

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عمّار ثليجي بالأغواط

UNIVERSITE AMAR THELIDJI LAGHOAT



**Faculté de Technologie**

**Département d'Electrotechnique**

**Mémoire**

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

Filière : **Electromécanique**

Option : **Electromécanique**

Présenté par

***HORIMEK MILOUD***

**THEME**

---

**Apport de technique de Logique flue sur le diagnostic de défauts dans les machines Asynchrones**

---

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

Dr. CHETTIH .S.

Pr

Président

Dr. BESSEDIK Sid Ahmed

M.C.A

Examineur

Dr. BOUDRAA .S.

M.C.A

Rapporteur

**Juillet 2021**

# *Dédicace. . .*

## *Je dédie ce simple travail*

*A mes chers parents qui m'ont soutenu durant toute ma vie*

*A mes chers grands parents **Hmaimmed, A et H***

*A la mémoire de mon cher grand parent **HADJ Miloud.***

*A mes frères qui ont tout fait pour moi, à qui je tiens à exprimer ma  
Profonde gratitude et tous mes respects pour son présence, son aide, son  
Affection et son sacrifice.*

*A mes sœurs que j'aime beaucoup.*

*A ma grande famille et particulièrement mes oncles et cousins.*

*A tous mes frères et à mon unique tante que j'aime beaucoup.*

*A mon amie **LAHRECHE OUSSAMA***

***DJERBIE Aissa***

*A tous mes amis.*

*A tous ceux qui j'aime et ceux qui pensent à moi....*

*A ceux qui profiteront un jour de ce travail.*

*Miloud*

# *Remerciement*

Je remercie **Allah**, le tout puissant, le miséricordieux, de m'avoir appris ce que j'ignorais, de m'avoir donné la santé et tout ce dont j'ai besoin pour l'accomplissement de ce mémoire.

Je remercie, l'encadreur, **Dr : SALIHA BOUDRAA**, pour ses directives et sa disponibilité. Aussi, je le remercie pour ses encouragements, son indulgence, et sa sympathie.

Egalement, je remercie les autres membres du jury **Dr : CHETTIH .S.**

**Dr : BESSIDIK Sid Ahmed** pour l'honneur de bien vouloir apporter leur jugement à notre travail et la pertinence de leurs remarques avisées, qui vont permettre l'amélioration de la qualité du manuscrit et l'essor vers de nouvelles perspectives.

Je souhaite également remercier, l'ensemble des enseignants du département d'électrotechnique de LAGHOUAT et particulièrement ceux qui ont participé à notre formation.

Enfin, je ne saurais terminer ce remerciement, sans mentionner tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à rendre cette expérience des plus riches en particulier sur le plan humain.

## الملخص

يندرج هذا العمل ضمن موضوع المراقبة وتشخيص اعطال محرك قفص السنجاب اللائزمني ثلاثي الأطوار. يبرر اختيار المحرك النجاح المتزايد الذي حققه، لا سيما في المحركات الكهربائية متغيرة السرعة

إن بساطته في البناء، وتكلفة شرائه المنخفضة وقوته الميكانيكية يبرر تواجده الطاغي في القطاع الصناعي. على الرغم من هذه المزايا، فإن هذا المحرك يتعرض لعدد معين من الضغوط الخارجية والداخلية مما يجعله عرضة للعديد من الاعطال، لذلك من المهم تطوير أنظمة تشخيص للكشف المبكر عن الأعطال التي قد تظهر في هذا النوع من الأجهزة.

مساهمتنا هي جزء من التوليف واختيار الأساليب والتقنيات لرصد وتشخيص الأعطال في محرك قفص السنجاب اللائزمني مثل أعطال الجزء الثابت، وأعطال الدوار، إلخ.

تركز دراستنا على دراسة قابلية تطبيق وكفاءة ودقة الذكاء الاصطناعي المنطق الغامض كمثال لتحسين تقنيات وطرق مراقبة وتشخيص أعطال المحركات اللائزمنية التي تستخدمها أكبر شركة جزائرية سوناطراك.

### كلمات مفتاحية:

محرك قفص السنجاب اللائزمني، الذكاء الاصطناعي، المنطق الغامض، المراقبة والتشخيص، الأعطال، سوناطراك

## Abstract

This work is part of the theme of monitoring and diagnosis of defects of the three-phase asynchronous squirrel cage machine. The choice of the machine is justified by the growing success it has generated, in particular, in electric drives with variable speed.

Its simplicity of construction, its low purchase cost and its mechanical robustness justify its omnipresence in the industrial sector. Despite these advantages, this machine undergoes a number of external and internal stresses that make it, potentially faulty, it is therefore important to develop diagnostic systems for early detection of faults that may appear in this type of machine.

Our contribution is part of the synthesis and choice of methods and techniques for monitoring and diagnosing faults in the asynchronous squirrel cage machine such as stator faults, rotor faults, etc.

Our study focuses on the study of the applicability, efficiency and accuracy of artificial intelligence fuzzy Logic as an example for the improvement of techniques and methods of monitoring and diagnosis the faults of asynchronous machines used by the largest Algerian company SONATRACH.

### Key words:

Asynchronous squirrel cage machine, Artificial intelligence, Fuzzy Logic, Monitoring and diagnosis, Faults, SONATRACH

## Résumé

Ce travail s'inscrit dans la thématique de la surveillance et du diagnostic des défauts de la machine asynchrone triphasée à cage d'écureuil. Le choix de la machine est justifié par le succès grandissant qu'elle a suscité, notamment, dans les entraînements électriques à vitesse variable.

Sa simplicité de construction, son faible coût d'achat et sa robustesse mécanique, justifient son omniprésence dans le secteur industriel. Malgré ces avantages, cette machine subit, un certain nombre de sollicitations externes et internes qui la rendent, potentiellement, défaillante il est donc important de développer des systèmes de diagnostic pour détecter de manière anticipée les défauts pouvant apparaître dans ce type de machines.

Notre contribution s'inscrit dans le cadre de synthèse et de choix des méthodes et des techniques de surveillance et de diagnostic des défauts dans la machine asynchrone à cage d'écureuil tels que les défauts statorique, rotorique ...

Notre étude porte sur l'étude de l'applicabilité, l'efficacité et l'exactitude de l'intelligence artificielle Logique floue comme exemple pour l'amélioration des techniques et méthodes de surveillance et le diagnostic des défauts des machines asynchrones utilisée par la plus grande compagnie algérienne SONATRACH.

### **Mots clés :**

Machine asynchrone à cage d'écureuil, L'intelligence artificielle, Logique floue, Surveillance et diagnostic, Défauts, SONATRACH.

# SOMMAIRE

<b>Introduction Générale</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Généralités sur les machines asynchrones et leurs défaillances</b>	
I.1 Introduction .....	3
I.2 Définition .....	3
I.3 Constitution de la machine asynchrone.....	3
I.3.1 Le stator.....	4
I.3.2 Le rotor .....	5
I.3.3 L'entrefer .....	7
I.3.4 Les organes mécaniques.....	8
I.4 Principe de fonctionnement de Moteur Asynchrone.....	9
I.5 Défaillances de la machine asynchrone .....	11
I.5.1 Terminologies .....	11
I.5.2 Les causes de défauts d'un moteur asynchrone.....	12
I.5.3 Les différents types de défaillances dans la machine asynchrone.....	13
I.6 Domaine d'utilisation de la machine asynchrone .....	16
I.7 Avantages et inconvénients de la machine asynchrone .....	16
I.7.1 Avantages.....	17
I.7.2 Inconvénients .....	17
I.8 Conclusion.....	17
I.9 Références du Chapitre I.....	18
<b>Chapitre II Surveillance et diagnostic des machines asynchrones (Unité Sonatrach)</b>	
II.1 Introduction .....	19
II.2 Présentation de la société SONATRACH.....	20
II.2.1 Le gisement Hassi R'mel.....	20
II.2.2 Les directions et les déviations de la division production.....	21
II.2.3 Présentation de service mécanique .....	23
II.3 Les moteurs asynchrones utilisés par la société SONATRACH.....	24
II.3.1 Utilisations des moteurs sur les sites dans SONATRACH .....	30
II.4 Défaillances des machines asynchrones dans la société SONATRACH.....	30
II.4.1 Etude statistique .....	30
II.4.2 Défaillance de la machine asynchrone dans SONATRACH .....	32
II.5 Service de diagnostic et maintenance.....	33
II.5.1 Définition de la maintenance.....	33
II.5.2 Différentes types de maintenance.....	33
II.5.2.1 Maintenance Corrective.....	33

II.5.2.2 Maintenance Préventive .....	34
II.5.3 Diagnostic des défaillances de la machine asynchrone .....	36
II.5.3.1 L'organisation générale de la procédure de diagnostic .....	36
II.5.4 Méthodes de diagnostics.....	37
II.5.5 Les types des signaux vibratoires.....	39
II.5.6 Les modes de détection.....	40
II.5.7 Chaine de mesure vibratoire .....	40
II.5.8 Les caractéristiques et type de capteurs utilisé.....	41
II.6 Exemples de La surveillance vibratoire appliquée sur les machines tournantes (SONATRACH.).....	42
II.7 Interprétation (diagnostic des experts) .....	44
II.8 Conclusion.....	44
II.9 Références du Chapitre II.....	45

### **Chapitre III Etude des cas -société SONATRACH**

III.1 INTRODUCTION.....	46
III.2 L'analyse vibratoire des machines asynchrone .....	47
III.3 Analyse vibratoire des machines asynchrone dans la société SONATRACH.....	49
III.3.1 Description de matériel utilisé.....	51
III.3.1.1 Les proximètres .....	51
III.3.1.2 Vélocimétrie .....	52
III.3.1.3 Les accéléromètres.....	53
III.3.2 Le choix de points de mesure .....	54
III.4 Résultats de mesures .....	55
III.4.1 Premier cas problème de désalignement .....	55
III.4.2 Deuxième cas : Cassure de barres.....	57
III.4.3 Troisième cas : Défaut de roulement .....	58
III.4.4 Quatrième cas Défaut balourd.....	60
III.4.5 Cinquième cas : Défaut d'engrenage.....	61
III.5 Conclusion.....	61
III.6 Références du Chapitre III.....	62

### **Chapitre IV Application de la logique floue pour le diagnostic**

IV.1 INTRODUCTION.....	63
IV.2 Généralités sur la logique floue .....	63
IV.2.1 Concepts et définitions .....	63
IV.2.2 Structure générale d'un système flou .....	64
IV.3 Conception d'un système flou.....	65
IV.3.1 Univers de discours.....	65

<i>IV.3.2 Fuzzification.....</i>	<i>66</i>
<i>IV.3.3 inférences floues.....</i>	<i>69</i>
<i>IV.3.4 Opérateurs de la logique floue.....</i>	<i>70</i>
<i>IV.3.5 méthodes d'inférences floues.....</i>	<i>70</i>
<i>IV.3.6 Defuzzification.....</i>	<i>71</i>
<i>IV.4 Application de la logique floue pour le diagnostic des machines asynchrones.....</i>	<i>72</i>
<i>IV.4.1 Fonctions d'appartenance.....</i>	<i>72</i>
<i>IV.4.2 Calcul théorique de la fréquence de différents défauts.....</i>	<i>73</i>
<i>IV.4.3 Conception d'un système flou.....</i>	<i>75</i>
<i>IV.4.4 Règles d'inférences :.....</i>	<i>77</i>
<i>IV.5 Résultats et discussions.....</i>	<i>80</i>
<i>IV.6 Conclusion.....</i>	<i>81</i>
<i>IV.7 Références du Chapitre IV.....</i>	<i>82</i>
<b><i>Conclusion générale .....</i></b>	<b><i>83</i></b>

## *Liste des figures*

### *Chapitre I*

<i>Figure I.1</i> : Machine Asynchrone à cage (MAS).....	4
<i>Figure I.2</i> : Stator d'une machine asynchrone (Sonatrach) .....	4
<i>Figure I.3</i> : Rotor bobiné.....	6
<i>Figure I.4</i> : Vue schématique du rotor à cage d'écureuil.....	7
<i>Figure I.5</i> : Rotor à barres d'aluminium .....	7
<i>Figure I.6</i> : Rotor à barres de cuivre .....	7
<i>Figure I.7</i> : Schéma désignant les éléments constituant une machine asynchrone.....	8
<i>Figure I.8</i> : La création du champ magnétique dans la bobine.....	9
<i>Figure I.9</i> : Cage rotorique balayée par le champ tournant statorique.....	9
<i>Figure I.10</i> : la règle des trois doigts de la main droite. ....	10
<i>Figure I.11</i> : principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone .....	10
<i>Figure I.12</i> : Causes internes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage .....	12
<i>Figure I.13</i> : Causes externes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage.....	13

### *Chapitre II*

<i>Figure II.1</i> : La situation Géographique de Hassi R'mel .....	21
<i>Figure II.2</i> : Organigramme de Sonatrach Hassi R'mel .....	23
<i>Figure II.3</i> : Exemples des machines utilisées par SONATRACH et leurs caractéristiques ..	24
<i>Figure II.4</i> : Distribution des défauts des machines électriques fonctionnant dans l'industrie pétrochimique.....	31
<i>Figure II.5</i> : Répartition des pannes des machines de faible et moyenne puissance.....	31
<i>Figure II.6</i> : Répartition des pannes des machines de fortes puissances .....	31
<i>Figure II.7</i> : Les différents types de maintenance. ....	36
<i>Figure II.8</i> : Mesures vibratoires sur la machine Asynchrone .....	38
<i>Figure II.9</i> : Les différents signaux vibratoires.....	39
<i>Figure II.10</i> : Modes de détection usuels.....	40
<i>Figure II.11</i> : Chaîne de mesure .....	40
<i>Figure II.12</i> : Capteur vibrotest.....	41
<i>Figure II.13</i> : spectre 0-1000Hz – palier CA.....	43
<i>Figure II.14</i> : spectre 0-1000Hz – palier COA.....	44

### *Chapitre III*

<i>Figure III.1</i> : Distribution des méthodes de diagnostic des machines tournantes .....	47
<i>Figure III.2</i> : Signal vibratoire dans le temps (a) et la fréquence (b) pour un cas sain.....	48
<i>Figure III.3</i> : Signal vibratoire pour le cas sain et le DE dans le temps (a) et la fréquence (b).....	48
<i>Figure III.4</i> : machine asynchrone utilisé pour l'analyse vibratoire.....	50

<b>Figure III.5</b> : plaque signalétique de MAS .....	50
<b>Figure III.6</b> : prosimètres et leur driver. ....	52
<b>Figure III.7</b> : Prosimètre monté sur un palier. ....	52
<b>Figure III.8</b> : capteur de vélocimétrie.....	53
<b>Figure III.9</b> : Schéma de principe d'un accéléromètre.....	53
<b>Figure III.10</b> : Photographie de matériel utilisé à SONATRACH.....	54
<b>Figure III.11</b> : Différents points de mesure des vibrations d'une MAS.....	54
<b>Figure III.12</b> : spectre 0-1000Hz - palier CA .....	55
<b>Figure III.13</b> : spectre 0-1000Hz – palier COA.....	56
<b>Figure III.14</b> : (a) Machine à l'état sain à vide, (b) Machine avec barre cassé à vide.....	57
<b>Figure III.15</b> : Machine à l'état sain d'une charge de 25% ; (b) Machine avec une barre cassée au rotor à 25% de charge .....	57
<b>Figure III.16</b> : (a) Machine à l'état sain à vide, (b) Roulement avec défaut à la bague extérieure à vide .....	59
<b>Figure III.17</b> : (a) Machine sain à 25% de charge, (b) Roulement avec défaut à la bague extérieure à 25% de charge.....	59
<b>Figure III.18</b> : (a) Moteur sain ; (b) Moteur en présence du défaut de balourd ( $F_{balourd} = 25 \text{ Hz}$ ).....	60
<b>Figure III.19</b> : Moteur sain.....	61
<b>Figure III.20</b> : Moteur en présence du défaut d'engrenage. ( $F_{engrenage} = 600 \text{ HZ}$ ) .....	61
<b>Chapitre IV</b>	
<b>Figure IV.1</b> : Schéma général d'un système flou .....	65
<b>Figure IV.2</b> : Degré d'appartenance aux ensembles considérés en logique booléenne.....	66
<b>Figure IV.3</b> : Exemple de fonction d'appartenance de Vib.....	68
<b>Figure IV.4</b> : a) Fonctions d'appartenance de forme trapézoïdale ; b) Fonctions d'appartenance de forme triangulaire ; c) Fonctions d'appartenance de forme de cloche ....	69
<b>Figure IV.5</b> : méthode d'inférence Somme-produit .....	71
<b>Figure IV.6</b> : Système flou conçu pour le diagnostic de la MAS .....	75
<b>Figure IV.7</b> : Fonction d'appartenance de l'entrée (puissance) .....	76
<b>Figure IV.8</b> : Fonction d'appartenance de l'entrée (vibration).....	76
<b>Figure IV.9</b> : Fonction d'appartenance de l'entrée (Fréquence de rotation $Fr$ ) .....	76
<b>Figure IV.10</b> : Fonction d'appartenance de l'entrée (Fréquence de défaut $Fd$ ).....	77
<b>Figure IV.11</b> : Fonction d'appartenance de la sortie.....	77
<b>Figure IV.12</b> : Analyse spectrale Moteur n°1 (au niveau de palier) .....	78
<b>Figure IV.13</b> : interface de programme.....	79
<b>Figure IV.14</b> : loi utilisées.....	79

## Liste des tables

<b>Tableau II.1</b> : l'historique de l'analyse vibratoire site Hassi R'mel .....	<b>42</b>
<b>Tableau III.1</b> : Appareil des mesures vibratoire utilisé au site Hassi R'mel.....	<b>51</b>
<b>Tableau III.2</b> : expression de L'amplitude en dB.....	<b>57</b>
<b>Tableau III.3</b> : Fréquence de défauts de roulement. ....	<b>59</b>
<b>Tableau IV.1</b> : Les intervalles de fonctions d'appartenance .....	<b>78</b>
<b>Tableau IV.2</b> : Résultats di diagnostic des moteurs asynchrones utilisant la logique floue ...	<b>80</b>



# *Introduction Générale*

## *Introduction Générale*

La machine asynchrone occupe maintenant une grande place dans les applications industrielles, elle représente jusqu'à 80% des machines utilisées dans le domaine. Cet engouement pour ce type de machine est justifié par sa simplicité de construction, son faible coût d'achat et sa robustesse mécanique [9].

Toutefois, malgré sa robustesse, au cours de sa durée de vie, cette machine subit, un certain nombre de sollicitations externes et internes qui la rendent, potentiellement, défaillante, qui se répercutent sur la sécurité de la production, la qualité du service et la rentabilité des installations. Malgré, l'augmentation croissante des exigences industrielles en termes de fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité. [11]

Par conséquent, il est très intéressant de développer des systèmes de diagnostic pour détecter de manière anticipée les défauts pouvant surgir dans ce type de machines, afin d'y remédier dans des délais les plus brefs pour minimiser les effets induits sur l'installation électrique ou sur la machine elle-même. L'un de ces techniques, c'est les techniques de l'intelligence artificielle comme la logique floue, l'application de cette technique pour le diagnostic et la classification de défaut d'une machine asynchrone permettra de fournir des informations sur l'état et le fonctionnement de la machine aux opérateurs qui l'exploitent. [11] Il est capable aussi de provoquer dans les cas graves un arrêt de la machine ou de permettre au système de production de continuer de fonctionner en mode dégradé en cas de problème ne nécessitent pas un arrêt immédiat

Notre mémoire s'intéresse à l'étude de l'applicabilité de l'intelligence artificielle pour l'amélioration des techniques et méthodes de surveillance et le diagnostic des défauts des machines asynchrones utilisée par la compagnie algérienne **SONATRACH**. Elle s'articule autour de quatre chapitres :

- ✓ Dans le premier chapitre nous présenterons un rappel sur la constitution de la machine asynchrone et plus particulièrement sur celle à cage d'écureuil et les différentes défaillances pouvant l'affecter. Nous avons mis, surtout l'accent sur trois défauts les plus récurrents d'après les statistiques, à savoir : les défauts de roulement, les défauts statoriques et les défauts rotoriques.

- ✓ Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de différents types des machines asynchrone exploitées par la compagnie algérienne **SONATRACH** puis on va donner une étude statistique des défaillances dans ces machines. A la fin du chapitre, nous allons présenter une étude pratique sur le diagnostique et la maintenance des machines asynchrone au sein de la direction de maintenance de SONATRACH, service de maintenance dans l'atelier d'électromécanique.
  
- ✓ Pour le troisième chapitre, nous l'avons consacré aux la présentation des résultats des analyses vibratoires effectuées sur des machines asynchrones au sein de la société SONATRACH, une méthode de classification qui repose sur d'extraction et de choix d'indicateurs de défauts à partir des signaux vibratoires est ainsi dévoilée.
  
- ✓ Pour le dernier chapitre, nous donnons une brève aperçue sur la technique de l'intelligence artificielle (logique floue). Nous avons mis l'accent sur les étapes à suivre pour la conception d'un système basé sur la logique floue, puis on a conçu un système de diagnostic pour la machines asynchrones. La base de données utilisée, a été extraite de l'archive de services maintenance de SONATRACH, ainsi de quelques travaux publiées récemment dans ce domaine. Des résultats de simulations sont présentés et interprétés.

Nous terminons par une conclusion portant sur les travaux effectués.



# ***CHAPITRE I***

## ***Généralités sur les machines asynchrones et leurs défaillances***

## I.1 Introduction

La machine asynchrone trouvant actuellement une très forte utilisation dans le domaine industrielle, ainsi que domestique, ils sont construits avec des puissances comprises entre une fraction de watt et plusieurs mégawatts.

Ce chapitre porte sur la machine asynchrone. La première partie fait un rappel succinct sur la constitution des machines électriques, et plus particulièrement sur celle de la machine asynchrone à cage d'écureuil. La seconde partie traite des différentes défaillances qui peuvent affecter la machine. Nous évoquerons, essentiellement, les défauts statoriques, les défauts rotoriques et les défauts de roulement.

## I.2 Définition

Le moteur asynchrone triphasé est un système de conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique avec un niveau de performances donné. Si la fonction de ce système n'est plus assurée, avec ces performances, suite à un incident quelconque, le système est alors jugé défaillant. En générale, la machine asynchrone entre dans la conception de nombreux procédés industriels associant les convertisseurs statiques et des machines électriques (traction électrique, laminoirs, levage, pompage, etc....).

## I.3 Constitution de la machine asynchrone

Du point de vue mécanique, les machines asynchrones triphasées peuvent se décomposer en trois parties distinctes : [1,2]

- Stator : partie fixe de la machine où est connectée l'alimentation électrique.
- Rotor : partie tournante qui permet de mettre en rotation la charge mécanique.
- Les paliers : partie mécanique qui permet la mise en rotation de l'arbre moteur.

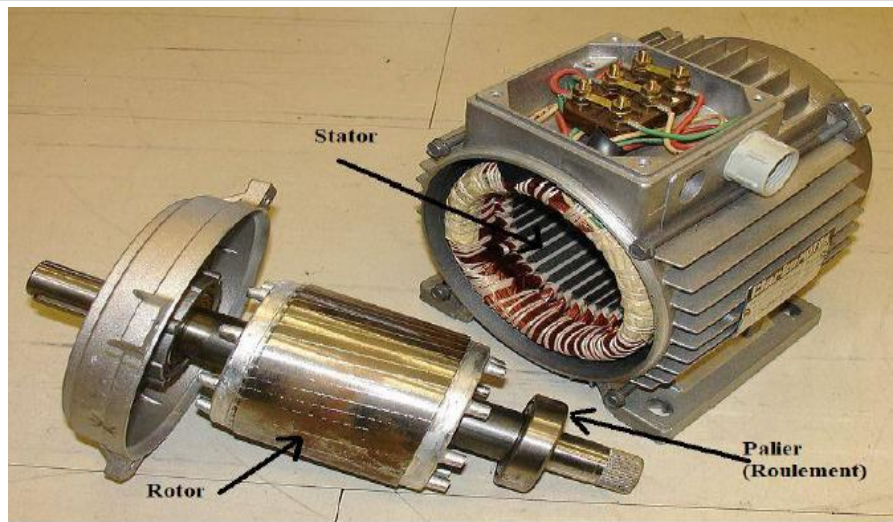


Figure I.1 : Machine Asynchrone à cage (MAS)

### I.3.1 Le stator

C'est un anneau de tôles encoché à l'intérieur et portant un enroulement triphasé semblable à celui d'une machine synchrone. Cet enroulement est presque toujours relié à la source d'alimentation, il constitue le primaire. L'enroulement est alimenté en triphasé par l'intermédiaire de la plaque à bornes de la machine, ce qui le permet de l'alimenter en couplage Triangle ou en étoile. Figure I.2. [1,2]

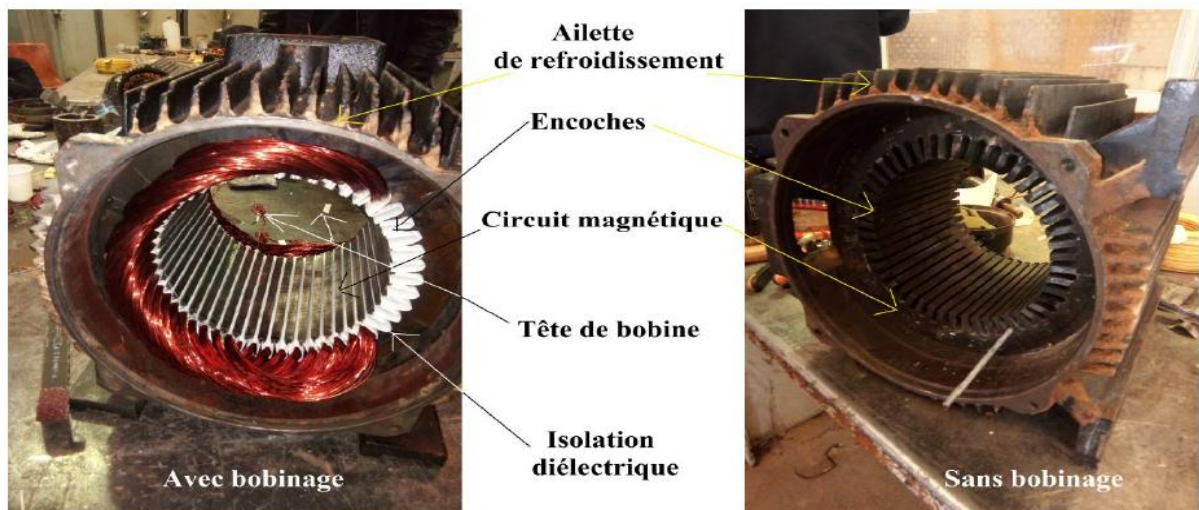


Figure I.2 : Stator d'une machine asynchrone (Sonatrach) [1,3]

Le stator est composé de  $3n_p$  bobines alimentées par un système de tension triphasées de fréquence  $f_e$ . Ces  $3n_p$  bobines créent un champ magnétique tournant à la pulsation de synchronisme  $\Omega_S$ , qui se répartit sinusoidalement dans l'entrefer (espace entre le rotor et le stator) de la machine.

$$\Omega_S \text{ est donnée par la relation } \Omega_S = \frac{\omega}{\Omega_p} \quad (\text{I-1})$$

Avec:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Omega_S = 2pf_e \\ n_p : \text{nombre des spires} \\ \Omega_S : \text{vitesse angulaire en [rad / s]} \end{array} \right.$$

La vitesse de rotation synchrone  $N_S$  du champ magnétique tournant est :

$$N_S = \frac{f_e}{n_p} \quad (\text{I-2})$$

$$\text{Avec } \left\{ \begin{array}{l} f_e : \text{en [Hz]} \\ P : \text{nombre de paire de pôles et } N_S = \frac{\Omega_S}{2\pi} \\ N_S : \text{en [tr / s]} \end{array} \right.$$

### I.3.2 Le rotor

C'est un anneau de tôles rainuré à l'extérieur, concentrique au stator et séparé de lui par un entrefer constant. Le rotor porte un enroulement polyphasé mis en court-circuit constituant ainsi le secondaire. Le courant dans ses enroulements est induit uniquement par le champ statorique, car le rotor n'est lié à aucune source électrique extérieure.

