



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de génie électrique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
électrotechnique  
Commande électrique

Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par :

**Nineche mebarek abd essalem**                      **meghazi larafi abderrahmane**

Le : mercredi 22 juin 2022

## **Comparaison entre deux technique de diagnostic par vibration mécaniques :cassure de barres rotorique**

---

### **Jury :**

Pr.	Zouzou salah elddine	Pr	Univzrsité de biskra	Rapporteur
Dr.	Borek omar	MCA	Univzrsité de biskra	Président
Dr.	Ghogal adel	MCA	Univzrsité de biskra	Examineur



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de génie électrique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
électrotechnique  
Commande électrique

Réf. : .....

---

## Comparaison entre deux technique de diagnostic par vibration mécanique :cassure de barres rotorique

Le : .....

**Présenté par :**

Nineche mebarek abd essalem

MEGHAZI LARAFI ABDERRAHMANE

**Avis favorable de l'encadreur :**

pr. Zouzou salah elddine

**Signature Avis favorable du Président du Jury**

**Cachet et signature**

## Remerciements

- ☞ Je tiens à exprimer mes plus grands louanges et remerciements à Dieu le tout puissant pour la volonté, la patience, la santé, les épreuves, les tests et tous les dons que je n'ai pu mentionner faute de leur non dénombrabilités, qu'il m'a donné durant toute ma vie et sans lesquels ce mémoire serait néant.
- ☞ Un grand merci à mon promoteur Salah Eddine Zouzou qui a accepté de diriger ce travail et qui m'a aidé et orienté, ainsi qu'aux membres du Jury et professeurs de département de génie électrique.
- ☞ J'exprime ma gratitude aussi à ma mère, mon père, frère et sœur, et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce modeste travail, surtout l'atelier mécanique de l'univ Biskra
- ☞ En dernier, j'aimerais remercier toute personne devant être remerciée.

## RESUME

Il est impossible d'imaginer notre vie d'aujourd'hui sans machines électriques (tournantes). Ces dernières ont un impact significatif sur la plupart des produits et des œuvres, d'être présentes dans de nombreux domaines. Le diagnostic des défauts s'effectue de diverses techniques, et le plus largement utilisé pratiquement, aujourd'hui, est la technique d'analyse des signaux vibratoires, car elle se base principalement sur l'analyse spectrale (FFT) des images de vibration. L'objectif de cette étude est de faire une comparaison entre la méthode d'analyse du courant par MVSA-FFT avec la méthode d'analyse vibratoire afin d'accéder à une décision précieuse.

Nous avons étudié le défaut cassure de barre par différentes techniques mentionnées plus haut, et aussi, notre étude des différents défauts a été réalisée analytiquement et pratiquement, ensuite un cas réel dans l'industrie a été étudié.

**Mots clés :** machines asynchrones à cage d'écureuil, diagnostic, transformée de Fourier, cassure de barre vibratoire .

### ملخص :

ينضوي هذا العمل تحت إطار تشخيص الأخطاء في الماكينات الكهربائية اللامتزامنة. حاليا تعتبر الماكينة اللامتزامنة العنصر المفتاح في أغلب التجهيزات الصناعية بفضل صلابتها و ثمنها المنخفض نسبيا. بالرغم من هذه الايجابيات قد تتعرض هذه الماكينة إلي إجهادات مختلفة تؤثر على أدائها و مدة حياتها الافتراضية، مما يؤدي إلى خسائر اقتصادية معتبره و هذا ما يفرض وضع نظام مراقبة لتفادي هذه الخسائر.

أصبح التحليل الموجي من الجزء الثابت الحالي للمحرك اللامتزامن (MVSA) ه و اسلوب يستخدم علي

نطاق واسع لتقديم الوضع الصحي للمحرك غير متزامن من اجل تجنب الاعطاب و التدخل عند الضرورة وأثناء اغلاق خط الإنتاج .

في هذا المعنى، وقد وضعت دراسة تحليلية لتحديد التوافقيات المختلفة التي تشكل محتوى الطيفية للتيارات الموالى و تحليل الاهتزاز في حالة الصحية وحالة وجود العطب ثم تم تحديد عدة مؤشرات . تم إجراء دراسة تجريبية والمقارنة بين المؤشرات بهدف تصنيفها و استنتاج أفضلها الذي يمكن أن يعطي معلومات متأكدة و واضحة على الحالة الصحية للألة .

**SOMMAIRE**

Liste des figures I  
Liste des tableaux V  
Liste des symboles VI

INTRODUCTION .....1  
GENERALE

CHAPITRE I

INTRODUCTION.....3  
I.1 CONSTITUTION DE LA MACHINE ASYNCHRONE.....3  
I.1.1 Le stator.....3  
I.1.2 Le rotor.....4  
I.1.3 Organes mécaniques .....5  
I. 2 Les causes des défauts .....5  
I.2.1 Rotor .....5  
I.2.1.1 Roulements à billes .....5  
I.2.1.2 Stator .....5  
I.2.2. Etude des principaux défauts affectant la machine asynchrone à cage d'écureuil .....6  
I.2.2.1 Les initiateurs de défauts .....6  
I.2.2.2 Les contributeurs aux defaults .....6  
I.2.2.3 - Les défauts sous jacents et les erreurs humaines .....6  
I.2.3 Défauts du stator .....7  
I.2.3.1 Défauts du rotor .....7  
I.2.3.2 Défauts de roulement .....7

---

## Sommaire

---

1.2.3.3	des défauts d'excentricité	7
1.2.3.3.1	Excentricité statique	8
1.2.3.3.2	Excentricité dynamique	8
1.2.3.3.3	Excentricité mixte	8
I. 3	Conséquences des défauts :	8
I.4.	LA MAINTENANCE :	8
I.4.1.	Maintenance Corrective	8
I.4.2	Maintenance Préventive	9
I.4.2.1	Maintenance Préventive	11
I.4..2.2.	Maintenance préventive conditionnelle	11
I.5.	Analyses vibratoires des défauts de la MAS	16
I.6	TECHNIQUE DE DIAGNOSTIC DES MACHINES ELECTRIQUE	17
I.6.1.	Diagnostic par mesure du courant statorique	17
I.6.2.	Diagnostic par les courants de Park	18
I.6.3	Diagnostic par l'analyse de la puissance instantanée	18
I.6.4	Diagnostic par mesure du flux magnétique	19
I.6.5	Diagnostic par l'analyse du couple électromagnétique	19
I.6.6.	Diagnostic par mesure des vibrations	19
CONCLUSION		24
CHAPITRE II		
INTRODUCTION		25
II.1.	DEFINITION D'une vibration	
II.1.1.1	Approche intuitive	25
II .1.1.2.	Perception subjective des phénomènes :	26
II .1.1.2.	Le bruit	27

---

## Sommaire

---

II .1.3. Origine du bruit rayonné par une machine :.....	27
II.2. Caractérisation d'une vibration :.....	30
II .2.1 La fréquence.....	32
II. 2.1.1 Relation entre fréquence et période.....	35
II. 2.2. Les unités.....	37
II .2.3 L'amplitude.....	37
II. 3. Les trois grandeurs représentatives de l'amplitude :	
II.3.1 un déplacement.....	
II. 3.2 Une vitesse.....	
II. 3.3 Une accélération.....	
II.5 définition d'une machine.....	
II.6.origine de vibration.....	
II.7 MESURE DE NIVEAUX GLOBAUX .....	
7.1 Déplacement.....	
7.2 Vitesse: .....	
7.3 Accélération.....	
II.8 • LA CHAÎNE DE MESURE .....	
II.9 LES CAPTEURS DE	
VIBRATION.....	
II.10. Grandeurs d'influence .....	
II.10.1 Avantages des accéléromètres .....	
II.10.2 inconvénients .....	
II.11 Problèmes et défauts détectés .....	
II.12 Les appareils de mesure, de collecte et d'analyse Les appareils de mesure d'indicateurs scalaires larges bandes.....	

---

## **Sommaire**

---

II.13	Les collecteur informatises et les appareils de mesure :.....	
II.14	LES POINTS DE MESURE .....	
	CONCLUSION.....	4

1

---



# **Introduction Générale**

## **Introduction Générale**

La plus part des machines utilisées dans l'industries sont les machines asynchrones, et pour assurer la continuité de service et le bon fonctionnement il faut suivre un programme de maintenance (corrective et préventive et conditionnel) dépende la stratégie de l'entreprise par contre la fiabilité et la sûreté de leur fonctionnement permettent en partie d'assurer la sécurité des personnes et l'environnement de travail avec donner une très bonne qualité du service et la rentabilité des installations.

Par les anciennes techniques de la détection de défaut dans les machines électriques c'est l'analyse de courant et de vibration et prouver dans les laboratoires de recherche pour les applications dans le demain industrie. Récemment l'évolution des sciences les chercheurs découvrent des nouvelles techniques par ces technique on choisit une technique basée sur l'analyse de flux de fuite La plus part des chercheurs qui fait le diagnostic nécessite la connaissance de l'état sain de la machine avec quelle que soit les grandeurs physiques et on fait la comparaison de la signature d'un état donné avec celle de l'état supposé sain parce que notre référence c'est l'états sain.

Par considération que le capteur utiliser dans cette méthode est très sensible. Dans ce mémoire nous nous sommes intéressés au diagnostic des défauts au niveau du rotor dans un moteur asynchrone à cage d'écureuil parce que dans l'industrie prends un pourcentage considérable.

L'étude a été répartie en trois chapitres : Notre projet de fin d'études est axé sur l'étude de ces deux techniques afin de montrer les performances de chacune d'elle. Ce mémoire est organisé en trois chapitres répartis comme suit :

Dans le premier chapitre, on présente les causes et les natures des différents défauts et aussi les méthodes de diagnostic, c'est en quelque sorte, l'état de l'art du problème. .

Le deuxième chapitre est introduit à étude théorique sur l'analyse vibratoires, les différentes méthodes et technique utilisée et celle toujours en voie de développement pour l'analyse vibratoire.

Dans le troisième chapitre, nous présentons une étude détaillée de la transformées de Fourier rapide (fft) pour diagnostiquer les défauts de rupture des barres rotoriques.

# **CHAPITRE I**

Etat de l'art de la machine asynchrone

## INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons commencer par présenter certaines notions de base concernant la constitution de la machine asynchrone et les différents types de défauts électriques ou mécanique, et les activités de maintenance.

### I. Construction de la machine asynchrone :

La machine asynchrone (Figure I.1) comporte un stator muni d'un enroulement triphasé et d'un rotor portant un enroulement triphasé ou une cage. C'est un transformateur à champ tournant dont le primaire est le stator et dont le secondaire, mis en court-circuit et libre de tourner. [1]

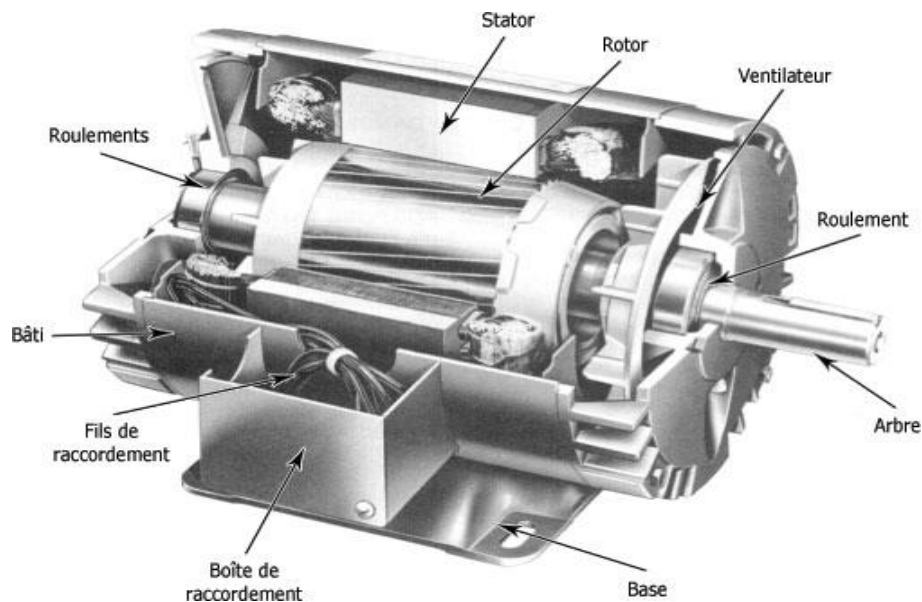


Fig. I.1 : La machine asynchrone

#### I.1 Le stator :

Il est constitué d'une couronne de tôles minces (0,35 mm) empilées [1], caractérisées par des pertes allant de 1,6 à 2,3 W/kg à 50 Hz . Cette couronne est serrée dans une carcasse. Débouchant à l'intérieur de l'anneau ainsi formé, des encoches contiennent un enroulement triphasé. Cet enroulement peut être bipolaire, tétra polaire, etc. (Figures I.2 et I.3). Les entrées et les sorties des trois phases aboutissent à une plaque à bornes. équivalente à celle d'un rotor bobiné dont les enroulements sont en court-circuit. Dans ce travail, nous nous intéressons à la machine asynchrone à cage d'écureuil. [1]

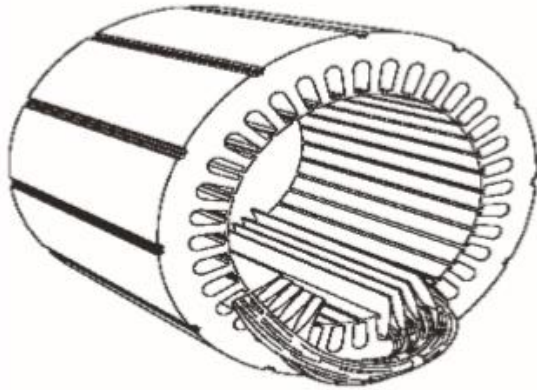


Fig. I.2 : Stator en cours de bobinage

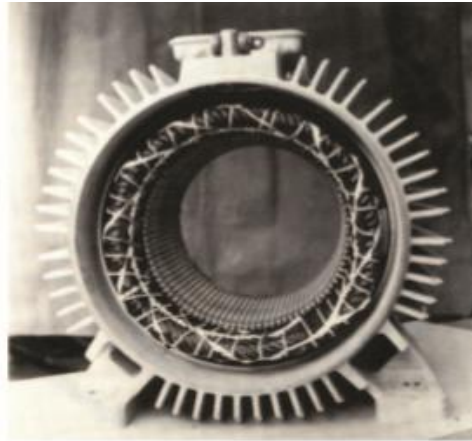


Fig. I.3 : Stator (vue d'ensemble)

### I.1.2. Le rotor :

Le rotor est constitué comme le stator de tôles empilées et habituellement du même matériau. Dans les petits moteurs, les tôles sont découpées dans une seule pièce et assemblées sur un arbre. Dans de plus gros moteurs, chaque lamination est constituée de plusieurs sections montées sur un moyeu.

Dans le cas des rotors à cage d'écureuil, les encoches peuvent être semi-ouvertes ou fermées. Les enroulements sont constitués de barres court-circuitées par un anneau terminal placé à chaque extrémité du rotor. Les conducteurs sont généralement réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre ou, à l'occasion, en laiton préformées et frettées dans les tôles du rotor. Il n'y a généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres rotoriques et les tôles magnétiques. Leur résistance est suffisamment faible pour que les courants ne circulent pas dans les tôles, sauf lorsqu'il y a une rupture de barre. [2]

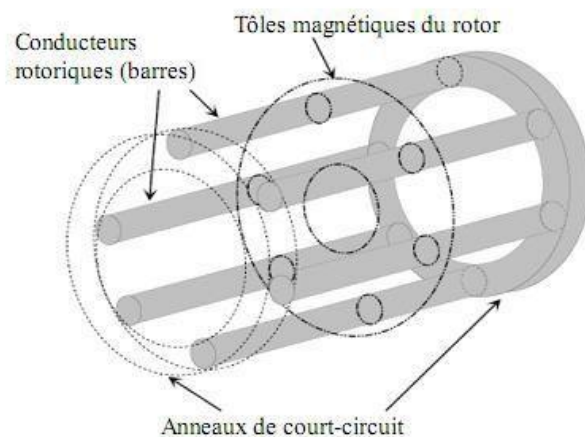


Fig. I.4 Rotor à cage d'écureuil

### 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 il est supporté par un ou plusieurs paliers. ces derniers 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 [8]. Pour les machines de petite et moyenne puissance. Dans La plupart du temps on trouve aussi un ventilateur de refroidissement [3].

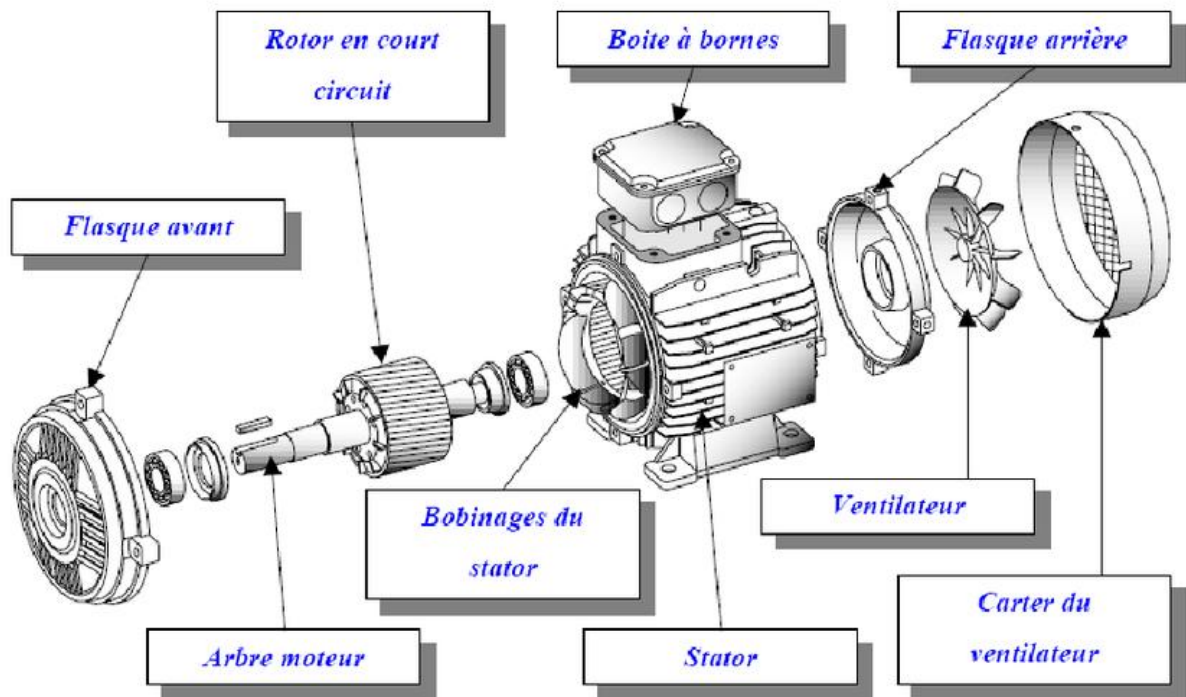


Fig. I.5 Les organes mécaniques

#### - Les causes des défauts :

Les causes des défauts sont multiples. Elles peuvent être classées en trois groupes :

- Les générateurs de pannes ou initiateurs de défauts : surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), problèmes mécaniques, rupture de fixations, problème d'isolation, survolage d'alimentation...

