



جامعة عباس لغرور خنشلة  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم الهندسة الصناعية

Université Abbès LAGHROUR Khenchela  
Faculté des Sciences & de la Technologie  
Département de Génie Industriel



## Mémoire de fin d'études

*Pour l'obtention du diplôme de Master (LMD)*

**Filière : Automatique**

**Spécialité : Automatique et informatique industrielle**

# Implémentation d'un système temps réel de surveillance et diagnostic des défauts des machines électriques sous LabVIEW

Réalisé par : - Djeghlal Badereddine

Dirigé par : Pr. Sofiane Bououden  
Dr. Said Touati

*Membres du Jury :*

NOM	Pr. Fouad Allouani	(MCA)	Président
Prénom	Pr. AbdelHakim Berkani	(MAA)	Examineur
	Pr. Abdelkarim Mannadi	(MCB)	Examineur

*Année universitaire 2018/2019*

## *Remerciements*

---

Avant tout je remercie notre bon dieu le tout puissant pour le courage et la force et la volonté qui m'a accordé pour accomplir ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mes profonds remerciements à mon promoteur Mr Sofiane BOUODEN, pour m'avoir suivi dans l'élaboration de ce travail et pour toute la confiance qu'il m'a su témoigner durant cette étude.

J'adresse également mes vifs remerciements à Mr Said TOUATI mon Co-Encadreur pour m'avoir accueillie au niveau du centre de recherche du Birine CRNB, pour sa disponibilité et pour ses judicieux conseils pendant le stage effectué au CRNB.

Je tiens aussi à exprimer mes plus grands respects et mes vifs remerciements aux membres du jury qui ont bien voulu examiner ce travail.

Un remerciement très respectueux tous mes enseignants de l'université de kenchela

Je remercie vivement l'ensemble de personnel de CRNB, ain oussara et aussi ceux de l'université de kenchela

Mes remerciements les plus chaleureux et les plus profonds s'adressent à ma famille et mes amis pour leurs soutiens, leurs encouragements et leurs patiences.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont m'aider de près de loin à réaliser ce travail.

## *Dédicaces*

---

JE dédié ce travail à :

A vous « très chère maman et très respectueux papa ».

A mon grand frère. Et mes deux petites sœurs.

A tous les membres de ma grande famille pour leur soutien et leur conseil.

A mes amis Djaber, wafa, Rabah, Ramzi, Mehdi, Toutou, Abde elbaki, Lamine, pour leurs encouragements.

A ceux qui m'aime et qui attendent avec impatience ma réussite.

En espérant être à la hauteur de leurs attentes.

A tous les miens.....

DJ.Badereddine

### *Chapitre I*

- Figure. I.1 : Vue éclatée de la machine asynchrone.
- Figure. I.2 : Construction du Stator d'une MAS.
- Figure. I.3 : Constitution d'un Rotor à cage d'écureuil.
- Figure. I.4 : Pourcentage des défauts fréquents dans les machines à induction triphasé.
- Figure. I.5 : L'origine des différents défauts de la MAS.
- Figure. I.6 : Défaut d'isolant dans un enroulement statorique.
- Figure. I.7 : Court-circuit entre spires.
- Figure. I.8 : Court-circuit entre phase.
- Figure. I.9 : Court-circuit phase/bâti.
- Figure. I.10 : Défauts de rupture de barres et d'anneaux rotoriques.
- Figure. I.11 : conception d'un roulement à billes.
- Figure. I.12 : Représentation schématique de défauts d'excentricités.

### *Chapitre II*

- Figure. II.1 : Processus de surveillance et de diagnostic des défauts
- Figure. II.2 : Approches de surveillance et de diagnostic des MAS
- Figure. II.3 : Générateur de résidus à base d'un observateur
- Figure. II.4 : Générateur de résidus dans l'espace de parité
- Figure. II.5 : Description schématique d'une estimation paramétrique
- Figure. II.6 : 3 phases de courants statorique d'une MAS
- Figure. II.7 : Mesures vibratoires sur la machine asynchrone
- Figure. II.8 : Signal de vibration mécanique
- Figure. II.9 : Techniques de traitement de signal pour le diagnostic des MAS
- Figure. II.10 : Représentation temporel au fréquentiel d'une sinusoïde par FFT
- Figure. II.11 : Le neurone formel et l'architecture des RNA.

### *Chapitre III*

- Figure. III.1 : Fonctions de base proposées par l'environnement LabVIEW
- Figure. III.2 : Page d'accueil de LabVIEW
- Figure. III.3 : Format d'un fichier LabVIEW
- Figure. III.4 : La « face-avant » (Front panel) avec des contrôles d'entrées/sorties

Figure. III.5 : Un diagramme LabVIEW, avec un code en langage G

Figure. III.6 : Contrôle en front panel et en block diagram

Figure. III.7: Liaison erroné entre deux contrôles

Figure. III.8: La palette d'outils de LabVIEW

Figure.III.9 : La palette de contrôle de LabView

Figure. III.10 : La fenêtre de Help contextuel de LabView

Figure. III.11 : Composants arithmétiques

Figure. III.12: Fonction concaténations des caractères

Figure. III.13 : Création d'un nouveau tableau

Figure. III.14: extraction des données d'un cluster

Figure. III.15 : Fonction créer un fichier sous LabView

Figure. III.16 : La boucle **For** du Labview

Figure. III.17: La boucle **While** du Labview

Figure. III.18: La structure séquence de Labview

Figure. III.19: Calcule de la racine carrée d'un nombre positif en utilisant la structure selecte

Figure. III.20: Calcule de la racine carrée d'un nombre négatif en utilisant la structure selecte

Figure. III.21: Transfert de données d'une itération à la suivante par un registre à décalage

Figure. III.22 : Enregistrement et utilisation des data des itérations précédentes par feedback

Figure. III.23:Opération arithmétiques et logique

Figure. III.24: Front panel pour la résolution d'un polynôme 2eme degré true case

Figure III.25: block diagram pour la résolution d'un polynôme 2eme degré true case

Figure. III.26 : Front panel pour la résolution d'un polynôme 2eme degré false cas

Figure. III.27: Block diagram pour la résolution d'un polynôme 2<sup>ème</sup> degré false case

Figure. III.28: La « face-avant » (Front panel) pour l'affichage des signaux dans LabView

Figure. III.29: Block diagram pour l'affichage des signaux dans LabView

Figure. III.30 : Block diagram de Construction d'un tableau

Figure. III.31: Affichage du tableau dans le front panel

## *Chapitre IV*

Figure. IV.1: Banc d'essais d'une machine asynchrone au niveau de la DEDINE (CRNB)

Figure. IV.1: Banc d'essais d'une machine asynchrone au niveau de la DEDINE (CRNB)

Figure. IV.3 : Moteur asynchrone à cage d'écureuil

Figure. IV.4 : Frein à poudre

Figure. IV.5 : Schéma de principe du frein à poudre (électromagnétique). Vue en coupe

Figure. IV.6 : MODMECA 3, module de mesure mécanique

Figure. IV.7 : L'autotransformateur.

Figure. IV.8 : Appareils de mesure.

Figure. IV.9 : Capteur de courant **LA 125-P**.

Figure.IV.10 : La Plateforme temps réel programmable  *$\mu$ TECH-LRT+ de NI*

Figure.IV.11 : Carte d'acquisition **NI USB-9162**

Figure.IV.12 : Analyseur de puissance et de réseau transitoire C.A 8332B

Figure. IV.13: Acquisition et traitement des signaux statorique et vibratoire en temps réel

Figure. IV.14: Signaux 3 phases courants essais à vide moteur sain

Figure. IV.15: Signaux 3 phases tensions essais à vide moteur sain

Figure. IV.16 : Signal vibratoire essai à vide moteur sain

Figure. IV.17 : Signaux 3 phases courants essais à vide avec OP

Figure. IV.18 : Signaux 3 phases tensions essais à vide avec OP

Figure. IV.19: Signal vibratoire essai à vide avec OP

Figure. IV.20: La PSD des courants statorique à vide moteur sain

Figure. IV.21: La FFT des courants statorique à vide moteur sain

Figure. IV.22: La PSD des tensions statorique à vide moteur sain

Figure. IV.23: La FFT des tensions statorique à vide moteur sain

Figure. IV.24: La PSD des courants statorique à vide moteur avec OP

Figure. IV.25: La FFT des courants statorique à vide avec OP

Figure. IV.26: La PSD des tensions statorique à vide avec OP

Figure. IV.27: La FFT des tensions statorique à vide avec OP

Figure. IV.28: Signaux 3 phases courants essais avec charge moteur sain

Figure. IV.29: Signaux 3 phases tensions essais avec charge moteur sain

Figure. IV.30: Signal vibratoire essai avec charge moteur sain

Figure. IV.31: Signaux 3 phases courants essais avec charge OP

Figure. IV.32: Signaux 3 phases tensions essais avec charge OP

Figure. IV.33: Signal vibratoire essai avec charge OP

Figure. IV.34: La PSD des courants statorique avec charge moteur sain

Figure. IV.35: La FFT des courants statorique avec charge moteur sain

Figure. IV.36: La PSD des tensions statorique avec charge moteur sain

Figure. IV.37: La FFT des tensions statorique avec charge moteur sain

Figure. IV.38: La PSD des courants statorique avec charge OP

Figure. IV.39: La FFT des courants statorique avec charge OP

Figure. IV.40: La PSD des tensions statorique avec charge OP

Figure. IV.41: La FFT des tensions statorique avec charge moteur sain

Figure. IV.42: Rotor d'une MAS sain

Figure. IV.43: Rotor d'une MAS avec plusieurs cassures des barres

Figure. IV.44: lecture des data et traitement par l'FFT et le PSD

Figure. IV.45: Fichier de base de données de moteur avec défaut

Figure. IV.46: Moteur asynchrone état sain à vide

Figure. IV.47: Moteur asynchrone état sain avec charge

Figure. IV.48 : Moteur asynchrone avec cassure de deux barres rotorique à vide

Figure. IV.49 : Moteur asynchrone avec cassure de deux barres avec charge

Figure. IV.50 : Test sur l'état de santé des roulements

Figure. IV.51: Diagramme block LabView pour l'extraction des différentes indicateurs santé des roulements

Figure. IV.52: Front panel LabView pour la visualisation des défférentes indicateurs santé des roulements

Tableau.III.1 : Différents types de connexion dans LabVIEW.

## *Liste des abréviations*

---

Abréviations	Définitions
MAS	Machine Asynchrone
MI	Machine à Induction
VI	Virtuel instrument
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
NI	National Instrument
EPRI	Electrical Power Research Institute
CM	Condition monitoring
FDD	Fault detection and diagnostic
MCSA	Motor Current Signature Analysis
RMS	Root Mean Square
FFT	Fast Fourier Transforme
PSD	Power Spectral Density
RNA	Réseaux de neurones artificiels
RDF	Reconnaissance des formes
PC	Portable Computer
LED	Light-Emmitting Diod
DEDIN	la Division d'Etude et de Développement de l'Instrumentation Nucléaire
CRNB	Centre de Recherche Nucléaire de Birine
IMS	Intelligent Maintenance Systems
FPGA	Field-Programmable Gate Array

I. Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I : Conception et défauts de la MAS</b>	
I. Introduction .....	4
II. Généralités sur la MAS .....	4
II.1. Définition d'une MAS.....	4
II.2. Construction d'une MAS.....	5
II.2.1 Le stator.....	5
II.2.2 Le rotor .....	6
II.2.3 Organes mécaniques .....	7
II.2.3.1 La carcasse.....	7
II.2.3.2 L'arbre .....	7
II.2.3.3 Les flasques .....	7
II.2.3.4 Les roulements .....	7
II.2.3.5 Les ailettes de ventilation .....	7
III. Les différents défauts dans une MAS .....	7
III. 1. Défaillances d'ordre électrique.....	9
III.1.1 Défaillance au stator .....	9
III.1.1.1 Défauts d'isolant dans un enroulement .....	9
III.1.1.2 Défauts de court-circuit .....	10
a) Court-circuit entre spires .....	10
b) Court-circuit entre phase .....	11
c) Court-circuit phase/bâti .....	11
III.1.1.3 Les Défauts de mauvais branchement .....	12
III.1.2 Défaillances au rotor.....	12
a) Rupture de barres .....	12
b) Rupture d'anneaux .....	13
III. 2. Défaillances d'ordre mécanique .....	13
III. 2.1. Défauts de roulements .....	14
III. 2.2. Défauts d'excentricité .....	15
IV. Conclusion/.....	16
<b>Chapitre II : Techniques de supervision et de diagnostic</b>	
I. Introduction .....	18
II. L'utilité du diagnostic .....	18
III. Techniques de diagnostic et de détection des défauts .....	19
III.1. Approche modèle.....	20
III.1.1. Diagnostic à l'aide des observateurs .....	20
III.1.2. Diagnostic par redondance analytique (espace de parité) .....	21
III.1.3. Diagnostic par estimation paramétrique.....	21
III.1.4. Diagnostic par analyse de modèle de Park.....	22
III.2. Approche signal.....	22
III.2.1. Diagnostic par analyse des courants statoriques.....	22
III.2.2. Diagnostic par analyse des vibrations mécaniques .....	23
III.2.3. Diagnostic par Mesure de flux magnétique.....	24
III.2.4. Diagnostic par Mesure du couple électromagnétique.....	24

III.2.5. Diagnostic par Mesure de puissance instantanée.....	24
III.2.6. Méthode de traitement de signal.....	25
a) Analyse dans le domaine Temporel.....	25
b) Analyse dans le domaine Fréquentiel.....	27
c) Analyse temps-fréquence.....	28
III.3. Approche intelligence artificiel.....	29
III.3.1. Réseaux de neurones artificiels RNA.....	29
III.3.2. Reconnaissance des formes RDF.....	29
III.3.3. La logique floue.....	30
III.3.4. Méthodes de prises de décision (classification) .....	30
IV. Conclusion.....	30

### **Chapitre III : introduction au LabView**

I. Introduction .....	32
II. Fonctionnement de LabVIEW .....	33
II.1. Débuter avec LabVIEW .....	33
II.2. Les types de connexion .....	35
II.3. Les palettes .....	35
a) Palettes d'outils .....	35
b) Palettes du contrôle .....	36
II.4. Le HELP .....	37
II.5. Fonctions et structures de LabView .....	37
a) Les fonctions .....	37
b) Les structures .....	38
II.6. Les registres à décalages et les nœuds de retour .....	40
a) Les registres à décalage .....	41
b) Les nœuds de retour .....	41
III. Quelques exemples et exercices dans le LabView .....	41
1. Opération arithmétiques et logique .....	41
2. Solution d'un polynôme 2eme degré .....	42
3. Génération et manipulation des signaux .....	43
4. Construction des tableaux par indexation de valeurs .....	44
IV. Conclusion .....	45

### **Chapitre IV : Diagnostic et étude expérimentale des défauts de la MAS**

I. Introduction .....	47
II. Description du Banc d'essais.....	49
II.1. machine asynchrone à cage .....	49
II.2. Frein à poudre .....	49
II.3. Le module MODMECA 3 .....	50
II.4. Autotransformateur .....	51
II.5. Appareils de mesure .....	51
II.6. Capteur de courant .....	52
II.7. Cartes d'acquisition .....	52
II.7.1. LabVIEW Real-Time $\mu$ TECH-LRT+ .....	52
II.7.2. NI USB-9162 .....	53
II.8. Analyseur de puissance et de réseau transitoire C.A 8332B .....	54

III. Diagnostic en IV temps réel des défauts de la MAS .....	55
III.1. Diagnostic en temps réel essais à vide .....	56
III.1.1. Etude et analyse temporel .....	56
a) Sans défauts .....	56
b) Avec ouverture de phase .....	57
III.1.2. Etude et analyse fréquentiel .....	58
a) Sans défauts .....	59
b) Avec ouverture de phase .....	60
III.2. Diagnostic en temps réel essais avec charge .....	62
III.2.1. Etude et analyse temporel .....	62
a) Sans défauts .....	62
b) Avec ouverture de phase .....	63
III.2.2. Etude et analyse fréquentiel .....	64
a) Sans défauts .....	64
b) Avec ouverture de phase .....	65
III.3. Interprétation des résultats .....	66
III.3.1. analyse temporelle .....	66
III.3.2. analyse fréquentielle .....	67
IV. Diagnostic off line des défauts de la MAS par lecture des data enregistrer .....	68
IV.1. Moteur asynchrone en état sain .....	70
a) A vide .....	70
b) En charge : $T=8$ (N.m) , $R=1440$ (Tr/mn).....	70
IV.2. Moteur asynchrone avec cassure de deux barres rotorique .....	71
a) A vide .....	71
b) Avec charge : $T= 8$ (N.m) , $R= 1420$ (Tr/mn).....	71
V. Diagnostic off line par extraction des indicateurs santé des roulements .....	73
V.1. Description des tests expérimentaux .....	73
V.2. Structure de la base de données .....	74
V.3. Exploitation de base de données sous LabView .....	74
VI. Conclusion.....	77
I. Conclusion générale .....	79

# *Introduction générale*

## ***Introduction générale***

Les moteurs électriques sont des machines qui convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique. Ils peuvent être classés en trois catégories: les moteurs à courant continu (CC), les moteurs à courant alternatif (CA) et les moteurs spéciaux. Il existe deux types de moteurs à courant alternatif: les moteurs à induction et les moteurs synchrones. Un moteur à induction comprend un circuit magnétique reliant deux circuits électriques placés sur les deux parties principales de la machine: (i) la partie fixe appelée stator et (ii) la partie tournante appelée rotor. L'énergie est transférée d'une partie à l'autre par induction électromagnétique. Les principaux avantages du moteur à induction (MI) résident dans sa construction simple, qui conduit à des exigences de coût, de robustesse et de maintenance réduites, mais il est beaucoup plus difficile à contrôler.

De nombreux composants de la machine à induction sont susceptibles de tomber en panne. Les défauts MI peuvent être classés en défauts mécaniques et défauts électriques. Les défauts mécaniques consistent des défauts de roulement, déséquilibre d'arbre, etc [1-5]. Les défauts électriques consistent des ruptures de barres de rotor, des défauts d'enroulement de stator, des imperfections de phase, etc. Différentes méthodes d'identification des défauts ont été développées et utilisées efficacement pour détecter les défauts de la machine en utilisant différentes variables de la machine, telles que le courant, la tension, la vitesse, l'efficacité, la température et les vibrations. Les approches sont généralement classées en trois catégories, à savoir les méthodes à base de modèle, les méthodes par traitement du signal et les méthodes de l'intelligence artificielle.

Dans notre travail nous allons utiliser les méthodes d'analyse de signal, Ces approches comportent plusieurs techniques de traitement dans les domaines temporel [6, 7], fréquentiel [8, 9] et temps-fréquence [10, 11]. La transformation rapide de Fourier est l'un des principaux approches utilisées pour calculer la transformée de Fourier discrète (DFT) ainsi que sa transformée inverse. En général, la transformation de Fourier convertit le domaine temporel en domaine fréquentiel équivalent ou inversement. Cette efficacité rend FFT applicable à diverses applications en sciences et en ingénierie.

Ce mémoire de projet de fin d'études est réalisé au sein du laboratoire de la Division de d'Etude et de Développement Des Instruments Nucléaires (DEDIN) de Centre de Recherche Nucléaire de Birine (CRNB) à Ain Oussera, dans le but d'améliorer la sûreté de la centrale, en utilisant des techniques de détection et diagnostic de défauts (FDD) pour les machines électriques rotatives en général et la machine qui entraîne la pompe de refroidissement primaire en particulier (PRP). Les PRP sont des pompes centrifuges à entraînement électrique par un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil.

## *Introduction générale*

Elles sont responsables de l'évacuation de la chaleur produite dans le cœur du réacteur vers le générateur de vapeur. Au cours de ce projet, nous avons appris à exploiter les différents matériels développés par National Instruments (NI), et son logiciel LabVIEW utilisés dans expérimentale. Cette expérience nous a permis de piloter et d'adapter nos connaissances dans le domaine de la détection et le diagnostic des défauts électriques et mécaniques du moteur d'entraînement des pompes de refroidissement primaire d'une centrale nucléaire, sur une plate forme de LabVIEW en construisant des diagrammes blocs du code source graphique. Le programme obtenu s'appelle alors un **instrument virtuel** ou **VI** (virtual instrument)

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres. Vous trouverez ci-dessous un bref aperçu de chaque chapitre:

**Chapitre 1** est consacré à la description de différents organes de la machine asynchrone, ainsi que les différents types de défauts de la machine asynchrone, notamment le défaut d'isolement, court-circuit entre spires, rupture de barre rotorique, excentricité et défauts de roulements...etc.

Dans le **chapitre 2** : nous avons exposé, dans un premier lieu, les techniques et les outils adoptées pour le développement des systèmes de diagnostic des défauts. Les techniques de prétraitement et d'extraction d'indicateurs de défauts à partir des courants, des signaux vibratoires et du couple mécanique mesuré, sont explicitées.

Dans le **chapitre 3** : nous avons présenté une initiation à LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) de la société National Instruments, et son environnement de développement graphique qui permet de créer des applications modulaires (notion de sous VI) et extensibles pour la conception d'applications, le contrôle et le test ainsi que le diagnostic. Nous avons présenté quelques fonctions notamment pour la génération, l'acquisition et le traitement du signal, pour les traitements mathématiques et aussi pour une présentation très efficace des données.

**Chapitre 4** : présente les méthodes d'analyse temporelle et fréquentielle des signaux de courant et de tension du moteur pour la détection de défauts; enroulement du stator, rupture de barres de rotor et défauts de roulement. Ces approches de diagnostic proposées seront testées et validées par des essais expérimentaux de différentes machines avec divers modes de fonctionnement (sain et défectueux).

Et on terminera notre travail par une conclusion générale.

# *Chapitre I*

## *Conception et défauts de la MAS*

**I. Introduction**

Le moteur électrique est un appareil électromécanique qui converti l'énergie électrique à une énergie mécanique. Soit il une pièce très marquante dans l'industrie moderne, le moteur à induction joue un rôle vital dans des applications majeure tel que les systèmes de pompage, les éventails, systèmes élévatoires, véhicules électriques et dans plusieurs autres domaines industriel. Le moteur asynchrone, qui est en vrai un AC moteur, ou le courant est requis pour la génération du couple, Les moteurs à induction sont le noyau de plusieurs industries tel que les usines de fabrications, l'exploitation minière et surtout qu'ils consomment plus de 50% de l'énergie électrique généré dans le monde [12].

Le cout de fabrication de ce type de machines et son volume miniaturisés, ça maintenance à cout réduit, la robustesse et leur flexibilité d'opération avec une alimentation minimale rend ces systèmes très efficace et pratique dans les processus industriel moderne. Malgré leur grande fiabilité, ils sont soumissent à des différents types de défauts/pannes. Lors de l'exécution des opérations, ces défauts peuvent être dû à des forces mécanique ou électrique agissant sur la machine. Si le défaut n'est pas détecté à son stage primaire, ou s'il s'est permis de se développer davantage, cela peut entrainer la défaillance de système [13].

Ils existent plusieurs types de défauts de machine asynchrone, défaut d'isolement, court-circuit entre spires, rupture de barre rotorique, excentricité et défauts de roulements...etc.

**II. Généralités sur la MAS****II.1 Définition d'une MAS**

Le moteur asynchrone, appelé aussi « moteur à induction », a été inventé par Nikola Tesla vers 1890. Sur le plan constructif, il comprend une partie fixe nommés stator ou inducteur où est connectée l'alimentation électrique, un ensemble de trois bobinages parcourus par des courants triphasés induisent un champ tournant statorique de vitesse de rotation dépendante de la fréquence et du nombre de paires de pôles du bobinage. Une partie mobile nommé rotor ou induit constitué de disque en tôle magnétique empilés sur l'arbre de la machine qui permet de mettre en rotation des charges mécaniques Figure. I.1. Ces deux parties sont constituées de tôles d'acier comportant des encoches dans lesquelles sont placés les enroulements. Le moteur comporte aussi des organes mécaniques permettant la rotation du rotor et le maintien des différents sous-ensembles. Le stator et le rotor sont séparés par un entrefer très faible de l'ordre de 0,2 à 3 mm suivant la puissance [14].

## II.2 Construction d'une MAS

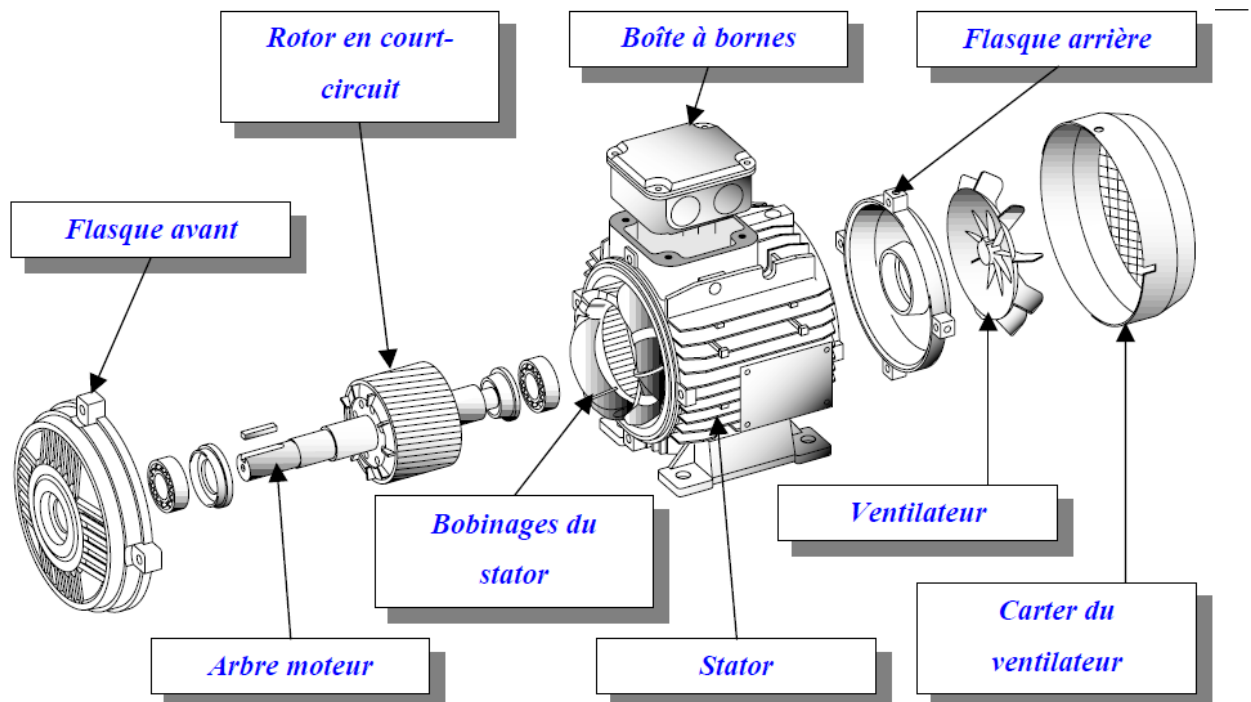


Figure. I.1 : Vue éclatée de la machine asynchrone.

### II.2.1 Le stator

Il est la partie fixe du moteur. Une carcasse en fonte ou en alliage léger renferme une couronne de tôles mince. Les tôles sont assemblées les unes aux autres pour former le circuit magnétique statorique.

Les tôles sont isolées entre elles par oxydation ou par un vernis isolant, le feuilletage du circuit magnétique réduit les pertes par hystérésis et par le courant de Foucault.

Ces tôles sont munies d'encoches dans lesquelles prennent place les enroulements statorique destinés à produire les champs tournant, ces enroulements triphasés peuvent être insérés de manière imbriqué, ondulés ou encore concentriques [15].

Chaque enroulement est constitué de plusieurs bobines. Le mode de couplage de ces bobines entre elles définit le nombre de paires de pôles du moteur, donc la vitesse de rotation.

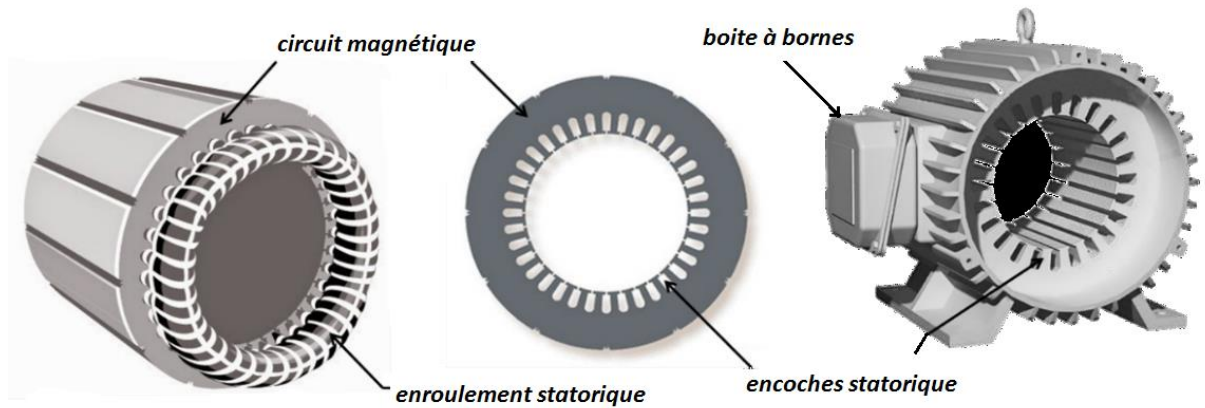


Figure. I.2 : Construction du Stator d'une MAS.

### II.2.2 Le rotor

Il existe deux types de rotors : les rotors dits « bobinés » et les rotors dits « à cage d'écureuil » le comportement externe des deux types de machines étant identique, donc nous considérons dans la suite que nous avons affaire à des machines à rotor à cage.

Dans ce cas, le rotor est creusé d'encoches longitudinales dans lesquelles sont disposées des barres conductrices court-circuitées à chaque extrémité par des anneaux de court-circuit. Ces barres et anneaux sont généralement en cuivre mais, pour des machines de faible puissance, ils peuvent être en alliage d'aluminium de façon à réduire le prix de revient. Ces barres sont souvent légèrement inclinées par rapport à l'axe du moteur afin d'atténuer les harmoniques d'encoches et les effets parasites associés [16]. Cette structure n'est pas triphasée, mais on peut introduire, pour tout rotor à cage, un rotor bobiné triphasé équivalent.

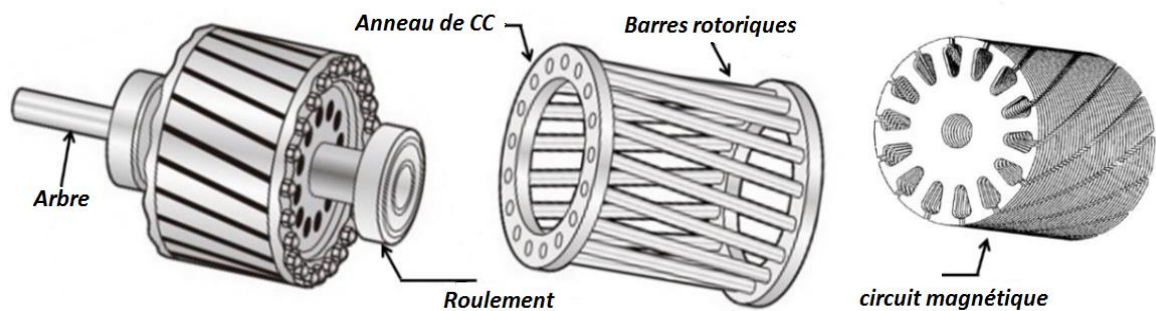


Figure. I.3 : Constitution d'un Rotor à cage d'écureuil.

**II.2.3 Organes mécaniques****II.2.3.1 La carcasse**

Elle sert de support, elle joue le rôle d'enveloppe et assure la protection contre l'environnement extérieur. La boîte à bornes dans laquelle s'effectuent les branchements est fixée sur le dessus.

**II.2.3.2 L'arbre**

C'est un organe de transmission. Il comprend une partie centrale qui sert de support au corps du rotor et deux extrémités (un bout d'arbre sur lequel est fixé un demi-accouplement et l'autre extrémité comporte un ventilateur). Il est généralement constitué en acier moulé ou forgé. Il est supporté par deux ou plusieurs roulements [15].

**II.2.3.3 Les flasques**

Ils ferment la carcasse du moteur aux deux extrémités et supportent les roulements. Les flasques sont réalisés en fonte grise ou en aluminium injecté et ils sont centrés sur la carcasse et réunis entre eux.

**II.2.3.4 Les roulements**

Ils jouent le rôle d'interface mécanique entre le stator et le rotor. En outre, ils représentent l'élément de maintien de l'axe de la machine permettant d'assurer une bonne rotation du rotor. Généralement le moteur contient deux roulements montés de l'arbre.

**II.2.3.5 Les ailettes de ventilation :**

Il est placé à l'arrière du moteur sur l'arbre, il permet le refroidissement du moteur afin d'éviter la dégradation des isolants et la défaillance des enroulements (à cause de l'échauffement excessif).

**III. Les différents défauts dans une MAS**

Malgré sa robustesse, la machine asynchrone à cage d'écureuil, quand elle fonctionne sous des conditions sévères comme le cas des centrales nucléaires, peut présenter différents types de défauts. Ces défauts peuvent être soit d'origine électrique, soit d'origine mécanique [17]. Ce qui peut nous conduire à des frais de maintenance et un temps d'arrêt supplémentaire, résultant une perte indésirable de production et de revenu financier. De plus le nombre total des opérations effectuées sur des machines électriques dans le monde en 2011 était 16,1 million interventions ! [18]

En générale, les différentes analyses sur l'étude des défaillances de moteur à induction ont classé les défauts les plus communs dans les machines asynchrone. Les résultats les plus souvent trouvés basés sur les rapports statistiques faites par « the Motor Reliability working group of the IEEE-Industry Application Society », qui ont supervisé 1141 moteurs, et aussi the Electrical Power Research Institute (EPRI), qui ont analysé 6312 moteurs, peuvent être résumés dans le schéma statistique représenté dans la figure suivante [8].

