

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electromécanique

Parcours : Master

Spécialité : Maintenance Industrielle

Thème

Surveillance et diagnostic d'un moteur électrique asynchrone triphasé dans le cadre d'une maintenance conditionnelle

Préparé par :

YAGOUB Ali & OTMANE Houari

Soutenu publiquement le : .. / 07 / 2021, devant le jury composé de :

M. MAZARI Djamel	Maître de Conférences "MCA" (Univ. Ibn Khaldoun)	Président
M. SLIMANI Halima	Maître de Conférences "MCB" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examinateur
M. ASRI Aicha	Maître de Conférences "MCB" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examinateur
M. BOUZOUINI Mohammed	Maître de Conférences "MCA" (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadreur

Année universitaire : 2020 - 2021

REMERCIÉMENTS

Le présent travail a été réalisé sous la supervision de monsieur BOUZOUINI Mohamed. Je tiens à lui exprimer mes sincères remerciements pour ses conseils, ses encouragements et sa présence, ainsi que pour les nombreuses discussions fructueuses que nous avons eues. Cela a toujours été un plaisir de travailler avec lui et je suis heureux de continuer dans cette voie.

Je tiens également à remercier les employés de la société NAFTAL à TIARET, en particulier le responsable de la maintenance technique, M. HADDAD Khaled, qui nous a fourni les informations nécessaires qui m'ont permis de faire ce travail.

Je remercie également les membres du jury qui m'ont honoré en acceptant le jugement et en enrichissant ce modeste travail.

Je remercie également toute ma famille et mes amis pour leur aide et leur soutien.

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1

Chapitre I Généralités sur le moteur asynchrone triphasé

I.1 Introduction	4
I.2 Définition le moteur asynchrone	4
I.3 Constitution d'une machine électrique tournante.....	5
I.3.1 Stator	6
I.3.2 Rotor.....	7
I.3.3 Organes mécaniques.....	7
I.4 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone	8
I.5 Etude des différents défauts affectant le moteur asynchrone	9
I.5.1 Cause des défauts	9
I.6 Etude statistique des défaillances de la machine asynchrone	9
I.6.1 Défaillances au rotor	10
I.6.1.1 Ruptures de barres	10
I.6.1.2 Ruptures d'anneaux.....	11
I.6.1.3 Excentricité statique et dynamique	11
I.6.1.4 Défaut de roulement.....	12
I.6.2 Défaillances au stator	13
I.6.2.1 Défauts d'isolant dans un enroulement	14
I.6.2.2 Court-circuit entre spires de la même phase	14
I.6.2.3 Court-circuit entre phases	15

Sommaire

I.6.2.4 Défaillances de circuit magnétique	15
I.7 Diagnostic et surveillance des systèmes	15
I.7.1 Diffèrent étapes techniques du diagnostic industriel.....	16
I.7.2 Surveillance.....	16
I.8 Différentes techniques de diagnostic des machines électriques.....	17
I.9 Méthodes de diagnostic.....	19
I.9.1 Diagnostique par mesure de la température	19
I.9.2 Diagnostic par mesure des vibrations mécaniques	20
I.9.3 Diagnostic chimique	20
I.9.4 Diagnostic par mesure de flux magnétique	21
I.9.5 Diagnostic par mesure du couple électromagnétique.....	22
I.9.6 Diagnostic par mesure du courant statorique	22
I.10 Conclusion.....	22

Chapitre II Notion sur les méthodes de la maintenance

II.1 Introduction.....	24
II.2 Maintenance Industrielle.....	24
II.2.1 Objectifs de la maintenance	25
II.2.2 Rôle de la maintenance	25
II.3 Types de maintenances	26
II.3.1 Maintenance Corrective.....	26
II.3.2 Maintenance Préventive.....	26
II.3.2.1 Maintenance préventive systématique	27
II.3.2.2 Maintenance préventive conditionnelle	27
II.4 Opérations de maintenance préventive	28
II.4.1 Inspections	28
II.4.2 Visite.....	28
II.4.3 Contrôle.....	29

Sommaire

II.4.4 Opérations de surveillance	29
II.5 Opérations de maintenance corrective	29
II.5.1 Dépannage.....	29
II.5.2 Réparation.....	29
II.5.3 Révisions.....	29
II.5.4 Diagnostic	30
II.5.4.1 Étapes du diagnostic	30
II.6 Méthode d'optimisation de la maintenance	31
II.6.1 Méthode AMDEC	31
II.6.2 Buts et objectifs.....	31
II.6.3 Avantages et les inconvénients de l'AMDEC	32
II.6.3.1 Avantage	32
II.6.3.2 Inconvénients	32
II.7 Caractéristiques de la méthode AMDEC	32
II.8 Types d'AMDEC	32
II.8.1 AMDEC produit.....	32
II.8.2 AMDEC processus.....	33
II.8.3 AMDEC équipement	33
II.8.4 AMDEC organisation	33
II.8.5 AMDEC service.....	33
II.8.6 AMDEC sécurité.....	33
II.9 Démarche pratique de l'AMDEC	33
II.9.1 Grille de cotation.....	34
II.10 Méthode ISHIKAWA	37
II.10.1 Présentation.....	37
II.10.2 Mise en pratique.....	38
II.11 Diagramme de PARETO	39

Sommaire

II.11.1 Présentation.....	39
II.11.2 L’objectif de digramme de PARETO	40
II.11.3 L’objectif de l’analyse ABC	40
II.11.4 Analyse des résultats.....	40
II.12 Conclusion	41

Chapitre III Application de la méthode ‘AMDEC’ sur la motopompe

III.1 Introduction	43
III.2 Pompes centrifuges	43
III.2.1 Définition.....	43
III.2.3 Utilisation	43
III.2.4 Principe de fonctionnement	43
III.2.5 Principaux composants d’une pompe centrifuge	44
III.3 Application de la méthode AMDEC	45
III.3.1 Définition du système à étudier.....	45
III.3.2 Objectif à atteindre	46
III.3.3 Mise au point de la fiche d’analyse	46
III.3.4 Analyse du système	47
III.3.5 Décomposition du matériel.....	47
III.3.5.1 Décomposition des dispositifs	47
III.3.6 Identification des fonctions des sous –ensemble.....	49
III.3.6.1 Diagramme de pieuvre du moteur électrique	49
III.3.6.2 Diagramme de pieuvre de pompe centrifuge.....	50
III.3.6.3 Diagramme de pieuvre de l’accouplement	51
III.3.7 Analyse AMDEC.....	51
III.3.8 Synthèse.....	55

Sommaire

III.3.9 Application de la méthode PARETO sur une groupe gotopompe electrique.....	57
III.3.9.1 Analyse ABC.....	58
III.3.10 Opérations préventives	58
III.4 Conclusion.....	59
Conclusion générale.....	62
Bibliographique	
Résume	

Liste des Abréviations

Liste des abréviations

<u>Symbole</u>	<u>Définition</u>
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets de leurs Criticité
B s	Induction magnétique
C	Criticité
D	Détection
Db	Diamètre de bille
Dc	Distance du centre de bille
F	Fréquence de rotation
F	Fréquence
F e m	Force électromotrice
Fext	Force extérieure
Fint	Force intérieure
F m m	Force magnétomotrice
g	glissement du moteur asynchrone
MCSA	Motors Curent Signature Analyser
Ns	Vitesse de rotation
n1	Vitesse du champ tournant
n	Vitesse du rotor
P	Nombre de pair de pole
P m	Perméabilité magnétique

Liste des Figures

Liste des figures

Chapitre I Généralité sur le moteur asynchrone triphasé

Figure I.1 Moteur asynchrone.....	4
Figure.I.2 Vue éclatée d'un moteur asynchrone.....	5
Figure.I.3 Photo du stator d'un moteur asynchrone.....	6
Figure I.4 Vue en perspective du rotor.....	7
Figure I.5 Proportion des défauts.....	10
Figure I.6 Modélisation schématique de l'excentricité statique et dynamique.....	12
Figure I.7 Roulement à bille.....	13
Figure I.8 Défaut statorique.....	13
Figure I.9 Diagnostic industriel.....	16
Figure I.10 Schéma de la surveillance.....	17
Figure I.11 Différentes grandeurs de diagnostic dans une machine.....	19
Figure I.12 Bobine exploratrice pour la mesure du flux de fuite axial.....	21

Chapitre II Notion sur les méthodes de la maintenance

Figure II.1 Principe de la maintenance conditionnelle.....	27
Figure II.2 Méthodes de maintenance et les événements associés.....	30
Figure.II.3 Diagramme Ishikawa.....	38
Figure II.4 Courbe de Pareto.....	39

Chapitre III Application de la méthode "AMDEC" sur la motopompe

Figure.II.1 Présentation extérieure d'une pompe centrifuge horizontale.....	44
Figure.III.2 Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux.....	45
Figure.III.3 Décomposition fonctionnelle du système.....	47
Figure.II.4 Schéma décomposition des dispositifs.....	48
Figure.III.5 Diagramme de pieuvre du moteur électrique.....	49
Figure III.6 Diagramme de pieuvre de pompe centrifuge.....	50
Figure III.7 Diagramme de pieuvre de l'accouplement.....	51
Figure.III.8 Diagramme de Pareto.....	57

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Chapitre II Notion sur les méthodes de la maintenance

Tableau .II.1 Grille de cotation de la probabilité d'occurrence.....	35
Tableau.II.2 Grille de cotation de la probabilité de non détecté.....	35
Tableau. II.3 Grille de cotation de la gravité.....	36
Tableau .II.4 Grille de cotation Criticité.....	37

Chapitre III Application de la méthode ‘AMDEC’ sur la motopompe

Tableau.III.1 Support de l'étude.....	46
Tableau.III.2 Des actions correctives.....	55
Tableau.III.3 Etude Pareto sur la criticité.....	57
Tableau.III.4 Classes ABC.....	58
Tableau .III.5 Gamme de maintenance proposée.....	59

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Une machine asynchrone, également appelée machine à induction « anglo-saxonne », est une machine à courant alternatif sans contact entre le stator et le rotor.

Le terme asynchrone vient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas forcément proportionnelle à la fréquence des courants qui les traversent. Son invention est attribuée à Nikola Tesla en 1887. En 1889, Mikael Osipovich Dolivo-Dobrowolsky (ou Michael von Dolevo-Dobrowsky), un électricien allemand d'origine russe, inventa le premier moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil à être construit industriellement à partir de 1891. Le moteur asynchrone est le plus largement utilisé dans l'industrie, en raison de sa facilité d'utilisation, de sa petite taille, de son bon rendement et de son excellente fiabilité [1].

La machine asynchrone est connue pour sa durabilité et son faible coût de construction. En milieu industriel, il est nécessaire de préparer des programmes de maintenance préventive et corrective pour assurer leur continuité de fonctionnement. La fiabilité et la sécurité de son fonctionnement pour assurer la sécurité des personnes, la qualité de service et la rentabilité des établissements.

Nous constatons que la conception de systèmes de plus en plus complexes ne peut être exempte de perturbations et de défaillances de plusieurs types. Les grandes machines tournantes industrielles sont souvent nécessairement au cœur de ces systèmes industriels. Les pannes inhérentes aux machines tournantes pouvant conduire à une telle situation sont très nombreuses. Ces dysfonctionnements peuvent être liés à la structure du moteur et à son origine mécanique (déviation centrale du rotor, erreur de connexion, usure des roulements, etc.) ou électrique et magnétique (court-circuit du bobinage du stator, rupture de tige ou de bague, etc.)

Au cours des dernières décennies, la détection et le diagnostic précoces des dysfonctionnements affectant les moteurs asynchrones ont fait l'objet de nombreuses recherches.

C'est pourquoi la surveillance est un moyen de s'assurer du bon fonctionnement des systèmes. Le diagnostic est la partie de la surveillance qui vise à connaître la cause du dysfonctionnement. De nombreuses pannes peuvent survenir dans la machine asynchrone. Ils peuvent être inattendus ou intempestifs, mécaniques, électriques ou magnétiques et leurs causes sont très diverses.

Introduction générale

L'objectif principal de ce mémoire est d'étudier les causes de défaillance d'un moteur asynchrone, et de proposer des solutions pour réduire les défauts courants en utilisant des méthodes connues en maintenance industrielle.

Parmi les outils et les techniques de prévention des problèmes, nous nous intéresserons à la méthode "AMDEC" (Analyse des modes de défaillances de leurs effets et de leur criticité) qui s'avère une méthode simple et très efficace.

Nous présenterons notre travail en trois chapitres, qui sont les suivants:

Le premier chapitre est divisé en deux parties dont la première est consacrée à un rappel de la construction de la machine asynchrone triphasée et du principe de fonctionnement de cette dernière, tandis que la deuxième partie de ce chapitre est réservée à la présentation de la pannes qu'un moteur asynchrone peut rencontrer en service, et Certaines des méthodes de diagnostic bien connues

Le deuxième chapitre présente l'état de la maintenance en générale, lui-même décrivant les principaux concepts qui éclairent notre mémoire: la définition et Les différentes formes de maintenance, et la présentation détaillée de la méthode "AMDEC "et méthode " PARETO" et " ISHIKAWA"

Le troisième chapitre : est divisé en deux parties, la première partie est un rappel sur la pompe centrifuge, tandis que la deuxième partie est consacrée à l'application de " l'AMDEC "à une motopompe, qui contient un moteur asynchrone triphasé, pour identifier le type des défauts et les classer selon leur degré de gravité, et proposer des solutions possibles. Amélioration de l'entretien.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale où nous allons synthétiser ce qui a été fait.

Chapitre I

Généralité sur le moteur asynchrone triphasé

I.1 Introduction

La nécessité d'utiliser des machines asynchrones dans un certain nombre d'activités mécaniques. Le recours aux machines asynchrones est surtout lié à leur robustesse, leur puissance massique et à leur coût de fabrication. Leur maintenance et leur surveillance permettent de rentabiliser les installations. Il est donc important de développer des outils de diagnostic pour détecter de manière précoce les défauts pouvant apparaître dans ces machines.

Afin de synthétiser les méthodes de diagnostic, nous présenterons d'abord de manière succincte, la construction de la machine asynchrone triphasée puis les contributions scientifiques sur les défauts de la machine asynchrone. Ensuite, nous présenterons une synthèse des méthodes de diagnostics dédiées à l'étude de ses défauts électriques et mécaniques.

I.2 Définition le moteur asynchrone

Une moteur asynchrone est une moteur à courant alternatif pour laquelle la vitesse de rotation de l'arbre est différente de la vitesse de rotation du champ tournant .Il existe en effet théoriquement, d'autres types moteur asynchrones. Une moteur à induction est une moteur asynchrone dont le circuit magnétique est associé à deux, ou plus de deux, circuits électriques se déplaçant L'un par rapport à l'autre et dans lequel l'énergie est transférée de la partie fixe à la partie mobile, ou inversement, par induction électromagnétique. Cependant, la seule machine asynchrone qui ait une importance pratique est la convention à magnétique, voire le figure I.1

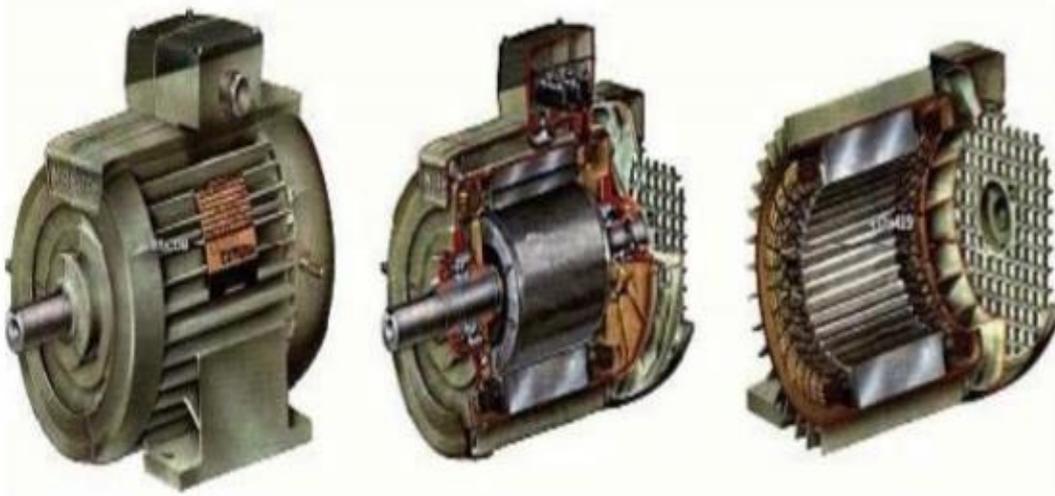


Figure I.1 Moteur asynchrone

I.3 Constitution d'une machine électrique tournante

Les machines tournantes, souvent appelée moteur à induction comprend un stator et un rotor, constitués de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements, voire le figure.I.2. Le stator est fixe ; on y trouve les enroulements reliés à la source. Le rotor est monté sur un axe de rotation. Selon que les enroulements du rotor sont accessibles de l'extérieur ou sont fermés sur eux-mêmes en permanence, on définit deux types de rotor : bobiné ou à cage d'écureuil. Du point de vue mécanique, en trois parties distinctes

- le stator, partie fixe de la machine où est connectée l'alimentation électrique ;
- le rotor, partie tournante qui permet de mettre en rotation la charge mécanique ;
- les organes mécaniques permettant la rotation du rotor et le maintien des différents sous-ensembles [2]

