la fois. [12]

I.17.1.2 Les avantages

Les avantages de l'analyse vibratoire sont:

- Détection de défauts à un stade précoce,
- Possibilités de réaliser un diagnostic approfondi,
- autorise une surveillance continue,
- Permet de surveiller l'équipement à distance,

I.17.1.3 Les inconvénients

Les inconvénients de l'analyse vibratoire illustrés comme suit :

- spectres parfois difficile interpréter,
- Dans le cas de la surveillance continue, installations relativement coûteuses. [12]

I.17.1.4 Champs d'application privilégiée

Détection des défauts de tous les organes cinématiques de la machine (balourd, défauts d'alignement, jeux, etc...) Et de sa structure.

offre la plus large couverture des techniques de détection. Il est admis pratiquement que tout changement dans les conditions mécaniques va causer un changement dans la signature vibratoire produite par la machine tournante. [12]

I.17.1.5 Vibrations des machines tournantes

En pratique, une bonne conception produira de faibles niveaux vibratoires dans une machine tournante. Cependant, la machine vieillissant, les fondations travaillent, les pièces se déforment et s'usent, et de légers changements dans ses propriétés dynamiques apparaissent. Les arbres se désalignent, les rotors se déséquilibrent, les courroies se détendent, les jeux augmentent. Tous ces facteurs se traduisent par une augmentation de l'énergie vibratoire qui excite les résonances et ajoute une charge dynamique considérable aux paliers.

Les vibrations recueillies lors des campagnes de mesures sont porteuses d'informations qui caractérisent l'état de fonctionnement de certains composants mécaniques constituant la machine analysée, c'est grâce à l'analyse de ces vibrations qu'il est possible de détecter les composants défectueux et éventuellement de les localiser, lorsqu'un certain seuil (correspondant à un niveau de vibration limite) fixé est atteint, il est possible d'estimer la durée de vie résiduelle du composant dans les conditions de fonctionnement données à partir de la connaissance des lois d'endommagement. [12]

I.17.1.6 Les capteurs de vibration

La première étape conduisant à l'obtention d'une lecture de vibration consiste à convertir la vibration mécanique produite par une machine en un signal électrique équivalent.

Cette opération est réalisée au moyen des capteurs de vibrations, on retrouve parmi les capteurs les plus couramment utilisés le prosimètre (mesure de déplacement), la vélocimétrie (mesure de vitesse) et l'accéléromètre [12]

I.17.2 Analyse d'huiles

Elle est appliquée à toutes les machines contenant des fluides de lubrification (réducteurs, motoréducteurs, moteurs thermiques...). Elle consiste à prélever un échantillon d'huile et de l'analyser (particules d'usure) pour déduire l'état de l'équipement ; Les résultats permettent de déceler des anomalies caractéristiques telles que [5] :

- Sur moteur thermique : problèmes d'étanchéité de la filtration d'air, infiltration de liquide de refroidissement
- Sur multiplicateurs, réducteurs et engrenages : mauvais état d'un roulement ou d'un palier, Transmission défectueuse (engrenages endommagés)
- Sur les systèmes hydrauliques : pollution interne telle que la cavitation, défaut d'étanchéité, défaut de filtration.[11]

I.17.3 Thermographie IR

Elle suscite un intérêt encore récent dans le domaine de la maintenance jusqu'alors réservée au contrôle d'installations électriques. Elle est peu utilisée pour la surveillance des machines tournantes notamment pour la détection de défauts qui se manifestent par un échauffement anormal à la surface de l'équipement. La thermographie permet de réaliser des mesures à distances et d'obtenir instantanément une image thermique de la zone inspectée [3].

I.17.3.1 Différents instruments de mesure

A- Le thermomètre infrarouge Les thermomètres infrarouges sont particulièrement recommandés dans des domaines où la mesure de température par contact est impossible: - nécessite une réponse rapide - sur des objets en mouvement - derrière une fenêtre - si le thermomètre peut être détruit par le contact - si un profil de température existe sur la surface - si la température peut être affectée par le contact[2]

B- B- La caméra infrarouge La caméra infrarouge ne mesure pas les températures, mais les rayonnements, alors que, visualisée par le thermographe, l'image thermique que la caméra fournit pourra être transformée en thermogramme, en images des

températures. C'est bien ce que l'on cherche pour déterminer l'état de santé des matériels et surtout prévoir ce qui se passera dans l'avenir, en maintenance prédictive. Le thermographe, aidé de sa caméra, va voir dans l'infrarouge les objets froids et, parmi ces objets, ceux qui sont anormalement chauds ou anormalement froids. Ayant vu, le thermographe pourra quantifier et fournir une cartographie des températures [2]

- **Installations mécaniques** : est représenté dans la figure suivante



Figure I-26-Défaut de roulement

- **Installation électrique** : est affiché dans la figure suivante

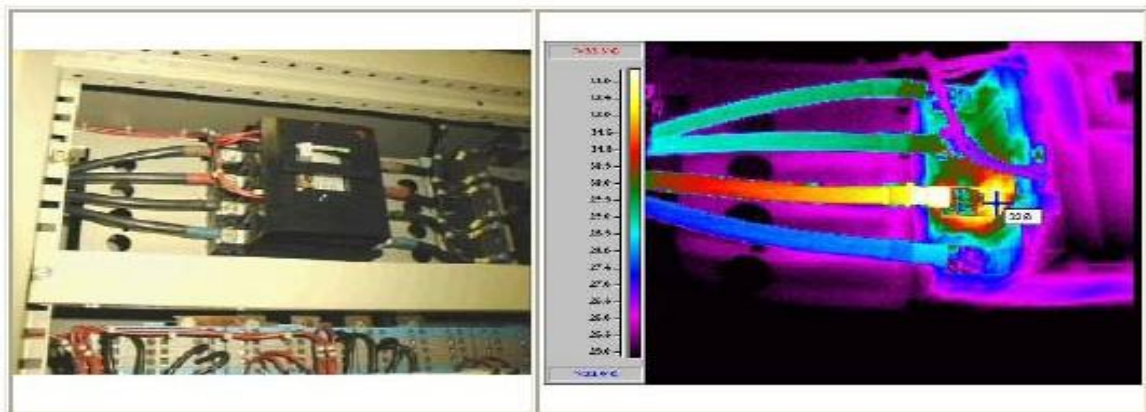


Figure I-27-Exemple de défaut sur une installation électrique

I.17.4 L'analyse acoustique

Elle permet de détecter tout bruit anormal à l'aide de microphones placés à distance de l'équipement [4].

Moins répandues que les précédentes mais néanmoins intéressantes. L'analyse acoustique, permet de détecter tout bruit anormal à l'aide de microphones placés (le plus souvent) à distance de l'équipement, ou le **contrôle ultrasonore**, qui permet de détecter des défauts de

faible amplitude à haute fréquence. Cette méthode permet également au contrôleur de déterminer les conditions de fonctionnement des équipements telles que :

- les conditions de lubrification (trop, pas assez, graisse sale,...),
- les degrés d'usure,
- les vibrations.