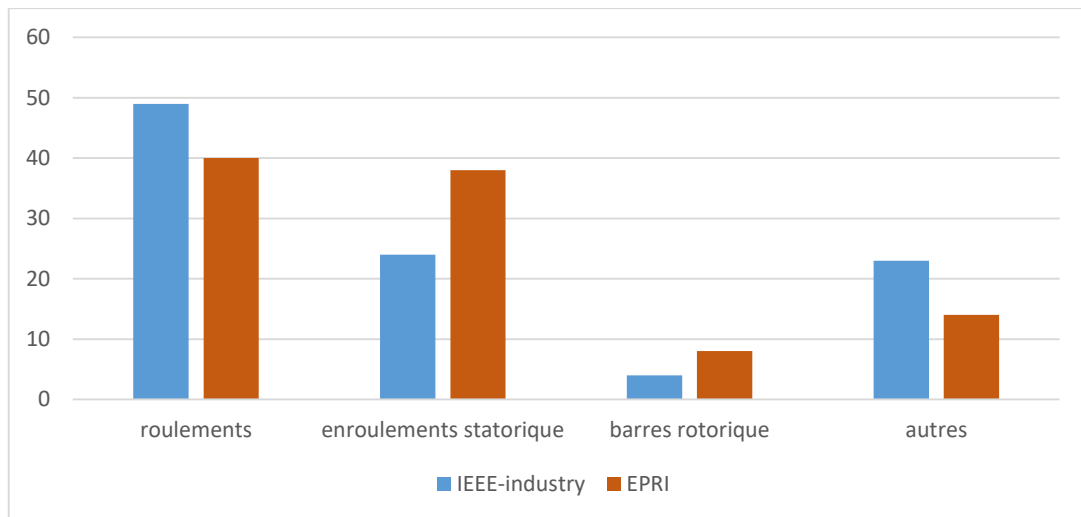


Figure. I.4 : Pourcentage des défauts fréquents dans les machines à induction triphasé

Dans cette partie, nous allons présenter en détaille les différents défauts affectant la machine asynchrone en précisant leurs causes et origines. Et on s'intéresse seulement aux causes de défaillance interne du moteur, qu'on peut les classés en deux groupe :

- Défauts électriques
- Défauts mécaniques

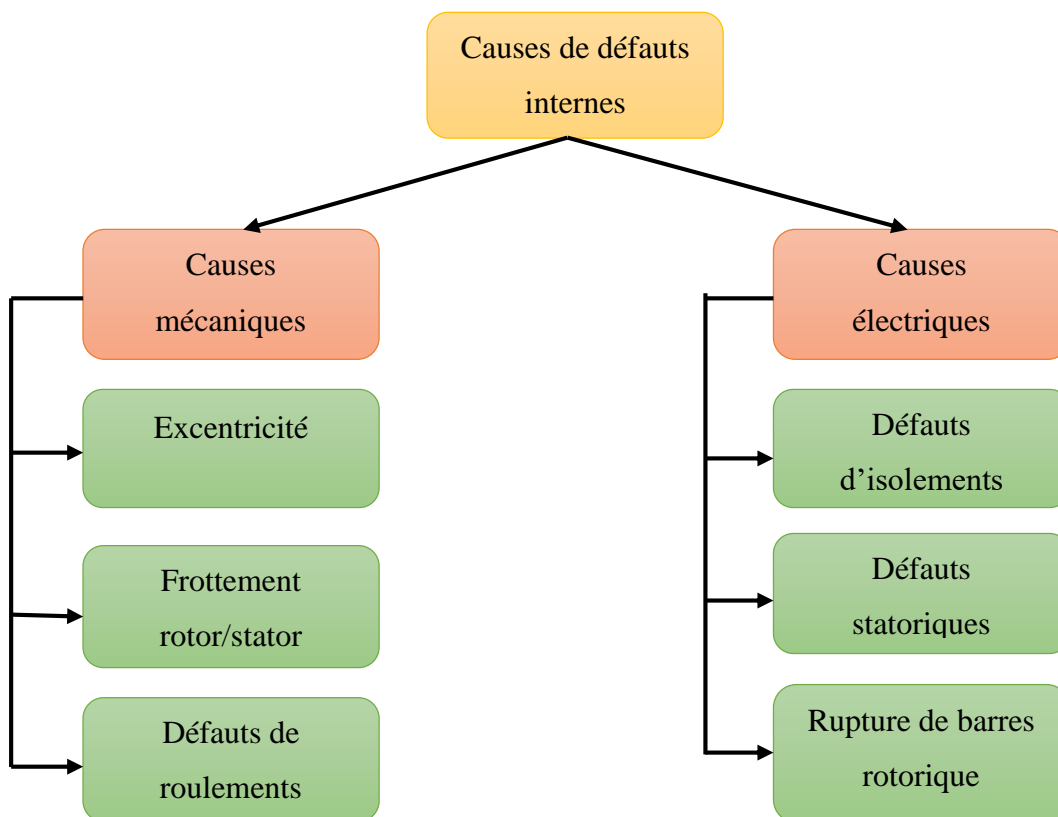


Figure. I.5 : L'origine des différents défauts de la MAS

### **III. 1. Défaillances d'ordre électrique**

Ces défaillances se séparent en deux catégories bien distinctes. Nous pouvons citer les défaillances qui apparaissent au niveau des circuits électriques statoriques et celles qui apparaissent au niveau des circuits électriques rotoriques [17].

#### **III.1.1 Défaillance au stator**

D'après les études statistiques, 35-40% des défauts du moteur à induction apparaissent au niveau de stator sous forme de court-circuit dans les enroulements statoriques. En outre, c'est généralement une grande partie des défauts des enroulements de stator sont dû à la détérioration de l'isolation des fils du au surcharge et au échauffement excessif. Dans la plus plupart des cas, cette défaillance commence par un défaut entre spires. Peu à peu ce dernier se progresse et entraine des défauts entre les phases des bobines, ou entre phase et neutre, ce déséquilibre de phase peut conduire à l'arrêt total du moteur.

##### **III.1.1.1 Défauts d'isolant dans un enroulement**

La dégradation des isolants dans les enroulements peut provoquer des courts-circuits en effet, les différentes pertes (Joule, fer, mécanique,...) engendrent des phénomènes Thermiques se traduisant par une augmentation de la température des différents constituants du moteur. De ce fait, si l'environnement de travail d'un matériau d'isolation dépasse ces limites, ce matériau se dégrade de manière prématurée ou accélérée, puis finit par ne plus assurer sa fonction [20].

Dans ce cas, un court-circuit peut apparaître dans l'enroulement concerné. Les différentes causes pour ce type de défaut sont :

- dégradation de l'isolant à la fabrication.
- tension de l'enroulement supérieure à la limite du matériau d'isolation.
- courant élevé dans l'enroulement dû à un court-circuit, un défaut du convertisseur, une surcharge. Ceci entraîne une élévation de la température dégradant prématurément le matériau d'isolation.
- vibrations mécaniques.
- vieillissement naturel des isolants. Tous les matériaux isolants ont une durée de vie limitée. Même dans une utilisation 'normale', l'isolant finit naturellement par se dégrader.
- fonctionnement dans un environnement sévère.



Figure. I.6 : Défaut d'isolant dans un enroulement statorique

### III.1.1.2 Défauts de court-circuit

#### a) Court-circuit entre spires

La détérioration de l'isolation d'enroulement commence habituellement par un court-circuit entre quelques spires de l'enroulement. Le court-circuit entre spires entraîne un grand courant circulant dans les spires court-circuitées, et une légère variation de l'amplitude sur les autres phases. Il conduit par conséquent à un échauffement excessif au niveau du bobinage et, de ce fait, une dégradation accélérée des isolants, pouvant provoquer ainsi, un défaut en chaîne menant à un court-circuit catastrophique phase-terre ou phase-phase [21].

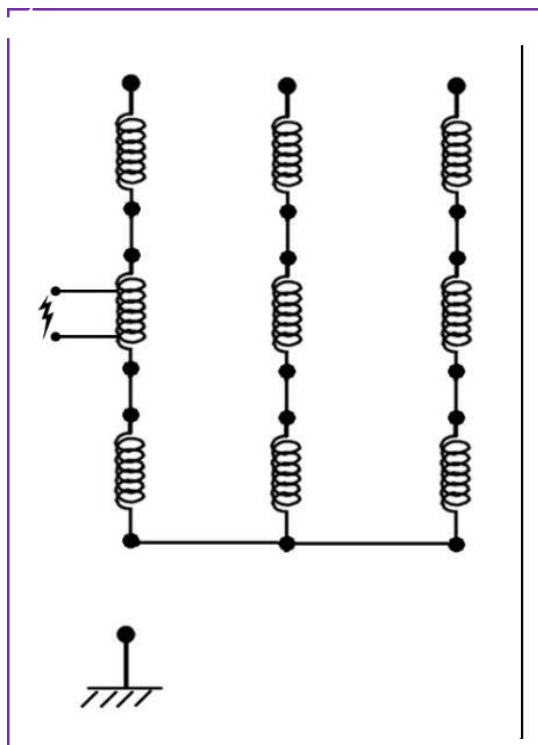


Figure. I.7 : Court-circuit entre spires

**b) Court-circuit entre phase :**

Ce type de défaillance peut arriver en tout point du bobinage, cependant les répercussions ne seront pas les mêmes selon la localisation. Cette caractéristique rend difficile une analyse de l'incidence de ce défaut sur le système. L'apparition d'un court-circuit proche de l'alimentation entre phases, induirait des courants très élevés qui conduiraient à la fusion des conducteurs d'alimentation et/ou à la disjonction par les protections.

D'autre part, un court-circuit proche du neutre entre deux phases engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs [22].

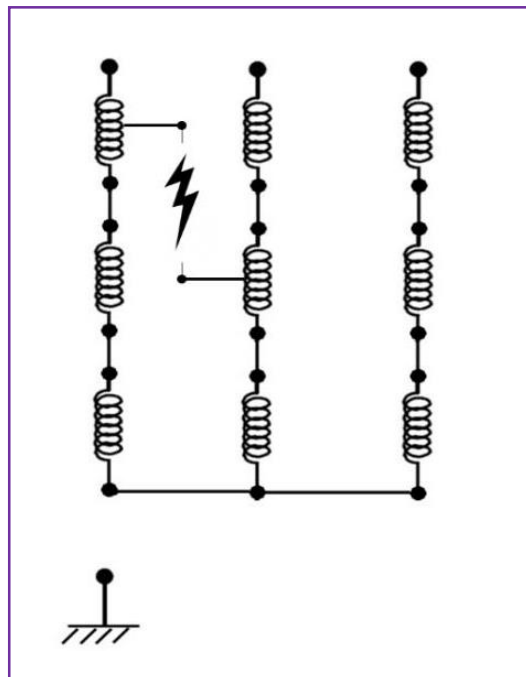


Figure. I.8 : Court-circuit entre phase

**c) Court-circuit phase/bâti :**

Le bâti a généralement un potentiel flottant, mais pour des raisons de liaisons mécaniques, il est souvent relié à la masse. Si le potentiel est flottant, un court-circuit entre l'enroulement et le bâti n'a pas d'importance du point de vue matériel, le bâti prend alors le potentiel de l'enroulement à l'endroit du court-circuit. Par contre, au niveau de la sécurité des personnes, ce type de défaut peut être très dangereux et il est alors nécessaire de mettre en place des dispositifs de protection (disjoncteurs différentiels) [22]. Dans le cas où le bâti est relié à la terre, ce défaut peut créer un grand courant de terre, qui peut avoir comme conséquence des dommages irréversibles au cœur de la machine [21].

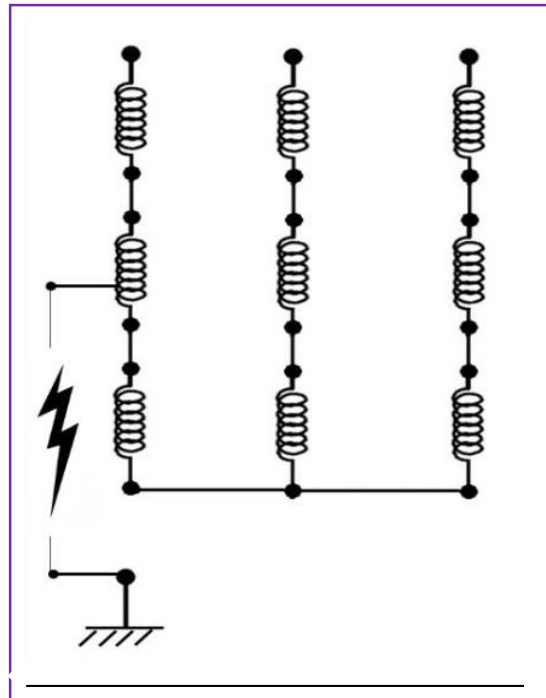


Figure. I.9 : Court-circuit phase/bâti

### III.1.1.3 Les Défauts de mauvais branchement

Aussi appelés les défauts de déséquilibre d'alimentation, bien que ces défauts apparaissent rarement, mais ils existent réellement et leurs conséquences sont redoutables.

Ces défaillances de nature électrique peuvent être aussi bien externes qu'internes. Elles peuvent surgir à n'importe quel moment surtout lorsque le moteur est en service, suite à une mauvaise exploitation du réseau de la part du fournisseur en énergie électrique (SONALGAZ) ou bien suite à une anomalie au niveau de l'appareillage de commutation (contacteur, sectionneur, etc..) ou à des erreurs de branchement de l'utilisateur pendant le montage de l'installation.

### III.1.2 Défaillances au rotor

Les cas de défauts du rotor comptent environ 10% du total des défaillances du moteur asynchrone [23]. Les défauts qui sont les plus récurrents, localisés au niveau du rotor, peuvent être Définis comme suit :

#### a) Rupture de barres

La cassure ou rupture de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor. Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. La détérioration des barres réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique et augmente l'amplitude des oscillations. [24].

Ce défaut induit des modifications dans les courants statorique et entraîne donc l'apparition d'harmoniques caractéristiques dans le spectre de ce signal. En effet, lors du défaut d'une rupture de barre, des harmoniques de flux sont produites et induisent des harmoniques de courant dans l'enroulement statorique aux fréquences spécifiques [25].

L'apparition d'un défaut de rupture de barres n'induit pas à un arrêt de la machine, du fait que le courant qui traversait la barre cassée se répartit sur les barres adjacentes [16].

Ces barres sont alors surchargées, et les contraintes thermiques et électromécaniques engendrées peuvent conduire à leur rupture, et ainsi de suite jusqu'à la rupture d'un nombre suffisamment important de barres pour provoquer l'arrêt de la machine.

### ***b) Rupture d'anneaux***

La cassure de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres dans une machine asynchrone à cage. Ces cassures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux, d'autant que les portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques [26]. Il convient de mentionner, qu'un mauvais dimensionnement des anneaux, conduit à une détérioration des conditions de fonctionnement ou une surcharge de couple et, donc, à des courants pouvant entraîner leur cassure [16,26].

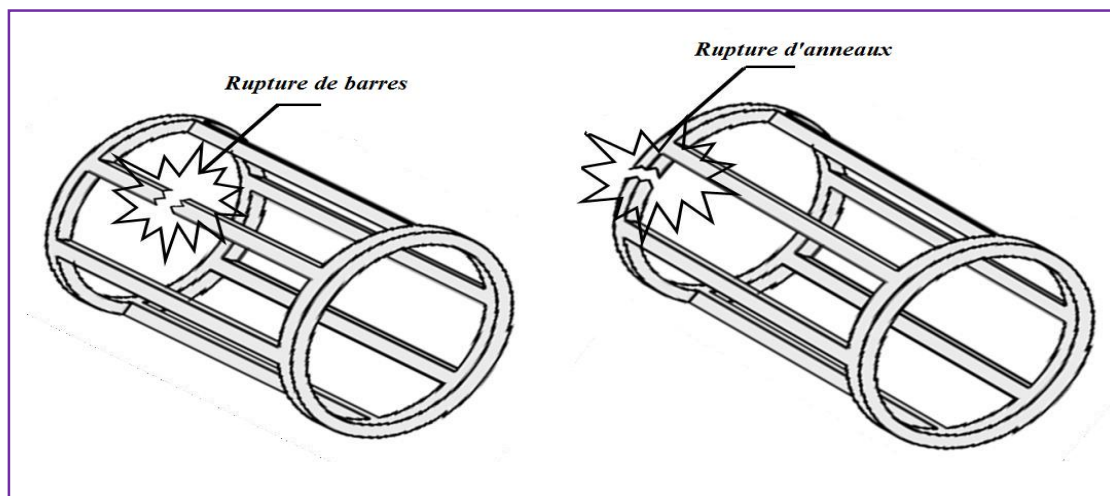


Figure. I.10 : Défauts de rupture de barres et d'anneaux rotoriques.

### ***III. 2. Défaillances d'ordre mécanique***

Les défaillances d'ordre mécanique sont, en général, les plus rencontrées parmi tous les défauts que compte la machine asynchrone. Ces défauts peuvent apparaître au niveau des roulements à billes, des flasques ou encore de l'arbre moteur [17].

### III. 2.1. Défauts de roulements

Les roulements se composent généralement de deux bagues, une intérieure et autre extérieure entre lesquelles existe un ensemble de billes ou rouleaux tournants. Comme il est indiqué sur la Figure I.1, Les défauts de roulements entraînent de manière générale plusieurs effets mécaniques dans les machines tels qu'une augmentation du niveau sonore et l'apparition de vibrations par les déplacements du rotor autour de l'axe longitudinal de la machine [27]. Ce type de défaut induit également des variations (oscillations) dans le couple de charge de la machine asynchrone. Le point ultime de roulements défectueux est le blocage du rotor.

Ce type de défaut est le plus fréquent sur les machines de fortes puissances. Il est généralement lié à l'usure du roulement et plus précisément une dégradation des billes, ou de la bande de roulement. Ses causes possibles :

- l'usure due au vieillissement
- la température de fonctionnement élevée
- la perte de lubrification et l'huile contaminée (par des paillettes métalliques issues de la dégradation des billes ou de la bande de roulement)
- le défaut de montage
- les courants d'arbres (court-circuit)

Les conséquences directes de cette défaillance sur les roulements sont :

- des trous dans les gorges de roulement intérieures et extérieures
- l'attaque des billes
- la corrosion due à l'eau
- défaut de graissage, problème dû à la température
- décollement, effritement de surface provoqué par une surcharge

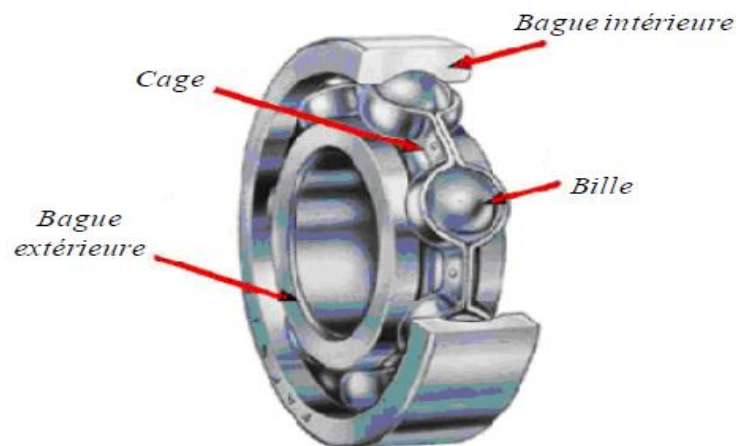


Figure. I.11 : conception d'un roulement à billes

### III. 2.2. Défauts d'excentricité

Dans une machine électrique idéale, le centre du rotor est aligné sur celui du stator, donc l'axe de rotation du rotor est le même que l'axe du stator. L'excentricité de la machine est définie comme une asymétrie dans l'entrefer entre le stator et le rotor.

Ce genre de défaut apparaît suite à la flexion de l'arbre, à un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage, à l'usure des roulements, à un défaut de charge, ou tout simplement à un défaut de fabrication (usinage) la machine. L'excentricité, a pour conséquence néfaste la création d'une attraction magnétique déséquilibrée importante pouvant induire une augmentation des forces électromagnétiques. Celle-ci peut provoquer, dans certains cas, un frottement entre le stator et le rotor, qui peut endommager le circuit magnétique et l'enroulement de ces derniers [22].

Trois catégories d'excentricité sont généralement distinguées [28, 29], on les présente dans la Figure. I.12 :

- L'excentricité statique : généralement due à un désalignement de l'axe de rotation du rotor par rapport à l'axe du stator. La cause principale c'est un défaut de centrage des flasques.
- L'excentricité dynamique: correspond, elle à un centre de rotation du rotor différent du centre géométrique du stator. Ce type d'excentricité est causé par une déformation du cylindre rotorique, une déformation du cylindre statorique ou la détérioration des roulements à billes.
- L'excentricité mixte : en réalité les excentricités statiques et dynamiques ont tendance à coexister, dans ce cas l'excentricité est dite mixte.

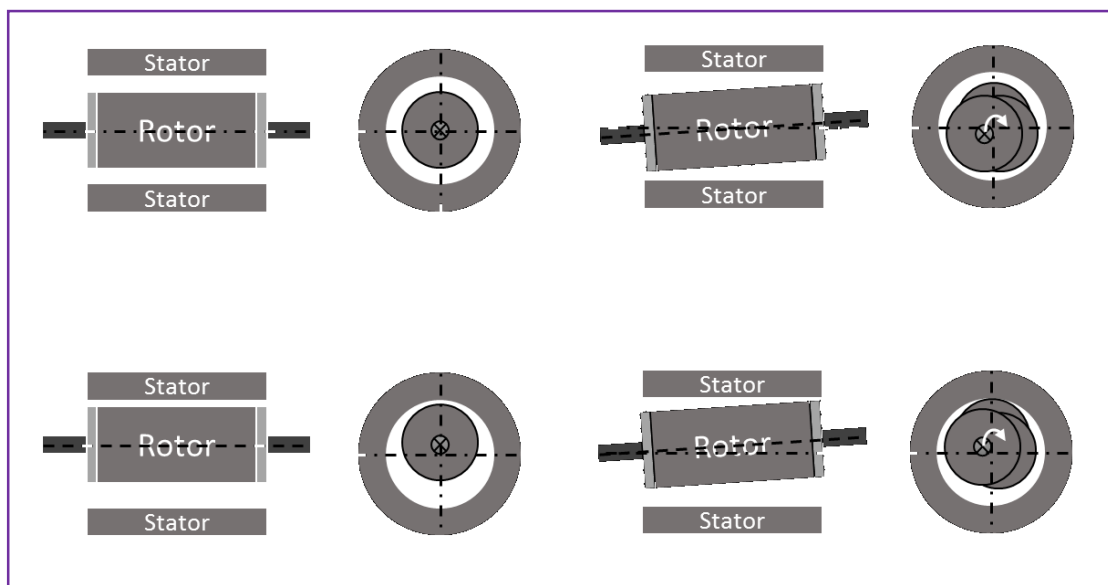


Figure. I.12 : Représentation schématique de défauts d'excentricités.

**IV. Conclusion**

Le chapitre I est consacré à la description de différents organes de la machine asynchrone, ainsi que les différents types de défauts, d'ordre électrique et mécanique survenant sur les moteurs électriques, notamment le défaut d'isolement, court-circuit entre spires, rupture de barre rotorique, excentricité et défauts de roulements...etc.

## ***Chapitre II***

### ***Techniques de supervision et de diagnostic***

***I. Introduction :***

« The Condition monitoring » c'est La surveillance de l'état des moteurs électriques défini comme l'évaluation continue des paramètres de système et la prédiction de la nécessité d'une maintenance sur la machine avant une détérioration grave ou une panne totale, et aussi estimé la santé de la machine et ces équipements tout au long de sa vie de service [20], donc il est crucial de faire la détection et le diagnostic des différentes défauts (FDD) de façon automatique et intelligente pour éviter les défaillances non contrôlé au cours du fonctionnement qui peuvent causé des pertes économique considérable, une dégradation de la qualité et les performance de processus, et même des sérieuses dégâts à la vie et la santé aussi bien pour l'homme que pour l'environnement [31].

Le diagnostic de défaut concerne la détection, l'isolement et l'identification, d'une condition de défaut imminente, ou naissante dans un système à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test. Le terme défaut implique que le système sous observation est encore opérationnel, mais ne peut pas continuer à fonctionner indéfiniment sans intervention de maintenance.

La détection des défauts est l'indication que quelque chose ne vas pas dans le système, tant que l'isolation de défaut est la localisation exacte de celui-ci (le composant qui est défectueux) et l'identification consiste à déterminer la nature et l'ampleur d'un défaut du système ou d'une défaillance. [32,33].

Les méthodes de détection et de localisation des défauts ont connu un essor considérable depuis le début des années 70. En effet, de nombreux chercheurs ont investi dans ce domaine proposant alors diverses approches et techniques répondant à la diversité des applications. [34].

***II. L'utilité du diagnostic***

La recherche se concentre sur les techniques de supervision et le diagnostic des défauts des machines électriques. Ces techniques ont pour but la détermination d'un défaut spécifique qui s'est produit dans le système. Un processus typique de surveillance et de diagnostic des défauts comprend généralement quatre phases comme représenté dans la figure. II.1. Ce dernier à une grande importance dans l'environnement des entreprises due aux raisons suivantes [35,36] :

- Réduire le cout de la maintenance
- Prédire la défaillance des équipements
- amélioration des équipements et la fiabilité des composants
- optimiser la performance des équipements
- améliorer la précision de la prédiction des défauts

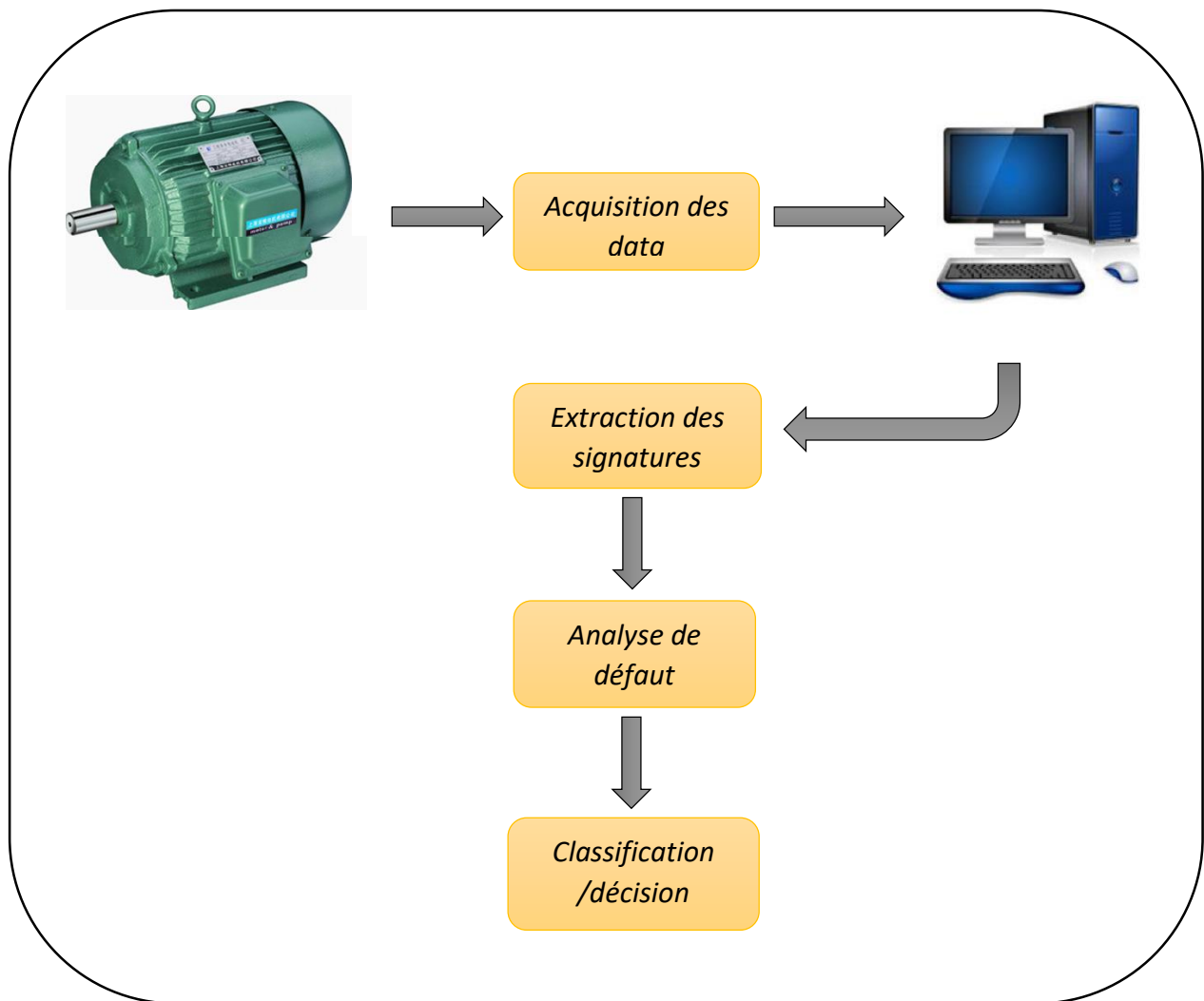


Figure. II.1 : Processus de surveillance et de diagnostic des défauts

### III. Techniques de diagnostic et de détection des défauts

Ces méthodes sont basées soit sur le traitement de signaux issus de capteurs de grandeurs physiques affectées par les défauts, ou soit par des systèmes experts mettant en œuvre des techniques d'intelligence artificielle, ou bien utilisé des techniques qui requiert une connaissance a priori du système ainsi que les paramètres caractéristiques et les équations régissant les phénomènes internes du système.

Ces trois possibilités mènent à trois approches de surveillance et de diagnostic des machines rotatives qu'on peut les classer selon le schéma de la Figure. II.2.

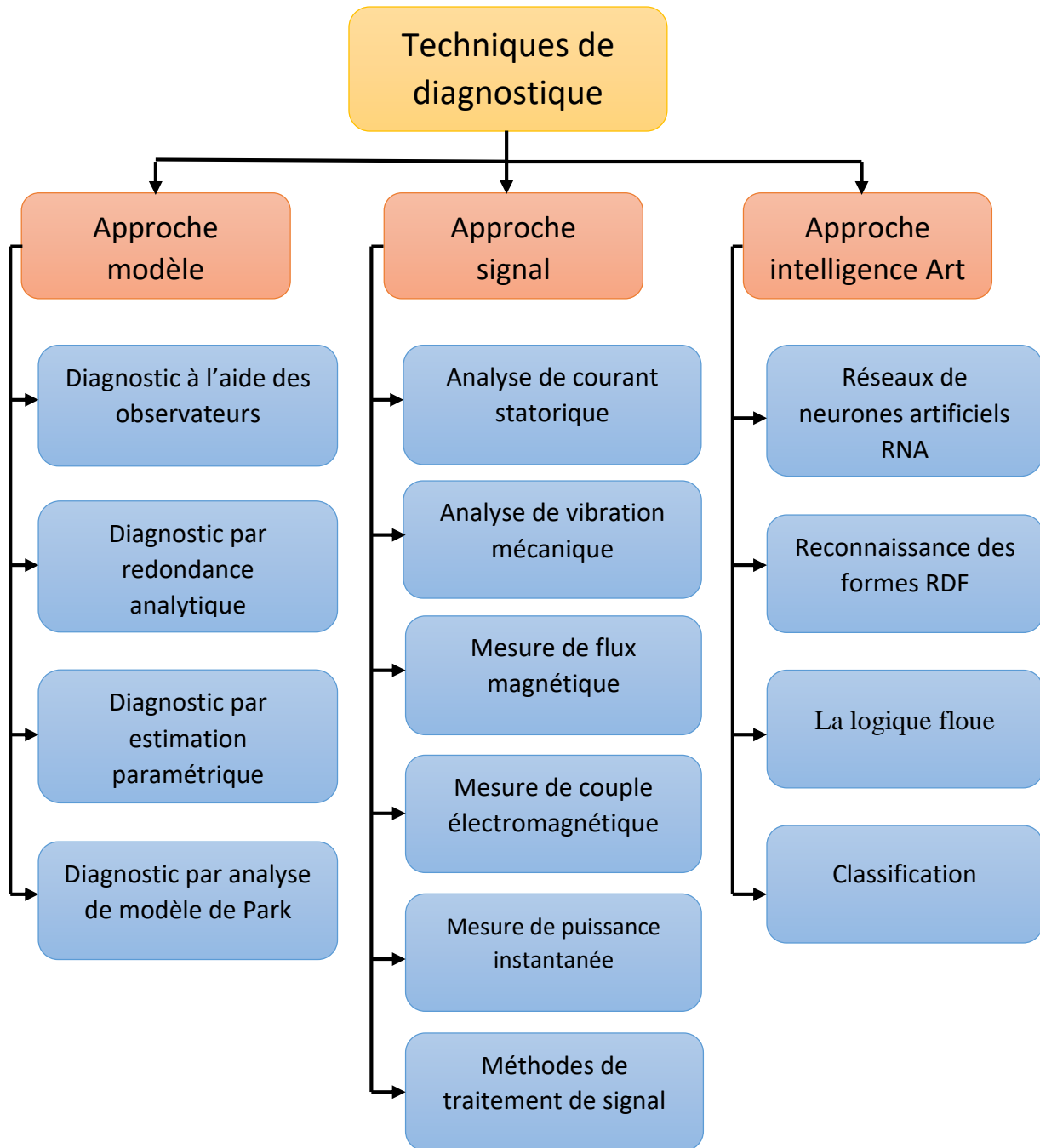


Figure. II.2 : Approches de surveillance et de diagnostic des MAS

**III.1.Approche modèle**

**III.1.1.Diagnostic à l'aide des observateurs**

Les observateurs sont des systèmes dynamiques qui peuvent être utilisés pour la détection et l'isolation de défaut dans des systèmes linéaires ou non linéaires. La méthode des observateurs consiste à reconstruire à partir d'un modèle analytique et d'un ensemble d'observations partielles du système (entrées/sorties) les sorties non mesurables du système par une estimation de l'état du système. Les observateurs permettent d'estimer les valeurs des variables d'état. A partir de ces valeurs reconstruites

et du modèle dynamique, les valeurs des sorties sont calculées. Un vecteur de résidus est obtenu représentant la différence entre les mesures des sorties et les valeurs des sorties estimées [26].