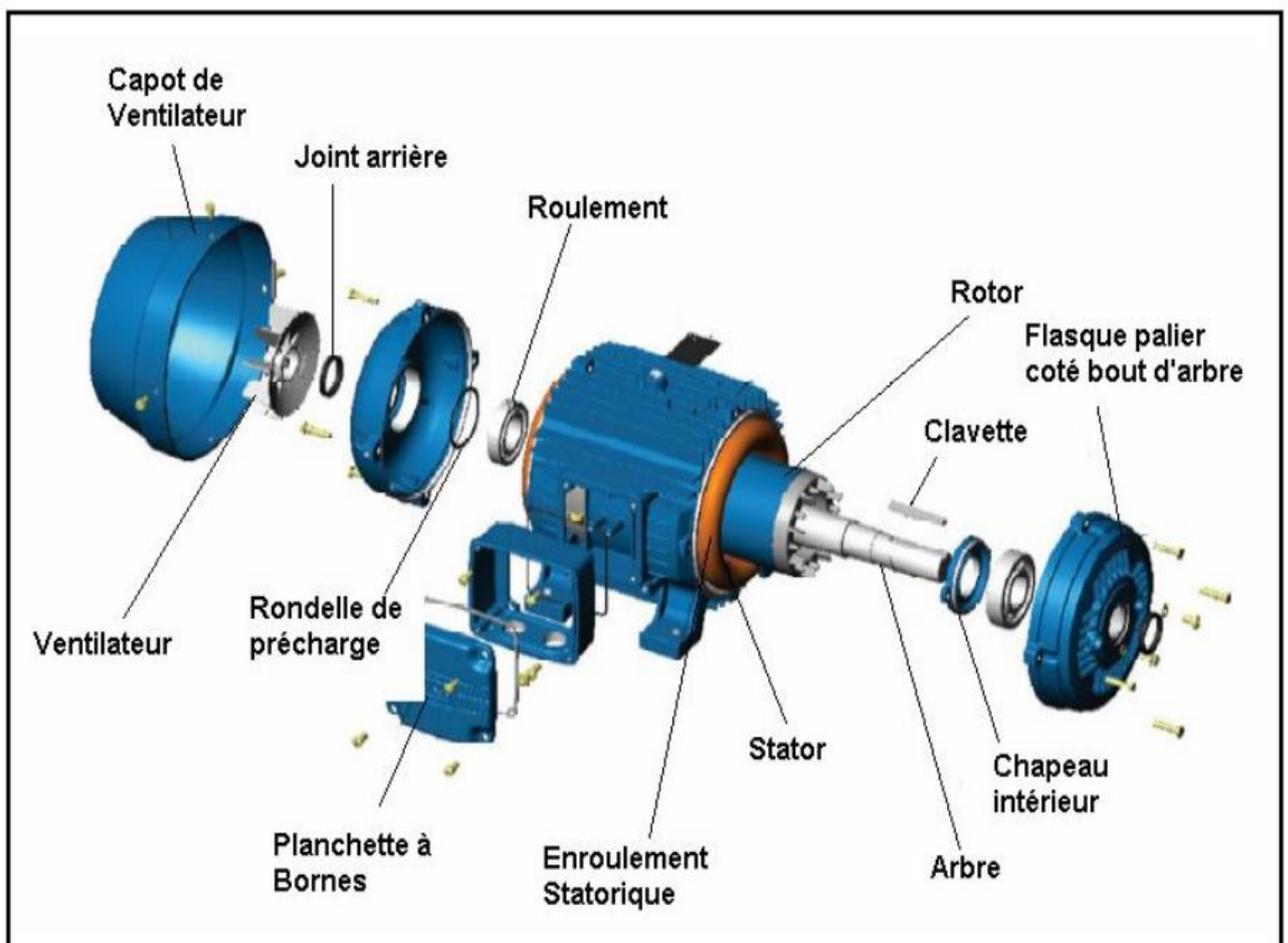


Figure.I.2 Vue éclatée d'un moteur asynchrone [3]

I.3.1 Stator

C'est le primaire, analogiquement au transformateur, fixe, portant un bobinage le plus souvent triphasé, logé dans des encoches constituées par l'empilement des tôles d'acier doux au silicium, voir figure (I.3) Le bobinage statorique peut se décomposer en deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant la circulation judicieuse des courants d'un conducteur d'encoche à l'autre. L'objectif est d'obtenir à la surface de l'entrefer une distribution de courant la plus sinusoïdale possible, afin de limiter les ondulations du couple électromagnétique [4]

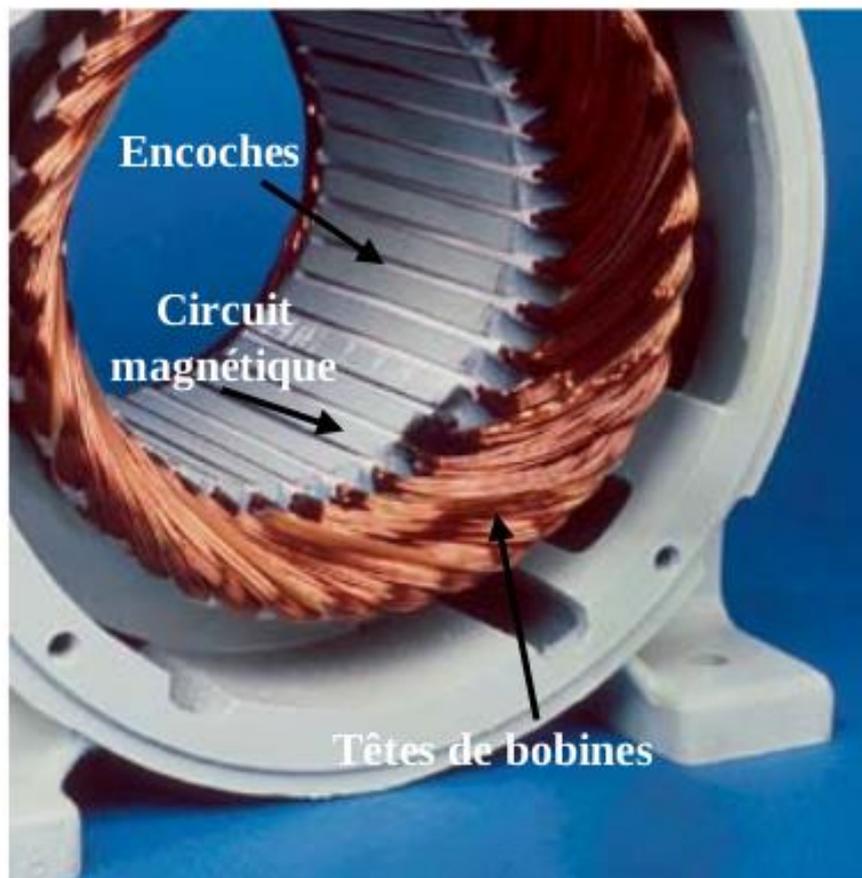


Figure.I.3 Photo du stator d'un moteur asynchrone[8]

I.3.2 Rotor

La conception du rotor dépend du type particulier de la machine. Pour les machines asynchrones, on distingue deux types de rotors:

- Les rotors bobinés sont construits de la même manière que le bobinage statorique. Les phases rotoriques sont disponibles grâce à un système de bagues-balais positionné sur l'arbre de la machine, ce qui permet de profiter des caractéristiques de ce type de rotor à savoir le démarrage, le freinage et la variation de vitesse du moteur par insertion de résistance.
- les rotors à cage d'écureuil, les enroulements sont constitués de barres en cuivre utilisées pour les gros moteurs ou en aluminium pour les moteurs de petite puissance.

Ces barres sont court-circuitées à chaque extrémité par deux anneaux dits "de court-circuit". Il existe différentes structures de rotor à cage dépendant principalement de la taille du moteur et de la charge qui sera objet de l'entraînement. [5]

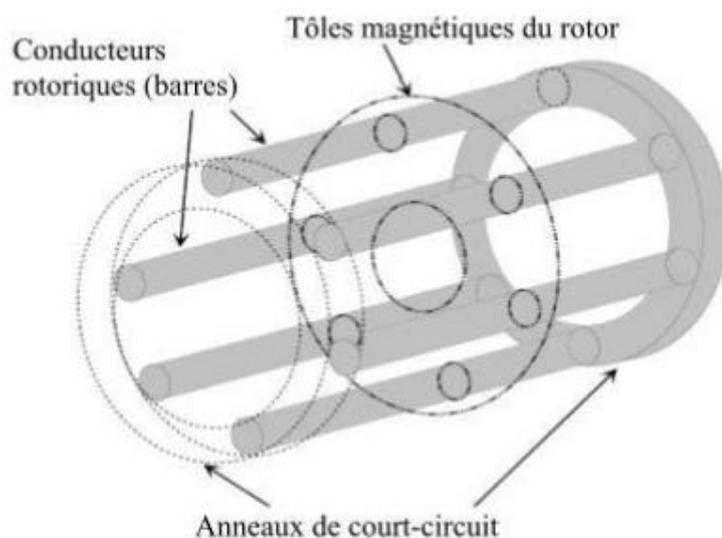


Figure I.4 Vue en perspective du Rotor

I.3.3 Organes mécaniques

La carcasse sert de support, elle joue le rôle d'enveloppe et assure la protection contre l'environnement extérieur.

L'arbre est un organe de transmission. Il comprend une partie centrale qui sert de support au corps du rotor et un bout d'arbre sur lequel est fixé un demi-accouplement. Il est généralement constitué en acier moulé ou forgé. Son dimensionnement est fonction des efforts de flexion (force

centrifuge qui s'exerce sur lui, attraction magnétique radiale, etc...), des efforts radiaux et tangentiels dus aux forces centrifuges, des efforts de torsion (couple électromagnétique transmis en régime permanent, transitoire). Il est supporté par un ou plusieurs paliers. Ces paliers soutiennent le rotor et assurent la libre rotation. Le second palier est libre pour assurer les dilatations thermiques de l'arbre. Une isolation électrique de l'un des paliers assure l'élimination des courants dans l'arbre dû aux dissymétries des réluctances du circuit magnétique. Ils sont généralement à roulements pour les machines de petite et moyenne puissance [4]

I.4 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone

Le principe de fonctionnement de la machine asynchrone est basé entièrement sur les lois de l'induction ; la machine asynchrone est considérée comme un transformateur à champ magnétique tournant dont le stator étant comparable à l'enroulement primaire et le rotor à l'enroulement secondaire en court-circuit.

Ce fonctionnement est reposé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant, créé par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par le réseau, et des courants induits dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ tournant. [6]

Lorsque le rotor tourne à une vitesse N_s différente du synchronisme, l'application de la loi de FARADAY à un des roulements rotoriques montre que celui-ci devient le siège d'une force électromotrice qui étant court-circuité sur les enroulements va donner naissance à un courant dont l'intensité est limitée par l'impédance de ce dernier. L'interaction entre ce courant et le champ glissant va donner naissance à des forces s'exerçant sur les brins du rotor dont le moment par rapport à l'axe de rotation constituera le couple de la machine. Lorsque le champ est sinusoïdal, sa vitesse de rotation est:

$$N_s = \frac{60f}{p} \text{ en tr/min} \quad (I.1)$$

Où f : est la fréquence d'alimentation.

p : représente le nombre de paires de pôles.

L'interaction électromagnétique des deux parties de la machine n'est possible que lorsque la vitesse du champ tournant (n_1) diffère de celle du rotor (n), c'est à dire lorsque $n \neq n_1$, car dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque $n = n_1$, le champ serait immobile par rapport au rapport au rotor et aucun courant ne serait induit dans l'enroulement rotorique [6]

Le rapport $g = \frac{n_1 - n}{n_1}$ est appelé glissement de la machine asynchrone.

I.5 Etude des différents défauts affectant de la machine asynchrone

Bien que la machine asynchrone a la réputation d'être robuste, elle peut présenter comme tout autre machine électrique, des défaillances d'ordre électrique ou mécanique. Notre objectif est de détecter ces défauts en cours d'évolution ou en cours d'apparition [7].

Parmi toutes les méthodes utilisées ou proposées, on se doit de prélever un ou plusieurs signaux pour :

- les traiter,
- les analyser,
- conclure à une défaillance ou non, avec certitude

I.5.1 Cause des défauts

Pour le stator, les effets sont principalement dus à un problème [6] :

- thermique (surcharge),
- électrique (diélectrique),
- mécanique (bobinage),
- environnemental (agression).

Pour le rotor, les effets sont essentiellement dus à un problème :

- thermique (surcharge),
- électromagnétique (Force en fonction $B^2(t)$),
- résiduel (déformation),
- dynamique (arbre de transmission),
- mécanique (roulement),
- environnemental (agression).

I.6 Etude statistique des défaillances de la machine asynchrone

Les défaillances peuvent être d'origines diverses: électriques, mécaniques ou bien encore magnétiques. Leurs causes sont multiples et peuvent se classer en trois groupes :

- les générateurs de pannes ou initiateurs de défauts : surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), survoltage d'alimentation, problème d'isolation électrique, usure des éléments mécaniques (roulements à billes), rupture de fixations, etc.
- les amplificateurs de défauts : surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement, etc.

- les vices de fabrication et les erreurs humaines : défauts de fabricant composants défectueux, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine, etc.

Une étude statistique, effectuée en 1988 par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance (de 50 kW à 200kW) a donné les résultats suivants dans la figure.I.5. [7]

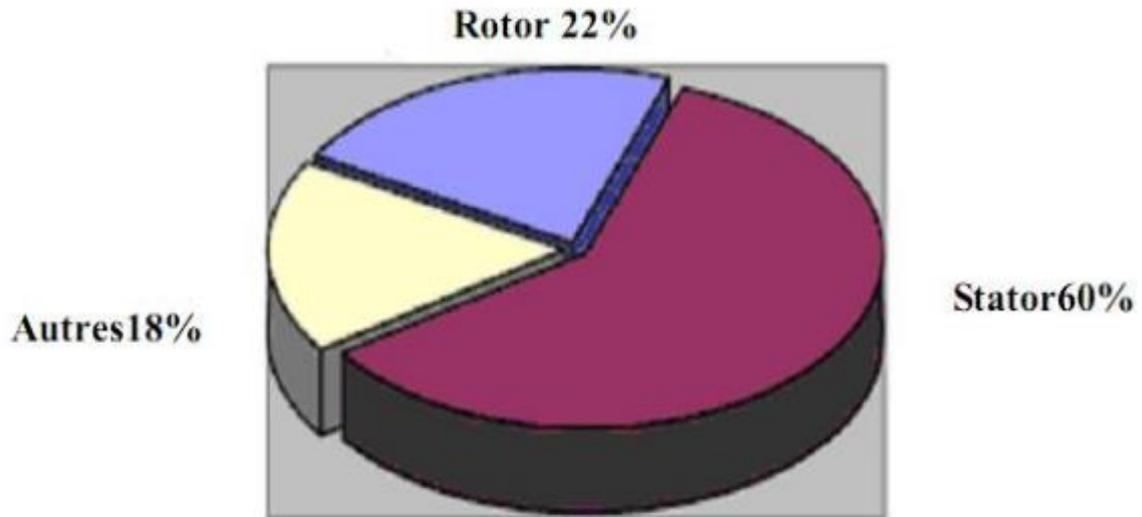


Figure I.5 Proportion des défauts

I.6.1 Défaillances au rotor

Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du rotor, peuvent être définis comme suit [8] :

- Rupture de barres
- Rupture d'une portion d'anneau de court-circuit
- Excentricité statique et dynamique
- Défaut roulement

I.6.1.1 Ruptures de barres

La cassure ou rupture de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor. Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. La détérioration des barres réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique et augmente l'amplitude des oscillations, qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation, ce qui engendre des vibrations mécaniques et donc, un fonctionnement anormal de la machine. La grande amplitude de ces oscillations accélère la détérioration de la machine. Ainsi, le couple

diminue sensiblement avec le nombre de barres cassées induisant un effet cumulatif de la défaillance. L'effet d'une cassure de barre croît rapidement avec le nombre de barres cassées. [8]

I.6.1.2 Ruptures d'anneaux

La rupture de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. Ces ruptures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux.

Comme il est difficile de le détecter, ce défaut est généralement groupé, voir confondu, avec la rupture de barres dans les études statistiques. Ces portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. De ce fait, un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement (température, humidité,...) ou une surcharge de couple et donc de courants, peuvent entraîner leur cassure.

La rupture d'une portion d'anneau déséquilibre la répartition des courants dans les barres rotoriques et de ce fait, engendre un effet de modulation d'amplitude sur les courants statoriques similaire à celui provoqué par la cassure de barres. [8]

I.6.1.3 Excentricité statique et dynamique

Parfois, la machine électrique peut être soumise à un décentrement du rotor, se traduisant par des oscillations de couple (décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor, (Fig. I.6). Ce phénomène est appelé excentricité (statique et dynamique) dont l'origine peut être liée à un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage, à un défaut roulement (usure), à un défaut de charge, ou à un défaut de fabrication (usinage). Trois cas d'excentricité sont généralement distingués.