- Les amplificateurs de défauts : surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, alimentation perturbée (instabilité de la tension ou de la fréquence), échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement...
- Les vices de fabrication et les erreurs humaines : défauts de fabrication, défectuosité des composants, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine...

L'étude précédente permet de classer les défauts suivant leur localisation :

### **1) Rotor :**

- o Rupture de barreaux (Cassures partielles ou totales des barres).
- o Cassure de l'anneau de court-circuit de la cage (Cassures partielles ou totales des anneaux).
- o Excentricité statique ou dynamique.
- o Défaut du circuit magnétique (ruptures de tôles).

### **2) Roulements à billes :**

- o Trous dans les gorges de roulement intérieures et extérieures.
- o Ondulation de leur surface de roulement.
- o Attaque des billes.
- o Corrosion due à Léau.
- o Défaut de graissage, problème du à la température.
- o Décollement, effritement de surface, provoquée par une surcharge.

### **3) Stator :**

- o Court-circuit entre spires, court-circuit entre bobines de la même phase.
- o Ouvertures de phases, court-circuit phase-phase ou phase-terre.
- o Coupure d'une phase.
- o Défaut du circuit magnétique (ruptures de tôles).
- o Défaut de l'isolation de masse.

## **I.2. Etude des principaux défauts affectant la machine asynchrone à cage d'écureuil :**

De nombreuses défaillances peuvent apparaître sur les machines asynchrones. Elles peuvent être électriques, mécaniques ou magnétiques. Leurs causes, très variées, sont classées en trois

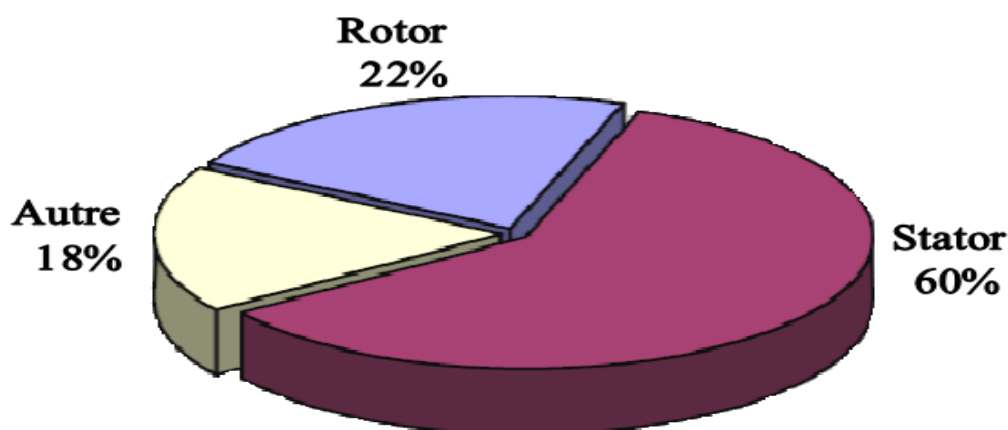
groupes [4] :

- **Les initiateurs de défauts** : surchauffe du moteur, usure des éléments mécaniques (roulements à billes), rupture de fixations, problème d'isolation électrique, surtension transitoire.

- **Les contributeurs aux défauts** : surcharge fréquente, température ambiante élevée, ventilation défectueuse, humidité, fortes vibrations, vieillissement.

- **Les défauts sous jacents et les erreurs humaines** : défauts de fabrication, composants défectueux, protections inadaptées, absence de maintenance. Ces différentes causes peuvent provoquer une dégradation des performances ou des arrêts intempestifs du système.

Une étude statistique, effectuée en 1988 par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels [5], [6], sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance (de 50 kW à 200kW) a donné les résultats montrés par la figure I.6 :



**Fig.I.6 : Proportion des défauts**

D'autre part, les mêmes études montrent qu'entre 1973 et 1988, les pannes au stator sont passées de 78% à 60% et au rotor de 12% à 22%. Ces variations sont dues à l'amélioration des isolants sur cette période.

Les pannes du moteur asynchrone peuvent être divisées en deux groupes selon leur origine :

électrique ou mécanique, où le premier se compose des problèmes de branchement ou du bobinage du stator, généralement des courts-circuits en raison de défauts d'isolement. En revanche, le deuxième groupe est constitué de barres ou d'anneaux de rotor cassés, de problèmes de roulement et de désalignement.



L'anneau des proportions des défauts (figure 1.7), d'après une étude statistique, est fait par le composant du défaut. Comme il est apparu les roulements et le stator forment ensemble les principaux composants les plus sensibles, où les premiers peuvent être endommagés en raison du manque de lubrification, ce qui provoque une augmentation de la température pouvant entraîner d'autres défauts.

Cependant les défauts du stator, compte tenu le problème principal, se sont résumés en pertes d'isolation des enroulements, généralement dues à la température élevée.

En ce qui concerne les défaillances du rotor, elles se produisent généralement en raison du chargement ou des vibrations excessives, de l'excentricité et du désalignement, ce qui pourrait conduire à une barre cassée.

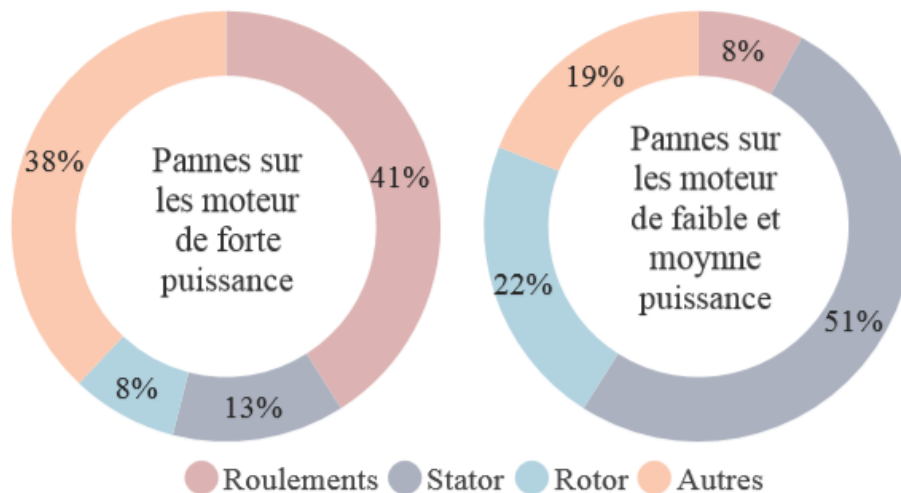


Figure 1.7. Anneau de proportions des défauts du moteur asynchrone.

### 1.3.1 Défauts du stator:

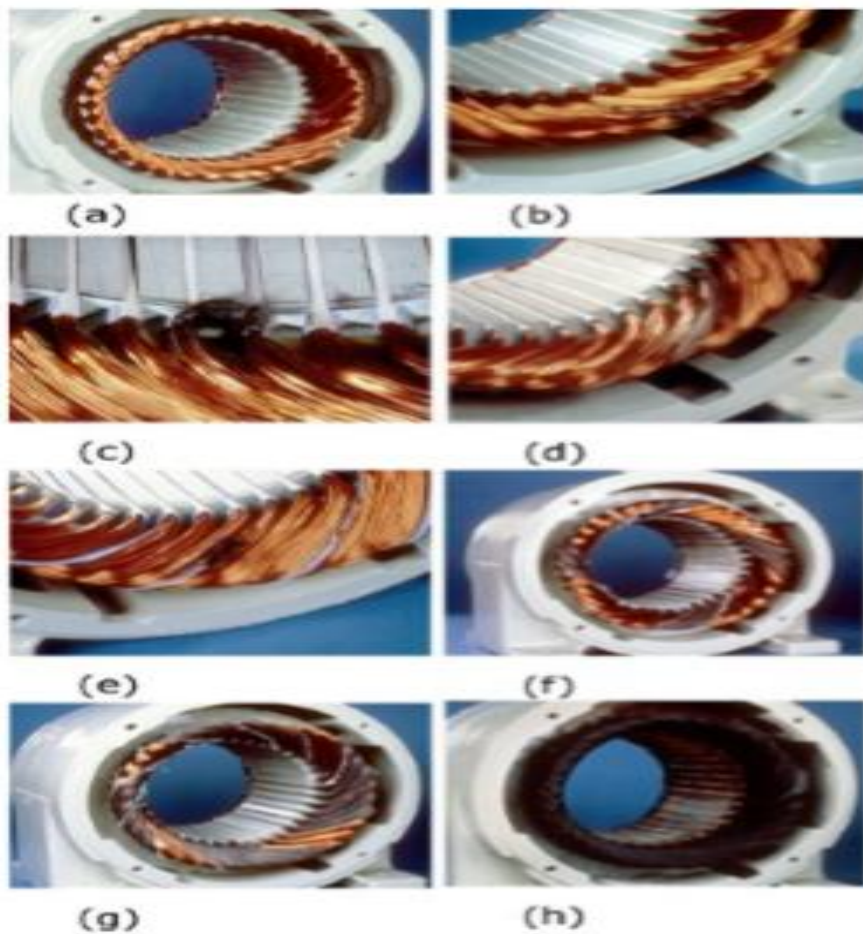
Les défauts du stator sont des défauts électriques potentiellement nocifs dans les moteurs, ils sont produits fréquemment en fonction du type et de la taille de la machine. Les bobines du stator sont sujettes à diverses anomalies et, à leur tour, provoquent différentes réponses d'équipement. Dans les situations réelles de fonctionnement du moteur, la dégradation du bobinage du stator par des contraintes thermiques, électriques, mécaniques ou environnementales : telles que l'échauffement excessif du moteur, la surcharge électrique, peuvent entraîner une dégradation accélérée de l'isolation entre spires ou phases, ce qui peut affecter gravement l'état du stator et parfois il menace la sécurité des ouvriers. Les défauts d'enroulement du stator peuvent être classés en : court-circuit entre les spires de la même bobine, les bobines de même phase, les bobines de différentes phases, phase et terre et le circuit ouvert en phase. Le court-circuit entre les enroulements provoque un courant intense puis une détérioration rapide par la combustion de l'isolation et la fusion dans les conducteurs en cuivre.

Dans [7], une méthodologie qui permet la surveillance de défauts du stator en fonction de la méthode d'optimisation de la grille éparse appliquée dans l'estimation des moindres carrés des paramètres du circuit qui caractérisent l'état des défauts naissants. En outre, le système proposé est robuste pour le déséquilibre de tension d'alimentation et les variations des conditions de couple de charge.

Une autre technique a été proposée dans [8] pour détecter et classer les différents défauts d'isolation de l'enroulement du stator et la gravité des défauts entre spires du stator lorsqu'un moteur tourne sous des conditions de fonctionnement différentes. Cette méthode est basée sur les caractéristiques de perturbation qui sont extraites des résidus triphasés obtenus à partir

d'une analyse multi-résolutions d'ondelettes, à l'aide de l'implémentation de trois réseaux neuronaux modulaires.

Lorsque le moteur commence à présenter des problèmes, certaines modifications peuvent être notées dans son fonctionnement, telles que : les variations de température, les signes



**Figure 1.8. Bobinage sain et défectueux. (a) enroulement sain, (b) court circuit entre spires, (c) court circuit au bord de l'encoche, (d) court circuit d'un faisceau, (e) court**

**circuit entre deux phases, (f) court circuit d'une phase, (g) court circuit de deux phases, (h) court circuit total.**

associés aux vibrations mécaniques, le bruit audible, les variations du comportement du champ électromagnétique et les perturbations dans le courant du stator. OÙ ces dernières, qui sont générées par le défaut de court circuit, sont principalement présentées dans un spectre de courant statorique selon la formule :

$$f_{cc} = \left[ k \mp n \frac{(1-s)}{p} \right] \begin{matrix} k=1,2,3... \\ n=1,2,3... \end{matrix}$$

Un court-circuit de spires est à l'origine de déséquilibre des enroulements statoriques, qui explique l'affectation de l'amplitude de l'harmonique  $3fs$ , où son augmentation est proportionnelle avec la gravité de court circuit

### 1.3.2 Défauts du rotor :

La cassure d'une barre de rotor est l'un des défauts les plus difficiles à détecter dans le moteur asynchrone à cage (figure 1.9). Les mécanismes qui conduisent à ce défaut sont fortement liés à la fabrication du moteur ainsi qu'aux caractéristiques de fonctionnement. Pour cela et contrairement à la conception du stator, la conception et la fabrication du rotor à cage ont subi peu de changements au cours des années [9]. Les rotors en fonte des petits moteurs peuvent avoir des bulles d'air ou une coulée incomplète qui produit des sections de barres à haute résistance, ce qui entraîne des points chauds et éventuellement des fissures locales dans la cage [10].



Figure 1.9. Simulation d'une rupture d'une barre rotorique.

Par contre, le mécanisme des défauts de barres est habituellement différent dans les gros moteurs asynchrones dont la cage est fabriquée avec du cuivre, où l'expansion thermique des barres, les vibrations et la corrosion sont quelques-uns des principaux facteurs conduisant à un défaut de barres. D'après [11], on donne le tableau 1.1 qui résume les différentes sources des défauts du rotor.

Problèmes	Thermique :	Surcharge Déséquilibre thermique Points chauds et pertes excessives Étincelles de rotor
	Magnétique :	Déséquilibre de la traction magnétique du rotor Bruit électromagnétique et vibration Effets électromagnétiques
	Résiduel :	Défauts d'usinage
	Dynamique :	Couples d'arbre Forces centrifuges Stress cyclique
	environnemental :	Matériaux étrangers Produits chimiques ou l'humidité Corrosion
	Mécaniques :	Désalignement Fatigue ou rupture partielle laminations lâches

TABLE 1.1 Différentes sources des défauts du rotor

Après une petite fissure dans une barre de rotor, le courant sera distribué dans les barres environnantes. La plupart du courant qui aurait circulé dans la barre cassée coule dans les deux barres immédiatement adjacentes au cas où le rotor à simple cage, provoquant une réaction en chaîne qui pourrait entraîner une fracture de la barre environnante.

Par contre au cas où le rotor à double cage, la rupture d'une barre supérieure provoque une surintensité dans la barre intérieure de la même fente, et aucune remarque n'est faite sur les barres adjacentes de la barre cassée, ce qui montre clairement un mécanisme de dégradation différent que dans les rotors à cage conventionnels [12].

L'analyse spectrale du courant statorique montre l'augmentation de la composante fréquentielle  $(1-2g)f_s$  due par l'asymétrie du rotor. Cela provoque une ondulation de  $2g\omega_s$  dans la vitesse qui donne naissance à d'autres composantes fréquentielles dans le spectre de courant comme suit :

$$f_{b1} = [h(1-g) \pm g \pm 2gk]$$

où  $h$  est l'ordre de l'harmonique et  $k = 1, 2, 3, \dots$  et  $g$  le glissement.

Plus de  $f_{b1}$ , on trouve aussi dans le spectre de courant statorique d'autres composantes fréquentielles autour des harmoniques d'encoches rotoriques :  $f_{b2} = \lambda N_b p (1-g) \pm 1 \pm 2gk$   
(1.3)

### 1.3.3 Défauts de roulement :

Dans un moteur électrique, les roulements sont les uns des composants mécaniques les plus importants pour assurer la transmission de l'énergie électrique à l'énergie mécanique entre les éléments rotoriques et statoriques. Comme on avait déjà signalé sur l'anneau de proportion des défauts liés au moteur à grande puissance, le défaut de roulement est le plus fréquent couvrant environ 41% des défauts. Par conséquent, la décroissance de l'impact de ce type de défaut est toujours un défi majeur pour les chercheurs, surtout au début, alors que le retard dans la détection provoque un dysfonctionnement, une perte de performance, une efficacité réduite et peut même causer l'arrêt de la machine électrique.

Dans un roulement, les billes, qui roulent normalement dans un lubrifiant entre la bague extérieure fixée au flasque et la bague intérieure fixée à l'arbre, sont plus susceptibles aux problèmes. Le lubrifiant contribue également à éliminer la chaleur et les contaminants du roulement, fournit une isolation électrique entre le rotor et le stator et améliore la stabilité mécanique en augmentant l'amortissement du système [13]. Donc, la vitesse excessive, la corrosion, le manque de la graisse et des particules polluantes peuvent causer un au minimum des trois défauts de roulement: défaut de la bague extérieure, défaut de la bague intérieure ou le défaut des billes.

Le défaut de roulements est un défaut mécanique, et comme il est connu toutes les excentricités interfèrent sur le champ dans l'entrefer, et cela à son tour reflète une image spécifique dans le spectre de courant statorique. Sur la base des dimensions de roulement (figure 1.10), On peut extraire trois signatures de défaut sur le spectre d'un courant

statorique selon la défaillance des éléments de roulement, de sorte que  $f_{ext}$ ,  $f_{int}$  et  $f_b$  sont les fréquences des défauts des bagues extérieure, intérieure et le défaut des billes respectivement :

$$f_{ext} = \frac{N_b}{2} f_r \left[ 1 - \frac{BD}{PD} \cos(\beta) \right]$$

$$f_{int} = \frac{N_b}{2} f_r \left[ 1 + \frac{BD}{PD} \cos(\beta) \right]$$

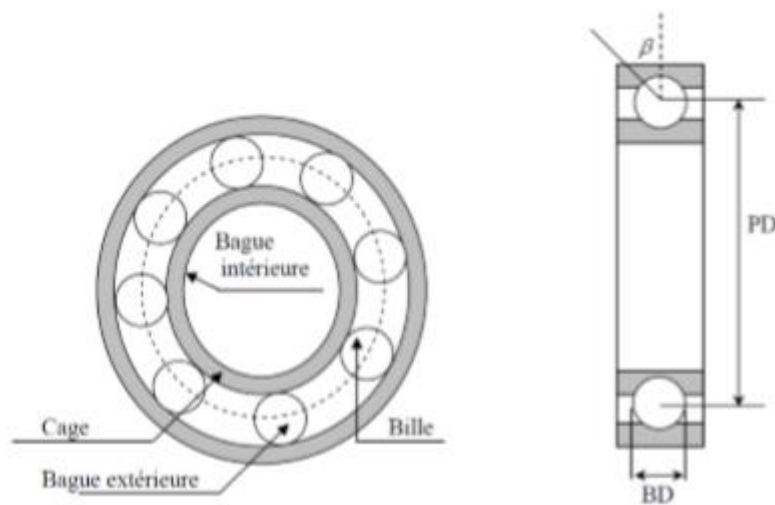


Figure 1.10. Dimension d'un roulement à bille.

$$f_b = \frac{PD}{BD} f_r \left[ 1 - \left( \frac{BD}{PD} \cos(\beta) \right)^2 \right]$$

sachant que :

BD est le diamètre de la bille.

PD est le diamètre moyen ou diamètre de la cage.

$N_b$  est le nombre de billes.

$\beta$  est l'angle de contact en radians.

$f_r$  est la fréquence de rotation.