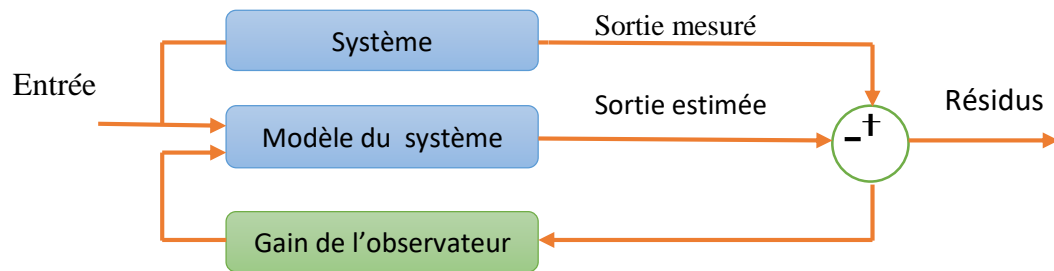


Figure. II.3 : Générateur de résidus à base d'un observateur

### III.1.2. Diagnostic par redondance analytique (espace de parité)

Les méthodes de type espace de parité reposent sur la vérification des relations de redondance analytique (statique ou dynamique) parmi les entrées et les sorties du système. Les relations de redondance analytique sont obtenues en éliminant les variables d'état non observables du modèle. Les relations de redondance analytique sont ensuite utilisées pour construire des indicateurs de défaut pour le diagnostic.

Nous pouvons concevoir un générateur de résidus dans l'espace de parité et ensuite transformer le vecteur de parité afin de générer des résidus. La Figure. II.4 donne le schéma conceptuel d'une approche de type espace de parité pour un générateur de résidus [37].

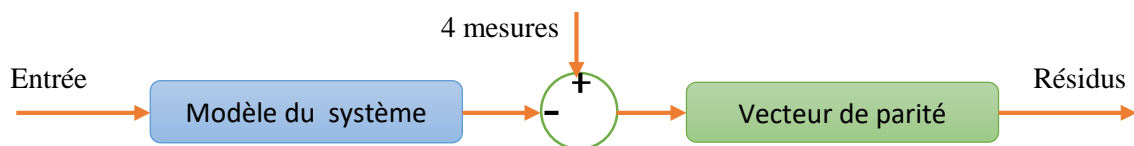


Figure. II.4 : Générateur de résidus dans l'espace de parité

### III.1.3. Diagnostic par estimation paramétrique

Elle est basée sur l'hypothèse que les défauts sont reflétés par les paramètres physiques du système. L'apparition d'un défaut peut être détectée en comparant les paramètres estimés avec ceux du système. Tout écart entre les deux, donnera une indication sur la présence d'un défaut. La Figure. II.5 donne le schéma conceptuel de l'identification paramétrique pour le diagnostic. L'estimation paramétrique possède l'avantage de mesurer l'écart, ce qui est utile pour l'analyse des défauts [37,38].

Toutefois, un des inconvénients majeurs de cette méthode réside dans la nécessité d'avoir un système physique excité en permanence.

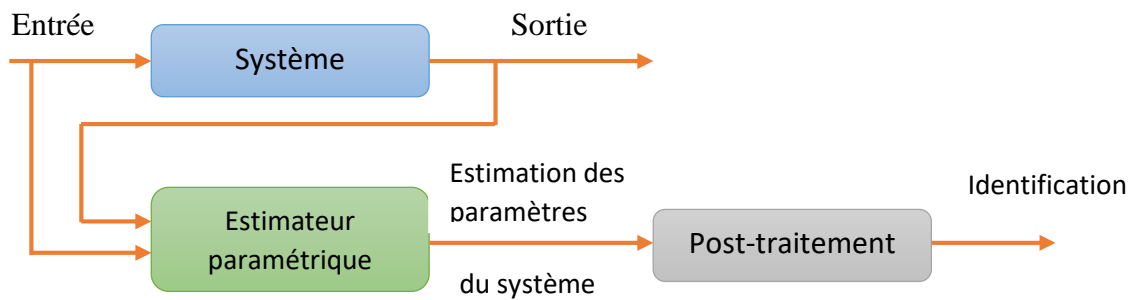


Figure. II.5 : Description schématique d'une estimation paramétrique

### III.1.4. Diagnostic par analyse de modèle de Park

Deux versions d'analyse par cette méthode à savoir :

La première utilise les grandeurs biphasées  $i_{ds}$  et  $i_{qs}$ , qui sont calculées à partir des trois courants d'alimentation, pour l'obtention de la courbe de Lissajou:  $i_q = f(i_d)$ . Le changement de l'épaisseur et de la forme de cette courbe donne une information sur le défaut.

La deuxième est appelée Vecteur de Park Etendu, qui est basée sur l'analyse spectrale du module du vecteur de Park. Elle présente beaucoup d'avantage quant à la détection des défauts statoriques ou rotoriques et même les défauts des roulements.

### III.2. Approche signal

#### III.2.1. Diagnostic par analyse des courants statoriques

L'analyse spectrale des courants statoriques appelée aussi MCSA (Motor Current Signature Analysis) a été utilisée amplement pour la détection des défaillances d'ordre électrique, à savoir les ruptures de barres rotoriques et les courts-circuits dans les bobinages statoriques, Cette approche a été aussi utilisée pour les défauts mécaniques comme la dégradation des roulements et les défauts d'excentricités. L'analyse spectrale des signaux vibratoires a été aussi utilisée pour la détection des défauts d'origine mécaniques, à savoir les défauts de roulements, d'engrenage, d'alignement et d'excentricité [41].

Les signatures fréquentielles caractérisant les défauts sont également perceptibles dans d'autres signaux que les courants statoriques et les signaux vibratoires. De ce fait, l'analyse spectrale a été appliquée sur les signaux de la puissance instantanée, les émissions acoustiques le champ magnétique, et le couple électromagnétique.

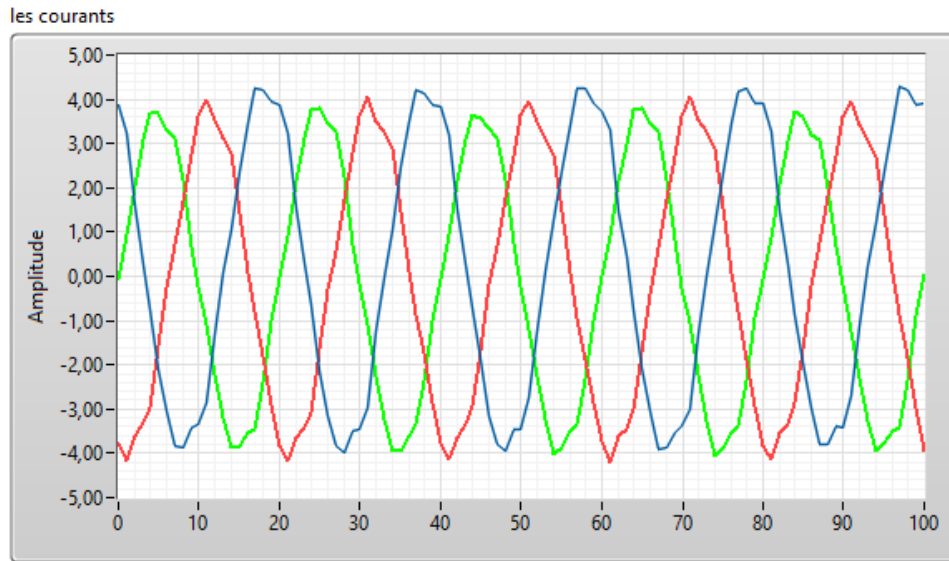


Figure. II.6 : 3 phases de courants statorique d'une MAS

### III.2.2. Diagnostic par analyse des vibrations mécaniques

Le diagnostic des défauts en utilisant les vibrations mécaniques est la méthode la plus utilisée dans la pratique. Les forces radiales [39], créées par le champ d'entrefer, provoquent des vibrations dans la machine asynchrone.

Les vibrations de la machine peuvent être captées par des accéléromètres placés sur les paliers selon les directions axiale, verticale et radiale. Les spectres des signaux de vibrations issus du moteur avec défaut sont comparés avec ceux de références enregistrées lorsque la machine était en bon état. Cette méthode permet la détection aussi bien des défauts électriques que mécaniques puisque la force magnétomotrice contient les effets des asymétries du stator ou du rotor et la perméance dépend de la variation de l'entrefer. Cependant, le coût des capteurs de vibration qui est relativement élevé, ainsi que les difficultés rencontrées dans la connexion de ces capteurs (problème d'accessibilité) représentent les limites et les inconvénients de cette méthode.

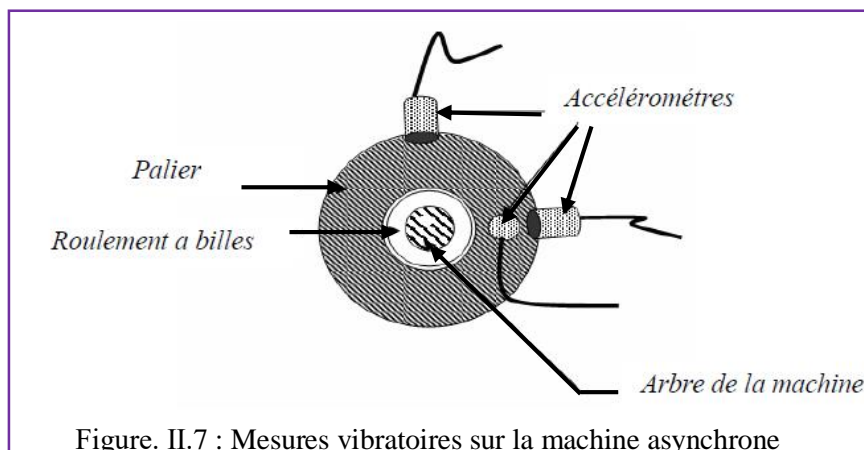


Figure. II.7 : Mesures vibratoires sur la machine asynchrone

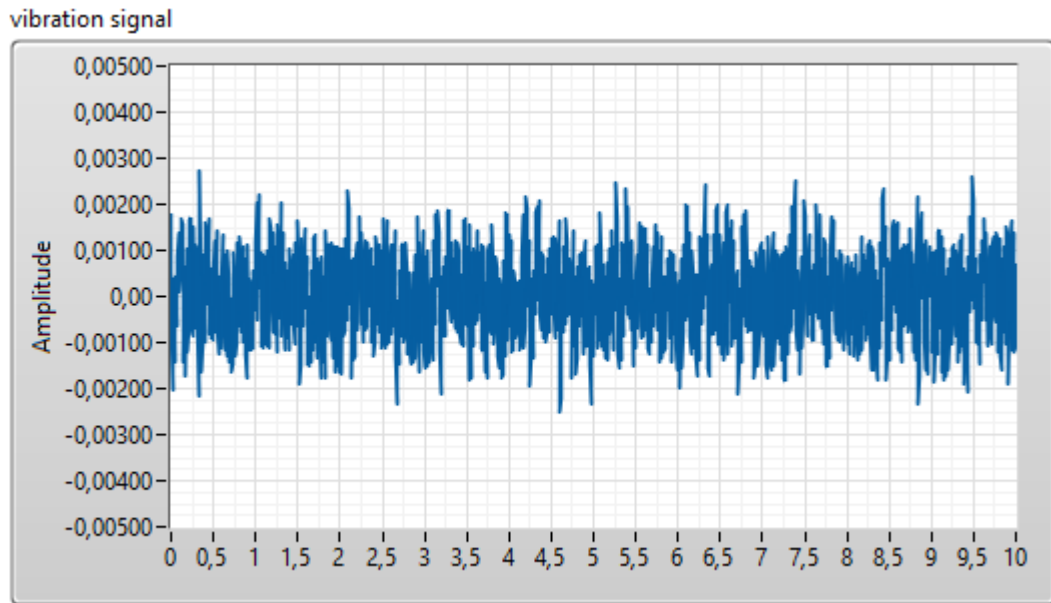


Figure. II.8 : Signal de vibration mécanique

### ***III.2.3.Diagnostic par Mesure de flux magnétique***

Dans une machine idéale sans défauts, les courants et les tensions statorique sont équilibrés, ce qui annule le flux de fuite axial. La présence d'un défaut quelconque, provoque un déséquilibre électrique et magnétique au niveau du stator ce qui donne naissance à des flux de fuite axial de valeurs dépendantes du degré de sévérité du défaut. Si on place une bobine autour de l'arbre de la machine, elle sera le siège d'une force électromotrice induite. Le contenu spectral de la tension induite dans cette bobine, peut être exploité pour détecter les différents défauts [40].

### ***III.2.4.Diagnostic par Mesure du couple électromagnétique***

Le couple électromagnétique développé dans la machine, 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 [42].

L'analyse spectrale du signale du couple (mesuré ou estimé), donne des informations sur l'état de santé de la machine [40].

### ***III.2.5.Diagnostic par Mesure de puissance instantanée***

La puissance instantanée est la somme des produits des courants et des tensions dans les trois phases statorique. Donc, le niveau d'informations apportées par cette grandeur, est plus grand que celui apportées par le courant d'une seule phase. Ceci présente l'avantage de cette méthode par rapport aux autres [40].

III.2.6.Méthode de traitement de signal

Les différentes grandeurs mesurables cités auparavant sont riches en informations caractérisant l'état de la machine, mais afin d'assurer une bonne discrimination des pannes ou défaillances survenant aux différentes parties de la machine, il est nécessaire de rechercher et d'extraire des signatures ou des indicateurs qui peuvent caractériser l'état de la machine et identifier le type et l'origine de défauts. Différentes techniques de traitement de signal ont été utilisées dans ce contexte, elles peuvent être réparties comme suit :

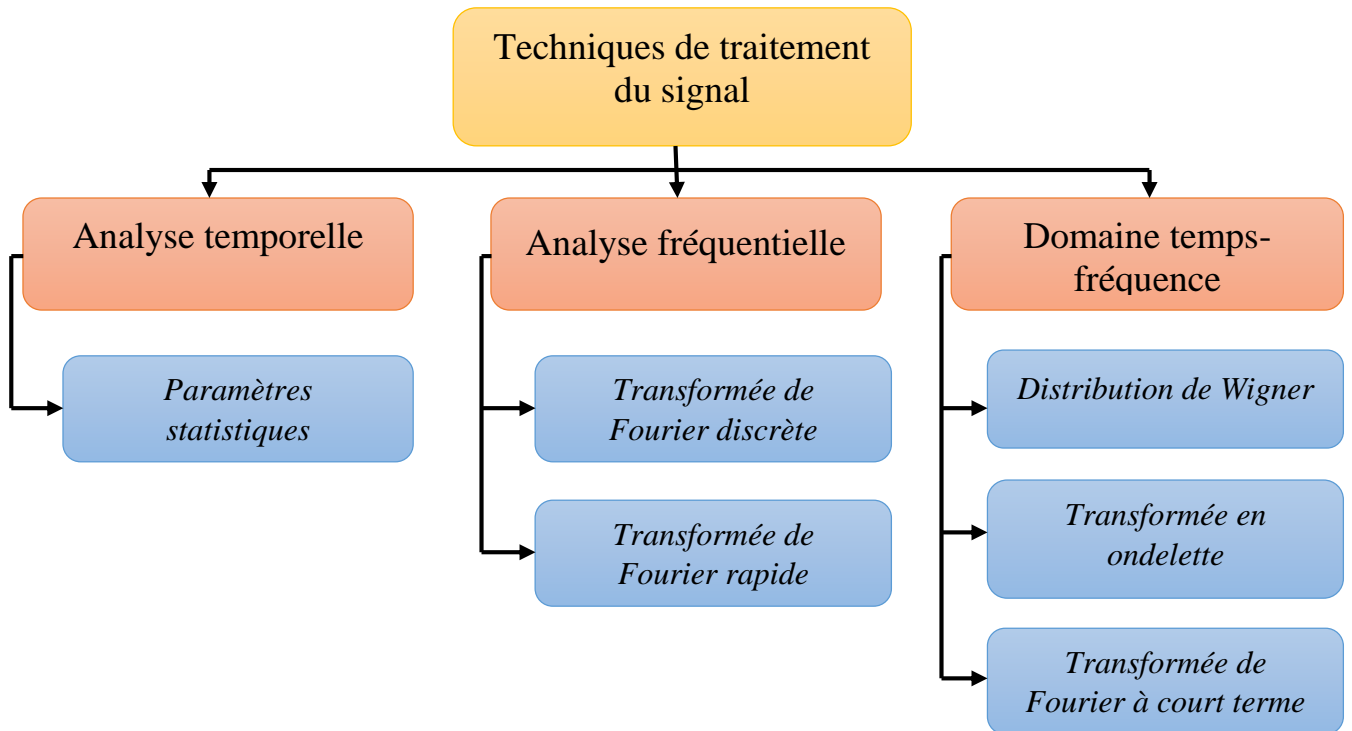


Figure. II.9 : Techniques de traitement de signal pour le diagnostic des MAS

a) Analyse dans le domaine Temporel

L'analyse temporelle permet d'extraire des paramètres indicateurs de défauts à partir de données brutes du capteur. Les paramètres décrits ici sont appelés « paramètres statistiques » car ils sont basés sur une analyse des caractéristiques temporelles du signal enregistré.

La plupart de ces indicateurs sont des paramètres énergétiques relatifs à l'amplitude, on peut citer par exemple :

- La valeur moyenne : la valeur moyenne notée  $\bar{x}$  d'un signal sur une fenêtre d'échantillons de données est un paramètre significatif pour presque chaque type de capteur.

Elle est définie par :

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N xi$$

Où  $xi$  est la  $i$  éme donnée et  $N$  est le nombre de points échantillon choisi pour représenter le signal.

- *La variance* : la variance notée  $\delta^2$  est une mesure servant à caractériser la dispersion d'une distribution ou d'un échantillon. Elle est définie par :

$$\delta^2 = \frac{\sum_{i=0}^N (xi - \bar{x})^2}{N}$$

- *La valeur efficace* : la valeur efficace (dite aussi valeur RMS, de l'anglais *Root Mean Square*, ou moyenne quadratique) d'un signal, est la racine carré de la variance du signal :

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (xi - \bar{x})^2}{N}}$$

C'est l'un des paramètres le plus utilisé dans l'analyse temporelle. Une augmentation de la valeur du RMS indiquera une dégradation de l'état de santé du système.

- *Le Kurtosis* : le Kurtosis noté *Skurt* représente le moment statique d'ordre 4. Il mesure le degré d'écrasement de la distribution du signal vibratoire enregistré et est défini comme étant le rapport entre le moment d'ordre quatre centré et le carré de la variance.

$$S_{kurt} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (xi - \bar{x})^4}{(\delta^2)^2}$$

Un système en bon état engendre un signal vibratoire avec un Kurtosis voisin de 3. Pour un système dégradé, l'amplitude du signal est modifiée et le Kurtosis devient supérieur ou égal à 4.

- *Le facteur de crête* : le facteur de crête noté *Fc* est une mesure caractéristique d'un signal vibratoire. C'est le rapport entre l'amplitude du pic du signal et la valeur efficace du signal. Il est défini par :

$$Fc = \frac{|x_{pic}|}{RMS}$$

Un système en bon état génère un signal vibratoire de faible amplitude, aussi bien en valeur crête qu'en valeur efficace.

- *Le Skewness* : le Skewnes noté *Skew* représente le moment statique d'ordre 3 centré sur le cube de l'écart-type. Il mesure la symétrie de la distribution, ou plus précisément le manque de symétrie. Une distribution est symétrique si elle présente la même allure de part et d'autre du signal. Il est défini comme suit :

$$S_{kew} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (xi - \bar{x})^3}{\delta^3}$$

L'analyse temporelle a été appliquée beaucoup plus sur les signaux vibratoires et acoustiques pour la surveillance et la détection des défauts mécaniques [43]. Cependant, vu que chaque élément de la machine a une contribution individuelle au signal global de vibration, l'analyse dans le domaine

temporel des vibratoires ne permet pas de détecter de manière fiable un défaut, ni d'identifier son origine. C'est la raison pour laquelle d'autres travaux ont fait attention à l'analyse dans le domaine de fréquence [44].

**b) Analyse dans le domaine Fréquentiel**

L'analyse du spectre fréquentiel d'un signal est la technique la plus couramment utilisée pour identifier les défauts dans un système. Cette technique est basée sur le fait qu'un défaut localisé génère un signal périodique avec une fréquence caractéristique unique. À l'inverse de l'analyse temporel, l'analyse fréquentielle permet d'identifier le défaut présent dans le système en identifiant sa fréquence caractéristique (harmoniques).

Cette technique est généralement appliquée pendant le régime permanent du système. Parmi les techniques utilisées dans le domaine fréquentiel est l'analyse spectrale par **transformée de Fourier rapide FFT** :

Considérons le signal  $x(t)$  à temps continu. Si  $x$  est à énergie finie, sa transformé de Fourier à une fréquence  $f$  est la suivante :

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-2\pi f t} dt$$

Son inverse est donnée par :

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) e^{-2\pi f t} df$$

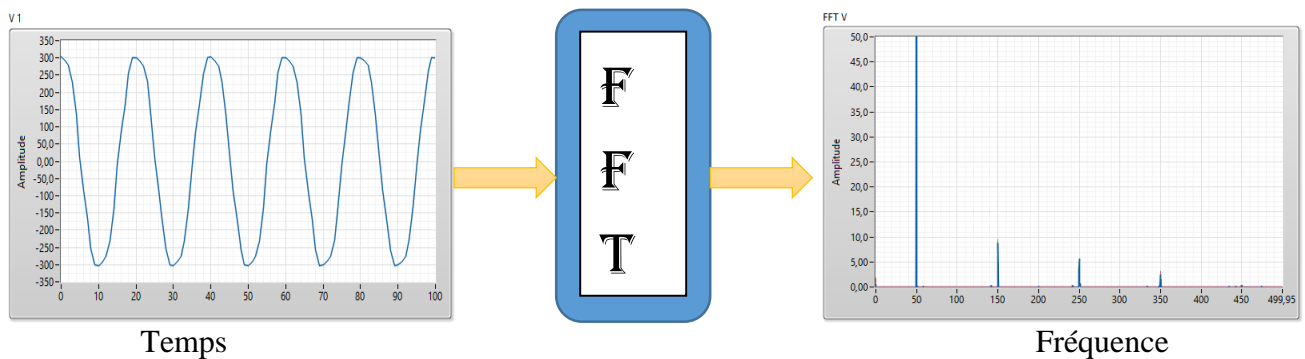


Figure.II.10 : Représentation temporel au fréquentiel d'une sinusoïde par FFT

Sa transformée de Fourier discrète de  $N$  points avec une période d'échantillonnage  $T$  est donnée par :

$$x\left(\frac{f}{NT}\right) = \frac{1}{N} \sum_{K=0}^{K=N-1} x(KT) e^{-\frac{2\pi f kT}{NT}}$$

Et sa relation inverse est donnée par :

$$x(kT) = \frac{1}{N} \sum_{K=0}^{k=N-1} x\left(\frac{f}{NT}\right) e^{-j\frac{2\pi f kT}{NT}}$$

La transformée de Fourier rapide (FFT) est un algorithme de calcul rapide de la transformée de Fourier discrète. Cette transformation fait clairement ressortir le contenu fréquentiel du signal  $x(t)$ . En effet, la FFT décompose le signal  $x(t)$  sur une base de vecteurs propres sinusoïdaux  $\{e^{2\pi f kT}\}$ . Malheureusement, ceci convient pour des signaux stationnaires dont les propriétés statistiques sont invariantes dans le temps [45].

La technique de spectrogramme permet d'effectuer des analyses fréquentielles des signaux en régime dynamique de fonctionnement du système. Cette technique consiste à effectuer un calcul répétitif de la FFT sur une fenêtre temporelle glissante, ce qui rend cette technique sensible à la longueur de la fenêtre, au type de fenêtrage, à la durée totale de supervision et au pas de glissement de la fenêtre. Bien que cette technique permette d'analyser des signaux en régime dynamique, la rapidité du régime dynamique, qui est dans le cas des machines asynchrones de l'ordre de 150ms, réduit significativement l'efficacité de cette technique.

### *c) Analyse temps-fréquence*

L'analyse en temps-fréquence des signaux traite à la fois le domaine temporel et le domaine fréquentiel. Les signaux non stationnaires sont mieux représentés par une distribution temps-fréquence, qui vise à montrer la répartition de l'énergie du signal sur l'espace à deux dimensions temps-fréquence [46].

Les techniques les plus utilisées pour l'analyse temps-fréquence sont :

- La transformée de Fourier à court terme (STFT) : Cette technique suppose que la variation du contenu fréquentiel d'un signal est peu considérable sur un petit segment (fenêtre) d'analyse. Donc, on divise le signal en fenêtres courtes et consécutives, puis on calcul la Transformée de Fourier classique pour chaque segment.
- La distribution de Wigner-Ville : est aussi une technique d'analyse temps-fréquence largement utilisée pour le diagnostic des machines. La DWV peut être interprétée comme étant la distribution de l'énergie du signal dans le plan temps-fréquence, elle permet une meilleure résolution temps-fréquence par rapport à la STFT, offrant ainsi à un diagnostic relativement précis. Cette technique permet aussi la détermination de la fréquence instantanée.
- La transformée en ondelettes : Son principe repose sur la décomposition d'un signal dans une base de fonctions particulières les ondelettes sont des fonctions oscillantes au sens large, rapidement amorties, contrairement aux fonctions sinusoïdales de l'analyse de Fourier. Par ailleurs, les ondelettes possèdent la propriété de pouvoir être bien localisées en temps ou en fréquence.

### III.3.Approche intelligence artificiel

#### III.3.1.Réseaux de neurones artificiels RNA

Le principe des réseaux de neurones s'inspire des neurones biologiques. Le modèle du neurone formel se comporte comme un opérateur effectuant une somme pondérée de ses entrées, suivie d'une non linéarité, appelée fonction d'activation, responsable du comportement du neurone. Un réseau de neurones comprend un certain nombre de couches de neurones interconnectés. Couches d'entrées, couches cachées et couches de sortie. L'entrée représentée par les nœuds de sources fournit des poids d'accès physiques pour l'application des signaux d'entrées. Les neurones dans la couche cachée, se comportent en détecteurs de caractéristique, tandis que, les neurones dans la couche de sortie présentent à l'utilisateur les conclusions obtenues par le réseau, ou la réponse aux signaux d'entrées (figure II.11). Une loi d'apprentissage permet d'ajuster les poids des connexions afin d'avoir les performances désirées.

L'initialisation du réseau de neurones est un processus itératif d'ajustement des poids et des biais de manière à minimiser un critère d'erreur. Elle constitue la phase d'apprentissage.

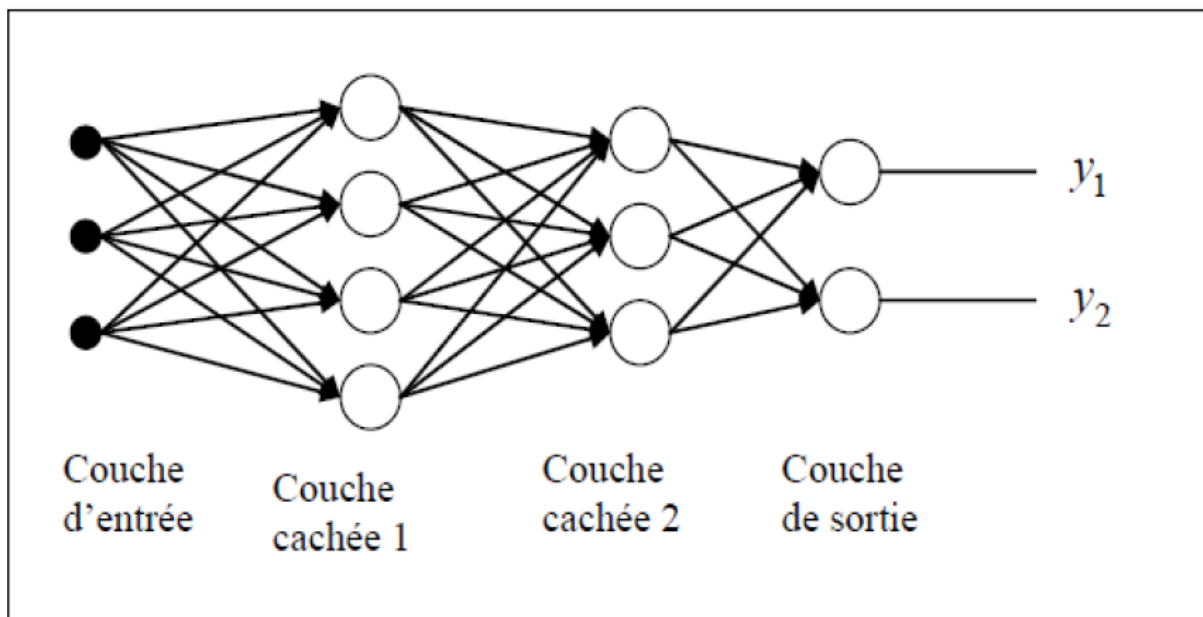


Figure.II.11 : Le neurone formel et l'architecture des RNA.

#### III.3.2.Reconnaissance des formes RDF

La Reconnaissance des formes (RdF) repose sur le classement des objets ou formes en le comparant à des formes-types. On applique la RdF, pour le diagnostic des défauts de la machine asynchrone. Un vecteur de paramètres, appelé vecteur forme, est extrait de chacune des mesures effectuées sur la machine. Les règles de décisions utilisées ont permis de classer les observations décrites par le vecteur forme, par rapport aux différents modes de fonctionnement connus avec ou sans défaut. Cette approche permet une classification avec un taux d'erreur presque nul. Toutefois les performances de

cette méthode sont liées au choix du vecteur forme. L'approche RdF est une méthode bien adaptée au domaine du diagnostic des défauts. Elle requiert une phase d'apprentissage qui peut être non supervisée. Mais ces méthodes requièrent des volumes de calcul important, parfois incompatible avec une exploitation temps réel [47].

### **III.3.3. La logique floue**

La logique floue est issue de la théorie mathématique des ensembles flous qui considère des ensembles définis de manière graduelle. A l'inverse de la logique booléenne, la logique floue associe à une donnée un degré d'appartenance à un ensemble qui peut être différent d'un état booléen 0 ou 1. Le modèle de référence utilisé par ces méthodes de classification est le résultat d'un processus d'apprentissage. Aucune garantie ne peut être donnée quant à la complétude, la cohérence et la précision du modèle. De plus, la phase d'apprentissage nécessite qu'un grand nombre de données soient disponibles (données collectées à partir des mesures réelles).

### **III.3.4. Méthodes de prises de décision (classification)**

De manière générale, on peut diviser les méthodes de classification entre méthodes avec apprentissage supervisé et méthodes avec auto-apprentissage. Les méthodes avec apprentissage supervisé ont besoin de connaître "*a priori*" les classes associées aux données d'entraînement.

Dans tous les cas, un vecteur résumant l'information (individu) qui correspond aux échantillons du système, est analysé pour trouver les caractéristiques des classes. La différence entre les deux types de méthodes est la phase d'apprentissage.

Dans le contexte des méthodes basées sur la fouille de données, les méthodes qui se situent dans le "*Machine Learning*" permettent d'obtenir des règles ou des expressions de classification plus simples, de telle sorte que les résultats obtenus soient facilement interprétables. Un des objectifs de ces méthodes est que l'intervention humaine dans la phase d'entraînement soit minimale et qu'en même temps, les classes obtenues soient facilement interprétables.

## **IV. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons exposé, les techniques et les outils adoptées pour le développement des systèmes de diagnostics pour la détection de défauts électriques et mécaniques dans la machine asynchrone. Ces approches fournissent des signatures caractéristiques relatives aux défauts survenant sur la machine. En générale ces approches utilisent des techniques de traitement de signal dans les domaines temporel et fréquentiel, elles nous permettent d'améliorer la qualité du diagnostic et de faciliter la prise de décision sur l'état de santé de la machine sous surveillance.

*Chapitre 3*  
*Introduction au Labview*

### I. Introduction

Le langage de programmation graphique LabVIEW « Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench » développé par la société National Instrument à partir de 1983 , est un environnement de programmation à caractère universel particulièrement bien adapté à la mesure, au test, à l'instrumentation et à l'automatisation. Un logiciel d'automatisation pourrait être défini comme un programme permettant de contrôler et commander un processus physique externe allant du simple capteur ou actionneur à la chaîne de fabrication [48-50].

Le temps nécessaire à l'assemblage d'un système de mesure ou de contrôle/commande est un en général négligeable par rapport à celui nécessaire à sa programmation dans un langage classique (C, Pascal, etc.) les utilisateurs disposent avec LabVIEW d'un outil intégré d'acquisition, d'analyse et de présentation des données, une solution qui entraîne un gain notable de productivité. Couplé à des cartes d'entrées/sorties, il permet de gérer des flux d'information numérique ou analogiques et de créer ou de simuler des instruments de mesure (oscilloscope, compteur d'impulsion, multimètre, etc.) [48,49].