- l'excentricité statique, le rotor est déplacé du centre de l'alésage stator mais tourne toujours autour de son axe
- l'excentricité dynamique, le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe
- l'excentricité qu'on pourrait qualifier de 'mixte', associant les deux cas précédemment cités

On peut représenter l'excentricité statique et dynamique de la manière suivante :

**Excentricité statique****Excentricité dynamique**

(Plusieurs positions du rotor au cours de la rotation)

Figure I.6 Modélisation schématique de l'excentricité statique et dynamique.

Ce défaut modifie le comportement magnétique ainsi que mécanique de la machine. En effet, l'augmentation de l'excentricité dans l'entrefer induit une augmentation des forces électromagnétiques qui agissent directement sur le noyau statorique ainsi que l'enroulement correspondant, ce qui engendre une dégradation de son isolation.

D'autre part, cette augmentation peut avoir comme conséquence des frottements entre le stator et le rotor en raison des forces d'attraction magnétique qui déséquilibrent le système. Ceci donne naissance à des niveaux de vibration considérables dans les enroulements. [8]

I.6.1.4 Défaut de roulement

Les roulements sont constitués généralement de deux bagues, intérieure et extérieure, entre lesquelles existe un ensemble de billes ou de rouleaux tournants (figure I.7) Les défauts de roulement sont généralement classés dans la catégorie des défauts liés à l'excentricité. Les défauts de roulements à billes peuvent être classifiés comme suit:

- défaut de la bague extérieure
- défaut de bague intérieure
- défaut de billes

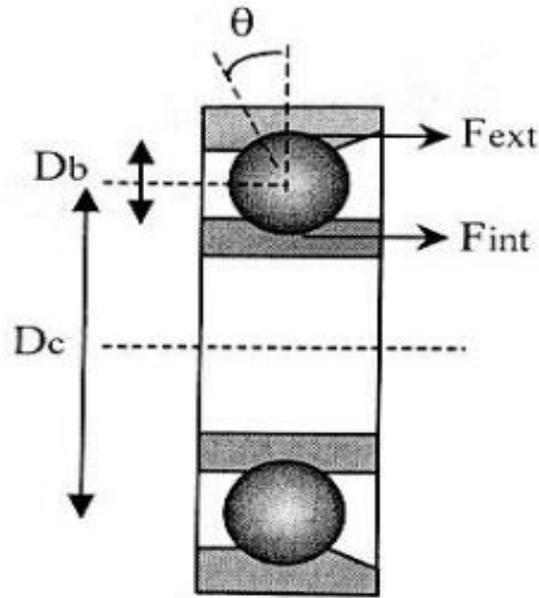


Figure I.7 Roulement à bille

I.6.2 Défaillances au stator

Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du stator, peuvent être définis comme suit. [8] voire le figure.I.8 :

- défaut d'isolant
- court-circuit entre spires
- court-circuit entre bobines
- court-circuit entre phases
- court-circuit phase/bâti
- défaut de circuit magnétique

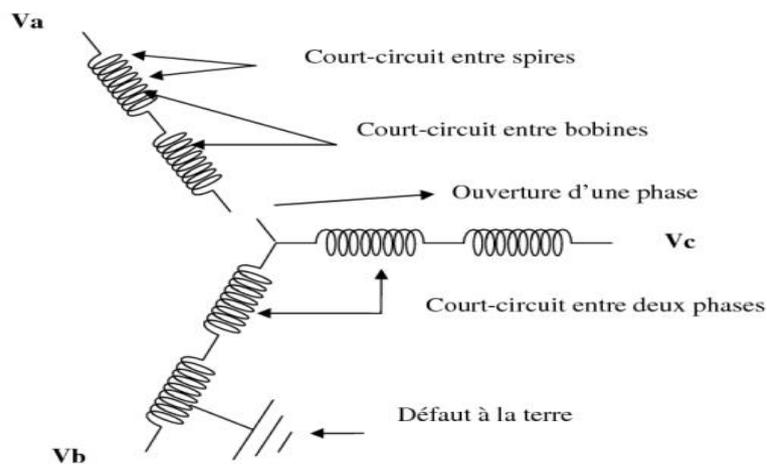


Figure I.8 Défaits statoriques

I.6.2.1 Défauts d'isolant dans un enroulement

La dégradation des isolants dans les enroulements peut provoquer des courts-circuits. En effet, les différentes pertes (Joule, fer, mécanique,...) engendrent une augmentation de la température des différents constituants du moteur. Or, les matériaux d'isolation ont une limite mécanique, de température et de tension. Dans ce cas, un court-circuit peut apparaître dans l'enroulement concerné.

Lorsque le défaut de l'isolant se crée sur une spire, le courant de défaut circule entre le cuivre de cette spire et la tôle du stator (défaut phase - masse). Il peut aussi circuler entre deux spires d'une même phase si l'isolant qui les sépare est détérioré (défaut entre-spires). Dans le cas des bobinages à deux couches, une même encoche peut contenir des conducteurs de deux phases différentes.

La détérioration simultanée et dans une même zone, des isolants de ces deux bobines provoque un contact électrique entre deux spires de deux phases différentes (défaut phase-phase). Ce type de défaut peut aussi exister dans les bobinages à une couche au niveau des têtes de bobines où les conducteurs de deux phases différentes peuvent entrer en contact. La topologie du circuit électrique est ainsi influencée par ces défauts. [6]

I.6.2.2 Court-circuit entre spires de la même phase

Le chauffage excessif provoqué par le court-circuit entre spires est la raison pour laquelle les moteurs tombent en panne presque toujours en quelques minutes, si ce n'est quelques secondes. Ainsi, chaque 10°C additionnel augmente la détérioration de l'enroulement deux fois plus rapidement que dans un fonctionnement à température normale. Le défaut de court-circuit entre spires de la même phase est assez fréquent dans la machine asynchrone, ce défaut a pour origine un ou plusieurs défauts d'isolant dans l'enroulement concerné. Il entraîne une augmentation des courants statoriques dans la phase affectée, une légère variation de l'amplitude sur les autres phases, modifie aussi le facteur de puissance et amplifie les courants dans le circuit rotorique. Donc, la conséquence est une augmentation de la température au niveau du bobinage et, de ce fait, une dégradation accélérée des isolants, pouvant encourager l'apparition d'un 2^{ème} court-circuit, alors un défaut en chaîne. Par contre, le couple électromagnétique moyen délivré par la machine reste sensiblement identique hormis une augmentation des oscillations de couple liées au déséquilibre des courants de phases engendré par le défaut. [6]

I.6.2.3 Court-circuit entre phases

Ce défaut 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. [6]

I.6.2.4 Défaillances de circuit magnétique

Les tôles du circuit magnétique sont feuilletées et isolées entre elles, cependant elles peuvent se retrouver court-circuitées. Les causes les plus fréquentes de défaut de circuit magnétique sont généralement liées à un défaut sévère d'excentricité statique et/ou dynamique qui peut conduire à un contact front entre le stator et le rotor ce qui détruit le circuit magnétique, ou bien court-circuit des conducteurs qui peut également provoquer un échauffement local intense dans les tôles, ainsi la projection des corps étrangers dans l'entrefer peut entraîner l'abrasion des tôles et ainsi les court-circuitées [6]

I.7 Diagnostic et surveillance des systèmes

La maintenance nécessite de connaître les régimes de fonctionnement des systèmes alors que la surveillance donne une réponse aux besoins d'information de la maintenance dans le but de garantir le bon fonctionnement des systèmes. Le diagnostic s'intègre à la surveillance en ayant pour objectif de déterminer les causes de dysfonctionnement.

Le diagnostic des défauts nécessite d'obtenir des symptômes caractéristiques du fonctionnement de l'entraînement surveillé et de les analyser pour en déduire l'état du système. L'établissement des symptômes se fait, souvent, en référence à la connaissance du comportement sain dont on dispose. [9]

I.7.1 Différentes étapes techniques du diagnostic industriel

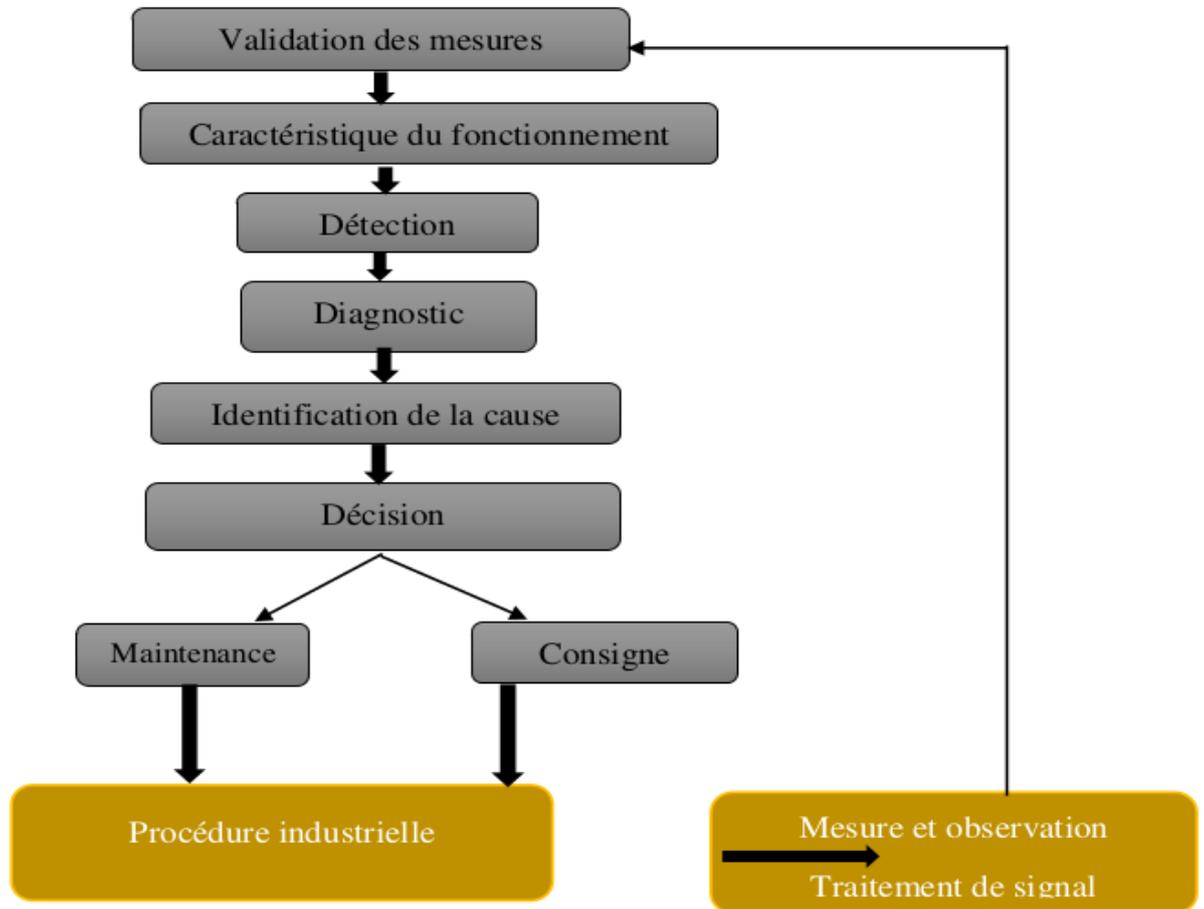


Figure I.9 Diagnostic industriel

I.7.2 Surveillance

La surveillance est un dispositif passif, informationnel qui analyse l'état du système et fournit des indicateurs. La surveillance consiste notamment à détecter et classer les défaillances observant l'évolution du système puis à les diagnostiquer en localisant les éléments défilants les causes premières, voire fig. I.10.

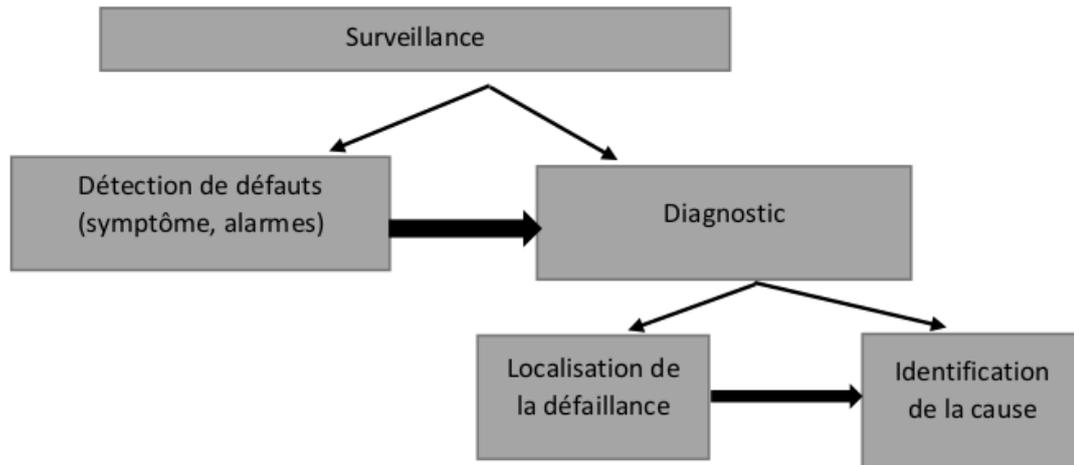


Figure I.10 Schéma de la surveillance

La surveillance se compose de deux fonctions principales qui sont la détection et le diagnostic :

- **Détection**

Pour détecter la défaillance du système : il faut être capable de classer la situation observable comme étant normales ou anormales. Cette classification n'est pas triviale, étant données le manque d'information qui caractérise généralement les cas anormaux. Une simplification communément adoptée consiste comme anormales toute situation qui ne sont pas normales.

- **Diagnostic**

L'objectif de la fonction diagnostique est de rechercher les causes et de localiser les organes qui ont entraîné une observation particulière. La fonction de diagnostic se décompose en deux fonctions élémentaires : localisation et identification des causes.

La localisation permet de déterminer les sous-ensembles fonctionnels défaillants tandis que l'identification de la cause consiste à déterminer les causes qui ont mené à une situation anormale.

I.8 Différentes techniques de diagnostic des machines électriques

Le diagnostic des machines électriques a existé depuis la première mise en œuvre de ces machines. Les constructeurs et les utilisateurs de ces machines, dans un premiers temps emploient des méthodes de protection simple telles que la détection des surintensités, surtension, défaut à la terre etc... Les techniques et les moyens étaient rudimentaires et n'intervenaient qu'au dernier stade du défaut.

Depuis plus d'une vingtaine d'années, des études et des recherches ont été menées sur la façon dont on pourrait détecter une panne, une défaillance et d'y comprendre la relation cause à effet. Des conférences internationales dédiées exclusivement au diagnostic sont tenues

annuellement. Plusieurs ouvrages, publications et communications ont vu le jour. Ainsi, on pourrait améliorer la fiabilité du moteur asynchrone, donc augmenter sa durée de vie.

Les techniques de diagnostic sont généralement liées aux types de défauts. Certaines techniques sont plus adaptées pour un type particulier de défaut, d'autres peuvent être utilisées pour n'importe quel type de défaut. L'intérêt de la technique réside dans l'instrumentation employée, la facilité de la mise en œuvre ainsi que la richesse de l'information fournie sur l'existence ou non du défaut et de sa sévérité.

La machine fournit lors de son fonctionnement un certain nombre de symptômes tels que le bruit, la température et les vibrations. Ces symptômes ne sont que la manifestation flagrante d'une modification des caractéristiques temporelles et fréquentielles. Par conséquent, un certain nombre de techniques se basent sur l'analyse de bruit, de la température ou des vibrations pour détecter une éventuelle présence des défauts. Outre ne couvrant pas la totalité des défauts, leurs mises en œuvre est difficile, voire impossible dans certains cas. Car elles nécessitent l'introduction de capteurs au niveau de la machine.

Le traitement de signal, l'analyse spectrale plus particulièrement, est utilisée depuis de nombreuses années pour détecter des défaillances dans les machines électriques, essentiellement les ruptures de barre au rotor, la dégradation de roulements, les excentricités, le court-circuit dans les bobinages. Ces cas se prêtent bien à cette approche dans la mesure où de nombreux phénomènes se traduisent par l'apparition de fréquences directement liées à la vitesse de rotation de la machine dans les grandeurs électriques tels que le courant de ligne, le module des courants de Park, la puissance instantanée statorique ...etc.

Une comparaison entre le spectre du courant d'alimentation et celui du signal fournis par un capteur de vibration montre que l'utilisation des courants statoriques est très intéressante pour le diagnostic, puisque les informations présentées dans l'analyse des courants englobent celles trouvées dans l'analyse vibratoire et celles liées aux phénomènes électriques.

La détection et la localisation des défaillances par estimation paramétrique consistent à identifier les paramètres structuraux d'un modèle de connaissance, puis d'extraire les paramètres physiques du système à partir des lois de connaissances. Parmi les travaux utilisant cette technique de diagnostic établit l'identification de court-circuit de spire au bobinage statorique en utilisant la méthode d'erreur de prédiction sur le modèle d'erreur de sortie.

Les résultats obtenus ces dernières années ont motivé certaines compagnies pour le développement d'instruments de mesure capables de donner une indication sur l'existence du défaut de cassure de barre ou d'anneau de court-circuit.[8]

La distinction entre les méthodes utilisées est donc faite entre, les méthodes qui effectuent l'analyse des signaux d'acquisitions sans connaissance a priori, qualifiées de diagnostic externe par, et celles qui nécessitent la formulation d'un modèle mathématique du système, qualifiées de diagnostic interne par ce même auteur.

