



جامعة عباس لغرور خنشلة  
كلية العلوم و التكنولوجيا 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**

# **Développement d'une Platform IIoT sous LabVIEW pour la surveillance et le Diagnostic Online des machines**

*Réalisé par : - Nedjaoui Akram*

*- Lechkhab SALAH EDDINE*

*Dirigé par : Pr. Sofiane Bououden*

*Pr. Said Touati*

*Membres du Jury :*

*Dr. Fouad Allouani MCA*

*Mme. H. BENFAROUDJ MAA*

*Président*

*Examinateur*

**Année universitaire 2019/2020**

## Remerciements

*Avant tout nous remercions notre bon dieu le tout puissant pour le courage et la force et la volonté qui nous a accordé pour accomplir ce travail.*

*Nous tenons à exprimer toute notre gratitude et nos profonds remerciements à notre prometteur Mr Sofiane BOUOUDEN, pour nous avoir suivis dans l'élaboration de ce travail et pour toute la confiance qu'il nous a sus témoigner durant cette étude.*

*Nous nous adressons également nos vifs remerciements à Mr Said TOUATI notre Co-Encadreur pour nous avoir accueillies au niveau du centre de recherche du Birine CRNB, pour sa disponibilité et pour ses judicieux conseils pendant le stage effectué au CRNB.*

*Nous tenons aussi à exprimer nos plus grands respects et nos vifs remerciements aux membres du jury qui ont bien voulu examiner ce travail.*

*Un remerciement très respectueux tous nos enseignants de l'université de kenchela.*

*Nous remercions vivement l'ensemble de personnel de CRNB, ain oussara et aussi ceux de l'université de kenchela .*

*Nos remerciements les plus chaleureux et les plus profonds s'adressent à notre famille et nos amis pour leurs soutiens, leurs encouragements et leurs patiences.*

*Enfin, nous remercions tous ceux qui ont nous aidés de près de loin à réaliser ce travail.*

## *Dédicaces*

**JE dédié ce travail à :**

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

A mes frères Salah et Raid. Et mes sœurs.

A Mr DJOGHLAL BADR EDDINE

A mes amis et tous mes collègues 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.....

*Nedjaoui Akram*

## *Dédicaces*

**JE dédié ce travail à :**

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

A mes petits frères Nadjib et Anwar. Et ma sœur.

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

A Mr DJOGLHAL BADR EDDINE

A mes amis et mes collègues pour leurs encouragements.

A mon binôme Akram pour avoir partagé avec moi ces moments pour la réalisation de ce modeste travail

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.....

*Lechekhab Salah Eddine*

## Résumé

L'objectif de ce travail est de réaliser une plate forme IIoT qui nous permet de manipuler des machines tournantes à distance via un réseau de communication et qui assurera la surveillance et le diagnostic sous LabVIEW. Nous avons présenté une vue générale sur l'internet des objets IIOT, dans lequel l'Internet jouera un rôle important, grâce à l'universalité de l'Internet et de ses protocoles. Dans ce travail nous avons utilisé la plate forme LabVIEW pour traiter une base de données réelle de défauts de la machine tournante. Cette étude à pour but de détecter et le diagnostiquer de défauts électriques (ouverture de phase dans le bobinage statorique et rupture de barres de la cage rotorique) par l'analyse des courant statoriques. Enfin, en dernier lieu, le diagnostic de défauts mécaniques (défauts de roulements) ont été traités par l'analyse du spectre du signal. Dans notre travail nous utilisé les techniques fréquentielles telles que la transformation de Fourier rapide (FFT) et la DSP.

### ملخص

الهدف من هذا العمل هو تحقيق منصة إنترنت الأشياء التي تسمح لنا بمعالجة الآلات الدوارة عن بعد عبر شبكة اتصالات والتي ستوفر المراقبة والتشخيص في إطار LabVIEW. لقد قدمنا لمحة عامة عن إنترنت الأشياء IIOT ، حيث ستلعب الإنترنت دورًا مهمًا ، وذلك بفضل عالمية الإنترنت وبروتوكولاتها. في هذا العمل ، استخدمنا منصة LabVIEW لمعالجة قاعدة بيانات حقيقية لأخطاء الآلة الدوارة. الغرض من هذه الدراسة هو الكشف عن الأعطال الكهربائية وتشخيصها (فتح الطور في لف الجزء الثابت وكسر القضبان في القفص الدوار) عن طريق تحليل تيارات الجزء الثابت. أخيرًا ، تم التعامل مع تشخيص الأعطال الميكانيكية (أخطاء الحمل) من خلال تحليل طيف الإشارة. في عملنا استخدمنا تقنيات التردد مثل تحويل فورييه السريع (FFT) و DSP.