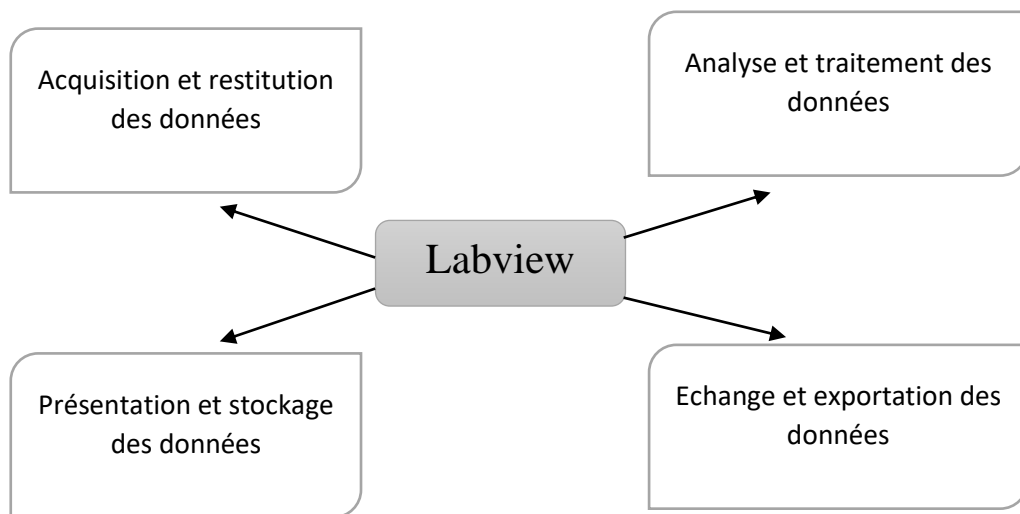


Figure. III.1 : Fonctions de base proposées par l'environnement LabVIEW

## II. Fonctionnement de LabVIEW

### II.1. Débuter avec LabVIEW

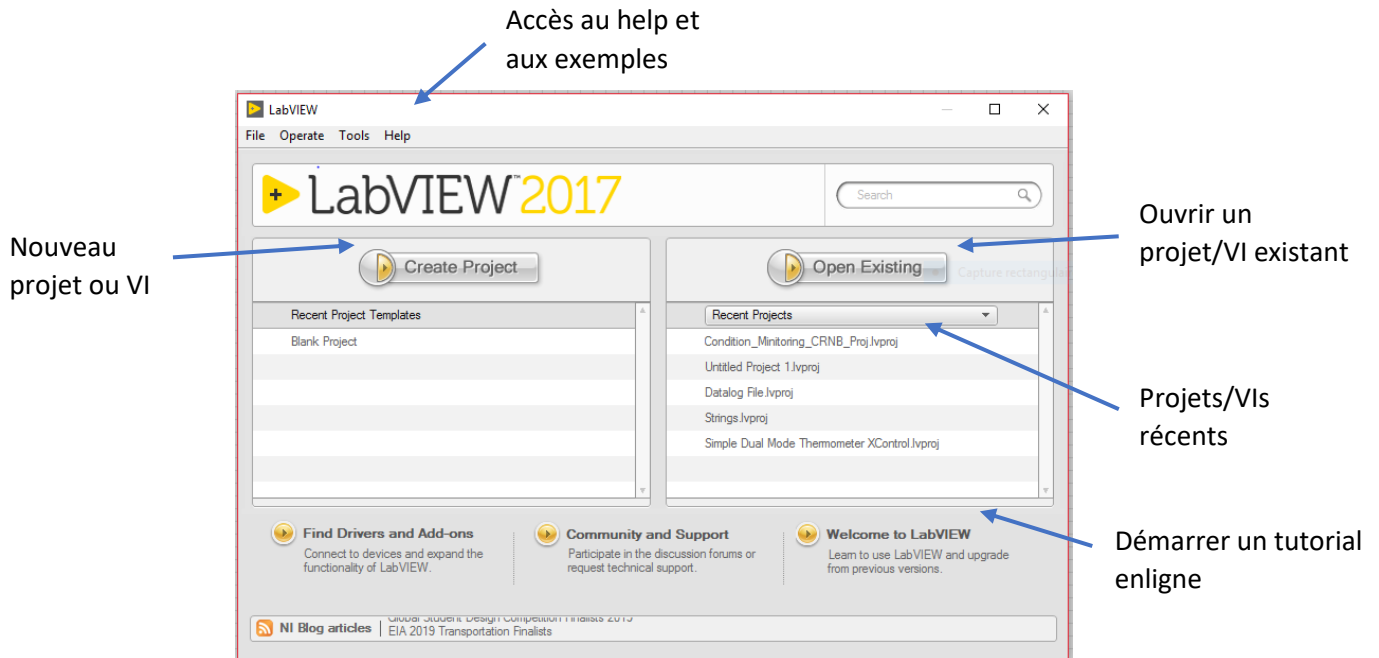


Figure. III.2 : Page d'accueil de LabVIEW

Une application LabVIEW est représentée sous forme d'un VI (virtual instrument).

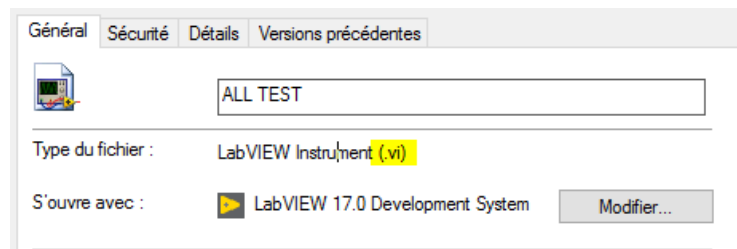


Figure. III.3 : Format d'un fichier LabVIEW

L'ouverture d'un nouveau projet est nécessaire lorsqu'on a besoin de travailler avec des périphériques branché avec notre PC comme les cartes d'acquisitions, sinon un nouveau VI est suffisant pour la réalisation de notre programme. Après l'ouverture de notre projet/VI deux fenêtres vont apparaitre qui représentent nôtres espace de travail :

- Face-avant (front panel) : qui est la conception de l'interface utilisateur ou l'on dessine et place tous les éléments visuels, elle est construite en utilisant des objets dénommés commande et indicateurs. Les commandes sont des entrées qui servent à saisir des valeurs à l'écran et les indicateurs sont des sorties qui servent à afficher des variables ou des résultats de calculs :

- Commande d'entrées: bouton, interrupteur, potentiomètre, curseur...etc.
- Indicateurs de sorties : voyant, graphe, thermomètre, zone de texte ...etc.

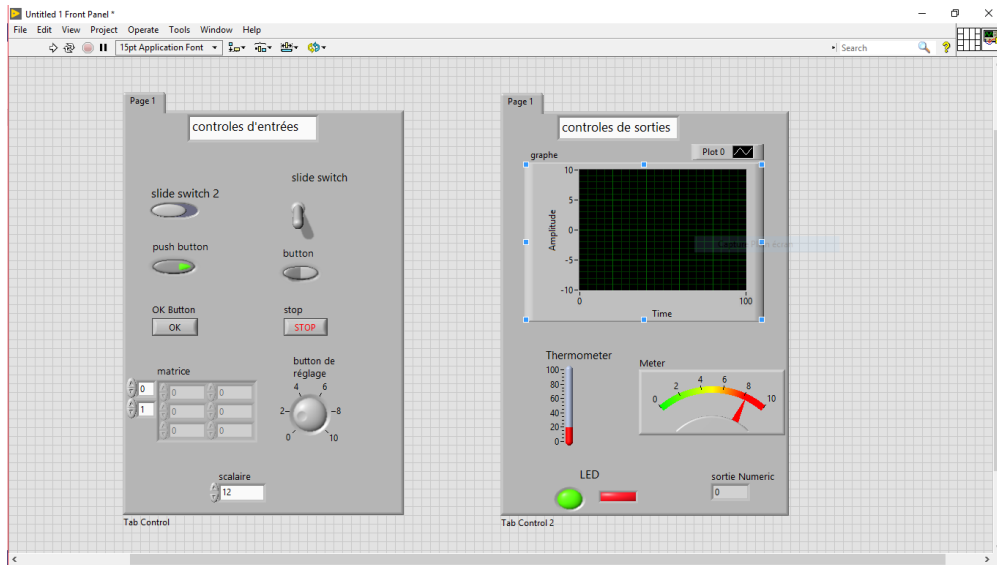


Figure. III.4 : La « face-avant » (Front panel) avec des contrôles d'entrées/sorties

- Le Diagramme (Block Diagram): il est présenté dans une fenêtre séparée. Il contient le code source graphique du VI, il permet d'effectuer des opérations sur les entrées/sorties créées auparavant dans le front panel. Résultats expérimentaux

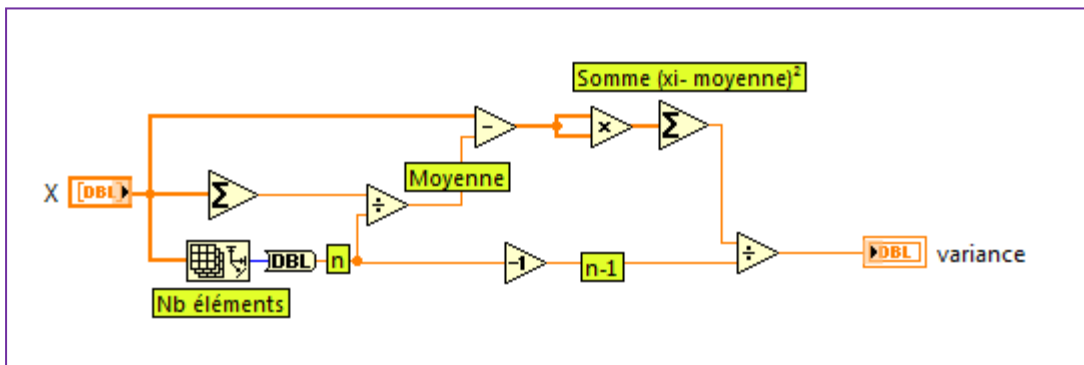


Figure. III.5 : Un diagramme LabVIEW, avec un code en langage G

Chaque contrôle utilisé dans le front panel va créer un objet terminal dans le Block Diagram et non pas le contraire.

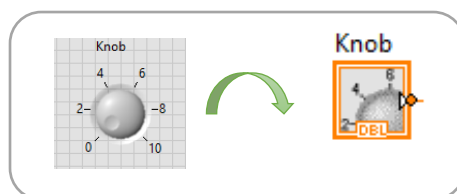


Figure. III.6 : Contrôle en front panel et en block diagram

Le diagramme utilise le langage de programmation G qui est un langage graphique, différent des autres langages comme (Pascal, C, ou encore Fortran), qui eux sont des langages textuels.

Le langage utilisé dans le block diagram se résume à relier les icones présentes entre elles par des connexions, ces icones peuvent être :

- Des terminaux (d'entrée ou de sortie)
- Des variables, tableaux, clusters...
- Des petite fonctions simple (fonction arithmétiques, fonctions logiques, comparateurs, chaînes de caractères)
- Des fonctions d'affichage (générateurs de graphiques)
- Des fonctions plus complexes (transformée de Fourier rapide, filtre numérique)
- Des fonctions d'acquisition ou de générateurs des signaux
- Des VI à part entière

**II.2. Les types de connexion**

	scalaire	Vecteur 1D	Vecteur 2D
<b>Entier</b>	_____	_____	=====
<b>double</b>	_____	_____	=====
<b>Booléen</b>	_____	.....	.....
<b>caractère</b>	_____	.....	.....

Tableau. III.1 : Différents types de connexion dans LabVIEW

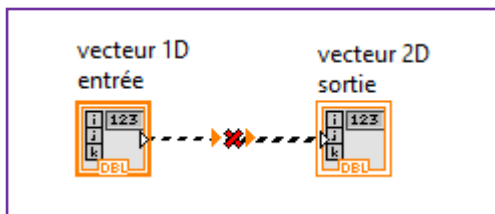


Figure. III.7: Liaison erroné entre deux contrôles

**II.3. Les palettes**

**a) Palettes d'outils**

Un outil est un mode d'opération spécial du curseur souris, ces outils sont utilisés pour effectuer des fonctions d'édition spécifiques. On peut créer, modifier, déplacer et d'autre opérations en servant

Des outils situé dans la palette d'outils flottante, voir figure. III.8.

Quand la sélection d'outil automatique est activée, LabVIEW va automatiquement choisir l'outil correspondant lorsque vous déplacez le curseur au-dessus des objets soit dans le front panel ou le block diagram.

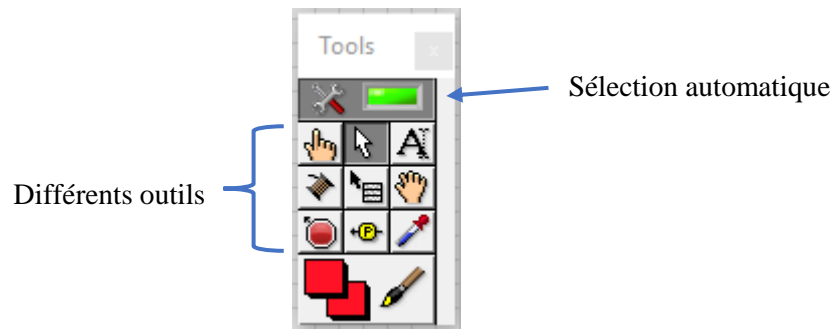


Figure. III.8: La palette d'outils de LabVIEW

**b) Palettes du contrôle**

Elle contient un ensemble complet des objets, des fonctions, des icônes de contrôles disponible dans le LabView qu'on les utilise pour la création des VIs. On peut l'accéder par un clic droit de souris puis choisir l'objet ou la fonction désirée et la mettre soit dans le front panel ou le block diagram.

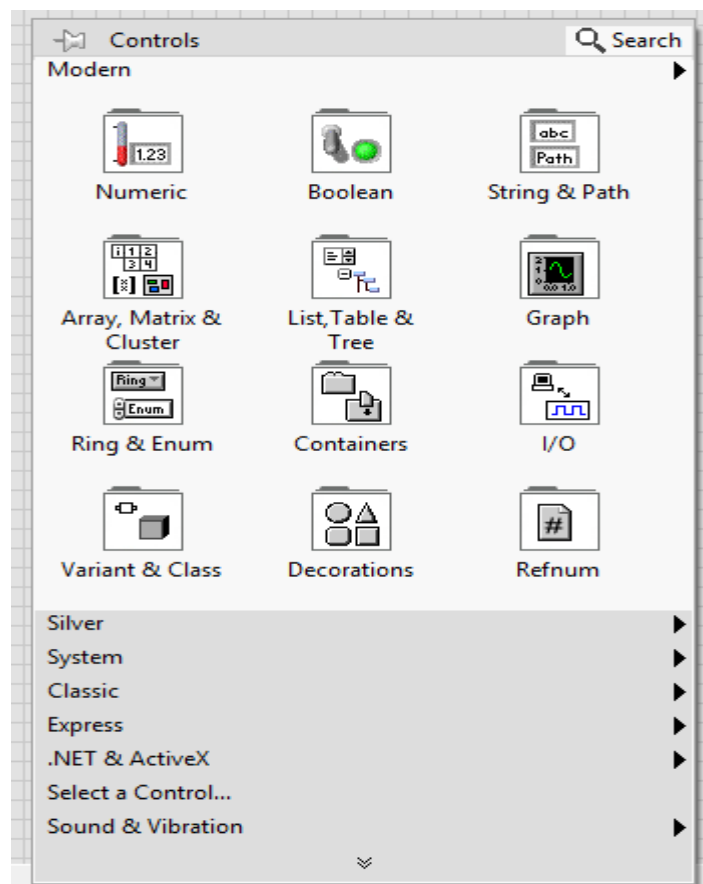


Figure.III.9 : La palette de contrôle de LabView

### II.4. Le HELP

C'est l'option la plus fréquente et la plus utilisée lorsque vous débutez avec le LabView, Il contient des descriptions détaillées de tous objets dans le LabView.

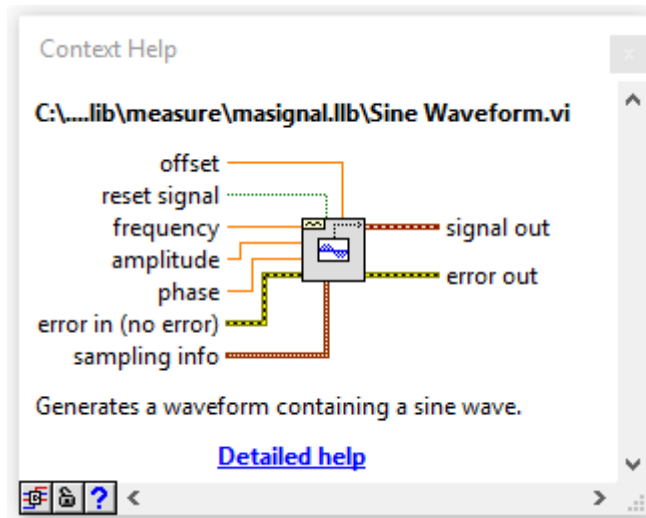


Figure. III.10 : La fenêtre de Help contextuel de LabView

### II.5. Fonctions et structures de LabView

#### a) Les fonctions

Nous allons étudier les fonctions auxquelles on pourra faire appel dans la palette de contrôle pour la réalisation de notre VI

- Les fonctions sur les nombres : on parle sur les fonctions arithmétiques de bases et les fonctions de manipulation des booléens (fonctions logiques).

Exemple : cette fonction permet d'effectuer des opérations de bases sur plusieurs nombres (addition, multiplication) ou plusieurs booléens (ou, et, xor, nor).

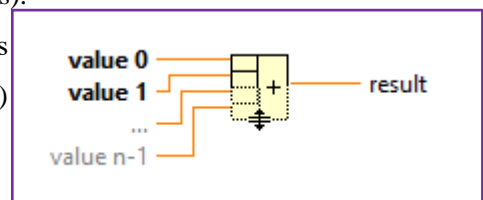


Figure. III.11 : Composants arithmétiques

- Les fonctions sur les chaînes de caractère :

Exemple : cette fonction permet de concaténer deux chaînes de caractères dans une seule chaîne

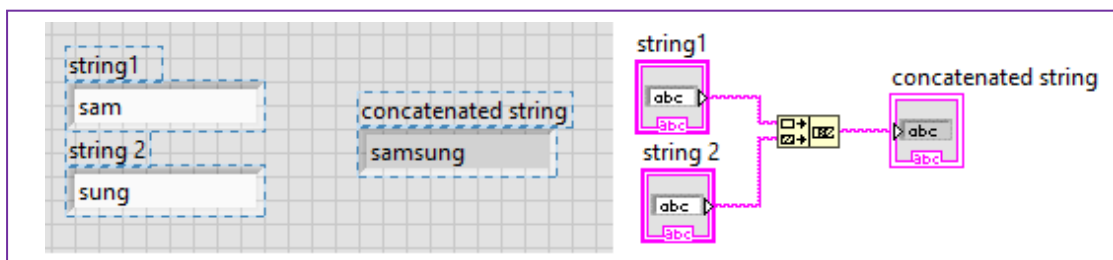


Figure. III.12: Fonction concaténations des caractères

- Les fonctions sur les tableaux : il y a plusieurs fonctions à faire sur les tableaux, voici un exemple pour la création d'un nouveau tableau.

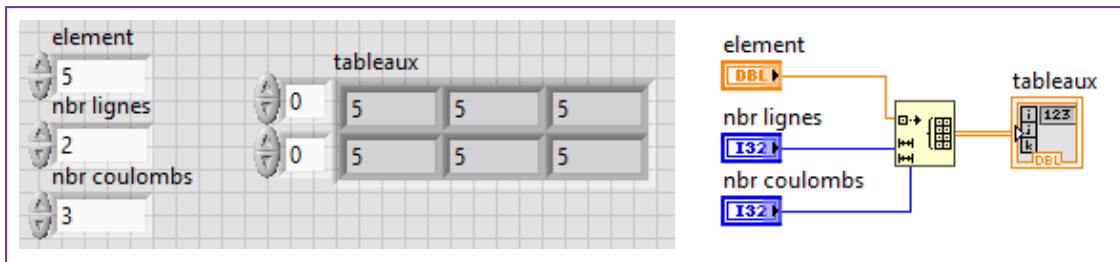


Figure. III.13 : Création d'un nouveau tableau

- Les fonctions sur les clusters : les clusters sont des assemblages de différents types de données.  
Par exemple cette méthode permet d'extraire les différentes données contenues dans un cluster afin de les récupérer dans des variables distincts.

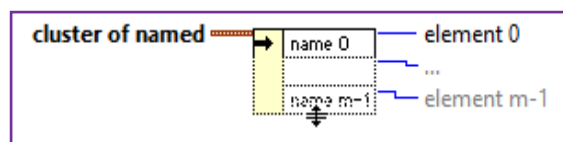


Figure. III.14: extraction des données d'un cluster

- Les fonctions sur les fichiers : on trouve dans cette catégorie les fonctions utiles pour la manipulation des fichiers (ouvrir, écrire, lire ...).

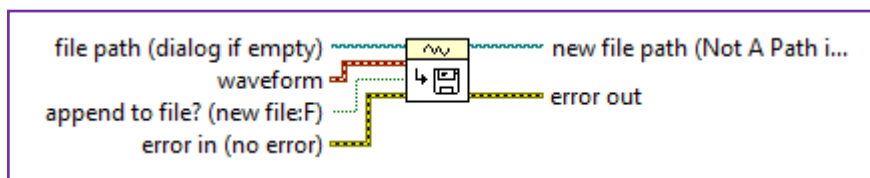


Figure. III.15 : Fonction créer un fichier sous LabView

Dans cette exemple on utilise une fonction pour la création d'un nouveau fichier ou l'ajouté à un fichier existant.

### b) Les structures

Pour permettre une programmation productive, Labview propose l'utilisation de structures de contrôles au sein d'un block diagram. Nous allons ici présenter ces différentes structures et leur utilisation.

- La boucle FOR : cette structure est utilisée pour une exécution répétitive d'un programme (subdiagram), quand le nombre d'itérations déterminé par l'utilisateur est terminé, le programme va sortir de la boucle for pour passer à l'étape suivante du programme. Dans cet exemple la boucle va se répéter 50 fois.

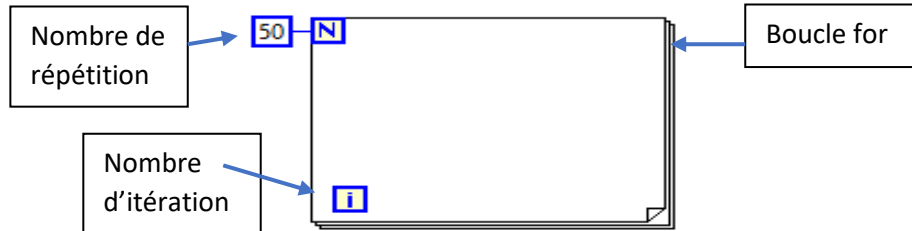


Figure. III.16 : La boucle **For** du Labview

- La boucle While : elle a aussi le même rôle que la boucle for, mais la fin de l'exécution de cette boucle dépend d'une condition logique d'arrêt défini par l'utilisateur, après chaque itération le programme vérifie si la condition d'arrêt est vraie ou fausse. On donne ce petit exemple explicatif, le dés génère des valeurs aléatoires  $x$  ( $0 < x < 1$ ), la condition est si après multiplication fois 10 de la valeur  $x$  et qu'elle soit supérieure à 8, le programme sort de la boucle. On remarque qu'il s'est exécuté 4 fois.

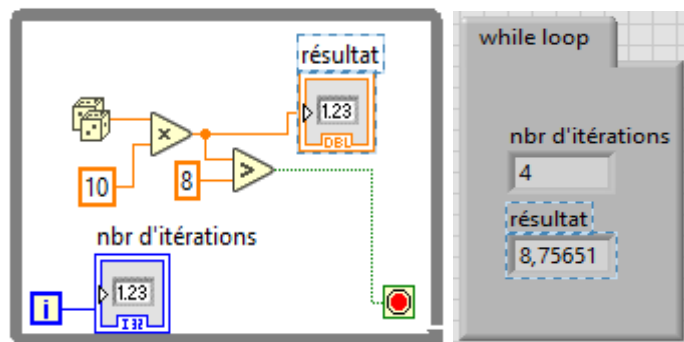


Figure. III.17: La boucle **While** du Labview

- La structure séquence : elle permet d'ordonner une suite d'opérations précises. On peut ajouter des timer pour définir le temps d'exécution de chaque séquence avant de passer à la suivante. sinon le programme de la séquence 2 va s'exécuter qu'après la fin de la séquence 1.

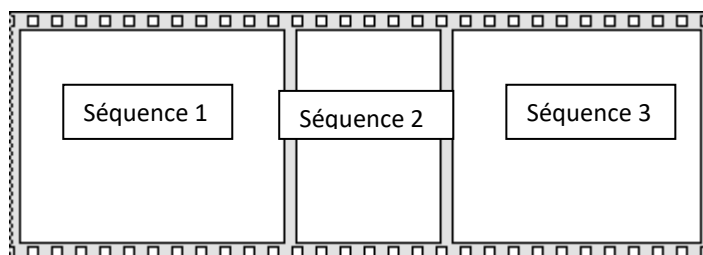


Figure. III.18: La structure séquence de Labview

- La structure selecte «if» : elle correspond à une structure condition d'un langage de programmation classique, une condition est testée en entrée de la structure et suivant le résultat de cette condition, les opérations correspondantes au cas vrai ou au cas faux sont exécutées. Ici dans cette exemple on calcul la racine carrée d'un nombre. On test d'abord que celui-ci n'est pas inférieur à 0 auquel cas on avertira l'utilisateur par une lampe rouge.

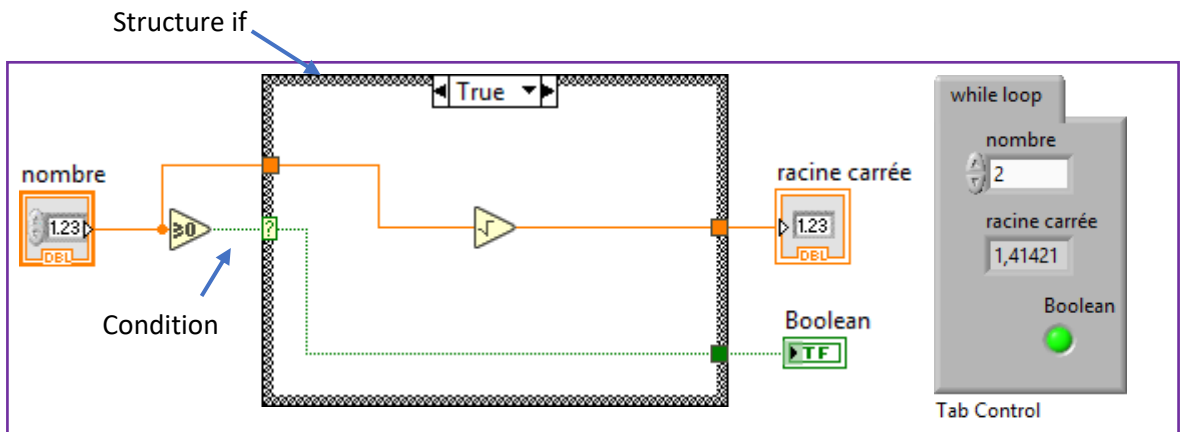


Figure. III.19: Calcul de la racine carrée d'un nombre positif en utilisant la structure selecte

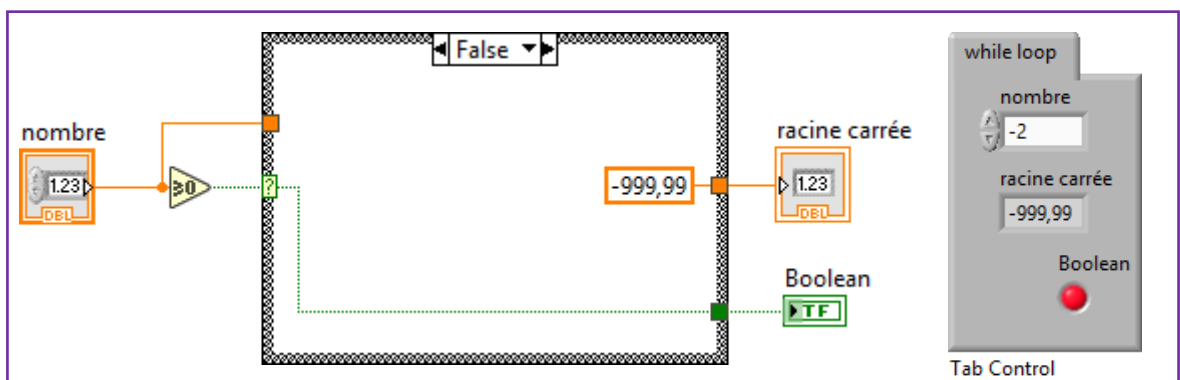


Figure. III.20: Calcul de la racine carrée d'un nombre négatif en utilisant la structure selecte

### II.6. Les registres à décalages et les nœuds de retour

Lors de la programmation en utilisant les boucles for ou While, on a souvent besoin d'accéder aux data des itérations précédentes, deux méthode pratiques sont présent dans Labview :

a) **Les registres à décalage** : ils font transférer les valeurs d'une itération à l'itération suivante.

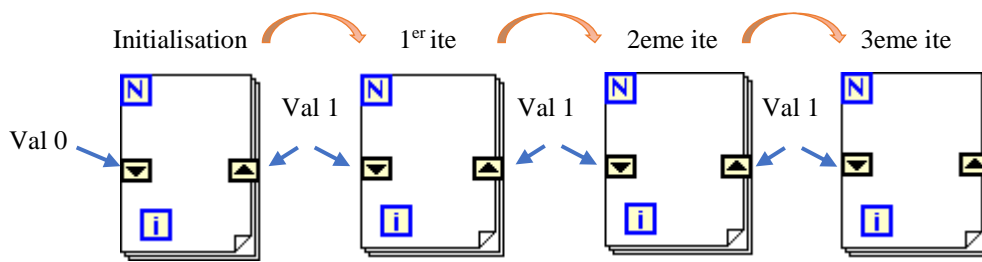


Figure. III.21: Transfert de données d'une itération à la suivante par un registre à décalage

b) **Les nœuds de retour** : ils enregistrent les données après chaque itération, puis ces données vont être transférés à la prochaine itération quel que soit le type de data utilisé.

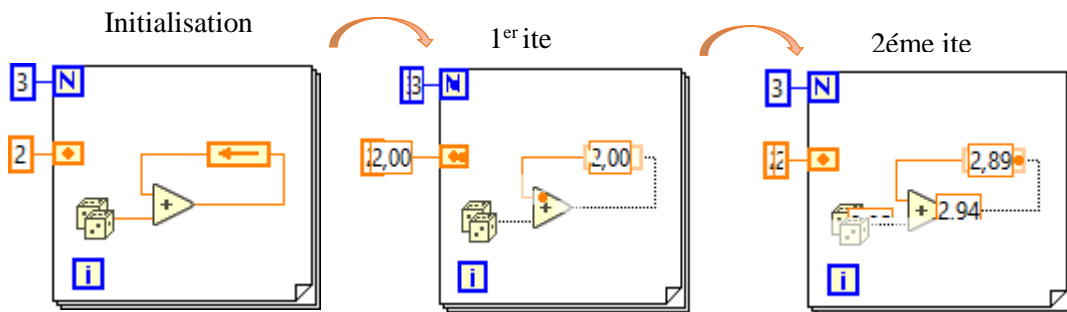


Figure. III.22 : Enregistrement et utilisation des data des itérations précédentes par feedback

### III. Quelques exemples et exercices dans le LabView

#### 1. Opération arithmétiques et logique

Dans cette exemple on va faire un simple calcul mathématique entre deux valeurs a et b, et une comparaison logique entre ces deux valeurs. S'il y a une égalité entre les valeurs d'entrée, une LED carré s'allume en vert.

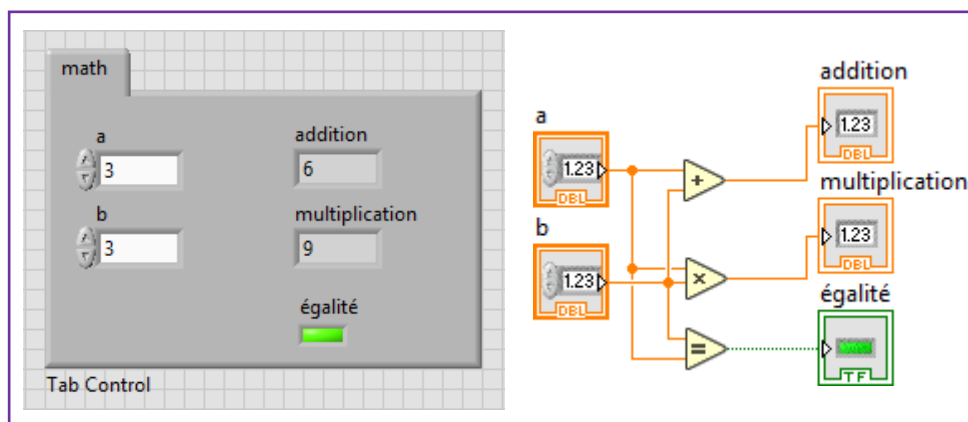


Figure. III.23:Opération arithmétiques et logique

2. Solution d'un polynôme 2eme degré

Dans cette exercice on va chercher les racines réel d'un polynôme 2eme degré, on utilisant 3 contrôles d'entrée pour la saisi des coefficients a, b et c, puis affiché le résultat de calcul dans les indicateurs de sortie qui sont le delta D, les racines x1 et x2 et une LED en utilisant les fonctions arithmétiques et logiques et aussi la structure if.