**I. 3. 4. des défauts d'excentricité :**

L'excentricité de la machine est le résultat du non uniformité d'entrefer. Ce défaut peut être la cause d'une flexion de l'arbre, d'un mauvais positionnement du rotor par rapport au stator, de l'usure du roulement ou encore d'un déplacement du noyau statorique. Il existe trois types d'excentricité (Fig. I.11) [14, 15, 16]:

**a. Excentricité statique:**

Dans ce type d'excentricité, la position de l'épaisseur minimale de l'entrefer est fixe dans l'espace. Elle peut être causée par l'ovalité de la partie intérieure du stator ou encore par le mauvais positionnement du rotor ou du stator durant la phase de construction. Si cependant l'assemblage entre le rotor et l'arbre est suffisamment rigide, le niveau d'excentricité statique ne change pas.

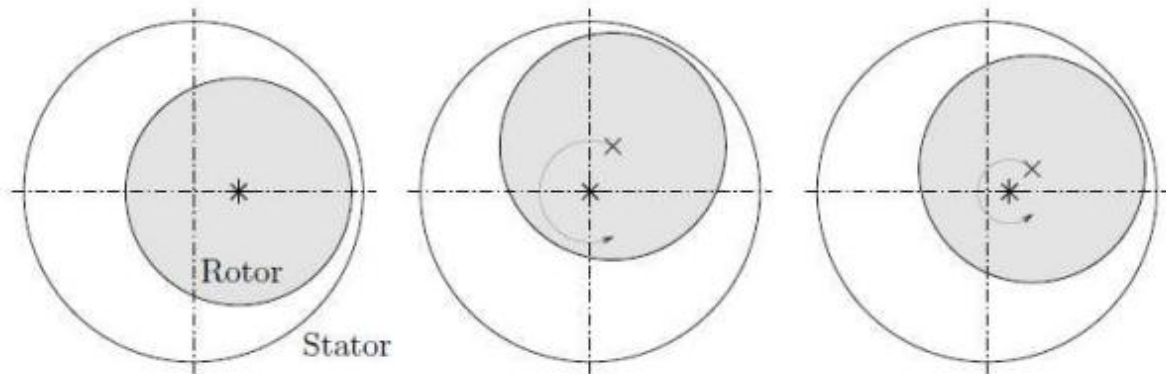
**b. Excentricité dynamique :**

L'excentricité dynamique apparait lorsque le centre du rotor n'est pas en son centre de rotation et de ce fait la position d'épaisseur minimale d'entrefer tourne avec le rotor. Les causes de ce type d'excentricité sont, la flexion de l'arbre du rotor, l'usure ou le défaut d'alignement du roulement et la résonance mécanique à la vitesse critique.

**c. Excentricité mixte :**

En réalité, les excentricités statique et dynamique ont tendance à coexister. Même à l'état sain, la machine présente toujours un certain degré d'excentricité mixte résiduelle dû aux inévitables erreurs de fabrication.





Excentricité statique

Excentricité dynamique

Excentricité mixte

**Fig. I.11 : Représentation de l'excentricité statique, dynamique et mixte**

La présence de l'excentricité se manifeste par la création d'harmoniques dans le spectre du courant statorique à des fréquences données par [17]:

$$f_{exc} = \left[ \left( \frac{kN_b \pm n_d}{p} \right) (1-g) \pm n_{exc} \right] f$$

avec  $k$  un entier, 1, 2, 3...  $s n\omega =$  et  $d n$  l'ordre de l'excentricité.  $d n$  égal à 0 pour l'excentricité statique et 1, 2, 3, ... pour l'excentricité dynamique.

Une autre série d'harmoniques liés à l'excentricité mixte, apparaît de part et d'autre de la fondamentale à des fréquences données par [18] :

$$f_{exc-mix} = |f \pm kf_r|$$

tel que  $k$  est un entier positif.

### C- Conséquences des défauts :

Les défauts qui surviennent sur les machines asynchrones conduisent à de multiples problèmes qui affectent la rentabilité de l'installation globale, et qui peuvent aller jusqu'à l'arrêt total [19] . On cite parmi les conséquences des défauts:

- a- Fluctuations au niveau du couple et de la vitesse.
- b- Appel supplémentaire de courant.
- c- Déséquilibre au niveau de la tension et du courant de ligne.
- d- Augmentations des arrêts non programmés, des pertes de production, et par conséquent, du rendement global.



## **I.4. LA MAINTENANCE :**

### **I.4.1. Définition :**

La tâche principale d'un ingénieur est de garantir la disponibilité des systèmes industriels, c'est-à-dire, d'assurer que le système fonctionne lorsqu'on le sollicite. La responsabilité de cette tâche repose sur la maintenance. Selon l'association française de normalisation (AFNOR), la maintenance est « ensembles des activités destinées à maintenir ou à établir un bien dans un état pour accomplir une fonction requise ». Il y a deux grandes classes de la maintenance :

- \_ Maintenance corrective.
- \_ Maintenance préventive : - systématique ; - conditionnelle [20].

#### **I.4.1.1. 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 [20].

#### **I.4.1.2 Maintenance Préventive**

Ce type de maintenance a 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...).

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 [20]:

#### **I.4.1.2 Maintenance Préventive**

La maintenance systématique est un type de maintenance planifiée dans le temps (graissage, lubrification, nettoyage, dépolluage, 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

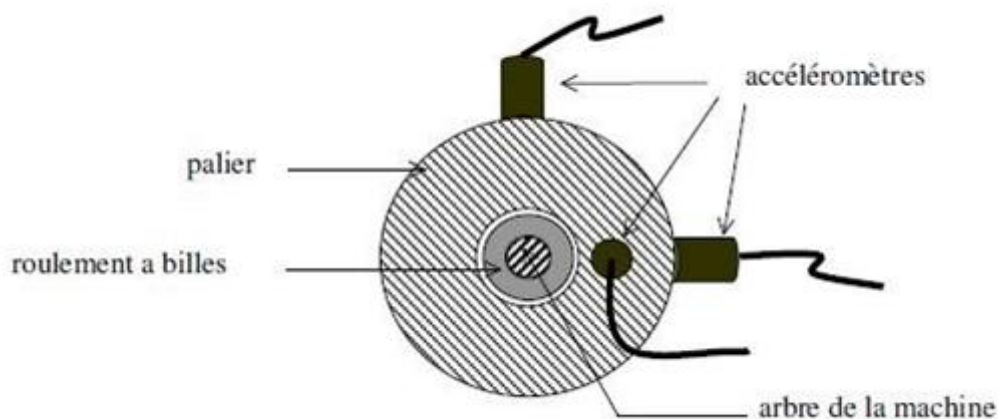
revenant pas trop cher en changement (les meilleurs exemples sont le changement systématique de l'huile, des filtres, changement de la courroie de synchronisation, des roulements, des paliers de rotation ...) [20].

#### I.4.1.2.2. 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...) [20].

#### I.7.2 Analyses vibratoires des défauts de la MAS :

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.



**Fig.I.12 Mesures vibratoires sur la machine asynchrone**

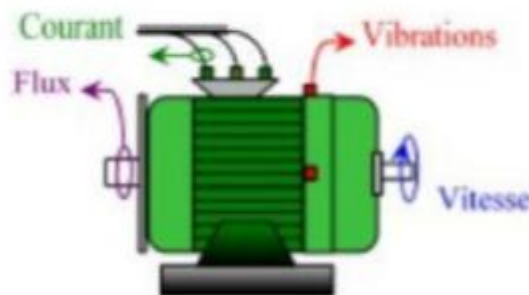
Au même titre que les courants, les vibrations de la machine fournissent des informations sur pratiquement tous les défauts mécaniques fréquemment rencontrés. Plutôt que de disposer d'une étude au cas par cas, nous avons réalisé une synthèse de l'ensemble des informations que peuvent fournir ces signaux en fonction des défauts, à partir de la

référence, qui présente une comparaison entre les signatures des courants et les signatures vibratoires. Ces observations sont résumées dans le tableau (I.2)

## I.6. TECHNIQUE DE DIAGNOSTIC DES MACHINES ELECTRIQUE:

Parmi les méthodes utilisées, il y a celles qui nécessitent de prélever un ou plusieurs signaux pour les traiter, analyser et conclure avec certitude s'il y a une défaillance ou non. Les paramètres caractéristiques de la machine asynchrone peuvent servir de très bons indicateurs de défauts. Les techniques de diagnostic et de détection des défauts utilisent en générale les signaux suivants :

- a) Le courant statorique ;
- b) les courants de Park
- c) Le flux de fuite de la machine
- d) Les vibrations
- e) La vitesse de rotation
- f) L'analyse du couple électromagnétique
- g) L'analyse de la puissance instantanée



**Figure I.13 .les mesures utilisées pour la surveillance et le diagnostic des machines synchrones**

### I.6.1. Diagnostic par mesure du courant statorique

L'analyse du courant statorique du moteur et l'une des techniques qui permet de détecter la présence des anomalies mécaniques et électriques, non seulement dans le moteur, mais également dans la charge. Des améliorations considérables sont apportées à cette technique qui est dénommée dans la littérature l'Analyse des Signatures du Courant du Moteur (ASCM). Des composantes fréquentielles ont été déterminées pour chaque type de défaut. Il est important de noter, que l'amplitude de la composante fréquentielle augmente avec la sévérité du défaut [21].

### **I.6. 2. Diagnostic par les courants de Park**

Il existe une autre méthode d'analyse du courant c'est l'analyse par l'approche des vecteurs de Park. Elle est utilisée pour les moteurs alimentés par un système triphasé. Les trois grandeurs de la machine sont transformées en grandeurs biphasées selon les axes "d" et "q", et qui sont utilisées pour tracer la courbe de Lissajou " $I_q=f(I_d)$ ". Le changement de la forme et de l'épaisseur de cette courbe donne une information sur le défaut. L'analyse spectrale du module des deux vecteurs de Park est aussi un moyen pour surveiller l'état de la machine [21].

### **I.6.3. Diagnostic par l'analyse de la puissance instantanée**

L'utilisation de la puissance instantanée pour la détection des défauts dans les moteurs asynchrones, Il est clair que le niveau d'informations portées par le signal de la puissance est plus grand que celui donné par le courant d'une seule phase, ce qui représente l'avantage de cette méthode par rapport aux autres. Cette méthode est utilisée pour la détection des défauts mécaniques ou encore les défauts électriques tels que les courts-circuits entre spires statorique. Dans cette direction, l'utilisation de la puissance apparente pour la détection d'un défaut d'excentricité [20].

### **I.6.4. Diagnostic par mesure du flux magnétique**

Théoriquement les courants rotoriques et statoriques sont équilibrés, ce qui annule la composante axiale de fuites. En réalité, ces flux de fuites sont présents dans toutes les machines électriques à cause des défauts de fabrication et des fluctuations du réseau électrique. Le flux de fuite axial peut être détecté, non seulement par une bobine enroulée autour de l'arbre de la machine, mais aussi par n'importe quel arrangement symétrique simple des bobines placées à l'extrémité de la machine ou par d'autres dispositifs sensibles telles que les sondes à effet hall. L'analyse spectrale de la tension induite dans les bobines peut être utilisée pour identifier les différents défauts tels que :

Ruptures d'une ou de plusieurs barres rotoriques ; Court-circuit entre une ou plusieurs bobines de l'enroulement statorique ; Excentricité statique et/ou dynamique.... etc [21].

### **I.6.5. Diagnostic par l'analyse du couple électromagnétique**

Le couple électromagnétique développé dans les machines électriques, provient de l'interaction entre le champ statorique et celui rotorique. Par conséquent, tout défaut, soit au niveau du stator ou au rotor, affecte directement le couple électromagnétique. L'analyse spectrale de ce signal, donne des informations pertinentes sur l'état du moteur. Cependant, la nécessité d'un équipement assez coûteux pour l'acquisition de cette grandeur représente l'inconvénient major de cette méthode [20].

### **I.6.6. Diagnostic par mesure des vibrations**

Toutes les machines électriques produisent du bruit et des vibrations. Même une amplitude très petite des vibrations de l'armature de la machine peut produire un bruit élevé. Le bruit et les vibrations sont provoqués principalement par des forces qui sont d'origine magnétique, mécanique ou aérodynamique, proportionnelles au carré de l'induction magnétique :

$$\sigma = B^2 2\mu_0$$

Où B et  $\mu_0$  sont respectivement l'induction magnétique et la perméabilité magnétique de l'air. Les accéléromètres piézoélectriques sont les capteurs, les plus largement utilisés pour la mesure des vibrations, ceci en raison de leur gamme de fréquence élevée, de leur fiabilité et leur robustesse. En termes de diagnostic, les signaux de vibrations détectés contiennent des informations importantes sur l'état de la machine. L'analyse spectrale de ces signaux nous renseigne sur les différents défauts qui sont à l'origine des vibrations [21].

## **CONCLUSION**

L'objectif de ce chapitre était de présenter de manière générale la constitution de la machine asynchrone en citant premièrement les différentes parties essentielles qui la composent : stator et rotor, ensuite nous avons présenté les principaux défauts qui peuvent gêner le fonctionnement normal de la machine ainsi que les causes probables, nous avons distingué les défauts électriques et mécaniques.

En second lieu, nous avons abordé les différentes méthodes de diagnostic des machines asynchrones ensuite on a présenté les paramètres indicateurs de défauts.

La méthode de l'analyse des courants connue sous l'abréviation (MCSA) et la méthode l'analyse des signatures de vibration du moteur électrique (ASVM) constituent des moyens performants susceptible de prévoir un ou plusieurs défauts majeurs et contribuant ainsi à promouvoir ce qui est appelé actuellement 'la maintenance prédictive'. Ces deux méthodes présentées dans ce chapitre feront l'objet de notre étude.

# **CHAPITRE II**

## **Généralités sur les vibrations**

## **.1. Introduction :**

Toutes les machines en fonctionnement produisent des vibrations, images des efforts dynamiques engendrent par les pièces en mouvement, ainsi une machine neuve en excellent état de fonctionnement produit très peu de vibrations. La détérioration du fonctionnement conduit le plus souvent à un accroissement du niveau des vibrations, en observant l'évolution de ce niveau, il est par conséquent possible d'obtenir des informations très utiles sur l'état de la machine. Ces vibrations occupent une place privilégiée parmi les paramètres à prendre en considération pour effectuer un diagnostic, la modification de la vibration d'une machine constitue souvent la première manifestation physique d'une anomalie, cause potentielle de dégradations, voire de pannes.

Ces caractéristiques font de la surveillance par analyse des vibrations, un outil indispensable pour une maintenance moderne, puis qu'elle permet, par un dépistage ou un diagnostic approprié des défauts, d'éviter la casse et de n'intervenir sur une machine qu'au bon moment et pendant des arrêts programmés de production.

Dans ce chapitre on présente une étude théorique sur l'analyse vibratoire, les différentes méthodes et technique utilisées et celle toujours en voie de développement.

### **II.1. Définition d'une vibration :**

Une vibration est un mouvement d'oscillation mécanique autour d'une position d'équilibre stable ou d'une trajectoire moyenne. La vibration d'un système peut être libre ou forcée.

#### **. II 1.1. Approche intuitive :**

##### **II.1.1.1. Perception subjective des phénomènes :**

A proximité d'une machine :

- On peut entendre le bruit et sentir les vibrations de la machine.
- Ces deux indicateurs peuvent fournir des indications sur un changement de comportement de la machine.
- La quantification et la qualification des vibrations sont des moyens privilégiés pour la maintenance conditionnelle.

### II.1.1.2. Le bruit :

Le bruit rayonné dans l'air par une machine résulte de l'action de plusieurs sources.

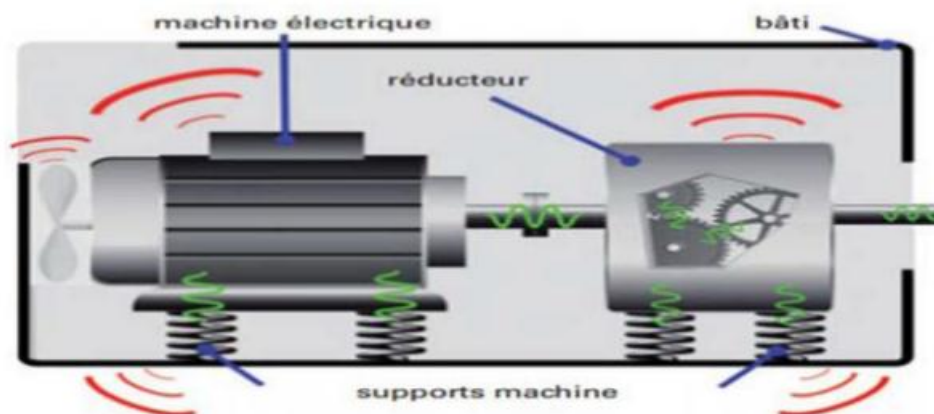


Fig. II.1: Origine du bruit

### II.1.3. Origine du bruit rayonné par une machine :

Le bruit rayonné dans l'air par une machine résulte de l'action de plusieurs sources que l'on peut répartir en 2 groupes :

- Celui des machines ou parties de machines comportant des parties en vibration dont l'énergie est transmise à l'enveloppe extérieure par des liaisons rigides ou par un fluide.
- Celui des machines ou parties de machines agissant sans intermédiaire sur le milieu environnant en lui transférant de l'énergie directement sous forme de rayonnement acoustique.

## II.2. Caractérisation d'une vibration :

Un système mécanique est dit en vibration lorsqu'il est animé d'un mouvement de va-et-vient rapide autour d'une position moyenne appelée « position d'équilibre ».

La transmission du mouvement vibratoire peut se faire soit au travers d'un gaz (généralement de l'air) ou d'un fluide (eau, huile...), soit au travers d'une matière solide



comme la structure d'une machine, ses paliers, ses rotors ou encore la tuyauterie qui lui est associée... Lorsque la transmission se fait par l'air ou par un fluide, on parle de sons (ou ultrasons au-delà d'une fréquence de 20 000 Hz), et on a coutume de parler de vibrations « solidiennes » lorsqu'elle se propage par conduction au travers des composants métalliques de la machine.

C'est parce que la vibration solidienne est à la fois plus directement transmise, plus proche des anomalies recherchées et beaucoup moins polluée par l'environnement, que la surveillance de la mécanique et de l'alimentation électrique des machines est le plus souvent pratiquée par cette voie.[22]

À l'exception de l'utilisation de quelques appareils à ultrasons généralement plus destinés à détecter la présence de fuites sur les conduites d'un fluide sous pression qu'à dépister le défaut d'un engrenage noyé au cœur d'un parc machines, ceci est vrai.

L'exemple le plus simple d'un système en vibration est sans doute donné par le mouvement d'une masselotte suspendue à un ressort et relâchée après traction.[22]

## II .2.1 La fréquence:

### Définition :

La fréquence représente la cadence de répétition d'un phénomène ou le nombre de fois qu'il se reproduit en un temps donné. Lorsque l'unité de temps choisi est la seconde, la fréquence s'exprime en Hertz (Hz).

Une vibration qui se produira 50 fois/seconde aura donc une fréquence de 50 Hz.[22]

$$1 \text{ Hertz} = 1 \text{ cycle par seconde}$$

2

### II .2.1.1 Relation entre fréquence et période

Le Hertz est la fréquence d'un phénomène dont la période est d'une seconde (Source : Norme française NF X 02-202).