Ces informations sont interprétées par le contrôleur qui dispose d'un casque d'écoute et d'une indication numérique et sont transformées, par la base de données, en consignes de maintenance (degré d'urgence). A titre d'information, de nombreuses enquêtes ont été réalisées en 1999 auprès d'utilisateurs industriels dans de multiples domaines. Avec leur aimable permission de reproduire les résultats de leurs enquêtes le tableau suivant donne le pourcentage des techniques utilisées régulièrement ou occasionnellement dans les industries [2]

Le tableau suivant résume les techniques présidentes :[5]

	Principaux avantages	Principales limitations	Champs d'applications privilégié
Analyse vibratoire	<ul style="list-style-type: none"> -Détection de défauts à un stade précoce. -Possibilité de réaliser un Diagnostic approfondi. -Autorise une surveillance continue. - Permet de surveiller L'équipement à distance(télmaintenance) 	<ul style="list-style-type: none"> -Spectres parfois difficiles à interpréter - Dans le cas de la surveillance continue, installations relativement coûteuses 	détection des défauts de tous les organes cinématiques de la machine (balourd, défauts d'alignement, jeux, etc..) et de sa structure.
Analyse D'huile	<ul style="list-style-type: none"> - Détection d'une pollution anormale du lubrifiant, avant que celle-ci n'entraîne une usure ou un échauffement. - Possibilité de connaître L'origine de l'anomalie par analyse des particules 	<ul style="list-style-type: none"> Ne permet pas de localiser précisément le défaut. - Nécessite de prendre de nombreuses précautions dans le prélèvement de l'échantillon 	Contrôle des propriétés physico-chimiques du lubrifiant, détection d'un manque de lubrification, analyse des éléments d'usure.

Thermographie IR	<ul style="list-style-type: none"> - Permet de réaliser un contrôle rapide de l'installation. - Interprétation souvent immédiate des résultats. 	Détection de défauts à un stade moins précoce que l'analyse vibratoire. <ul style="list-style-type: none"> - Contrôle limité à ce que "voit" la caméra (échauffements de surface). 	Détection de tous les défauts engendrant un échauffement (manque de lubrification en particulier).
Analyse acoustique	<ul style="list-style-type: none"> - Permet de détecter L'apparition de défauts audibles. - Autorise une surveillance continue. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilité au bruit ambiant. - Diagnostic souvent difficile à réaliser. - problème de mesure 	Détection d'un bruit inhabituel pouvant ensuite être analysé par analyse vibratoire.

Tableau I-2-Techniques d'analyse de l'état d'une machine tournante [6]

I.18 Conclusion

Ce chapitre a été, essentiellement, dédié à des principaux défauts des machines tournantes et les différents méthodes de surveillance et de diagnostic. Nous avons scindé ce chapitre en 4 parties : la première concerne la constitution des machines tournantes; la deuxième partie concerne la classification des machines électriques Selon le type d'alimentation et Selon leur construction ; la troisième partie traite les défauts statoriques et rotoriques des machines électriques tournantes et leur causes ; la dernière partie traite les techniques d'analyse qui permettent la mise en œuvre d'une procédure de diagnostic des défauts

Chapitre III. Présentation de l'entreprise(MEI)

Chapitre III-présentation de l'entreprise (MEI)

III.1 -Historique de MEI (M'sila):

La société de Maintenance des Equipements Industriels est une société par actions, créée en **1997** dans l'optique de réunir les principaux corps de métier de la maintenance développés au sein de Sonelgaz, afin de pallier aux différents problèmes de ses unités de production de l'électricité.

Le professionnalisme de ses techniciens allié à une politique accrue de la direction en faveur d'une diversification des activités et des marchés, a fait de **MEI** un des leaders nationaux du marché pour la maintenance industrielle.

MEI est, aujourd'hui, une société d'une solide réputation de savoir-faire dans les divers métiers de la maintenance industrielle sur site et en ses ateliers.

MEI dispose pour ce fait d'un important parc machines et d'une logistique intégrée à l'entreprise (jusqu'à 60 t), capables de traiter des pièces de grande dimension. Nos compétences et notre savoir-faire s'étendent dans les domaines suivants :

- **La réparation des turbines à gaz et à vapeur.**
- **La Maintenance des moteurs et des générateurs Diesel.**
- **La remise en état des machines électriques tournantes.**
- **La Maintenance mécanique.**

Avec un effectif de plus de 500 employés experts dans leurs domaines, nous assurons des prestations simples ou complexes sur du prototype, de la pièce unitaire ou de la petite série, à quelques 200 entreprises appartenant à divers secteurs : production d'énergie, pétrole, sidérurgie, parachimie, mécanique, agro-alimentaire..., ceci sur site ou dans un de nos ateliers.

Une formation permanente de notre personnel aux nouvelles technologies fait de **MEI** une entreprise reconnue pour son expertise et ses compétences.

III.2 -Présentation de MEI (m'sila):

La Société de Maintenance des Equipements Industriels (**MEI / SPA**) a pour mission principale la maintenance des équipements industriels et de production d'énergie.

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 Sonelgaz.

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 **2** Milliards de dinars en **2009**.

La Société de Maintenance des Equipements 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**.

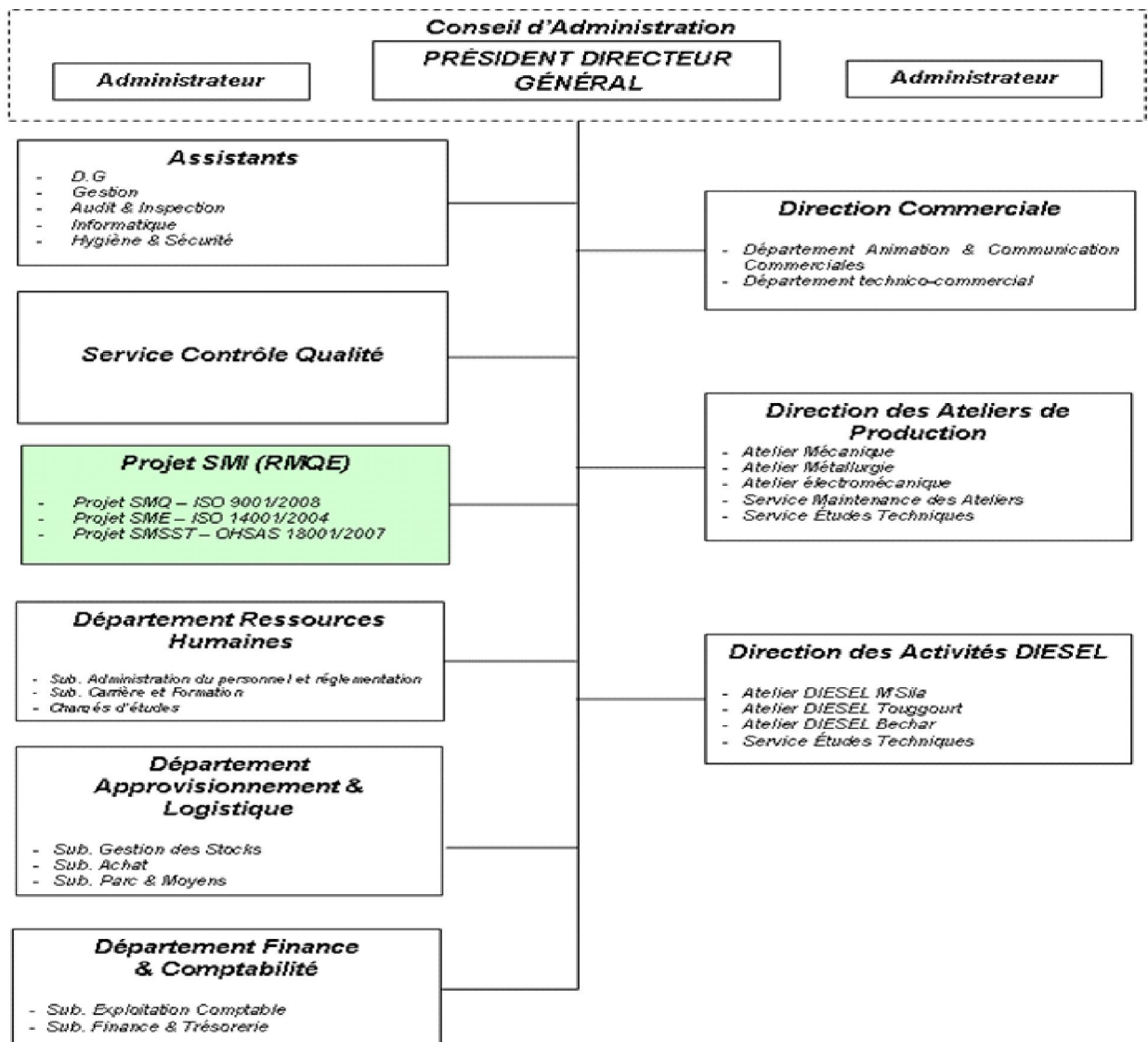
III.3 Nom et Symbole de l'entreprise:

MEI: Maintenance des Equipements Industriels



Figure 0I-1-Exemple de défaut sur une installation électrique

III.4 1 Structure organisation de MEI



FigureII2-L'organigramme de la société.