Le rotor du moteur asynchrone triphasé peut-être « à cage d'écureuil » ou « bobiné ». Le rotor ne possède aucune liaison électrique avec le stator. Le rotor constitue un circuit électrique fermé où se crée des courants induits qui entraînent la mise en rotation du rotor. Le rotor tourne à la vitesse de rotation  $N$  qui est inférieure à la vitesse synchrone.

On dit que le rotor glisse par rapport au champ magnétique tournant ; on parle alors de glissement qui dépend de la charge. [1]

On définit le glissement par :

$$N_s = \frac{N_s - N}{N_s} = \frac{\Omega_s - N}{N_s} \quad (\text{I-3})$$

On distingue 2 types de rotor :

#### A) Rotor à bagues (rotor bobiné)

C'est un rotor à pôles lisses qui comporte dans ses rainures, un enroulement identique à celui du stator. Le couplage de cet enroulement est toujours en étoile, le centre de l'étoile n'est pas accessible mais les 3 extrémités libres sont reliées à 3 bagues calées sur l'arbre (bobinage triphasé) sur laquelle appuyant 03 balais (charbon) pour avoir accès aux phases rotorique par l'intermédiaire d'un rhéostat qui est utilisé pour assurer les meilleures conditions du démarrage.

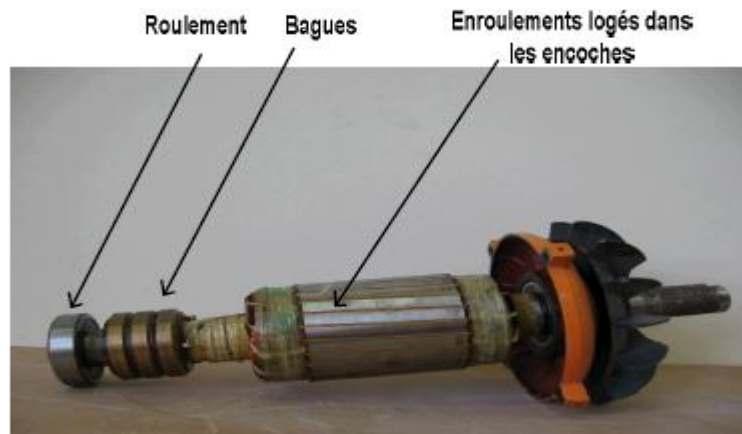


Figure I.3 : Rotor bobiné [4]

#### B) Rotor à cage d'écureuil (rotor en court-circuit)

Constitué avec des barres en cuivre ou en aluminium logées dans des encoches et réunies à leurs extrémités par 2 couronnes en cuivre ou en Aluminium. Généralement, ces barres sont inclinées afin de réduire les harmoniques de dentures.

Par comparaison avec les moteurs à bagues, les moteurs à cage ont l'avantage d'être robuste et de coût beaucoup plus faible; mais ils présentent l'inconvénient qui est l'impossibilité de faire varier la résistance du rotor, ce qui rend défavorable les conditions de démarrages avec la tension du réseau [9].

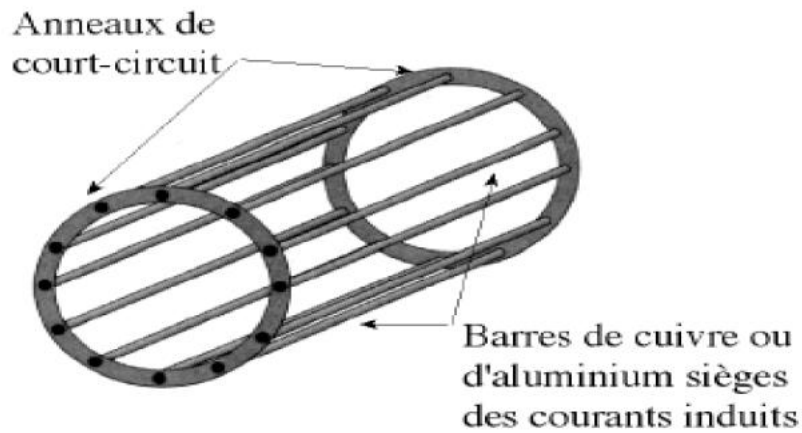


Figure I.4 : Vue schématique du rotor à cage d'écureuil

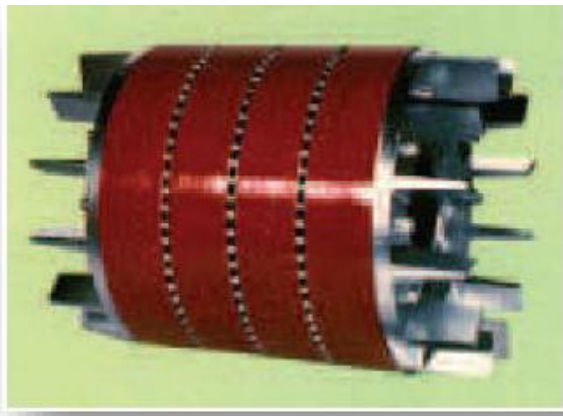


Figure I.5 : Rotor à barres d'aluminium

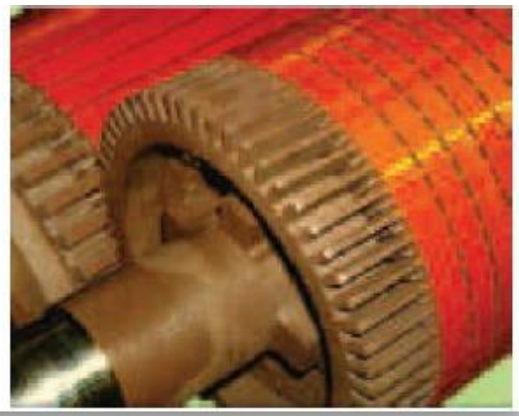


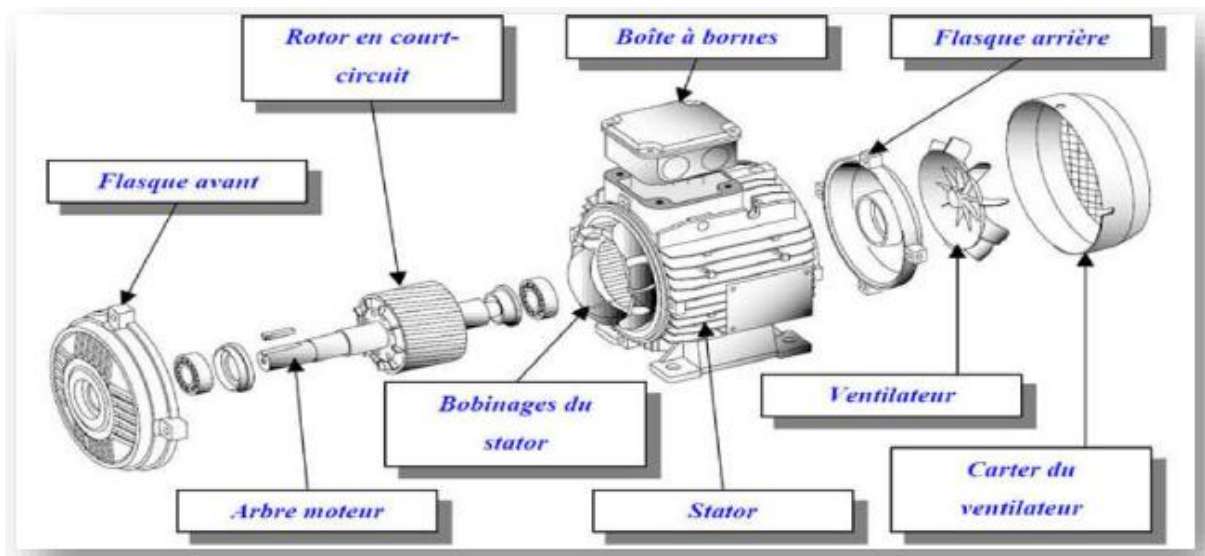
Figure I.6 : Rotor à barres de cuivre

### I.3.3 L'entrefer

Le stator et le rotor sont séparés par un entrefer très faible, de l'ordre de (0,2 à 3 mm), cette épaisseur réduite rend la taille de l'entrefer sensible aux variations dues aux encoches statoriques. Ceci crée des harmoniques dites d'encoches, pour les réduire, les encoches sont fermées par des cales magnétiques qui maintiennent le bobinage. [5]

### I.3.4 Les 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...).
- **Les 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 puissances [5,7]



**Figure I.7** : Schéma désignant les éléments constituant une machine asynchrone [5]

- Afin d'assurer la variation de vitesse des moteurs électriques mais aussi la conversion de l'énergie, de nombreuses machines se voient associer à un convertisseur. Ainsi, de nos jours, on trouve dans un grand nombre de procédés industriels, des associations entre des convertisseurs statiques et des machines électriques (pompage, levage,...etc). Cela permet de fournir aux moteurs des tensions et des courants de fréquence variable servant à commander la machine en couple ou en vitesse. [7]

## I.4 Principe de fonctionnement de Moteur Asynchrone

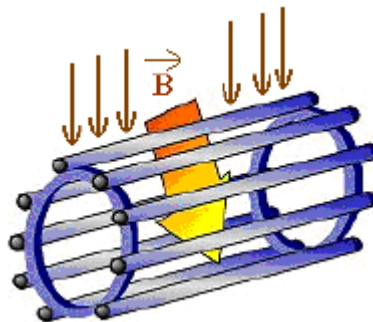
Le principe des moteurs à courants alternatifs réside dans l'utilisation d'un champ magnétique tournant produit par des tensions alternatives. La circulation d'un courant dans une bobine crée un champ magnétique  $B$ . Ce champ est dans l'axe de la bobine, sa direction et son intensité est fonction du courant  $I$ . [1,2]



**Figure I.8** : La création du champ magnétique dans la bobine.

Dans le cas d'un moteur asynchrone triphasé, lorsque l'enroulement du stator est alimenté par un système de tensions triphasées équilibrées de pulsation  $\omega_s$ , il se crée dans l'entrefer un champ d'induction magnétique tournant à la vitesse angulaire  $\Omega_s = \omega_s/p$ . En vertu de la loi de Faraday ce champ tournant induit dans les enroulements rotoriques des forces électromotrices triphasées (**Figure I.9**) de pulsation  $g\omega_s$ . [4]

Etant donné que les enroulements rotoriques sont refermés sur eux mêmes, il s'y développe des courants triphasés de pulsation  $g\omega_s$ . Les forces de Laplace qui en résultent exercent un couple sur le rotor. Selon la loi de Lenz les courants induits s'opposent par leurs effets à la cause qui leur a donné naissance. [4]



**Figure I.9** : Cage rotorique balayée par le champ tournant statorique

Notons que le sens de la force motrice exercée sur le conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique tournant ou variable est donné par la règle des trois doigts de la main droite. [1]

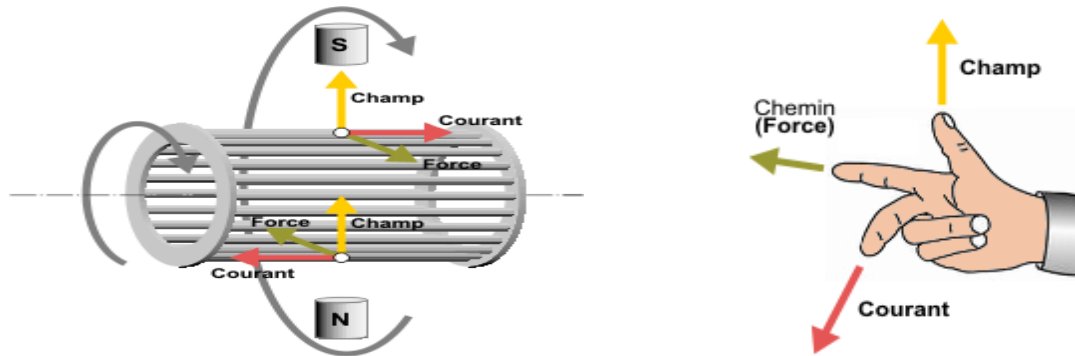


Figure I.10 : la règle des trois doigts de la main droite.

Le rotor tourne et accélère dans le même sens que le champ tournant mais il n'atteint jamais la vitesse de synchronisme, si non l'enroulement rotorique (ou la cage rotorique) ne sera plus balayé par un champ tournant et il y aura disparition des courants induits, donc pas de force de Laplace et par conséquent il y'aura absence de couple moteur. Les deux fréquences de rotation ne peuvent pas être en synchronisme d'où le nom de moteur asynchrone. [4]

$$\Omega_r = (1 - g) \Omega_s$$

La vitesse de rotation du rotor en (tr/s).

- $g$  : est le glissement qui mesure l'écart relatif entre  $\Omega_r$  et  $\Omega_s$ .

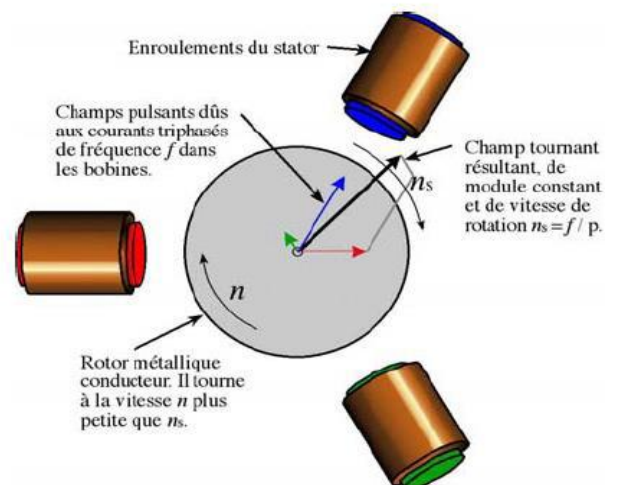
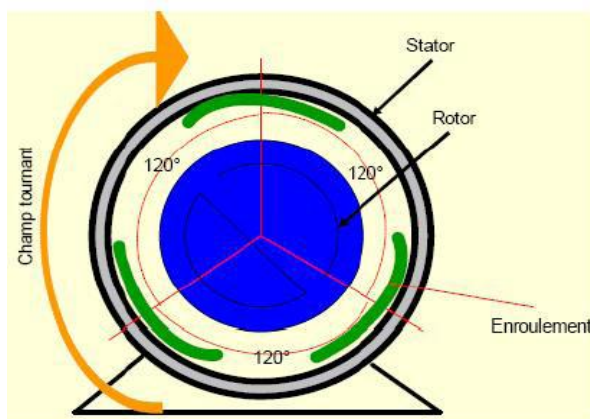


Figure I.11 : principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone [1]

## I.5 Défaillances de la machine asynchrone

### I.5.1 Terminologies

Avant d'aller plus loin, il faut définir les termes suivants : [5,8,10]

- **Dispositif** : Selon la norme AFNOR X 06-501, il s'agit là du produit auquel s'applique l'étude :
  - composant (le plus petit constituant irréparable par l'utilisateur),
  - sous-ensemble,
  - ensemble
- **Une défaillance** : d'après la norme AFNOR 60010X est définie par la cessation de l'aptitude d'un composant à accomplir sa ou ses fonctions requises, avec les performances définies dans les spécifications techniques.
- **Un défaut** : Le concept de défaut est fondamental dans les opérations de surveillance pour la conduite et maintenance des procédés industriels. On appelle défaut tout écart entre la caractéristique observée sur le dispositif et la caractéristique théorique. Cet écart est idéalement nul en l'absence de défaut. Les défauts peuvent apparaître au niveau des capteurs, des actionneurs ou au niveau du processus lui-même. [5]

Il est clair qu'une défaillance implique l'apparition d'un défaut puisqu'il existe un écart entre la caractéristique mesurée et théorique. Par contre, un défaut n'implique pas nécessairement une défaillance puisque le dispositif peut très bien continuer à assurer sa fonction principale.

- **La panne** : est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Une panne résulte toujours d'une défaillance et d'un défaut.

Les pannes sont classifiées d'une façon similaire aux défaillances. Cependant il existe une classification particulière aux pannes : panne **intermittente** et panne **fugitive**.

L'art du diagnostic consiste à détecter de façon précoce un défaut avant qu'il ne conduise à un état de défaillance donc de panne.

- **Disponibilité** : C'est l'aptitude d'un système à fonctionner lorsqu'on le sollicite. La disponibilité peut décliner en termes de Fiabilité, Maintenance et Sûreté.
  - **Fiabilité** : C'est l'aptitude d'un système à accomplir sa mission dans des conditions données d'utilisation.
  - **Maintenance** : C'est l'aptitude d'un système à être entretenu ou remis en marche.
  - **Sûreté** : C'est l'aptitude d'un système à respecter l'utilisateur et son environnement

- **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.» Selon les normes : CEI, AFNOR. Le diagnostic est un des facteurs contribuant à la disponibilité de l'outil de production,

Il existe des nombreuses significations [10] :

- Diagnostic **financier** vérification de l'état financier,
- Diagnostic **médical** déterminé une maladie pour en identifier les causes,
- Diagnostic **industriel** trouver la cause d'une défaillance.

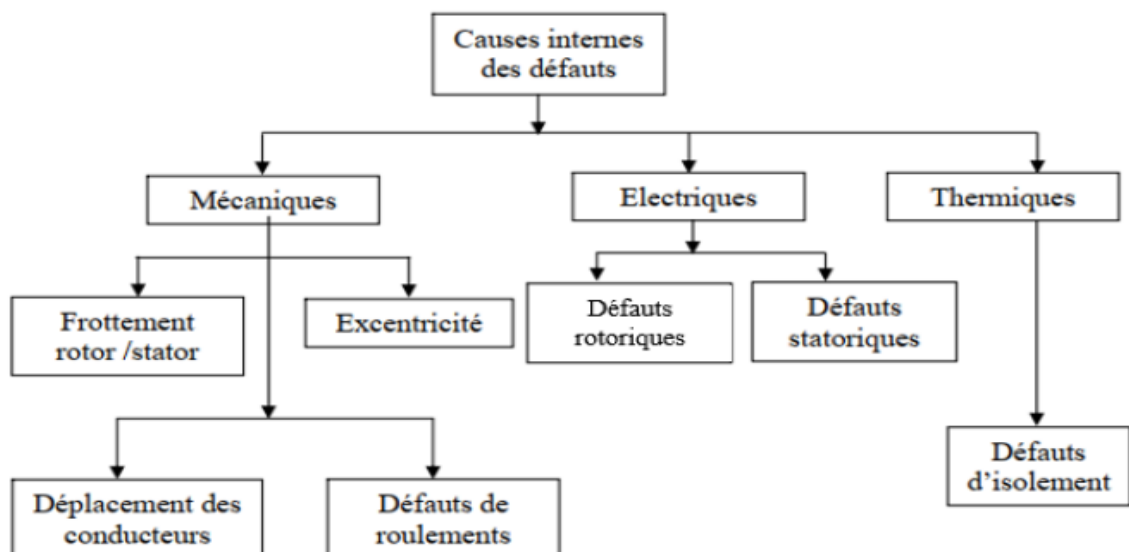
Deux tâches sont essentielles en diagnostic [10] :

- Observer les symptômes de défaillance,
- Identifier la cause de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur des observations.

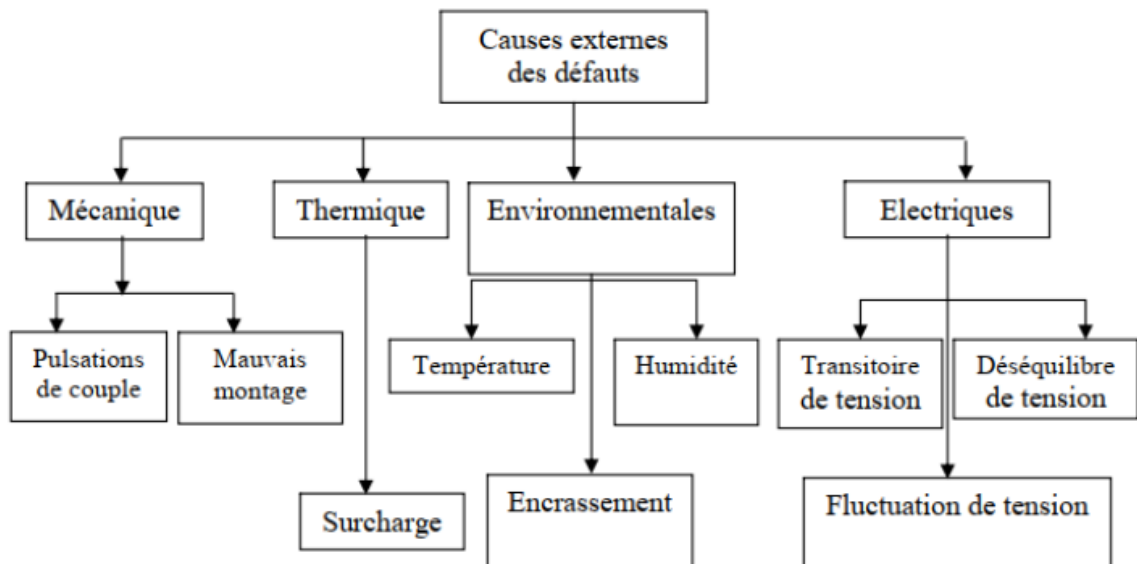
### I.5.2 Les causes de défauts d'un moteur asynchrone

Les causes des défauts sont brièvement et respectivement décrites dans les organigrammes des figures I.12 et I.13. [7]

Les défauts internes de la machine sont causés par les constituants de la machine (circuits magnétiques rotorique et statorique, bobinages statoriques, entrefer mécanique, cage rotorique...). Tandis que, les défauts externes sont provoqués, soit par les tensions d'alimentation et la charge mécanique, soit par l'environnement de l'utilisation de la machine.



**Figure I.12** : Causes internes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage



**Figure I.13** : Causes externes de défauts de la machine asynchrone triphasée à cage

### I.5.3 Les différents types de défaillances dans la machine asynchrone

Bien que la machine asynchrone à cage soit réputée robuste, elle peut parfois présenter différents types de défauts. Ces défauts peuvent être soit d'origine électrique, soit d'origine mécanique. Un problème minime à l'étape de fabrication peut être à l'origine d'un défaut tout comme une utilisation non conforme de la machine. Certaines fois, nous pouvons aussi incriminer le milieu dans lequel la machine est utilisée (milieux corrosifs, humide et/ou chimique hostiles). [2,5]

#### A) Défaillances statoriques.

##### A-1 Défaillances du Carter

Elles sont généralement dues à [8] :

- Positionnement avec un décentrage du carter sur le bâti ;
- Mauvaise fabrication (si les bords du carter ne sont pas usinés correctement, les flasques sont alors décentrés par rapport à l'axe de symétrie).

En plus, si les ailettes de refroidissement (sur la surface du carter) sont sous dimensionnées, à cause d'une conception erronée, la machine risque une élévation anormale de sa température au cours du fonctionnement [8].

### ***A-2 Défaillances de la boîte à bornes***

Les vibrations excessives de différentes origines peuvent conduire à un desserrement des boulons de la boîte à bornes, ce qui mène à une rupture d'une phase en cours de fonctionnement. La contamination par des corps étrangers (poussière, graisse,...), peut aussi induire un arc entre les prises de connexion. Il en résulte une rupture d'une phase ou un court-circuit entre les phases [8].

### ***A-3 Défaillances du circuit magnétique***

Les tôles du circuit magnétique sont normalement isolées entre elles ; toutefois elles peuvent être accidentellement se court-circuitées. Ce défaut peut avoir comme origine [8] :

- Un court-circuit des conducteurs qui peut également provoquer un échauffement local intense dans les tôles ;
- Les corps étrangers projetés dans l'entrefer peuvent entraîner l'abrasion des tôles et causer des court-circuités ;
- Un défaut sévère d'excentricité statique et/ou dynamique peut conduire à un contact franc entre le stator et le rotor, ce qui pourra détruire le circuit magnétique.

### ***A-4 Défaillances des conducteurs***

Les courts circuits entre spires ou bobines sont les défauts les plus nuisibles et les plus rencontrés au niveau du stator. Ils proviennent souvent d'une dégradation du matériau isolant recouvrant les conducteurs. Cette dégradation est due principalement à un échauffement anormal dans le bobinage. Le courant, dans les spires court-circuitées, atteint des valeurs énormes et l'augmentation de la température qui en suit entraîne la destruction de tous les isolants et par conséquent la défaillance complète de la machine [8].

## **B) Défaillances rotoriques**

### ***B-1 Défaillances du circuit magnétique***

Comme dans le stator, dû généralement à une excentricité statique et/ou dynamique. Il en résulte la création de points chauds. Ces derniers peuvent engendrer des ruptures de barres ou de segments d'anneaux de court-circuit [8].

### **B-2 Défaillances des conducteurs**

La cage rotorique étant formée de conducteurs (barres) est de deux anneaux de court-circuit. Les ruptures ou les fissures de barres ou de segments d'anneaux de court-circuit sont très fréquent dans les machines de grande puissance [8].

La cassure d'une barre peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. Ce défaut est dû à :

- Un nombre important de démarrages successifs ce qui induit des courants énormes dans les barres rotoriques ;
- Une excentricité statique et/ou dynamique, le rotor sera soumis à différentes forces qui tendent à faire sortir les barres des encoches ;
- La dilatation puis la contraction répétée dans les barres rotoriques.

Une rupture de barres conduit à de fortes oscillations dans le couple et la vitesse accompagnées par des vibrations et des bruits excessifs ainsi qu'une augmentation de la température dans les barres adjacentes de la barre rompue [8].

### **C) Défaillances de l'arbre**

A cause de l'utilisation d'un mauvais matériau lors de sa construction, l'arbre peut comprendre des micros – fissures ; et avec le temps, ces fissures peuvent mener à une fracture de l'arbre provoquant ainsi un arrêt immédiat de la machine. La robustesse mécanique de l'arbre peut être affectée par des phénomènes d'oxydation liés à l'environnement. Une excentricité statique et/ou dynamique ou un surdimensionnement de la charge mécanique peut induire des efforts considérables sur l'arbre moteur, amenant ainsi une fatigue supplémentaire [8].

### **D) Défaillances du ventilateur**

Si le ventilateur n'est pas correctement fixé sur l'arbre ou s'il comporte un nombre de pales casées, on aboutit à une augmentation anormale de la température de la machine [8].

### **E) Défaillances des paliers**

#### **E-1 Défaillances des flasques**

Les défaillances des flasques sont généralement créées durant l'étape de fabrication. En effet, si les bords intérieurs ou extérieurs des flasques ne sont pas usinés correctement,

les roulements à billes sont alors décentrés. Cela conduit à une excentricité du rotor par rapport au stator produisant des efforts supplémentaires sur l'arbre et sur les roulements à billes ce qui accélère leur détérioration [8].