Si la fréquence (f) d'un phénomène est de 50 Hertz, c'est-à-dire 50 cycles par seconde, la durée d'un cycle (ou période T) est de 1/50e de seconde soit 20 ms. Ainsi dans cet exemple :

$$f = 50 \text{ Hertz (50 Hz)} \quad T = 1/50 \text{e de seconde}$$

La fréquence f est donc l'inverse de la période T :  $f = \frac{1}{T}$  [22]

### II.2.2 .Les unites :

Si l'unité normalisée (unité SI) de la fréquence est le Hertz (Hz), beaucoup d'utilisateurs, notamment parmi les mécaniciens, préfèrent exprimer les valeurs en CPM (nombre de cycles par minute) ou encore en RPM (nombre de rotations ou révolutions par minute).

$$1\text{Hz} = \frac{1 \text{ CPM}}{60} = \frac{1 \text{ RPM}}{60}$$

Notons que l'utilisation de RPM n'a pas de sens dans le cas de phénomènes de type aléatoire (cavitation d'une pompe ou défaut de lubrification d'un palier à roulement) et peut même être source de confusion (cas d'un défaut des courroies, où l'on ne sait plus s'il s'agit de la fréquence de rotation de la poulie menant, ou menée ou de la fréquence de passage des courroies). [22]

Il est intéressant parfois d'exprimer des phénomènes liés à la rotation en multiple ou ordre de cette fréquence. Cette formulation présente l'intérêt de lier le phénomène vibratoire à une fréquence de référence (souvent la fréquence de rotation de la ligne d'arbres qui l'induit) et de pouvoir suivre l'amplitude de ses harmoniques (harmonique = composante dont la fréquence est un multiple d'une fréquence donnée), ce qui est très intéressant dans le cas de la surveillance de comportement vibratoire d'installations à vitesse de rotation variable. [22]

### II.2.3 L'amplitude :

L'amplitude est la première sensation ressentie lorsque l'on pose la main sur le palier d'une machine qui vibre. [22]

#### Définitions :

On appelle amplitude d'un mouvement vibratoire la valeur de ses écarts par rapport à sa position d'équilibre.

De cette définition générale, la complexité d'un signal vibratoire réel conduit à définir plusieurs grandeurs (figure 1.2) pour caractériser son amplitude.

L'amplitude « crête (Ac) ». Elle représente l'amplitude maximale du signal par rapport à sa valeur d'équilibre.

L'amplitude « crête à crête (Ac-c) » appelée « peak to peak » (Ap-p) en anglais. Elle représente l'écart entre les amplitudes extrêmes du signal pour un temps d'observation donné.

Dans le cas d'une vibration sinusoïdale, elle est parfois appelée « amplitude double » ( $A_{c-c} = 2A_c$ ).

L'amplitude « efficace ( $A_{eff}$ ) » ou RMS en anglais (Root Mean Square). Comme en électricité, elle représente l'amplitude corrigée « statique » du signal redressé, indiquant ainsi l'énergie donnée par le mouvement vibratoire. [22]

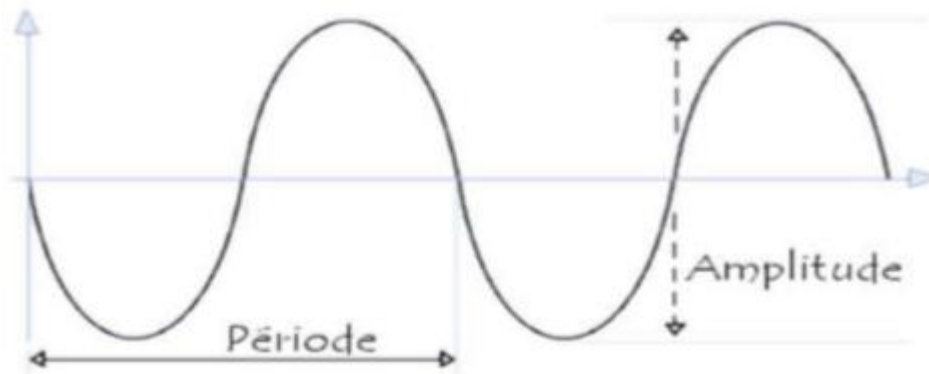
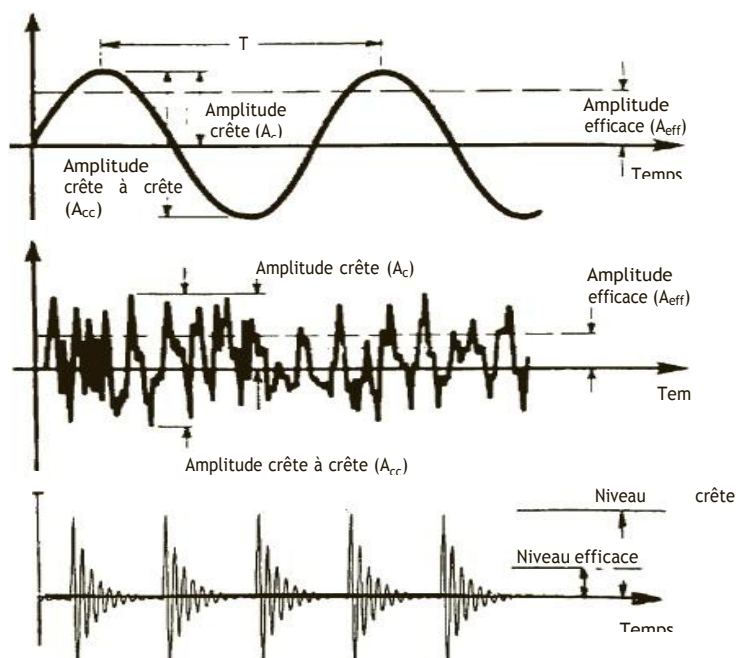


Fig. II.2 l'amplitude, de la période, de la fréquence.



Figure–II.3 Représentation des différentes amplitudes caractéristiques dans le cas d'un signal sinusoïdal (en a), complexe (en b), impulsionnel périodique (en c)

### II .3. Les trois grandeurs représentatives de l'amplitude :

#### II .4.1.Un déplacement :

La position de la masselotte varie de part et d'autre de la position d'équilibre, allant de la limite supérieure à la limite inférieure du mouvement. [22]

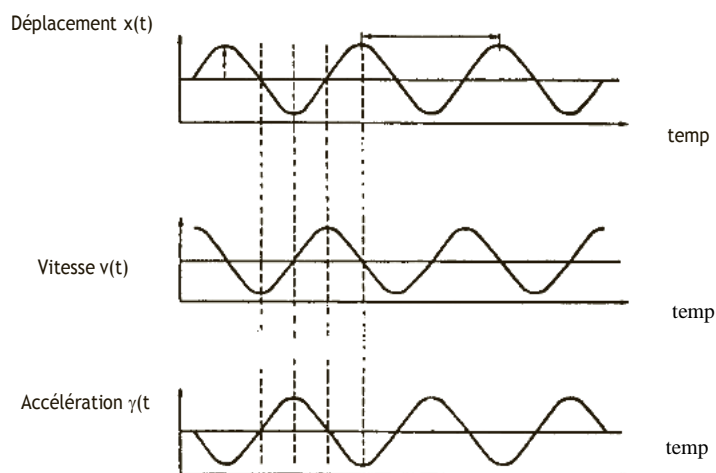
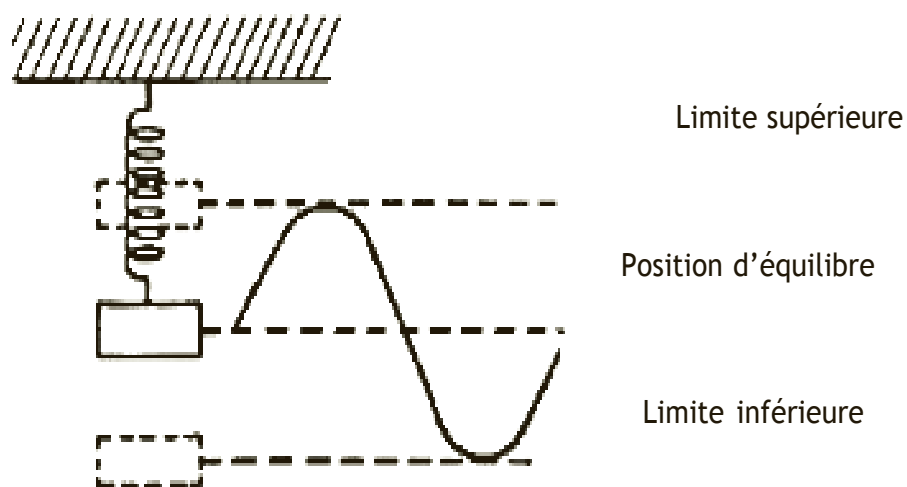


Figure II.4 – Représentations du mouvement d'un système masse-ressort selon les grandeurs cinématiques considérées

**II .3.2. Une vitesse de déplacement:**

Cette vitesse sera nulle au point haut et au point bas du mouvement de la masselotte et sera maximale autour du point d'équilibre.

**II .3.3. Une acceleration:**

Celle-ci permet à la masselotte de passer de sa vitesse minimale en début de course à sa vitesse maximale au point d'équilibre avant de décélérer en fin de course.

On peut déduire, par analogie avec ce qui précède, qu'une vibration est caractérisée par trois grandeurs physiques ou cinématiques fondamentales qui sont :

le déplacement  $x$ , la vitesse  $v$  et l'accélération  $g$  [22]

**II .5. Les vibrations d'une machine :****DEFINITION :**

Les vibrations d'une machine peuvent être considérées comme une manifestation extérieure des forces internes. En effet, l'analyse de leur signaux donne des information sur le processus de dégradation interne.

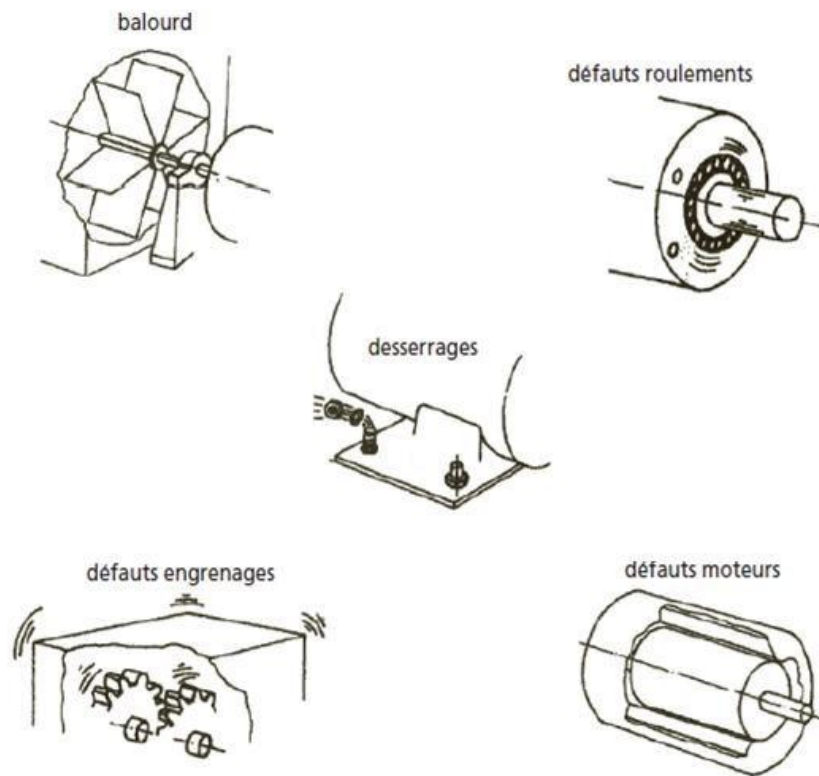
Il existe deux niveaux d'investigation:

- ❖ La mesure de niveau global permet de qualifier un état général par des comparaisons à des normes ou à des mesures précédentes.
- ❖ L'analyse spectrale permet de diagnostiquer l'origine des défauts et de suivre l'évolution en fonction du temps [23]

L'analyse de vibration permet le diagnostic de :

- L'état des roulements et engrenages ;
- Défauts de serrage ;
- Défauts d'excentricité rotorique et statorique ;
- Défauts des barres rotoriques ;
- Problème de fixation ;
- Défaut d'accouplement (désalignement) ;
- Perturbation électromagnétique dans les moteurs ;
- L'état des pales de ventilation ;

L'état général du fonctionnement par comparaison avec les vibrations de l'état sain de la machine [24]



**Fig. II.5 Principaux défauts de la machine électrique**

## II .6. ORIGINE DES VIBRATIONS :

Les vibrations sont dues à plusieurs phénomènes et effets tels que électromagnétiques ou dynamiques des jeux par des contacts de frottement ou bien un déséquilibre des pièces en rotation ; elles sont en réalité inévitables.

Les vibrations d'une machine tournante se transmettent, généralement, du rotor à la structure à travers les paliers. Elles seront donc mesurées au niveau des paliers.

Généralement, les sources d'excitation vibratoires dans les machines tournantes peuvent être classées en différentes catégories :

- Forces périodiques (balourd) ;

- Forces transitoires (variations de charge) ;
- Forces impulsionnelles (chocs) ;
- Forces aléatoires (frottements).

Les phénomènes à l'origine des vibrations dépendent de la constitution de la machine et de ses paramètres de fonctionnement.[24]

## II .7. MESURE DE NIVEAUX GLOBAUX

Tout phénomène vibratoire se manifeste par l'un des paramètres suivants:

- **7.1 Déplacement** :phénomène de basse fréquence dont la gamme d'analyse va de 0 à 200 Hz(balourds, frottement ).
- **7.2 Vitesse**: phénomène de moyenne fréquence dont la gamme d'analyse va de 0 à 1000 Hz (balourds , alignement, choc )
- **7.3 Accélération**: phénomène de haute fréquence dont la gamme d'analyse va de 0 à 10000 Hz(roulement , engrènement ,turbulence).

La mesure de niveaux globaux de ces trois paramètres permet d'apprécier l'état de la machine:

- L'évolution significative d'une dégradation
- La comparaisons à des seuils [22]

## II .8. LA CHAÎNE DE MESURE :

Une chaîne de mesure de vibrations doit remplir les fonctions suivantes :

Transformer la vibration mécanique en un signal électrique.

C'est le rôle du capteur. La grandeur électrique délivrée peut être :

une tension comme dans le cas d'un signal issu d'un accéléromètre à électronique incorporée (ICP) ou d'un vélocimètre inductif. La sensibilité du capteur s'exprime alors en mV (millivolts) par unité physique,

une charge électrique comme dans le cas d'un accéléromètre piézoélectrique dont la sensibilité s'exprime en pico-coulomb par g ou en  $m/s^2$  (mètres par seconde carrée). [22]

Conditionner le signal de sortie du capteur pour le rendre exploitable et transportable.

C'est le rôle du préamplificateur . Indispensable pour les accéléromètres piézoélectriques, le préamplificateur peut être ou non incorporé au capteur et il permet soit une simple amplification de la tension de sortie du capteur (amplificateur de tension), soit une transformation de la charge électrique en tension avant son amplification (convertisseur charge- tension improprement appelé préamplificateur de charge).

Intégrer le signal :

Cette opération permet de transformer si nécessaire le signal délivré par un accéléromètre en un signal représentant la vitesse ou le déplacement du mouvement vibratoire (ou encore, pour un vélocimètre, en un signal représentant le déplacement).

Limiter la plage de fréquences du signal:

C'est le rôle des filtres passe-haut, passe-bas, ou passe-bande, à fréquences de coupure fixes ou réglables par l'utilisateur. Cette opération permet de réduire l'influence des composantes hautes ou basses fréquences du signal jugées indésirables, de concentrer l'analyse du signal dans une plage de fréquences définies ou d'effectuer des mesures selon les spécifications d'une norme.

Amplifier de nouveau le signal obtenu :

Cette amplification permet d'adapter la gamme dynamique d'entrée du convertisseur pour avoir la meilleure qualité de signal sans le tronquer.

Numériser le signal :

C'est le rôle du convertisseur analogique/numérique (CAN) qui transforme le signal en données numériques avant de les transmettre :

à une unité de mesure de grandeurs scalaires (amplitudes crête, crête à crête et efficace, paramètres dits spécifiques au suivi des roulements...),

à un collecteur de données informatisées ou à un analyseur, à une éventuelle unité de conservation du signal temporel pour un traitement différé des signaux (post-traitement).

Il est à noter que même si le schéma classique d'une chaîne d'acquisition de mesure a peu changé depuis la fin des années 1990, la technologie de chacun de ses constituants a considérablement évolué.

La fonction « conditionneur », initialement uniquement analogique, s'est réduite au seul conditionnement du signal délivré par le capteur, conditionnement qui est de plus en plus intégré à l'intérieur même du capteur (accéléromètre ICP, IEPE...), à son éventuelle amplification et au filtrage anti-repliement avant échantillonnage.

Les fonctions d'intégration et de filtrage sont le plus souvent réalisées numériquement par des algorithmes de calcul une fois le signal échantillonné.

Il en est de même de l'unité de mesure de grandeurs scalaires dans laquelle les algorithmes de calcul ont remplacé les détecteurs analogiques de valeur efficace et d'amplitude crête et dont les fonctionnalités se trouvent considérablement étendues (durée de mesure compatible avec la cinématique de la ligne d'arbres considérée, mesures simultanées de plusieurs



grandeurs à partir d'un même signal et mesure dans différentes plages de fréquences pour des conditions de fonctionnement identiques...).

Une chaîne de mesures tend à devenir, aujourd'hui, un véritable ordinateur portable « industriel » compact et étanche à la poussière et au ruissellement, capable de fonctionner dans des environnements difficiles (chaleur, poussière, humidité...) et spécifiquement orienté vers les fonctions de pilotage d'acquisition, de stockage et de traitement de signaux ainsi que de gestion de données. Dans le cadre d'une surveillance permanente (monitoring), le pilotage séquentiel des différents capteurs se fait à l'aide d'un multiplexeur programmé pour « Interroger » chaque capteur selon un ordre et un temps donné.