III.5 Activités de MEI (m'sila) :

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...

Notre savoir-faire s'étend dans les quatre activités principales suivantes :

Pour chacun de ces domaines, nous disposons de l'infrastructure, de l'expérience et des compétences nécessaires à l'effet de vous offrir des solutions fiables et efficaces pour vos questions de maintenance.



Figure 0I-3- Les différentes activités de MEI

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

Nos prestations ne se limitent évidemment pas aux activités en ateliers. Nous garantissons également, grâce à notre parc de machines transportables ainsi qu'à l'expertise et l'expérience de nos Field service teams, un travail très efficace sur site pour toute révision ou réparation de grosses machines.

Leur compétence et leur savoir-faire s'étendent dans les domaines suivants:

- la réparation des turbines à **gaz** et à **vapeur**.
- la maintenance des moyes et des générateurs **diesel**.
- la remise en état des machines électriques tournantes.
- la maintenance mécanique.

III.6 capacité de MEI:

Maintenance des Equipements Industriels dispose de plusieurs ateliers, tous complètement équipés en vue de la révision, de la réhabilitation de divers types de machines tournantes :

Turbines gaz et vapeur, moteur et générateurs diesel, moteurs électrique, alternateurs ...etc.

III.6.1 Travaux sur machine outils:

- usinage de pièces, simples ou complexes, jusqu'à un diamètre maximum de 400 mm, une longueur de 15000 mm et un poids maximum de 280 tonnes.
- Rectification de pièces jusqu'à 6 mètres de longueur et 1.6 mètre de diamètre.

III.6.2 Équilibrage industriel :

- Nous équilibrons les pièces seules ou les assemblages (ensemble constitué de plusieurs pièces)
- Nous effectuons 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

III.6.3 Revêtements et rechargement :

- La métallisation aux fils
- La métallisation au plasma
- La métallisation HVOF
- 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.

III.6.4 Application sur métal blanc:

MEI a développé, au fil 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 6500mm de diamètre

III.6.5 Production de pièce de remplacement :

Les réalisations peuvent être:

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

III.6.6 Contrôle, Mesures et essais:

- ❖ 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 non destructif (**PT, MT, UT**) plus de **350** appareils de mesures sont à la disposition de nos inspecteurs qualifiés.
- ❖ MEI dispose de plusieurs bancs et plateformes d'essais dont:
 - Bancs d'essais pour moteurs et générateurs diesel jusqu'à 4 MW.
 - Bancs d'essais pour pompes d'injection.
 - Bancs d'essais pour régulateur hydraulique.
 - Bancs d'essais pour moteurs électriques et alternateurs (**MT** et **BT**)

III.6.7 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.
- Equipement 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:

Dans la société MEI il y a 8 ateliers sont:

- Atelier de bobinage.
- Atelier diesel.
- Atelier soudage et chaudronnerie.
- Atelier mécanique.
- Atelier métallisation.
- Atelier plasma.
- Atelier sablage.
- Atelier menuiserie.
- Atelier Fonderie de précision

III.7.1 Atelier diesel :

Diesel ateliers compose de deux parties mécanique et électrique travaille sur la descente finale grâce à certains logiciels électrique utilisé pour nous attirer prévues pour faciliter la mise en relation de circuit de commande pour chaque générateur de grande taille. Et le développement du contrôle de l'ancienne à la commande automatique. Ce qui facilite et simplifie un moteur de cent utilisateurs de travailler facilement pour un contrôle précis automatiquement.

III.7.2 Atelier de Maintenance:

Le travail de l'atelier de maintenance dans MEI si la réparation des composants et les machines électriques de l'entreprise de MEI et la centrale de sonalgaz comme les armoires électrique des moteurs

Il est raccordes avec l'autre atelier par les bons de travaille par exemple:

La montage d'une fiche male eu le câble d'alimentation; La date si le 23-04-2013

Montage d'un nouveau thermocouple au niveau de four fission de régule en le 06-05-2013

III.7.3 Atelier de bobinage:

L'atelier bobinage répare les machines électriques en général comme les moteurs 3ph , les alternateurs et les transformateurs par exemple:

- 1)-les moteurs à tous les qualités HT, MT, BT
- 2)-les transformateurs HT, MT
- 3)-les grands routeurs

III.8 Description de la machine l'aléreuse 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 outre 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 travailler de gros trous et les surfaces cylindriques.

Ainsi que de dresser les faces autour des alésages de dimensions importantes. D'autres accessoires facultatifs permettent de tailler les filetages en système métrique et anglo-saxon, d'aléser les trous à l'aide des barres d'alésage, d'une lunette, d'une 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.8.1 Particularités de la machine

- Grand gamme des vitesses de broche et changement de vitesse même pendant la marche de la machine 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 hydrauliques.
- 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 horizontal 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.



FigureIII-3-l'aléreuse-fraiseuse WD130 A.

III.8.2 Caractéristiques principales de la machine.

- Diamètre de la broche 130mm.
- Cône de la broche 15550metriche.
- 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.

**Chapitre IV. L'ANALYSE STATISTIQUE
(FMD)**

IV.1 Introduction

Pour analyser les paramètres FMD (fiabilité, maintenabilité et disponibilité), Il doit être choisi un système important dans l'industrie et leur historique de pannes. L'état de la machine évaluée par le calcul de la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité. Dans notre travail, on choisit la machine Aléseuse Fraiseuse à cause de son importance dans l'entreprise MEI.

IV.2 Historique des pannes

Le stage qu'on a fait au sien de l'entreprise machine Aléseuse Fraiseuse nous a permet de collecter l'historique de pannes de la machine Aléseuse Fraiseuse pendant 6 ans. L'historique de pannes montré dans le tableau suivant:

machine	Type de panne	Temps d'arrêt (h)	Date	Intervention	Pièce de rechange	Temps du bon fonctionnement (h)
Aléseuse Fraiseuse	fuite de l'huile	06H	15/01/2012	Changement de flexibles -changement de commutateur	- flexibles - commutateur - l'huile	98H
	Problème de la rotation de broche	03H	07/02/2012	Réparation de l'aléseuse fraiseuses	-Ressort	706H
	Absence de l'axe YZ	03H	13/08/2012	Récupéré l'axe YZ pour le bague manuellement au niveau d'électrovanne		269H
	Surveillance et remise en bon état	02H	27/09/2012	Changement des flexibles de l'électrovanne	-Flexibles	294H