La structure if exécute le programme inclus dans « true case » si la condition logique est respectée, sinon le programme dans « false case » sera exécuter automatiquement.

1<sup>er</sup> case:  $D > 0$ , case = true.

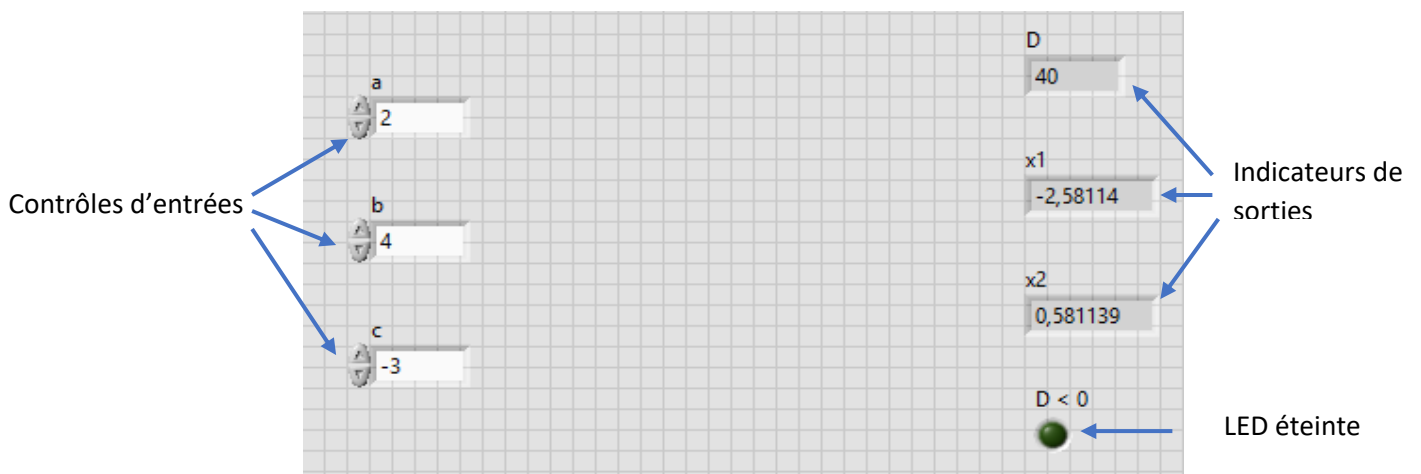


Figure. III.24: Front panel pour la résolution d'un polynôme 2eme degré true case

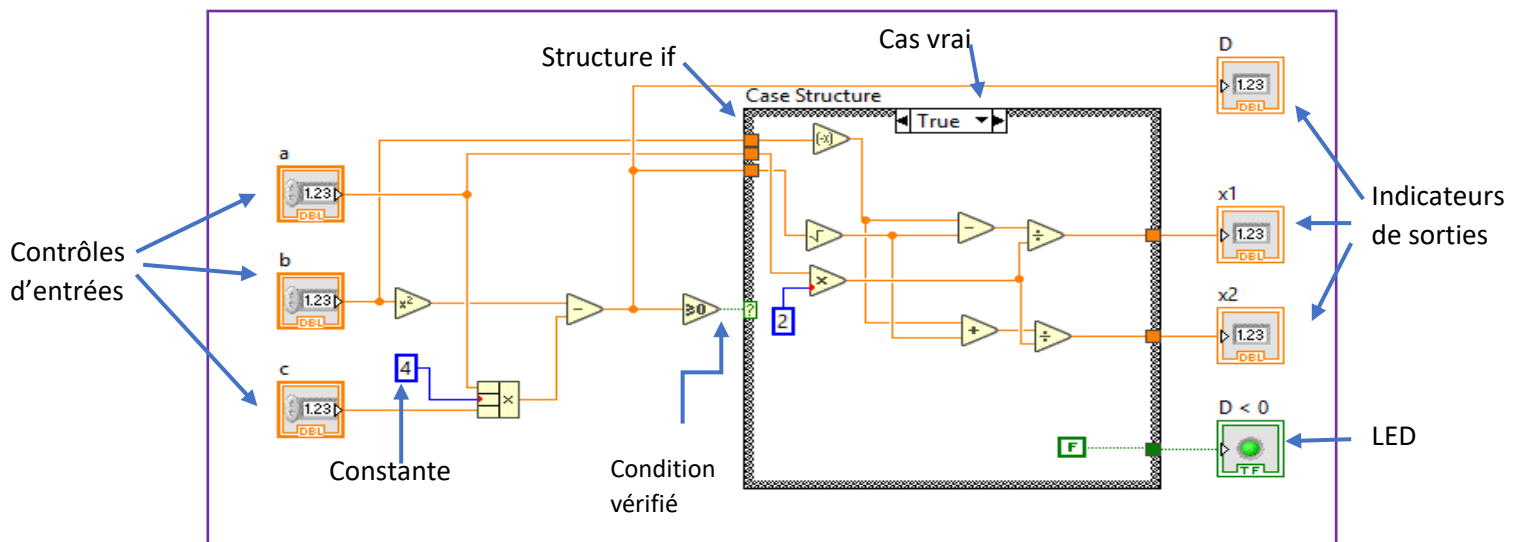


Figure III.25: block diagram pour la résolution d'un polynôme 2eme degré true case

2eme cas :  $D < 0$ , case = false.

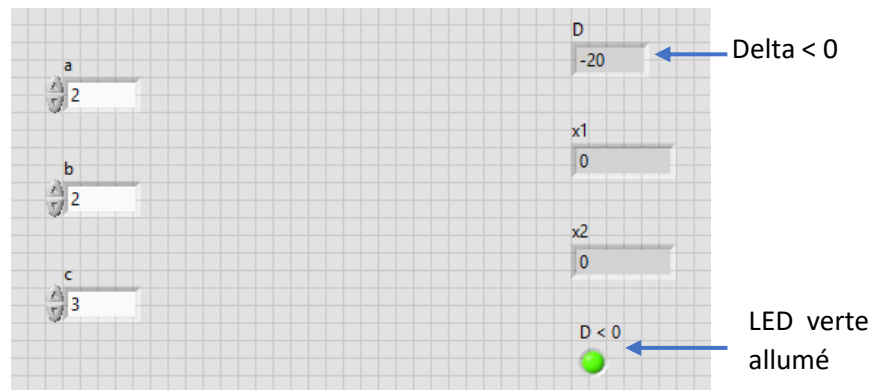


Figure. III.26 : Front panel pour la résolution d'un polynôme 2eme degré false cas

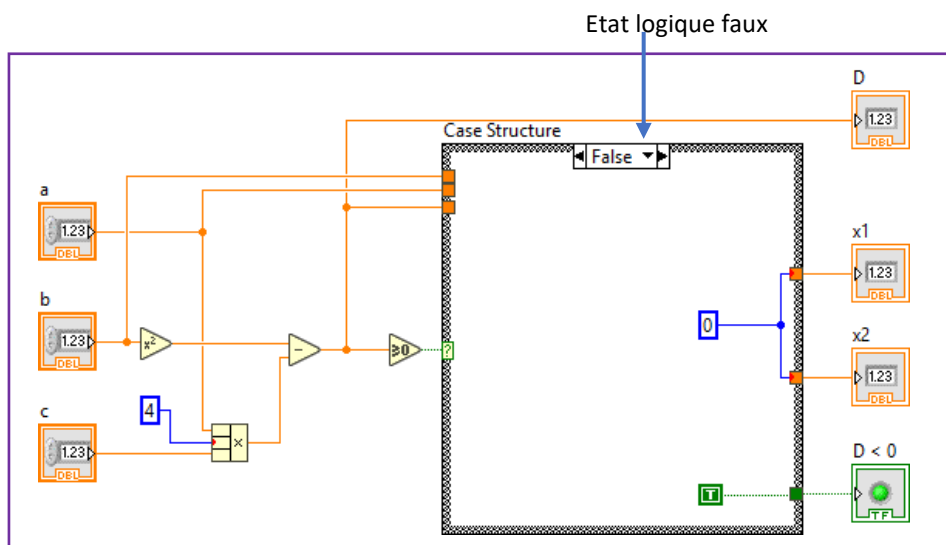


Figure. III.27: Block diagram pour la résolution d'un polynôme 2<sup>ème</sup> degré false case

### 3. Génération et manipulation des signaux

Dans cet exemple on va générer 3 formes de signaux, sinusoïdale, carré et triangulaire. Avec deux commandes d'entrées pour régler la fréquence et l'amplitude, en utilisant la fonction « merge » pour afficher les 3 signaux dans la même fenêtre graphique, ainsi une opération de sommation est appliquée sur ces trois signaux avant d'afficher le résultat.

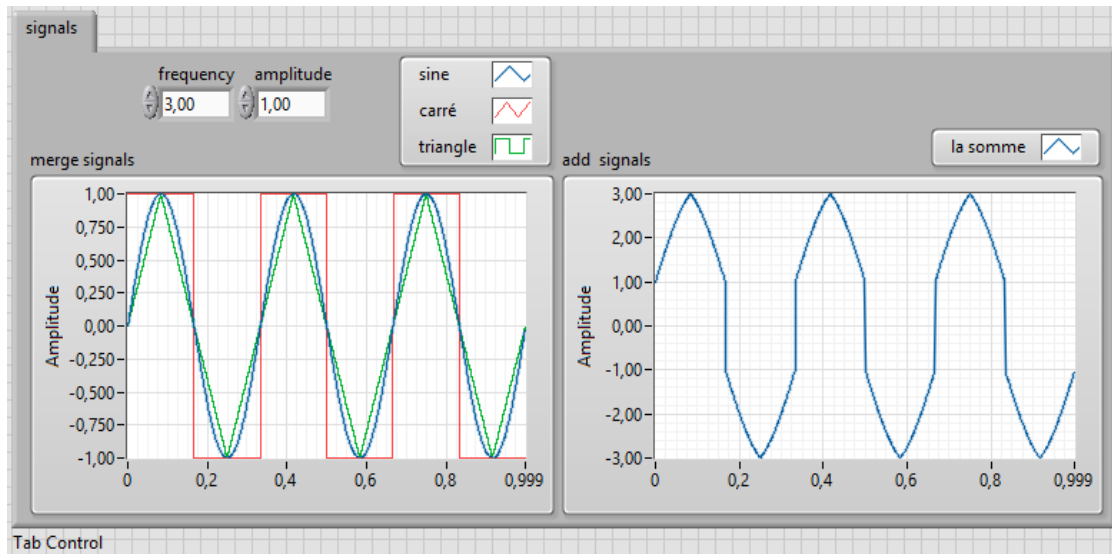


Figure. III.28: La « face-avant » (Front panel) pour l’affichage des signaux dans LabView

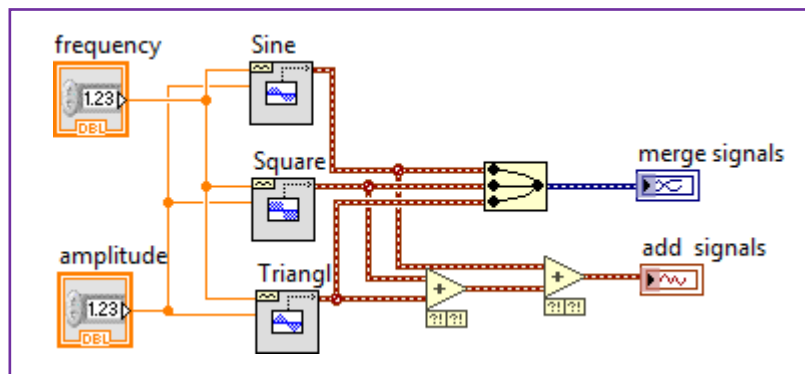


Figure. III.29: Block diagram pour l’affichage des signaux dans LabView

On peut remarquer sur la Figure. III.28, que La « face-avant » (Front panel) qui est l'interface utilisateur du programme comporte : définition des entrées/sorties de données accessibles par l'utilisateur du programme, alors que dans la figure 3.29 Le « Diagramme » (Block diagram) qui est le programme de l'application ou code source, représente l'ensemble des icônes (les fonctions) et des liaisons entre ces icônes utilisées

#### 4. Construction des tableaux par indexation de valeurs

Sur cet exemple, nous allons générer un tableau de 3 lignes et 5 colonnes, en utilisant le mode indexation dans une boucle for, ce mode consiste à enregistrer la valeur générée par les 'dés' dans chaque itération et à la fin, nous aurons une accumulation des valeurs, dont ce que l'on appelle des tunnels, donc avec 5 itérations il y aura 1 vecteurs de 5 colonnes dans chaque tunnel, puis nous utiliserons la fonction « Build Array » pour construire le tableau en assemblant ces 3 vecteurs.

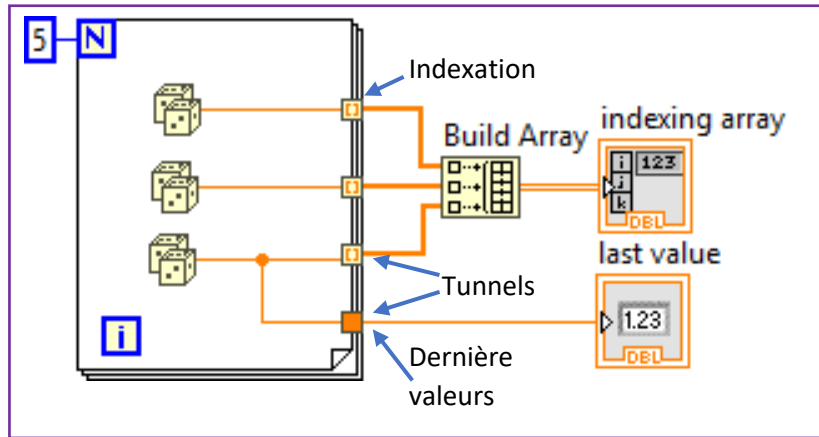


Figure. III.30 : Block diagram de Construction d'un tableau

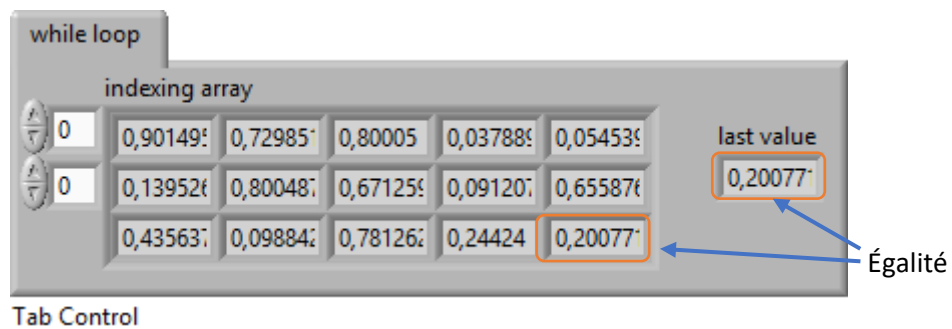


Figure. III.31: Affichage du tableau dans le front panel

**IV. Conclusion :**

Le chapitre trois aborde des éléments de base de l'environnement de programmation de LabVIEW, illustrés avec des exemples simples. Dans ce chapitre nous avons expliqué comment s'initier aux bonnes règles de développement du logiciel LabVIEW de comprendre et de les mettre rapidement en œuvre. Nous avons présenté quatre exemples, un pour générer 3 formes de signaux, l'autre pour effectuer des opérations arithmétiques et logique ainsi d'enregistrer des données analysées dans un tableau. Ce chapitre nous a permis à partir de bibliothèques intégrées de réaliser ; un traitement du signal dans le domaine temporel ou fréquentiel, une analyse mathématique ou un filtrage de l'information, et d'utiliser le Logiciel LabVIEW facilement dans notre étude expérimentale en temps réel.

***Chapitre IV***

***Diagnostic et étude expérimentale des défauts  
de la MAS***

### ***I. Introduction***

Malgré les qualités des machines asynchrones, elles peuvent parfois présenter au stator ou au rotor des différents types de défauts provoquant un vieillissement prématuré. Notamment les défauts électriques (ouverture de phase et rupture de barres statoriques), qui sont très fréquents et représentent environ 50% de la totalité de défauts. La recherche des signatures ou indicateurs de ces défauts a pour but de caractériser le fonctionnement de la machine en identifiant le type et l'origine de chacun des défauts, ceci permet d'assurer une bonne discrimination des pannes ou anomalie survenant aux différents niveaux de la machine [51].

Cette partie est consacrée à la présentation de résultats de système de diagnostic appliqué sur un banc d'essai d'un moteur asynchrone durant 3 mois de stage pratique, dans un laboratoire de recherche au niveau de la Division d'Etude et de Développement de l'Instrumentation Nucléaire (DEDIN) au Centre de Recherche Nucléaire de Birine (CRNB) à Ain Oussara, Nous avons utilisé le produit de la société « National instrument's » NI, pour l'acquisition de données, et le logiciel LabVIEW ('Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench') pour analyser le défaut de la machine asynchrone.



Figure. IV.1: Banc d'essais d'une machine asynchrone au niveau de la DEDINE (CRNB)

Dans ce travail, nous utiliserons le courant de stator comme une quantité physique mesurable, qui sera affectée par l'apparition d'un défaut de nature électrique, la suite, nous allons parler, pour former une base de données nous avons entamé une procédure d'acquisition des signaux temporels des courants

statoriques et des signaux de vibration mécanique résultants de la machine asynchrone dans les deux cas de fonctionnement, moteur sain ou moteur avec un ou plusieurs défauts dans les différentes parties du moteur. Des techniques de traitements de signal sont élaborées en temps réel sous LabView pour extraire les différents indicateurs fréquentiels des défauts (harmoniques).

Ensuite on va faire une lecture et un traitement « off ligne » de deux bases de données, la 1<sup>er</sup> contient les différents résultats que nous avons généré et enregistré dans le laboratoire (DIDINE), et la 2<sup>eme</sup> c'est une grande base de données générée par le NSF I/UCR Center for Intelligent Maintenance Systems (IMS) qui contient des mesures brutes des capteurs, dans le but d'afficher et d'analyser les paramètres statistique d'indicateurs santé de roulement.

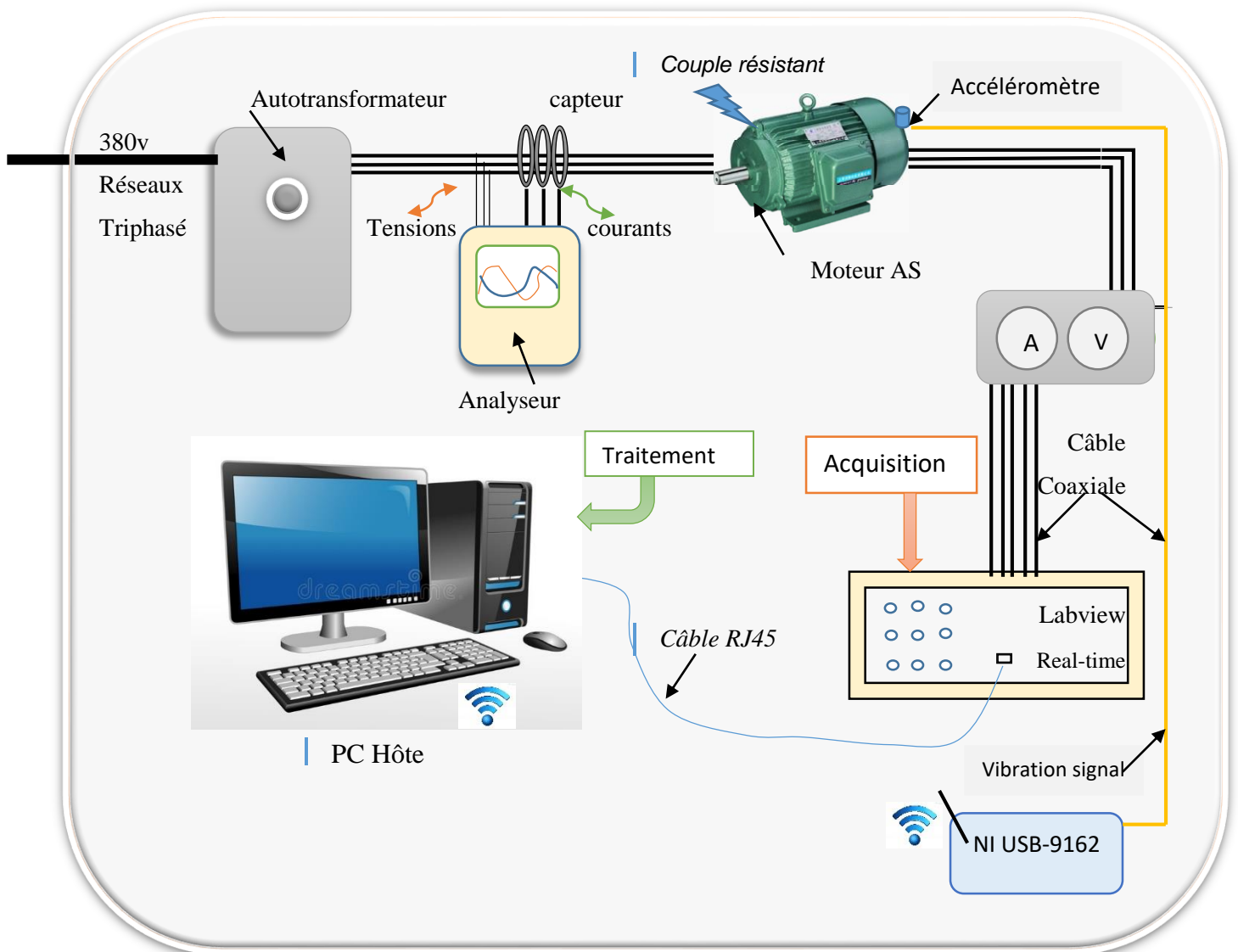


Figure. IV.2 : Différentes étapes de travail pour le diagnostic de défauts de la MAS

## ***II. Description du Banc d'essais***

Le laboratoire est équipé d'un banc d'essais des machines électriques D'ELECTRO-INDUSTRIES, destinée au diagnostic des défauts de la machine asynchrone, il est essentiellement doté de :

- Une machine asynchrone à cage d'écureuil.
- Un frein à poudre
- Le module MODMECA 3
- Un autotransformateur
- Appareils de mesure (oscilloscope, multimètre)
- Capteurs de courants et tension.
- Cartes d'acquisition
- Analyseur de puissance et de réseau transitoire C.A 8332B

### ***II.1. machine asynchrone à cage***

Le banc d'essais est doté d'un moteur asynchrone avec une tension d'alimentation à **50Hz : 230-400 V** et d'une puissance de **1.5kW** à deux paires de pole et une vitesse de rotation nominale de 1410 Tr/mn, voir figure. IV.3.



Figure. IV.3 : Moteur asynchrone à cage d'écureuil

### ***II.2. Frein à poudre***

Le frein à poudre sert comme charge pour le moteur, il est de type FP 10/15 D2 de Leroy Somer, qui est un frein électromagnétique. . Il est constitué d'un rotor et d'un stator qui sont concentriques :

- Le stator contient une bobine électromagnétique dans laquelle on injecte un courant ;
- le rotor est entraîné par le moteur.



Figure. IV.4 : Frein à poudre

Lorsque l'on injecte du courant continu dans la bobine du stator, il se crée alors un champ magnétique proportionnel au courant injecté. Ce champ traverse l'entrefer qui est garni d'une poudre aux propriétés magnétiques et mécaniques particulières. En effet, sous l'effet du champ, les grains de poudre forment des chaînes orientées entre le stator et le rotor. La rigidité de ces chaînes varie avec le champ magnétique : elle est directement proportionnelle au courant qui traverse la bobine. Ce sont ces chaînes plus ou moins rigides qui créent le couple résistant.

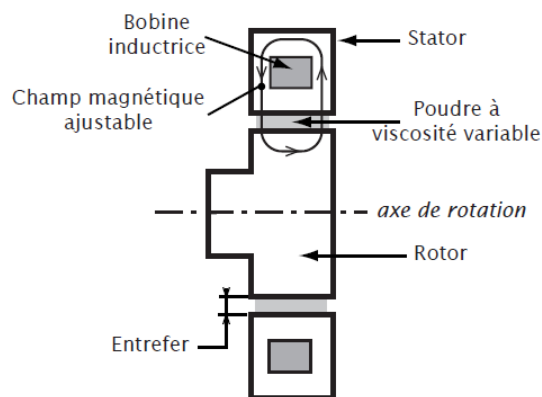


Figure. IV.5 : Schéma de principe du frein à poudre (électromagnétique). Vue en coupe

### II.3. Le module MODMECA 3

Il permet de commander le couple résistant  $T_r$  appliqué par le frein sur l'arbre de transmission, et par conséquent le couple utile  $T_u$  déployé par le moteur. Pour ce faire, le frein à poudre doit être connecté au MODMECA. Le réglage manuel se fait enfin en utilisant le potentiomètre gradué en pourcentages. La valeur du couple moteur est accessible en lisant l'afficheur.



Figure. IV.6 : MODMECA 3, module de mesure mécanique

#### ***II.4. Autotransformateur***

L'autotransformateur est systématiquement utilisé pour le raccordement du moteur au réseau, il permet aussi de provoquer les défauts d'alimentation telle que le déséquilibre, l'absence de phase, et la chute de tension.



Figure. IV.7 : L'autotransformateur.

#### ***II.5. Appareils de mesure***

Le banc d'essais est équipé de différents outils de mesures.

- Un oscilloscope numérique TDS 220 pour visualiser les différents signaux venant des capteurs.
- Une pince ampère-métrique pour mesurer les courants dans les phases.



Figure. IV.8 : Appareils de mesure.

### II.6. Capteur de courant

Le capteur de courant comprend un élément sensible à la grandeur de courant mesuré, couplé à un système électronique délivrant un signal secondaire, image en module et en phase de la grandeur primaire.

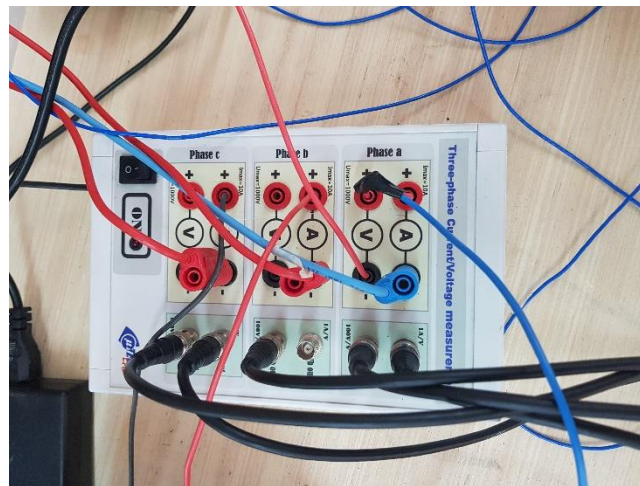


Figure. IV.9 : Capteur de courant LA 125-P.

### II.7. Cartes d'acquisition

Les signaux ont été relevés, lors des différents modes de fonctionnement, à l'aide de La plateforme matérielle **LabVIEW Real-Time  $\mu$ TECH-LRT+** pour les signaux électriques et la carte d'acquisition **NI USB-9162** pour les vibrations mécanique de marque **National Instrument**.

#### II.7.1. LabVIEW Real-Time $\mu$ TECH-LRT+

Fournissent des performances temps réel déterministes pour les systèmes d'acquisition de données et de contrôle. Avec la programmation graphique de LabVIEW, pour développer les applications de contrôle embarquée LabVIEW Real-Time sur micro-ordinateur (PC de bureau, PC portable...) et, par la suite, télécharger et exécuter le programme sur La plateforme matérielle  **$\mu$ TECH LRT+**. Cette plateforme est un système compact destiné à une utilisation en laboratoire ou en industrie.

Grâce à un microprocesseur puissant, un FPGA dernière génération et une gamme complète d'entrées/sorties, la  **$\mu$ TECH LRT+** offre des performances élevées.

Le processeur haut performance (Intel XEON 4 cœurs, 3Ghz, 12M cache) exécute un système d'exploitation embarqué temps réel, et assure l'exécution de l'application utilisateur développée graphiquement en LabVIEW sur le PC host. La connexion aux périphériques, tels que les entrées/sorties analogiques et numériques, les générateurs MLI et les encodeurs..etc. sont gérés par le système FPGA (Intel ex ALTERA).



Figure.IV.10 : La Plateforme temps réel programmable  $\mu$ TECH-LRT+ de NI

### II.7.2. NI USB-9162

C'est une carte d'acquisition qui possède quatre entrées analogiques qui peuvent échantillonnées jusqu'à 51 kHz sur 24 bits.



Figure.IV.11 : Carte d'acquisition NI USB-9162

### ***II.8. Analyseur de puissance et de réseau transitoire C.A 8332B***

Cet adaptateur est particulièrement adapté pour l'entretien d'installations industrielles ou publiques. Il vous donnera une idée précise des paramètres réseau les plus importants et de la qualité du réseau. L'appareil est pratique, précis et offre de nombreuses possibilités de calcul et de traitement. Il saisit l'ensemble des paramètres du réseau, des transitoires, des alarmes et des différents types d'ondes. L'affichage en temps réel des entrées s'effectue en mode graphique : affichage vectoriel ou tableau de valeurs. En mode expert, une analyse des oscillations harmoniques est possible. Vous pourrez également évaluer l'influence des harmoniques sur les machines électriques.

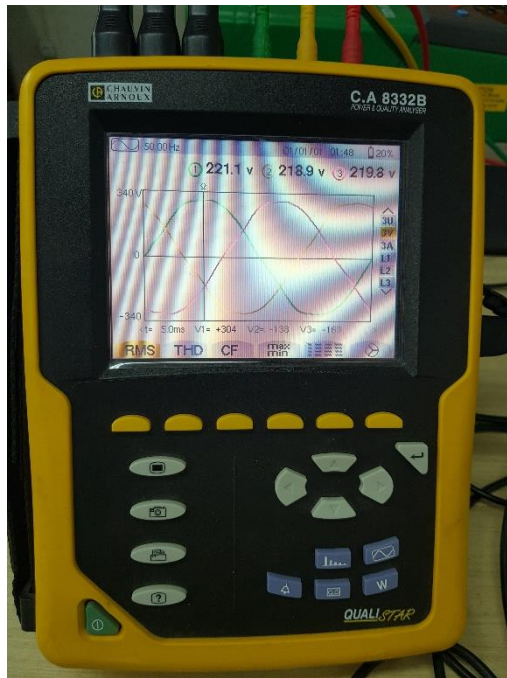


Figure.IV.12 : Analyseur de puissance et de réseau transitoire C.A 8332B

### III. Diagnostic en IV temps réel des défauts de la MAS

Dans ce premier cas d'étude, notre objectif est de vérifier la faisabilité du diagnostic et de détection de défauts statoriques par l'analyse des trois courants et tensions statoriques. Pour évaluer cette faisabilité de diagnostic, des séries d'expériences différentes sont effectuées, nous avons réalisé une boucle d'acquisition sous LabView de plusieurs signaux à une fréquence d'échantillonnage de 1MHz constituée de 5 Canaux d'entrées (deux pour le courant et 3 pour la tension) et 6 sorties pour l'affichage, 3 pour les signaux de courants et 3 pour les signaux de tensions. Pour avoir une meilleure résolution des signaux nous avons traité un cycle de 10 mille échantillons pour chaque signal pour chaque 10 seconde. Cela a été fait en utilisant 2 niveaux de charge : à vide, 8 Nm.

Le diagramme bloc du code source graphique de l'Instrumentation Virtuelle est présenté à la Figure. IV.13.

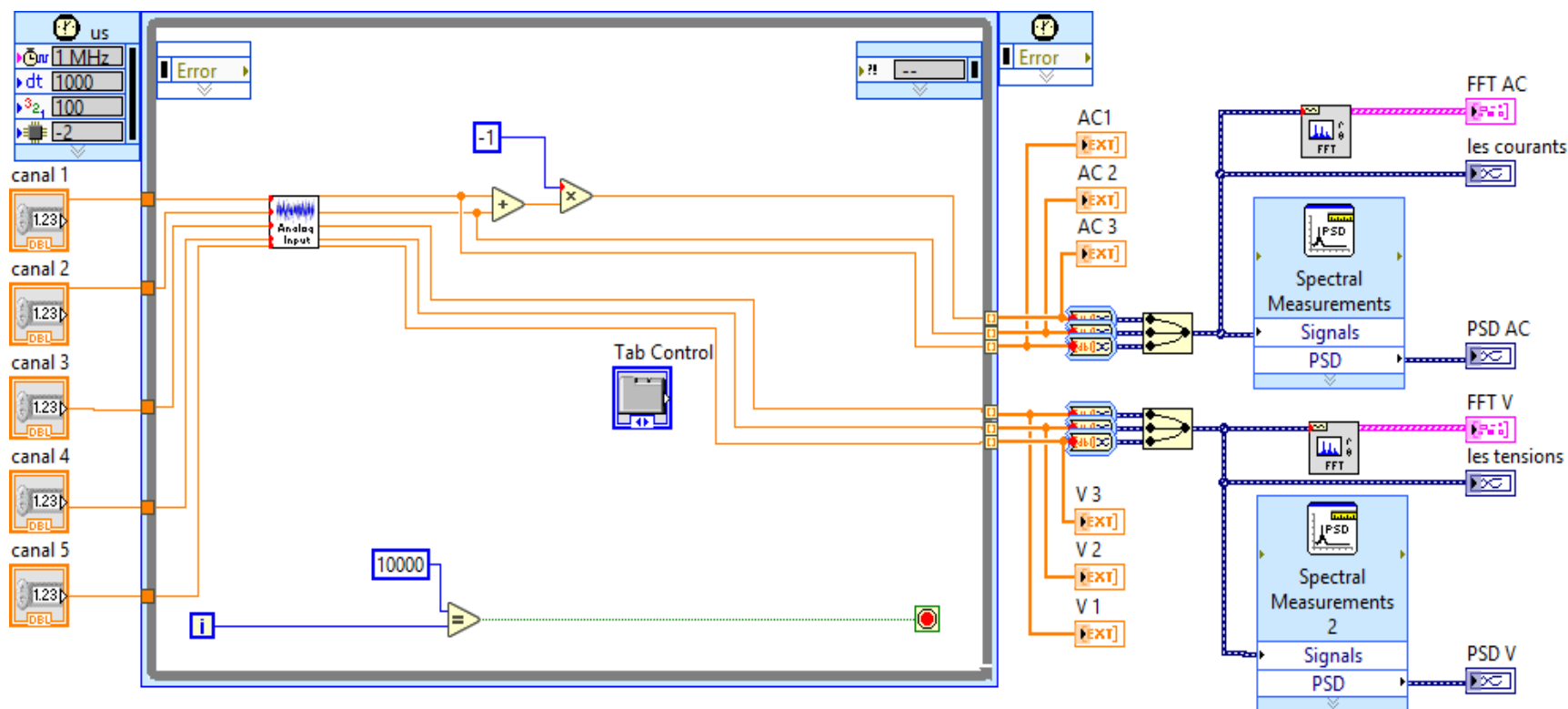


Figure. IV.13: Acquisition et traitement des signaux statorique et vibratoire en temps réel

### III.1. Diagnostic en temps réel essais à vide

$P=59$  (w),  $R=1470$  (T/m),  $T=0$  (N).