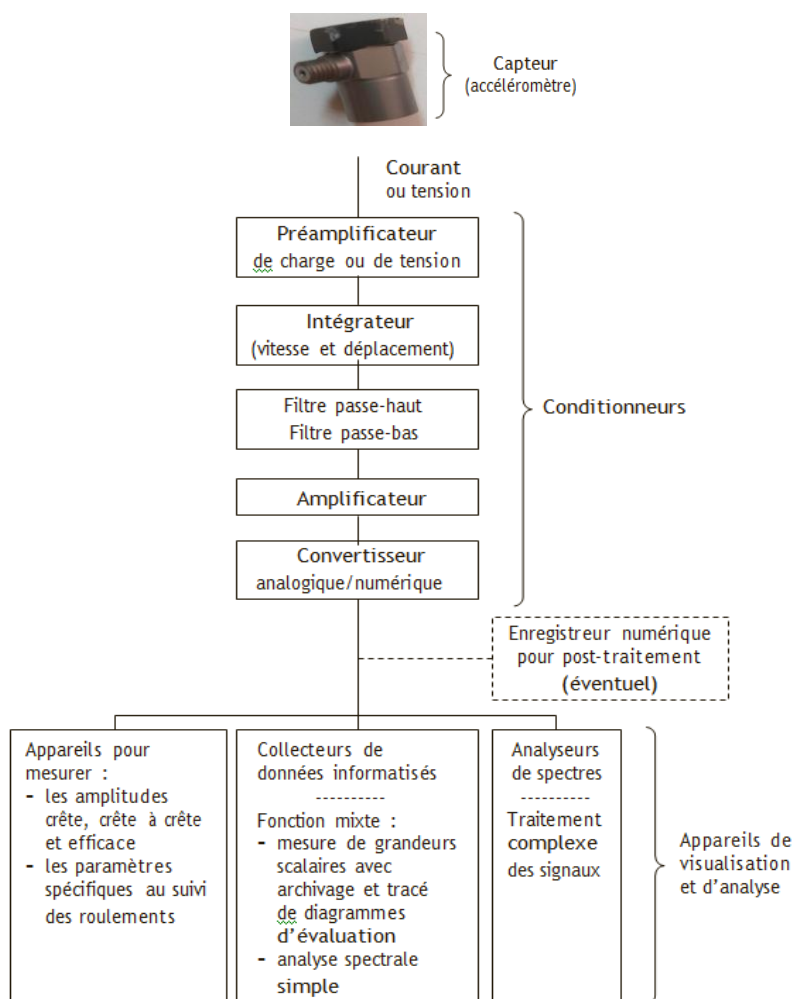


Figure. II.6 – Exemple type d'une chaîne de mesure munie d'un accéléromètre

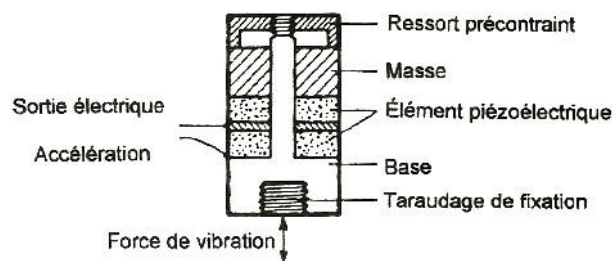
## II.9. LES CAPTEURS DE VIBRATION

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

Cette opération est réalisée au moyen des capteurs de vibrations, on retrouve parmi les capteurs les plus couramment utilisés le prosimètre (mesure de déplacement), la vélocimétrie (mesure de vitesse) et l'accéléromètre (mesure d'accélération). [25]

Les accéléromètres :

Les accéléromètres piézoélectriques tendent à devenir les capteurs de vibrations absolues les plus utilisés pour la surveillance des machines tournantes. Leur Principe de fonctionnement repose sur la propriété des matériaux piézoélectriques de générer une charge électrique proportionnelle à la contrainte de compression ou de cisaillement subie. Schématiquement (figure II.7), un accéléromètre est composé d'un disque en matériau piézoélectrique qui joue le rôle d'un ressort sur lequel repose une masse sismique précontrainte. Quand la masse se déplace sous l'effet d'une accélération, elle exerce sur proportionnelle à cette accélération. [22]



**Figure II.7** – Principe de fonctionnement d'un accéléromètre

Sur le plan électrique (figure II.8), le matériau piézoélectrique, c'est-à-dire l'élément sensible, agit comme un condensateur de capacité  $C_a$  en parallèle avec une résistance de fuite interne  $R_a$  très grande.

L'accéléromètre peut donc être considéré :

- soit comme un générateur de charge  $Q_a$  en parallèle avec le condensateur  $C_a$  et la capacité  $C_c$  du câble de liaison,
- soit comme un générateur de tension  $V_a$  en série avec le condensateur  $C_a$  et chargé par la capacité du câble  $C_c$ .

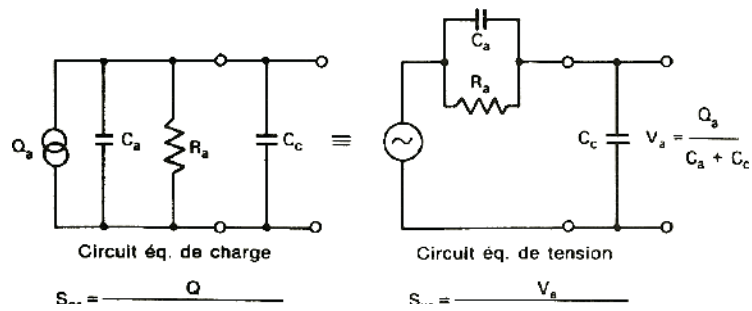


Figure II.8 – Équivalences électriques d'un accéléromètre et de son câble

Selon la direction de travail de l'élément piézoélectrique à l'intérieur du capteur, on parlera de capteur à compression ou de capteur à cisaillement, plus sensible aux forces multidirectionnelles susceptibles de l'actionner (figure II.9 ).[22]

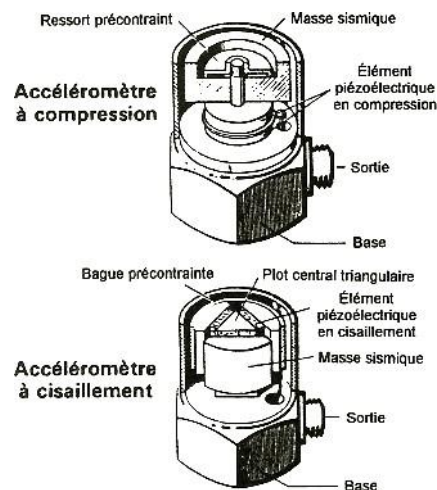


Figure II.9 – Exemple d'accéléromètres (Documentation Bruel et Kjaer)

Selon le choix du préamplificateur et l'utilisation du capteur comme générateur de charge ou générateur de tension, la sensibilité du capteur s'exprimera en millivolts/g ou en picocoulombs/g.

**II .10. Grandeurs d'influence :**

Un accéléromètre piézoélectrique, comme tout capteur, est sensible à un certain nombre de

grandeurs susceptibles d'altérer les résultats de mesure (figure II.10) : température et variations rapides de température, humidité, champ sonore, champ électromagnétique..., même si les capteurs haut de gamme à cisaillement Delta sont moins sensibles à l'ensemble de ces grandeurs d'influence. Il conviendra donc de se prémunir des effets de champs

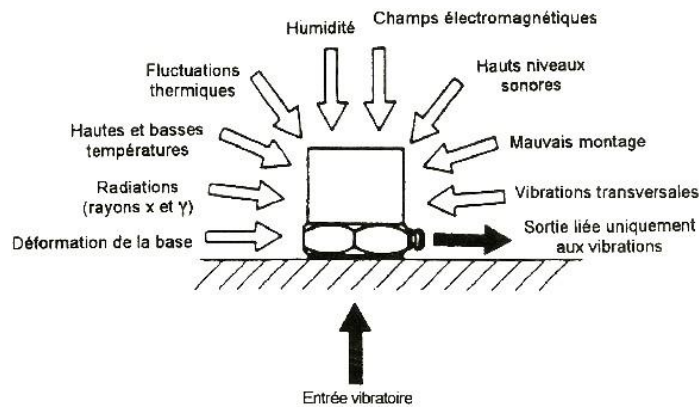


Figure II.10 – Grandeurs d'influence sur un accéléromètre

électromagnétiques et de la présence éventuelle de circulation de courants d'arbre (élimination des boucles de masse, cage de Faraday pour isolation électrique du capteur).

### II .10.1. Avantages des accéléromètres :

L'accéléromètre présente de nombreux avantages :

- l'étendue de la bande passante,
- une gamme dynamique très étendue (figure II.11),
- l'obtention de la vitesse vibratoire et du déplacement instantanés par intégration,
- une excellente précision pour un large « éventail » de conditions environnementales,
- une excellente fiabilité dans le temps puisqu'aucun élément n'est mobile,
- un faible encombrement et un grand rapport sensibilité/masse.

### II .10.2. Inconvénients :

- principalement la forte dépendance de sa bande passante avec la rigidité de sa liaison avec la surface vibrante,
- les difficultés inhérentes à l'analyse de comportements vibratoires très basses fréquences qui se manifestent par des déplacements importants, mais aussi par des accélérations extrêmement faibles. Cette particularité rend nécessaire l'utilisation d'accéléromètres de grande sensibilité (1 000 mV/g par exemple) dont la sortie risque, en absence d'un filtrage passe-haut correctement positionné, d'être saturée par les composantes vibratoires de fréquences plus élevées. [22]

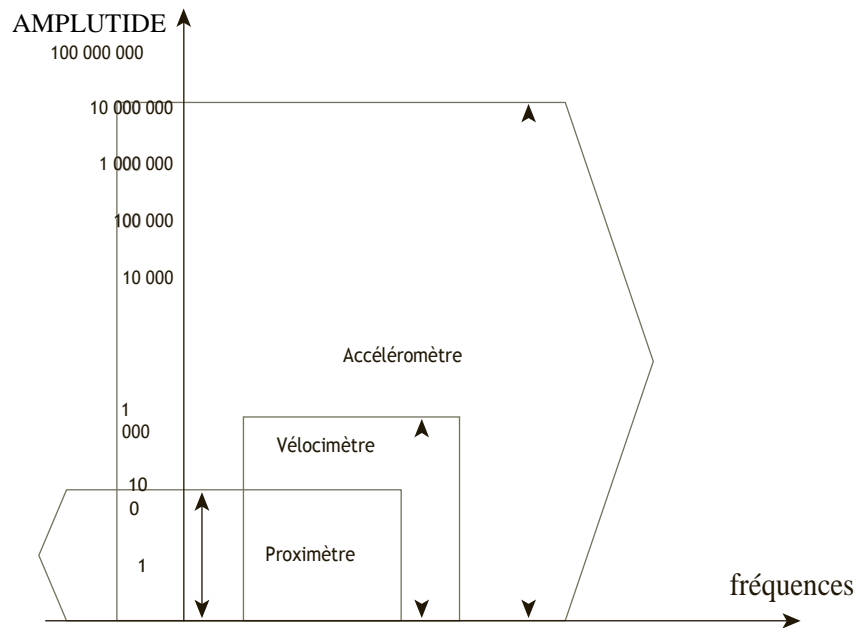


Figure II.11 – Comparaison des plages de fréquences et gamme dynamique des trois types de capteurs

Critères de choix d'un accéléromètre :

Sauf applications particulières concernant l'environnement des machines comme un fort champ électromagnétique, une température excessive, une zone à risque d'explosion (qui nécessite des capteurs antidéflagrants), le choix d'un accéléromètre sera déterminé :

- par sa bande passante qui doit être en adéquation avec la cinématique de l'installation surveillée et qui devra de ce fait s'étendre, si possible, de 0,3 fois la fréquence de rotation de la plus basse à au moins 200 fois la fréquence de rotation la plus élevée,
- par sa sensibilité qui devra être en adéquation avec la typologie vibratoire susceptible d'être induite par chaque machine, quel que soit le défaut qui l'affecte. L'amplitude efficace et crête de l'accélération dépend fortement de la vitesse de rotation et de la nature du défaut. Pour une sensibilité 1 mV/g, l'amplitude crête maximale admissible se situe autour de 5 000 g ; elle est de 500 g pour une sensibilité de 10 mV/g et seulement de 50 g pour un capteur de sensibilité de 100 mV/g. L'étendue des amplitudes

crêtes susceptibles d'être mesurées peut s'étendre selon les vitesses de quelques mg à plusieurs milliers de g. Cette problématique sera reprise au paragraphe suivant.[22]

## II .11.Problèmes et défauts détectés :

- Roulements
- Engrenages

- Machine à pâles
- Machine électrique
- Généraux : excentricité, balourd, désalignement, usure, etc.

## **II .12.Les appareils de mesure, de collecte et d'analyse :**

Ce type d'appareils permet de mesurer l'amplitude efficace du signal vibratoire (accélération et/ou vitesse) dans plusieurs plages fréquentielles comprenant souvent une plage réservée à la mesure d'un indicateur sensible à la présence de défauts de type impulsif. Ils sont improprement baptisés, pour des considérations de marketing, « détecteurs de défauts de roulement » (HFD, BCU, SPM, Facteur défaut roulements, Peak View...).

Ces appareils sont, aujourd'hui, le plus souvent équipés de filtres programmables, d'intégrateurs, et d'un écran d'affichage et ils peuvent se présenter sous forme :

- de module de surveillance à poste fixe destiné à la surveillance en continu d'une machine dont la finalité est axée plus sur la sécurité que sur l'aspect maintenance (génération d'alarme sur dépassement de seuil et possibilité de visualisation ou d'affichage des valeurs des différents indicateurs programmés).
- de simples mesureurs portatifs dont certains peuvent également être équipés d'un capteur de température infrarouge et d'un tachymètre. Ce type de produit est souvent confié aux graisseurs ou aux visiteurs qui notent, lors d'une tournée de routine, les machines pour lesquelles un des indicateurs mesurés dépasse un seuil dit d'alarme ou de danger. À cause des effets dits de masque, cette pratique ne se justifie, sur le plan technique, que pour la surveillance de machines à chaîne cinématique simple (moto pompes, moto ventilateurs, moteurs d'entraînement...). Ce type d'appareils se présente souvent sous la forme de « crayons lecteurs » avec capteur généralement incorporé, d'utilisation très simple mais avec pour inconvénients :
  - son encombrement qui, bien que faible, rend parfois pour certains paliers la prise de mesure impossible ou dangereuse, lorsque la mesure ne peut être déportée (c'est-à-dire sans liaison câble entre le capteur et le mesureur).
  - la mauvaise reproductibilité des mesures, inhérente à la non-maîtrise de la rigidité de la liaison du capteur avec le palier lorsque le capteur est tenu à la main .[22]

Ce deuxième inconvénient n'est pas forcément prohibitif dans la mesure où, dans cette stratégie de surveillance, on ne cherche pas à suivre l'évolution du comportement vibratoire de la machine afin de détecter à un stade précoce l'apparition d'une gamme étendue de défauts, mais simplement à s'assurer de la présence éventuelle d'un défaut grave (apparition d'un fort déséquilibre ou d'un desserrage important, dégradation d'un roulement...) susceptible de la mettre rapidement en péril.

Il est difficile avec ce type d'appareil, lorsqu'ils n'ont pas de logiciel associé, d'envisager un réel suivi d'évolution du fait de la lourdeur de la gestion manuelle des données qui devient rapidement fastidieuse pour les opérateurs et prohibitive en terme de coût lors de la multiplication des installations surveillées.

### II .13. Les collecteur informatises et les appareils de mesure :

L'unité d'acquisition de données sans fil cDAQ-9181 et le module d'entrée sonore et vibratoire NI9234 de National Instruments ont été utilisés pour acquérir les données de l'accéléromètre de référence (HS-1005005001) (Fig. 12). L'unité d'acquisition de données sans fil cDAQ-9191 permettait une communication sans fil entre l'appareil et l'ordinateur.

Ce pendant , le câblage était toujours nécessaire pour connecter les capteurs au module NI-9234.



**Figure II.12** (a) Unité d'acquisition de données sans fil **cDAQ-9181** et module d'entrée sonore et vibratoire NI-9234 de National Instruments. (b) Accéléromètre HS-1005005001 IEPE des capteurs Hansford. HS-1005005001 a un aimant fixé au bas du capteur.

La fiabilité de vos machines et de vos équipements est une condition préalable indispensable pour rester compétitif. Les erreurs ou bien les casses mettent en danger vos process. Parmi les différents types de dysfonctionnements, plus de 50 % peuvent être directement ou indirectement causés par un problème d'équilibrage. Toutefois, grâce à une métrologie de précision, les problèmes peuvent être identifiés et les dégâts évités. En 1925, le premier appareil portable de mesure vibratoire fut développé par Schenck – l'initiateur des appareils d'équilibrage portables. De nos jours, nous atteignons de nouvelles dimensions avec le Smart Balancer 2 en terme de confort d'utilisation, de rapidité et de précision.





Figure II.13 le Smart Balancer 2 (schenck)

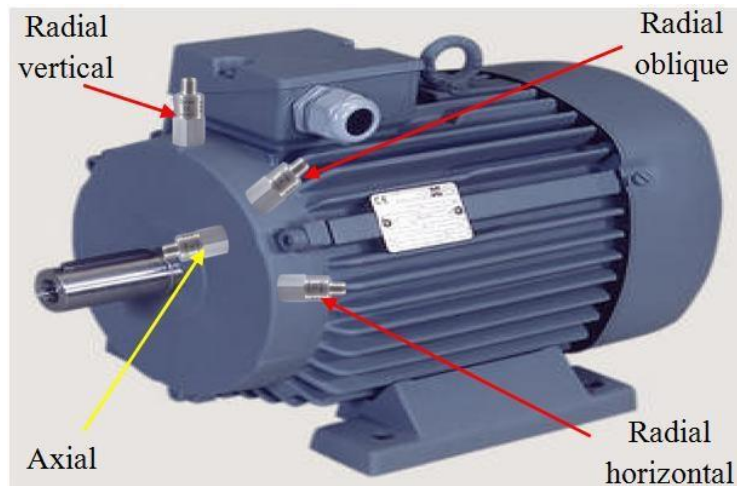
## II .14.LES POINTS DE MESURE

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

- Les mesures de vibrations sont réalisées aux paliers de la machine ;
- Le capteur doit être placé de façon à assurer un trajet direct (rotor-structure) aux vibrations. [26]

Les mesures peuvent se faire :

- dans un plan radial (vertical, horizontal , oblique ) ;
- et/ou dans un plan axial (axial).



**Fig. II.14** Différents points de mesure.

Nos essais se feront sur l'axe vertical de la machine asynchrone .

### **Conclusion :**

Les vibrations sont le résultat de forces dynamiques à l'intérieur des machines qui comprennent des éléments roulants et à l'intérieur des structures qui sont connectées à la machine. Les différents éléments vibreront à des fréquences et des amplitudes différentes. Les vibrations créent de la fatigue et de l'usure et elles sont souvent à l'origine de la rupture de la machine.

# **CHAPITRE III**

**Analyse des défauts par la méthode  
d'analyse vibratoire**

## INTRODUCTION

Le concept d'analyse de signature de vibration est également appelé maintenance prédictive. La signature de vibration aide à déterminer si les moteurs fonctionnent efficacement, et est-ce que les problèmes peuvent être prédit dans le futur. L'identification du problème permet de mettre en place des actions curatives comme un réglage ou le remplacement d'une pièce défectueuse avant la ruine de la machine.

Le diagnostic dans la majorité des cas est établi en interprétant les signaux vibratoires émis par les machines en fonctionnement. Plusieurs techniques de traitement de ces signaux se sont développées, dont l'analyse par FFT apparait dans la majorité des cas, comme la plus efficace.

Dans ce chapitre, nous mettrons l'accent sur la détection et la caractérisation de défauts d'excentricité statique et dynamique, par l'analyse des signatures de vibration du moteur électrique (ASVM) ou sous l'abréviation Anglaise MVSA (Motor Vibration Signature Analysis). La transformée de Fourier rapide (FFT), sera utilisée pour l'analyse de signal acquis du banc d'essai expérimental présenté dans le chapitre précédent .