Toutes ces méthodes permettent de générer une information pertinente (paramètres, vecteur forme, règles, etc...) pour l'élaboration des indicateurs de défauts pour le système. Le choix d'une méthode se fera en fonction de la nature de ces indicateurs de défaut.(voir le figure.I.11)

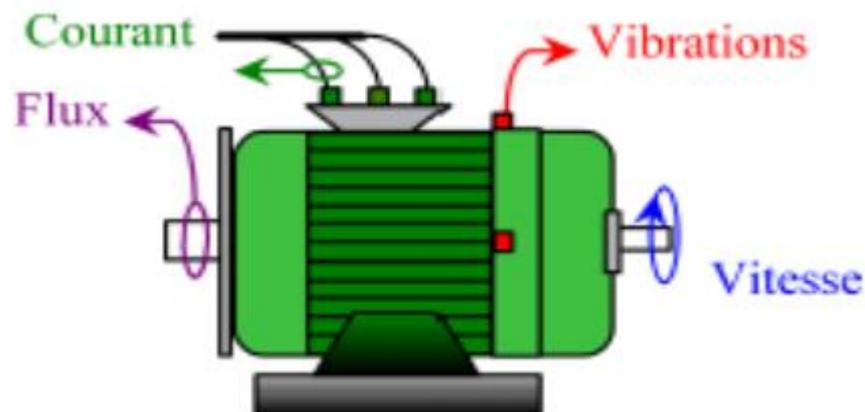


Figure I.11 Différentes grandeurs de diagnostic dans une machine. [8]

I.9 Méthodes de diagnostic

I.9.1 Diagnostique par mesure de la température

Les températures des supports sont surveillées sur des bases de routine, et fournissent des informations utiles. Un volume de liquide refroidissant, débouché sur des températures, est aussi précieux pour l'indication des problèmes de refroidissement et pour le contrôle lorsqu'il est proposé de faire opérer la machine au-delà de sa puissance.

Les températures des bobines sont aussi impératives pour la détermination de la limite pour laquelle le moteur peut être chargé et pour l'estimation de la durée de vie rémanente de l'isolation des enroulements. Elles sont rarement mesurées à cause des problèmes d'obtention de l'isolation électrique contre les conducteurs de haute tension, bien que les détecteurs de température soient parfois intercalés dans l'isolant renfermé sur le point surchauffé du conducteur, mais cela affaiblit l'intégrité de l'isolant.

Il demeure donc une nécessité pour le capteur de fortes températures lequel peut être monté sur les enroulements ou inséré dans l'isolant électriquement isolé par rapport à son instrument de mesure. [10]

I.9.2 Diagnostic par mesure des vibrations mécaniques

Le diagnostic des défauts en utilisant les vibrations mécaniques est la méthode la plus utilisée dans la pratique. Les forces radiales, créées par le champ d'entrefer, provoquent des vibrations dans la machine asynchrone. .

La distribution de l'induction magnétique dans l'entrefer, est le produit de la F.m.m (F_m) et de la perméabilité

$$\mathbf{B}_s = \mathbf{F}_m \times \mu_m \quad (I.2)$$

La force magnétomotrice contient les effets des asymétries du stator ou du rotor, en plus la perméabilité dépend de la variation de l'entrefer (à cause des ouvertures des encoches statoriques et rotoriques, l'excentricité).

Pour la surveillance de vibrations on utilise des capteurs tels que les accéléromètres. Des balourds magnétiques, mécaniques et/ou des forces produisent des vibrations. Ces dernières sont mesurées suivant la direction radiale ou la direction axiale. Les mesures ainsi effectuées sont analysées du point de vue spectrale.

Les spectres des signaux de vibrations, issus du moteur avec défaut, sont comparés avec ceux enregistrés lorsque le moteur est en bon état. Ceci permet la détection aussi bien des défauts électriques que mécaniques (défauts d'enroulements statoriques, irrégularité d'entrefer et asymétrie de l'alimentation). [6]

I.9.3 Diagnostic chimique

Plusieurs moteurs sont refroidis par l'air ou à l'aide d'un circuit fermé avec un échangeur de chaleur hydro réfrigéré. La dégradation de l'isolation électrique dans le moteur produit le gaz d'oxyde de carbone qui apparaît dans le circuit de l'air refroidissant et qui peut être détecté par une technique d'absorption infrarouge.

L'air est tiré du moteur à travers le tube vers le détecteur infrarouge par une pompe auxiliaire. Seuls les moteurs en service sont échantillonnés et la forme de l'air de chaque moteur est analysée pendant deux minutes.

L'huile de roulement est aussi analysée régulièrement, et l'intervention est requise si les produits indiquant la dégradation sont présents.

A ce stade, on peut conclure que la plupart des techniques précitées exigent l'emploi des capteurs, qui doivent être placés au niveau de la machine. C'est pour cette raison elles peuvent être utilisées que pour les machines de grande puissance. [10]

Ces techniques sont basées généralement sur l'utilisation des grandeurs mécaniques, afin que les ingénieurs mécaniciens puissent faire leur interprétation, malgré que les machines sont des moteurs électriques. La présence des ingénieurs électriciens est nécessaire pour intervenir dans la partie électrique et pour cette raison, les techniques de diagnostics sont de plus en plus orientées vers l'emploi des grandeurs électriques vu leur accessibilité et la simplicité du capteur utilisé.

I.9.4 Diagnostic par mesure de flux magnétique

Le flux de fuite axial peut être détecté par une bobine (bobine exploratrice) enroulée autour de l'arbre de la machine (Figure I.12) et aussi par n'importe quel arrangement symétrique simple des bobines placées à l'extrémité de l'arbre de la machine ou par d'autres dispositifs sensibles telles que les sondes à effet hall.

Lorsque la bobine est enroulée autour de l'arbre d'une machine électrique, elle est le siège d'une force électromotrice (E_m) induite qui est liée aux flux de fuite axiaux.

Les flux de fuites sont présents dans toutes les machines électriques en raison des asymétries dans les circuits électriques et magnétiques qui sont dues aux fluctuations du réseau électrique et les tolérances pendant le processus de fabrication.

L'analyse spectrale de la tension induite peut être utilisée pour identifier les différentes asymétries et défauts. Le contenu d'harmoniques des flux de fuites axiaux du stator et du rotor est directement en relation avec les harmoniques contenus respectivement dans les courants du stator et du rotor. [10]

La conséquence directe d'un défaut est l'augmentation du flux de fuite axial. Cette augmentation du flux est la condition nécessaire pour l'utilisation du flux de fuite axial comme une technique de diagnostic, c'est-à-dire ce dernier doit avoir une valeur importante.

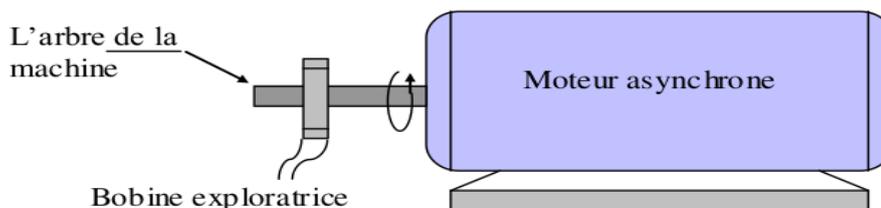


Figure I.12 Bobine exploratrice pour la mesure du flux de fuite axial.

I.9.5 Diagnostic par mesure du couple électromagnétique

Le couple électromagnétique développé dans les machines électriques, provient de l'interaction entre le champ statorique et celui rotorique. Par conséquent, tout défaut, soit au niveau du stator ou au rotor, affecte directement le couple électromagnétique. L'analyse spectrale du signal du couple (mesuré ou estimé), donne des informations sur l'état de santé du moteur. Celle apportées par le courant d'une seule phase (oscillations plus importantes et plus visibles). Ceci présente l'avantage de cette méthode par rapport aux autres.

I.9.6 Diagnostic par mesure du courant statorique

Parmi tous les signaux utilisables, le courant statorique s'est avéré être l'un des plus intéressants, car il est très facile d'accès et nous permet de détecter aussi bien les défauts électriques que les défauts purement mécaniques. Cette technique est dénommée "Motor Current Signature Analysis" (MCSA). Les défauts de la machine asynchrone se traduisent dans le spectre du courant statorique soit par :

- L'apparition des raies spectrales dont les fréquences sont directement liées à la fréquence de rotation de la machine, aux fréquences des champs tournants et aux paramètres physiques de la machine (nombre d'encoche rotorique et nombre de paires de pôles)
- La modification de l'amplitude des raies spectrales, déjà présentés dans le spectre du courant. La surveillance via le courant statorique nécessite une bonne connaissance des défauts et leurs signatures. Elles sont utilisées pour le moment dans le contexte de machines alimentées par le réseau et pour la recherche de fréquence caractéristique de défauts [6]

I.10 Conclusion

L'objectif de cette étude était d'établir un état de l'art des méthodes de diagnostic et de la machine asynchrone. Nous avons scindé ce chapitre en 2 parties : la première concerne la constitution de la machine asynchrone et le principe de fonctionnement. La deuxième partie nous avons présenté une synthèse des méthodes de diagnostic de la machine asynchrone basée sur le traitement du signal des grandeurs mesurables, à savoir le courant, la vibration, le flux et l'estimation du couple électromagnétique. Dans le suivant chapitre nous abordons la maintenance de la machine asynchrone triphasée.

Chapitre II

Notion sur les méthodes de maintenance

II.1 Introduction

Utilisé dans différents domaines, Le moteur asynchrone a nécessité le développement de méthodes de maintenance pour le moteur à induction, suite aux défauts récurrents auxquels il est exposé, nous tenterons de présenter certaines des méthodes les plus utilisées pour le maintenance et contrôle des moteurs asynchrones.

Dans cette perspective, les entreprises sont amenées à améliorer leur compétitivité et donc leur productivité. « Produire plus pour moins cher » c'est avoir une meilleure disponibilité des moyens de production avec des dépenses moindres. Cependant la maintenance est régie selon ces deux facteurs : une maintenance mieux ciblée, c'est moins d'indisponibilité ; une maintenance mieux maîtrisée, c'est moins de dépenses.

À cette l'importance du processus maintenance et à son impact sur les performances des installations, des méthodes d'optimisation ont été développées permettant d'aider les responsables de maintenance à instaurer ou à modifier les stratégies de maintenance telle que la méthode "AMDEC", la méthode "ISHIKAWA" (ou le diagramme Causes Effets), Le diagramme de "PARETO".

II.2 Maintenance Industrielle

La maintenance industrielle permet d'améliorer la qualité des produits fabriqués en maintenant ou en remettant en état un système de production. Nous pouvons repérer deux types de maintenance : la maintenance corrective et la maintenance préventive.

La maintenance corrective, désignée aussi par curative, intervient lorsqu'une panne inattendue survient pendant le processus de production. Les conséquences : des arrêts non planifiés des unités de production, des temps d'arrêt plus ou moins longs de la production, des opérateurs sur les lignes de production qui sont en attentes, mais surtout des pertes financières conséquentes pour les industriels.[11]

Quant à la maintenance curative, elle a pour objectif d'éliminer, le plus rapidement possible, la panne en question. A cela s'ajoute la maintenance préventive qui se résume, comme son nom l'indique, dans la planification des changements de pièces d'un système de production en fonction des spécifications de conception ou de l'historique des pannes observées par le passé. Ce processus se déroule selon un plan d'action préalablement défini afin d'éviter les défauts inattendus, de protéger et prolonger la durée de vie des équipements, d'améliorer la fiabilité des systèmes, de diminuer les coûts de remplacement par rapport à une maintenance corrective, de réduire les temps d'arrêt des systèmes de production, et de minimiser les préjudices financiers pour les industriels et

physique pour les humains. Dans ce cas, les opérateurs de maintenance agissent lorsque la production est en arrêt planifié (ex : week-end, congés d'été) et l'ensemble des coûts est calculé à l'avance reposant sur le prix de la pièce, le temps de réparation et le nombre d'opérateurs nécessaires.

II.2.1 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 [12]

II.2.2 Rôle de la maintenance

La direction de l'entreprise doit mettre en œuvre la politique de maintenance, cette politique devrait se fixer comme objectif 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. [13]

II.3 Types de maintenances

Deux grandes classes de maintenance ont été définies par les experts selon la présence de défaillance :

La maintenance corrective (en présence de défaillance) et la maintenance préventive (en absence de défaillance)

II.3.1 Maintenance Corrective

C'est l'ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien. C'est-à-dire, la maintenance corrective est effectuée après la détection d'une panne : Elle devra s'appliquer automatiquement aux défaillances complètes et soudaines. Ce type de maintenance sera réservé aux matériels peu coûteux, non stratégiques pour la production et dont la panne aurait peu d'influence sur la sécurité.

II.3.2 Maintenance Préventive

Cette dernière vise à réduire la probabilité de défaillance. Elle doit permettre d'éviter les défaillances des équipements au cours de l'utilisation. La mise en pratique de ce type de maintenance nécessite la décomposition des sous-systèmes en composants (roulement, circuit magnétique, etc...). Ces buts sont les suivants :

- Augmenter la durée de vie des équipements.
- Diminuer le budget de la maintenance.
- Supprimer les causes des accidents graves.

II.3.2.1 Maintenance préventive systématique

Il s'agit d'une maintenance planifiée dans le temps (graissage, lubrification, nettoyage, dépoussiérage, calibrage,...). Elle permet d'éviter les causes de défaillances et de vieillissement des composants du système.

Grosso modo, la maintenance préventive systématique s'adresse aux éléments dont le coût des pannes est élevé, mais ne revenant pas trop cher en changement (les meilleurs exemples sont le changement systématique de l'huile, des filtres, changement de la courroie de synchronisation, des roulements, des paliers de rotation ...). [14]

II.3.2.2 Maintenance préventive conditionnelle

En corrélation avec la maintenance systématique, elle fait l'objet d'une demande croissante dans un grand nombre d'applications industrielles. Cette maintenance est basée sur la surveillance en continu de l'évolution du système, afin de prévenir un dysfonctionnement avant qu'il n'arrive. Elle n'implique pas la connaissance de la loi de dégradation. La décision d'intervention préventive est prise lorsqu'il y a évidence expérimentale du défaut imminent, ou approche d'un seuil de dégradation prédéterminé. Elle impose donc des traitements en ligne, au moins une partie. [14]

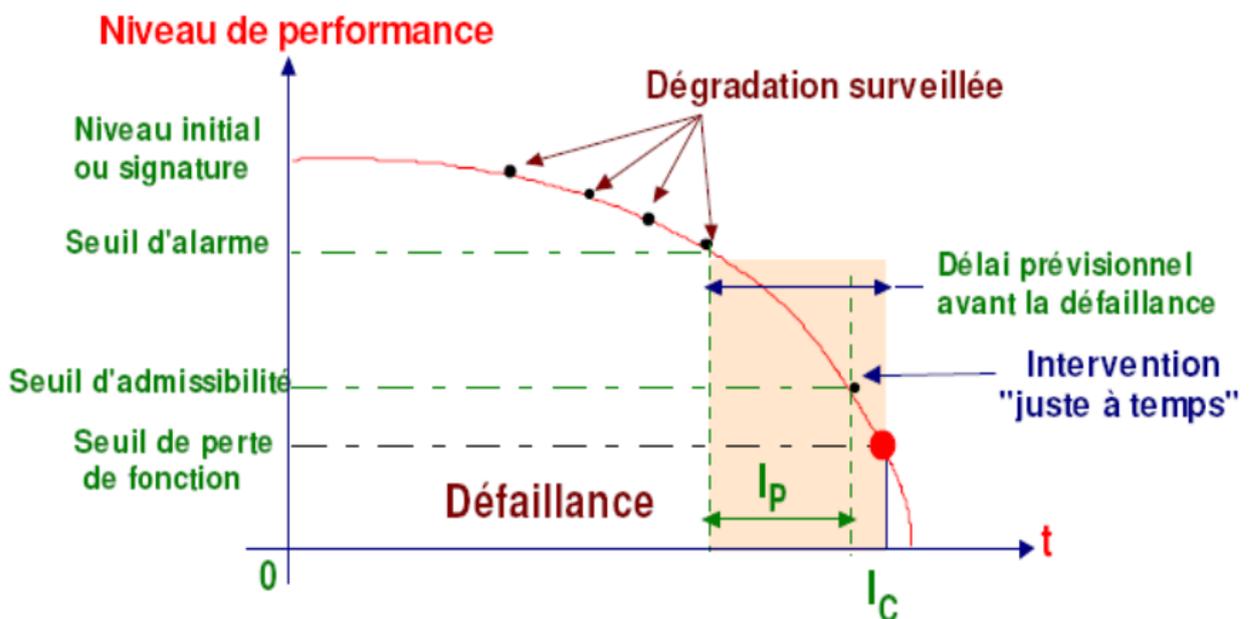


Figure II.1 Principe de la maintenance conditionnelle [15]

- **Anomalie**

On définit l'anomalie par une particularité non conforme à la loi naturelle ou logique

- **Défaillance**

La défaillance est une anomalie de fonctionnement au sein d'un système physique

- **Panne**

La panne est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Une panne résulte toujours d'une défaillance [12].