### **E-2 Défaillances des roulements à billes**

Les roulements à billes jouent un rôle très important dans tout type de machines électriques tournantes. D'une manière générale, toute insertion en force des roulements à billes sur l'arbre, est susceptible de créer des indentations sur les surfaces de contact, voire une fracture directe. Le champ axial peut induire des courants électriques qui vont circuler au niveau des roulements à billes, ce qui accélère leur détérioration. En plus, la graisse qui permet la lubrification et la bonne rotation des roulements peut, dans certains cas, se rigidifier et causer une résistance à la rotation [8].

## **I.6 Domaine d'utilisation de la machine asynchrone**

La machine asynchrone est très utilisée dans les applications industrielles, car de par sa conception, son cout est relativement moindre à celui des autres machines, sa robustesse au niveau électromagnétique est grande, et une bonne standardisation existe entre les différents fabricants. Cependant, la simplicité de conception de cette machine cache une complexité fonctionnelle assez importante.

La machine asynchrone a longtemps été fortement concurrencée par la génération de la machine synchrone dans les domaines de forte puissance, jusqu'à l'avènement de l'électronique de puissance. On la retrouve aujourd'hui dans de nombreuses applications, notamment dans le transport (métro, trains, propulsion des navires), dans l'industrie (machines-outils), dans l'électroménager. Elle était à l'origine uniquement utilisée en moteur, mais toujours grâce à l'électronique de puissance, elle est de plus en plus souvent utilisée en génératrice; c'est par exemple le cas des éoliennes [5].

## **I.7 Avantages et inconvénients de la machine asynchrone**

Comme les autres machines électriques, la MAS présente quelques avantages et inconvénients qui sont liés à plusieurs facteurs : sa structure, sa stratégie de commande et ses applications [5].

### I.7.1 Avantages

Parmi les avantages de la machine asynchrone et notamment en fonctionnement moteur, on peut citer :

- Sa robustesse mécanique.
- Son faible coût.
- L'absence d'entretien constant.

### I.7.2 Inconvénients

L'inconvénient majeur du moteur asynchrone est relié à l'absorption du réactif

- Qu'il faut parfois compenser, à des pertes de glissement et surtout à la nécessité de fonctionner pratiquement au Voisinage de la vitesse de synchronisme.
- Le courant de démarrage plus élevé (5 à 8 fois le courant nominal).
- Difficile de contrôler la vitesse

## I.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté quelques généralités sur la constitution de la machine asynchrone, et plus particulièrement sur celle de la machine asynchrone à cage d'écureuil. Nous avons étalé les types de défaillances de la machine asynchrone, et présenter d'une façon générale, l'enchaînement des mécanismes de défaillance probables ayant lieu d'une machine asynchrone mise en service, nous avons effectué une analyse des différents défauts pouvant survenir sur la machine asynchrone a cage d'écureuil.

A la fin du chapitre, nous avons donné quelques domaines d'application, ainsi que leurs avantages et inconvénients.

## Références du Chapitre I

- [1] LEBATT Ahmed, OULD NAH Sid' Ahmed, « Commande vectorielle de la machine Asynchrone », Mémoire de Master en commande des systèmes électriques (CSE), Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, 2016
- [2] GAZZAM Abdelhak, SAFSAFA Chouaib ; « Diagnostic des défauts rotorique des machines asynchrones à cage par différentes techniques de traitement de signal », Mémoire de Master en Electromécanique, Université de Laghouat 2018.
- [3] Hakima CHERIF, « Détection de défaut statoriques et rotoriques dans la machine asynchrone en utilisant l'analyse par FFT et ondulettes », Mémoire Magister, option commande et motorisation des vehicule electriques, Université Biskra 2014.
- [4] Mr. MESSAOUDI Yacine, Mr. OUKACINE Belkacem, « Modélisation fine multi-spines de la machine asynchrone en vue de sa simulation en régime sain et de défauts de courts-circuits entre spires », Mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention de diplôme d'ingénieur d'Etat en électrotechnique, Option : Machines électriques, 2009.
- [5] BENLAHBIB Abderrahmane, BENLEKHDIM Mouhammed Amar, « Revue sur les méthodes de diagnostic des défauts dans les machines asynchrone », Mémoire de Master en Electromécanique, Université de Laghouat 2020.
- [6] BOUGHAGHA Fouzi, « Diagnostic et détection des défauts mécaniques affectant les systèmes électromécaniques », mémoire Master, Université Badji Mokhtar Annaba, 2019.
- [7] MEDOUED Ammar ; « Surveillance et diagnostic des défauts des machines électriques : application aux moteur asynchrone » ; Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de Docteur en Sciences Université du 20 Août 1955-Skikda, 2012.
- [8] SAHRAOUI Mohammed, « Etude Comparative des Méthodes de Diagnostic des Machines Asynchrones », Thèse Doctorat sciences, Université Biskra, 2010
- [9] GUERGUER Mounir, « Diagnostic de la machine asynchrone par analyse vibratoire », mémoire de Master en Electrotechnique UNIVERSITE CONSTANTINE I, 2013
- [10] Dr. NOUAR Allal. Support de cours dédié aux étudiants de 2ème Master Electromécanique « Diagnostic des défauts dans les machines Électrique ». 2020
- [11] BOURAIOU Ahmed, « DIAGNOSTIC DE DEFAUTS PAR LOGIQUE FLOUE », Présenté pour l'obtention du diplôme de Magister en Commande Electrique, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, 2010

A decorative border of small yellow stars surrounds the entire page, forming a rectangular frame.

## ***CHAPITRE II***

***Surveillance et diagnostique***

***des machines asynchrones***

***(Unité Sonatrach)***

## II.1 Introduction

Actuellement, les machines asynchrones sont considérées comme l'outil de conversion électromécanique le plus utilisé dans le milieu industriel. Cet engouement pour ce type de machine est justifié par sa simplicité de construction, son faible coût d'achat et sa robustesse mécanique. Des applications de la machine asynchrone à vitesse variable, ont vu le jour dans divers domaines en l'occurrence l'aéronautique, la robotique et dans certains mécanismes industriels à haute précision. Toutefois, cette machine peut être affectée par des défauts potentiels qui se répercutent sur la sécurité de la production, la qualité du service et la rentabilité des installations. Par conséquent, il est très intéressant de développer des systèmes de surveillance et de diagnostic pour détecter de manière anticipée les défauts pouvant survenir dans ce type de machines. La surveillance d'un dispositif implique le diagnostic des défauts : il consiste en la détection d'un changement anormal dans le comportement ou l'état d'un système et dans la localisation de sa cause. Le but est de garantir la sécurité et la continuité de service et d'enregistrer les événements utiles pour la maintenance curative ou le retour d'expérience.

Dans ce chapitre nous allons présenter les différents types des machines asynchrone exploitées par la compagnie algérienne Sonatrach puis on va donner une étude statistique des défaillances dans ces machines.

A la fin du chapitre, nous allons présenter une étude pratique sur le diagnostic et la maintenance des machines asynchrone au sein de la direction de maintenance de SONATRACH, service de maintenance dans l'atelier d'électromécanique.

## II.2 Présentation de la société SONATRACH

La société **SONATRACH** (Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures), est une compagnie étatique algérienne et un acteur international majeur dans l'industrie des hydrocarbures. Le groupe pétrolier et gazier est classé 1ère en Afrique et 12ème dans le monde en 2013, toutes activités confondues, avec un chiffre d'affaires à l'exportation plus de 60 milliards de US\$.[1]

Ne le 31 décembre 1963, la compagnie intervient dans l'exploration, la production, le transport par canalisations, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Elle est 4ème exportateur mondial de GNL, 3ème exportateur mondial de GPL et 5ème exportateur de Gaz Naturel. Adoptant une stratégie de diversification, Sonatrach se développe aussi bien dans les activités de génération électrique, d'énergies nouvelles et renouvelables, de dessalement d'eau de mer, de recherche et d'exploitation minière. Poursuivant sa stratégie d'internationalisation, Sonatrach opère en Algérie et dans plusieurs régions du monde : Afrique (Mali, Niger, Libye, Egypte), Europe (Espagne, Italie, Portugal, Grande Bretagne), Amérique Latine (Pérou) et USA. [1]

### II.2.1 Le gisement Hassi R'mel

Le gisement Hassi R'mel se trouve à 550 km au sud d'Alger, entre les villes de Laghouat et Ghardaïa. Il constitue l'un des tous premiers gisements de gaz naturel au monde avec un volume de gaz à condensat, estimé à près de 3000 milliards de mètres cube standard contenu dans une structure d'environ 80 km de long et 60 km de large.

Il est compris entre 2° 55' et 3° 50' de longitudes et 3° 50' de latitudes Nord .Dans cette région relativement plate du Sahara l'altitude moyenne est d'environ de 750m au-dessus du niveau de la mer [2]

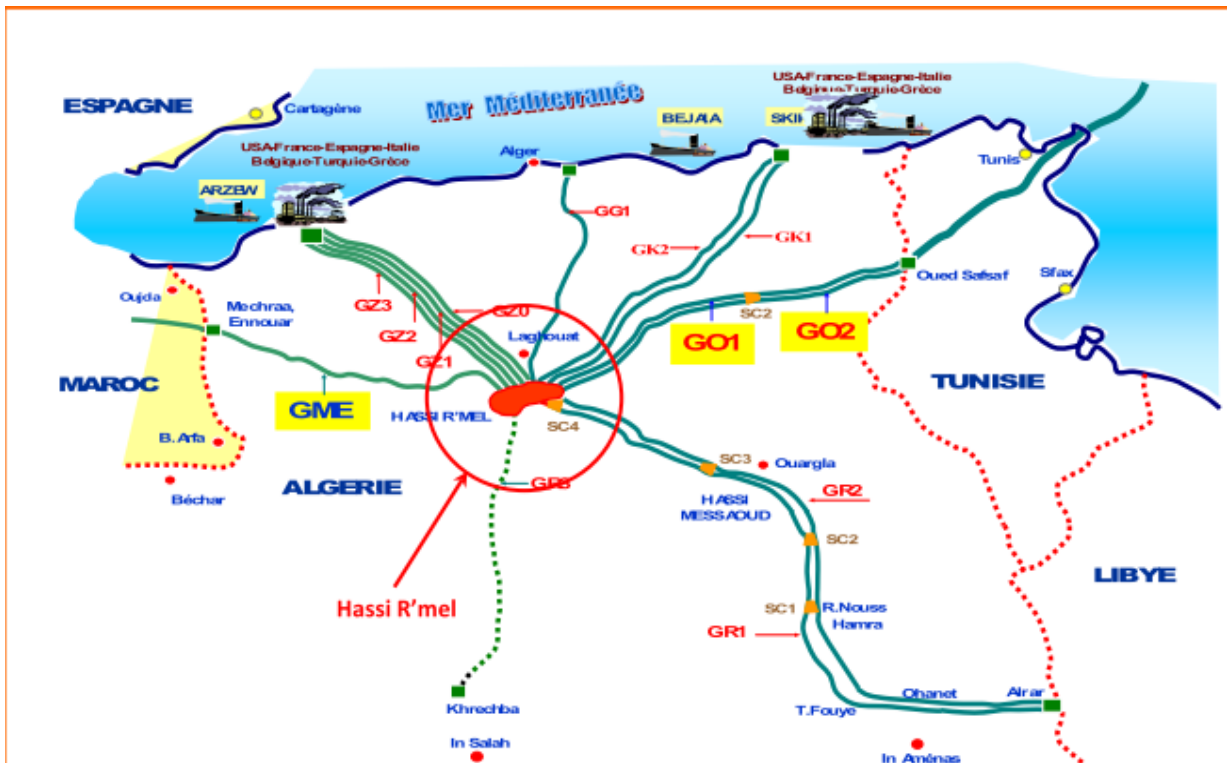


Figure II.1 : La situation Géographique de Hassi R'mel [7]

II.2.2 Les directions et les déviations de la division production:[2]

A) Les directions

1) Direction engineering et production :

Elle a pour objectif l'organisation et la mise en œuvre des services techniques opérationnels et d'intervention sur toutes les installations ainsi le CTH (centre de traitement de l'huile).

Elle gère l'activité de production en amont des unités de productions, (puits de gaz et de pétrole) ainsi que leur entretien.

2) Direction exploitation :

Elle assure la réalisation de programme de production, d'exploitation des unités et d'injection des hydrocarbures établis pour la région.

3) Direction maintenance :

Elle est chargée de la planification, le développement, l'organisation et la mise en œuvre des services de maintenance pétrolière besoins actuels et futur de la région.

**4) Direction technique :**

Elle s'occupe de la maintenance des réseaux et collecte de transport de gaz et de la réalisation de nouveaux projets.

**5) Direction logistique :**

Elle lance les projets dans le secteur de soutien et réalise les travaux non pétroliers, en l'occurrence de génie civil, entretien des locaux, électricité, bâtiment, plomberie et climatisation ainsi que le transport, et maintenance des véhicules et engins, production d'eau potable et industrielle.

**b) Les divisions****1) Division sécurité :**

Elle s'occupe de contrôle, de l'organisation et la maintenance d'un haut niveau de sécurité des personnels et d'installation industrielle ainsi que le développement de la prévention

**2) Division finance :**

Elle a pour objectif la prestation des services de trésorerie, de compatibilité générale, de comptabilité de gestion et de contentieux au niveau de la région.

**3) Division ressources humaines :**

Elle assure l'organisation et le contrôle des activités de la région en matière de recrutement, formation, gestion du personnel, prestations sociales, activités culturelles et administration générale.

**4) Division approvisionnement :**

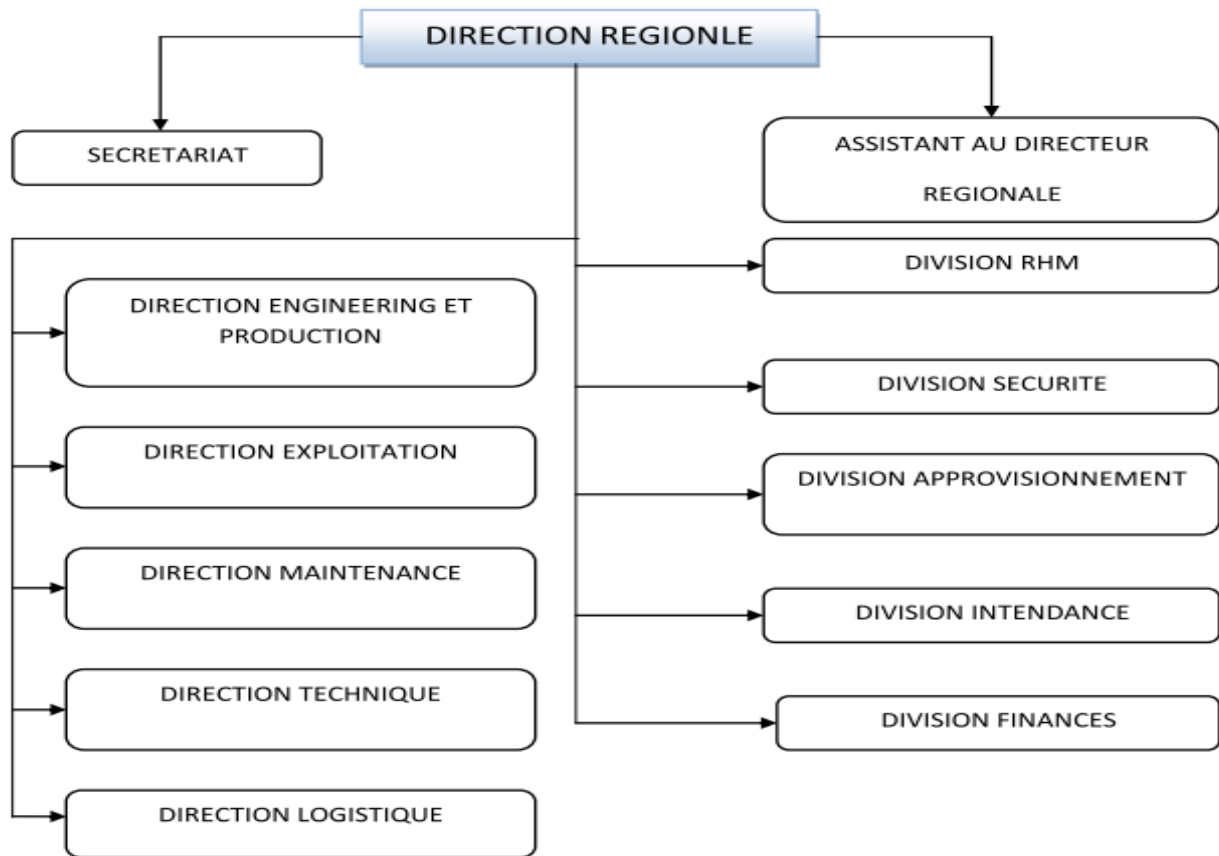
Elle recouvre les activités d'achat et de la gestion des stocks

**5) Division informatique :**

Elle assure la gestion, le développement et la maintenance de l'outil informatique.

**6) Division intendance :**

Elle a pour objectif la prestation des services de restauration et d'hébergement et la gestion des patrimoines mise à disposition.



**Figure II.2 :** Organigramme de Sonatrach Hassi R'mel[2]

### II.2.3 Présentation de service mécanique :

#### A) Description du service

Le service mécanique est un service de prestation ; il est lié à la direction maintenance, il se compose de trois section :[2]

- Section fabrication mécanique : Elle dispose d'un atelier de fabrication mécanique, elle assure la réalisation des pièces de rechange simple, et bien sur, chariotage fraisage rectification...etc.
- Section réparation vanne : Sa fonction est, la réparation et la rénovation des Vannes.
- Section vibration et équilibrage : Elle dispose d'un atelier de l'équilibrage, ce service s'occupe de suivi des machines tournantes par l'analyse vibratoire et équilibrage des rotors.

### II.3 Les moteurs asynchrones utilisés par la société SONATRACH

Dans la compagnie Sonatrach on remarque la dominance de la machine asynchrone, celle-ci est exploitée de différents types, marques et pour plusieurs buts [3] :



**CARACTERISTIQUES DU MOTEUR**

UNITE:..... **TRAVAUX NEUVE**.....  
 SERVICE:..... **S1**.....  
 MARQUE: ..... **ABB**.....  
 TENSION: ..... **5500 V**.....  
 INTENSITE: ..... **31 A**.....  
 PUISSANCE: ..... **250KW**.....  
 FREQUENCE: ..... **50HZ**.....  
 NBRE PÔLES: ..... **2 / 4**.....  
 VITESSE:..... **2972rpm**.....  
 CLASSE D'ISOLEMENT:..... **F**.....  
 TYPE : ..... **HXR 400** .....

**SPECIFICATIONS BOBINAGE**

NBRE PHASES : ..... **3**.....  
 NBRE ENCOCHES: ..... **24**.....  
 MODE BOBINAAGE: ..... **IMBERIQUE**.....  
 NBRE BOBINE: ..... **6**.....  
 NBRE ENROULEMENT/BOBINE: ..... **4**.....  
 PAS DE BOBINE: ..... **7**.....  
 NBRE SPIRES/ENROULEMENT: ..... **104**.....  
 NBRE FIL EN PARALLELE: ..... **1**.....  
 DIAM FIL ORIGINE: ..... **0.45 min**.....



**CARACTERISTIQUES DU MOTEUR**

UNTE:.....MPPI.....  
 UTILISATION:.....VENTILATEUR.....(AERO).....  
 MARQUE: .....YASKAWA ELECTRIC.....  
 TENSION: .....380V.....  
 INTENSITE: .....20A.....  
 PUISSANCE: .....11KW.....  
 FREQUENCE: .....50HZ.....  
 NBRE PÔLES: .....2.....  
 VITESSE: .....2940rpm.....  
 N° SERIE: .....721343.....

**SPECIFICATIONS BOBINAGE**

NBRE PHASES : .....3.....  
 NBRE ENCOCHES: .....36.....  
 MODE BOBINAAGE: .....IMBRIQUE'.....  
 NBRE BOBINE: .....6.....  
 NBRE ENROULEMENT/BOBINE: .....6.....  
 NBE SPIRES/ENROULEMENT: .....11sp.....  
 NBRE FIL EN PARALLELE: .....6.....  
 DIAMFILORIGINE: ...3X0.90+2X0.95+0.80 mm.....



**CARACTERISTIQUES DU MOTEUR**

UNITE:.....MPP III.....  
 UTILISATION:.....POMPE HUIL ETANCHEITE.....  
 MARQUE: .....HITACHI.....  
 TENSION: .....380V.....  
 INTENSITE: .....28A.....  
 PUISSANCE: .....15 KW.....  
 FREQUENCE: .....50HZ.....  
 NBRE PÔLES: .....4.....  
 VITESSE:.....1450rpm.....  
 N° SERIE: .....286607.....

**SPECIFICATIONS BOBINAGE**

NBRE PHASES : .....3.....  
 NBRE ENCOCHES: .....48.....  
 MODE BOBINAGE: .....IMBRIQUE.....  
 NBRE BOBINE:.....12.....  
 NBRE ENROULEMENT/BOBINE:.....4.....  
 NBRE SPIRES/ENROULEMENT: .....19sp.....  
 NBRE FIL EN PARALLELE: .....2.....  
 DIAM FIL ORIGINE: .....1.00mm.....



**CARACTERISTIQUES DU MOTEUR**

UNITE:.....MPP1.....  
 UTILISATION: .....AEROREFRIGERANT CONDENSEUR.....  
 MARQUE: .....ALLIS - CHAL MERS .....  
 TYPE: .....RGZ.....  
 TENSION: .....380 V.....  
 INTENSITE: .....44 A.....  
 PUISSANCE: .....30HP 22KW .....  
 FREQUENCE: .....50HZ .....  
 NBREPÔLES: .....04.....  
 VITESSE: .....1470.....  
 N°SERIE: .....EL 1-5106-78488-3-17 .....  
 CLASSE D'ISOLEMENT: .....F.....

**SPECIFICATIONS BOBINAGE**

NBRE PHASES : .....3.....  
 NBRE ENCOCHES: .....60.....  
 LONGUEUR ENCOCHE: .....175 mm.....  
 MODE BOBINAGE: .....IMBRIQUE.....  
 NBRE BOBINE: .....12.....  
 NBRE ENROULEMENT/BOBINE: .....5.....  
 PAS DE BOBINE: .....13.....  
 NBRE SPIRES/ENROULEMENT: .....9.....



**CARACTERISTIQUES DU MOTEUR**

UNTE:.....SBC.....  
 UTILISATION:.....AERO GAZ.....  
 MARQUE: .....ABB MOTORS .....  
 TENSION: .....380VΔ.....  
 INTENSITE: .....58 A.....  
 PUISSANCE: .....30KW .....  
 FREQUENCE: .....50HZ.....  
 NBREPÔLES: .....4 .....  
 VITESSE: .....1476.....  
 CLASSE D'ISOLEMENT: .....F.....

**SPECIFICATIONS BOBINAGE**

NBRE PHASES : .....3.....  
 NBRE ENCOCHES: .....48.....  
 LONGUER ENCOCHE: .....250 mm.....  
 MODEBOBINAAGE: .....IMBRIQUE.....  
 NBRE BOBINE: .....12.....  
 NBREENROULEMENT/BOBINE: .....2.....  
 PAS DE BOBINE: .....11.....  
 NBRE SPIRES/ENROULEMENT: .....22.....  
 NBRE FIL EN PARALLELE: .....4.....  
 DIAM FIL ORIGINE: .....3X1.10+1.15.....



**CARACTERISTIQUES DU MOTEUR**

UNITE:.....MPP3.....  
 UTILISATION:.....POMPE D'EXPDITION FAUBRUSTE.....  
 MARQUE: .....FUJIF ELECTRIC.....  
 TENSION: .....380V.....  
 INTENSITE: ..... 41A .....  
 PUISSANCE: .....22KW.....  
 FREQUENCE: .....50HZ.....  
 NBRE PÔLES: .....2.....  
 VITEESSE: .....2940 rpm.....  
 CLASSE D'ISOLEMENT: .....B.....

**SPECIFICATIONS BOBINAGE**

NBREPHASES : .....3.....  
 NBREENCOCHES: .....36.....  
 LONGUER ENCOCHE: .....22.5cm.....  
 MODE BOBINAGE: .....IMBRIQUE.....  
 NBRE BOBINE: .....6.....  
 NBRE ENROULEMENT/BOBINE: .....6.....  
 PAS DE BOBINE: .....12.....  
 NBRE SPIRES/ENROULEMENT: .....10.....  
 NBRE FIL EN PARALLELE: .....6.....  
 DIAMFILORIGINE: .....1.30 MM .....

**Figure II.3 :** Exemples des MAS utilisées par SONATRACH et leurs caractéristiques

### II.3.1 Utilisations des moteurs sur les sites dans SONATRACH

La Machine Asynchrone est adaptée à une grande variété d'applications dans la compagnie SONATRACH.[3] :

#### 1) Comme pompe

- pompe d'huile
- pompe d'eau

Faire tourner un arbre d'une (pompe, turbine ou bien compresseur) pour élever la pression d'une substance liquide ou gazeuse et pour faciliter le transfert de matières d'un endroit à un autre (facilite le transport par canalisation)

#### 2) Comme moteur entraînant une charge

- moteur de lancement
- moteur de Aire aune

Faire circuler un ventilateur d'air pour refroidir une substance liquide ou gazeuse à une température requise et nécessaire

Pour les turbine, le MAS c'est juste pour lancement de la turbine et après le moteur désaccouple et l'arbre continue la rotation par la pression de gaz [3].

## II.4 Défaillances des machines asynchrones dans la société SONATRACH

### II.4.1 Etude statistique

Un défaut dans un composant peut résulter d'une usure normale, d'une mauvaise conception, d'un mauvais montage (désalignement), d'une mauvaise utilisation, ou d'une combinaison de ces différentes causes. Si un défaut n'est pas détecté suffisamment tôt, il peut entraîner la dégradation complète de la machine.

La Figure II.4 résumant le travail de recherche (Thorsen et Dalva, met en évidence la distribution de défauts parmi les composantes défectueuses dans 483 grands moteurs asynchrones fonctionnant dans un même domaine lié à l'industrie pétrochimique [4],

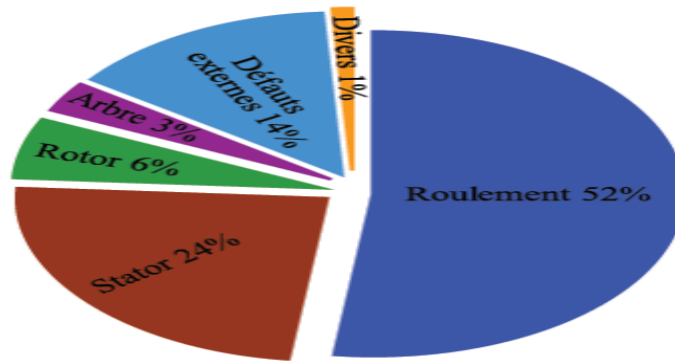


Figure II.4 : Distribution des défauts des machines électriques fonctionnant dans l'industrie pétrochimique [4]

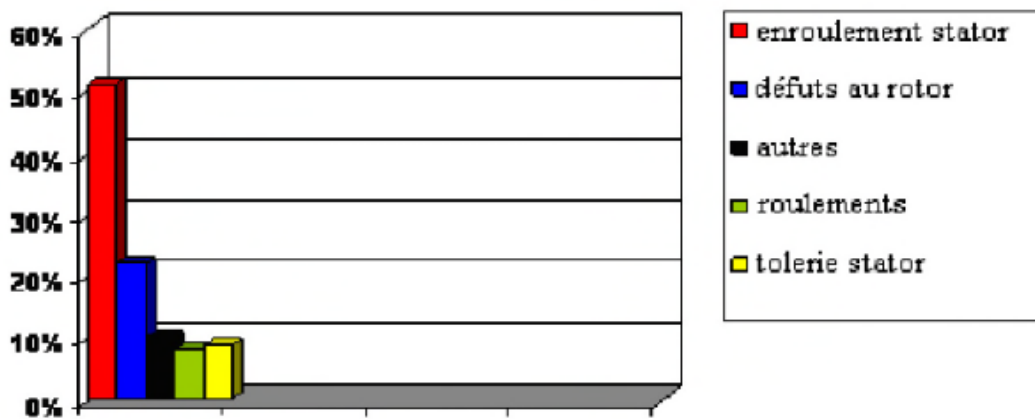


Figure II.5 : Répartition des pannes des machines de faible et moyenne puissance

✓ Les défauts statoriques sont les plus rencontrés dans ces types de machines [5].