Machine en panne	06H	20/11/2012	Changement de Relie thermique de l'opération avances-arrière	- Relie thermique	482H
Panne de la machine	40H	14/02/2013	Réglage de précisions de circuit hydraulique. nettoyage de cartouche filtre et remplacement	- cartouche filtre - l'huile hydraulique	560H
Problème des avances	160H	01/06/2013	Réglage manuelle et surveillance en cas de panne		448H
panne de table d'alésage	04H	15/10/2013	Changement des contacteurs	-contacteurs	780H
Perte de l'huile	12H	04/03/2014	Changements des joints	-Joints torique -cartouche filtre -20 litre l'huile	908H
L'accouplement est en panne	08H	18/08/2014	Changement de l'accouplement de la machine	couplement	712H
Problème des avances axe X	06H	22/12/2014	Réglage mécanique		586H

Problème électrique	14H	08/04/2015	Soufflement de contacts de l'afficheur de visualisation -nettoyage de plaquette et circuits électroniques		802H
Problème dans le circuit hydraulique	38H	30/08/2015	Réglage des pressions du circuit hydraulique et nettoyage des cartouches filtre	-cartouches filtre -20 litres l'huile	674H
Fuite de l'huile	06H	03/01/2016	Changements des joints de système hydraulique	-Joints -graisse	74H
Pas de rotation axe X	04H	15/01/2016	Changement de roulement du moteur de l'axe X	-Roulement	316H
La rotation de la broche en panne	08H	27/03/2016	Débloqué Le capteur de broche de rotation manuellement		680H
Le mandrin est en panne	15H	26/07/2016	Réparation de mandrin	-Roulement	601H

Aléseuse en panne	08H	10/11/2016	Changement de roulement de la tête a banc fixe	-Roulements	328
La broche ne sort pas	01H	11/01/2017	Ajoute se l'huile	- l'huile	783H
Vitesse de rotation est démunie -perte de l'huile -vérification de réservoir	06H	30/05/2017	Changement de Relie de vitesse -changement de l'huile -serrage des écroua de bac de l'huile	-Relie -l'huile	474H
Bruit anormale cote mandrin	01H	23/08/2017	Manque de l'huile TESLA 46	-9 litres de l'huile	879H
Le mandrin ne tient pas la pièce	01H	25/01/2018	Réglage l'écrou de blocage		615H

Tableau IV-1 -L'historique des pannes de la machine Aléseuse Fraiseuse

Dans la suite, on utilisera les données de ce tableau pour évaluer les paramètres de la sureté de fonctionnement tel que la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité.

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 FiabOptim.

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 illustrée par la figure suivante:

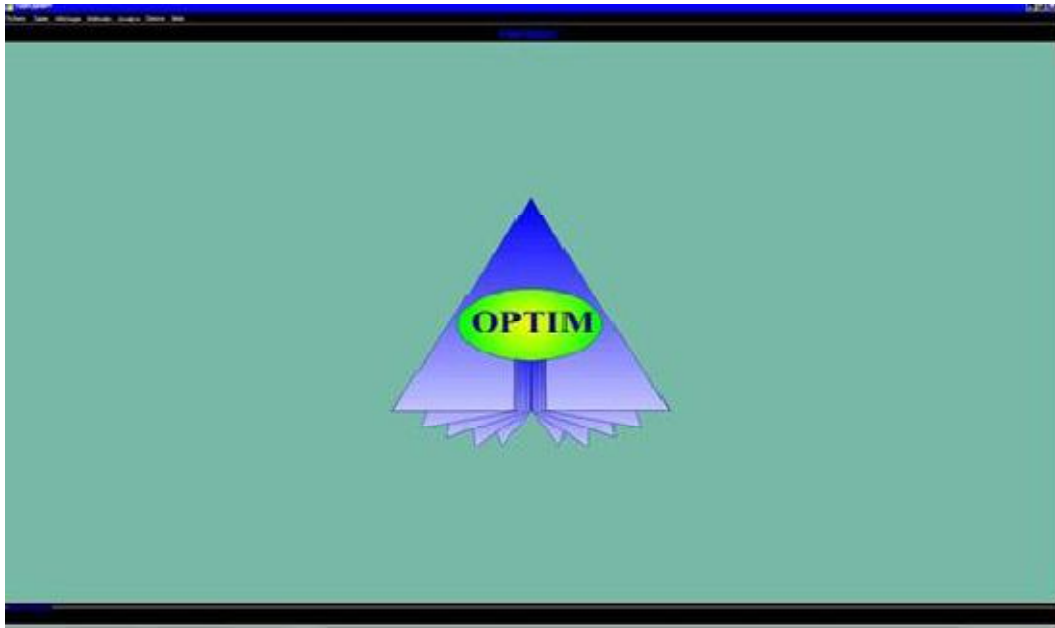


Figure IV-1-L'interface de logiciel FiabOptim

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

On peut enregistrer les données sous format OFI pour les données individuelles.

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

Nous pouvons 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 réalisera l'estimation selon la méthode choisie (estimation par la méthode de : Johnson RangsMoyens)

L'exécution du logiciel FiabOptim donne les résultats montrés par le tableau suivant:

Rangs	TBF	F(t)	R(t)
1	74	0.04347826	0.9565217
2	98	0.08695652	0.9130435
3	294	0.1304348	0.8695652
4	296	0.173913	0.826087
5	316	0.2173913	0.7826087
6	328	0.2608696	0.7391304
7	448	0.3043478	0.6956522
8	474	0.3478261	0.6521739
9	482	0.3913043	0.6086957
10	560	0.4347826	0.5652174
11	586	0.4782609	0.5217391
12	601	0.5217391	0.4782609
13	615	0.5652174	0.4347826
14	674	0.6086957	0.3913043
15	680	0.6521739	0.3748261
16	706	0.6956522	0.3043478
17	712	0.7391304	0.2608696
18	780	0.7826087	0.2173913
19	783	0.826087	0.173913
20	802	0.8695652	0.1304348
21	879	0.9130435	0.06895652
22	908	0.9565217	0.04347826

Tableau IV-2 -Les résultats de simulation de la fonction de répartition et de fiabilité par le logiciel FiabOptim

L'utilisation de logiciel Fiab-Optim permet de tracer la courbe de la fonction de répartition en fonction de temps de bon fonctionnement sur le papier de Wiebull. A travers ce papier, nous pouvons extraire les paramètres suivants: le paramètre de position γ , le paramètre d'échelle η et le paramètre de forme β . La courbe tracée sur le papier de Wiebull est montrée dans la figure suivante:

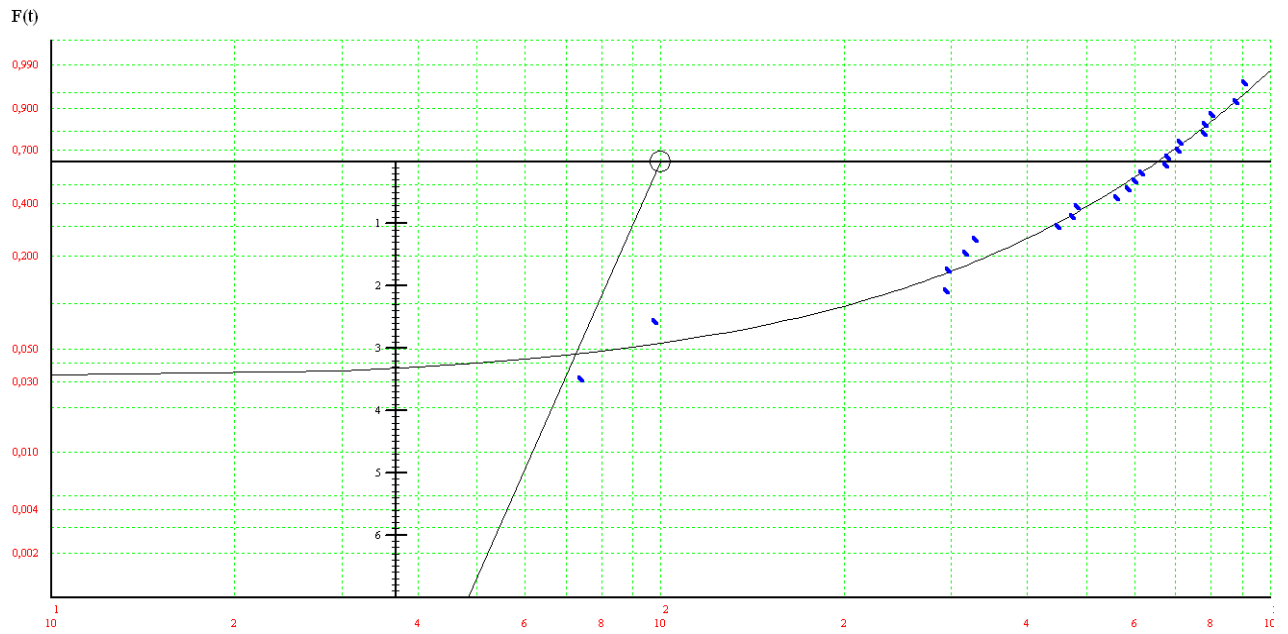


Figure IV-2 -Papier fonctionnel de loi de Weibull

Les paramètres de papier de Wiebull sont illustrés par le tableau suivant:

Paramètres	valeurs
Beta(β)	15.438174
Eta(η)	3538.7902
Gamma(γ)	-2878.3019
MTBF	542.04695

Tableau IV-3-Les paramètres de calcul de fiabilité

Nous utiliserons le test de KOLMOGOROV-SMIRNOV pour vérifier le modèle de calcul qui est accepté pour calculer les différentes fonctions (la fiabilité, la densité de probabilité et le taux de défaillance),

IV.3.2 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:

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

Où:

F (ti) est la fonction de répartition réelle; elle peut être obtenue par la méthode des rangsmoyens:

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

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

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

On montre que: $D_n = \text{Max}|F(ti) - F(t)|$

Suit une loi ne dépendant que de η et on écrit que:

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

La valeur de D_n, α est donnée par le tableau de KOMOGOROV – SMIRNOV.

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

Rangs	TBF	F (ti) réelle	F(t) théorique	Dni
1	74	0,04347826	0,0591474	0,01566914
2	98	0,08695652	0,0667538	0,02020272
3	294	0,1304348	0,1665999	0,0361651
4	296	0,173913	0,1703331	0,0035799
5	316	0,2173913	0,1859587	0,0314326
6	328	0,2608696	0,1958792	0,0649904
7	448	0,3043478	0,3191623	0,0148145
8	474	0,3478261	0,3517852	0,0039591
9	482	0,3913043	0,3622338	0,0290705
10	560	0,4347826	0,4732329	0,0384503
11	586	0,4782609	0,5132743	0,0350134

12	601	0,5217391	0,5368577	0,0151186
13	615	0,5652174	0,5591058	0,0061116
14	674	0,6086957	0,6537514	0,0450557
15	680	0,6521739	0,6633105	0,0111366
16	706	0,6956522	0,7042044	0,0085522
17	712	0,7391304	0,7134806	0,0256498
18	780	0,7826087	0,8117348	0,0291261
19	783	0,826087	0,8156963	0,0103907
20	802	0,8695652	0,8398836	0,0296816
21	879	0,9130435	0,9196899	0,0066464
22	908	0,9565217	0,9415563	0,0149654

Tableau IV-4-La comparaison entre la fonction de répartition réelle et la fonction de répartition théorique

Le tableau. IV.4 montre que $D_{max} = 0,0649904$ et d'après le tableau de KOMOGOROV – SMIRNOV $D_{n,\alpha} = D_{6,0.05} = 0.51926$, on remarque que $D_{max} < D_{n,\alpha}$ cela implique que le modèle de Weibull est accepté pour calculer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité.

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

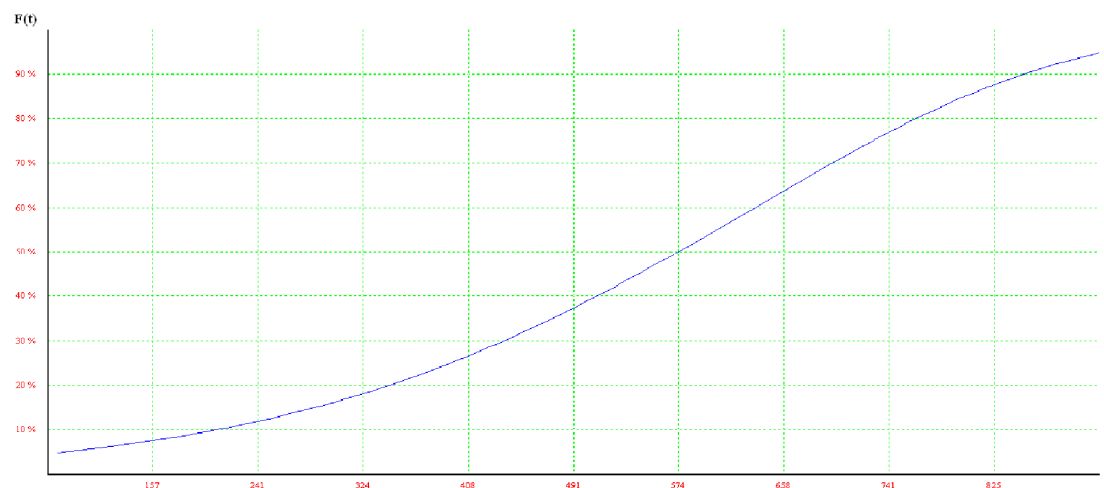


Figure IV-3-La fonction de répartition en fonction du TBF

La figure IV.3- illustre la fonction de répartition $F(t)$ en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF). On observe 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

Le Tableau IV.5-est résumé les calculs de fiabilité, de densité de probabilité et du temps de défaillance.

TBF	$\lambda(t)$	$f(t)$	$R(t)$
74	0,000318818	0,000299961	0,940852605
98	0,000358353	0,000334431	0,9332462
294	0,000899937	0,000747999	0,831168329
296	0,000908164	0,000753473	0,82966686
316	0,000994369	0,000809458	0,814041251
328	0,001049686	0,000844075	0,804120791
448	0,001784239	0,001214777	0,680837659
474	0,001996527	0,001294178	0,648214748
482	0,002066433	0,001317901	0,637766161
560	0,002878113	0,001516095	0,526767005
586	0,003208822	0,001561816	0,486725691
601	0,003415365	0,0015818	0,463142271
615	0,00361924	0,001595702	0,440894177
674	0,004609322	0,001595971	0,346248539
680	0,004723013	0,001590189	0,336689494
706	0,005246499	0,001551891	0,295795521
712	0,005374738	0,001539967	0,286519369
780	0,007047058	0,001326716	0,188265185
783	0,007130957	0,001314261	0,184303662
802	0,007684285	0,00123038	0,160116372
879	0,010361934	0,000832168	0,080310083
908	0,011578492	0,000676689	0,05844363

Tableau IV-5

Les figures suivantes (Fig. IV.4, IV.5, IV.6) montrent les courbes de fiabilité, de densité de probabilité et du temps de défaillance