### III.1. LA TRANSFORMEE DE FOURIER

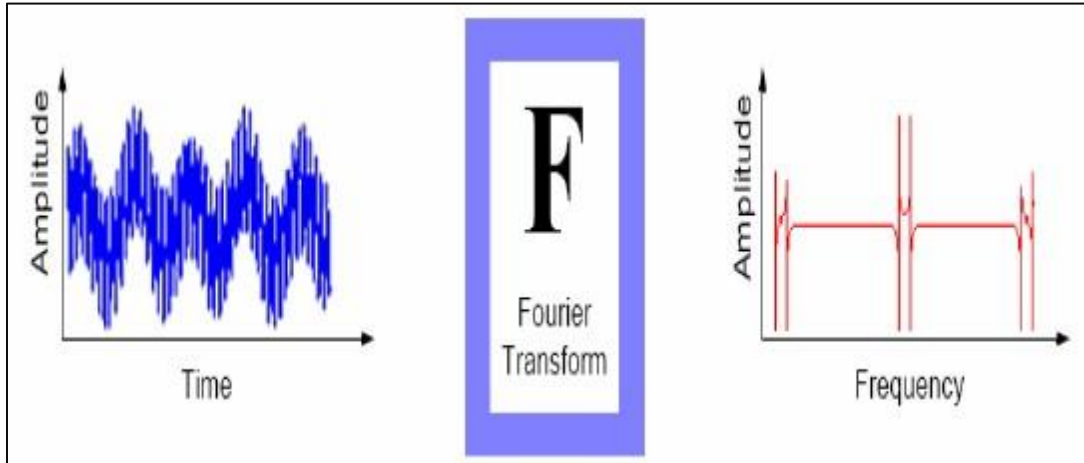
Nous rappelons que la transformée de Fourier Rapide  $x(f)$  d'un signal continu dans le temps est donnée par :

$$x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (\text{II.1})$$

L'analyse par FFT est utilisée principalement pour décrire un signal temporel dans le domaine fréquentiel avec une résolution fréquentielle constante sur une échelle linéaire de fréquence. Généralement, pour analyser un signal par la technique FFT, on doit prendre en compte les paramètres suivants :

- La fréquence d'échantillonnage :  $f_e = 10000 \text{ Hz}$  .
- Le temps d'acquisition :  $T_a = 10 \text{ sec}$  .
- Le nombre des échantillons:  $N_e = \frac{t_a}{t_e} = f_e * T_a = 100000 \text{ échantillons}$
- La résolution fréquentielle:  $\Delta f = \frac{1}{T_a} = \frac{1}{10} = 0.1 \text{ Hz}$

Avec un ordinateur, il est impossible de calculer la FFT  $x(f)$  pour une valeur quelconque de la fréquence  $f$ . Donc, on ne calcule la FFT que pour des multiples  $\Delta f$ . C'est la notion de la Transformée de Fourier Discrète (DFT). En conséquence, la DFT  $x(n)$  d'un signal échantillonné est donnée par : [3]



**Figure III.1 : Représentation temporelle vers fréquentielle.**

### III.2. PRESENTATION ET REALISATION DU BANC D'ESSAI

La réalisation du banc d'essai a été étudiée et conçue au niveau du laboratoire de génie électrique Biskra (LGEB).

Notre travail consiste à utiliser quelques méthodes de diagnostic, parmi elles, la MCSA et l'analyse vibratoire(MVSA).

Parmi les grandeurs mesurées on cite : la vitesse, les courants, les tensions, les signaux de vibration, le couple, ...etc. Ces grandeurs sont mesurées, éventuellement acquises et mémorisées. Ce qui nécessite une transformation de ces grandeurs en grandeurs électriques directement proportionnelles pour qu'elles puissent être traitées. Pour cela les capteurs sont les moyens les plus importants pour accomplir les tests.

Le banc d'essai de diagnostic d'une machine asynchrone permet d'expérimenter les défauts mécaniques et électriques.

L'élaboration de banc d'essai exige la possession de plusieurs machines de même type sous différents états tel que, moteur sain, avec barres cassées, rotor excentrique, défauts de roulement, court-circuit statorique et autres. Notre étude va se faire sur les MAS à rotor excentrique ,on va couvrir les deux cas d'excentricité statique et dynamique.

### III.2.1 schéma synoptique

La figure (II-2) présente la structure générale du dispositif expérimental, et la mise en œuvre de la carte d'acquisition.

Le diagnostic est réalisé à travers une carte d'acquisition raccordé à un micro-ordinateur PC . Cette carte de développement comprend tout l'environnement proche du processeur du PC avec des outils logiciels nécessaires aux applications visées (eg. Matlab et LabView).

Le diagnostic est réalisé avec schenck smart balance.

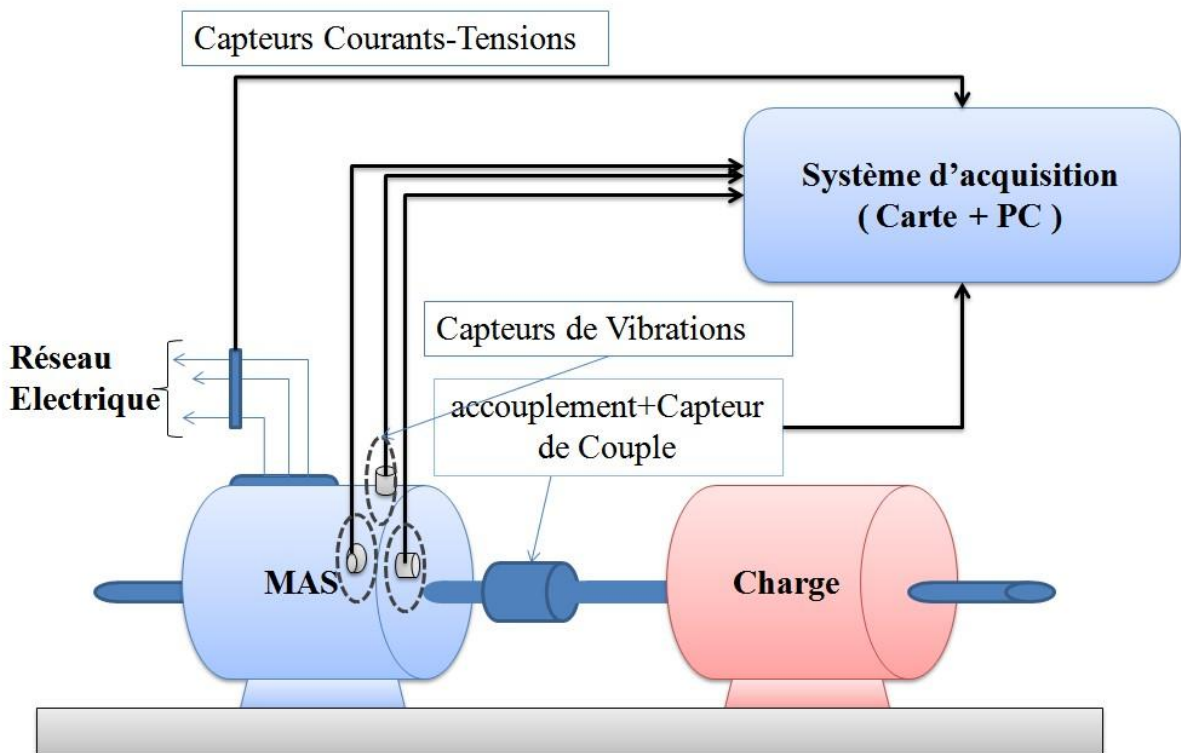


Fig.III.2 Schéma synoptique du banc d'essai

Le bon choix de la résolution fréquentielle, permet de séparer les composantes les plus proches du fondamental. Notre acquisition des données a été effectuée par une fréquence d'échantillonnage de 12.8 KHz et un temps d'acquisition de 10 s.

la schenck données a été effectuée par une fréquence d'échantillonnage de 16.660 KHz et un temps d'acquisition de 0.5 s.

### III.2.2 banc d'essai

Le banc d'essai comporte :

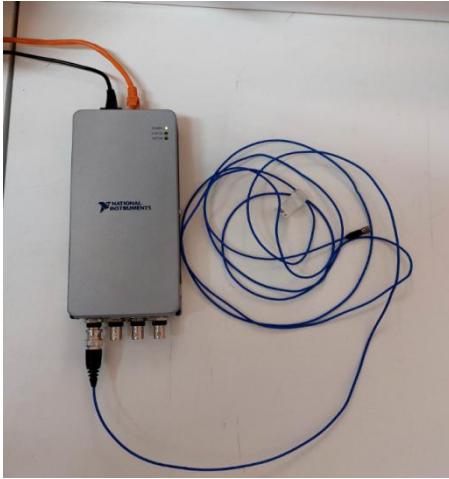


Fig.III.3 une machine asynchrone à cage d'écureuil 1 Kw



Fig.III.4. un frein a poudre magenitique





**Fig.III.5.**la carte d'acquisition



**Fig.III.6.** schenck smart balance



**Fig.III.7.**une alimentation à une fréquence  $f_s = 50Hz$

La préparation et le traitement des signaux après l'acquisition sont effectués à l'aide de logiciel MATLAB et labview



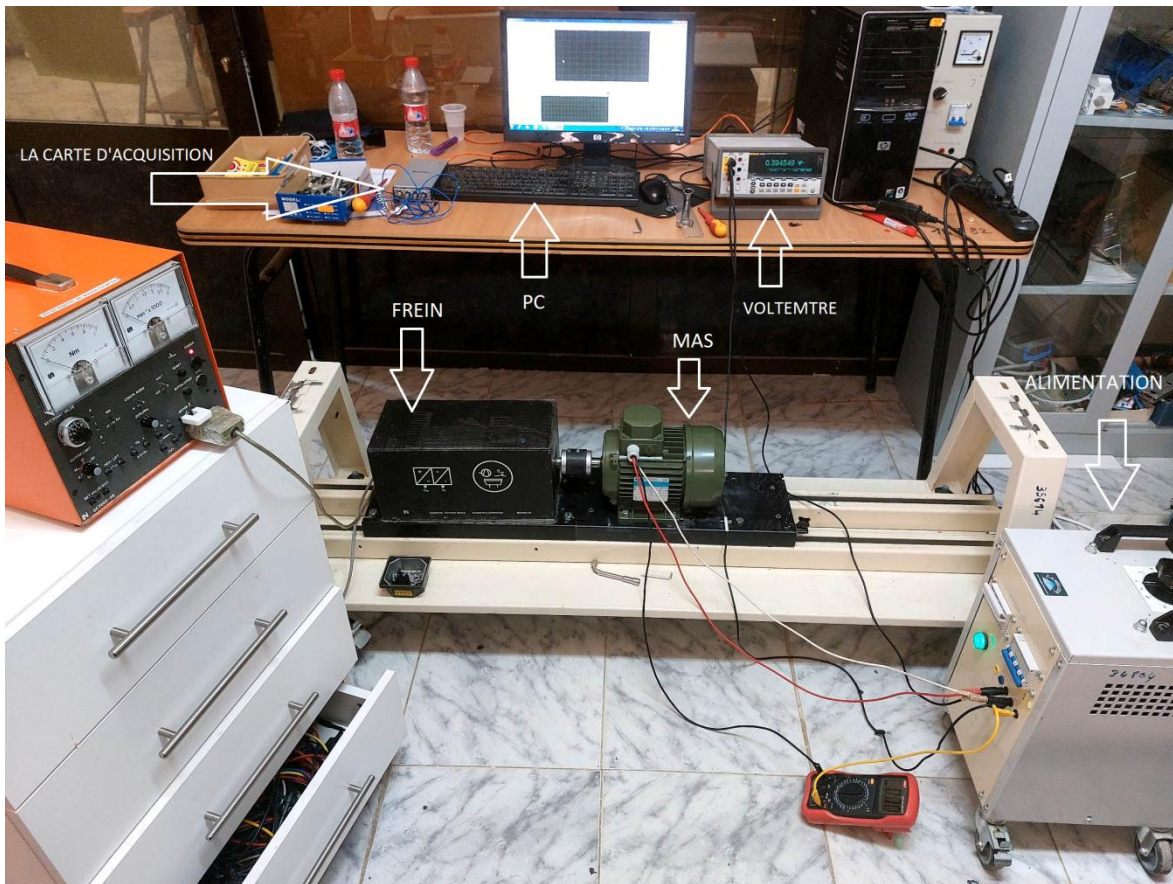


Fig.III.8.Banc d'essai expérimental

III.2.3 Paramètres de la machine :

La machine utilisée est un moteur asynchrone ayant une puissance de 1,1 KW à deux paires de pôles, composés de 28 barres rotoriques, pour une tension nominale de 220V/380V accouplé à une machine à courant continu fonctionnant en un alternateur (frein) , cette machine joue le rôle d'un couple résistant.

<b>SAER</b> <sup>®</sup> ELETTROPOMPE		GUASTALLA (RE) ITALY TEL. +390522 830941 www.saerelettropompe.com		CE MADE IN ITALY	
Type	MTA-38-90S-1,5	N°	3045873	Year	F
IP	55 Cl F	cos φ	0,80	eff.	79,5
50Hz - Δ	50Hz - Y	60Hz - Δ	60Hz - Y		
kW	kW	kW	kW		
1,1	1,1	1,26	1,26		
V	V	V	V		
220	400	275	400		
A	A	A	A		
6,3	2,5	3,6	2,1		
rpm	rpm	rpm	rpm		
1450	1450	1740	1740		
Bearing	NDE 6203 2RS1-1/2 DE	6203 2RS1-1/2	kg		
S1	IEC 60034 - 1	3~ INDUCTION MOTOR			

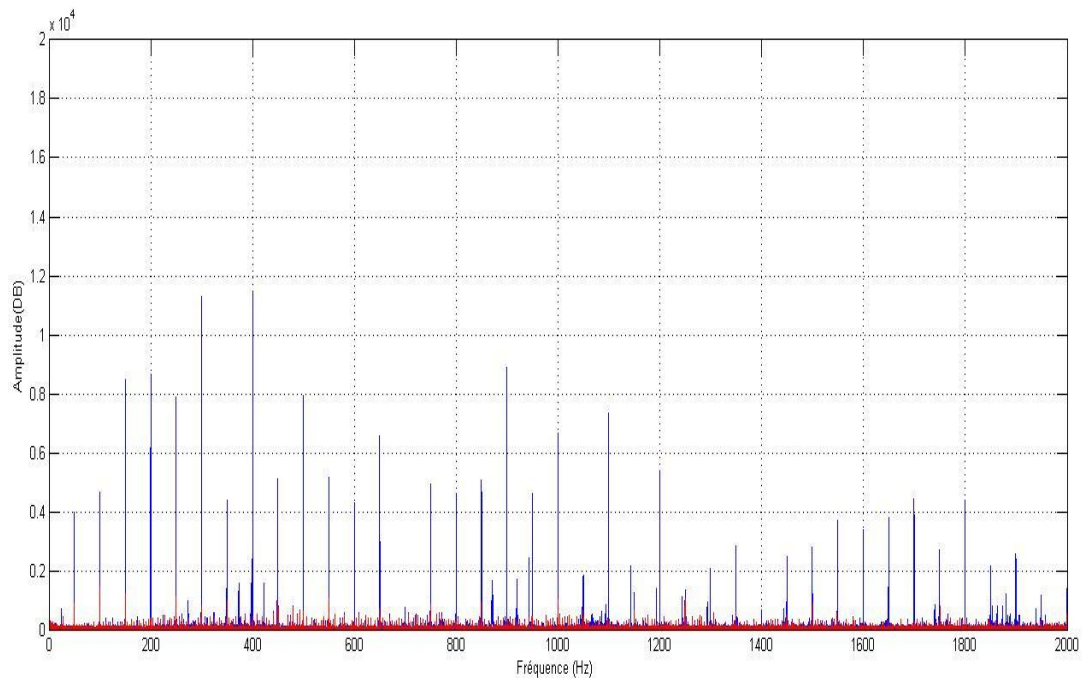
Fig.III.9 Paramètres de la machine

**III.3. ANALYSE DU FLUX DE FUIITE A L'ETATS SAIN ET DEFECTIEUX****III.3.1. Résultats expérimentaux :**

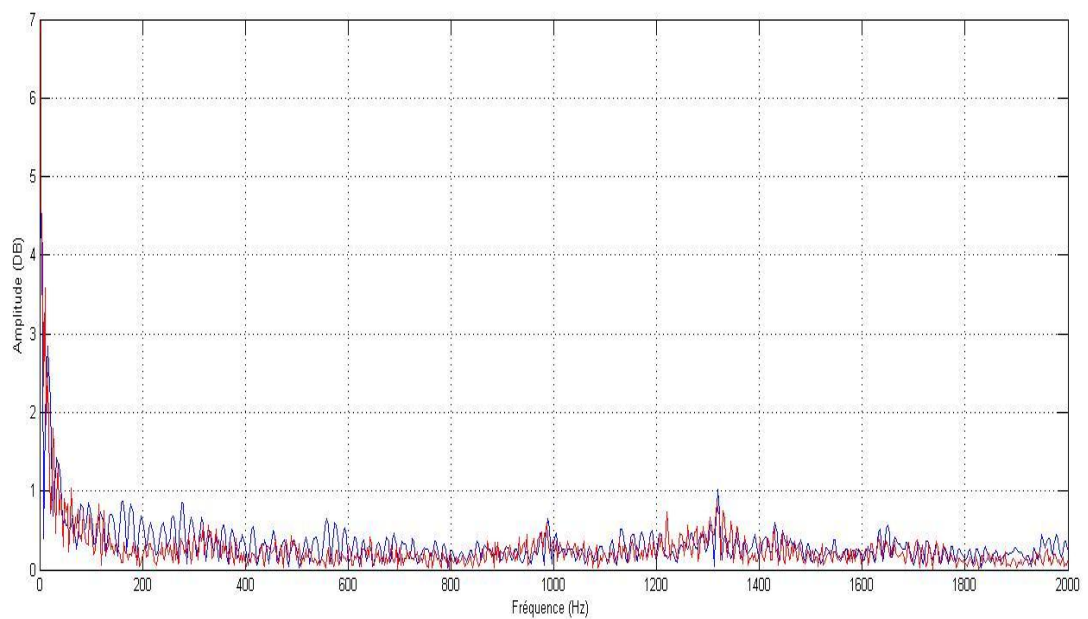
Notre étude dans cette partie consiste à détecter le défaut de cassure de barre en se basant sur la méthode d'analyse spectrale du vibratoire.[8] Notre étude théorique a été vérifiée par des essais expérimentaux (sur un moteur de 3kW) réalisés au niveau du laboratoire LGE de Biskra. Les résultats obtenus mettent en évidence la richesse en harmoniques