Pour les machines de grande puissance (100KW à 1MW), une autre étude statistique a été effectuée et a donné les résultats suivants [5] :



Figure II.6 : Répartition des pannes des machines de fortes puissances

- ✓ Les contraintes mécaniques sont plus grandes pour ces types de machines ce qui explique le taux élevé des pannes dues aux enroulements. Celles-ci exigent une maintenance mécanique accrue. [5].

#### II.4.2 Défaillance de la machine asynchrone dans SONATRACH

Dans SONATRACH les machines asynchrones sont omniprésentes dans les systèmes de production automatisés à cause de leur robustesse et leur facilité de mise en œuvre. Néanmoins, ces moteurs électriques peuvent présenter différents types de défauts qui peuvent être classifiés comme suit [3]:

- Bruit et vibration
- Les défauts du stator qui résultent d'un défaut dans un ou plusieurs enroulements de phase statorique, ou d'un mauvais raccordement des enroulements statoriques ; Court-circuit des bobines statoriques
- Echauffement
- Défaut des roulements

Les défauts des roulements, les défauts statoriques ou d'armature, les barres cassées du rotor ou rupture de l'anneau, et les défauts liés aux excentricités sont les plus répandus et exigent, ainsi, une attention particulière.

Ces défauts produisent un ou plusieurs des symptômes suivants [4] :

1. Des vibrations et bruits ;
2. Un déséquilibre des phases électriques (courants et tensions) ;
3. Fluctuations accrues de couple ;
4. Diminution du couple moyen ;
5. Augmentations des pertes et réduction d'efficacité ;
6. Chauffage excessif et Echauffement.

Ces défauts ont le plus souvent une origine mécanique. En effet, des vibrations excessives peuvent mener à:

- un desserrement des boulons de la plaque à bornes de la machine créant ainsi le court-circuit.
- Une cosse mal serrée à la jonction du câble d'alimentation et des bornes de la machine peut être à l'origine d'une ouverture de phase.

- Le défaut le plus couramment rencontré reste encore la fusion d'un fusible de protection.
  - ❖ Ces défauts peuvent être détectés par une analyse harmonique des courants absorbés par la machine

**Remarque :**

Tous les défauts mentionnés ci-dessus ne fréquemment en raison de la politique de la société de SONATRACH au service de maintenance par ce que il y a une révision pour tous les moteur chaque 3000 heures de fonctionnement [3].

**Par ailleurs, deux majeurs problèmes sont plus répétés:**

- ✓ Problème de vibration due à l'endommagement des roulements : on utilise comme outil de diagnostic un **vibromètre**.
- ✓ Endommagement de bobinage de stator vers court-circuit (Défauts statoriques) : dont l'outil de diagnostic est le **Mégohmmètre**.

## II.5 Service de diagnostique et maintenance

### II.5.1 Définition de la maintenance

C'est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifique ou en mesure d'assurer un service déterminé «extrait de norme AFNORX60-010

### II.5.2 Différentes types de maintenance

Ces actions se différencient selon les techniques de mises en œuvre à savoir deux types qui sont utilisés par le service de maintenance de SONATRACH [4]:

- ❖ Maintenance corrective
- ❖ Maintenance préventive :
  - systématique
  - conditionnelle.

#### II.5.2.1 Maintenance Corrective

C'est un ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien. Autrement dit, 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.[4]

### II.5.2.2 Maintenance Préventive

Ce type de maintenance ayant pour objet de 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...).[4]

Les buts de la maintenance préventive, sont :

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

On distingue deux types de la maintenance préventive :

#### A) Maintenance préventive systématique

La maintenance systématique est un type de maintenance planifiée dans le temps (graissage, lubrification, nettoyage, dépoussiérage, calibrage,...). Il s'agit là d'éviter les causes de défaillances et de vieillissement des composantes du système. Généralement, 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 ...)[4]

#### . B) Maintenance préventive conditionnelle

C'est un type de maintenance déclenché suite à un symptôme observable (température, vibration, jeu excessif, ...) permettant de prédire une défaillance prochaine. Il s'agit là d'intervenir juste avant que la panne ne survienne. La maintenance préventive conditionnelle est réalisée dès lors qu'une mesure dépasse une valeur précise (seuil) d'une grandeur physique (température, pression...).

La maintenance préventive conditionnelle s'adresse aux pièces des machines coûteuses, et pouvant être surveillées par des méthodes non-destructives (vibration, huile, température, courant, etc.). Autrement dit, on ne change l'élément que lorsque celui-ci présente des signes de vieillissement ou d'usure affectant les performances du fonctionnement.

La maintenance préventive conditionnelle nécessite une équipe de maintenance de niveau technologique plus élevé formée en méthodes du diagnostic. Les outils ou bien les signaux qui peuvent être utilisés par la maintenance préventive conditionnelle sont[4] :

- ❖ mesure de température, thermographie infrarouge (lignage, roulements, paliers)
- ❖ mesures de pression (paliers) ;
- ❖ mesure de débit (paliers) ;
- ❖ analyse d'huile (roulements, paliers, engrenages) ;
- ❖ mesure de vibration (déséquilibre, lignage, roulements, paliers, engrenages, jeux, etc.) ;
- ❖ mesure du courant statorique, du couple, de la vitesse ou de la puissance.

D'après ces définitions, il apparaît donc que si un composant d'un système soit jugé défaillant, sa réparation ou son remplacement doit être considéré comme de la maintenance corrective ; si celui-ci est jugé non défaillant mais en état dégradé, sa réparation ou son remplacement doit être considéré comme de la maintenance préventive.[4]

La fonction maintenance est bien détaillée par la norme : AFNOR X60-000 d'où on peut extraire trois stratégies de maintenance préventive.

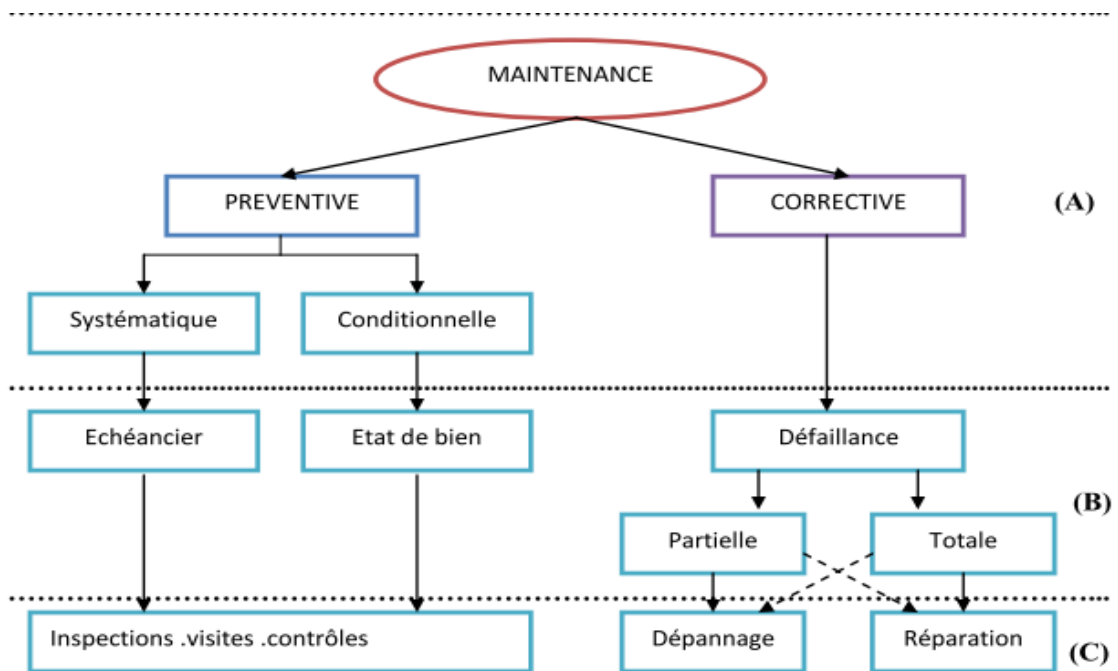


Figure II.7 : Les différents types de maintenance [2].

(A):Méthodes de maintenance

(B) : Evènements

(C) : Opération de maintenance

### II.5.3 Diagnostic des défaillances de la machine asynchrone

Le diagnostic a pour objectif de détecter d'une manière précoce un défaut avant qu'il ne conduise à une défaillance totale dans l'installation industrielle. Lorsqu'un défaut apparaît dans un équipement industriel, le système de diagnostic lié à ce dernier doit d'abord détecter l'anomalie du fonctionnement puis y identifier la (ou les) cause (s) de défaillance à l'aide d'un raisonnement logique pour qu'il puisse être isolé.[5]

#### II.5.3.1 L'organisation générale de la procédure de diagnostic

S'articule autour des étapes suivantes [5]

1- A partir des moyens de mesure ou d'observation appropriés, nous effectuons l'extraction des informations nécessaires à la mise en forme des caractéristiques associées aux fonctionnements normaux et anormaux.

2- l'élaboration des signatures associées à des symptômes de défaillance en vue de la détection d'un dysfonctionnement.

3- la détection d'un dysfonctionnement par comparaison avec des signatures associées à des états de fonctionnements normaux

4- la mise en œuvre d'une méthode de diagnostic de défaillance à partir de l'utilisation des connaissances sur les relations de causalité (catalogue cause - effets).

5- une phase d'interprétation des données de diagnostic.

6- la prise de décision en fonction des conséquences et de l'importance des défauts.

Donc ; les deux principales tâches de diagnostic sont :

- ❖ la détection : La détection consiste à signaler l'existence du défaut,
- ❖ la localisation des défauts : qui a pour objet de trouver le type de défaut

Pour cela il existe beaucoup méthodes de diagnostics de machine Asynchrone [5]:

#### **II.5.4 Méthodes de diagnostics**

##### **❖ Redondance physique ou matérielle**

La redondance physique consiste à utiliser plusieurs capteurs, actionneurs,  $\mu$  processeurs et logiciels pour mesurer et/ou contrôler une variable particulière .Un principe de vote est appliqué sur les valeurs redondantes pour décider si une faute est présente ou non. Cette approche entraîne un coût important en instrumentation mais s'avère extrêmement fiable et simple à implanter. Elle est mise en œuvre essentiellement sur des systèmes à hauts risques tels que les centrales nucléaires.

##### **❖ Redondance analytique ou Méthodes basées sur un modèle**

Un complément à la redondance physique est d'exploiter les contraintes liant les différentes variables du système. Ces contraintes peuvent souvent s'exprimer sous la forme de relations analytiques liant les variables connues (relations d'entrée/sortie ou de sortie/sortie). Ces relations sont appelées des relations de redondance analytique. Le principe de la surveillance consiste à vérifier si ces relations sont égales à zéro) en utilisant les mesures prélevées en ligne sur le système.

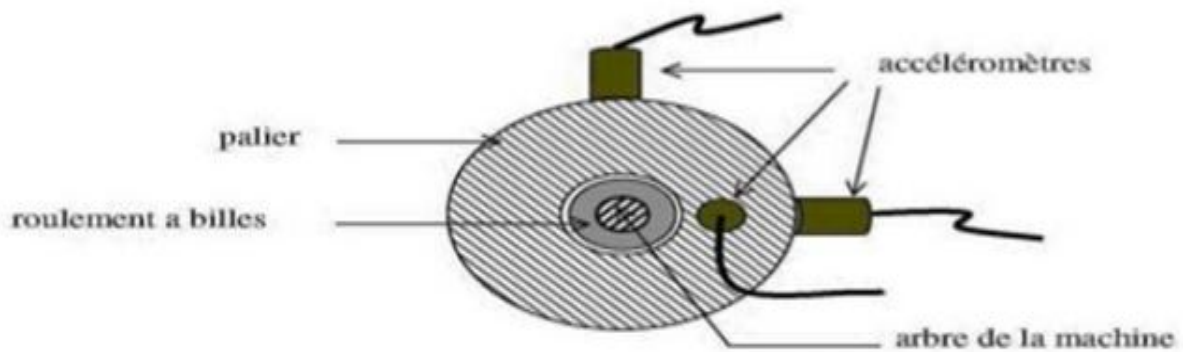
Le concept de redondance analytique repose sur l'utilisation d'un modèle mathématique du système à surveiller. Pour cette raison, les méthodes utilisant la redondance analytique pour la surveillance sont appelées méthodes à base de modèle.

### ❖ Méthodes basées sur l'analyse spectrale

L'analyse spectrale est utilisée depuis de nombreuses années pour détecter des défaillances dans les machines électriques, essentiellement les ruptures de barres et/ou de portions d'anneaux au rotor des machines asynchrones, la dégradation des roulements, les excentricités et les court-circuits 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 ou à des multiples de la fréquence d'alimentation

#### a) Analyses vibratoires de la machine

L'analyse vibratoire de la machine asynchrone peut être menée grâce à des accéléromètres placés sur les paliers dans les directions verticales, axiales et radiales.



**Figure II.8 :** Mesures vibratoires sur la machine Asynchrone [5]

Les vibrations de la machine fournissent des informations sur pratiquement tous les défauts fréquemment rencontrés, notamment ceux mécaniques. Cependant, ces analyses vibratoires comportent certains inconvénients :

- Problème d'accessibilité ou difficultés rencontrées dans les connexions mécaniques des accéléromètres pour effectuer les mesures nécessaires au voisinage direct du défaut.

- Le coût de ces capteurs est relativement élevé par rapport aux autres capteurs tels que les capteurs de vitesse ou de courant.

Pour s'affranchir de ces problèmes, les recherches focalisent leurs efforts pour détecter et localiser les défauts par l'analyse d'autres signaux. [5]

### b) Analyse des courants statorique.

Les signaux évoqués précédemment permettent de détecter un grand nombre de défauts sur la machine. Cependant, ces signaux nécessitent la mise en place d'un grand nombre de capteurs (flux, accéléromètres,...) souvent onéreux, sensibles et délicats à placer dans des environnements contraignants.

Pour ces inconvénients et pour extraire de manière précise les informations relatives aux défauts les recherches ont été particulièrement dirigées vers le spectre des courants statorique pour deux raisons: Les courants sont faciles à mesurer, ils fournissent des informations sur de nombreux défauts. [5]:

### II.5.5 Les types des signaux vibratoires :

La figure II.9 illustre les différents types des signaux rencontrés. [6]

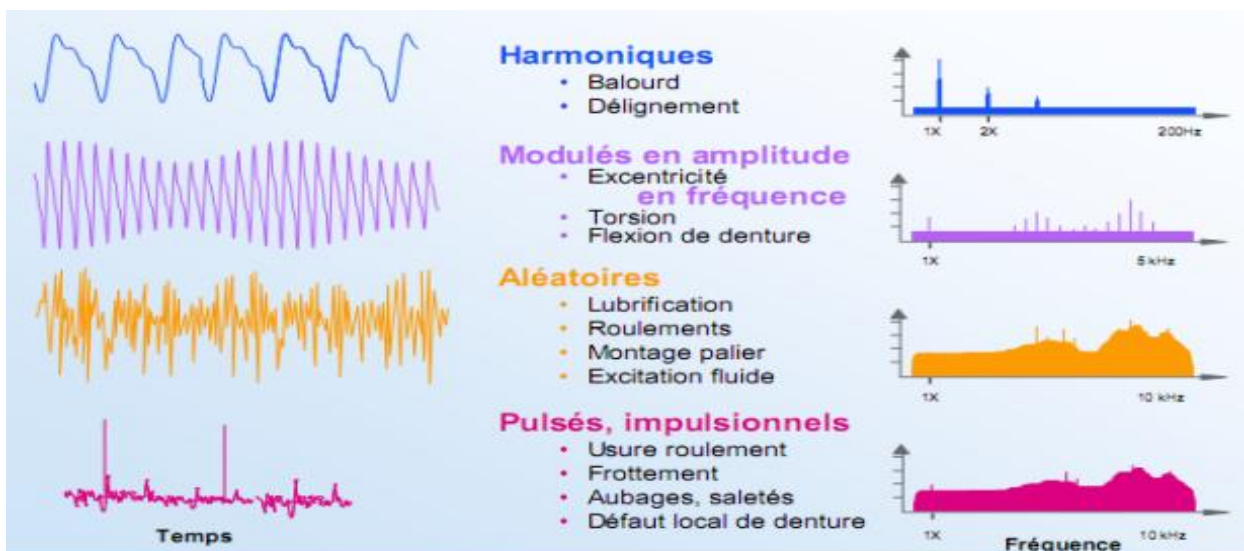


Figure II.9 : Les différents signaux vibratoires[6]

II.5.6 Les modes de détection :

En mesure vibratoire, on utilise couramment trois modes de détection

- ❖ Valeur efficace
- ❖ Valeur crête
- ❖ Valeur crête à crête

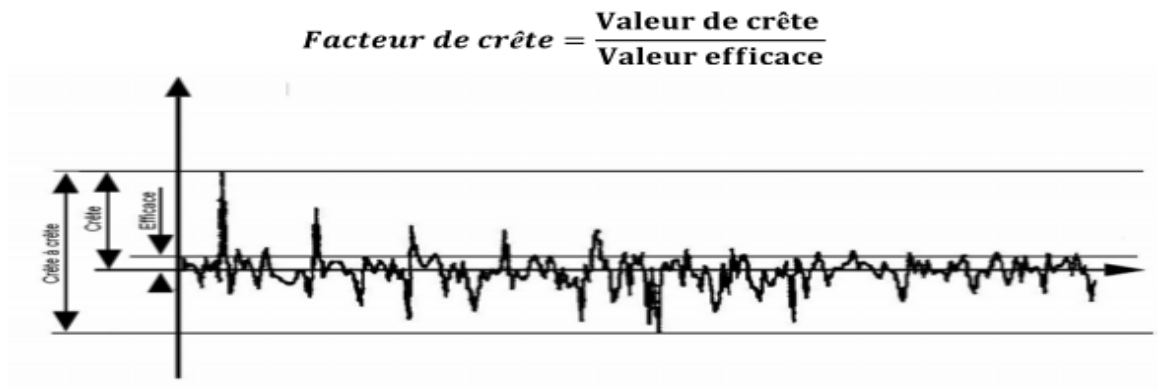


Figure II.10 : Modes de détection usuels [6]

II.5.7 Chaîne de mesure vibratoire :

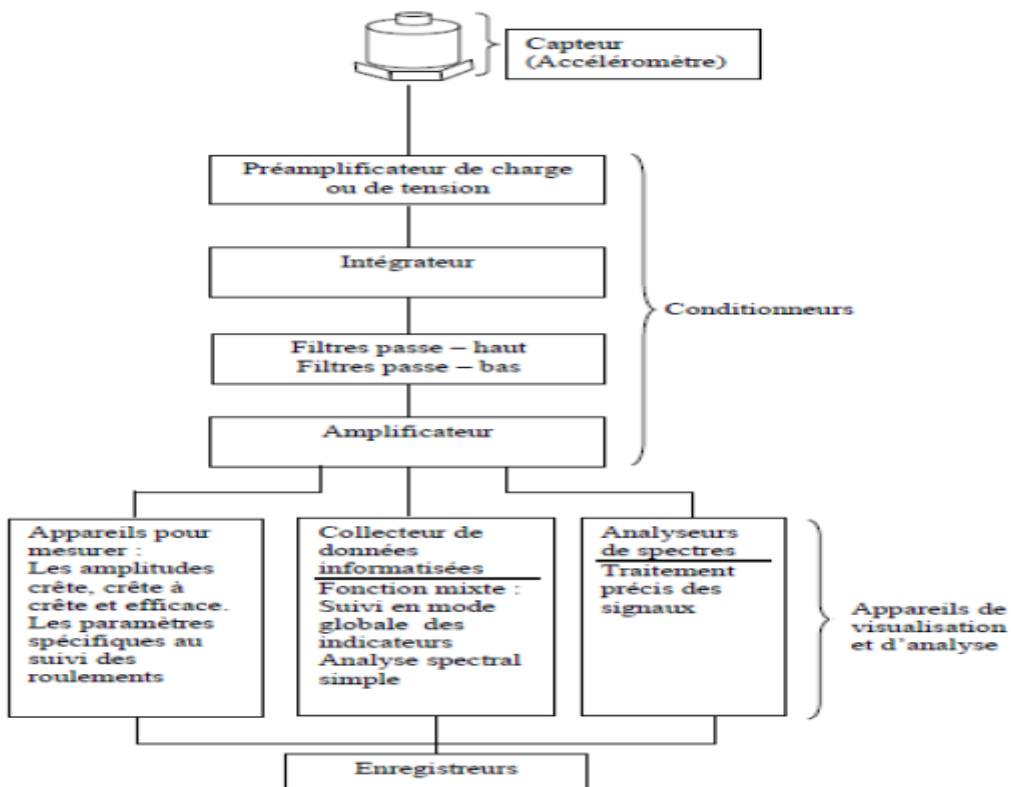


Figure II.11 Chaîne de mesure [6]

Il existe deux type de surveillance vibratoire, online donc les capteurs sont installés à demeure sur la machine et off line dans ce cas le mesure se fait manuellement avec le capteur[6].

### II.5.8 Les caractéristiques et type de capteurs utilisé :

Le capteur illustrer au-dessous (Figure II.12), quelle que soit la nature du signal qu'il délivre (accélération, vitesse, déplacement...) constitue le émier maillon de la chaîne de mesure. Sa fonction est de transformer le mouvement vibratoire en un signal électrique.

Un capteur se caractérise principalement par:[6]

- Bande passante.
- Dynamique
- Sensibilité.
- Tenue en température.
- Grandeurs d'influence.
- Masse et ses dimensions.



Figure II.12 : Capteur vibrotest

## II.6 Exemples (La surveillance vibratoire appliquée sur les machines tournantes (SONATRACH.) :

L'analyse vibratoire est un moyen utilisé pour suivre l'état des machines tournantes en fonctionnement et le méthode de diagnostique le plus utilisées dans SONATRACH. A partir des vibrations régulièrement recueillies sur une machine tournante, l'analyse vibratoire consiste à détecter d'éventuels dysfonctionnements et à suivre leur évolution dans le but de planifier ou reporter une intervention mécanique.[6]

**Tableau II.1 :** l'historique de l'analyse vibratoire site Hassi R'mel [2]

	<b>Logiciel de diagnostique</b>	<b>Appareil de mesure</b>	<b>Fournisseur</b>	<b>Observation</b>
<b>1988</b>	VAS (sous DOS)	MICROMAX (analyseur)	VIBROMETER	Début de suivi vibratoire des machines tournantes
<b>1989</b>	—	VIBROPOR 30 (analyseur)	SCHENCK (allemande)	VIBROPOR 30 : petite appareil de mesure globale
<b>1990</b>	CM 120 (sous DOS)	VIBROSTOR41 (collecteur)	SCHENCK	—
<b>1992</b>	CM 120 (sous DOS)	VIBROPOR 41 (analyseur)	SCHENCK	—
<b>1999</b>	CM 400 (sous Win)	VIBROPOR 41	SCHENCK	—
<b>2000</b>	CM 400	VT 60 (collecteur-analyseur)	SCHENCK	VT 60 : compatible avec CM 400

Aujourd'hui le service l'analyse vibratoire des machine tournante joue un très importante tell que ils sont avoir plusieurs du développement et l'expérience dans ce domaine des mesures et diagnostics des défauts par fréquence .qui permet de démunir les panne catalectique.