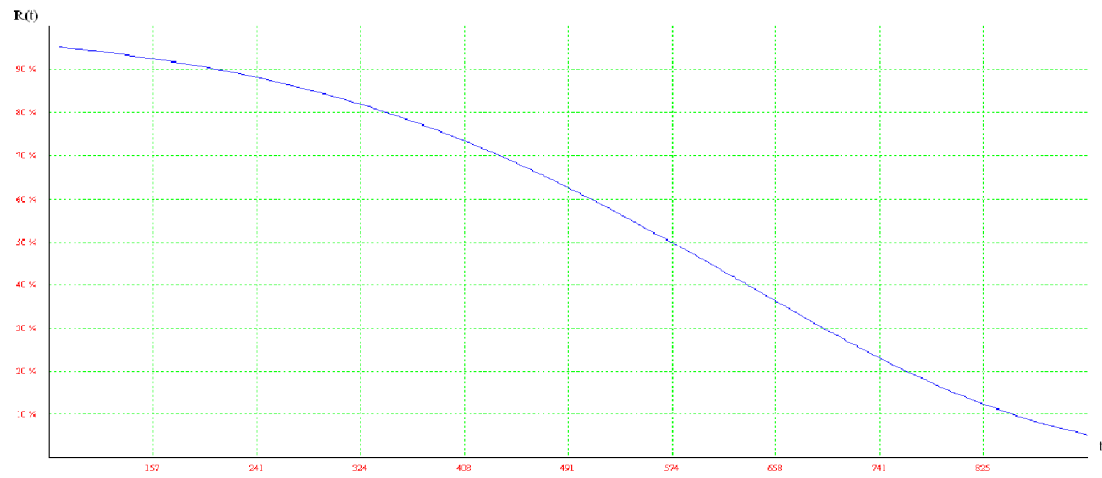


Figure IV-4-La fonction de fiabilité R(t).

La figure. IV.4 montre la fonction de fiabilité $R(t)$ en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF), on remarque à partie cette courbe que la fiabilité diminue avec le temps.

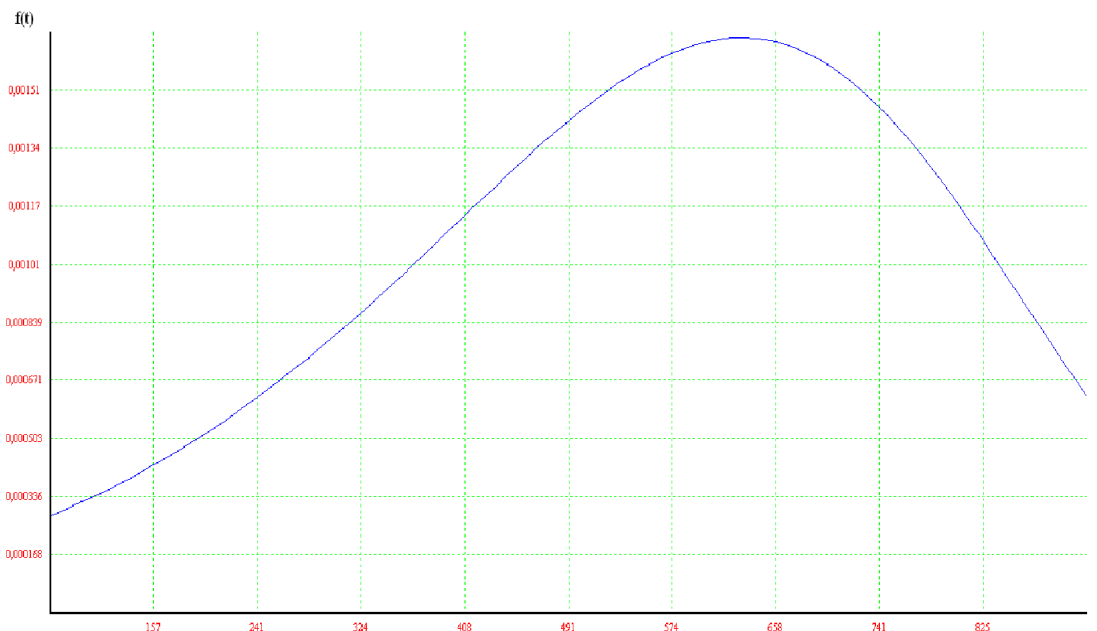


Figure IV-5-Densité de probabilité f(t).

La Figure IV-5- présente la densité de probabilité $f(t)$ en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF).

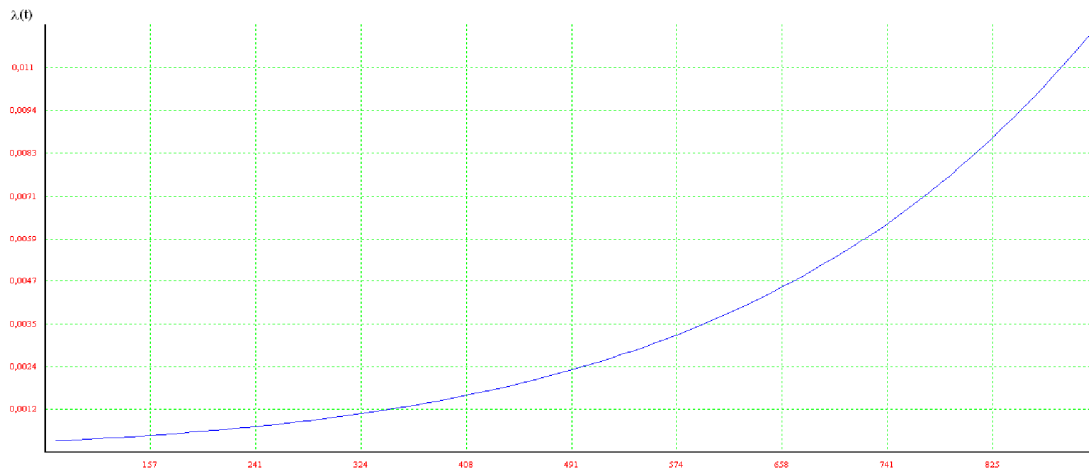


Figure IV-6-Taux de défaillance lambda(t).

IV.3.4 Calcul de R (MTBF)

Pour la moyenne des temps de bon fonctionnement MTBF =542.04695h, la fiabilité est de :

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

$$R(\text{MTBF})=e^{-\left[\frac{542.04965-(-2878.3019)}{3538.7902}\right]^{15.438174}} =0.55364$$

IV.3.5 Calcul de F(MTBF)

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

$$F(\text{MTBF})=1-e^{-\left[\frac{542.04965-(-2878.3019)}{3538.7902}\right]^{15.438174}} =0.44636$$

IV.3.6 La densité de défaillance f(MTBF)

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

$$f(\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{\text{MTBF} - \gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} e^{-\left[\frac{\text{MTBF} - \gamma}{\eta} \right]^\beta} \quad \text{IV-7}$$

$$f(\text{MTBF}) = \frac{15.438174}{3538.7902} \left[\frac{542.04965 + 2878.3019}{3538.7902} \right]^{15.438174-1} e^{-\left[\frac{542.04965 - (-2878.3019)}{3538.7902} \right]^{15.438174}} = 0.00136$$

IV.3.7 Calcul de λ (MTBF)

$$\lambda (\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{\text{MTBF} - \gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad \text{IV-8}$$

$$\lambda (\text{MTBF}) = \frac{15.438174}{3538.7902} \left[\frac{542.04968 + 2878.3019}{3538.7902} \right]^{15.438174-1} = 0.00337$$

IV.4 La maintenabilité

La fonction de maintenabilité est donnée par la relation suivante:

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

Le taux de réparation μ est exprimé par:

$$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}} \quad \text{IV-10}$$

$$\text{Avec } \text{MTTR} = \sum \frac{\text{TTR}}{N} = \frac{352}{22} = 16\text{h}$$

$$\mu = \frac{1}{16} = 0.0625\text{h}^{-1}$$

Le tableau ci-dessous résume le calcul de la maintenabilité, pour N=22 pannes d'après l'historique précédent.