**Chapitre 1**

- Figure 1.1 : Les objets de l'IIoT
- Figure 1.2 : Le Modèle de référence de L'IoT (CISCO, 2014)
- Figure 1.3 : Les domaines d'Internet of Things
- Figure 1.4: une figure qui représente la domotique
- Figure 1.5: une figure qui représente l'agriculture intelligente
- Figure 1.6: une figure qui représente une ville intelligente
- Figure 1.7: une figure qui représente les compteurs intelligents
- Figure 1.8: une figure qui représente la Cybersanté
- Figure 1.9: une figure qui représente le Contrôle industriel
- Figure 1.10: une figure qui représente le Vente au détail
- Figure 1.11: une figure qui représente la Gestion de l'eau intelligente

**Chapitre 2**

- Figure 2.1 Machine tournante
- Figure 2-2 Eléments d'une machine tournante
- Figure 2.3 Court-circuit dans les enroulements statoriques
- Figure 2.4 Court-circuit entre spires
- Figure 2.5 court-circuit entre phase
- Figure 2.6 court-circuit phase/bâti
- Figure 2.7 Défauts de rupture de barres et d'anneaux rotoriques.
- Figure 2. 8 – Représentation schématique de défauts d'excentricités.
- Figure 2-9 Désalignement angulaire et parallèle [31].
- Figure 2-10 Jeu d'arbre excessif et leur image vibratoire.
- Figure 2-11 Mauvais serrage mécanique et leur image vibratoire [30].
- Figure 2.12 Différentes composantes d'un roulement à billes [32].
- Figure 2.13 Défauts des roulements à billes. (a) sur la bague interne; (b) sur la cage; (c) sur une bille et (d) sur la bague externe [32].
- Figure 2.14 Géométrie d'un roulement. (a) Une vue de coupe d'un roulement à billes ; (b) Une vue de coupe d'un roulement à billes coniques.  $D$  : diamètre moyen au centre de la bille ;  $d$  : diamètre de la bille;  $\alpha$  : angle de contact; (c) Roulement à une seule rangée de billes
- Figure 2.15 Spectre du défaut de délignage
- Figure 2.16 Dégradation des dents d'une roue dentée
- Figure 2.17 Spectre RC et peigne de raies du défaut d'engrenages
- Figure 2.18 Spectre du défaut d'engrenages
- Figure. 2.19: Processus de surveillance et de diagnostic des défauts
- Figure. 2.20 : Approches de surveillance et de diagnostic des machines tournantes
- Figure. 2.21 : Générateur de résidus à base d'un observateur
- Figure. 2.22: Générateur de résidus dans l'espace de parité.
- Figure. 2.23 : Description schématique d'une estimation paramétrique
- Figure. 2.24 : 3 phases de courants statorique d'une machine tournante
- Figure. 2.25: Mesures vibratoires sur la machine asynchrone

## Liste des figures

Figure. 2.26 : Signal de vibration mécanique

Figure. 2.27: Techniques de traitement de signal pour le diagnostic des machines tournantes

Figure.2.28 : Représentation temporel au fréquentiel d'une sinusoïde par FFT

Figure.2.29 : Le neurone formel et l'architecture des RNA.

### Chapitre 3

Figure3.1 LabVIEW

Figure3.2 Fonctionnalité de LabVIEW

Figure3.3 deux fenêtres de LabVIEW

Figure 3.4 Page d'accueil de LabVIEW

Figure 3.5 La « face-avant » (Front panel)

Figure 3.6 Le schéma fonctionnel (block diagram)

Figure 3.7 Panneau avant et son schéma fonctionnel

Figure 3.8 Caractères communs aux deux fenêtres

Figure 3.9 Palette d'outils(Tools)

Figure 3.10 Palette d'objets du panneau avant (*Controls Palette*) apparaissant par défaut

Figure 3.11 Types des fils de connexion les plus courants

Figure3.12 Liaison erroné entre deux contrôles

Figure 3.13 Composante de soustraction

Figure 3.14 Composante arithmétique

Figure 3.15 Fonction concaténations des caractères

Figure 3.16 Composant d'un nouveau tableau

Figure 3.17 Extraction des données d'un cluster

Figure 3.18 Fonction créer un fichier sous LabVIEW

Figure 3.19 La boucle For du Labview

Figure 3.20 La boucle While du LabVIEW

Figure3.21 La structure séquence de Labview

Figure 3.22 Calcule de la racine carrée d'un nombre positif en utilisant la structure selecte

Figure3.23 Calcule de la racine carrée d'un nombre négatif en utilisant la structure selecte

Figure 3.24 Transfert de données d'une itération à la suivante par un registre à décalage

Figure 3.25 Enregistrement et utilisation des data des itérations précédentes par feedback

Figure 3.26 Opération arithmétiques et logique

Figure 3.27 Front panel pour la résolution d'un polynôme 2eme degré true case

Figure 3.28 block diagram pour la résolution d'un polynôme 2eme degré true case

Figure3.29 Front panel pour la résolution d'un polynôme 2eme degré false cas

Figure 3.30 Block diagram pour la résolution d'un polynôme 2ème degré false case

Figure 3.31 La « face-avant » (Front panel) pour l'affichage des signaux dans LabVIEW

Figure 3.32 Block diagram pour l'affichage des signaux dans LabVIEW.