Relevés vibratoires sur le moteur électrique du GEP C pour le Spectre 0-1000 Hz [3]

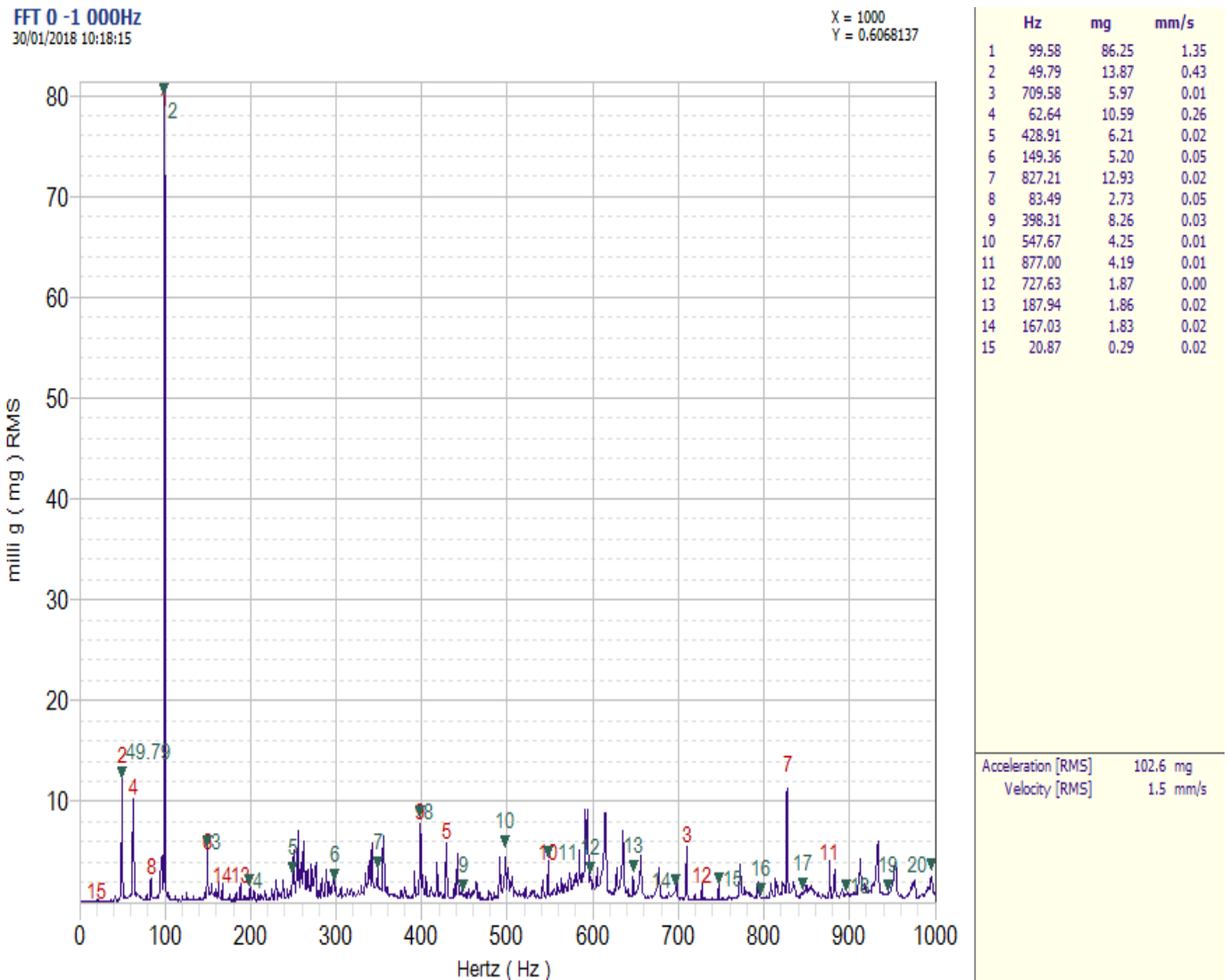


Figure II.13 : spectre 0-1000Hz - palier CA

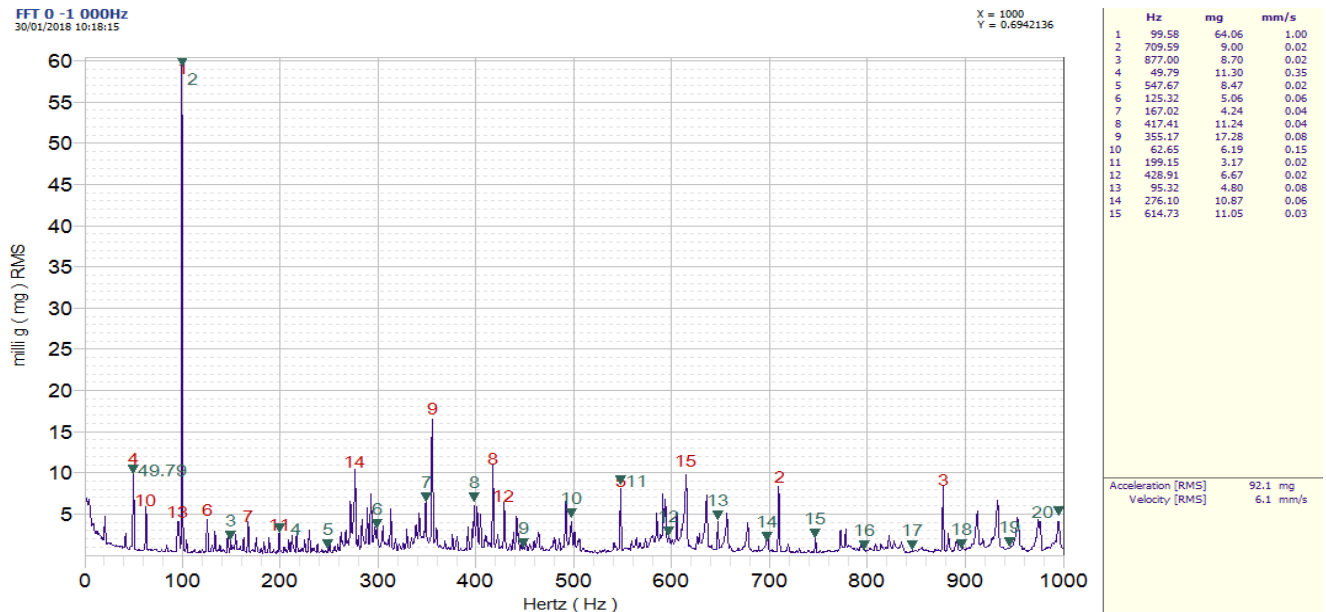


Figure II.14 : spectre 0-1000Hz – palier COA

### II.7 Interprétation (diagnostic des experts)

Relevés vibratoires sur le moteur électrique du GEP C : Les spectres montrent que le moteur présente un problème de désalignement [3]

### II.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude pratique sur la surveillance et la maintenance des machines asynchrones au sein de la direction de maintenance SONATRACH, la chaine de procédures et les normes de maintenance utilisée sont ainsi étalés

## ***Références du Chapitre II***

- [1] HAROUN Aghiles, « Interaction entre performance globale et valeurs publiques dans l'entreprise publique « SONATRACH » », mémoire master, 2015
- [2] HACHEMI Mohammed, « Application de l'ODS à l'analyse des problèmes de vibration des machines tournantes », mémoire master, 2012, p2--12
- [3] Service de maintenance « Sonatrach du site Hassi R'mel ».
- [4] Guerguer Mounir, « Diagnostic de la machine asynchrone par analyse vibratoire », mémoire master, Université Constantine I, 2013
- [5] Dr. NOUAR Allal. Support de cours dédié aux étudiants de 2ème Master Electromécanique « Diagnostic des défauts dans les machines Électrique ». 2020
- [6] HACHEMI Mohammed, « Application de l'ODS à l'analyse des problèmes de vibration des machines tournantes », mémoire master, 2012, p18--26
- [7] ADA Boudjema, HAMEL Hamida, « Etude technico économique d'un renouvellement de la chambre de combustion d'une Turbine à gaz MS5002C », mémoire master, 2016.



# ***CHAPITRE III***

## ***Etude des cas -société SONATRACH***

### III.1 INTRODUCTION

Les vibrations furent les premières grandeurs mesurées à être utilisées dans les approches de diagnostic à base de signal. Aujourd'hui mieux maîtrisée et appliquée par SONATRACH, la surveillance par analyse vibratoire connaît un nouvel essor et s'implante de plus en plus sur une large gamme de machines tournante.

Deux principales technologies de réalisation de la surveillance vibratoire existent dans la littérature [1] :

- Mesures directes de déplacements des parties tournantes : réalisées à l'aide de capteurs à courant de Foucault mesurant en permanence les déplacements des arbres de machines. Cette technologie est presque toujours réalisée en temps réel et sa technologie de mise en œuvre est lourde.

- Mesures de l'accélération subie par les parties fixes de la machine : réalisées à l'aide d'un accéléromètre, relié à un collecteur de données, qui recueille les vibrations subies par les carters des machines. Cette technique de surveillance s'effectue aussi bien en temps réel qu'en périodique selon un calendrier préétabli.

Les méthodes de diagnostic par une analyse vibratoire est réalisées par le suivi périodique de l'évolution d'un indicateur ou bien d'un ensemble d'indicateurs vibratoire(s) sélectionné(s) jusqu'au dépassement d'un seuil d'alarme.

Comme la détection de la majorité des défauts d'une machine asynchrone repose sur une analyse vibratoire de la machine ou sur une analyse harmonique des courants statoriques, ce chapitre est dédié aux différents outils nécessaires à l'analyse temporelle et fréquentielle des signaux vibratoires enregistrés sur une machine en présence de défauts au stator ou au rotor.

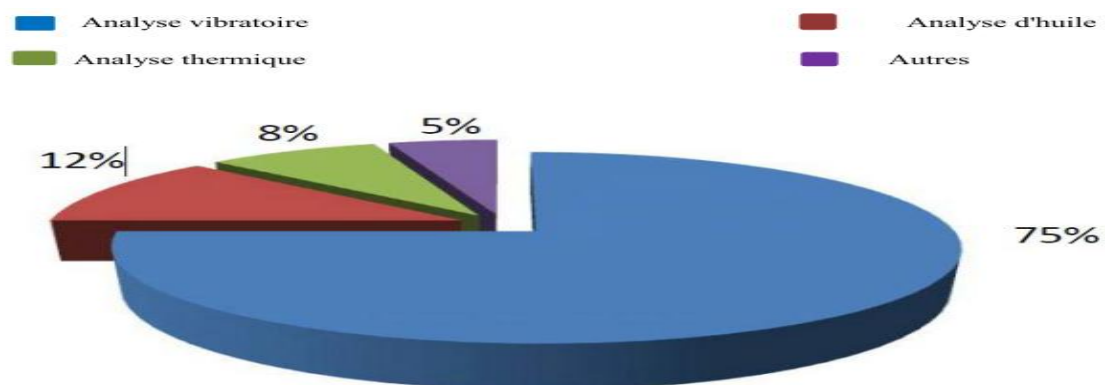
Nous allons présenter les résultats des analyses vibratoires effectuées sur des machines asynchrones au sein de la société SONATRACH, une méthode de classification qui repose sur d'extraction et de choix d'indicateurs de défauts à partir des signaux vibratoires est ainsi dévoilée.

### III.2 L'analyse vibratoire des machines asynchrone

Toutes les machines tournantes comprennent des organes fragiles (roulements et engrenages, notamment) soumis à des contraintes mécaniques importantes et à des environnements industriels difficiles.

Les sources de défaillance sont donc multiples : l'écaillage d'un roulement, la rupture d'une dent d'un engrenage, le désalignement d'un des axes, etc., lorsque la machine joue un rôle vital dans la production (c'est le cas par exemple d'une presse dans le domaine de l'imprimerie, d'un broyeur de cimenterie ou encore d'une centrifugeuse dans un réacteur chimique...), ces défauts peuvent s'avérer lourds de conséquences. Pour éviter des arrêts de production imprévus et les pertes économiques qui en découlent, il faut surveiller en permanence ces équipements et traquer tous les signes précurseurs de défauts avant qu'il ne soit trop tard. [2]

L'analyse vibratoire est la méthode la plus utilisée pour la surveillance et le diagnostic des machines tournantes dans l'industrie ( Figure III.1), à partir des vibrations régulièrement recueillies sur une machine tournante. Cette technique consiste à détecter d'éventuels dysfonctionnements et à suivre leur évolution dans le but de planifier ou reporter une intervention mécanique



**Figure III.1** : Distribution des méthodes de diagnostic des machines tournantes

Certains systèmes mécaniques génèrent un haut niveau de vibration lors de leur fonctionnement normal, lorsque ces systèmes développent progressivement des avaries, le niveau vibratoire augmente continuellement dans le temps mais il reste toujours assez bas et difficile à détecter. Si le taux d'évolution du défaut est trop faible,

il est presque impossible de déterminer clairement ses caractéristiques par des variations dans la forme temporelle. Les signaux vibratoires sont déterministes si leurs propriétés peuvent être caractérisées dans le temps. Cependant, certains défauts révèlent des caractéristiques aléatoires et non-déterministes et ne peuvent être aisément distingués, alors des paramètres statistiques sont calculés afin de détecter et de suivre l'évolution de ces défauts. Toutefois, la difficulté à identifier la nature du défaut persiste, c'est pourquoi des outils permettant de caractériser chaque défaut et suivre son évolution se sont apparus en se basant sur le concept de fréquence, les figure III.2 et III.3, présentent des exemples des cas.

[1,3]

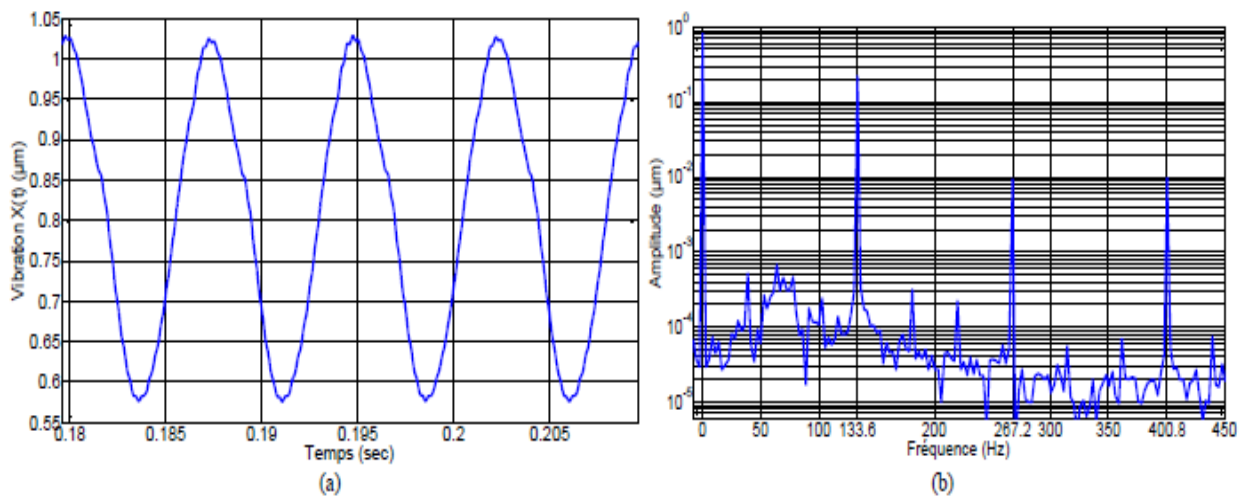


Figure III.2 Signal vibratoire dans le temps (a) et la fréquence (b) pour un cas sain [1]

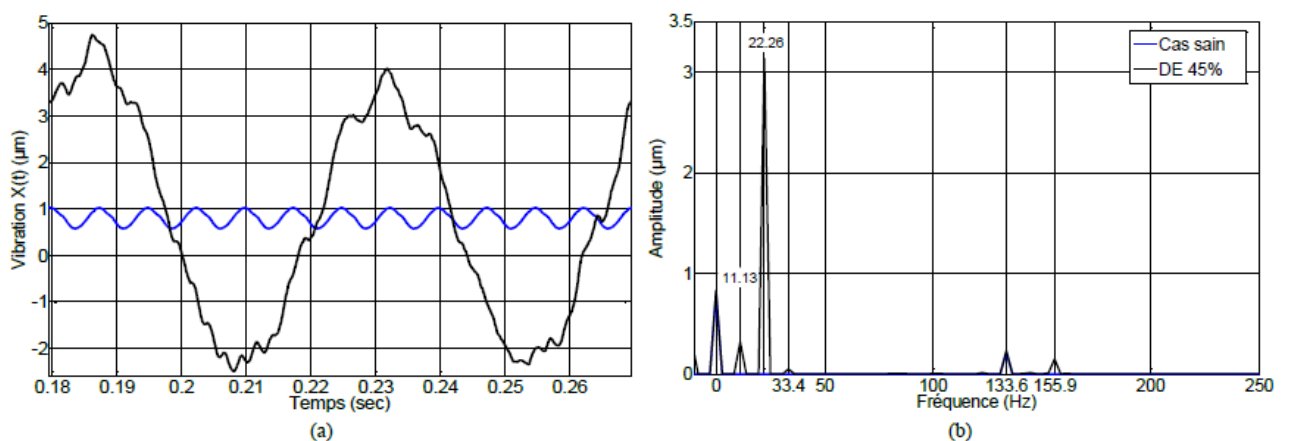


Figure III.3 : Signal vibratoire pour le cas sain et le DE dans le temps (a) et la fréquence (b)

[1]

- Ou le défaut DE est une Excentricité dynamique

Les recherches liées aux méthodes de détection des défauts électriques dans les machines tournantes se sont bien orientées vers les mesures et l'analyse des paramètres électriques tels le courant, la tension et le flux magnétique. En parallèle, une exploitation intensive de l'analyse des mesures vibratoires pour le diagnostic des défauts mécaniques tels le balourd, état des roulements et engrenage, ..., etc. Cependant, la théorie prédit que les variations dans le courant causées par une défaillance au stator d'une machine électrique par exemple, engendrent des modifications dans les forces magnétiques internes ce qui cause un changement des caractéristiques vibratoires de la machine.

### **III.3 Analyse vibratoire des machines asynchrone dans la société SONATRACH**

Le service maintenance suit un protocole de surveillance de machines tournantes, riche par les mesures de vibrations dont les objectifs sont:

- ✓ vérifier les fréquences et les amplitudes indésirables;
- ✓ Eviter les fréquences de résonance des composants de la structure;
- ✓ être capable d'amortir ou isoler la ou les sources de vibrations;
- ✓ étudier le comportement du système électrique (MAS)
- ✓ faciliter la maintenance préventive des machines;
- ✓ construire ou vérifier les modèles informatiques qui entrent en jeu.

Les problèmes et défauts fréquemment détectés sont : [1]

- ✓ Arbre
- ✓ Palier lisse
- ✓ Butée
- ✓ Généraux : balourd, désalignement, usure, etc.



Figure III.4 : machine asynchrone utilisé pour l'analyse vibratoire [3]

ABB Oy		Made in Helsinki, Finland	
Type	HXR 355LC4	No	4570362
Year	2002	Phases	3- Output 250 kW
Duty	S1	Voltage	5000 V
Connection	Y	Frequency	50 Hz
Insul.cl.	F	Speed	1488 rpm
Weight	1820 kg	Current	33 A
IP	55	Power factor	0,84
IC	311		
IM	3011		
Ex nA II T3 X, IEC 60079-15			
Amb. 45°C			
IEC 60334-1			
DRIVE END (DE) BEARING	E322/C3		
NON DRIVE END (NDE) BEARING	7319 B		
LUBRICATION INTERVAL AT 70°C (185°F) BEARING TEMPERATURE	3300	DUTY HOURS	
QUANTITY OF GREASE	DE 60	GRAMS	NDE 60 GRAMS
NOTE! EVERY 16°C (27°F) INCREASE ABOVE 70°C (185°F) IN THE BEARING TEMPERATURE HALVES THE PATED LUBRICATION INTERVAL			

Figure III.5 : plaque signalétique de MAS [3]

### III.3.1 Description de matériel utilisé

La première étape conduisant à l'obtention d'une lecture de vibration consiste à convertir la vibration mécanique produite par une machine en un signal électrique équivalent. Cette opération est réalisée au moyen des capteurs de vibrations, deux types de capteurs sont utilisés [4] :

- ✓ Les accéléromètres placés sur les paliers dans les directions verticales, axiales et radiales, (mesure d'accélération).
- ✓ Les sondes de déplacement ou de proximité : pour les mesures de déplacement relatif de l'arbre dans les paliers. Le prosimètre pour les mesures de déplacement, et la vélocimétrie pour la mesure de vitesse [2,4]

**Tableau III.1** Appareil des mesures vibratoire utilisé au site Hassi R'mel [2,6]

	Logiciel de diagnostique	Appareil de mesure	Fournisseur	Observation
1988	VAS (sous DOS)	MICROMAX (analyseur)	VIBROMETER	Début de suivi vibratoire des machines tournantes
1989	—	VIBROPOR 30 (analyseur)	SCHENCK (allemande)	VIBROPOR 30 : petite appareil de mesure globale
1990	CM 120 (sous DOS)	VIBROSTOR41 (collecteur)	SCHENCK	—
1992	CM 120 (sous DOS)	VIBROPOR 41 (analyseur)	SCHENCK	—
1999	CM 400 (sous Win)	VIBROPOR 41	SCHENCK	—
2000	CM 400	VT 60 (collecteur-analyseur)	SCHENCK	VT 60 : compatible avec CM 400

#### III.3.1.1 Les prosimètres

Le prosimètre, ou sonde capteur de déplacement sans contact directement proportionnel au déplacement relatif de la vibration d'un arbre ou d'un rotor, il est monté en permanence à l'intérieur du palier [figure III.7],

les mesures en déplacement ne sont pas quantifiables dans toutes les gammes de fréquence, ces mesures seront limitées aux basses fréquences (< 100 Hz). [5]



Figure III.6 : proximètres et leur driver. [2]

Le capteur de déplacement est utilisé pour toutes les applications où la surveillance des jeux entre les arbres et les paliers s'avère essentielle.

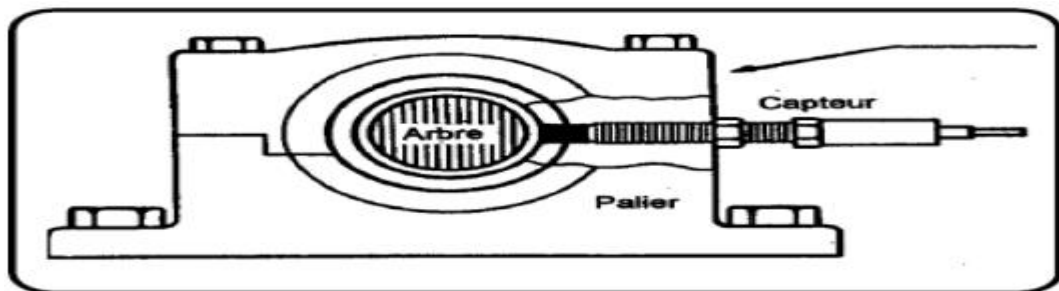
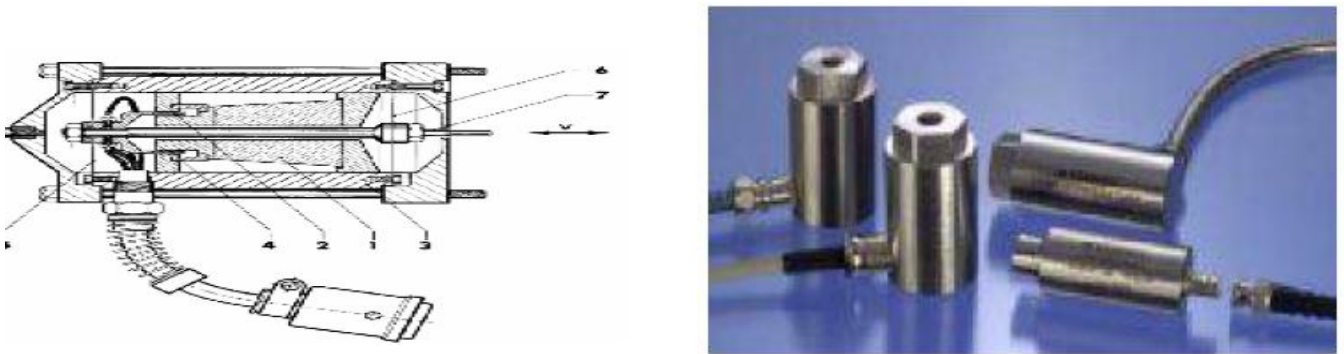


Figure III.7 : Proximètre monté sur un palier. [2]

### III.3.1.2 Vélométrie

Les capteurs de vitesse, ou vélocimétrie, sont constitués d'une sonde à contact dite sonde sismique qui mesure le mouvement absolu de l'organe sur lequel elle est fixée. [2,3]

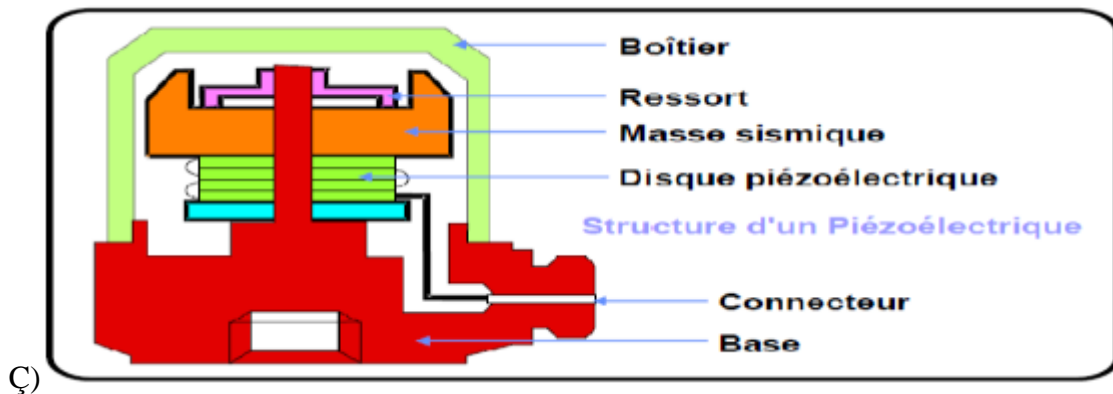
1. Aimant permanent
2. Entrefer
3. Boitier
4. Bobine
- 5&6. Membranes



**Figure III.8** : capteur de vélocimétrie. [2]

### III.3.1.3 Les accéléromètres

Un accéléromètre piézoélectrique (figure III.9) est composé d'un disque en matériau piézoélectrique (quartz), qui joue le rôle d'un ressort sur lequel repose une masse sismique précontrainte [2].



**Figure III.9** : Schéma de principe d'un accéléromètre. [2]

Les accéléromètres piézoélectriques tendent à devenir les capteurs de vibration absolue Les plus utilisés pour la surveillance. Ils possèdent les propriétés suivantes :

- ✓ Utilisables sur de très grandes gammes fréquentielles.
- ✓ Excellente linéarité sur une très grande gamme dynamique (typiquement 140 dB).
- ✓ Le signal d'accélération peut être intégré électroniquement pour donner le déplacement et la vitesse
- ✓ Aucun élément mobile, donc extrêmement durable.



Figure III.10 : Photographie de matériel utilisé à SONATRACH

### III.3.2 Le choix de points de mesure

Généralement, la localisation des points de mesure se fait pour les raisons suivantes:

- ✓ Les mesures de vibrations sont réalisées sur les paliers de la machine ;
- ✓ Le capteur doit être placé de façon à assurer un trajet direct (rotor-structure) aux vibrations.
- ✓ Les mesures peuvent se faire :
  - dans un plan radial (vertical : PRV, horizontal : PRH, oblique : PRO) ;
  - et/ou dans un plan axial (axial : PA).

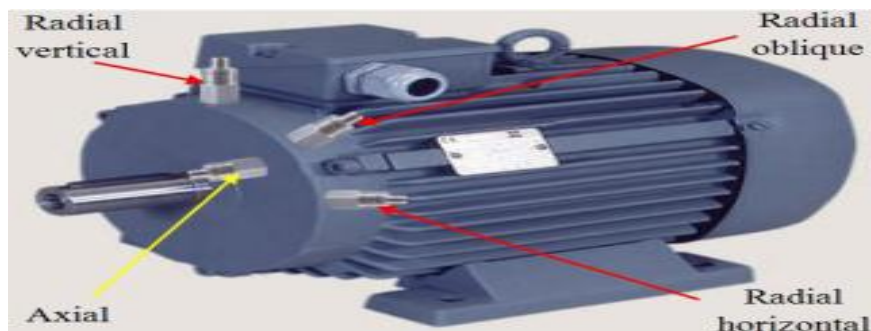


Figure III.11 : Différents points de mesure des vibrations d'une MAS [4].