#### III.1.1. Etude et analyse temporel

L'analyse dans le domaine temporel est généralement basée sur des tracés des signaux du courant ou des signaux de tension dans lesquels la variable est mesurée en fonction du temps. La forme des ondes du courant et de tension de moteur typique dans chaque phase d'une alimentation triphasée sont illustrées aux Figure IV.14 et IV.15. Pour évaluer les performances de l'analyse, des signaux de courant et de tension ont été collectés pour 2 configurations d'enroulement de stator différentes, d'abord un moteur sain, ensuite avec défaut (ouverture de phase). Dans chaque cas, il y avait deux conditions de charge successives: à vide et à charge. Les défauts simulés sont illustrés aux Figure. IV.17-IV.18.

a) Sans défauts :

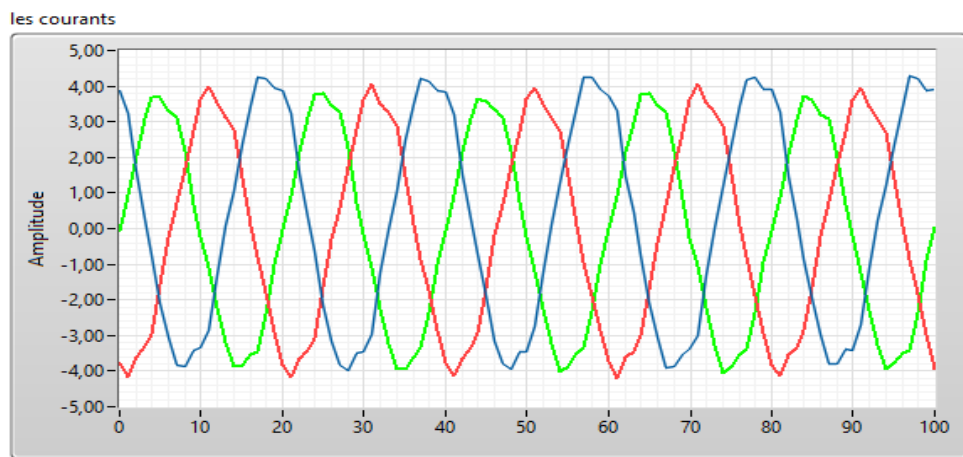


Figure. IV.14: Signaux 3 phases courants essais à vide moteur sain

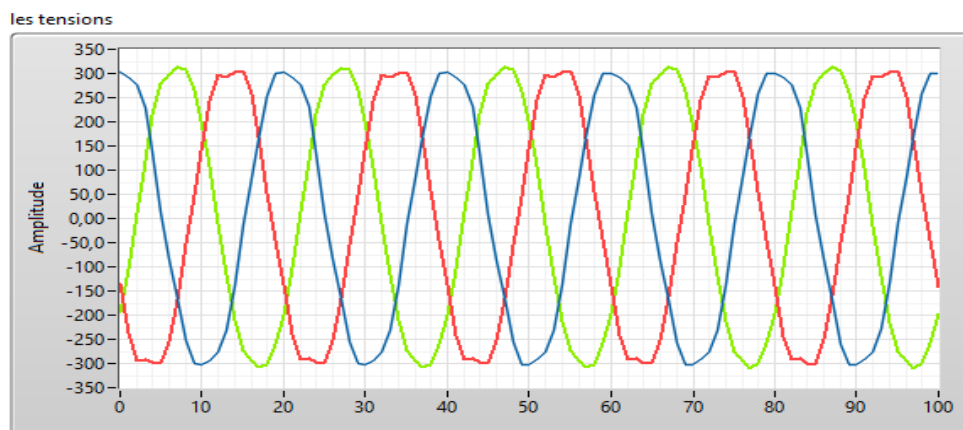


Figure. IV.15: Signaux 3 phases tensions essais à vide moteur sain

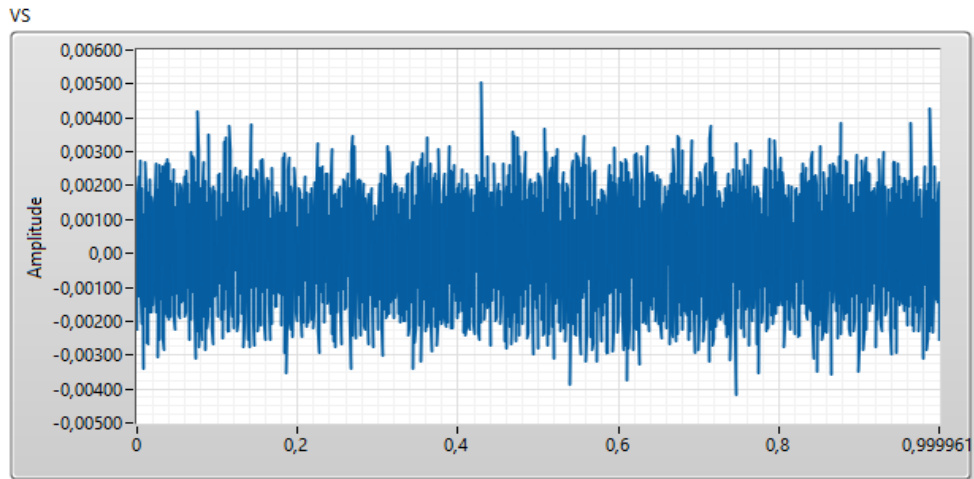


Figure. IV.16 : Signal vibratoire essai à vide moteur sain

b) Avec ouverture de phase

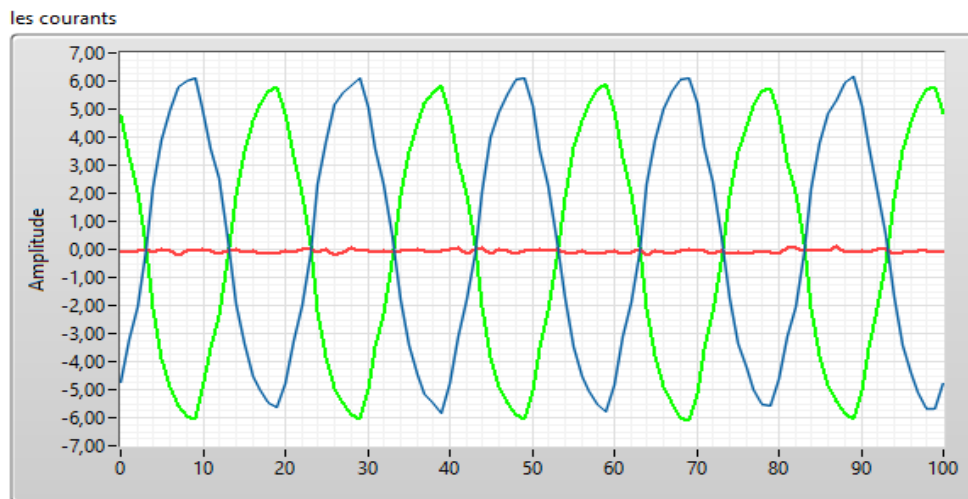


Figure. IV.17 : Signaux 3 phases courants essais à vide avec OP

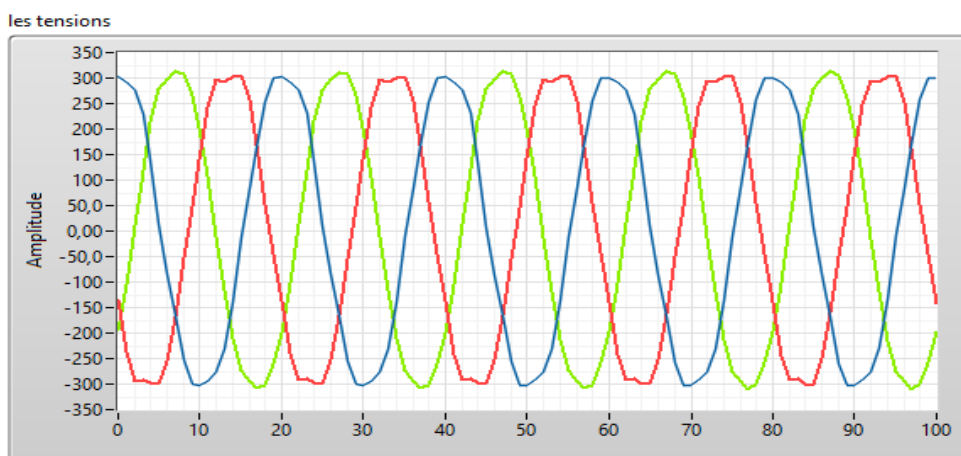


Figure. IV.18 : Signaux 3 phases tensions essais à vide avec OP

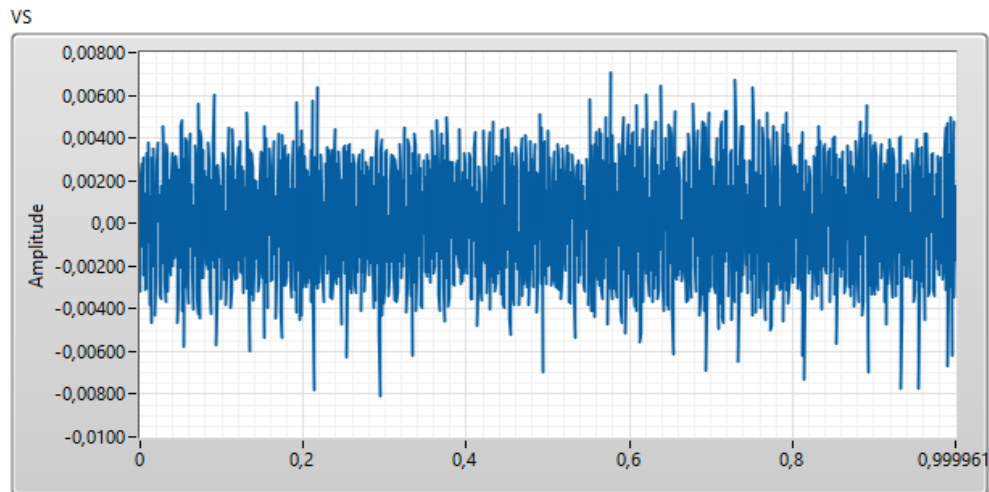


Figure. IV.19: Signal vibratoire essai à vide avec OP

### III.1.2. Etude et analyse fréquentiel

Il s'est avéré extrêmement utile de transformer les données du domaine temporel en domaine fréquentiel. La transformation la plus couramment utilisée est la transformation de Fourier. La transformation de Fourier rapide (FFT) est la méthode la plus largement utilisée actuellement (voir chapitre 2). Cette méthode est très productive car la représentation dans le domaine fréquentiel décrit l'énergie contenue dans les signaux en fonction de la fréquence et présente l'énorme avantage que, souvent, les signaux générés par les composants individuels peuvent être vus directement dans un spectre. La PSD (power spectral density) peut également être utilisée pour détecter les défaillances en ligne de moteurs asynchrones. Cette approche est particulièrement utile lorsque les défauts électriques et mécaniques génèrent des harmoniques distinctes, qui peuvent être clairement différenciées dans un spectre de fréquences des signatures de courant pour montrer la différence entre les moteurs sains et les moteurs défaillants.

La densité spectrale de puissance (PSD) : définit comme étant le carré du module de la transformée de Fourier, divisé par la largeur de la bande spectrale, ou plus rigoureusement, la limite quand  $t$  tend vers l'infini de l'espérance mathématique du carré du module de TF du signal. Ainsi, si  $x$  est un signal et  $X$  sa TF, la densité spectrale de puissance vaut :

$$\Gamma_x = |X|^2 \times T$$

Elle représente la répartition fréquentielle de la puissance d'un signal suivant les fréquences qui le composent.

a) Sans défauts

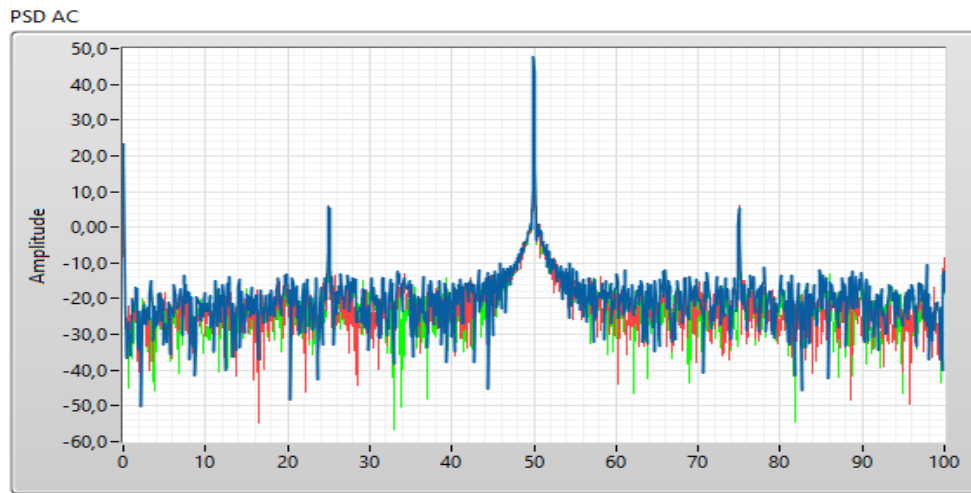


Figure. IV.20: La PSD des courants statorique à vide moteur sain

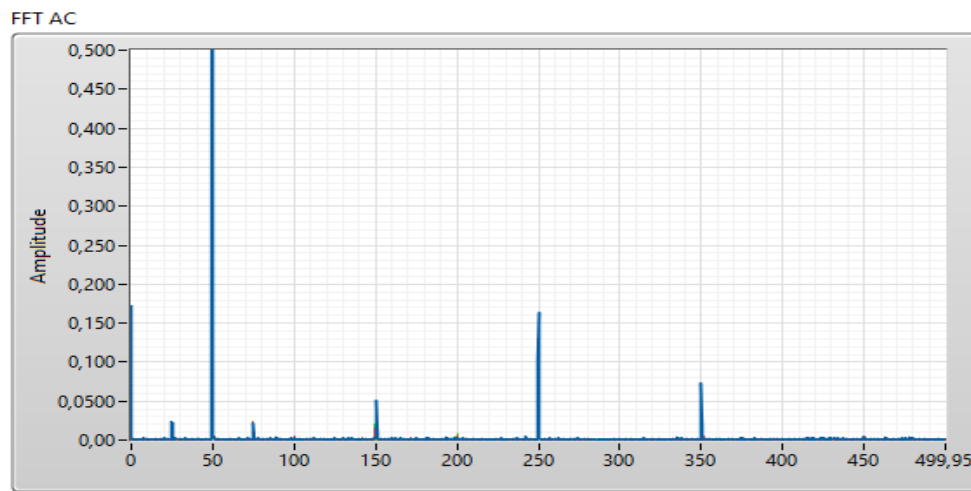


Figure. IV.21: La FFT des courants statorique à vide moteur sain

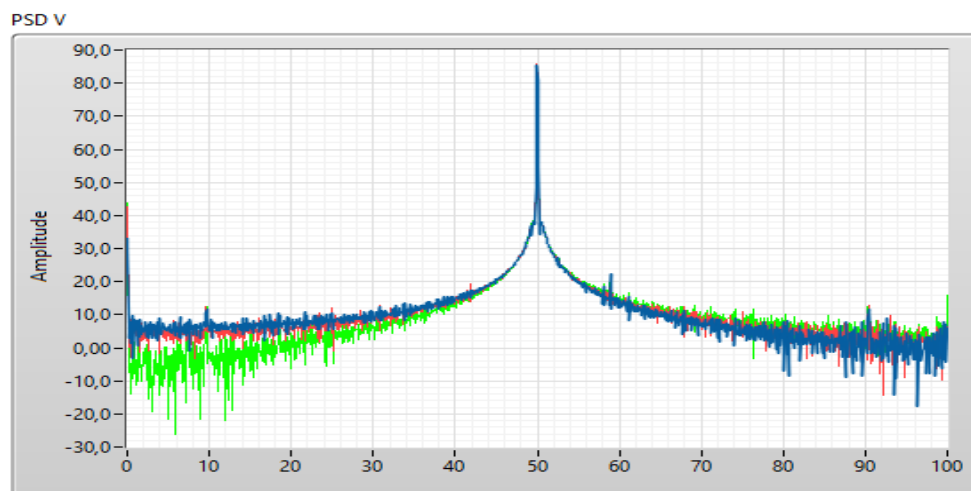


Figure. IV.22: La PSD des tensions statorique à vide moteur sain

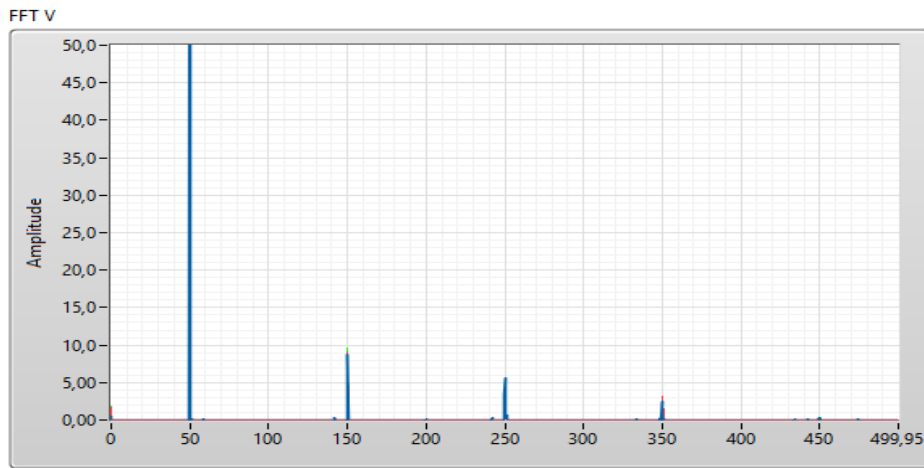


Figure. IV.23: La FFT des tensions statorique à vide moteur sain

b) Avec ouverture de phase

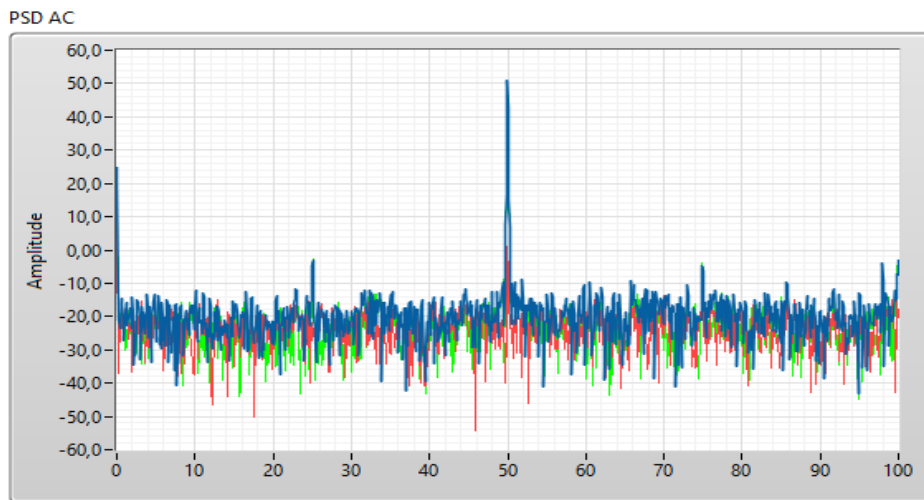


Figure. IV.24: La PSD des courants statorique à vide moteur avec OP

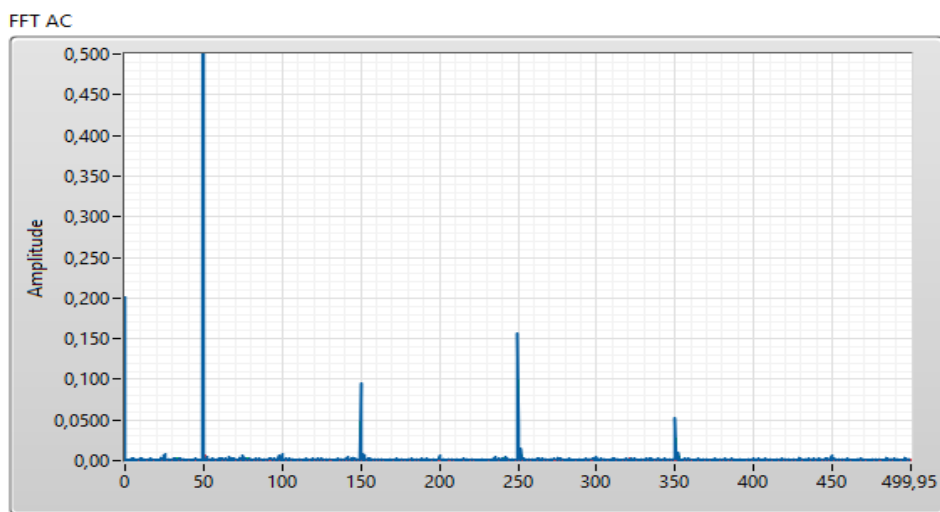


Figure. IV.25: La FFT des courants statorique à vide avec OP

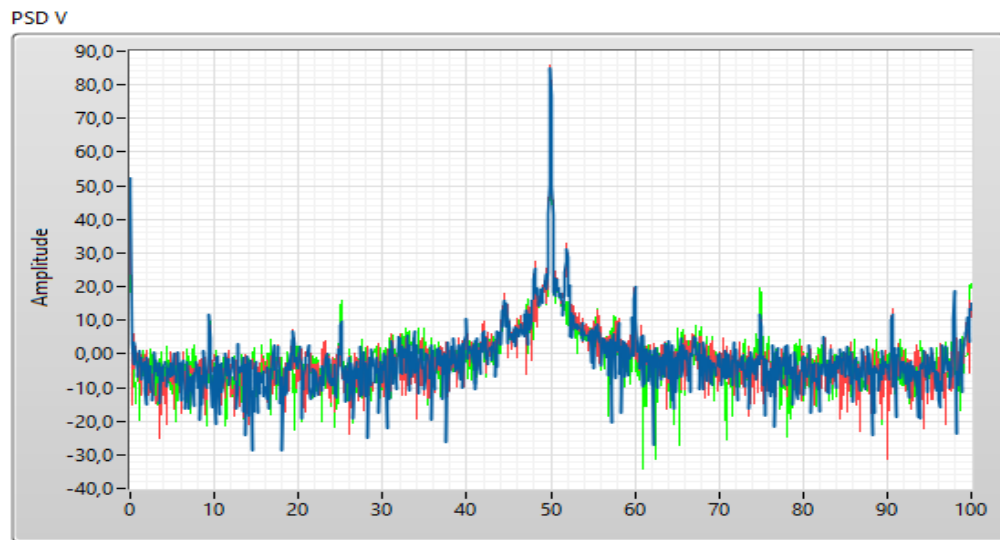


Figure. IV.26: La PSD des tensions statorique à vide avec OP

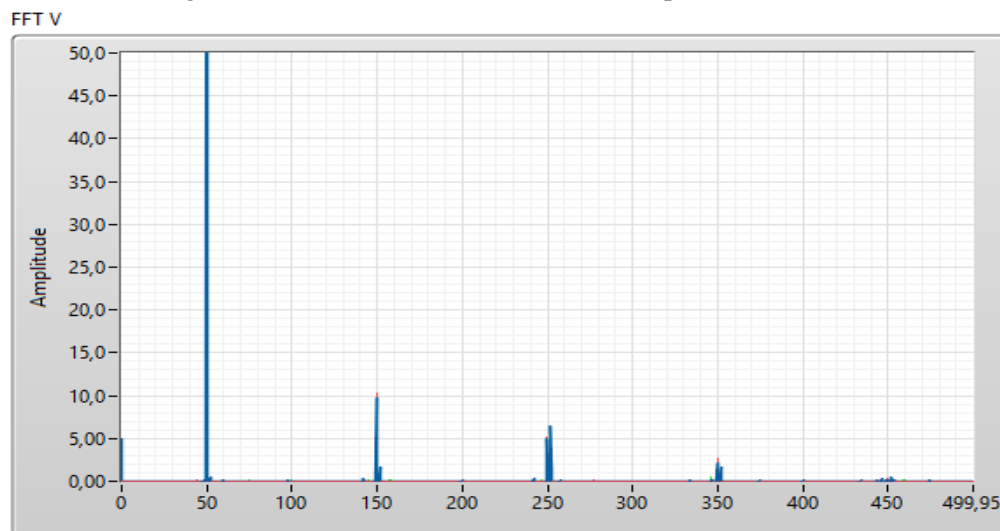


Figure. IV.27: La FFT des tensions statorique à vide avec OP

Les Figures. IV.20 et IV.22, illustrent le spectre de fréquence des données électriques du stator. Sur ces figures, les fréquences de défaut ne se trouvent pas dans la bande latérale, car les enroulements du stator du moteur sont en bon état. Comme il est sain, les fréquences de défaut ne sont pas détectées dans le spectre de fréquence. Ceci est démontré dans les Figures IV.24 et IV.26, on remarque que l'amplitude des fréquences de défaut spécifiques augmentera, comme prévu.

**III.2. Diagnostic en temps réel essais avec charge**

P=940 (w), R=1440 (Tr/m), T=8 (N).

**III.2.1. Etude et analyse temporel**

a) Sans défauts :