- **Défaut**

Un défaut est une anomalie de comportement au sein du système. Ce concept est important dans les opérations de surveillance pour la conduite et la maintenance des processus industriels. Tout écart entre la caractéristique observée et la caractéristique de référence est considéré comme étant un défaut.

- **Surveillance**

La surveillance fait référence à la capacité de reconnaître un comportement anormal et de le signaler. Donc c'est l'association de deux grandes fonctions qui sont la détection et le diagnostic.

- **Détection**

Il peut être défini dans la perspective industrielle comme la classification des situations observables du système de fonctionnement comme étant normales ou anormales.

II.4 Opérations de maintenance préventive

II.4.1 Inspections

C'est un ensemble d'activités de surveillance qui consiste à relever périodiquement des anomalies et à exécuter des réglages simples qui ne nécessitent aucun outillage spécifique, ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

II.4.2 Visite

Ce sont des 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. [16]

II.4.3 Contrôle

Ces derniers sont des 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.

II.4.4 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.

II.5 Opérations de maintenance corrective**II.5.1 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.

II.5.2 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.

II.5.3 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. [16]

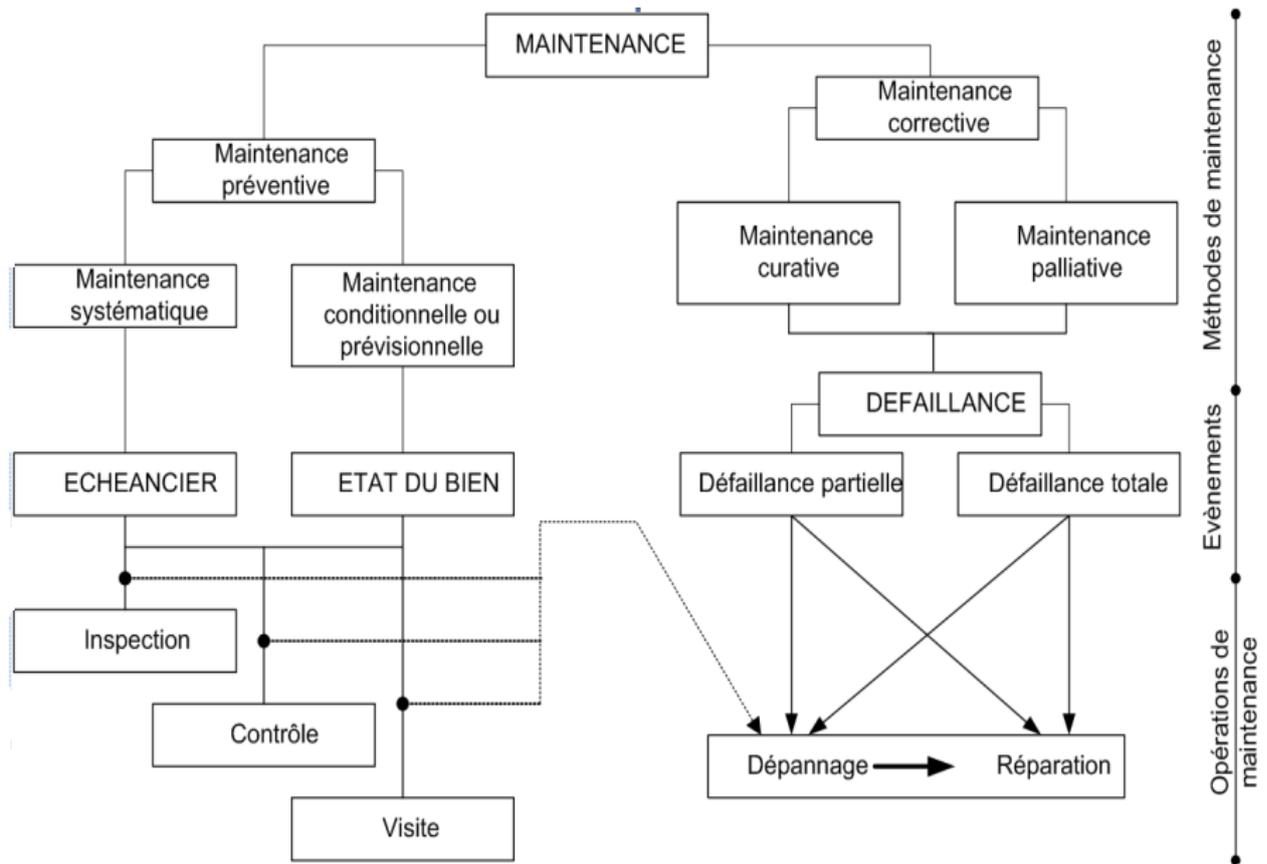


Figure II.2 Méthodes de maintenance et les évènements associés.

II.5.4 Diagnostic

On ne peut procéder au diagnostic qu’après l’arrêt inattendu d’une machine. Il est défini par les instances internationales de normalisation (AFNOR, CEI), (Association Française de Normalisation), comme suit :

Le diagnostic est l’identification de la cause probable de la (ou des) défaillance(s) à l’aide d’un raisonnement logique fondé sur un ensemble d’informations provenant d’une inspection, d’un contrôle ou d’un test. [14]

II.5.4.1 Étapes du diagnostic

La sélection de la méthode de diagnostic la plus appropriée à un système industriel donné ne peut se faire qu’après un recensement des besoins et des connaissances disponibles. L’inventaire des éléments à étudier est le suivant :

- nature des causes de défaillances à localiser.

- connaissance des symptômes associés aux défaillances induites par les causes.
- maîtrise des moyens de mesure des symptômes.
- maîtrise des moyens de traitement des symptômes.
- connaissance des mécanismes physiques entre les causes et les effets.
- inventaire du retour d'expérience.
- recensement des expertises disponibles.
- définition du niveau de confiance dans le diagnostic.
- identification des utilisateurs finaux du diagnostic.

II.6 Méthode d'optimisation de la maintenance

II.6.1 Méthode "AMDEC"

Le mot "AMDEC" est l'abréviation de l'analyse des modes de défaillances de leurs effets et de leur criticité. Il s'agit d'un procédé d'analyse préventive permettant d'identifier et de traiter les causes potentielles de défauts et de défaillance avant qu'ils ne surviennent. "L'AMDEC" est une méthode rigoureuse de travail en groupe, très efficace grâce à la mise en commun de l'expérience et des connaissances de chaque participant, à condition toutefois que l'animateur "AMDEC" soit suffisamment expérimenté. [17]

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

- note "G" : gravité ou sévérité de l'effet du défaut ou de la défaillance.
- note "F" : occurrence ou fréquence d'apparition de la cause.
- note "D" : détection : probabilité de non détection de la cause.

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

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

II.6.2 Buts et objectifs

L'étude "AMDEC" vise essentiellement l'optimisation des coûts. En effet elle constitue une méthode de diagnostic intelligente dans la mesure où elle permet de prévoir un certain nombre de faiblesses, de défauts, d'anomalies et de pannes au niveau de l'ensemble des éléments qui concourent à la fabrication d'un produit.

Donc, le principal objectif lors d'une utilisation de la méthode "AMDEC" est de réduire les coûts de maintenance.

II.6.3 Avantages et les inconvénients de ‘l’AMDEC’**II.6.3.1 Avantage**

La maîtrise des risques à l’aide de la méthode ‘AMDEC’ permet de mener des actions préventives, c’est à dire de résoudre les problèmes avant que ceux-ci ne se présentent. Si cette méthode est suivie tout au long du cycle de vie du produit, la production en sera améliorée et débarrassée de problèmes majeurs.

II.6.3.2 Inconvénients

En général, un brainstorming avec plusieurs personnes impliquées de la conception à la livraison du produit est nécessaire. Pour cela, il faut donc qu’une équipe puisse se mettre d’accord sur les modes de défaillance étudiés. Cette méthode est, de ce fait, lourde à mettre en place.

II.7 Caractéristiques de la méthode ‘AMDEC’

‘L’AMDEC’ est une méthode d’analyse inductive, exhaustive et rigoureuse qui permet une recherche systématique [18] :

- Des modes de défaillance d’un moyen de production.
- Des causes de défaillance générant les modes de défaillance, ces causes peuvent se situer au niveau des composants du moyen de production où être dues à des sollicitations extérieures.
- Des conséquences des défaillances sur le moyen de production, sur son environnement, sur le produit ou sur l’homme.
- Des moyens de détection pour la prévention et/ou la correction des défaillances.

II.8 Types ‘d’AMDEC’

On peut repérer plusieurs types « d’AMDEC », en fonction du stade de la conception : ‘l’AMDEC’ du concept, ‘l’AMDEC’ du produit et ‘l’AMDEC’ du procédé (AMDEC de la machine). Toutes ces « AMDEC » ont la même structure :

II.8.1 AMDEC produit

Son champ d’action est prévu, au départ, pour la conception des produits afin de les fiabiliser, les améliorer, par exemple, on peut appliquer ‘l’AMDEC’ dans l’analyse des risques bancaires. [18]

II.8.2 AMDEC processus

L'objectif est de mettre en évidence, les problèmes de défaillance créés par les processus de production.

Elle est utilisée pour analyser et évaluer la criticité de toutes les défaillances potentielles d'un produit engendrées par son processus. Elle peut être utilisée aussi pour les postes de travail.

II.8.3 AMDEC équipement

Son extension est facilitée par l'explosion de la démarche qualité. La recherche des 7 zéro afin de fidéliser le client. Il s'applique à des machines, des outils, des équipements et appareils de mesure, des logiciels et des systèmes de transport interne.

II.8.4 AMDEC organisation

Même si la méthode est moins performante que l'analyse des processus, elle contribue pour autant à répondre aux attentes du client. Elle s'applique aux différents niveaux du processus d'affaires : du premier niveau qui englobe le système de gestion, le système d'information, le système production, le système personnel, le système marketing et le système finance jusqu'au dernier niveau comme l'organisation d'une tâche du travail.

II.8.5 AMDEC service

Elle s'applique pour vérifier que la valeur ajoutée réalisée dans le service corresponde aux attentes des clients et que le processus de réalisation de service n'engendre pas de défaillances.

II.8.6 AMDEC sécurité

S'applique pour assurer la sécurité des opérateurs dans, les procédés où il existe des risques.

II.9 Démarche pratique de "l'AMDEC"

L'emploi des "AMDEC" crée une ossature qu'il convient de compléter et d'outillée. Pour cela une analyse plus fine de la pertinence des informations est nécessaire. Le groupe "AMDEC" est tenu de maîtriser la machine et de mettre à jour et s'assurer de la validité de toutes les informations utiles à l'étude. Il appartient à ce groupe de s'appuyer sur le retour d'expérience de tous les opérateurs de tous les services de cycle de fabrication de produit, qui peuvent apporter une valeur ajoutée à l'analyse. [19]

La démarche pratique de "l'AMDEC" se décompose en 4 étapes suivantes :

Etape 1 : initialisation de l'étude qui consiste :

- la définition de la machine à analyser.
- la définition de la phase de fonctionnement.
- la définition des objectifs à atteindre.
- constitution de groupe de travail.
- la définition de planning des réunions.
- la mise au point des supports de travail.

Etape 2 : description fonctionnelle de la machine qui consiste :

- découpage de la machine.
- inventaire des fonctions de service.
- inventaire des fonctions techniques.

Etape 3 : analyse AMDEC qui consiste :

- analyse des mécanismes de défaillances.
- évaluation de la criticité à travers.
- la probabilité d'occurrence F.
- la gravité des conséquences G.
- la probabilité de non détection D.
- la criticité est définie par le produit : $C=F.G.D$
- propositions d'actions correctives.

Etape 4 : synthèse de l'étude/décisions qui consiste :

- bilan des travaux.
- décision des actions à engager

II.9.1 Grille de cotation

La grille de cotation "AMDEC" constitue un standard. "L'AMDEC" permet le risque en cotant trois dimensions : (probabilité d'occurrence F), (gravité des conséquences G), (probabilité de non détection D). Comme dans les tableaux suivant ;

Tableau .II.1 Grille de cotation de la probabilité d'occurrence

Niveau de fréquence: F	Définition des niveaux
Fréquence très faible	Défaillance rare : Moins d'une défaillance par an
Fréquence faible	Défaillance possible : Moins d'une défaillance par trimestre
Fréquence moyenne	Défaillance fréquente : Moins d'une défaillance par semaine
Fréquence forte	Défaillance très fréquente: plusieurs défaillances par semaine

Tableau.II.2 Grille de cotation de la probabilité de non détecté

Niveau de la probabilité de non détection : D	Définition des niveaux
Détection évidente	Défaillance précocement détectable
Détection possible	Défaillance détectable
Détection improbable	Défaillance difficilement détectable
Détection impossible	Défaillance indétectable

Tableau. II.3 Grille de cotation de la gravité

Niveau de gravité : G	Définition des niveaux
Gravité mineure	Défaillance mineure : -arrêt de production inférieur à 2 mn, -aucune dégradation notable du matériel
Gravité significative	Défaillance significative : -arrêt de production de 2 à 20 mn, -remise d'état de courte durée ou une petite réparation sur place nécessaire.
Gravité moyenne	Défaillance moyenne : -arrêt de production de 20 mn à 1 heure, -changement du matériel défectueux nécessaire.
Gravité majeure	Défaillance majeure : -arrêt de production de 1 à 2 heures, -intervention importante sur sous ensemble, -production de pièces non conformes non détectées.
Gravité catastrophique	Défaillance catastrophique : -arrêt de production supérieur à 2 heures, -intervention nécessitent des moyens coûteux.

L'indice de criticité, qui vise à évaluer le niveau de risque .associe à la fonctionnalité d'un équipement permet de décider l'action à entreprendre .Ce indice et déterminé par, voire le tableau.II.3

:

Tableau .II.4 Grille de cotation Criticité

Niveau de criticité		Action corrective
Criticité entre $1 \leq C < 12$	Criticité négligeable	Aucune modification de conception intenance corrective.
Criticité entre $12 \leq C < 16$	Criticité moyenne	Amélioration des performances de l'élément maintenance préventive systématique.
Criticité entre $16 \leq C < 20$	Criticité élevée	Révision de la conception des sous-ensembles et choix des éléments pour surveillance particulière maintenance préventive conditionnelle.
Criticité entre $20 \leq C < 80$	Criticité interdite	Remise en cause complète de la conception.

II.10 Méthode ISHIKAWA

II.10.1 Présentation

‘ISHIKAWA’ ou le « diagramme Causes/Effets » est une méthode de résolution de problème qui vise à explorer toutes les dimensions de ce dernier en classant par famille et sous-familles les causes de celui-ci. Cette méthode s'intègre dans une logique d'amélioration continue et permet de relier les causes et les effets d'un dysfonctionnement, qui aura le plus souvent pour origine, dans le cas de la maintenance industrielle, la défaillance technique d'un équipement. [20]

Elle est constituée de quatre grandes étapes :

- Identification et définition du problème à traiter.
- Listing des sources possibles d'un dysfonctionnement.
- Classement des causes dans les familles : Matière, Milieu, Méthode, Machine et Main d'œuvre.
- Représentation du diagramme cause effet.

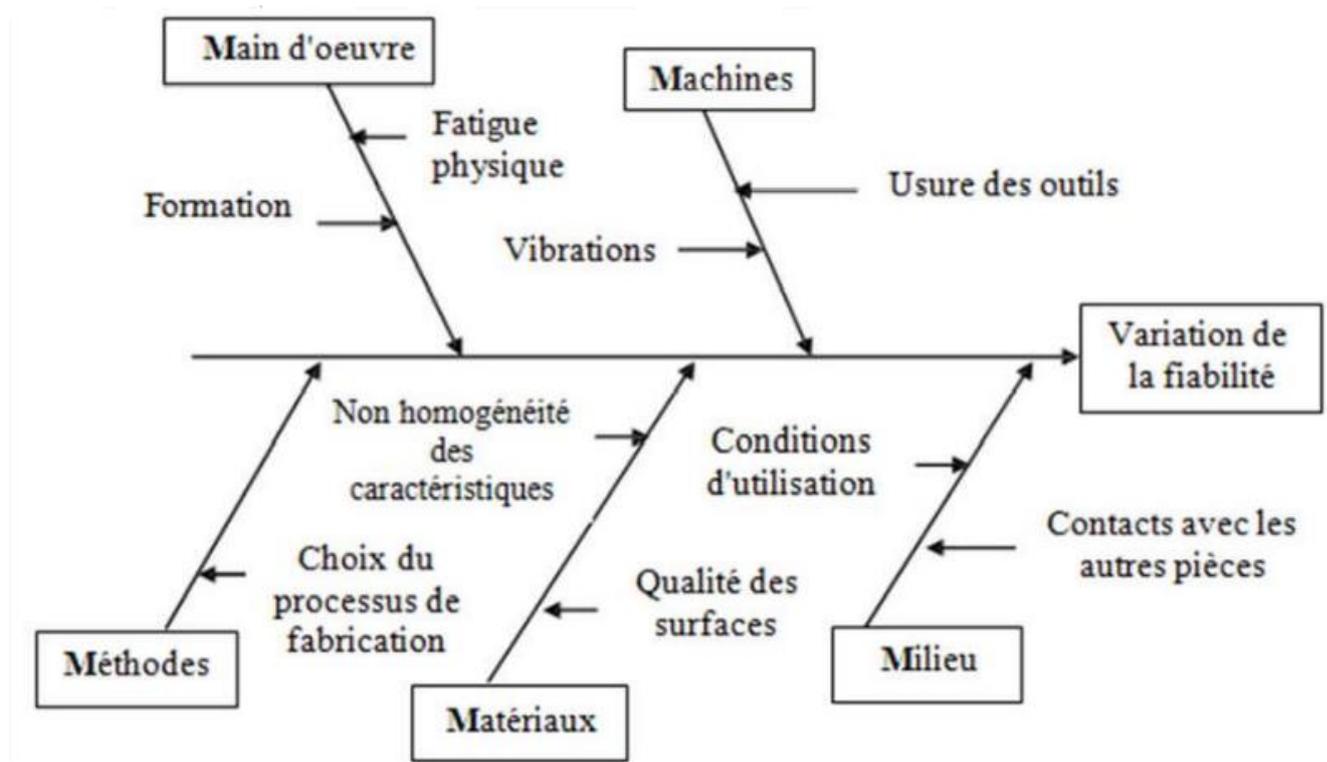


Figure.II.3 Diagramme "ISHIKAWA"

Ce diagramme à 5 branches peut être étendu à une version « 7M » en y ajoutant le management et les Moyens financiers. Cependant, en restant sur des dysfonctionnements techniques, ces deux derniers « M » ne seront pas très représentatifs. Dans un souci de simplicité, mieux vaut rester sur un diagramme Causes / Effets à 5 familles.