### III.4 Résultats de mesures

#### III.4.1 Premier cas : problème de désalignement

##### Relevés vibratoires sur le moteur électrique du GEP C pour le Spectre 0-1000 Hz [4]

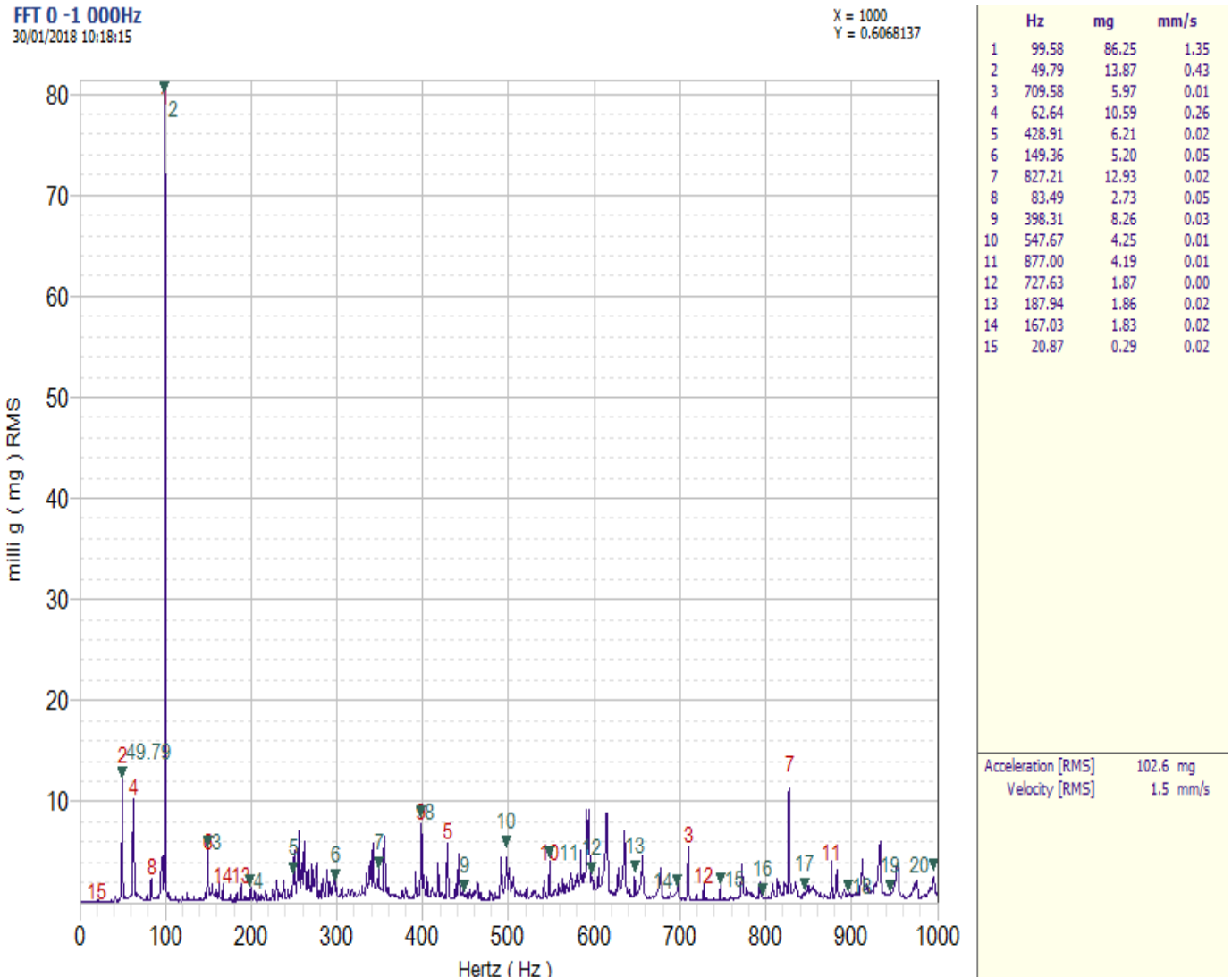


Figure III.12 : spectre 0-1000Hz - palier CA

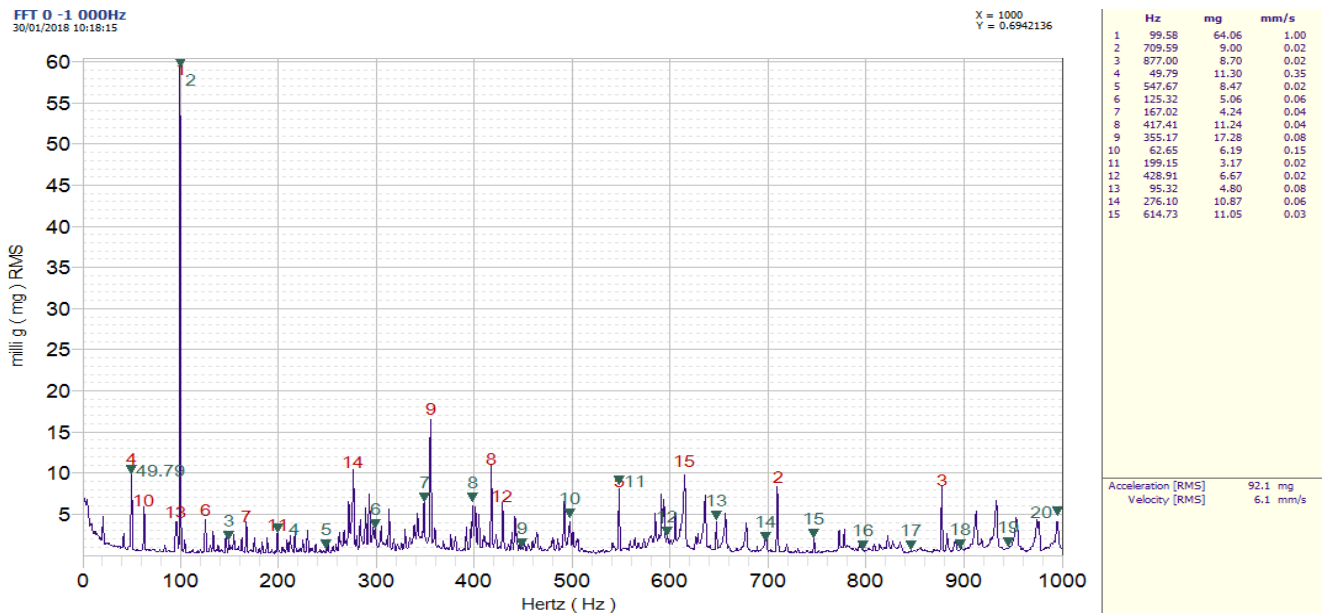


Figure III.13 : spectre 0-1000Hz – palier COA [4]

**Interprétation (diagnostic des experts) :**

Relevés vibratoires sur le moteur électrique du GEP C : Les spectres montrent que le moteur présente un problème de désalignement [4]

En raison de la large gamme d’amplitudes de vibration trouvée dans l’ingénierie, il est commode d’exprimer l’amplitude mesurée en décibels avec référence à une valeur fixe. Les valeurs de référence internationalement acceptées sont les suivantes [5] :

- a) pour la vitesse, la référence est  $10^{-3}m/S^2$  ;
- b) pour l’accélération, la référence est  $10^{-5}m/S^2$  ;

Ainsi, si l’amplitude mesurée est  $A_1$  et l’amplitude de référence est  $A_0$ , le niveau de vibration exprimé en décibels est :

- niveau de vibration =  $20 \text{ Log }_{10} \frac{A_1}{A_0}$
- niveau de vibration d’accélération =  $20 \text{ Log }_{10} \frac{a \times 9,81m/S^2}{10^{-5}m/S^2}$  en dB

Avec :

‘a’ c’est l’amplitude mesurée en gausse ‘g’

Tableau III.2 expression de L'amplitude en dB

l'amplitude en milli gaussse 'mg'	l'amplitude en dB
5 mg	73,813 dB
10 mg	79,833 dB
15 mg	83,355 dB
20 mg	85 ,854 dB
25 mg	87,792 dB
30 mg	89,376 dB
35 mg	90,715 dB
40 mg	91,875 dB
45 mg	92,898 dB
50 mg	93,813 dB
55 mg	94,641 dB
60 mg	95,396 dB

III.4.2 Deuxième cas : Cassure de barres [7]

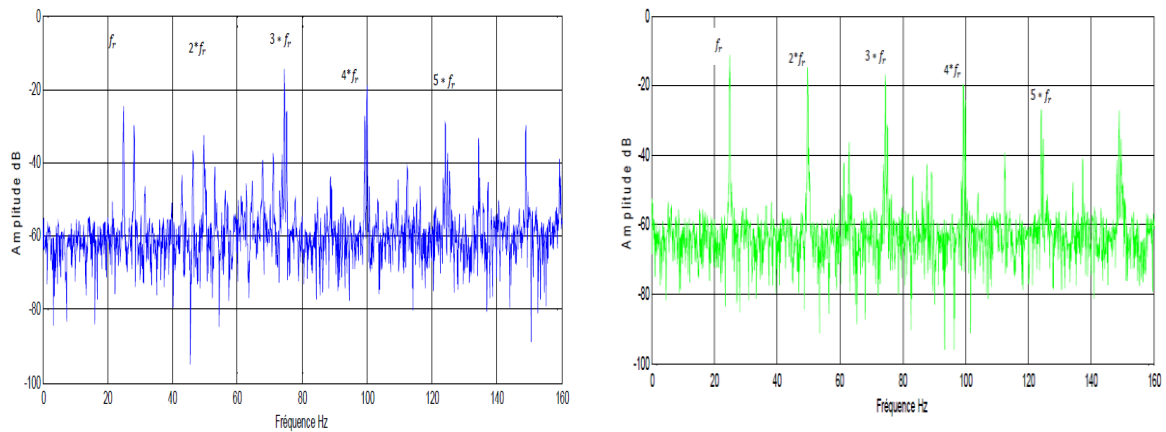


Figure III.14 : (a)Machine à l'état sain à vide ; (b) Machine avec barre cassé à vide

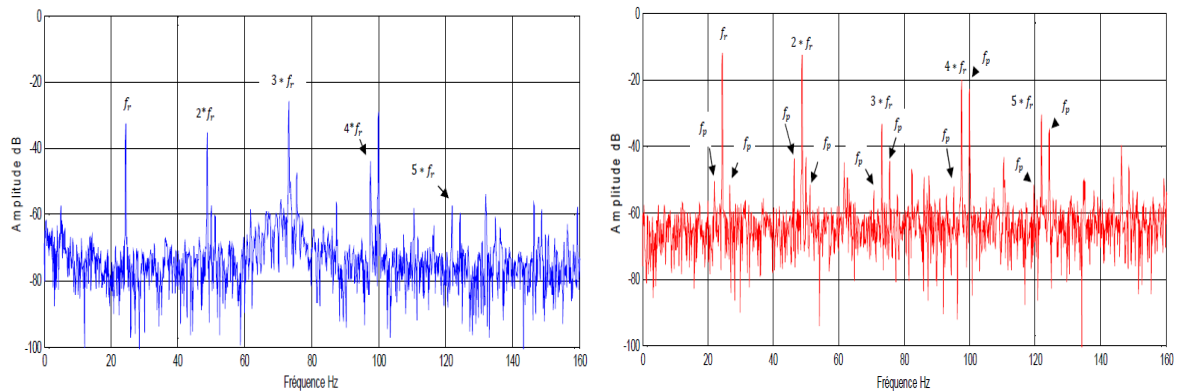


Figure III.15 : Machine à l'état sain d'une charge de 25% ; (b) Machine avec une barre cassée au rotor à 25% de charge

Les amplitudes des composantes induites par le défaut de rupture de barre sont consignées sur le tableau suivant :

Pour une machine à vide :

Formule	Fréquence (Hz)	Signal/amplitude (dB)	
		Vibration	
		Sain	Défaut
$f_r$	24.8	-24.56	-11.12
$f_r \pm f_p$	24	-56.6	-60.8
	25.6	-59.4	-47.7
$2f_r \pm f_p$	48.8	-54.1	-62.6
	50.4	-47.9	-44.6
$3f_r \pm f_p$	73.6	-36.6	-59.8
	75.2	-26.1	-31.6
$4f_r \pm f_p$	98.4	-60.4	-60.8
	100	-37.5	-35.4

Pour une machine en charge :

Formule	Fréquence (Hz)	Signal/amplitude (dB)	
		Vibration	
		Sain	Défaut
$f_r$	24.4	-32.53	-11.12
$f_r \pm f_p$	26.8	-70.92	-51.64
	22	-79.36	-50.46
$2f_r \pm f_p$	51.2	-60.75	-51.94
	46.4	-66.84	-43.75
$3f_r \pm f_p$	75.6	-47.24	-44.55
	70.8	-55.3	-53.46
$4f_r \pm f_p$	100	-59.6	-35.35
	95.2	-76.6	-51.87

### III.4.3 Troisième cas : Défaut de roulement [7,9]

Les défauts de roulements théoriques sont présentés dans le tableau III.2 pour les différentes vitesses de rotation. À noter que l'un des roulements a été testé à une faible vitesse de 1000 à 2000 tours par minute dû au bruit excessif généré durant la période d'accélération [9]

Tableau III.3 : Fréquence de défauts de roulement. [9]

Roulement	Vitesse de rotation (RPM)	Défaut de la Cage ( $F_{CF}$ ) Hz	Défaut de la Bague interne ( $F_{ORF}$ ) Hz	Défaut de la Bague externe ( $F_{IRF}$ ) Hz	Défaut de la bille Hz
Premier roulement	34,200	261.34	3,704.86	3,136.14	3,403.80
	32,000	244.30	3,463.43	2,932.56	3,182.86
	25,600	195.60	2,772.00	2,347.15	2,547.48
Deuxième roulement	34,200	261.34	3,703.86	3,136.14	3,403.80
	32,000	244.30	3,463.43	2,932.56	3,182.86
Troisième roulement	1,000	7.64	108.32	91.71	99.54
	2,000	15.28	216.58	183.38	199.03

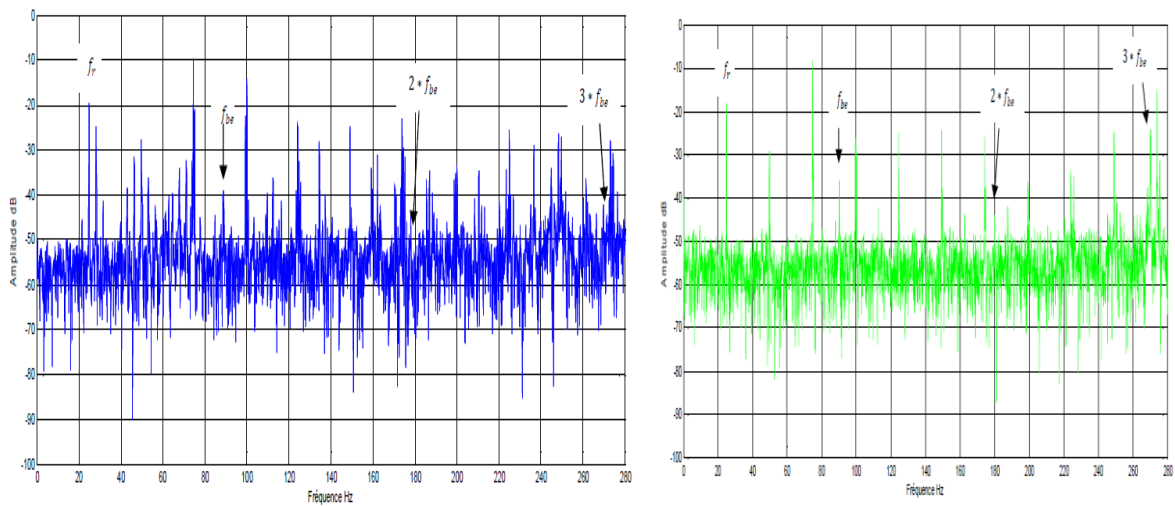


Figure III.16. (a) Machine à l'état sain a vide, (b) Roulement avec défaut à la bague extérieure à vide

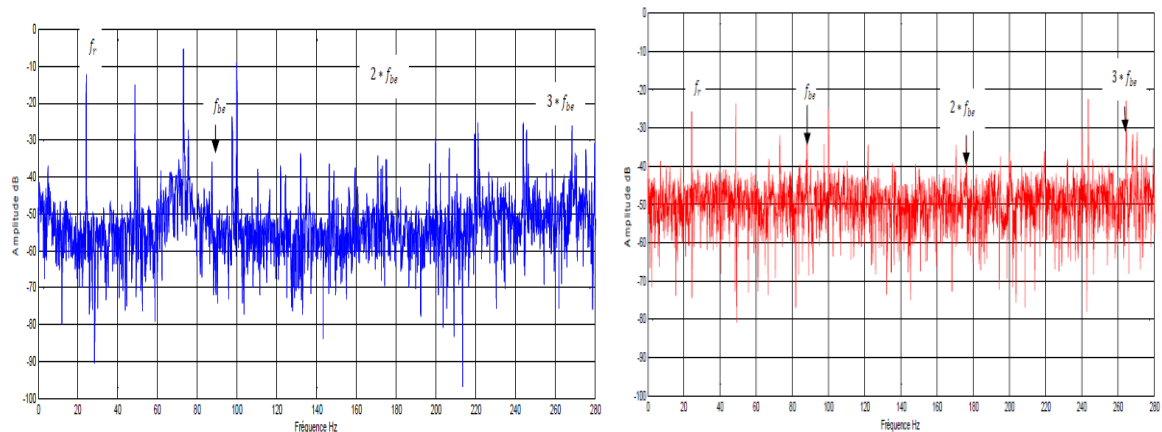


Figure III.17 : (a)Machine sain à 25% de charge ; (b) Roulement avec défaut à la bague extérieure à 25% de charge

Les amplitudes des composantes introduites par le défaut de bague extérieure de roulement sont consignées sur le tableau suivant :

Pour une machine à vide :

Formule	Fréquence (Hz)	Signal/amplitude (dB)	
		Vibration	
		Sain	Défaut
$f_{be}$	90.1	-50.7	-35.9
$2 * f_{be}$	180.2	-58.8	-43.9
$3 * f_{be}$	270.3	-48.46	-24

Pour une machine en charge :

Formule	Fréquence (Hz)	Signal/amplitude (dB)	
		Vibration	
		Sain	Défaut
$f_{be}$	88.2	-54.7	-27.3
$2 * f_{be}$	176.4	-54.1	-32.1
$3 * f_{be}$	264.6	-52.3	-22.3

### III.4.4. Quatrième cas : Défaut balourd

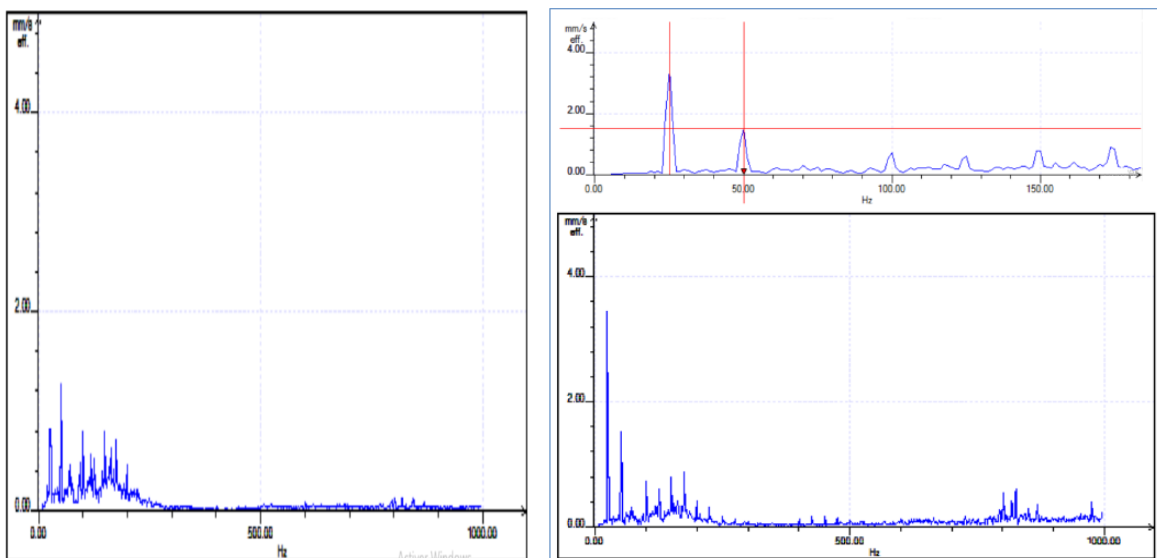


Figure III.18 : (a) Moteur sain ; (b) Moteur en présence du défaut de balourd ( $F_{balourd} = 25$  Hz)

### III.4.5 Cinquième cas : Défaut d'engrenage

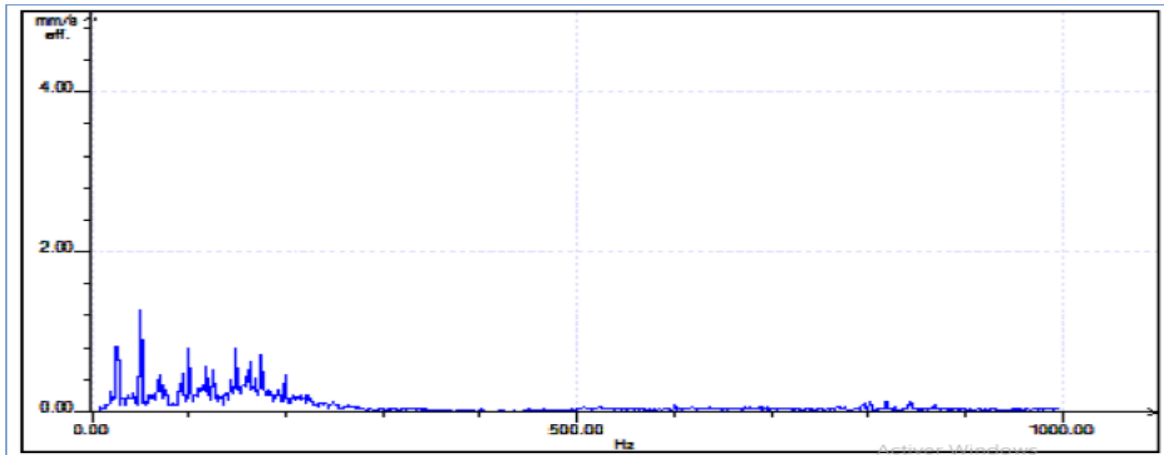


Figure III.19 : Moteur sain

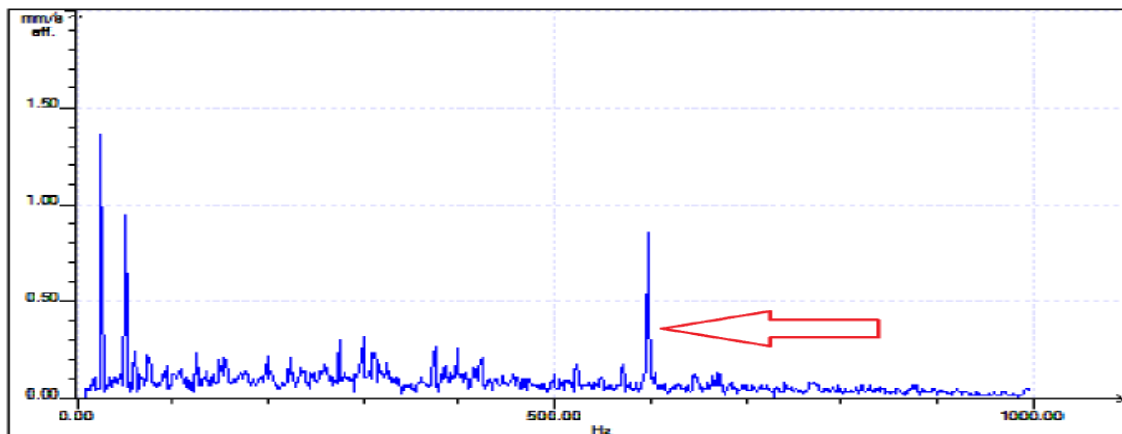


Figure III.20 : Moteur en présence du défaut d'engrenage. ( $F_{\text{engrenage}} = 600 \text{ Hz}$ )

## III.5 Conclusion

Ce chapitre est consacré à l'explication et à la présentation d'exemples et de résultats d'essais d'analyse vibratoire réalisés au sein de la société Sonatrach Algérie, ainsi que leurs interprétations et le diagnostic de défauts, fournis par les services de maintenance de l'entreprise.

Afin de pouvoir collecter une base de données relativement riche, d'autres résultats d'analyse vibratoire de diverses machines asynchrones, tirés de travaux de recherche précédents, sont présentés ; et ce ; pour l'application de la technologie d'IA\* présentée en détail dans le chapitre suivant.

\*IA: Intelligence Artificielle

## Références du Chapitre III

- [1] Kawthar ALAMEH, « Contribution au diagnostic et à l'analyse de défauts d'une machine synchrone à aimants permanents », Thèse Doctorat, Université de Rouen Normandie, 2017.
- [2] Tahar BELKHIR, Med Mohcen BEN SACI, « La maintenance des équipements par l'analyse vibratoire », mémoire master professionnel, Université Kasdi Marbah Ouargla, JUIN 2016.
- [3] Yacine IMAOUCHEN, « Mesure et analyse des vibrations des machines électriques tournantes », Thèse Doctorat, Université A.MIRA-BEJAIA, 2015
- [4]. Service de maintenance « Sonatrach du site Hassi R'mel et (DML) ».
- [5] Dr. J.H. Sharp, «IDS3 Vibration Measurement », <https://kishorekaruppaswamy.files.wordpress.com/2011/10/vibration.pdf>, p1&2
- [6]. Mr. HACHEMI Mohammed, « Application de l'ODS à l'analyse des problèmes de vibration des machines tournantes », mémoire master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Juillet 2012.
- [7] Guerguer Mounir, « Diagnostic de la machine asynchrone par analyse vibratoire », mémoire master, Université Constantine I, 2013.
- [8] Boughagha Fouzi, Diagnostic et détection des défauts mécaniques affectant les systèmes électromécaniques, mémoire master, Université Badji Mokhtar Annaba, 2019.
- [9] Abdelhak Oulmane, « Surveillance Et Diagnostic Des Défauts Des Machines Tournantes Dans Le Domaine Temps-Fréquences Utilisant Les Réseaux De Neurones Et La Logique Floue », thèse Doctorat, Université de Montréal 2014
- [10]. BESSOUS, Noureddine, « Contribution au Diagnostic des Défauts dans les Machines Asynchrones : Comparaison entre l'Analyse Vibratoire et l'Analyse du Courant d'Alimentation », Thèse Doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra 2017
- [11] Dr. NOUAR Allal. Exposé de cours dédié aux étudiants de 2ème Master Electromécanique « Diagnostic des défauts dans les machines Électrique ». 2020



***CHAPITRE IV***

***Application de la logique  
floue pour le diagnostic***

## IV.1 INTRODUCTION

L'une des caractéristiques d'un expert humain, en traitant une question, est son jugement avec des données imprécises, inachevées et incertaines. Étudier un tel problème par des méthodes classiques exige la connaissance des différents paramètres qui peuvent influencer sur celui-ci. Cette étude est souvent entachée d'erreurs et d'imprécisions qui accompagnent toute modélisation de processus. [2].

Il est possible de résoudre ce problème en utilisant des méthodes dites robustes et la logique floue en est une. Son idée est de capturer l'imprécision de la pensée humaine et de l'exprimer avec des outils mathématiques appropriés. [2] La théorie des ensembles flous a donné naissance à un traitement original de l'incertitude, fondé sur l'idée d'ordre, et qui permet de formaliser le traitement de l'ignorance partielle et de l'inconsistance dans les systèmes d'informations.

Son intérêt réside dans sa capacité de traiter l'imprécis, l'incertain et le vague, elle est issue de la capacité de l'homme à décider et agir de façon pertinente malgré le flou des connaissances disponibles, elle est appliquée dans les systèmes de réglage ainsi que dans les systèmes expert ; dans les systèmes de décision et pour la reconnaissance de formes etc.

Dans ce chapitre nous allons présenter les éléments de bases de la logique floue ainsi que les étapes de conception d'un système de diagnostic basé sur la logique floue. Les résultats de l'application de cette méthode pour le diagnostic des machines asynchrones, ainsi que leurs interprétations sont exposés à la fin du chapitre.

## IV.2 Généralités sur la logique floue

### IV.2.1 Concepts et définitions

Les systèmes flous peuvent être considérés comme des systèmes logiques qui utilisent des règles linguistiques pour établir des relations entre leurs variables d'entrée et de sortie. Ils sont apparus pour la première fois dans les années soixante-dix avec des applications dans le domaine du contrôle des processus<sup>1</sup>. Aujourd'hui, les applications des systèmes flous sont très nombreuses outre la commande, ils sont largement utilisés pour la modélisation, le diagnostic et la reconnaissance de formes. Pour une meilleure compréhension de leur fonctionnement, nous présentons brièvement quelques notions de base de ces systèmes, notamment les variables linguistiques [6].

### ➤ Sous-ensembles flous

Un sous-ensemble flou  $A$  dans un univers du discours  $X$  est caractérisé par sa fonction d'appartenance  $\mu_A x$  qui associe à chaque élément  $x$  de  $X$  une valeur dans l'intervalle des nombres réels  $[0, 1]$ .