N°	Temps de Réparation (h)	M(t)
1	6	0,31271072
2	3	0,17097088
3	3	0,17097088
4	2	0,1175031
5	6	0,31271072
6	40	0,917915
7	160	0,9999546
8	4	0,22119922
9	12	0,52763345
10	8	0,39346934
11	6	0,31271072
12	14	0,58313798
13	38	0,90698551
14	6	0,31271072
15	4	0,22119922
16	8	0,39346934
17	15	0,60839437
18	8	0,39346934
19	1	0,06058694
20	6	0,31271072
21	1	0,06058694
22	1	0,06058694

Tableau IV-6

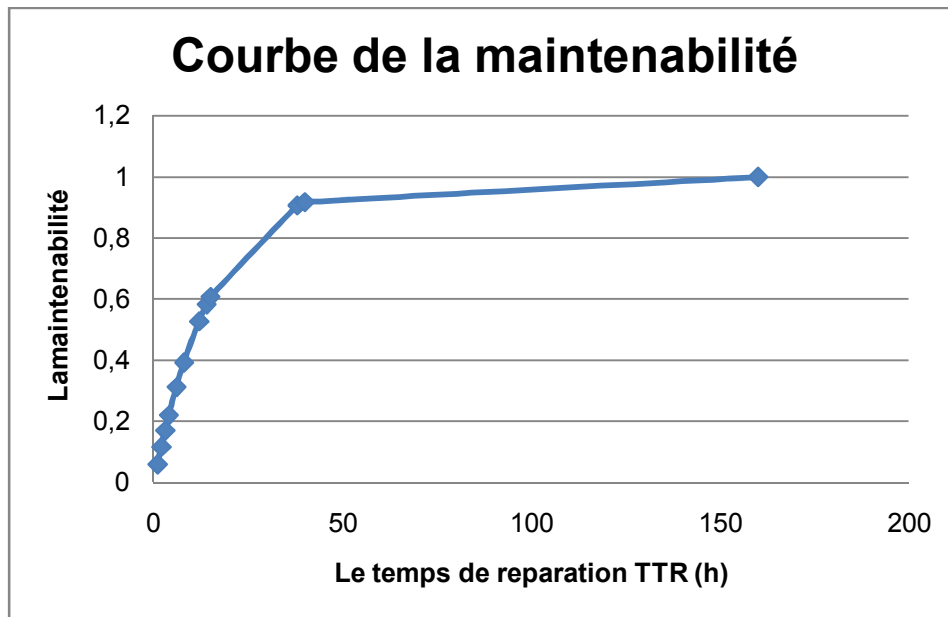


Figure IV-7. Courbe de la maintenabilité

IV.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 = 542.04695

MTTR = 16

Alors:

$$D = \frac{542.04695}{542.04695 + 16} = 0.9713$$

$$= 97.13\%$$

IV.6 Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto) »

L'objectif de la méthode ABC est de classer les défaillances et extraire les éléments les plus défaillants, le tableau IV-7-montre les données pour tracer la courbe ABC

IV.6.1 La courbe ABC

les éléments	Les heures Des pannes	ordre décroissant	Les cumule des heures pannes	% cumule heures de panne	les fréquences des pannes	Cumules de fréquence des pannes	%Fréquence des pannes
/	/	/	/	0%	/	/	0%
1	6	160	160	45,45%	1	1	4,55%
2	3	40	200	56,82%	1	2	9,09%
3	3	38	238	67,61%	1	3	13,64%
4	2	15	253	71,88%	1	4	18,18%
5	6	14	267	75,85%	1	5	22,73%
6	40	12	279	79,26%	1	6	27,27%
7	160	8	287	81,53%	1	7	31,82%
8	4	8	295	83,81%	1	8	36,36%
9	12	8	303	86,08%	1	9	40,91%
10	8	6	309	87,78%	1	10	45,45%
11	6	6	315	89,49%	1	11	50,00%
12	14	6	321	91,19%	1	12	54,55%
13	38	6	327	92,90%	1	13	59,09%
14	6	6	333	94,60%	1	14	63,64%
15	4	4	337	95,74%	1	15	68,18%
16	8	4	341	96,88%	1	16	72,73%
17	15	3	344	97,73%	1	17	77,27%
18	8	3	347	98,58%	1	18	81,82%
19	1	2	349	99,15%	1	19	86,36%
20	6	1	350	99,43%	1	20	90,91%
21	1	1	351	99,72%	1	21	95,45%
22	1	1	352	100,00%	1	22	100,00%

Tableau IV-7- les données pour tracer la courbe ABC

La Figure suivante montre la courbe ABC qui contient trois zones :

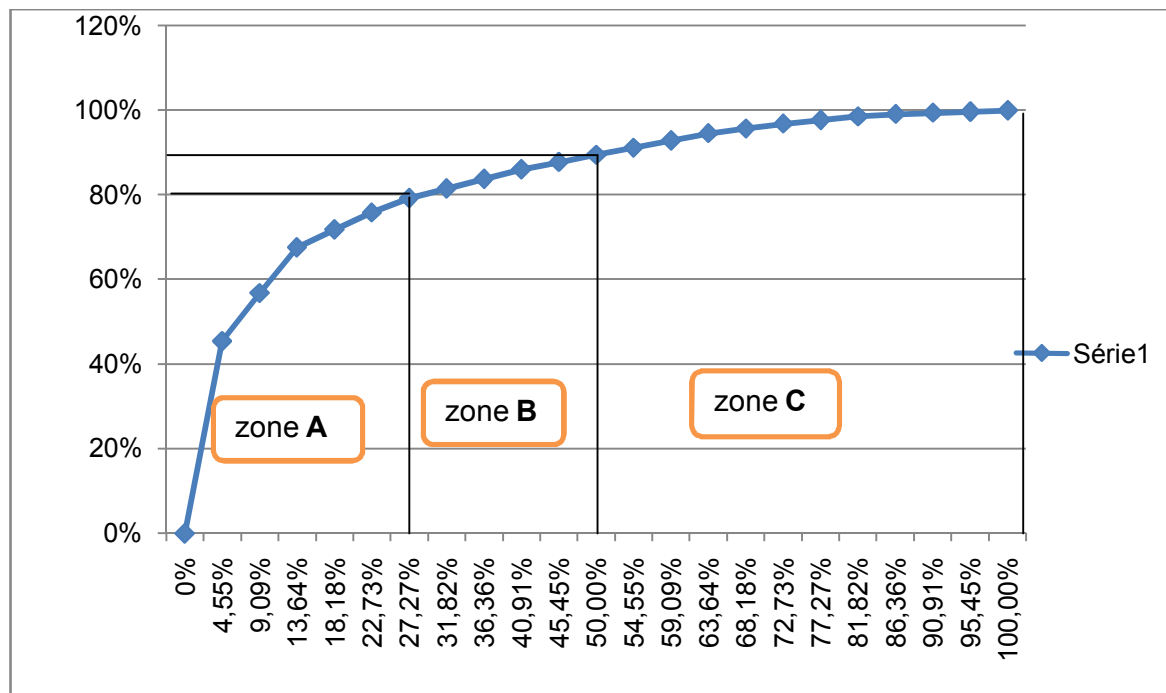


Figure IV-8-La courbe ABC

IV.6.2 Interprétation des résultats

- **Zone "A"** : on voit que d'après cette zone qu'environ de 27.27 des pannes représente 79,26% des heures d'arrêts, cette zone contient les éléments les plus défectueux
- **Zone "B"** : Dans cette zone, les 36.37% des pannes représentent 15.34% des heures d'arrêt de la machine aléuseuse faiseuse c'est une zone contient des éléments mois de temps d'arrêt par comparaison avec les éléments de la zone A .
- **Zone "C"** : Dans cette zone les 36.36% des pannes restantes ne représentent que de 5.4% des heures d'arrêts.