II.10.2 Mise en pratique

Comme pour "l'AMDEC", l'utilisation de cette méthode nécessite l'intervention de tous les maillons de la chaîne maintenance. En effet, qui connaît mieux la machine que le technicien de maintenance, qui connaît mieux le milieu que l'opérateur de production, qui connaît mieux les moyens financiers que le superviseur de maintenance?

Le rôle de ce dernier sera également d'animer les séances de réflexion ayant pour objectif de remplir le diagramme.

Bien qu'assez théorique à première vue, cette méthode permet de bien s'intégrer dans la résolution d'un problème et dans la recherche de pannes ou plus généralement de dysfonctionnements techniques.

Elle peut être mise en pratique dans plusieurs cas :

- Suite à une " AMDEC " faisant ressortir des problèmes particuliers sur un équipement.
- Dans le cas de pannes récurrentes d'origine inconnue.

Appliquer " ISHIKAWA " de façon plus générique à l'ensemble des équipements d'un centre de production constitué d'un grand nombre de machines ne sera pas intéressant car c'est une méthode qui demande beaucoup de ressources humaines, de temps de réflexion et qui peut par conséquent vite devenir coûteuse.

II.11 Diagramme de "PARETO"

II.11.1 Présentation

Le diagramme de " PARETO " ou de la loi des 80/20 est un procédé qui vise à optimiser et à résoudre les problèmes les plus connus dans le milieu industriel. Ce que l'on peut remarquer dans la plupart des situations, c'est que 80% des conséquences sont entraînées par 20% des causes. Rapporté à la maintenance, cela signifie que 80% des arrêts d'équipements vont être causés par seulement 20% des causes de pannes référencées. Seulement, pour arriver à de telles conclusions, une analyse préliminaire est nécessaire, chose que nous allons détailler dans la suite à travers un exemple simple. [20]

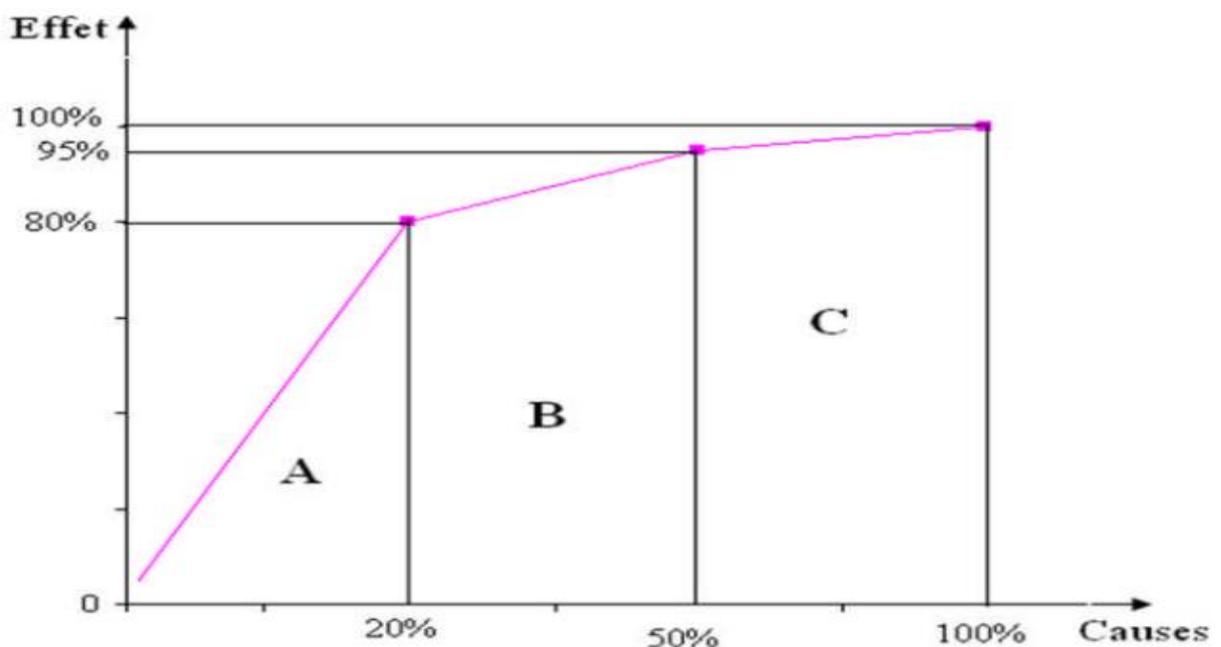


Figure II.4 Courbe de "PARETO"

II.11.2 L'objectif de digramme de 'PARETO'

Le diagramme de 'PARETO' est un moyen simple de classer les phénomènes par ordre d'importance. Parmi les objectifs on cite :

- Faire apparaître les causes essentielles du phénomène
- Hiérarchiser les causes du problème
- Évaluer les effets d'une solution
- Mieux cibler les actions à mettre en œuvre

II.11.3 L'objectif de l'analyse ABC

L'analyse ABC est une analyse permettant :

- D'établir la proportionnalité ou l'importance de chaque élément étudié dans l'ensemble des éléments.
- De trier et donc de classer les éléments les uns par rapport aux autres.
- De tirer les enseignements de cette proportionnalité.
- De vérifier la concentration grâce à l'indice de concentration de Gini
- De déterminer l'importance relative de causes ou d'autres critères.
- De les classer par ordre d'importance.
- De dégager les axes prioritaires

II.11.4 Analyse des résultats

On repère actuellement six causes qui sont à l'origine de près de 80% des pannes. Par conséquent, Si l'on s'attaque, en voie de conséquence, à ces six points, on touchera 80% des problèmes. Nous allons de ce fait minimiser les plans d'action sur lesquels travailler tout en maximisant leurs impacts sur les équipements de l'entreprise.

Ce travail d'analyse de causes peut s'avérer très utile afin de se focaliser sur les sources de pannes impactant le plus la production. Il suppose cependant un historique fiable et complet à partir duquel on pourra extraire des chiffres justes de façon à ne pas se tromper de direction dans la suite de la résolution des pannes.

II.12 Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous passons en revue les généralités de la maintenance, et suivons son évolution et ses objectifs ainsi que ses différentes techniques. et les opérations Après avoir rappelé les principales formes de maintenance, nous avons procédé à leur récapitulation, nous avons également discuté du dossier

Bonnes pratiques de gestion de la maintenance et leur efficacité. Nous avons terminé ce chapitre par une présentation de plusieurs approches stratégiques, à savoir ‘AMDEC’, ‘PARETO’ et ‘ISHIKAWA’, Dans le troisième chapitre, nous essayons d'appliquer la stratégie ‘AMDEC’ et ‘PARETO’ à un groupe de pompes centrifuges.

Chapitre III

Application de la méthode ‘AMDEC’ sur la motopompe

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons entamer la partie essentielle de notre étude, ce qui veut dire, appliquer la méthode AMDEC et la méthode Pareto aux électropompes de la station de Naftal à Tiaret. Nous allons suivre scrupuleusement toutes les étapes de la méthode en commençant par remplir le support de l'étude par les résultats trouvés, et nous donnerons les mesures envisageables pour améliorer la fiabilité et la disponibilité de notre système.

III.2 Pompes centrifuges

III.2.1 Définition

Une pompe centrifuge est une machine rotative qui pompe un liquide en le forçant au travers d'une roue à aube ou d'une hélice appelée impulseur. C'est le type de pompe industrielle le plus commun. Par l'effet de la rotation de l'impulseur, le fluide pompé est aspiré axialement dans la pompe, puis accéléré radialement, et enfin refoulé tangentiellement.[21]

III.2.3 Utilisation

Les pompes centrifuges sont les plus utilisées dans le domaine industriel à cause de la large gamme d'utilisation qu'elles peuvent couvrir, de leur simplicité et de leur faible coût. Néanmoins, il existe des applications pour lesquelles elles ne conviennent pas, comme :

- Utilisation de liquides visqueux, la pompe centrifuge nécessaire serait énorme par rapport aux débits possibles.
- Utilisation de liquides "susceptibles" c'est-à-dire ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe (liquides alimentaires tel que le lait).
- Utilisation comme pompe doseuse ; la nécessité de réaliser des dosages précis instantanés.

III.2.4 Principe de fonctionnement

Une pompe centrifuge dans sa forme la plus simple est constituée d'une roue munie d'ailettes radiales et tournantes à l'intérieur d'une enveloppe corps de pompe. Son principe de fonctionnement est d'utiliser la force centrifuge créée par la rotation de la roue pour transmettre au liquide pompé l'énergie. Le liquide à l'aspiration de la pompe se dirige vers le centre de l'impulseur (rotor) en rotation d'où il sera propulsé radicalement vers l'extérieur par la force centrifuge. Cette vitesse est ensuite convertie en pression au niveau de diffuseur (voire figure.II.1).[21]

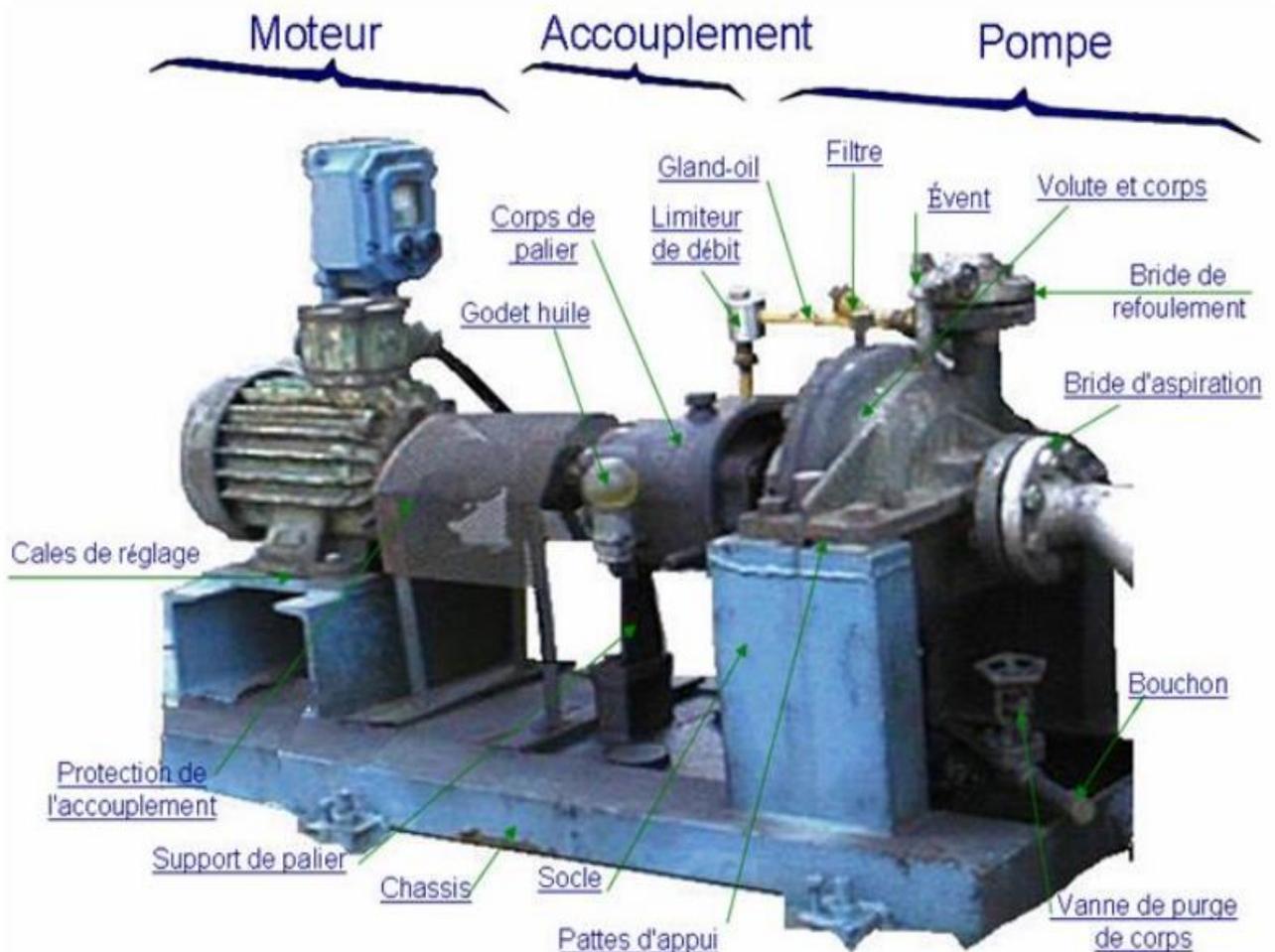


Figure.II.1 Présentation extérieure d'une pompe centrifuge horizontale.

On appelle « corps de pompe » l'enveloppe extérieure de la machine. C'est la partie fixe de la machine ou stator.

Le corps est constitué principalement de la « tubulure d'aspiration », de la « volute », et de la « Tubulure de refoulement ». La partie mobile ou rotor est formée de l'impulseur (roue à aubes), monté sur un arbre.

Le rotor est actionné par une machine d'entraînement qui est le plus souvent un moteur électrique.

On appelle aubes les lamelles grossièrement radiales qui, à l'intérieur de l'impulseur, canalisent le fluide de l'intérieur vers l'extérieur de la volute.

III.2.5 Principaux composants d'une pompe centrifuge

- **impulseur** : c'est l'organe qui transmet au fluide l'énergie fournie par le moteur. C'est une roue munie d'aubes qui animée par un mouvement de rotation entraîne dans son

Chapitre III Application de la méthode ‘AMDEC’ sur la motopompe

mouvement le fluide. Celui-ci arrive axialement jusqu’à la roue et il est rejeté radialement sous l’effet de la force centrifuge.[22]

- **Un diffuseur** : son rôle est de diminuer la vitesse du fluide en transformant une partie de l’énergie cinétique en énergie potentielle. Son utilisation à la périphérie de la roue

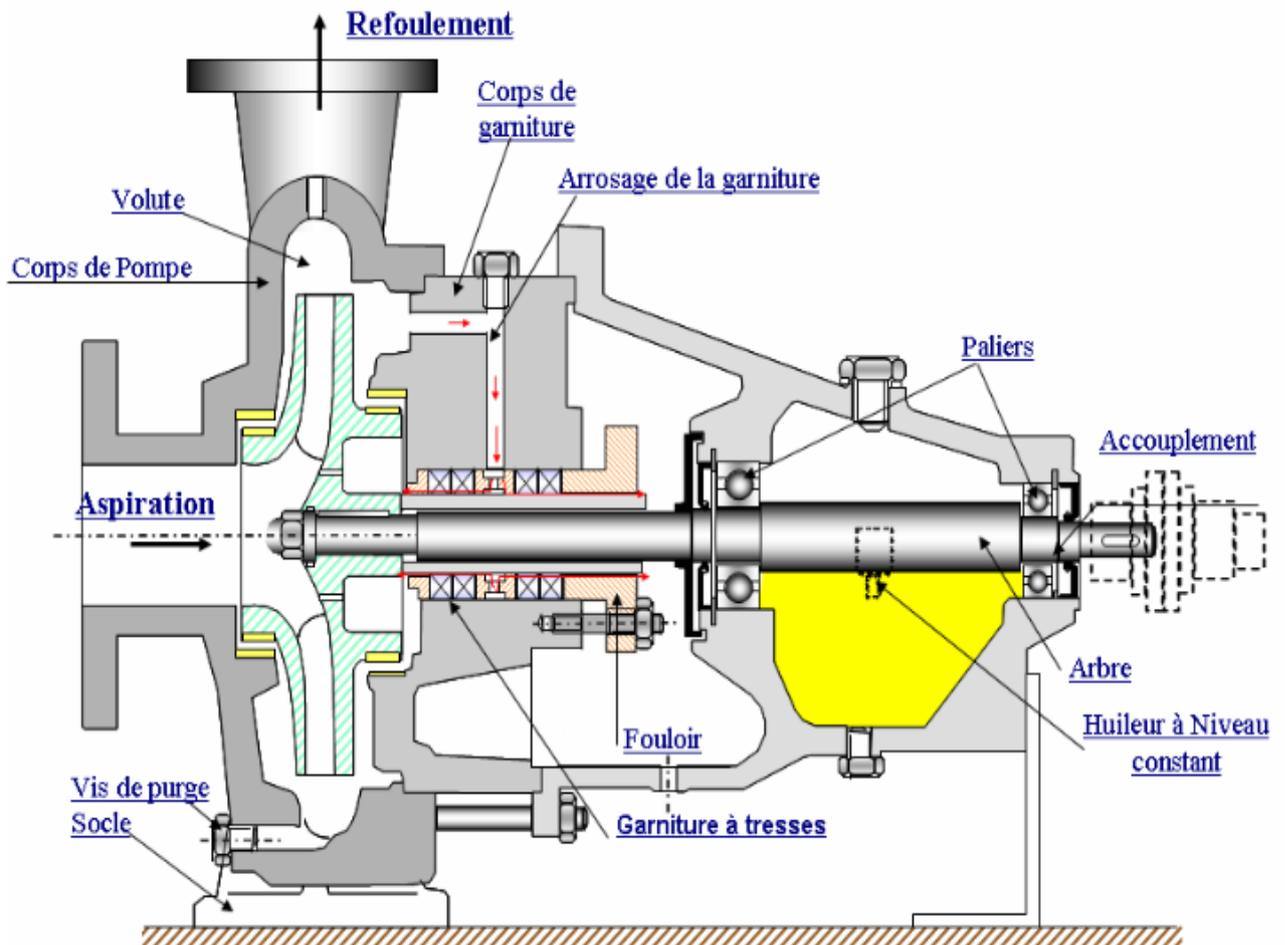


Figure.III.2 Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux.