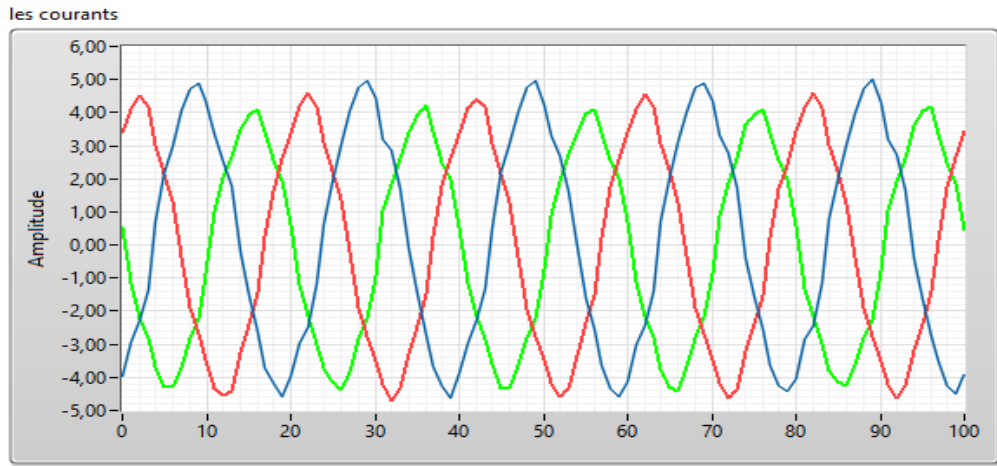


Figure. IV.28: Signaux 3 phases courants essais avec charge moteur sain

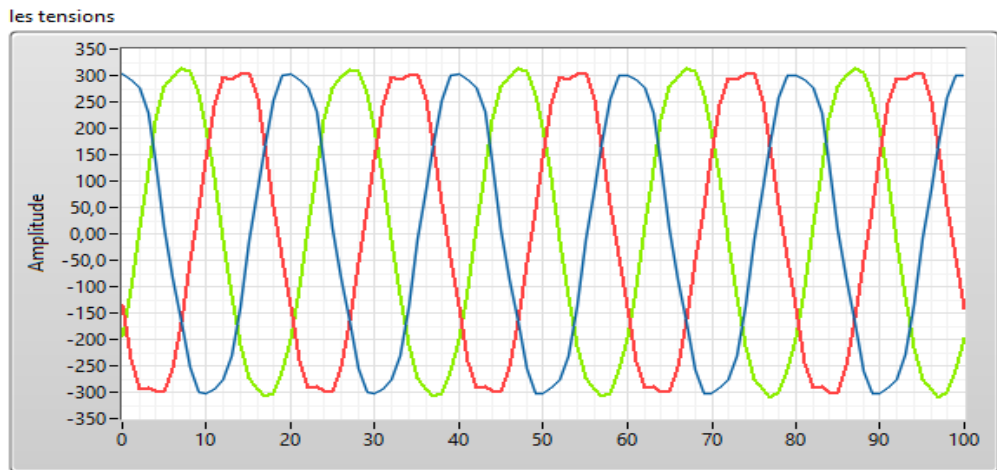


Figure. IV.29: Signaux 3 phases tensions essais avec charge moteur sain

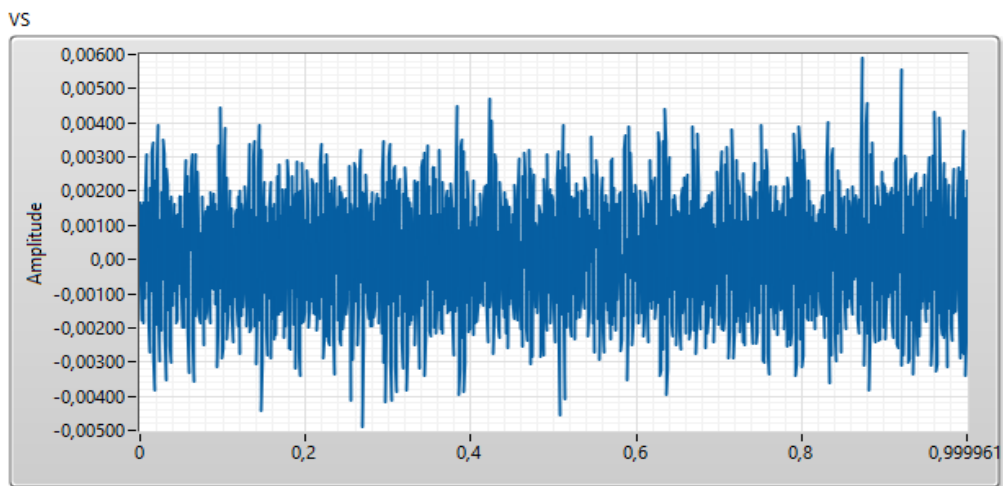


Figure. IV.30: Signal vibratoire essai avec charge moteur sain

b) Avec ouverture de phase

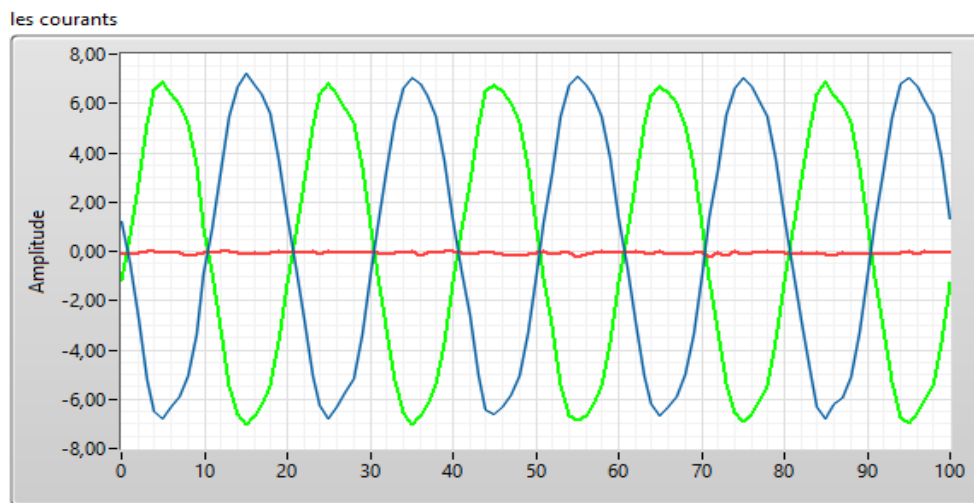


Figure. IV.31: Signaux 3 phases courants essais avec charge OP

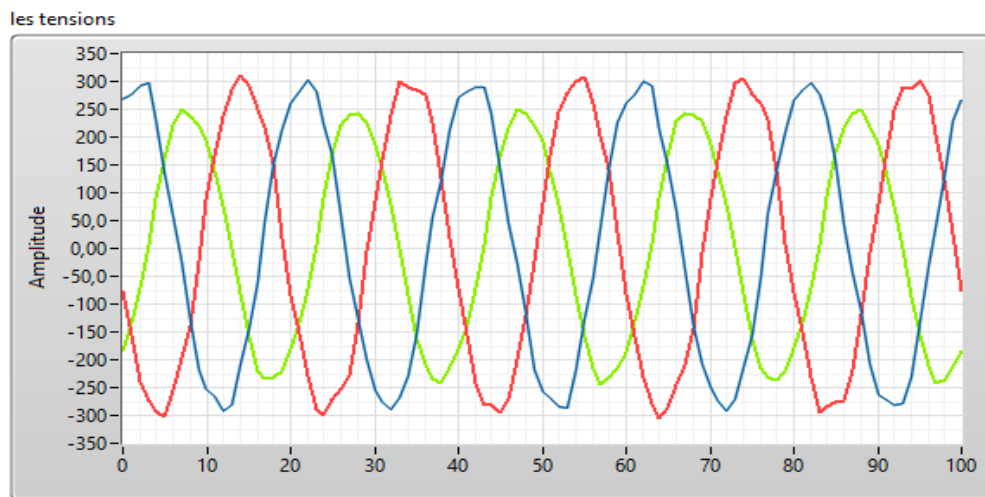


Figure. IV.32: Signaux 3 phases tensions essais avec charge OP

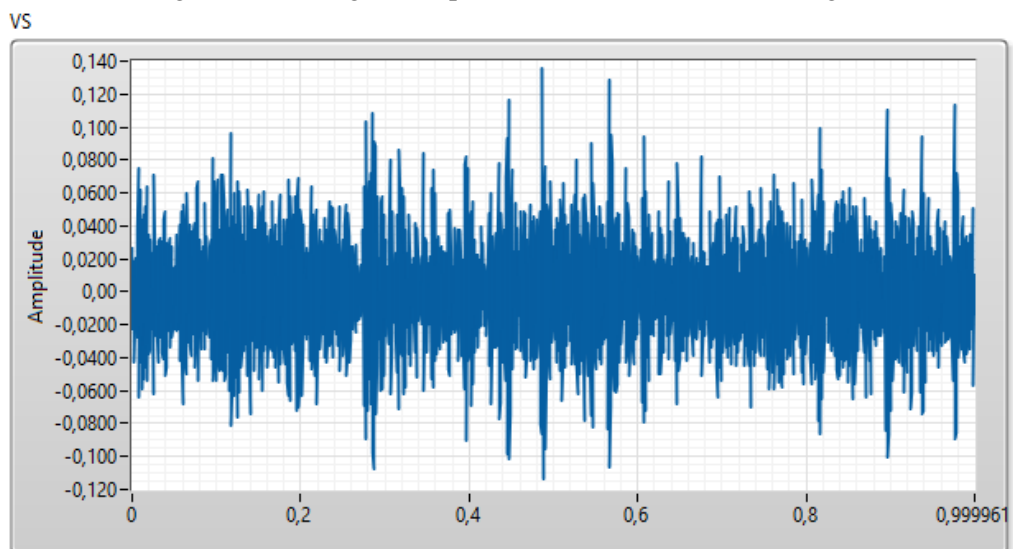


Figure. IV.33: Signal vibratoire essai avec charge OP

**III.2.2. Etude et analyse fréquentiel**

**a) Sans défaut**

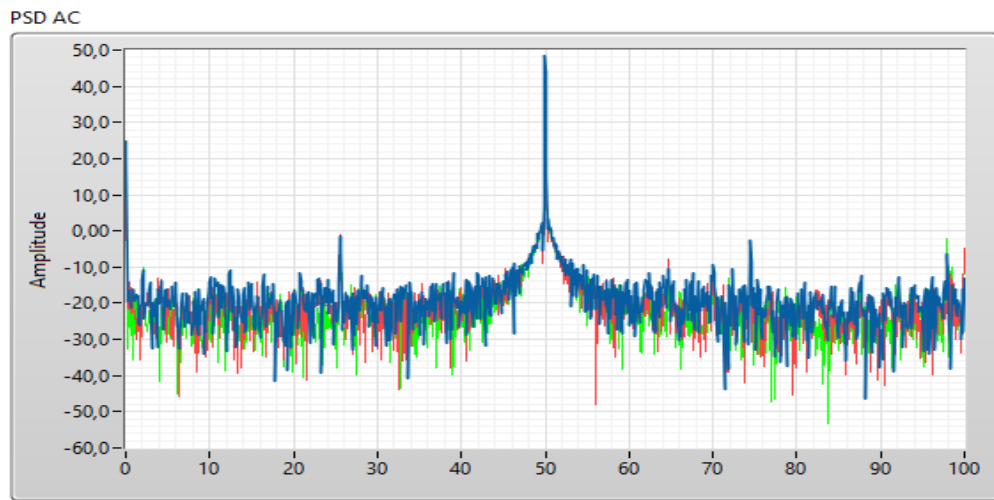


Figure. IV.34: La PSD des courants statorique avec charge moteur sain

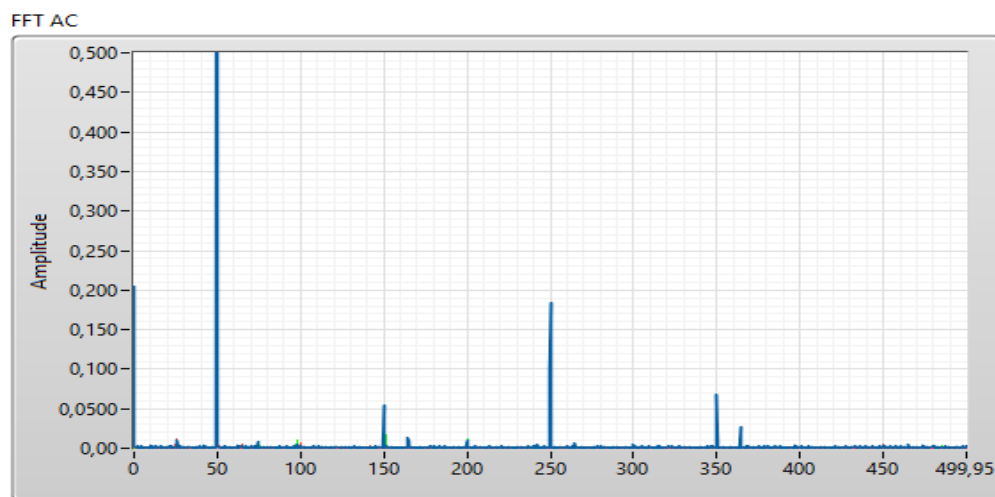


Figure. IV.35: La FFT des courants statorique avec charge moteur sain

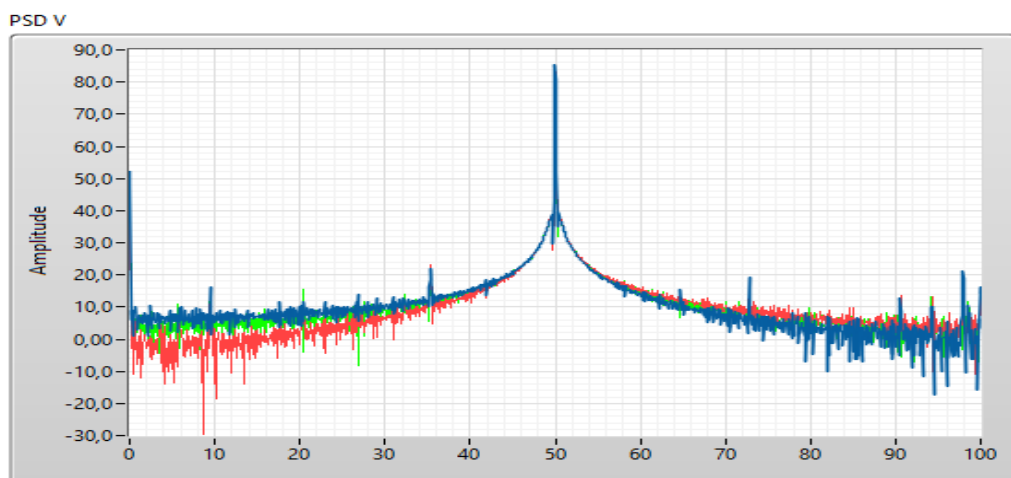


Figure. IV.36: La PSD des tensions statorique avec charge moteur sain

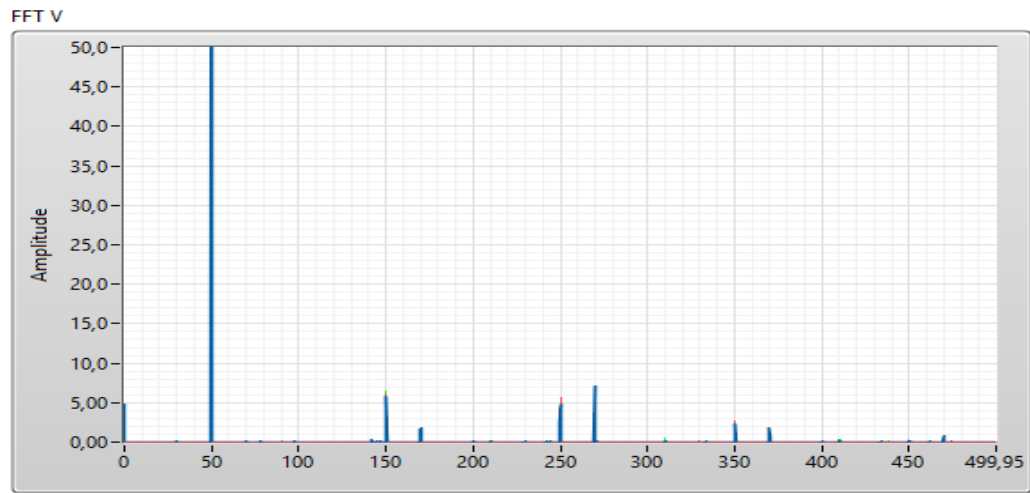


Figure. IV.37: La FFT des tensions statorique avec charge moteur sain

**b) Avec ouverture de phase**

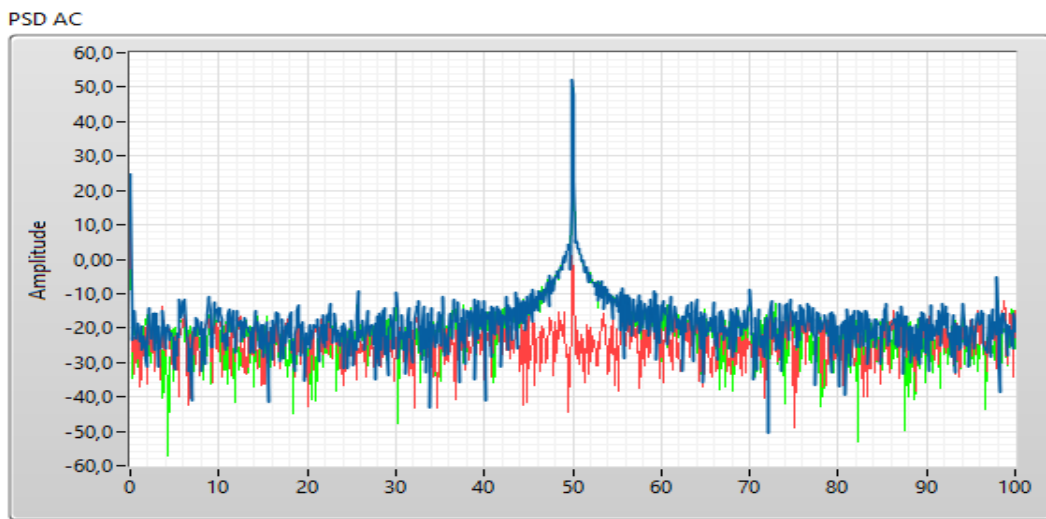


Figure. IV.38: La PSD des courants statorique avec charge OP

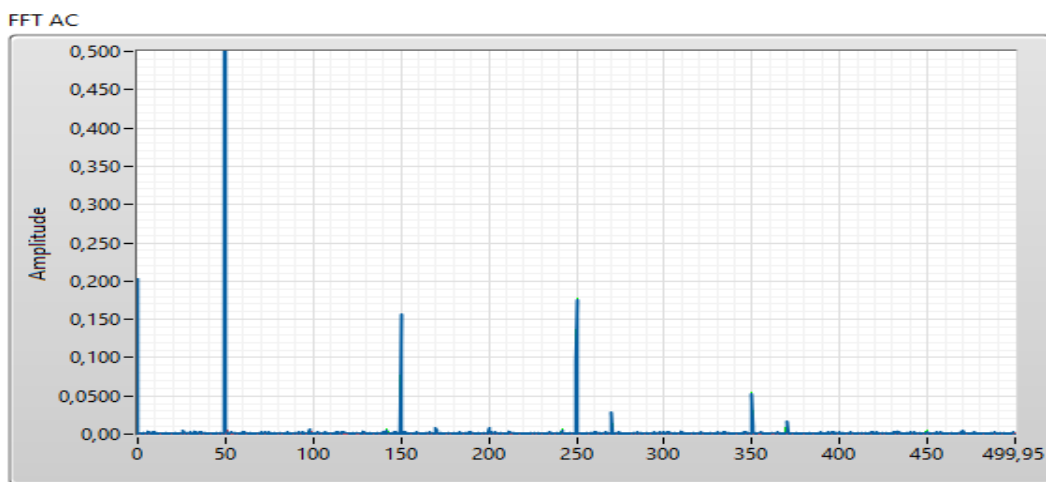


Figure. IV.39: La FFT des courants statorique avec charge OP

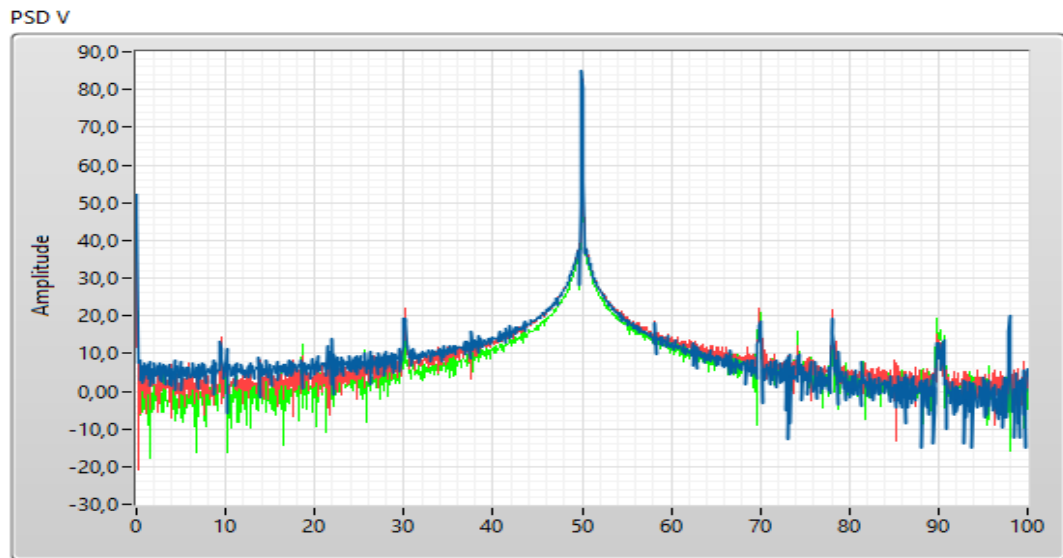


Figure. IV.40: La PSD des tensions statorique avec charge OP

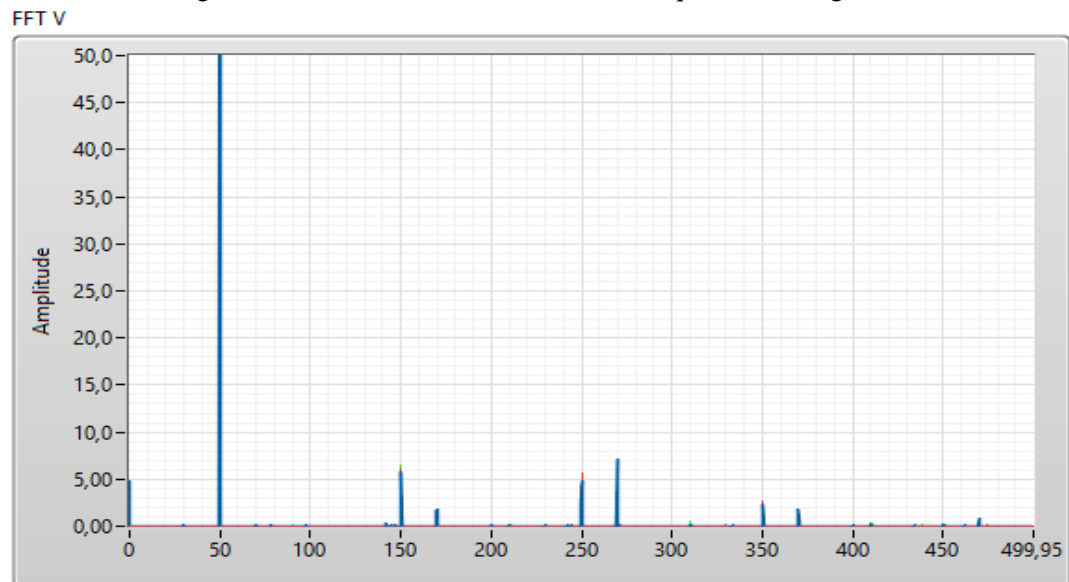


Figure. IV.41: La FFT des tensions statorique avec charge moteur sain

### III.3. Interprétation des résultats

#### III.3.1. analyse temporelle

Les courants de stator du moteur en bon état, ainsi que le moteur défaillant à différents niveaux de défaut et à différentes charges, ont été obtenus pour effectuer l'analyse temporelle. Les figures illustrent les ondes du courant du moteur dans chaque phase d'une alimentation triphasée ainsi que ses tensions. On remarque que les oscillations sont symétriques autour l'axe des abscisses, avec des valeurs maximales positives et négatives.

Dans le cas sain du moteur à vide Figure IV.14 la valeur du courant maximal  $I_{max} = 4A$ , par contre dans le cas de défaut d'OP Figure. IV.15 la valeur est augmenté de 2I est devient  $I_{max} = 6A$ , on

peut constater la même remarque dans le cas du moteur sain en charge  $I_{max}=4,8A$  figure. IV.28 la valeur passe à  $I_{max}=6,8A$  figure. IV.31 dans le cas du moteur avec défaut en charge.

Les Figures. IV.15 et IV.29 illustrent les signaux des tensions du moteur sain à vide et en charge, ils prennent les mêmes amplitudes  $V_{max}=300v$ . Après l'ouverture de la phase on remarque une légère démodulation dans l'amplitude d'une des phases dans le cas du moteur en charge, la valeur devient  $V=250V$  Figure. IV.23. alors qu'à vide cette valeur garde la même amplitude.

La même remarque qu'on peut soulever pour les vibrations mécaniques, on constate également que l'amplitude est doublée dans presque la totalité du signal.

### ***III.3.2. analyse fréquentielle***

Cette méthode permet de suivre les harmoniques (fréquences caractéristiques) produites par les défauts. Ces harmoniques varient en amplitude et en fréquence avec la variation de la charge et l'état de la machine. Le spectre du courant d'une machine saine contient la fréquence fondamentale et ceux d'encoches rotoriques ainsi que d'autres harmoniques avec de faibles amplitudes, mais il reste très difficile de quantifier le défaut à travers une comparaison.

Les Figures. IV.24 et IV.38, montrent que la magnitude de la fréquence des défauts est en fonction du niveau de charge. Aux niveaux de charge plus élevés, les composants de fréquence de défaut sont bien visibles; alors qu'à faibles charges, ils sont moins perceptibles. Dans cette figure, nous distinguons des oscillations répétées d'une manière cyclique dans le cas de défaut phase ouverte. Cela conduit à l'apparition dans le domaine fréquentiel, des composantes fréquentielles multiples doubles de la fréquence fondamentale.

Par contre dans le cas de la machine saine, il existe aussi de petites oscillations et les mêmes composantes fréquentielles mais avec une amplitude moins importante. Elles sont dues aux déséquilibres de tensions d'alimentation et/ou à des oscillations de la charge.

#### *IV. Diagnostic off line des défauts de la MAS par lecture des data enregistrer*

Les défauts liés au rotor sont généralement associés à des contraintes magnétiques, thermiques et résiduelles dues à des contraintes de fabrication et environnementales inadéquates induites par l'humidité. Le déclenchement des défauts du rotor commence par une résistance plus élevée entraînant un dégagement de chaleur plus élevé, puis se développe par des fissures ou des trous dans les barres du rotor [52]. Ces défauts sont plus susceptibles de se produire aux anneaux d'extrémité. Différents paramètres tels que les pulsations de la vitesse du moteur, le flux d'entrefer, les vibrations et le courant du moteur peuvent être surveillés pour détecter les barres de rotor cassées. Dans notre travail nous allons utiliser le signal du courant et le signal de vibration, pour analyser le défaut.



Figure. IV.42: Rotor d'une MAS sain



Figure. IV.43: Rotor d'une MAS avec plusieurs cassures des barres

Dans ce travail de recherche, une interface entre des dispositifs a été développée pour observer et accomplir la détection de défaut et le diagnostic dans des barres de rotor cassées. Afin d’obtenir les données des machines, un appareil d’acquisition de données de National Instruments LabVIEW («Laboratoire d’ingénierie des instruments virtuels de laboratoire») a été utilisé.

Des essais ont été effectués pour différentes charges avec le moteur sain et avec des moteurs similaires ayant jusqu’à 2 barres de rotor cassées. Les signaux de courant mesurés ont été traités à l’aide de la densité spectrale de puissance (PSD) via une instrumentation virtuelle (LabVIEW). Les résultats obtenus pour le moteur sain et ceux présentant des défauts de rotor ont été comparés, notamment en ce qui concerne les composants de la bande latérale.

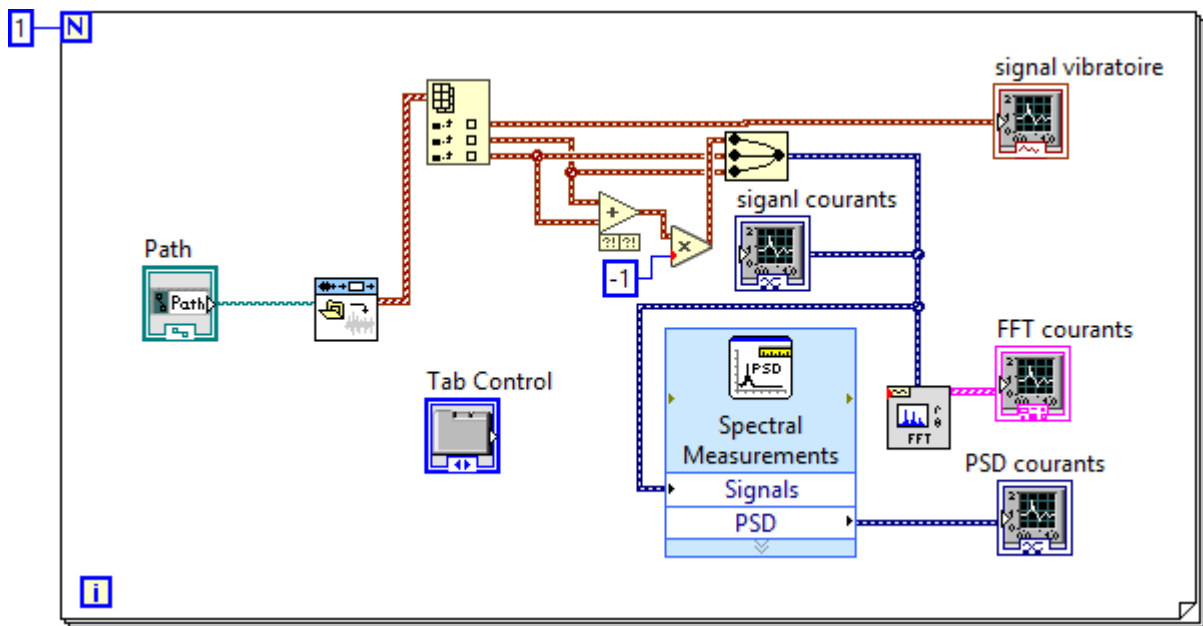


Figure. IV.44: lecture des data et traitement par l’FFT et le PSD

Data May-28-19 Time 124014 a vide - Bloc-notes		
Fichier Edition Format Affichage ?		
Date	28-May-19	
Time	12:40 PM	
Laboratory Name	Centre de Recherche Nucleaire de Birine	
-0.001024	-0.344189	-2.605113
-0.001402	-0.341789	-2.639203
-0.002424	-0.381564	-2.602273
-0.001958	-0.386466	-2.609447
-0.001118	-0.468501	-2.590754
-0.001262	-0.406375	-2.565425
-0.001788	-0.502601	-2.556597
-0.001899	-0.506665	-2.571517
-0.001994	-0.490348	-2.603661
-0.001536	-0.553543	-2.554244
-0.001298	-0.566352	-2.548666
-0.001627	-0.582509	-2.541582
-0.001200	-0.656617	-2.465707

Figure. IV.45: Fichier de base de données de moteur avec défaut

**IV.1. Moteur asynchrone en état sain**

a) A vide

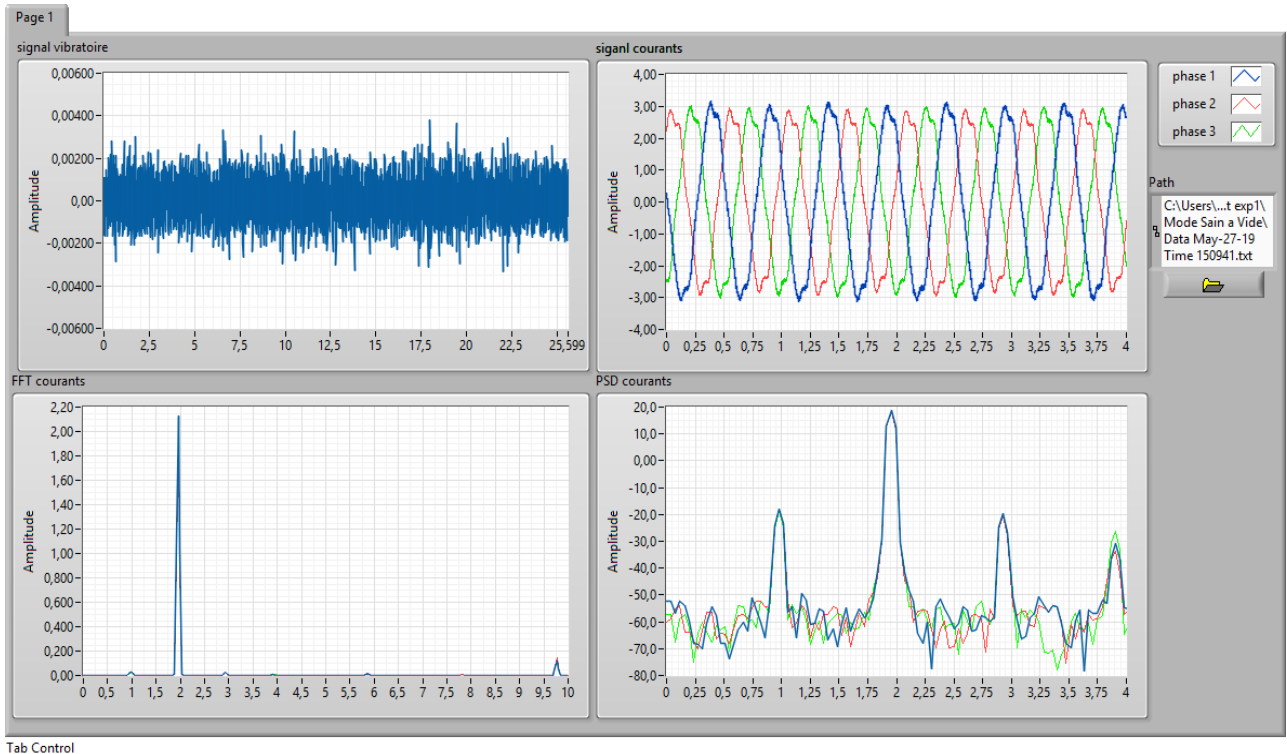


Figure. IV.46: Moteur asynchrone état sain à vide

b) En charge :  $T=8$  (N.m) ,  $R=1440$  (Tr/mn).

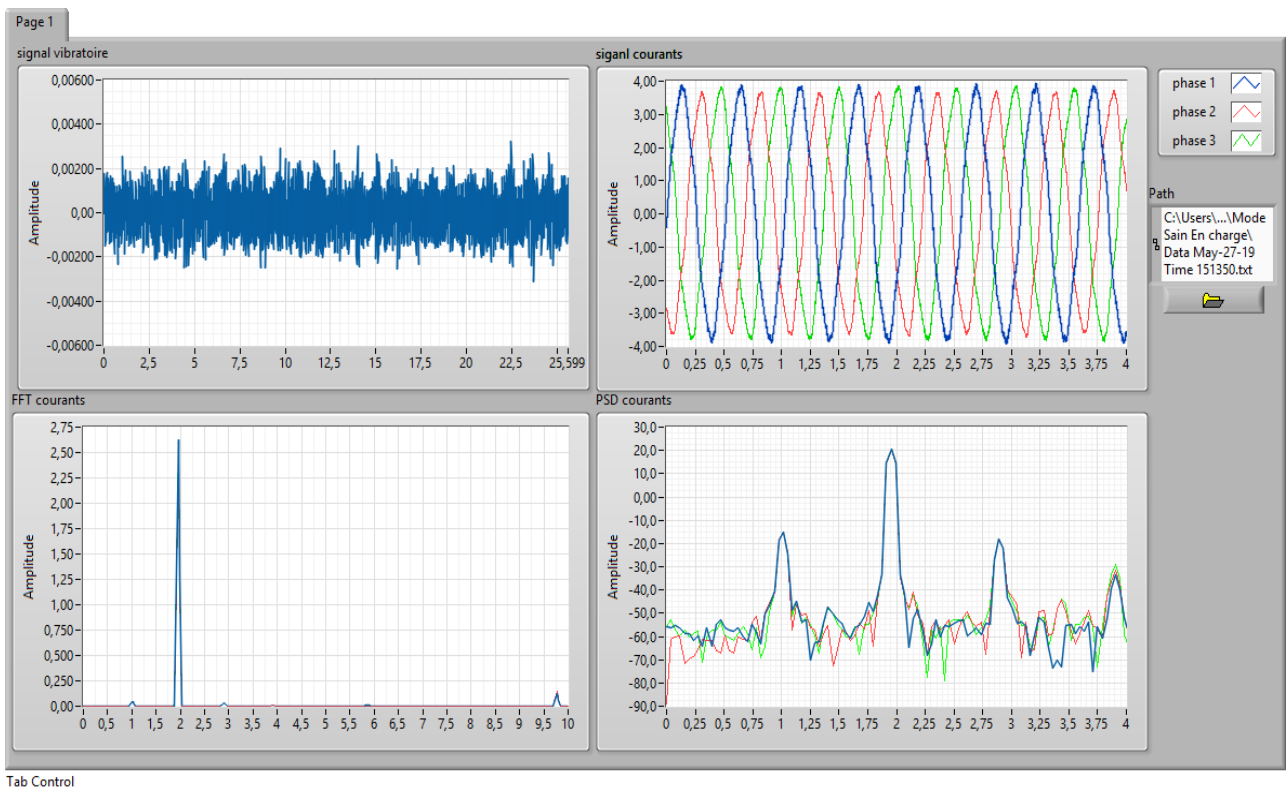


Figure. IV.47: Moteur asynchrone état sain avec charge

**IV.2. Moteur asynchrone avec cassure de deux barres rotorique**

a) A vide

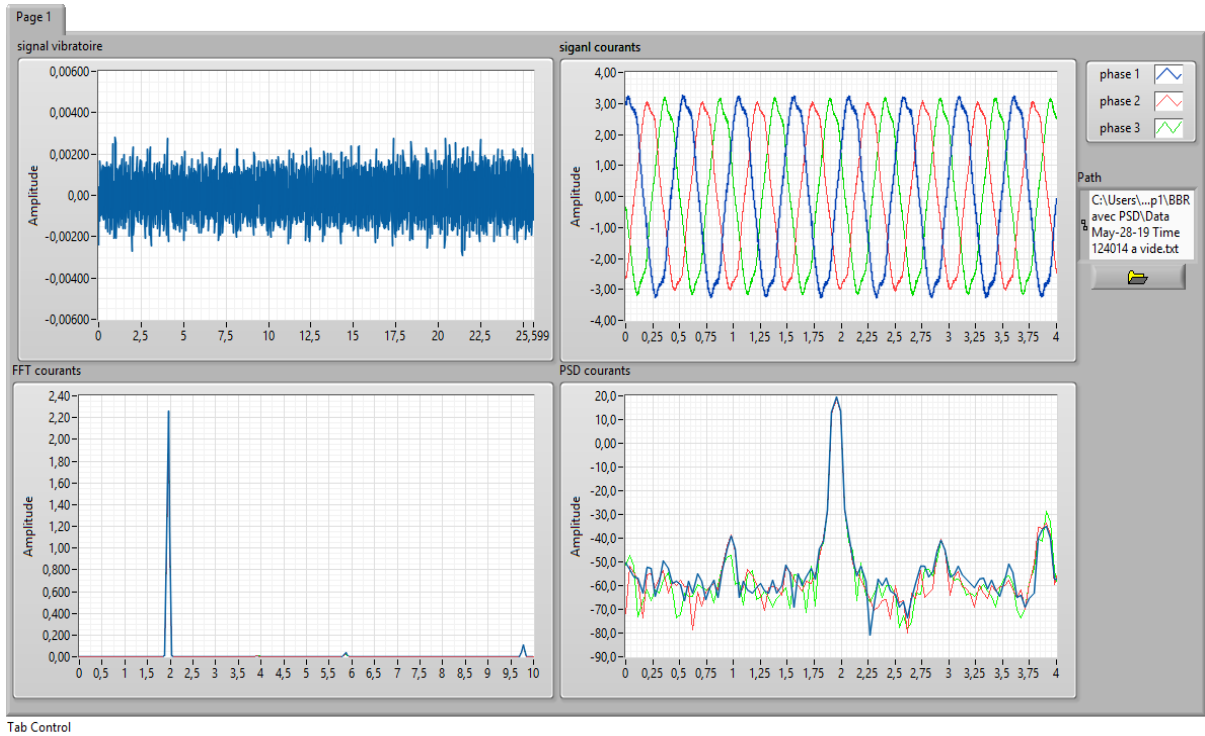


Figure. IV.48 : Moteur asynchrone avec cassure de deux barres rotorique à vide

b) Avec charge :  $T= 8$  (N.m) ,  $R= 1420$  (Tr/mn).