**AX (radial horizontal) :**

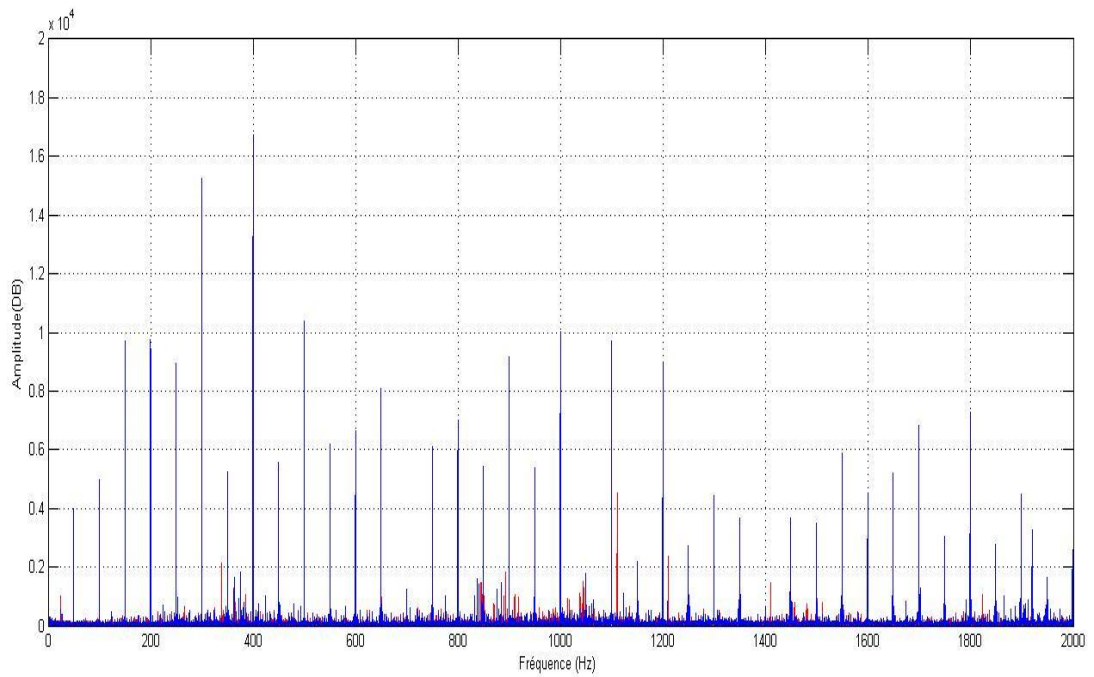
Spectre d'un signal vibratoire fonctionnement à vide ( barre cassée rouge et sain bleu ) la carte d'aquisition :



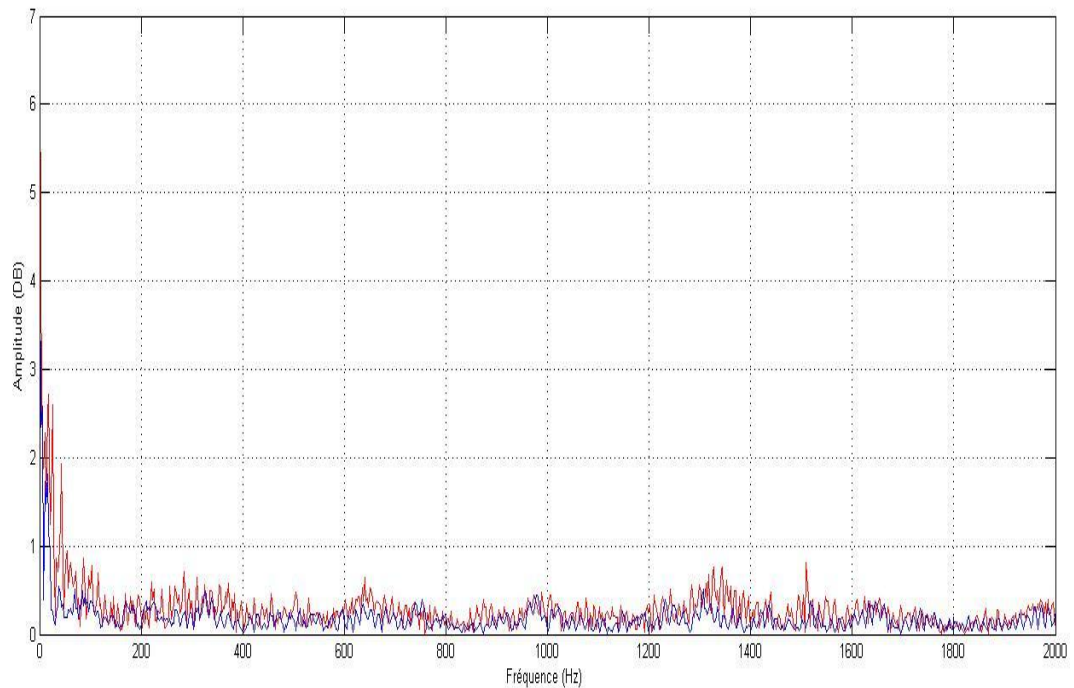
Spectre d'un signal vibratoire fonctionnement à vide ( barre cassée rouge et sain bleu ) Schenk :



Spectre d'un signal vibratoire fonctionnement avec en charge 50 ( barre cassée rouge et sain bleu ) la carte d'aquisition :

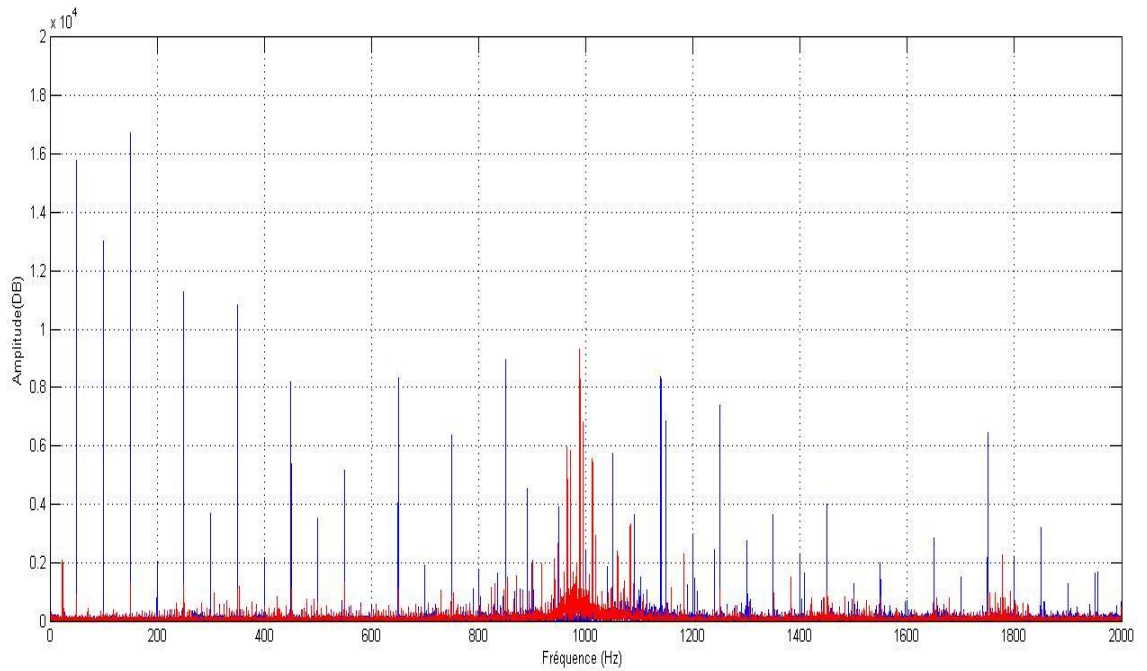


Spectre d'un signal vibratoire fonctionnement avec en charge 50 (barre cassée rouge et sain avec bleu) Schenk :

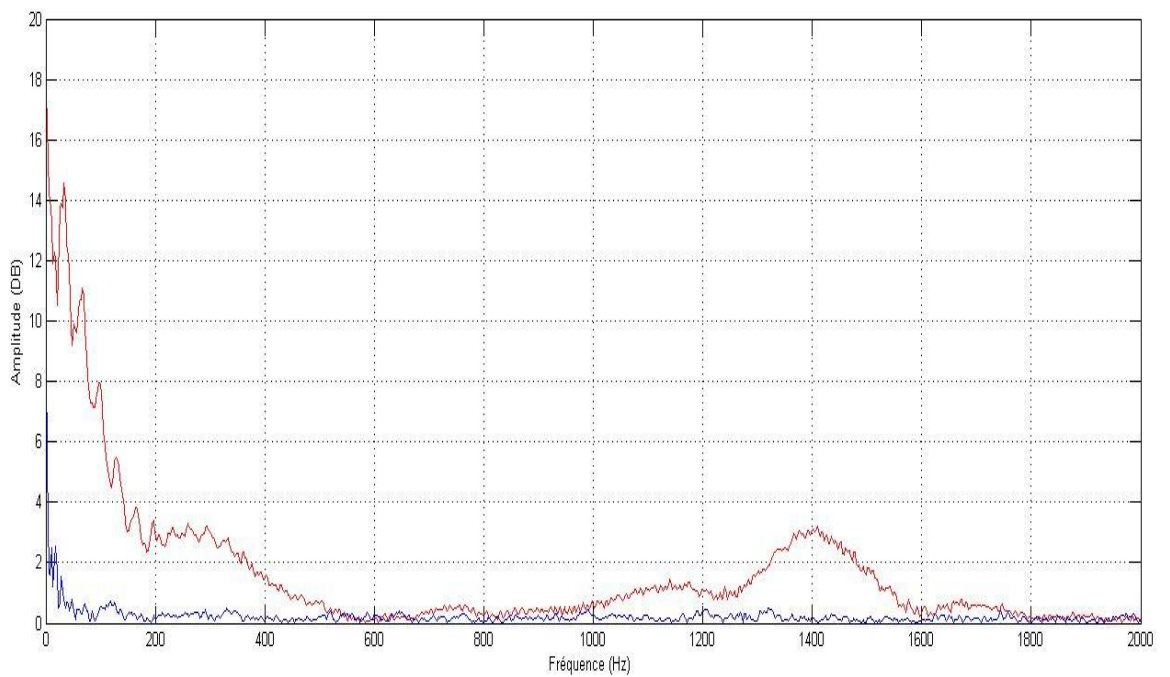




Spectre d'un signal vibratoire fonctionnement avec en charge 100 (barre cassée rouge et sain avec bleu) la carte d'aquisition :

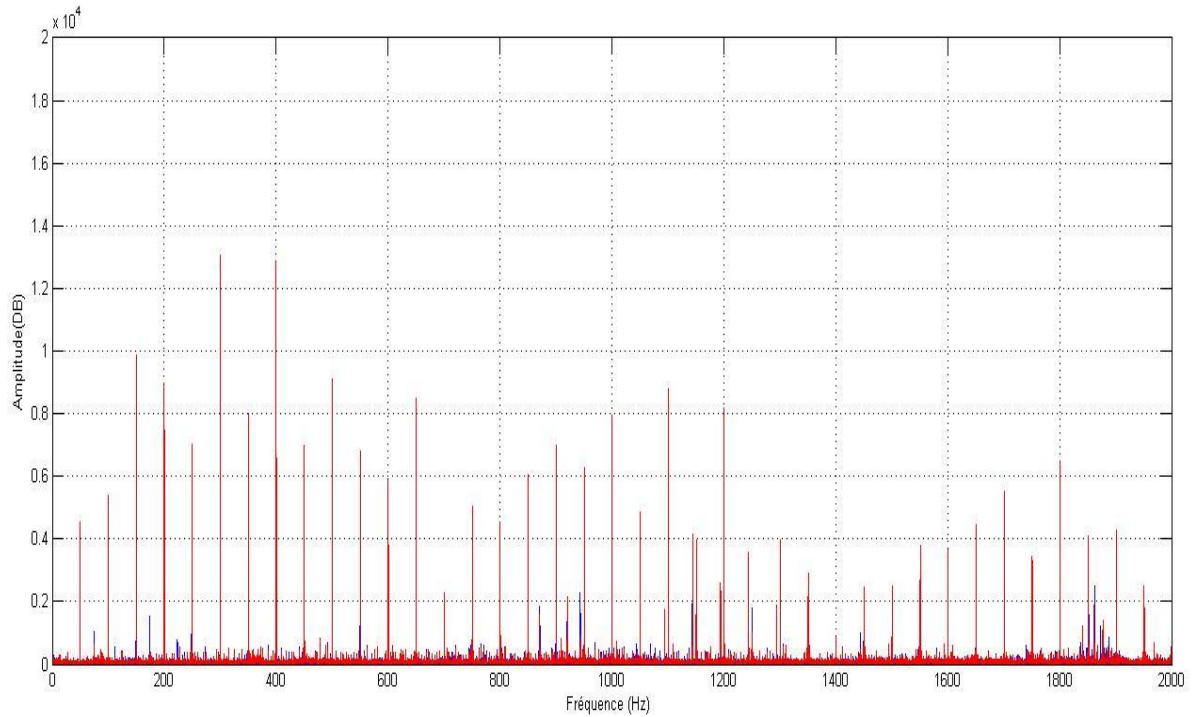


Spectre d'un signal vibratoire fonctionnement avec en charge 100 (barre cassée rouge et sain avec bleu) Schenk :



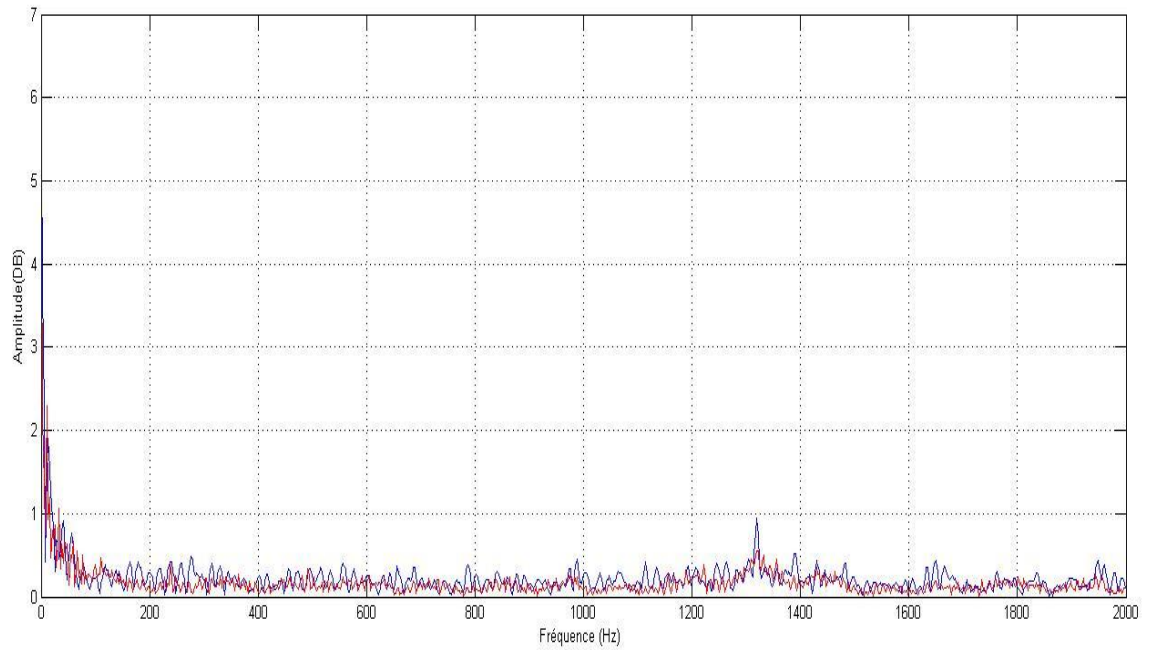
**AY (radial vertical) :**

Spectre d'un signal vibratoire fonctionnement à vide (barre cassée rouge et sain avec bleu) la carte d'aquisition :

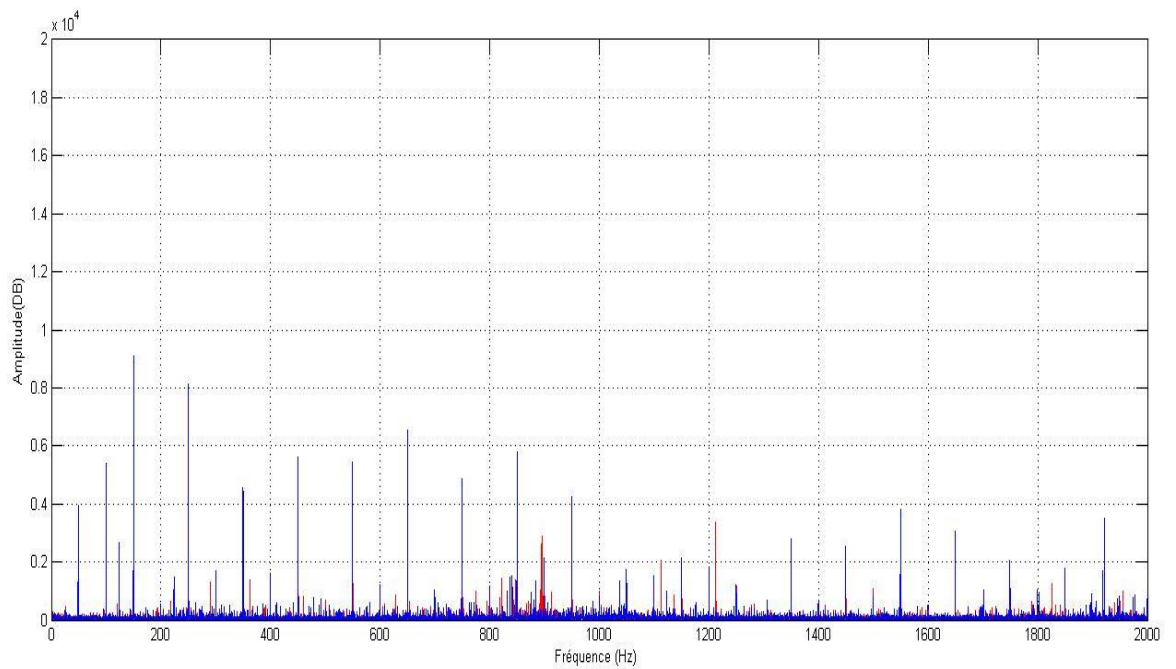


Spectre d'un signal vibratoire fonctionnement à vide (barre cassée rouge et sain avec bleu)