III.3 Application de la méthode ‘AMDEC’

III.3.1 Définition du système à étudier

Le système à étudier est une Groupe Motopompe Electrique.de la station du carburant de naftal. Il est constitué d’un moteur asynchrone triphasé (WESTRGHOUSE), et d’une pompe centrifuge (GUINARD)

Cette pompe remplit les réservoirs des camions de carburant.

Chapitre III Application de la méthode ‘AMDEC’ sur la motopompe

Pompe centrifuge :

MARQUE : GUINARD

TYPE : SMK 4x6x8 H

N° SERIE : 20617

N° INV : D31470039

Moteur asynchrone :

MARQUE: WESTRGHOUSE S.A

TYPE: DWT- 250 M - 2

N° SERIE : 448042

III.3.2 Objectif à atteindre

Notre étude présentera des méthodes d'entretien Une Groupe Motopompe Electrique pour améliorer leurs performances et fournira des méthodes de diagnostic qui assurent la disponibilité de l'unité de pompage et augmentent la fiabilité de ce système.

III.3.3 Mise au point de la fiche d'analyse

Les supports de l'étude sont fixés par le groupe de travail. Selon l'objectif de l'analyse et le type d'analyse ‘AMDEC’, notre support contient six paramètres (fonction, mode de défaillance, effet, détection et criticité), et les actions correctives sont repérées comme suit

Tableaux.III.1 Support de l'étude

Date de l'analyse:	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ						Phase de fonctionnement :				Page :
	Système :			Sous - Ensemble :							Nom :
Élément	fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets	détection	F	G	D	C	Action Corrective	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	

III.3.4 Analyse du système

Dans un premier lieu on a décomposé fonctionnellement le système (Fig.3)

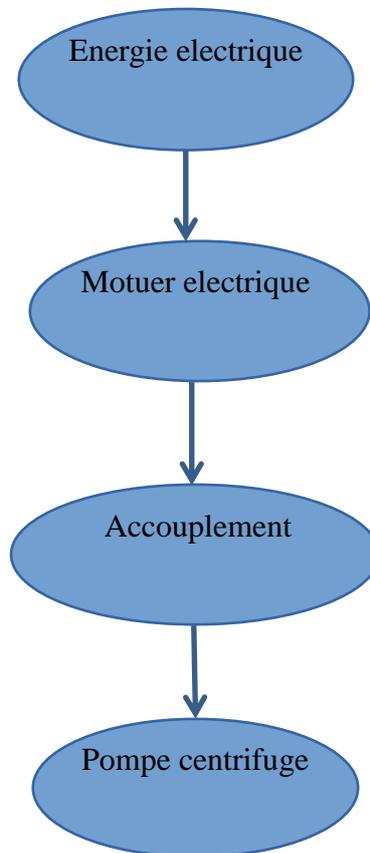


Figure.III.3 Décomposition fonctionnelle du système

III.3.5 Décomposition du matériel

On décomposera tout d’abord notre Groupe Motopompe Electrique en trois dispositifs suivants :

- Moteur asynchrone.
- Pompe centrifuge.
- Accouplement

III.3.5.1 Décomposition des dispositifs

Notre étude se limitera aux mécanismes. Nous décomposons nos mécanismes en organe pour pouvoir atteindre l’objet de notre étude.

Les mécanismes sont décomposés comme suit :

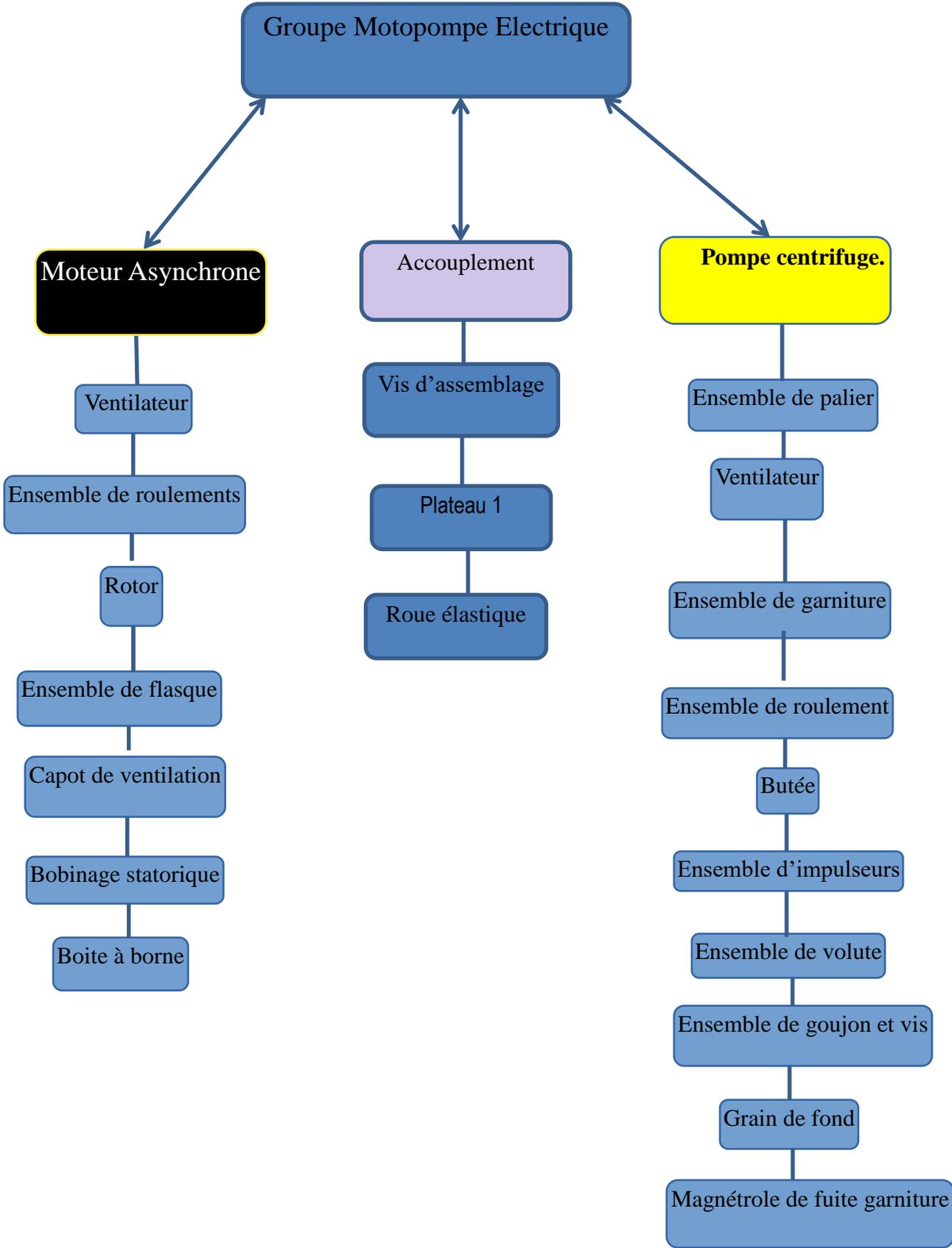


Figure.II.4 Schéma décomposition des dispositifs

III.3.6 Identification des fonctions des sous –ensemble

III.3.6.1 Diagramme de pieuvre du moteur électrique

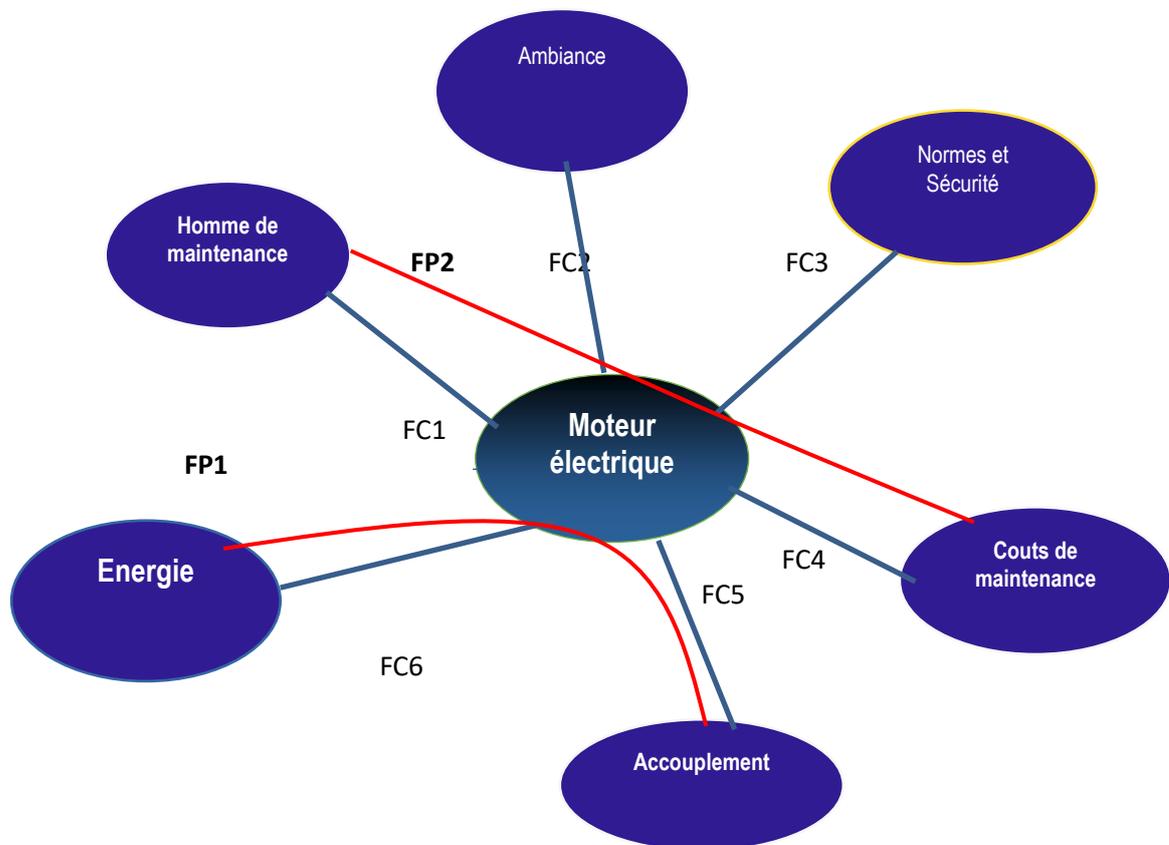


Figure.III.5 Diagramme de pieuvre du moteur électrique

Fonction principale et complémentaire

FP1: Transmettre l'énergie du moteur via l'accouplement.

FP2: Diminuer les coûts de maintenance du moteur par l'homme de maintenance.

FC1: Assurer le bien fonctionnement du moteur.

FC2: Doit résister les conditions environnementales.

FC3: Doit respecter les normes de sécurité de fonctionnement et les interventions.

FC4: Doit réduire les coûts de maintenance.

FC5: Transmettre le couple de rotation du moteur.

FC6: Convertir l'énergie électrique en énergie mécanique.

III.3.6.2 Diagramme de pieuvre de pompe centrifuge

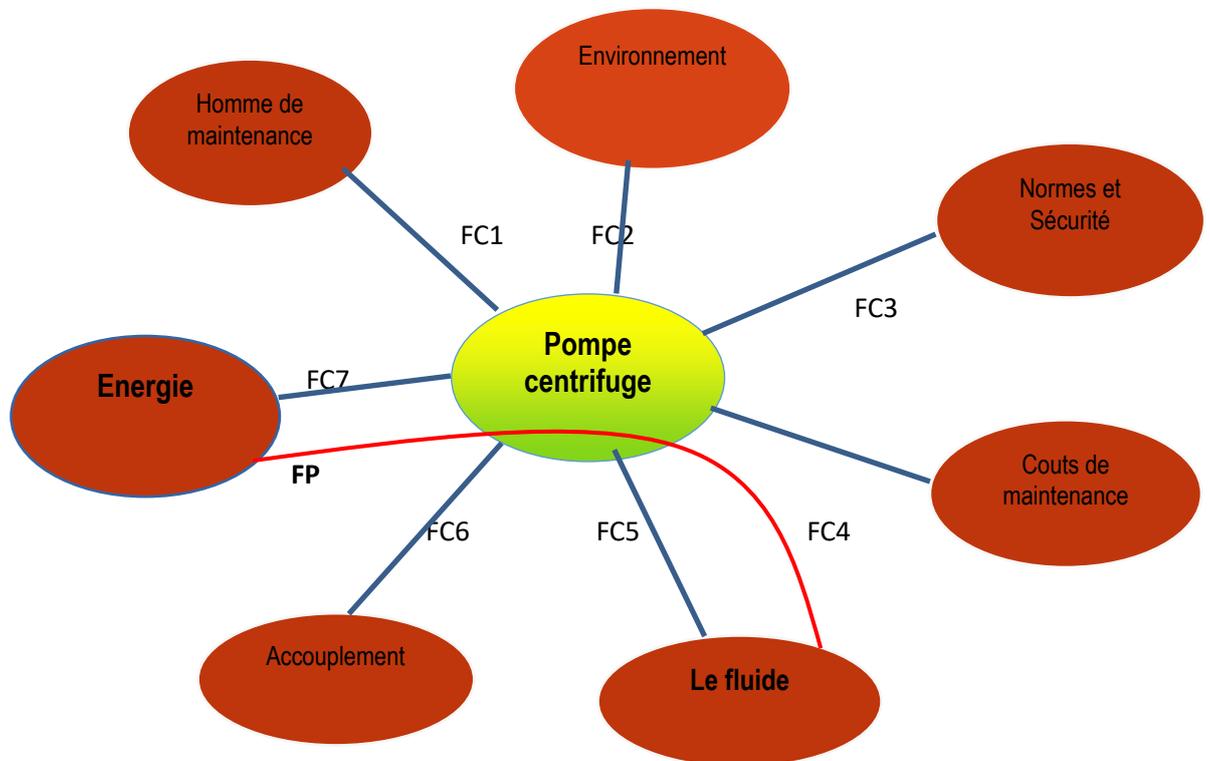


Figure III.6 Diagramme de pieuvre de pompe centrifuge

Fonction principale et complémentaire

FP : Doit pomper le fluide.

FC1: Assurer le bon fonctionnement de la pompe.

FC2: Doit résister les conditions de l’environnement.

FC3: Respecter les normes et les consignes de sécurité.

FC4: Minimiser les coûts de maintenance.

FC5: Débitier le fluide sous pression souhaitée.

FC6: Transmettre la puissance vers pompe.

FC7: Entrainer la pompe centrifuge.