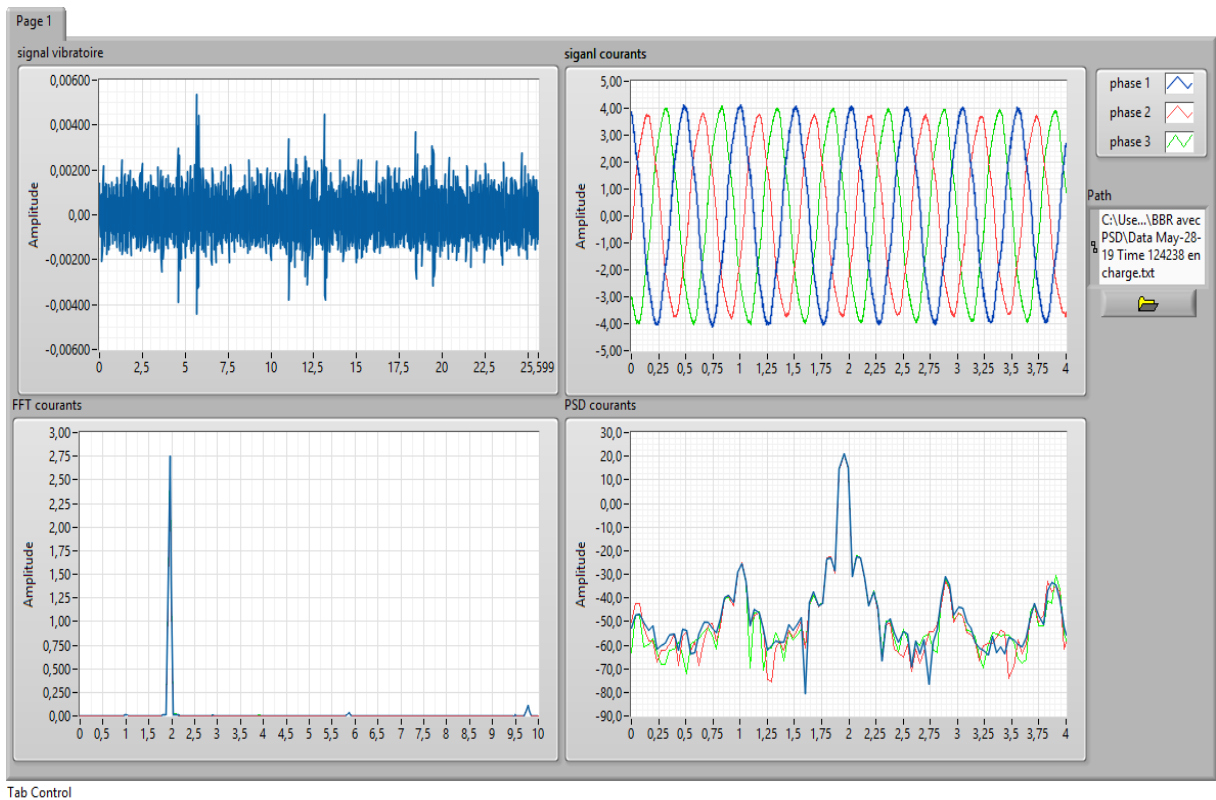


Figure. IV.49 : Moteur asynchrone avec cassure de deux barres avec charge

Les figures présentent les spectres de courant de phase pour un moteur sain et un moteur avec deux barres de rotor cassées et une charge de 0% et la pleine charge. Comme nous le savons que les fréquences de bande latérale sont des fonctions du glissement, elles changent avec la vitesse (implicitement avec la charge). Ce phénomène peut être clairement observé à partir de la Figure. IV.49, où la densité spectrale de puissance des courants mesurés pour le moteur à 2 barres cassées est tracée pour deux cas différents : moteur sain et avec défaut. Comme on peut le constater, la magnitude des constituants de fréquence de la bande latérale augmente également à mesure que la charge augmente.

Comme déjà indiqué, la présence des bandes latérales de fréquence de glissement établit l'existence des barres de rotor cassées. La magnitude est en fonction du nombre de barres cassées. Ils montrent la variation des fréquences de défaillance et de leurs amplitudes avec le nombre de barres de rotor cassées. Il ressort clairement du graphique que le nombre de barres cassées peut être déterminé par la mesure des fréquences de défauts et de leurs amplitudes.

### ***V. Diagnostic off line par extraction des indicateurs santé des roulements***

Le dé-bruitage et l'extraction des faibles signatures sont essentiels pour améliorer la détection des défauts à un stade précoce afin de prévenir toute défaillance majeure des roulements de moteurs. Cependant les indicateurs sont souvent très réduits ou masqués par le bruit. Plusieurs travaux ont été réalisés pour assurer un meilleur diagnostic de l'état de santé des roulements dans les machines asynchrones en utilisant des outils de traitement du signal tels que RMS, la valeur moyen, skewness, kurtosis.

#### ***V.1. Description des tests expérimentaux***

L'un de ces travaux celui réalisé par IMS center for the Bearing health indicators, nous montrons une petite description de cette expérience :

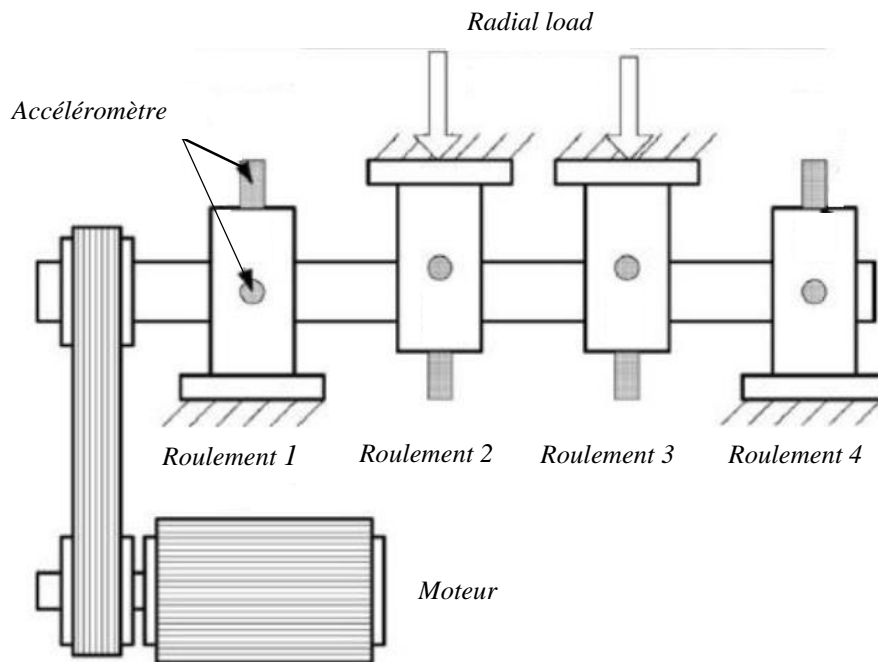


Figure. IV.50 : Test sur l'état de santé des roulements

un moteur fait tourner à une vitesse de rotation constante de 2000 Tr/mn une barre horizontale qui traverse la bague intérieure des quatre roulements, les roulements lubrifiés sont fixés et la barre métallique tournante joue le rôle de l'axe de rotor, le principe est d'alimenter le moteur et le faire tourner sans arrêt jusqu'à la défaillance totale d'une ou plusieurs roulements. Des accéléromètres de haute sensibilité sont installés sur les roulements pour mesurer les vibrations mécaniques de chacune.

Toutes les défaillances des roulements sont produites après bien avoir dépassé leur durée de vie qui est plus de 100 millions tours.

## ***V.2. Structure de la base de données***

Trois tests ont été faits (pour le 1<sup>er</sup> test deux accéléromètres pour chaque roulement (axe x et axe y), un seul accéléromètre pour chacun des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> tests).

Une base de données volumineuse a été récupérée à la fin de chaque test. Chaque donnée contient un nombre considérable de fichiers, à partir desquels chaque fichier est généré après une seconde de mesures de vibrations mécaniques et il contient 20 480 points dont la fréquence d'échantillonnage est de 20 KHz. Dans ce chapitre, nous ne nous intéresserons qu'au 2<sup>e</sup> test, étant donné la taille énorme des autres tests du 1<sup>er</sup> et du 3<sup>e</sup>me.

- Test N°2 :

Durée du test : Février 12, 2004 10:32:39 to Février 19, 2004 06:22:39

Nombre des fichiers : 984

Nombre de canaux : 4

Intervalle de prise de mesure : chaque 10 mn

Résultats : fin du test, une rupture de la bague extérieure apparaît dans le roulement 1

## ***V.3. Exploitation de base de données sous LabView***

En utilisant un traitement du signal par une analyse temporelle des données, pour révéler les paramètres statistiques indiquant les défauts qui peuvent se produire dans les roulements.

Nous avons développé un programme qui nous permet de visualiser l'état de santé de chaque roulement pendant toute la durée de l'expérience (Test to failure), 6 indicateurs sont utilisés (RMS, la valeur moyenne, skewness, kurtosis, déviation standard et la variance), pour traiter chaque fichier de la base de données enregistrées pour chaque roulement, avant de passer au suivant, comme vous pouvez utiliser d'autres paramètres statistiques pour le même traitement. La figure. IV.46 présente les 6 paramètres de 4 roulements, dont 4 paramètres qui sont (RMS, kurtosis, déviation standard et la variance) nous montrent clairement la défaillance de roulement 1, un système dégradé engendre un signal vibratoire avec un Kurtosis supérieur ou égal à 4, et c'est notre cas, l'amplitude de Kurtosis de 1<sup>er</sup> roulement dépasse largement la limite tel que  $K1=17,2$ .

La Figure. IV.52 montre que les modifications des signaux de surveillance des conditions pour les 4 roulements avec les indicateurs de la valeur moyenne et skewness n'étaient pas significatives. Il a été conclu que ces caractéristiques ne seraient pas des indicateurs efficaces des défauts. Par contre les modifications des valeurs avec les autres indicateurs pour différents roulements sont évidentes et significatives.

Dans cette étude de cas, un dispositif expérimental d'identification des défauts de roulement a été mis au point. Le système d'instrument virtuel a été développé à l'aide de LabVIEW.

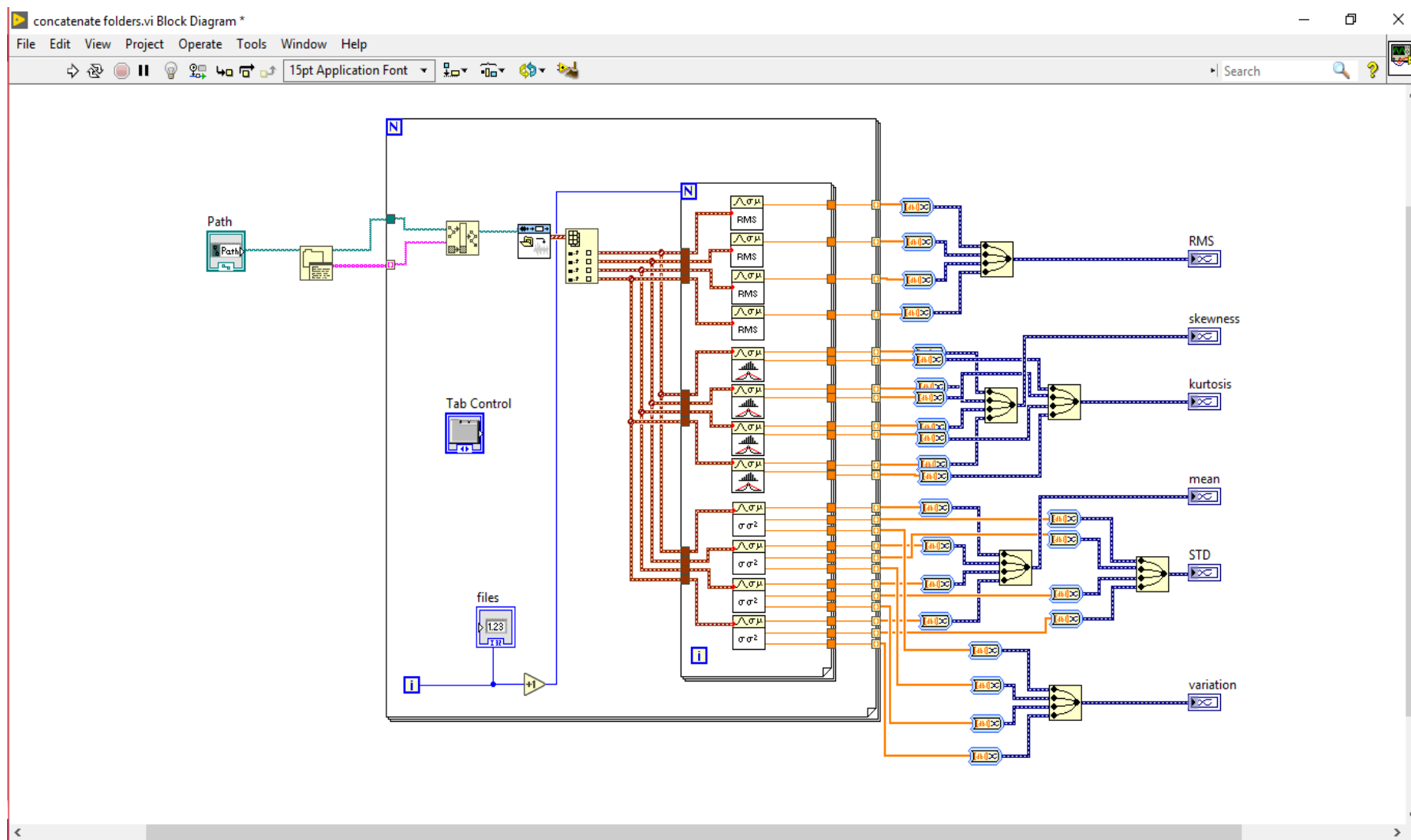


Figure. IV.51: Diagramme block LabView pour l'extraction des différents indicateurs santé des roulements

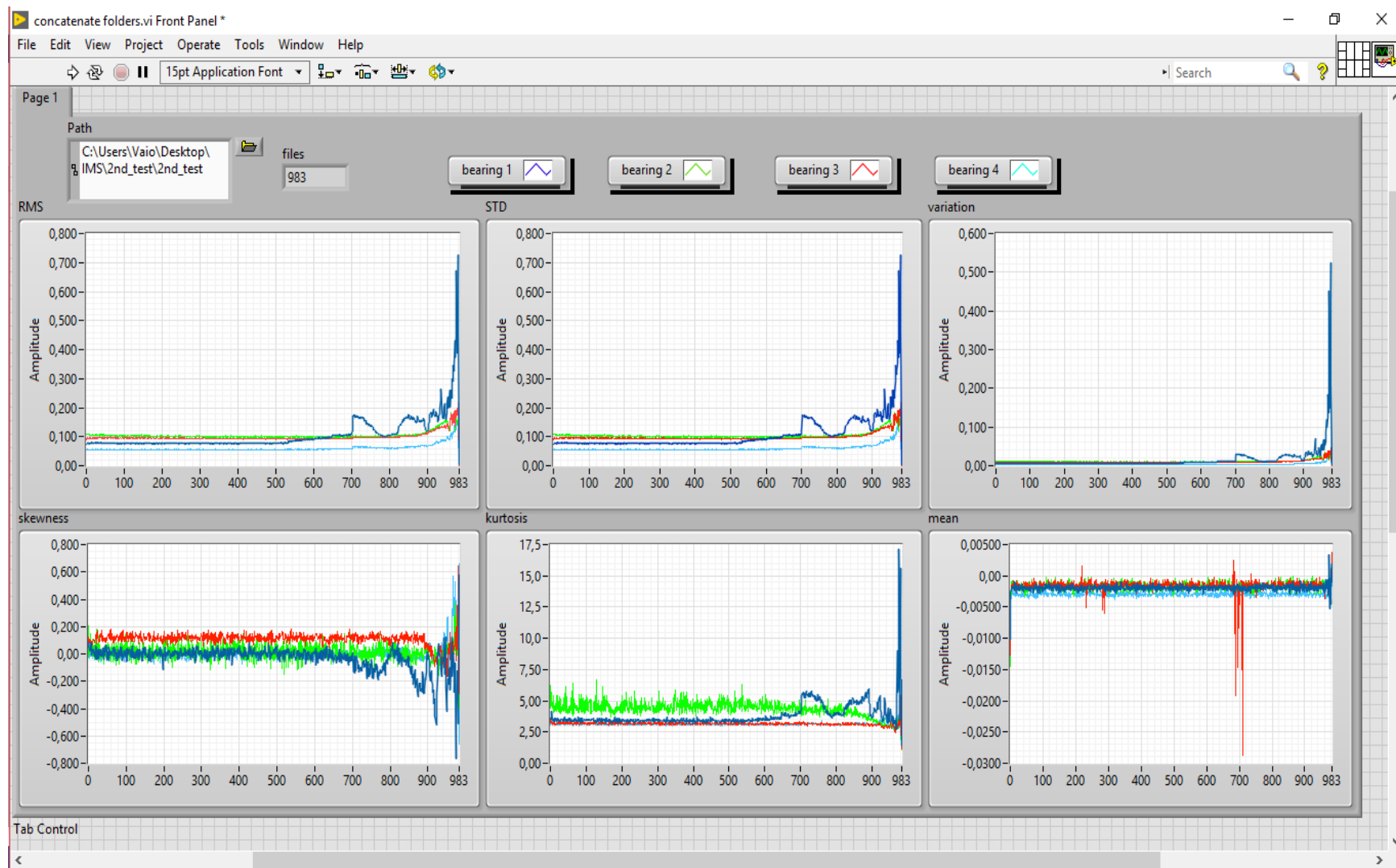


Figure. IV.52: Front panel LabView pour la visualisation des différents indicateurs santé des roulements

## ***VI. Conclusion***

Ce chapitre a été consacré pour le développement de procédures de détection et de diagnostic de défauts électriques des moteurs asynchrones. Ces procédures sont basées sur l'analyse des courants statoriques et des signaux vibratoires en utilisant la transformée de Fourier rapide (FFT) et la densité spectrale de puissance (PSD) en utilisant le produit de National Instruments et son logiciel LabVIEW.

La première partie de ce chapitre concerne le diagnostic des défauts de phase ouverte du bobinage statorique avec deux modes de fonctionnement vide et avec charge. Dans ces deux modes, des validations expérimentales en ligne ont été présentées pour les systèmes de diagnostic proposés. Notre travail a été basé sur 2 techniques de traitement du signal pour l'identification de défaut; l'analyse temporelle et fréquentielle. Nous avons remarqué que l'analyse temporelle ne permet pas de détecter de manière fiable un défaut, ni d'identifier son origine. C'est la raison pour laquelle nous avons basé dans le reste de ce travail sur l'analyse dans le domaine fréquentiel. La seconde partie a été destinée aux défauts de rupture de barres rotoriques, nous avons utilisé une base de données expérimentales enregistrées dans le laboratoire du centre nucléaire de Birine, l'analyse du spectre est basée sur LabVIEW.

La dernière partie de ce chapitre a été consacré au le diagnostic de défauts mécaniques par l'analyse des signaux vibratoires. Nous avons utilisé une base de données expérimentales enregistrées durant la période : Février 12, 2004 10:32:39 to Février 19, 2004 06:22:39, dont objectif est de d'identifier les anomalies du comportement du système ou au moins de localiser l'élément défaillant, ce qui permet d'éviter l'aggravation de défauts et l'arrêt totale de la machine.

# *Conclusion générale*

## ***Conclusion générale***

Ce travail a été réalisé pendant mon stage pratique de trois mois, au sein du laboratoire de recherche au niveau de la Division d'Etude et de Développement de l'Instrumentation Nucléaire (DEDIN) du Centre de Recherche Nucléaire de Birine (CRNB) à Ain Oussara.

Le but de ce projet de fin d'études était consacré à la détection et le diagnostic de défauts électriques (phase ouverte dans le bobinage statorique et rupture de barres de la cage rotorique) par l'analyse des courant statoriques et le diagnostic de défauts mécaniques (défauts de roulements) par l'analyse des signaux vibratoires. L'objectif a été atteint et il a été démontré que les signaux de courant et de tension de moteur sont des moyens possibles pour détecter et distinguer les défauts d'un moteur à induction.

Les sources et les causes de ces défauts ont été examinées. Cette analyse a montré que les défauts électriques avaient de nombreux effets sur les performances des moteurs à induction, notamment des pulsations dans le champ magnétique tournant, qui, à leur tour, provoquaient une augmentation des vibrations, des oscillations de vitesse, une augmentation de la température du moteur et des conditions de fonctionnement oscillantes. Tous ces facteurs entraînent une réduction du rendement du moteur et une réduction de la durée de vie du moteur.

Des méthodes de traitement du signal dans le domaine temporel et fréquentiel ont été appliquées aux données collectées pour tenter de détecter et de diagnostiquer les fautes d'origine. Une étude comparative a été réalisée pour examiner les performances de détection et de diagnostic des défauts stator et rotor pour un moteur avec et sans charge. Ensuite, nous avons exposés les techniques et les outils (de traitement, d'extraction, et de sélection) adoptées pour le développement de nos systèmes de détection de défauts.

Un banc d'essai expérimental été utilisé pour effectuer des tests sur un moteur en état sain et un moteur avec des défauts de stator ou de rotor. Les données des signaux de courant et de tension du moteur ont été relevées dans différentes conditions de défaut pour différentes charges et différentes vitesses, et des techniques de traitement du signal ont été appliquées aux deux modes de fonctionnement ; mode à vide et mode avec charge, pour un diagnostic en temps réel sous LabVIEW.

Les résultats de l'évaluation du chapitre 4 montrent que les défauts électriques entraînent une augmentation de l'amplitude des bandes latérales de la signature de courant du moteur lorsque le défaut est de nature électrique (phase ouverte). Toutefois, l'augmentation des bandes latérales peut être observée dans les signaux de courant et de tension dans l'analyse fréquentielle (défaut de rupture de barres). Les résultats expérimentaux montrent que la variation des fréquences de défaillance et de leurs

amplitudes avec le nombre de barres de rotor cassées, ainsi que l'amplitude des bandes latérales change avec la charge et le défaut.

Dans la deuxième partie de ce travail, nous avons appliqué les techniques de traitement et d'extraction d'indicateurs de défauts conventionnelles (méthodes temporelles et fréquentielles), tels que RMS, la valeur moyen, skewness, kurtosis permettent de détecter les défauts et de faire un diagnostic efficace dans des conditions ordinaires. Ces méthodes de traitement du signal dans le domaine temporel et fréquentiel ont été appliquées sur une base de données enregistrées entre la période : Février 12, 2004 10:32:39 to Février 19, 2004 06:22:39, pour tenter d'extraire des indicateurs santé des roulements. Une étude comparative a été réalisée pour examiner les performances de détection et de diagnostic de défauts de roulement. Elle montre que les signatures de courant et de tension avec différentes méthodes peuvent donner une indication efficace des défauts.

## ***Bibliographie***

---

- [1] Motor Reliability Working Group. Report of large motor reliability survey of industrial and commercial installations, Part I. IEEE Transactions on Industry Applications, 1985. IA-21(4): p. 853-864.
- [2] Albrecht, P.F., Appiarius, J. C., Cornell, E. P., Houghtaling, D. W., McCoy, R. M., Owen, E. L., & Sharma, D. K. Assessment of the Reliability of Motors in Utility Applications - Updated. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1986. EC-1(1): p. 39-46.
- [3] Gaeid, K. S., Ping, H. W., Khalid, M., & Salih, A. L. Fault diagnosis of induction motor using MCSA and FFT. Electrical and Electronic Engineering, 2011. 1(2): p. 85-92.
- [4] Benbouzid, M. E. H., Vieira, M., & Theys, C. Induction motors' faults detection and localization using stator current advanced signal processing techniques. IEEE Transactions on power electronics, 1999, 14(1): p. 14-22.
- [5] Thomson, W.T. & Gilmore, R. J. Motor current signature analysis to detect faults in induction motor drives-fundamentals, Data interpretation, and industrial case histories. In Proceedings of 32nd Turbo machinery Symposium, A&M University, 2003, Texas, USA.
- [6], A. Boulenger and C. Pachaud, Aide-mémoire Surveillance des machines par analyse des vibrations. Dunod, 2009
- [7], B. R. Nayana and P. Geethanjali, "Analysis of Statistical Time-Domain Features Effectiveness in Identification of Bearing Faults From Vibration Signal," IEEE Sensors Journal, vol. 17, no. 17, pp. 5618-5625, 2017.
- [8], A. Bellini, A. Yazidi, F. Filippetti, C. Rossi, and G.-A. Capolino, "High frequency resolution techniques for rotor fault detection of induction machines," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, no. 12, pp. 4200-4209, 2008.
- [9], F. Vedreno-Santos, M. Riera-Guasp, H. Henao, M. Pineda-Sanchez, and R. Puche Panadero, "Diagnosis of Rotor and Stator Asymmetries in Wound-Rotor Induction Machines Under Nonstationary Operation Through the Instantaneous Frequency," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 61, no. 9, pp. 4947-4959, 2014.
- [10], M. Blodt, J. Regnier, and J. Faucher, "Distinguishing load torque oscillations and eccentricity faults in induction motors using stator current Wigner distributions," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 45, no. 6, pp. 1991-2000, 2009
- [11], Z. Feng, M. Liang, and F. Chu, "Recent advances in time-frequency analysis methods for machinery fault diagnosis: A review with application examples," Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 38, no. 1, pp. 165-205, 2013.
- [12] R. Fei, E. F. Fuchs, and H. Huag, "Comparison of two optimization techniques as applied to three-phase induction motor design," IEEE Transaction on Energy Conversion, vol. 4, no. 4, pp. 651-660, 1989.

- [13] P. J. Tavner, Review of condition monitoring of rotating electrical machines, IET Electrical Power Applications, vol. 2, no. 4, pp. 215-247, 2008.
- [14] M. E. K. Oumaamar, "Surveillance et diagnostic des défauts rotoriques de la machine à induction avec différents types d'alimentation," Thèse de Doctorat, Département d'électrotechnique, Université Mentouri - Constantine, 2010.
- [15] Smail Bachir, « modélisation et diagnostic de la machine asynchrone par identification paramétrique à vitesse constante. » Thèse de doctorat, Ecole Supérieur d'ingénieur de Poitiers, 2002
- [16] Schaeffer. Emmanuelle « Diagnostic des machines asynchrones, modèles et outils paramétriques dédiés à la simulation et à la détection de défauts. » Thèse de doctorat, université de Nantes, Décembre 1999.
- [17] G. Didier, "Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances," These de doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy-I, 2004..
- [18] S. Chen and R. Živanović, "Modelling and simulation of stator and rotor fault conditions in induction machines for testing fault diagnostic techniques," European Transactions on Electrical Power, vol. 20, no. 5, pp. 611–629, 2010.
- [19] R. Bell, D. McWilliams, P. O'DONNELL, C. Singh, and S.Wells, "Report of large motor reliability survey of industrial and commercial installations i," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 21, no. 4, pp. 853–864, 1985.
- [20] Noureddine BESSOUS, Contribution Au Diagnostic Des Machines Asynchrones, magister en Electrotechnique, université de Constantine Algérie 2013.
- [21] A. Ibrahim, "Contribution au diagnostic de machines électromécaniques: Exploitation des signaux électriques et de la vitesse instantanée," Thèse de Doctorat, Université Jean Monnet-Saint-Etienne, 2009.
- [22] O. Ondel, "Diagnostic par reconnaissance des formes: Application à un ensemble convertisseurmachine asynchrone," Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lyon, 2006.
- [23] E. Cornell, E. Owen, J. Appiarius, R. McCoy, P. Albrecht, and D. Houghtaling, "Improved motors for utility applications," Final Report General Electric Co., Schenectady, NY., 1982.
- [24] N. M. Elkasabgy, A. R. eastham, G. E. Dawson, "Detection of broken bars in the cage rotor on an induction machine" IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.28, no.1, Part 1, pp. 165-171, Jan.-Fév. 1992
- [25] N. M. Elkasabgy, A. R. eastham, G. E. Dawson, "Detection of broken bars in the cage rotor on an induction machine" IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.28, no.1, Part 1, pp. 165-171, Jan.-Fév. 1992
- [26] T. Boumegoura, "Recherche de signature électromagnétique des défauts dans une machine asynchrone et synthèse d'observateurs en vue du diagnostic," Thèse de doctorat, Ecole centrale de Lyon Ecully, Fance, 2001.

- [27] B. Vaseghi, "Contribution à l'étude des machines électriques en présence de défaut entrespires," Thèse de doctorat, GREEN - Groupe de Recherche en Electrotechnique et Electronique de Nancy, Nancy Université - Institut National Polytechnique de Lorraine, 2009.
- [28] S. Nandi, T. C. Ilamparithi, L. Sang Bin, and H. Doosoo, "Detection of Eccentricity Faults in Induction Machines Based on Nameplate Parameters," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, pp. 1673-1683, May 2011.
- [29] R. N. Andriamalala, H. Razik, L. Baghli, and F. M. Sargos, "Eccentricity Fault Diagnosis of a Dual-Stator Winding Induction Machine Drive Considering the Slotting Effects," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, pp. 4238-4251, December 2008.
- [30] P. Zhang, Y. Du, T. G. Habetler, and B. Lu, "A survey of condition monitoring and protection methods for medium voltage induction motors," *IEEE Transactions on Energy Convers.*, vol. 47, no. 1, pp. 34-46, Jan. 2011.
- [31] I. Rodriguez, R. Alves, and V. Guzman, "Analysis of air gap flux to detect induction motor faults," in *Universities Power Engineering Conference, 2006. UPEC'06. Proceedings of the 41st International*, vol. 2. IEEE, 2006, pp. 690-694.
- [32] H. Douglas, P. Pillay, and A. Ziarani, "Detection of broken rotor bars in induction motors using wavelet analysis," *Electric Machines and Drives Conference, 2003. IEMDC'03. IEEE International*, pp. 923-928, July 2003.
- [33] S. Bachir, S. Tnani, J.-C. Trigeassou, and G. Champenois, "Diagnosis by parameter estimation of stator and rotor faults occurring in induction machines," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 53, no. 3, pp. 963-973, 2006.
- [34] Didier G., « Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances », Thèse de doctorat, Université Nancy 1, France, 2004.
- [35] Peter Vas, "Parameter estimation, condition monitoring, and diagnosis of electrical machines", Clarendon Press Oxford, 1993
- [36] P. J. Tavner and J. Penman "Condition monitoring of electrical machines". Hertfordshire, England: Research Studies Press Ltd, ISBN: 0863800610, 1987.
- [37] P. M. Frank, "Analytical and Qualitative Model-based Fault Diagnosis – a survey and some new results," *European Journal of Control*, vol.2, pp.6-28, 1996.
- [38] C. Baskiotis, J. Raymond, and A. Rault, "Parameter identification and discriminant analysis for jet engine mechanical state diagnosis," *IEEE Conference on Decision and Control including the Symposium on Adaptive Processes*, vol.18, pp. 648-650, 1979.
- [39] H. Heno, and al "A frequency-domain detection of stator winding faults in induction machines using an external flux sensor," *IEEE trans. Ind. Appl*, vol. 39, No. 5, pp. 1272-1279, Sep/Oct. 2003.
- [40] M. Sahraoui, "Etude comparative des méthodes de diagnostic des machines asynchrone," Thèse de Doctorat, Université de Biskra, Déc. 2010.

- [41] M. E. H. Benbouzid, "A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection," IEEE transactions on industrial electronics, vol. 47, no. 5, pp. 984-993, 2000.
- [42] J. S. Hsu, "Monitoring of Defects in Induction Motors Through Air-Gap torque Observation", IEEE Transaction on Industry Application, Vol. 31, No.5, Sep/Oct. 1995, pp. 1016-1021.
- [43] B. Samanta, K. R. Al-Balushi, and S. A. Al-Araimi, "Artificial neural networks and support vector machines with genetic algorithm for bearing fault detection," Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 16, no. 7-8, pp. 657-665, 2003.
- [44] A. Oulmane, "Surveillance et diagnostic des défauts des machines tournantes dans le domaine tempsfréquences utilisant les réseaux de neurones et la logique floue," Thèse de Doctorat, École Polytechnique de Montréal, 2014.
- [45] E. Oran Brigham, "Fast Fourir transform and its application," Prentice Hall, 1988.
- [46] Lee. Burgess, Terry. Shimbil, "What is the prognosis on your maintenance program," Engineering & Mining Journal, May.1995.
- [47] M. Gaouaoui, "Diagnostic par Reconnaissance des formes: Application à la machine asynchrone," Thèse de Doctorat, Département Automatique, Université Mouloud Maameri de Tizi Ouzou, 2012.
- [48] Le site de National Instruments (en Anglais)
- [49] Le site de National Instruments France
- [50] initiation à LabVIEW, National instruments, 2003.
- [51] Roland Casimir, « Diagnostic des défauts des machines asynchrones par reconnaissances des formes. » thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon, 2003.
- [52] Siddique, A. Yadva, G. S., & Singh, B. A, review of stator fault monitoring tchniques of induction motors. Energy conversion, IEEE Transactions on, 2005. 20 (1) : p.106-114.