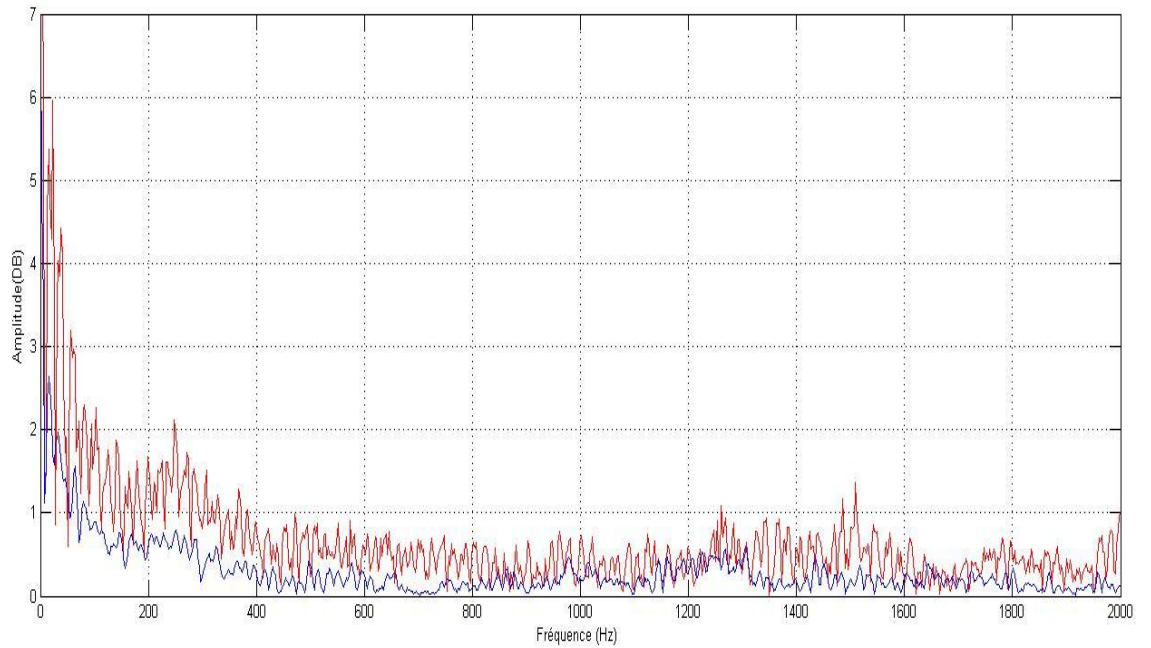
**Schenk :**



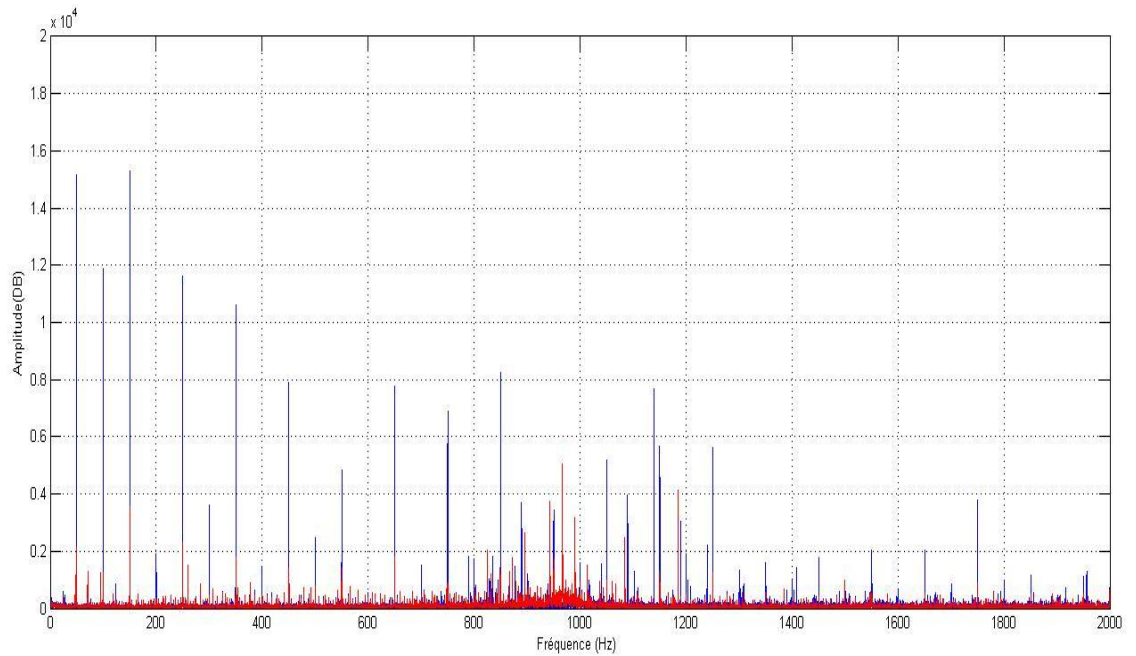
Spectre d'un signal vibratoire fonctionnement avec en charge 50 (barre cassée rouge et sain avec bleu) la carte d'aquisition :



Spectre d'un signal vibratoire fonctionnement avec en charge 50 (barre cassée rouge et sain avec bleu) Schenk :

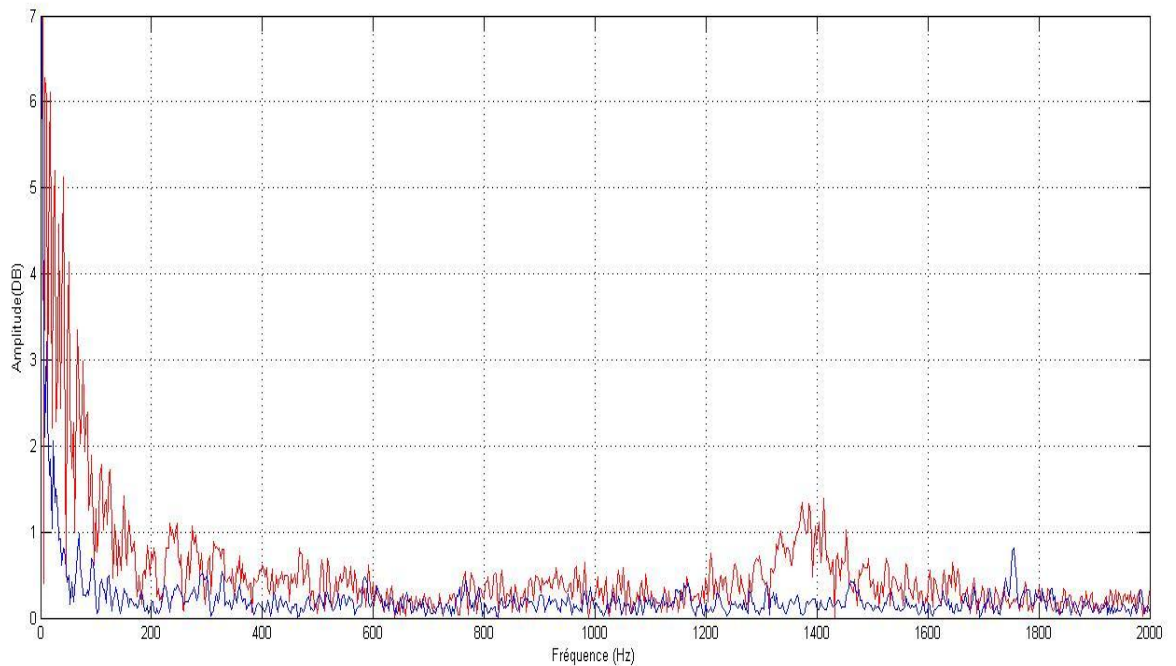


Spectre d'un signal vibratoire fonctionnement avec en charge 100 (barre cassée rouge et sain avec bleu) la carte d'aquisition :



Spectre d'un signal vibratoire fonctionnement avec en charge 100 (barre cassée rouge et sain avec bleu) Schenk :





### III.3.2 Discussion des résultats :

En raison de la sensibilité de l'étude utilisée pour l'Analyse des défauts par la méthode d'analyse vibratoire, les conditions et les moyens qui n'étaient pas disponibles au laboratoire LGEB ont conduit à l'obtention de résultats imprécis présentés dans les courbes. Cela conduit à l'impossibilité de comparer les résultats.

Parmi les problèmes qui ont conduit à obtenir délibérément des résultats précis :

- instabilité machine sur le support.
- le moteur n'est pas soumis aux conditions internationales de fabrication dans l'aspect mécanique.
- l'appareil utilisé pour mesurer les vibrations (Schenck) ne supporte pas les machines d'une puissance inférieure à 15 kW.
- vibrations externes dans la cage de frein.
- la méthode utilisée pour mesurer les vibrations est très sensible, il n'est donc pas facile d'obtenir des résultats.
- la possibilité que le capteur de la carte d'acquisition soit exposé à des chocs.

**Tableau III.1** Résumé des avantages et des inconvénients des deux méthodes

<b>Expressions caractéristiques</b>	<b>MCSA</b>	<b>MVSA</b>
Détection des défauts électriques	✓	
Détection des défauts mécaniques		✓
La mise en œuvre est moins chère	✓	
Le signal le plus bruité		✓
Exige plus d'une précision pour faire le montage		✓
L'ambiguïté et le chevauchement des fréquences	✓	✓

- Nous concluons que pour les défauts mécaniques, la méthode MCSA est meilleure que la méthode MVSA pour l'analyse des défauts.

## CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats expérimentaux d'un cas réel dans le laboratoire LGEB.

L'objectif de ce chapitre est de faire le premier pas dans le diagnostic des cas réels et ouvrir le champ pour les autres chercheurs de continuer dans ce domaine.

Dans ce travail, nous avons vu la différence entre la méthode de travail dans l'industrie et le laboratoire de recherche, mais le manque de conditions a conduit au manque de résultats précis.

# **Conclusion Générale**

### **Conclusion Générale**

Le travail présenté dans cette thèse s'inscrit dans le cadre du diagnostic des défauts des moteurs asynchrones triphasés à cage d'écureuil.

Au début de ce travail nous avons parlé des principaux éléments qui composent la machine asynchrone et des différents défauts de cette machine avec causes et effets.

Dans le deuxième chapitre il mentionne dans les généralités de la vibration les principes de base de l'analyse vibratoire appliqués à la maintenance conditionnelle, et les concepts de base de la dynamique appliqués aux milieux continus. Leurs applications sont montrées sur des systèmes réels pendant une courte période.

Dans le troisième chapitre, nous avons testé expérimentalement pour nous assurer que cette méthode donne le même résultat de simulation ou non ?

Nous avons pris un moteur défectueux et avons effectué les tests au laboratoire LGB à Biskra, en utilisant la méthode d'analyse des empreintes digitales des flux de fuite.

Au final, nous n'avons pas obtenu les résultats nécessaires pour comparer la sensibilité de la méthode et elle a été affectée par des facteurs externes.

# **Annexes**

## Annexe B

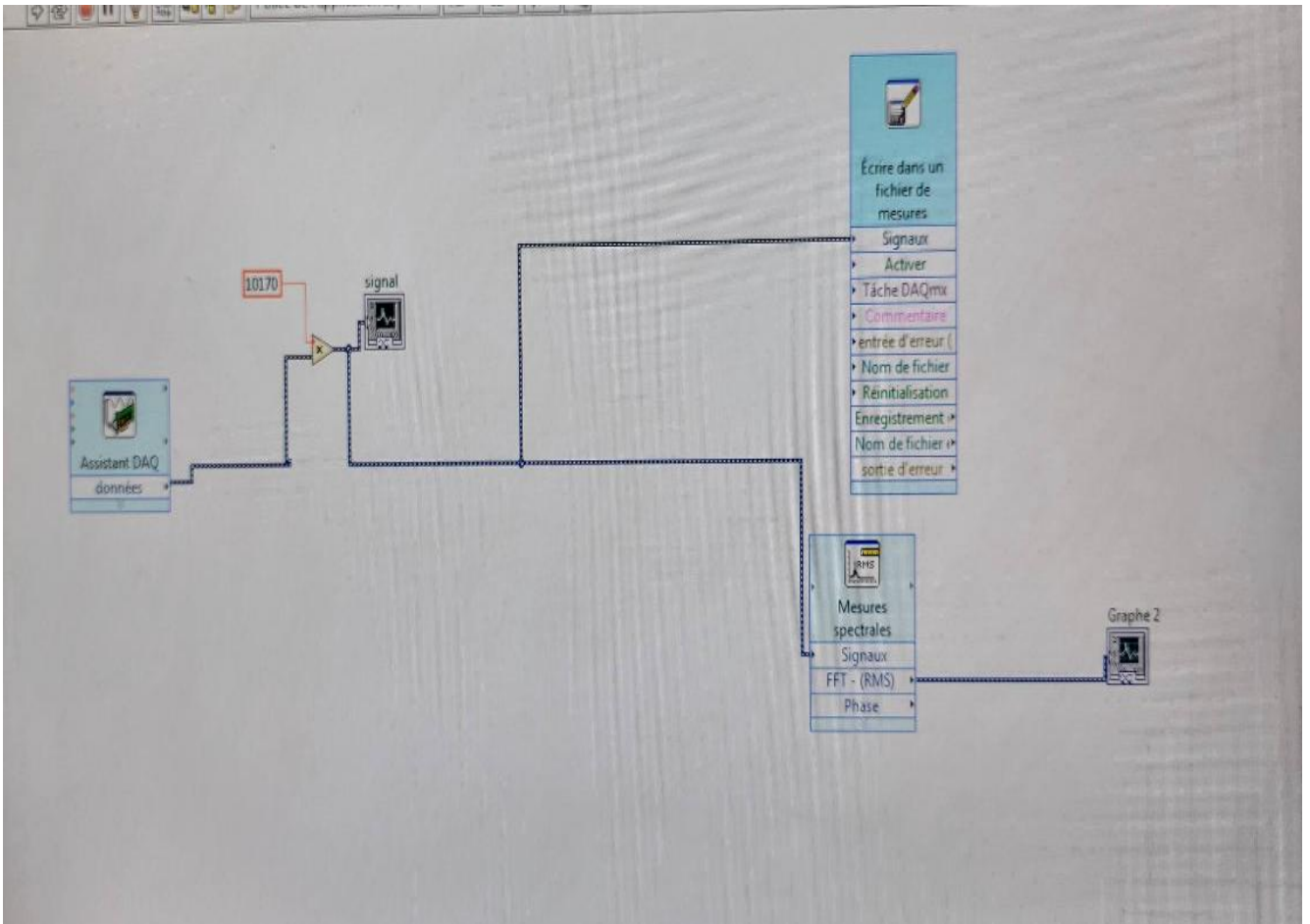


Schéma LabView



# **BIBLIOGRAPHIE**



**BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Mohamed El Kamel Oumaamar. Surveillance et diagnostic des défauts rotoriques et mécaniques de la machine asynchrone avec alimentation équilibrée ou déséquilibrée. Autre. Université de Lorraine, 2012. Français
- [2] K.Laadjal, «modélisation de la machine asynchrone en présence de défauts par flux 2D» thèse de master, Université de Mohammed Khaidher Biskra 2015
- [3] Cherier.F, Amade. G, « Modélisation en vue du diagnostic des défauts dans une machine asynchrone » mémoire d'Ingénieur d'Etat, Université M'hamed Bougara-Boumerdès, 2009.
- [4] N. Benouzza, “Approche des vecteurs de PARK appliquée à la detection des défauts dans les moteurs asynchrones à cage d’écureuil”. Thèse de doctorat. Université des Sciences et de la technologie d’Oran. M.B. Algérie. Décembre 2006.
- [5] Boudinar.A.H, “Etude et développement d’un turbo identificateur à haute résolution application au diagnostic des machines asynchrones à cage d’écureuil”. Thèse de doctorat d’état. Université des Sciences et de la technologie d’Oran. M.B. Algérie. 2007.
- [6] O. Ondel, “Diagnostic par reconnaissance des formes : application à un ensemble convertisseur – machine asynchrone”. Thèse de doctorat. Ecole centrale de LYON. France. Octobre 2006.
- [7] F. DUAN et R. ŽIVANOVIĆ, «Condition Monitoring of an Induction Motor Stator Windings Via Global Optimization Based on the Hyperbolic Cross Points», IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 62, p. 1826–1834, mars2015
- [8] N. R. DEVI, D. V. S. S. SARMA et P. V. R. RAO, «Diagnosis and classification of statorwindinginsulationfaultsonathree-phaseinductionmotorusingwaveletand MNN»,IEEETransactionsonDielectricsandElectricalInsulation,vol.23,p.2543–2555, oct. 2016
- [9] S. NANDI, H. TOLIYAT et X. LI, «Condition monitoring and fault diagnosis of electricalmotors-areview»,IEEETransactionsonEnergyConversion,vol.20,no.4,p.719– 729, 2005.

[10] D. G. DORRELL, L. FROSINI, M. BOTTANI, G. GALBIATI et M. F. HSIEH, «Analysis of axial voltages and inter-bar currents in cast copper cage rotors during DC current injection as an aid to identify casting faults», in 2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, p. 3431–3436, nov. 2009. 00005

[11] A. H. BONNETT et G. C. SOUKUP, «Rotor Failures in Squirrel Cage Induction Motors», IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA-22, p. 1165–1173, nov. 1986. 00104.

[12] K.N. GYFTAKIS, J.A. ANTONINO-DAVIU, R. GARCIA-HERNANDEZ, M.D. MCCULLOCH, D. A. HOWEY et A. J. M. CARDOSO, «Comparative Experimental Investigation of Broken Bar Fault Detectability in Induction Motors», IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 52, p. 1452–1459, mars 2016

[13] J. JUNG, Y. PARK, S. B. LEE, C. H. CHO, K. KIM, E. J. WIEDENBRUG et M. TESKA, «Monitoring Journal-Bearing Faults : Making Use of Motor Current Signature Analysis for Induction Motors», IEEE Industry Applications Magazine, vol. PP, no. 99, p. XX1– XX1, 2017. 00000.

[14] S. Nandi, H. A. Toliyat, “Novel frequency domain based technique to detect incipient stator inter turn faults in induction machines using stator induced voltage after switch-off,” IEEE Transactions

on Industry Application, Vol. 38, No. 1, pp. 101–109, Jan./Feb. 2002

[15] G. Bossio, C.D. Angelo, J. Solsona, G. García, M. I. Valla, "A 2-D Model of the induction machine: Extension of the modified winding function approach," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 19, No. 1, pp. 144-150, Mar. 2004.

[16] W.T. Thomson, A. Barbour, "On-line current monitoring and application of finite element method

Page 68

to predict the level of static air-gap eccentricity in three-phase induction motors," IEEE

Transactions on Energy Conversion, Vol. 13, No. 4, pp. 347-357, Dec. 1998

[17] J. R. Cameron, W. T. Thomson, A. B. Dow, "Vibration and current monitoring for detecting airgap eccentricity in large induction motors," In Proc. IEE, Vol. 33, No.3, pp. 155-163, 1986

[18] D. G. Dorrell, W. T. Thomson, S. Roach, "Analyse of air-gap flux, current, and vibration signals as function of combination static and dynamic air-gap eccentricity in 3-phase induction motors," IEEE

Transactions on Industry Application, Vol. 33, No. 1, pp. 24-34, Jan./Feb. 1997

[19]: Bonnett, A.H.; Soukup, G.C.; "Cause and analysis of stator and rotor failures in three-phase squirrel-cage induction motors", Industry Applications, IEEE Transactions on, Volume: 28, Issue: 4, July-Aug. 1992, Pages: 921 – 937.

[20] : SAHRAOUI Mohamed « Etude Comparative des Méthodes de Diagnostic des Machines Asynchrones » Thèse de doctorat, Doctorat en Science En Electrotechnique Université Mohamed Khider – Biskra Soutenue publiquement le /2010

[21] : Mr ROUAIBIA Reda « Detection et diagnostic des défauts des moteurs asynchrone »Thèse de Magister, Option : Commande, détection des défauts et diagnostic des processus industriels UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA Année 2009

[22] Alain Boulenger Aide-mémoire Surveillance des machines par analyse des vibrations. Christian Pachaud © Paris, Dunod, 2009 ISBN 978-2-10-054190-4

[23] J.Heng « Pratique De La Maintenance préventive»,livre DUNOD, Paris, édition 2002

[24] P. Arquès, Diagnostic prédictif et défaillance des machines (théorie-traitement-analyse reconnaissance-prédiction), Technipe Paris, livre édition 2009

[25] T.Belkhir, «La maintenance des équipements par l’analyse vibratoire» » thèse de masterUNIVERSITE KASDI MARBAH OURGLA, 2016

[26] A.boulangier, « Surveillance des machines par analyse des vibrations» ,livre DUNOD, Paris, éditions 2009