Ainsi un sous-ensemble flou  $A$  dans  $X$  peut être représenté par un ensemble de couples ordonnés :  $A = \{(x, \mu_A(x)); x \in X, \mu_A(x) \in [0, 1]\}$  (1.2)

### ➤ Relations floues

Une relation floue  $R$  sur les univers de références  $X_1, X_2, \dots, X_n$  est définie comme un ensemble flou du produit cartésien  $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$  ayant la fonction d'appartenance  $\mu_R$ .

$$R \text{ X} = \{((x_1, x_2, \dots, x_n), \mu_R(x_1, x_2, \dots, x_n)) | (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X\}.$$

Où

$\mu_R(x_1, x_2, \dots, x_n)$  est une fonction de mappage :

$$\mu_R(x_1, x_2, \dots, x_n) : X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \rightarrow [0, 1] \text{ (1.9)}$$

La différence entre une relation floue et une relation classique (exacte) est que pour la première, toute valeur d'appartenance dans l'intervalle  $[0,1]$  est permise alors que pour la seconde, seules les valeurs 0 et 1 sont permises.

#### IV.2.2 Structure générale d'un système flou.

Chaque système basé sur la logique floue est composé de quatre blocs principaux

- Base de connaissances (paramètres des fonctions d'appartenance) Elle est composée de :
  - Une base de données qui fournit les définitions des concepts nécessaires utilisées pour définir les règles linguistiques et la manipulation des données floues. Ces concepts sont subjectivement définis et basés sur l'expérience et le jugement de l'expert.
- Une base de règles qui est l'ensemble d'expressions linguistiques basé sur la connaissance d'un expert ou bien la logique de fonctionnement du processus. Cette connaissance et d'habitude formulée sous forme de règles « SI-ALORS ». Chacune de ces règles est composée d'une ou plusieurs permises reliées entre elles généralement par l'opérateur flou « ET » ou « OU » ; et une conclusion précédée par l'opérateur

« ALORS ». L'ensemble des règles floues sont reliées entre elles généralement par l'opérateur flou «OU ». [2,6]

- Fuzzification (transformation des entrées précises en degrés d'appartenance)
- Defuzzification (transformation des résultats flous en sorties précises)

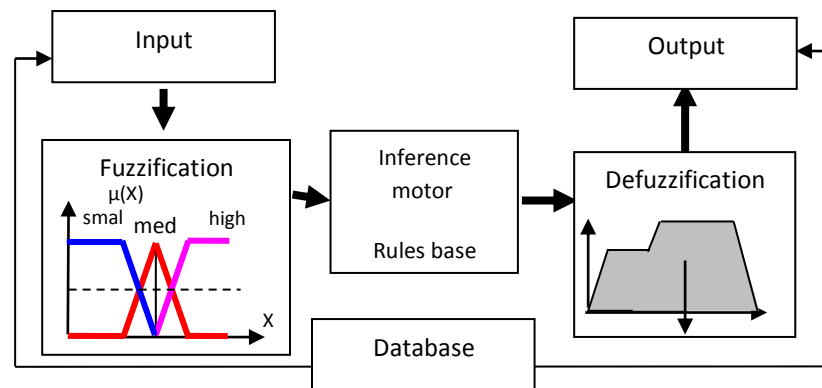


Figure IV.1 : Schéma général d'un système flou [2,7]

## IV.3 Conception d'un système flou

### IV.3.1 Univers de discours

Un des premiers pas dans la conception d'un système flou est de définir l'ensemble de référence ou univers du discours pour chaque variable linguistique. Pour ces variables  $x$  on définit un ensemble  $i$  sur un univers de discours  $X$  par une fonction « degré d'appartenance »

$$\text{Par exemple : } \mu : X \rightarrow [0,100]$$

$$x \rightarrow \mu_i(x)$$

L'univers de discours est l'ensemble des valeurs réelles que peut prendre la variable floue  $x$  et  $\mu_i(x)$  est le degré d'appartenance de l'élément  $x$  à l'ensemble flou  $i$ .

Le pas suivant, est le choix des variables linguistiques qui déterminent son état, puis des règles linguistiques qui établissent les relations d'inférence entre ces variables. En général, les règles sont proposées par un expert. On partitionne ensuite le domaine de chaque variable linguistique en un ensemble de fonctions d'appartenance, qui expriment les valeurs de façon approximative : petit, moyen, grand, énorme par exemple. [8]

Les notions de valeurs « moyen » ou « faible » par exemple, sont relativement difficiles à spécifier de manière précise. On peut fixer des seuils et considérer que l'on attribue tel ou tel qualitatif en fonction de la valeur de la variable par rapport à ces seuils.

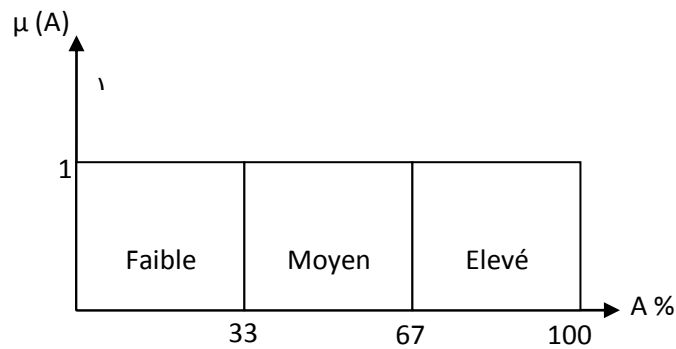
On peut définir le degré d'appartenance de la variable  $A$  par exemple à l'ensemble «faible» comme le degré de vérité de la proposition «  $A$  est faible »

En logique booléenne, le degré d'appartenance  $\mu$  ne peut prendre que deux valeurs (0 ou 1). La valeur A peut-être :

*Faible* :  $\mu_{faible}(A) = 1$  ;  $\mu_{moyen}(A) = 0$  ;  $\mu_{élevé}(A) = 0$

*Moyen* :  $\mu_{faible}(A) = 0$  ;  $\mu_{moyen}(A) = 1$  ;  $\mu_{élevé}(A) = 0$

*Elevé* :  $\mu_{faible}(A) = 0$  ;  $\mu_{moyen}(A) = 0$  ;  $\mu_{élevé}(A) = 1$



**Figure IV.2 :** Degré d'appartenance aux ensembles considérés en logique booléenne

Il ne peut pas prendre deux quantitatifs à la fois : [2]

En logique floue, le degré d'appartenance devient une fonction qui peut prendre une valeur réelle comprise entre 0 et 1 inclus, c'est la fuzzification.

### IV.3.2 Fuzzification

La fuzzification des variables d'entrée est une phase délicate du processus mis en œuvre par la logique floue. Elle est souvent réalisée de manière itérative et requiert de l'expérience. La fuzzification comprend:

- Les mesures des variables d'entrées : En pratiques, les valeurs des variables d'entrées sont en général obtenus à l'aide de divers capteurs, organes de mesures, ou grâce à l'avis de différents opérateurs qui sont le plus souvent de type analogique.
- La conversion analogique digitale A/D (numérique/symbolique) ainsi que le traitement des grandeurs mesurées

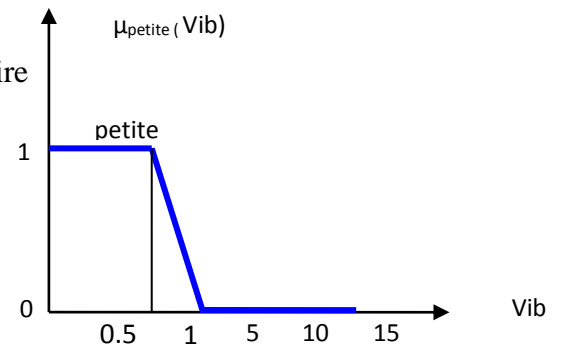
- L'attribution de degrés d'appartenance à chaque valeur d'entrée est un passage des grandeurs physiques aux variables linguistiques (variables floues) qui peuvent être alors traitées par les inférences. Les variables linguistiques sont définies par leurs valeurs linguistiques. [8]

Prenant l'exemple d'une valeur A = Valeur de pic vibratoire

La vibration est petite au-dessous de 0.5.

A 1 elle est mentionnée qu'à moitié petite

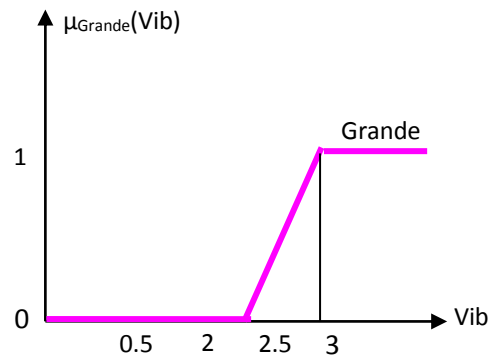
Il ne l'est plus du tout au-delà de 1.



La concentration est grande au-dessus de 3.

A 2.5, elle n'est "qu'à moitié" grande.

Il ne l'est plus du tout au-dessous de 2.

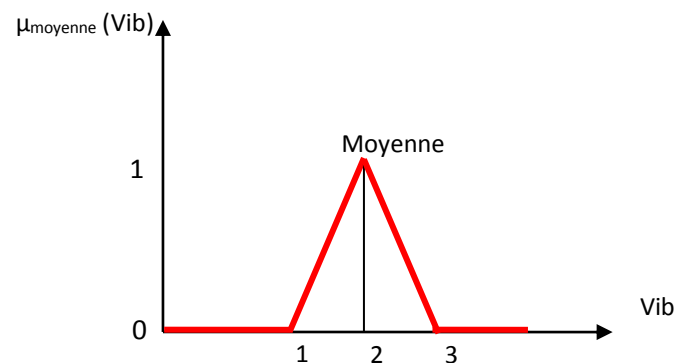


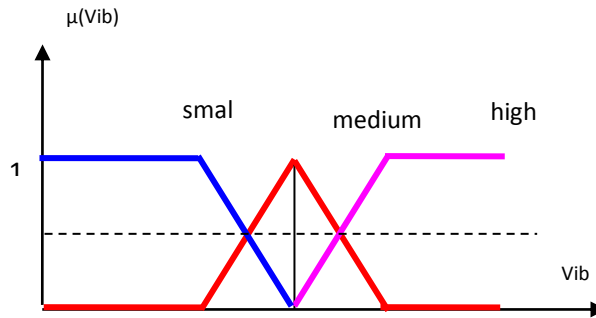
La vibration est tout à fait moyenne à 1

En dessous de 1, elle n'est pas assez grande

Pour être moyenne.

Au-delà de 3, elle ne l'est plus non plus.





**Figure IV.3 :** Exemple de fonction d'appartenance de Vib

- **Les fonctions d'appartenance**

Le choix correct des fonctions d'appartenance d'un ensemble de termes joue un rôle essentiel dans la réussite d'une application. En ce qui concerne l'univers de discours, on peut ramener les grandeurs d'entrées dans l'intervalle  $[-1 +1]$ , on parle donc d'une **normalisation** de l'univers de discours. Ainsi, la normalisation d'un univers de discours nécessite une connaissance antérieure de l'espace d'entrées/sorties. [2,9]

Il n'y a pas de règles précises pour la définition de fonctions d'appartenance. On peut introduire pour une variable  $x$  trois, cinq ou sept valeurs linguistiques. Ce nombre dépend de la résolution du réglage désiré. [2]

La désignation standard des ensembles flous est par exemple :

**NG** Négatif Grand

**NM** Négatif Moyen

**NP** Négatif Petit

**EZ** Environ Zéro (ou **ZR** Zéro)

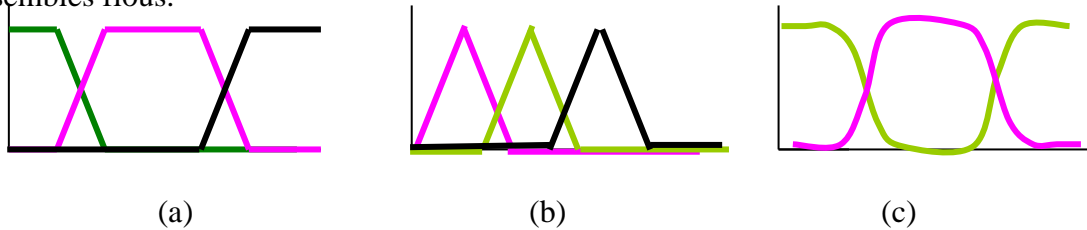
**PP** Positif Petit

**PM** Positif Moyen

**PG** Positif Grand

Un nombre de valeurs linguistiques supérieur à sept n'apporte en général aucune amélioration au comportement du système. Par contre, un tel choix compliquerait la formulation des règles d'inférences. Les fonctions d'appartenance peuvent être symétriques, régulièrement distribuées ou avoir une distribution non uniforme. Il est important d'éviter le vide (lacunes) ou grand chevauchement de deux ensembles voisins, ceci provoque des zones de non-intervention (zones mortes), ce qui conduit à une instabilité de la sortie. De même, il faut éviter un chevauchement trop important car il conduit à un aplatissement des caractéristiques de l'application. [2]

Pour les formes de fonction d'appartenance, le plus souvent, on utilise des formes trapézoïdales ou triangulaires. Il s'agit des formes les plus simples, composées par morceaux de droites. Dans la plupart des cas, ces deux formes sont suffisantes pour délimiter des ensembles flous.



**Figure IV.4 :** a) Fonctions d'appartenance de forme trapézoïdale ; b) Fonctions d'appartenance de forme triangulaire ; c) Fonctions d'appartenance de forme de cloche [2,8,9]

Il ne faut pas oublier qu'il est indispensable de créer les fonctions d'appartenance pour les variables de sortie. D'habitude, on les crée de la même manière que les fonctions des entrées, c'est à dire en forme de triangle, de trapèze ou de cloche.

### IV.3.3 inférences floues

Les inférences lient les grandeurs mesurées et les variables de sortie par des règles linguistiques. Ces règles sont combinées en utilisant les connexions *et* et *ou*. Les règles d'inférences peuvent être décrites de plusieurs façons. Linguistiquement, on écrit les règles de façon explicite comme dans l'exemple suivant :

*Si (la puissance est Grande) ET (La fréquence de rotation est Grande) ET (La fréquence de défaut est moyenne) ALORS on a un défaut de roulement dans la bague externe.*

Symboliquement, il s'agit au fait d'une description linguistique où l'on remplace la désignation des ensembles flous par des abréviations. Dans ce cas nous allons considérer par exemple un système flou avec n règles linguistiques

$$\text{Si } x = A_1 \text{ et } y = B_1 \text{ alors } z = C_1$$

$$\text{Si } x = A_2 \text{ et } y = B_2 \text{ alors } z = C_2$$

..

$$\text{Si } x = A_n \text{ et } y = B_n \text{ alors } z = C_n$$

Où x, y et z sont des variables linguistiques qui représentent les variables d'état du processus et les variables  $A_i$ ,  $B_i$  et  $C_i$  ( $i=1, n$ ) sont les sous-ensembles flous définis dans les ensembles de références pour x, y, z respectivement. [2]

### IV.3.4 Opérateurs de la logique floue

Puisque les fonctions caractéristiques des ensembles flous sont graduelles, l'extension de certains opérateurs définis sur les ensembles de la logique classique aux cas des ensembles flous pose certaines difficultés. Donc, il n'est pas possible d'appliquer directement la logique booléenne qui manipule des ensembles à fonctions caractéristiques binaires. Pour pallier à ce problème, sont introduites quelques définitions d'outils nécessaires au traitement des ensembles flous. [2].

Il existe plusieurs lois de composition, mais la plus couramment utilisés est la suivante :

- Quand des conditions sont liées par une logique "ou", on considère le degré d'appartenance **maximum** parmi les conditions d'entrée.
- Quand des conditions sont liées par une logique "et", on considère le degré d'appartenance **minimum** parmi les conditions d'entrée.

Alors, les opérateurs flous « OU », « ET » et « ALORS » appliqués aux deux ensembles flous sont définis à l'aide de leurs fonctions d'appartenance de la manière suivante :

- Opérateur ET : il est réalisé par plusieurs méthodes. On se limite à celle du produit des deux degrés d'appartenance  $\mu(x_1)$  et  $\mu(x_2)$  des deux ensembles flous en question soit :

$$\mu(x_1, x_2) = \mu(x_1) \cdot \mu(x_2)$$

- Opérateur OU : La réalisation de cet opérateur se fait par exemple par la formation de la moyenne arithmétique des deux degrés d'appartenance  $\mu_{1i}(x_1)$  et  $\mu_{2j}(x_2)$  des deux ensembles flous  $i$  et  $j$  de  $x_1$  et  $x_2$  respectivement, c'est-à-dire :

$$\mu(x_1, x_2) = [\mu(x_1) + \mu(x_2)]/2$$

- Opérateur ALORS : Elle permet d'évaluer le degré de vérité des propositions floues, elle est réalisée par plusieurs méthodes telles que le produit des deux fonctions d'appartenance  $\mu_{1i}(x_1)$ , et  $\mu_{2j}(x_2)$  des deux ensembles flous  $i$  et  $j$  de  $x_1$  et  $x_2$  respectivement, c'est-à-dire :

$$\mu(x_1, x_2) = \mu(x_1) \cdot \mu(x_2)$$

Les opérations minimum et maximum présentent l'avantage de la simplicité lors du calcul, par contre, elles privilégient l'une des deux variables. Les opérations de produit et valeurs moyennes sont plus complexes à calculer mais elles produisent un résultat qui tient compte des valeurs des deux variables.

### IV.3.5 méthodes d'inférences floues

Il existe plusieurs possibilités pour réaliser les opérateurs qui s'appliquent aux fonctions d'appartenances. On introduit la notion de méthode d'inférence, qui dépend des relations utilisées pour réaliser les différents opérateurs dans une inférence, permettant ainsi un traitement numérique de cette dernière.

On cite les trois méthodes d'inférences les plus usuelles : Max-Min, Max-Produit et Somme Produit et on se limite à définir cette dernière qui est la plus utilisée.

- **Méthode de somme produit**

La méthode d'inférence somme-produit réalise, au niveau de la condition, l'opérateur « ou » par la formation de la somme, plus précisément par la valeur moyenne, tandis que l'opérateur « ET » est réalisé par la formation du produit.

La conclusion de chaque règle, précédée par « ALORS », liant le facteur d'appartenance de la condition avec la fonction d'appartenance de la variable de sortie par l'opérateur « ET », est réalisée par la formation du produit. L'opérateur « OU » qui lie les différentes règles est réalisé de nouveau par la formation de la moyenne arithmétique. Pour mieux comprendre on va traiter l'exemple suivant [2].

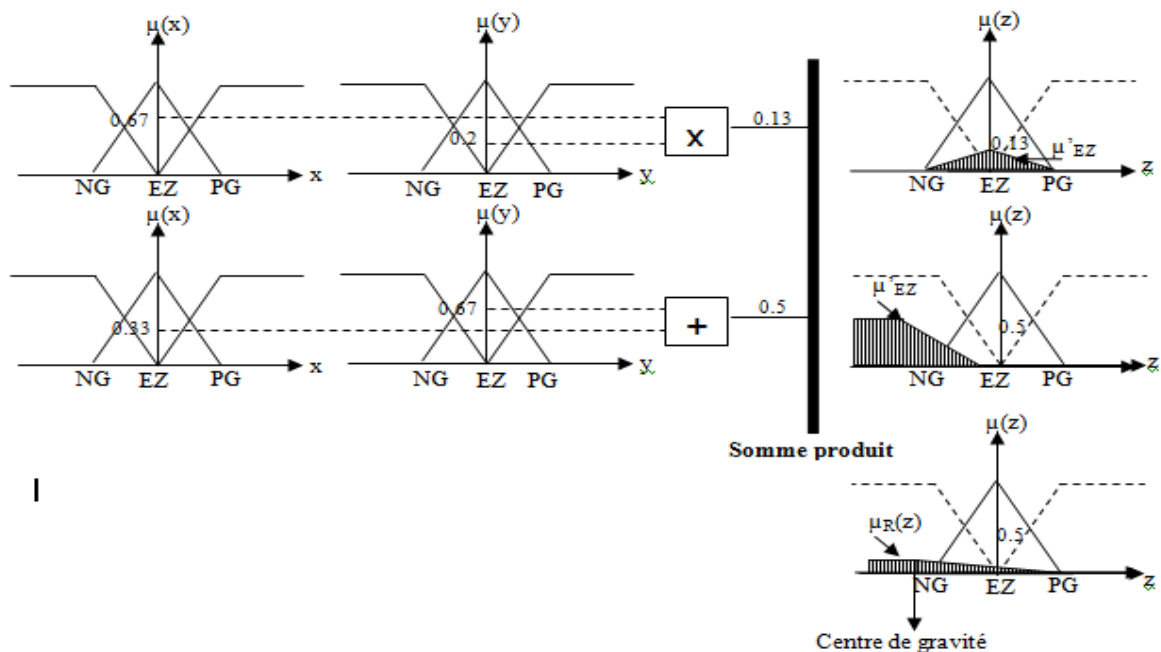


Figure IV.5 : méthode d'inférence Somme-produit [2,8]

### IV.3.6. Defuzzification

Comme on l'a vu, les méthodes d'inférences fournissent une fonction d'appartenance résultante  $\mu(z)$  pour la variable de sortie  $z$ . Il s'agit donc d'une information floue, il convient de la transformer en une grandeur précise.

La transformation d'une information floue en une information déterminée est la défuzzification (concrétisation). Pendant cette étape se fait la déduction de la grandeur de sortie numérique à partir de l'inférence floue, il s'agit de calculer à partir des degrés d'appartenance à tous les ensembles flous des variables d'entrées et des ensembles flous de la variable de sortie, une valeur numérique de la variable de sortie. Parmi les stratégies de défuzzification, nous citons la méthode de centre de gravité, la méthode de valeur maximale et la méthode de moyenne pondérée. [7]

- **Technique du maximum** est la plus simple, elle consiste à ne considérer, pour chaque sortie, que la règle présentant le maximum de validité, c.-à-d. que la valeur de sortie est définie par la valeur maximale des variables floues de sortie.
- **Technique de la moyenne pondérée** est plus évoluée. Elle considère, comme valeur de sortie, la moyenne des valeurs préconisées par chaque règle, pondérées par leurs degrés respectifs de validité. [2,8]
- **Technique du centre de gravité** est plus performante : il s'agit de calculer le centre de gravité de la fonction d'appartenance de la variable de sortie.  
Le calcul du centre de gravité permet bien d'obtenir une seule valeur pour la grandeur de sortie. [2]

$$z^* = \frac{\int_{Z_0}^{Z_1} z \mu(z) dz}{\int_{Z_0}^{Z_1} \mu(z) dz}$$

## IV.4 Application de la logique floue pour le diagnostic des machines asynchrones

### IV.4.1 Fonctions d'appartenance

La base de données est représentée comme suit :

Le vecteur d'entrées  $E = [e_1, e_2, e_3, e_4]$  et le vecteur de sortie présenté comme  $S = [s_1 \dots s_{13}]$ .

Les vecteurs sont

$E = [P, Vib, Fr, Fd,]$  (Puissance, Valeur de pic vibratoire, Fréquence de rotation, Fréquence de défaut)

$S = [Sain, FCF_{Rav}, FCF_{Rar}, FORF_{Rav}, FORF_{Rar}, FIRF_{Rav}, FIRF_{Rar}, FB_{Rav}, FB_{Rar}, F_{Des}, F_{Br}, F_{en}]$   
(les défauts correspondants)

Ou :

***FCF Rav** : Défaut de la cage dans le roulement avant*

***FCF Rar** : Défaut de la cage dans le roulement arrière*

***FORF Rav** : Défaut de la bague interne dans le roulement*

***FORF Rar** : Défaut de la bague interne dans le roulement arrière*

***FIRF Rav** : Défaut de la bague externe dans le roulement avant*

***FIRF Rar** : Défaut de la bague externe dans le roulement arrière*

***FB Rav** : Défaut de la Bille dans le roulement avant*

**FB Rar** : Défaut de la Bille dans le roulement arrière

**FDes** : Désalignement

**FBr** : Défaut Balourd

**Fen** : Engrenement (défaut d'engrenage)

#### IV.4.2 Calcul théorique de la fréquence de différents défauts

##### A) Défauts de roulement

Les fréquences théoriques des défauts de roulement dépendent des caractéristiques géométriques et de la fréquence de rotation. En comparant la fréquence caractéristique mesurée et la fréquence théorique, la localisation du défaut peut être identifiée. [1]

Prenons par exemple le cas de roulement avant et le roulement arrière pour une vitesse de rotation 30000 tr/min et 27000 Tr/min

Roulement avant à 30000 Tr/min		Roulement arrière à 30000 Tr/min	
Type de Défaut	Fréquence de défaut	Type de Défaut	Fréquence de défaut
Défaut de cage (FcF)	221 HZ	Défaut de cage (FcF)	217 Hz
Défaut de la bague externe (FORF)	5086 HZ	Défaut de la bague externe (FORF)	4555 Hz
Défaut de la bague interne (FIRF)	6414 Hz	Défaut de la bague interne (FIRF)	5945 Hz
Défaut de la bille (FBF)	2137 Hz	Défaut de la bille (FBF)	1857 Hz

Roulement avant à 27000 Tr/min		Roulement arrière à 27000 Tr/min	
Type de Défaut	Fréquence de défaut	Type de Défaut	Fréquence de défaut
Défaut de cage (FcF)	199 HZ	Défaut de cage (FcF)	195 Hz
Défaut de la bague externe (FORF)	4578 HZ	Défaut de la bague externe (FORF)	4100 Hz
Défaut de la bague interne (FIRF)	5772 Hz	Défaut de la bague interne (FIRF)	5350 Hz
Défaut de la bille (FBF)	1923 Hz	Défaut de la bille (FBF)	1671 Hz