III.3.6.3 Diagramme de pieuvre de l'accouplement

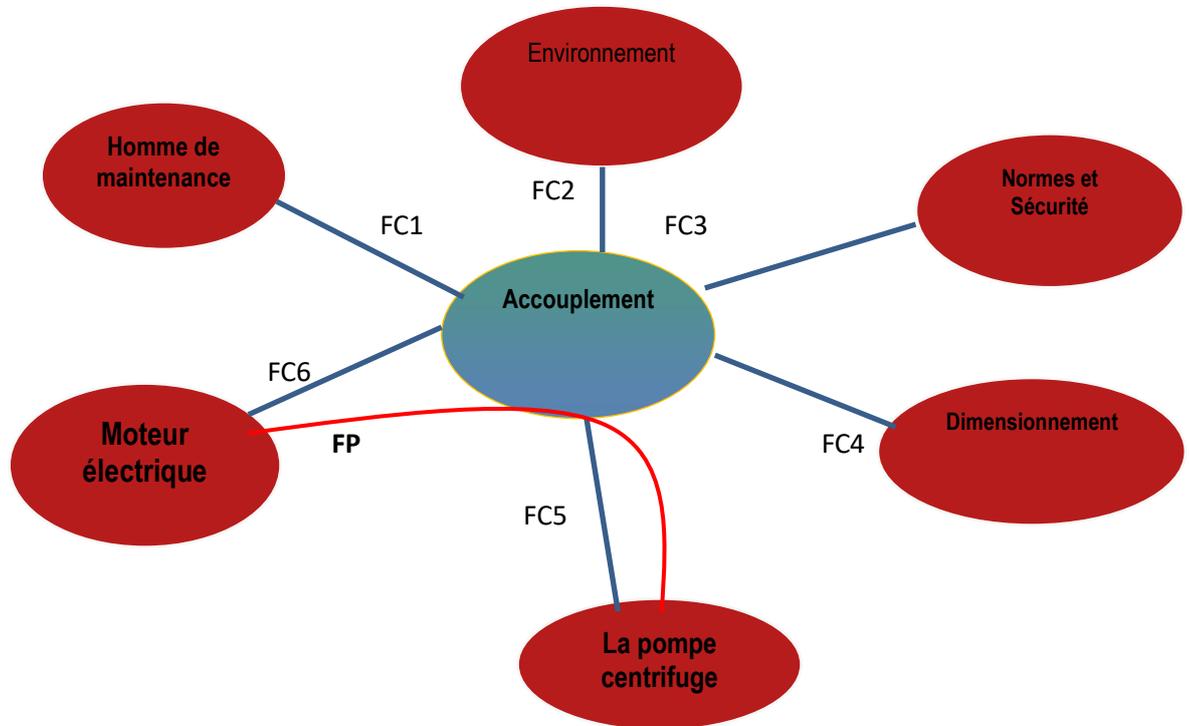


Figure III.7 Diagramme de pieuvre de l'accouplement

Fonction principale et complémentaires

FP : Transmettre la puissance du moteur vers la pompe

FC1: Assurer le bon fonctionnement.

FC2: Doit résister les conditions environnementales.

FC3: Doit respecter les normes de sécurité.

FC4: Doit convenir au système motopompe (puissance, vitesse de rotation, dimensions, etc.).

FC5: Entrainer la pompe (émis de puissance).

FC6: Entrainer par le moteur (réception de puissance).

III.3.7 Analyse AMDEC

Dans cette partie nous allons remplir les tableaux ‘AMDEC’ en suivant les instructions que nous avons citées dans la deuxième chapitre

Chapitre III Application de la méthode ‘ AMDEC ’ sur la motopompe

Date de l'analyse:	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement				page : 1
	Système : Groupe Motopompe Electrique.		Sous - Ensemble : moteur asynchrone							Nom :
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	D	C	
Ventilateur	Ventilateur du moteur	Ne tourne pas	Interruption du circuit électrique Blocage des roulements des paliers	Moteur chaud	Aucun	1	3	4	12	Vérifier le circuit électrique Changer les roulements
Stator	Créer un champ tournant	Grillage d'enroulement Défaillance de phase Défaillance d'isolement	Interruption du circuit Rupteur fil de bobinage	arrêt du moteur	Visuelle après démontage	3	4	3	36	Vérifier le circuit Changer le bobinage
Rotor	Tourne et produit l'énergie mécanique	Ne tourne pas	Défaut roulement	arrêt du moteur	Aucun	1	4	3	12	Changer les roulements
boite à bornes	Assure l'alimentation du moteur	Etanchéité (court-circuit)	Défaut d'isolement	Arrêt de la Moteur	Contrôle d'isolement	1	4	3	12	Changer le biote

Chapitre III Application de méthode "AMDEC" sur la motopompe

Date de l'analyse:	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement :				page : 2
	Système :Groupe Motopompe Electrique.		Sous - Ensemble : pompe centrifuge							Nom :
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	D	C	
Arbres	Transmettre une puissance sous forme d'un couple et d'un mouvement de rotation	-Vibration -Usure	-Mauvaise lubrification -Surcharge	Arrêt de la pompe	Visuel	1	4	2	8	Changer l'arbres
Ensemble de roulements	Supporte les charges et facilite le mouvement	-Déformation -Grippage	-Chocs -Manque de graissage	vibration	-Bruit -vibration	3	3	2	18	-Changer le roulement -Grisage périodique
Ensemble de garnitures	Assure l'étanchéité de la pompe, éviter les fuites du liquide à l'extérieur	-Usure des faces -Usure des joints	-Joint défectueux -Usure de la garniture	Diminution du débit	Visuel après démontage	2	3	3	18	Changer les garnitures
Impulseur	Transmettre l'énergie de l'arbre au produit	-Usure -Rupture	-Effort très élevés	Arrêt de la pompe	-Bruit -vibration	2	4	4	32	Changer l'impulseur
Ensemble de bagues	Assure l'étanchéité et protection	-Usure -Cassure	-Frottement élevé -Chocs	-Usure de l'arbre -Fuite	Visuel après démontage	1	3	2	6	Changer bague

Date de l'analyse:	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement :				page : 3
	Système : Groupe Motopompe Electrique.		Sous - Ensemble : Accouplement							Nom :
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	D	C	
Accouplement	Transmettre le mouvement de rotation	Rupture des lamelles	-Vibration -Cavitation	Arrêt de la pompe et arrêt	-Vibration -Bruit	4	5	2	40	Changer Accouplement

III.3.8 Synthèse

Dans cette dernière étape nous allons hiérarchiser les défaillances selon leurs criticités, nous passons en revue les actions correctives dans le tableau suivant

Tableau.III.2 Des actions correctives

Niveau de criticité	Élément	Action corrective
Criticité entre $1 \leq C < 12$ Criticité négligeable	-Arbres -Ensemble de bagues	- Aucun modification de la conception -Maintenance corrective
Criticité entre $12 \leq C < 16$ Criticité moyenne	-Ventilateur -Rotor -boite à bornes	-Amélioration des performances de l'élément -Maintenance préventive systématique
Criticité entre $16 \leq C < 20$ Criticité élevée	-Ensemble de garnitures -Ensemble de roulements	-Révision de la conception des sous-ensembles et choix des éléments pour surveillance particulière -Maintenance préventive conditionnelle
Criticité entre $20 \leq C < 80$ Criticité interdite	-Accouplement -Stator -Impulseur	-Remise en cause complète de la conception

Criticité entre $1 \leq C < 12$: Arbres ; Ensemble de bagues

Dans ce mécanisme on voit que la criticité des éléments est faible, et il ne nécessite qu'une maintenance corrective

où l'on trouve ça : $C = F \times D \times G$

$$C = 1 \times 2 \times 4 = 8$$

$$C = 1 \times 2 \times 3 = 6$$

Criticité entre $12 \leq C < 16$: Ventilateur ; Rotor ; boîte à bornes

Dans ce mécanisme on voit que la criticité des éléments est moyenne, et il nécessite qu'une maintenance préventive systématique.

où l'on trouve ça : $C = F \times D \times G$

$$C = 1 \times 4 \times 3 = 12$$

$$C = 1 \times 3 \times 4 = 12$$

$$C = 1 \times 3 \times 4 = 12$$

Criticité entre $16 \leq C < 20$: Ensemble de garnitures ; Ensemble de roulements

Dans ce mécanisme on voit que la criticité des éléments est élevée, et il nécessite qu'une maintenance préventive conditionnelle.

où l'on trouve ça : $C = F \times D \times G$

$$C = 3 \times 3 \times 2 = 18$$

$$C = 3 \times 2 \times 3 = 18$$

Criticité entre $20 \leq C < 80$: Accouplement ; Stator ; Impulseur

Dans ce mécanisme on voit que la criticité des éléments est interdite, et il nécessite qu'une Remise en cause complète de la conception

où l'on trouve ça : $C = F \times D \times G$

$$C = 5 \times 4 \times 2 = 40$$

$$C = 3 \times 3 \times 4 = 36$$

$$C = 2 \times 4 \times 4 = 32$$

Le diagramme montre que le taux critique est concentré dans la partie A et doit être intervenu rapidement, alors qu'il l'est dans une moindre mesure dans la partie B, où il nécessite une maintenance préventive, tandis que dans la partie C il est considéré comme non dangereux et nécessite une maintenance corrective et maintenance conditionnel.

Le tableau suivant montre la classification des éléments

III.3.9.1 Analyse ABC

Tableau .III.4 Classes ABC

Classe A	Classe B	Classe C
Accouplement	Ventilateur	Arbres
Stator	Rotor	Ensemble de bagues
Impulseur	Ensemble de garnitures	boite à bornes
	Ensemble de roulements	

III.3.10 Opérations préventives

A partir des résultats obtenus dans les tableaux ‘‘AMDEC’’ et le diagramme de ‘‘PARETO ‘’ nous pouvons identifier les organes critiques, les surveiller et proposer des opérations préventives, afin d’empêcher l’apparition des défaillances

Tableau .III.5 Gamme de maintenance proposée

Opération préventive à réaliser	Périodicité
Relève des vibrations du moteur synchrone	Hebdomadaire
Contrôle de l'isolement du bobinage	Semestrielle
Contrôle de l'isolement des câbles de puissance	Annuel
Contrôle des connexions de la boite à bornes	Annuel
Contrôle et nettoyage des ventilateurs	Trimestriel
Contrôle et serrage des vis de l'accouplement	Hebdomadaire
Graissage des paliers	Annuel
Vérification visuelle des fuites garnitures mécaniques et tuyauteries	Quotidien
Contrôle l'état des impulseurs	Trimestriel
Vidange des paliers	Annuel
Contrôle des roulements et butée	Trimestriel
Contrôle des bagues d'usure	Annuel

Ce travail a montré la faisabilité de conduire une méthode d'optimisation de maintenance. Cette approche est basée sur l'analyse ‘‘ AMDEC’’ et la méthode ‘‘ Pareto’’. La mise en œuvre d'une telle démarche montre sa contribution dans la réduction des coûts de maintenance. En effet elle permet :

- de définir les exigences de sûreté de fonctionnement de manière précise,
- d'identifier les fonctions critiques pour le système,
- de définir la politique de maintenance pour le système et ses composants.

III.4 Conclusion

Dans ce dernier chapitre on a appliqué la méthode ‘‘ AMDEC’’ et la méthode ‘‘PARETO ‘’ au Une Groupe Motopompe Electrique de la station de Naftal à Tiaret, en suivant toutes les étapes citées dans le chapitre II. Grâce à toutes les données collectées sur cet équipement, et en se basant

Chapitre III Application de la méthode “AMDEC” sur la motopompe

sur le travail de groupe, et en exploitant la documentation existante on a pu atteindre notre objectif qui consiste à étudier les modes de défaillances de notre équipement leurs effets, causes et leurs criticités. Ceci nous a permis de proposer des actions préventives pour améliorer la disponibilité de notre une Groupe Motopompe Electrique.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

La machine asynchrone est l'élément le plus utilisé et l'un des plus importants dans les systèmes électriques, sa surveillance et son diagnostic font toujours l'objet de plusieurs études.

Dans notre travail, nous nous sommes concentrés sur la définition du moteur asynchrone, en mentionnant les défauts, les méthodes de diagnostic et de maintenance, où nous avons étudié les défauts rencontrés par les pompes électriques et extrait les schémas de défaut et leurs effets sur les pompes électriques et leurs caractéristiques. Nous avons proposé des solutions préventives pour améliorer ses performances

Lorsque nous avons jugé nécessaire de surveiller et d'entretenir ces pompes de manière ordonnée et correcte

L'analyse AMDEC et la méthode Pareto permettent de :

- Identifier les fonctions critiques du système;
- Déterminer la politique de maintenance du système et de ses composants.

Enfin, nous constatons que les moteurs asynchrones ont besoin d'un diagnostic et d'une maintenance continue pour leur bon fonctionnement.

Bibliographique

Bibliographique

Bibliographique

- [1] RABEHI Faycal," Détection des défauts d'un moteur à induction," Master (Electronique), Université Anaba, 2018
- [2] Bachir S, Contribution au diagnostic de la machine asynchrone par estimation paramétrique. Thèses de doctorat (Automatique), Université de Poitiers, 2002.
- [3] Gaucheron E, Cahier technique n ° 207, Les moteurs électriques ... pour mieux les piloter et les protéger, Schneider Electr ,2004.
- [4] O. Ondel," Diagnostic par reconnaissance des formes: Application a un ensemble convertisseur – machine asynchrone," Thèse de doctorat(Électrique), Ecole Centrale de Lyon, France, 2006.
- [5] KERFALI Samir,"Contribution à la surveillance et au diagnostic des défauts de la machine asynchrone", Thèses de doctorat (Electromécanique), Université Anaba,2016.
- [6] CHAHMI Abdelghani,"Identification paramétrique de la machine asynchrone dédiée au diagnostic," Thèse de doctorat (Electrotechnique), Université d'Oran.2017
- [7] BOUGUERNE Abla, "Diagnostic automatique des defauts des moteurs asynchrones", Magister (Electrotechnique), Université de Constantine, 2009.
- [8] LARIBI Souad, "Contribution à la commande et diagnostic des défauts statoriques et rotoriques de la machine asynchrone à cage d'ecureuil", Thèse de doctorat (Electrotechnique) Université d'Oran,2016
- [9] MERABET HICHEM, " Surveillance et détection des défauts d'une machine à induction ", magister (Électrotechnique) , université ANABA soutenue 2009.
- [10] HARIR Miloud,"Etude des Défauts dans La machine asynchrone à cage d'ecureuil par l'emploi de la fonction d'enroulement modifiée", Magister (Electrotechnique), Université d'Oran .2009

Bibliographique

- [11] HEDJAZI Djalal, "Conception d'un modèle coopératif de support de la télémaintenance industrielle", Thèse (Sciences en Informatique), Université de Batna, 2011
- [12] ANDREAN Ceban, "Méthode globale de diagnostic des machines électriques", doctorat (Génie mécanique), Université Lille de Nord de France – École doctorale SPI - Lille, 2012
- [13] BELOUADAH Abdenaceur, "Amélioration de la fiabilité d'un système électromécanique par l'utilisation des opérations de la maintenance préventive", Master (Électrique), Université M'sila, 2016
- [14] Bennedjai Soumaya, " Contribution à l'amélioration de la sûreté d'exploitation des moteurs à induction", Thèse Doctorat (Électromécanique), Université Annaba, 2016
- [15] Institut Supérieur d'Enseignement Technologique de Rosso : Méthodes de maintenance. BABANA Ould Mohamed Lamine. 2008/2009.
- [16] Livre GUIDE PRATIQUE DE LA MAINTENANCE. Daniel BOITEL et Claud HAZARD
- [17] : LES OUTILS ET METHODES DE LA GESTION DE LA QUALITE
<http://www.directive.fr/articles/BPR.html>
- [18] : Michel RIDOUX. AMDEC- Moyen Technique de l'ingénieur, AG4220, 07/1999.
- [19] H. Brahim, " L'AMDC un outil puissant d'optimisation de la maintenance, application à une moto compresseur d'une PME Marocaine ", Casablanca, Maroc, 2005.
- [20] : <http://www.maintenance-preventive.com/methode-presentation-1.html>
- [21] BENJAIMA Taieb, "Etude hydraulique de la pompe DVMX 6*8*11, "Master (Energétique), Université M'sila, 2016.
- [22] SMAIL Yacine, "Etude de la Maintenance d'une Pompe Centrifuge Verticale par la méthode AMDEC ", Master (Construction Mécanique), Université Tizi ousou, 2017.

Résumé

Les moteurs asynchrones sont largement utilisés dans des applications qui nécessitent des vitesses variables et des capacités élevées, entraînant des défaillances mécaniques, électriques ou magnétiques. En l'absence de surveillance et de maintenance nécessaires, ces défaillances entraînent un arrêt complet du moteur ou un vieillissement prématuré du moteur asynchrone

L'objectif de cette étude est d'apporter des solutions techniques pour la maintenance des moteurs asynchrones triphasés, afin de mieux utiliser leur puissance dans divers domaines industriels.

Mots clés : machine asynchrone, défauts statoriques et rotoriques, diagnostic, maintenance, AMDEC,

Abstract

Asynchronous motors are widely used in applications that require varying speeds and high capacities, resulting in mechanical, electrical or magnetic failures. In the absence of necessary monitoring and maintenance, these failures lead to a complete motor shutdown or premature aging of the asynchronous motor.

The objective of this study is to provide technical solutions for the maintenance of three-phase asynchronous motors, in order to better use their power in various industrial fields.

Keywords: asynchronous machine, stator and rotor faults, diagnosis, maintenance, AMDEC,

ملخص

تُستخدم المحركات غير المتزامنة على نطاق واسع في التطبيقات التي تتطلب سرعات متفاوتة وقدرات عالية ، مما يؤدي إلى حدوث أعطال ميكانيكية أو كهربائية أو مغناطيسية. في غياب المراقبة والصيانة اللازمين ، تؤدي هذه الأعطال إلى إيقاف تشغيل المحرك بالكامل أو التقادم المبكر للمحرك غير المتزامن

الهدف من هذه الدراسة هو تقديم حلول تقنية لصيانة المحركات غير المتزامنة ثلاثية الطور ، من أجل استخدام قوتها بشكل أفضل في المجالات الصناعية المختلفة

الكلمات الرئيسية: آلة غير متزامنة ، أعطال الجزء الثابت والدوار ، التشخيص ، الصيانة. AMDEC.