IV.7 Recommandations :

Nous avons la fiabilité de la machine (Aléuseuse Fraiseuse) égale à 55.34%, elle est réduite. Pour améliorer la fiabilité à une valeur égale 70%, il doit augmenter la moyenne du temps de bon fonctionnement à une valeur égale 685.4 H. Pour atteindre cette valeur de MTBF, nous avons les recommandations suivantes :

Doit connaître les éléments les plus tombent en panne de la machine et faire un changement des organes et des pièces a pour but d'augmenter le temps de bon de fonctionnement et minimiser le temps d'arrêt, Par exemple, la remplacement de la pompe de l'huile par trois moteur asynchrones avec un variateur de vitesse .

On va proposer un plan préventif à base des interventions sur les éléments le plus défaillants par l'application de la maintenance préventive systématique sur la machine étudiée, 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.



Figure IV-9: le remplacement de la pompe de l'huile par trois moteurs asynchrones

IV.8 Conclusion

Au cours ce chapitre, nous avons pris 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

Dans notre travail, les généralités et les notions de base sur la maintenance des machines tournantes sont présentés et l'importance du diagnostic et de surveillance est montrée par l'illustration de leurs définitions, leurs avantages. Les types, les opérations et les niveaux de maintenance sont expliquées en détail dans notre travail avec la description des paramètres de la sûreté de fonctionnement.

Nous avons fait un stage au sien de l'entreprise de maintenance des équipements industriels (MEI), ce stage a pour but de faire le contact avec le milieu industriel et de connaitre la constitution de cette entreprise. Ces connaissances nous ont permis de choisir une machine importante, ensuite nous avons pris leur historique de panne.

L'historique de panne de la machine choisie nous a permis de calculer les temps de bon fonctionnement (TBF) selon le mode d'emploi de cette machine et le temps d'arrêt pendant quelques années. On a utilisé le papier de Weibull pour tracer la courbe de la fonction de répartition en fonction du temps de bon fonctionnement. Cette courbe a facilitée d'extraire les paramètres de méthode de Weibull pour vérifier quelle méthode acceptée pour calculer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité. L'application du test KS a montré que la méthode de Wiebull est acceptée pour le calcul des paramètres de la sureté de fonctionnement.

D'après les résultats obtenus, on a conclu 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 685.4 h. Pour cela, il est nécessaire de changer la pompe d'huile par des moteurs synchrones pour éviter les défauts de perte et les arrêts

Bibliographie

- [1] **KADI GANA**, «étude et amélioration fmd d'une motopompe centrifuge » Mémoire de Master en génie mécanique, Université Kasdi Merbah - Ouargla, 2014
- [2] **ABDALLAH KABOUCHE**, «Techniques de Maintenance Prédictive pour l'Amélioration de la disponibilité des Installations » Mémoire de doctorat en génie électromécanique, université badji mokhtar – Annaba.
- [3] **ANDREAN CEBAN**, «méthode globale de diagnostic des machines électriques» Mémoire de doctorat en génie mécanique, Université Lille de Nord de France – École doctorale SPI - Lille, 2012
- [4] **BELOUADAH ABDENACEUR**, «Amélioration de la fiabilité d'un système électromécanique par l'utilisation des opérations de la maintenance préventive» Mémoire de **MASTER** en génie électrique, université mohamed boudiaf de m'sila - M'sila, 2016
- [5] **AYAD MOULOUD**, «recherche de signatures robustes des défauts dans une Machine tournante a travers l'analyse de signaux Vibratoires» mémoire de doctorat en génie électronique, université ferhat abbas – sétif – 1 –, 2015
- [6] **KHEMCHANE NOUR, TIZAOUI AREZKI**, «technique de diagnostic des défaut statorique d'un moteur asynchrone» mémoire de **master** en génie électrique, université Abderrahmane mira – Bejaia ,2017
- [7] **DEFDAF ABD ELHAK, FAID OMAR**, «optimisation de la Fiabilité d'un système électromécanique» mémoire de **master** en génie électrique **UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA– M'sila**, 2018
- [8] **HACHEMI Mohammed**, « Application de l'ODS à l'analyse des problèmes de vibration des machines tournantes» mémoire de master en génie mécanique, université abou bekr belkaid – Tlemcen–, 2012
- [9] **DIF ZAKARYA, ADJISSI MEHDI**, «Amélioration de la production d'un système par l'application de la maintenance préventive» Mémoire de master en génie électrique, université Mohamed Boudiaf de m'sila - M'sila, 2018
- [10] **BERRABEH FOUAD** «commande sans capteur de la machine asynchrone » Mémoire de doctorat en génie électromécanique, université Badji Mokhtar – Annaba.2016
- [11] **OUADAH SOFIAN, MENZOU KOSILA** «détection des défaillance par analyse vibratoire sur un groupe électro pompe» Mémoire de Master en génie mécanique, Université Badji Mokhtar – Bejaia.2017
- [12] **BELKHIR TAHAR, MED MOHCEN BEN SASI** « la maintenance des équipement par l'analyse vibratoire » Mémoire de Master en génie mécanique, Université Kasdi Merbah - Ouargla, 2016
- [13] **REDJIL KHAOULA**, «Etude des défauts du roulement par analyse spectrale et cepstrale» Mémoire de Master en génie mécanique, Université Badji Mokhtar – Annaba.2017
- [14] **CHAOUCHE RIAD, CHETTI SIF EDDINE**, «Détection et diagnostic de défauts statorique externe d'un moteur asynchrone triphasé à l'aide de la carte ARDUINO MEGA 2560» Mémoire de Master en génie électrotechnique, Université Kasdi Merbah - Ouargla, 2016
- [15] **BERKOUS HAFIDH**, «détection des défauts d'engrenage par analyse vibratoire» Mémoire de Master en génie mécanique, Université Badji Mokhtar – Annaba.2017

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

DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

SPECIALITE : Maintenance Industrielle

Proposé et dirigé par : Dr. GHEMARI Zine

Présenté par : Mr. NASRI Djamel et TALEB Elyamine

**Thème : Etude de Maintenance des Machines Électriques
Tournantes**

Résumé

L'objectif principal de notre travail est d'étudier la maintenance d'une machine tournante choisie au sein d'une entreprise qu'on va faire notre stage, le choix de la machine est permis d'extraire leur historique de panne qui est facilité de calculer les temps de bon fonctionnement. L'amélioration de fiabilité est faite par l'utilisation des opérations de la maintenance préventive systématique telles que la vérification, l'inspection, contrôle, visite, démontage et montage.

ملخص

الهدف الرئيسي من عملنا هو دراسة صيانة آلة دوارة مختارة في الشركة التي قمنا بتربصنا فيها , يسمح اختيار الآلة باستخراج تاريخ العطب الخاص بها وحساب وقت التشغيل. ويتم تحسين موثوقية الآلة من خلال استخدام عمليات الصيانة الوقائية الروتينية مثل التحقق والتفتيش والتحكم والزيادة والتفكيك والتجميع.

Abstract

The main objective of our work is to study the maintenance of a rotating machine chosen within a company that we will make our internship, the choice of the machine is permanently extrudes their fault history which is ease of calculating the time of proper functioning. The improvement of reliability is made by the use of systematic presence monitoring operations.

Such as verification, inspection, control, visit, disassembly and assembly.

Mots clés : Maintenance, fiabilité, disponibilité, sureté,