### B) Défauts d'engrenage [4]

Observons un engrenage, composé de deux roues dentées 1 et 2, présentant  $Z_1$  et  $Z_2$  dents et tournant aux fréquences  $F_1$  et  $F_2$ . Chaque fois qu'une dent de la roue menante 1 s'engage dans la roue menée 2, il se produit une prise de charge périodique au rythme d'engagement des dents selon une fréquence d'engrènement (de défaut d'engrenage)  $F_{en}$  égale à la fréquence de rotation multipliée par son nombre de dents. [

$$F_{en} = F_1 \cdot Z_1 = F_2 \cdot Z_2$$

$F_1$  fréquence de rotation de roue 1

$F_2$  fréquence de rotation de roue 2

$Z_1$  et  $Z_2$  sont le nombre de dents des roues 1 et 2

### C) Défauts de paliers :

Le défaut se manifeste par une vibration auto-entretenu qui entraîne une précession du rotor, avec une période différente de la période de rotation, dont la fréquence  $F_{pal}$  :

$$0.23 \cdot Fr < F_{pal} < 0.63 \cdot Fr$$

### D) Défaut de balourd

$$F_{bal} = h \cdot Fr$$

Avec :  $h = 1, 2, 3 \dots$

IV.4.3 Conception d'un système flou

A) Présentation de fonctions d'appartenance pour les entrées et la sortie

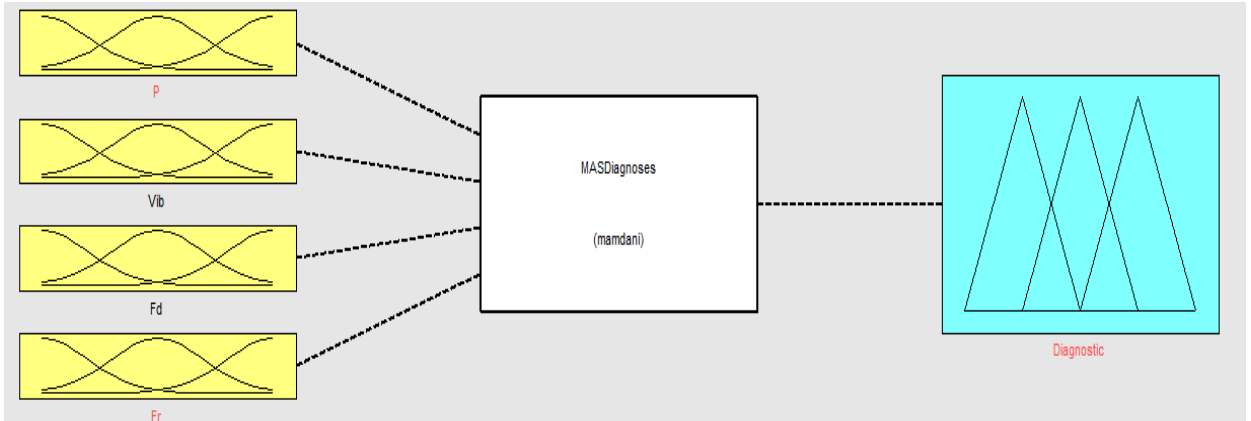


Figure IV.6 : Système flou conçu pour le diagnostic de la MAS\*

\*MAS : Machine Asynchrone



- Groupe K : petits moteurs (inférieure à 15 KW)
- Groupe M : moteurs moyens (15 KW-75KW)
- Groupe G : Grands moteurs (>75 KW)
- Groupe T : Très grand moteurs

1) Fuzzification de la puissance :

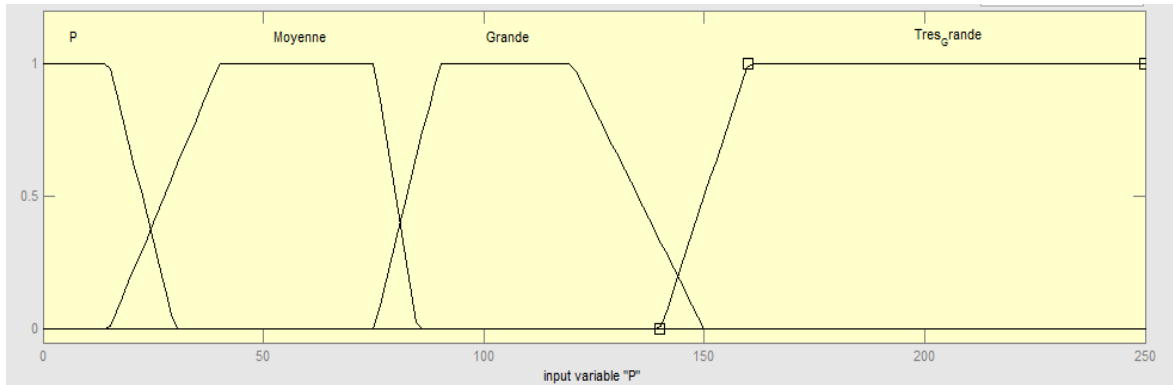


Figure IV.7 : Fonction d'appartenance de l'entrée (puissance)

2) Fuzzification de la valeur de pic vibratoire

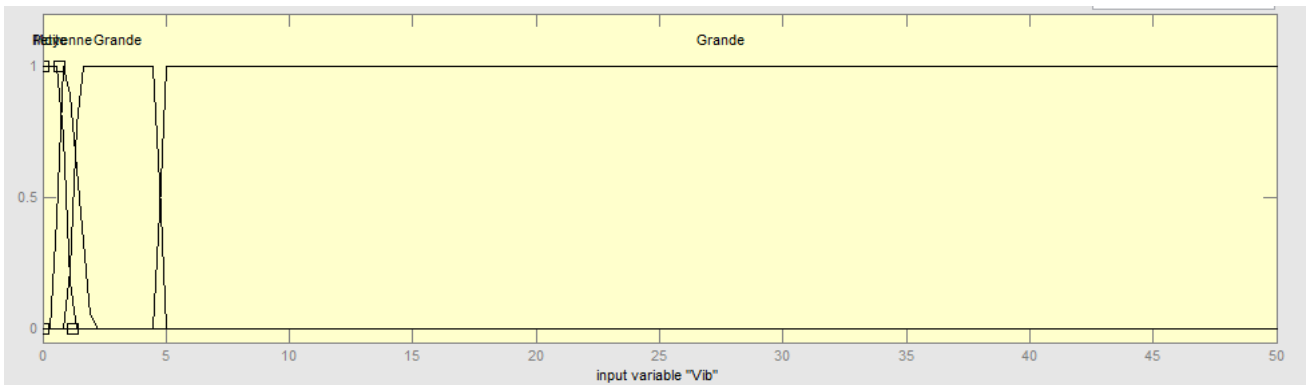


Figure IV.8 : Fonction d'appartenance de l'entrée (vibration)

3) Fuzzification de la fréquence de rotation

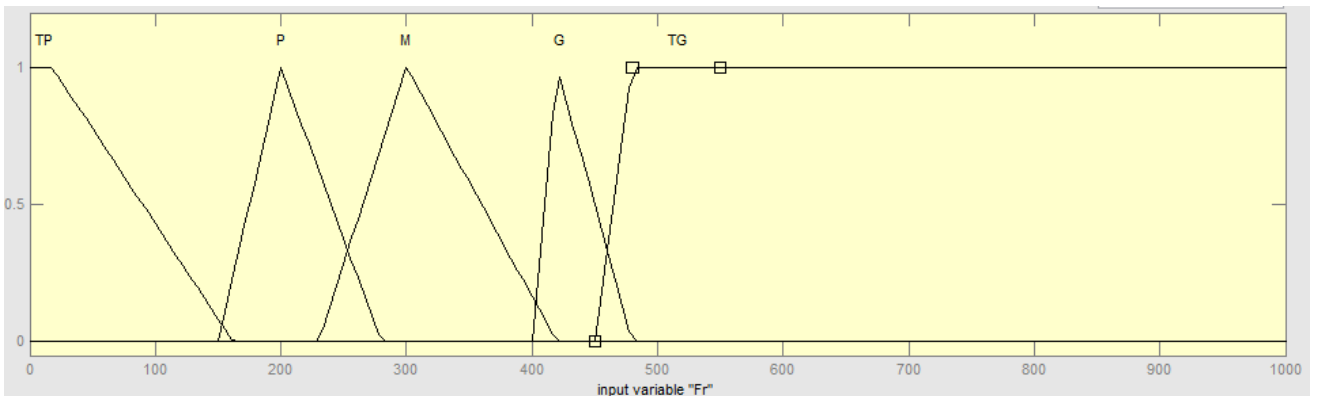


Figure IV.9 : Fonction d'appartenance de l'entrée (Fréquence de rotation Fr)

4) Fuzzification de la fréquence de défaut

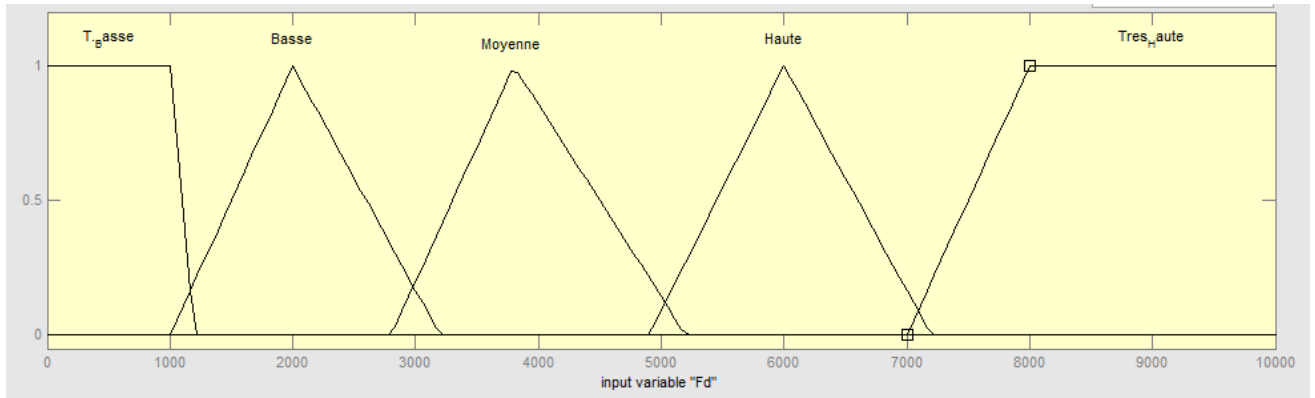


Fig. IV.10 : Fonction d'appartenance de l'entrée (Fréquence de défaut Fd)

5) La Fuzzification des sorties

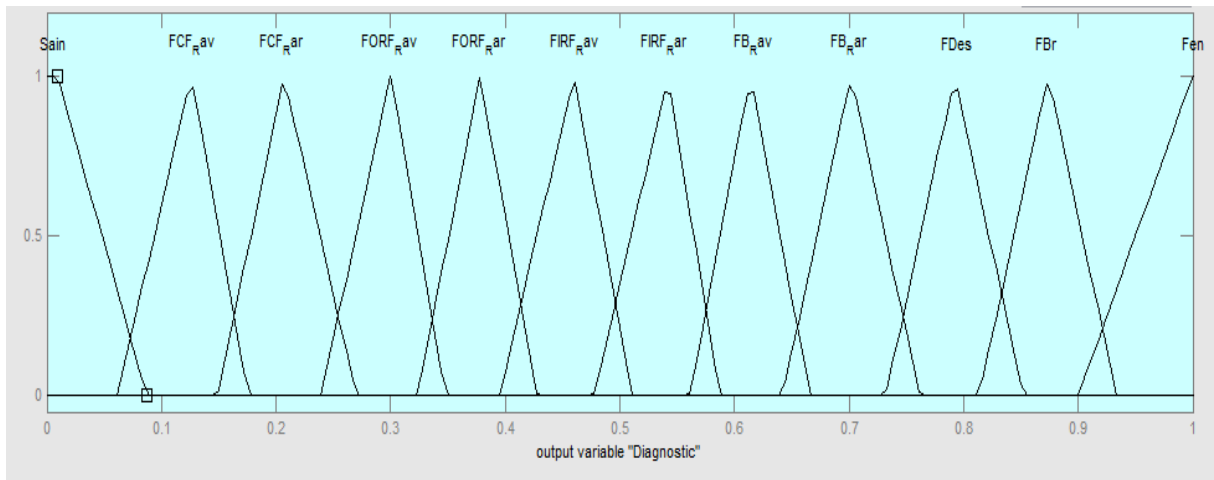


Figure IV.11 : Fonction d'appartenance de la sortie

IV.4.2 Règles d'inférences :

Les règles d'inférences sont élaborées, la méthode utilisée pour les entrées des règles est la méthode somme-produit et la méthode du centre de gravité pour les sorties.

*Par exemple : Si P est grande(G) ET Vib2 est Moyenne(M) ET Fd est Haute (H) ET Fr est grande(G) Alors on a le défaut (Balourd)*

Tableau IV.1 : Les intervalles de fonctions d'appartenance

Puissance	Intervalle
P	[-75 -8.333 15 30]
M	[15 40 75 85]
G	[75 90 120 150]
TG	[140 160 250 325]
Vibration	Intervalle
P	[0 0 0.7 1.2]
M	[0.45 0.7 1 2]
G	[1 1.5 4.5 5]
TG	[4.5 5 50 50]
Fréquence de rotation	Intervalle
TP	[0 0 18 162]
P	[150 200 280]
M	[230 300 420]
G	[400 420 480]
TG	[450 480 550 1e+06]
Fréquence de défauts	Intervalle
T. basse	[0 0 1000 1200]
Basse	[1000 2000 3200]
Moyenne	[2800 3800 5200]
Haute	[4900 6000 7200]
T.Haute	[7000 8000 2e+04 2e+04]

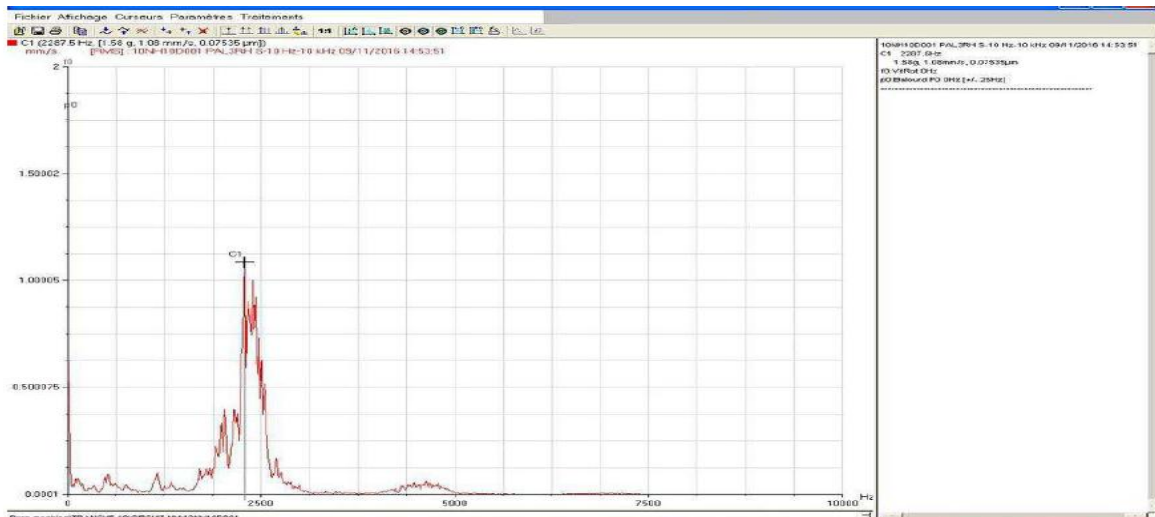


Figure IV.12 Analyse spectrale Moteur n°1 (au niveau de palier)

Exemples :

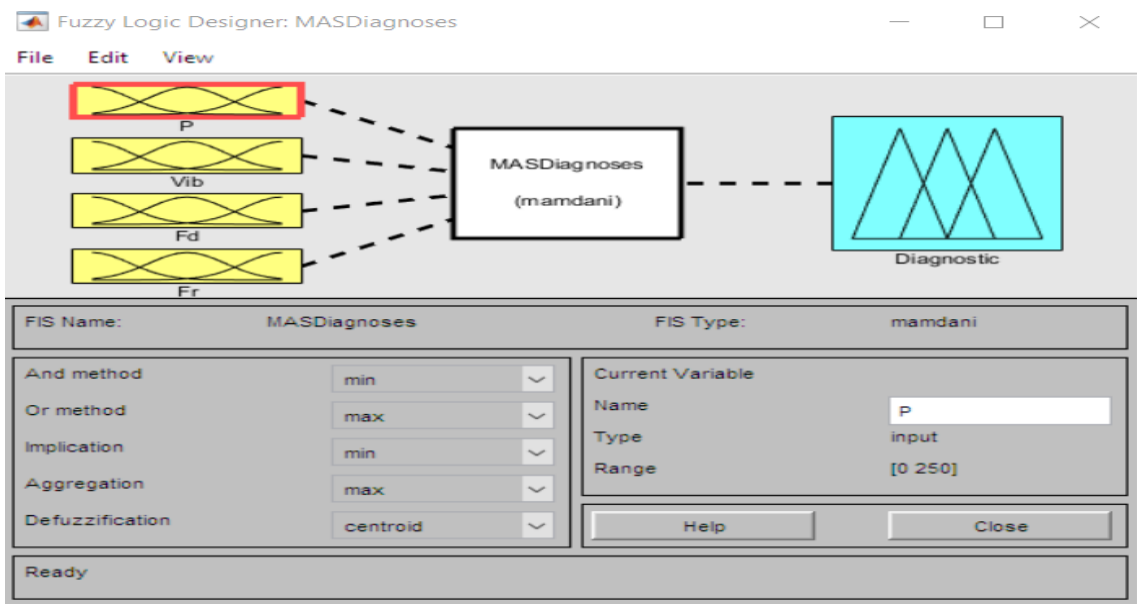


Figure IV.13 interface de programme

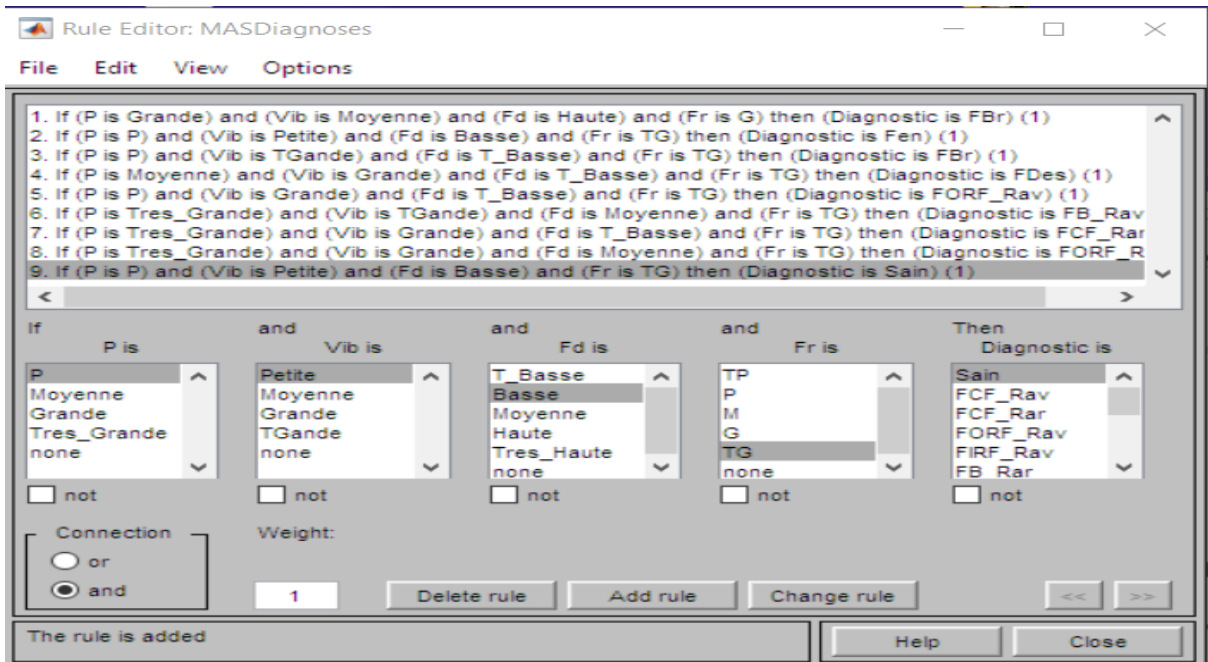


Figure IV.14 loi utilisées

Vingt (20) moteurs asynchrones [1,4,5], ont été simulés par le système de diagnostic flou, et les résultats obtenus sont montrés dans le tableau IV.2

## IV.5 Résultats et discussions

Vingt (20) moteurs asynchrones [1,4 et 5], ont été simulés par le système de diagnostic flou conçu, et les résultats obtenus sont montrés dans le tableau IV.2

**Tableau IV.2 :** Résultats de diagnostic des moteurs asynchrones utilisant la logique floue

	Puissance (KW)	Amplitude de Vibration (mm/s)	Fréquence de rotation (HZ)	Fréquence de défaut (HZ)	Diagnostic de l'expert	Diagnostic floue
<b>Moteur 1</b>	11.7	1.08	1460tr/min 24.33 HZ	2287.5 =94.f <sub>0</sub>	Défauts d'engrenage	Défauts d'engrenage
<b>Moteur 2</b>	11.7	0.15	24.5 Hz	2500	Moteur Sain	Moteur Sain
<b>Moteur 3</b>	5.5	5.71	2940 tr/min 48.83 HZ	49.5 ≈ Fr	<b>Balourd</b>	<b>Désalignement</b>
<b>Moteur 4</b>	65.6	3.41	1480 tr/min 24.66 HZ	49.5 ≈ 2.Fr	Désalignement	Désalignement
<b>Moteur 5</b>	75	3.7	1480 tr/min 24.66 HZ	66 ≈ 2.6Fr	Défauts de roulement Bague externe	Défauts de roulement Bague externe
<b>Moteur 6</b>	5.5	4.6	400 Tr/min 6.67 HZ	2.64	Défaut de cage	Défaut de cage
<b>Moteur 7</b>	5.5	3.2	800 Tr/min 13.4 HZ	63.64	Défauts de roulement Bague externe	Défauts de roulement Bague externe
<b>Moteur 8</b>	11.5	4.2	1200 Tr/min 20 HZ	144.3	Défaut de roulement Bague Interne	Défaut de roulement Bague Interne
<b>Moteur 9</b>	200	5.1	34200 Tr/min 570 HZ	261.34	<b>Défaut de cage Roulement avant</b>	<b>Défaut de cage Roulement arrière</b>
<b>Moteur 10</b>	200	5.7	34200 Tr/min 570 HZ	3403.8 HZ	Défaut de bille Roulement avant	Défaut de bille Roulement avant
<b>Moteur 11</b>	220	4.2	34200 Tr/min 570 HZ	3704.86 HZ	Défaut de la bague interne, Roulement avant	Défaut de la bague interne, Roulement avant
<b>Moteur 12</b>	5.5	1.18	50	49	Sain	
<b>Moteur 13</b>	200	4.6	32000 Tr/min 533 HZ	244.3 HZ	<b>Défaut de cage roulement arrière</b>	<b>Défaut de cage roulement avant</b>
<b>Moteur 14</b>	200	4.7	30000 Tr/min 500 HZ	3469.43 HZ	Défaut bague interne roulement arrière	Défaut bague interne roulement arrière
<b>Moteur 15</b>	220	4.3	32000 Tr/min 533 HZ	2932.56 HZ	Défaut de la bague externe roulement arrière	Défaut de la bague externe roulement arrière

<b>Moteur 16</b>	220	3.8	32400 Tr/min 540 Hz	3182.86 Hz	<b>Défaut de bille</b>	<b>Défaut bague interne roulement arrière</b>
<b>Moteur 17</b>	15	4.7	1797	159.93	défaut de bague interne du roulement	défaut de bague interne du roulement
<b>Moteur 18</b>	15	4.2	1772	104,56	défaut de bague externe du roulement	défaut de bague externe du roulement
<b>Moteur 19</b>	150	3.6	25600 tr/min 426.5 Hz	2771 Hz	défaut de bague externe du roulement	défaut de bague externe
<b>Moteur 20</b>	150	3.2	25600 tr/min 426.5 Hz	2539 Hz	défaut de bague interne du roulement	défaut de bague interne

➤ *De cela, le système flou conçu a fait un diagnostic correct de 16 cas parmi les 20 moteurs et donne une exactitude de 80 %*

## IV.6 Conclusion

Les résultats montrent l'excellent accord avec les défauts réels sur les machines asynchrone, l'exactitude de diagnostic on utilisant la logique floue est de 80 %.

Cette fiabilité du système floue se voit clairement dans le positionnement de défaut. Le système a donné le type défaut et l'élément de la machine touché par ce dernier :(bague externe, bague interne, roulement...etc.)

Il devrait être mentionné que le système intelligent (flou) conçu et appliqué dans le diagnostic pour les différentes machines asynchrones a été conçu dans l'environnement MATLAB.

## Références Bibliographique

- [1] ABDELHAK OULMANE, « *Surveillance et diagnostic des défauts des machines tournantes dans le domaine temps-fréquences utilisant les réseaux de neurones et la logique floue* », thèse Doctorat, Ecole Polytechnique De Montréal, 2014.
- [2] Saliha Boudraa, *Analyse des gaz dissous dans les huiles de transformateurs en utilisant la technique de l'intelligence artificielle, mémoire magistère, Université Batna, Algérie 2005*
- [3] Karim Abdel-Hakam Mohamed, Galal Ali Hassaan and Adel A. Hegazy, « *Induction Motor Electrical Fault Diagnosis by a Fundamental Frequency Amplitude using Fuzzy Inference System* », International Journal of Recent Engineering Science (IJRES), Volume 2 Issue 6 November to December 2015, PP 15-24.
- [4] AKBI BRAHIM, HAMZAOU Med ESSAID, « *Analyse vibratoire des défauts courants dans le parc machine de la centrale thermique RAS-DJINET* », Mémoire Master en Génie Mécanique, Université M'Hamed Bougara Boumerdes, 2017.
- [5] Yacine IMAOUCHEN, « *Mesure et analyse des vibrations des machines électriques tournantes* », Thèse Doctorat, Université A.Mira-Bejaia, 2015
- [6] L. Baghli, « *Contributiion à la commande de la machine asynchrone, utilisation de la logique floue, des réseaux neurones et des algorithmes génétiques* », thèse de Doctorat, l'université Henri Poincaré, France 1999
- [7] Saliha Boudraa, « *Maintenance des transformateurs de puissance par l'analyse de l'huile - Applications de l'IA-*», Thèse doctorat en sciences, Université de Batna, Janvier 2017.
- [8] Jelena Godjevac, « *Idées nettes sur la logique floue* », première édition polytechniques et universitaires, romandes, Lausanne, Suisse.1996.
- [9] Papanicola Robert, « *Contrôleur De Stores Intelligent A Logique Floue* », Sciences Industrielles. Lycée Jacques Amyot, France, 1997



# *Conclusion Générale*

## *Conclusion générale*

La machine asynchrone est le plus utilisable dans les différents domaines et dans l'industrie à cause de sa robustesse, sa maintenabilité, et son faible cout de fabrication, ces machines peuvent être affectées par des défaillances potentielles qui se répercutent sur la continuité et la qualité de service.

Le conflit de données rend le diagnostic de défauts dans la machine asynchrone par un expert humain imprécis, incertain, et exige beaucoup de savoir-faire et rapidité de décision.

Etudier un tel problème par des méthodes classiques exige la connaissance des différents paramètres qui peuvent influencer sur celui-ci. Cette étude est souvent entachée d'erreurs et d'imprécisions qui accompagnent toute modélisation de processus. Surtout dans le cas d'un petit défaut et en état que la machine est à vide n'apparaître pas visuellement,

Notre étude été pour objectif de donner aide de diagnostic et de prise de décision rapide, surtout pour les techniciens et les ingénieurs inexpérimentées, et ce pour le diagnostic correct et à temps, avant qu'il ne sera des conséquences graves.

L'applicabilité de l'intelligence artificielle dans cet objectif a donné des résultats satisfaisants, l'amélioration des techniques et méthodes classiques de surveillance et le diagnostic des défauts des machines asynchrones été claire surtout dans les cas de diagnostic et de la localisation de défauts de roulement qui présentent 51 % de défauts dominants dans les moteurs asynchrones dans la compagnie SAONATRACH. L'étude montre l'excellent accord avec les défauts réels et l'exactitude de diagnostic par la logique floue est de 80 %.

Il est nécessaire de mentionner qu'une cette application nécessite une base de données variées et riches. Et vu que le service de maintenance de la compagnie SONATRACH n'a pas pu nous fournir les données nécessaires, à cause de Pandémie mondial Corona COVID 19, et le strict politique médical interne appliqué par ce dernier, nous avons compléter notre base de données par les résultats d'analyse vibratoires faites pas des autres chercheurs et publiées récemment.

Il devrait être mentionné que le système intelligent (flou) conçu et appliqué dans le diagnostic pour les différentes machines asynchrones a été conçu dans l'environnement MATLAB.