### Chapitre 4

Figure. 4.1: Banc d'essais d'une machine asynchrone au niveau de la DEDINE (CRNB).

Figure.4.2 : Différentes étapes de travail pour le diagnostic de défauts de la MAS.

Figure. 4.3 : Moteur asynchrone à cage d'écureuil.

## Liste des figures

- Figure. 4.4 : Frein à poudre.
- Figure. 4.5 : Schéma de principe du frein à poudre (électromagnétique). Vue en coupe.
- Figure.4.6 : MODMECA 3, module de mesure mécanique.
- Figure.4.7 : L'autotransformateur.
- Figure.4.8 : Appareils de mesure.
- Figure. 4.9 : Capteur de courant LA 125-P.
- Figure.4.10 : La Plateforme temps réel programmable  $\mu$ TECH-LRT+ de NI.
- Figure.4.11 : Carte d'acquisition NI USB-9162.
- Figure.4.12 : Analyseur de puissance et de réseau transitoire C.A 8332B.
- Figure.4.13: lecture des data et traitement par l'FFT et lePSD.
- Figure. 4.14 : Fichier de base de données de moteur avec défaut.
- Figure. 4.15 signale vibratoire d'une machine tournante état sain à vide.
- Figure. 4.16 signale des courants d'une machine tournante état sain à vide.
- Figure. 4.17 signal FFT des courants d'une machine tournante état sain à vide.
- Figure. 4.18 signale PSD des courants d'une machine tournante état sain à vide.
- Figure. 4.19 signale vibratoire d'une machine tournante état sain en charge.
- Figure. 4.20 signale des courants d'une machine tournante état sain en charge.
- Figure. 4.21 signal FFT des courants d'une machine tournante état sain en charge.
- Figure. 4.22 signale PSD des courants d'une machine tournante état sain en charge.
- Figure. 4.23 signale vibratoire d'une machine tournante avec BBR à vide.
- Figure. 4.24 signale des courants d'une machine tournante.
- Figure. 4.25 signal FFT des courants d'une machine tournante avec BBR à vide.
- Figure. 4.26 signale PSD des courants d'une machine tournante avec BBR à vide.
- Figure. 4.27 signale vibratoire d'une machine tournante avec BBR en charge.
- Figure. 4.28 signale des courants d'une machine tournante avec BBR en charge.
- Figure. 4.30 signale PSD des courants d'une machine tournante avec BBR en charge.
- Figure. 4.31 signale vibratoire d'une machine tournante avec OP à vide .
- Figure. 4.32 signale des courants d'une machine tournante avec OP à vide.
- Figure. 4.33 signal FFT des courants d'une machine tournante avec OP à vide.
- Figure. 4.35 signale vibratoire d'une machine tournante avec OP en charge.
- Figure. 4.36 signale des courants d'une machine tournante avec OP en charge.
- Figure. 4.37 Signal FFT des courants d'une machine tournante avec OP en charge.
- Figure. 4.38 Signal PSD des courants d'une machine tournante avec OP en charge.
- Figure. 4.39 : Vue des roulements sains et défectueux (bague cassée).
- Figure. 4.40: Diagramme block LabView pour l'extraction des différents indicateurs santé des roulements.
- Figure.4.41: Front panel LabView pour la visualisation de l'indicateur de santé RMS.
- Figure.4.42: Front panel LabView pour la visualisation de l'indicateur de santé Kurtosis.
- Figure.4.43: Front panel LabView pour la visualisation de l'indicateur de santé Mean.
- Figure.4.44: Front panel LabView pour la visualisation de l'indicateur de santé Skewness.
- Figure.4.45: Front panel LabView pour la visualisation de l'indicateur de santé STD.
- Figure.4.45: Front panel LabView pour la visualisation de l'indicateur de santé variance.

## **Abréviations**

<b>Abréviations</b>	<b>Définitions</b>
<b>IIoT</b>	<b>Industrial Internet Of Things</b>
<b>IOT(IDO)</b>	<b>Internet Of Things(Internet Des Objets)</b>
<b>M2M</b>	<b>Machine To Machine</b>
<b>OC</b>	<b>Objet Connecté</b>
<b>CERP</b>	<b>Cluster Des Projets Européens</b>
<b>RFID</b>	<b>Identifaction Par Radio Fréquence</b>
<b>WSN</b>	<b>Wirless Sensors Network</b>
<b>BLE</b>	<b>Bleutouth Low Energy</b>
<b>ERP</b>	<b>Entreprise Ressource Planning</b>
<b>BI</b>	<b>Business Intelligence</b>
<b>UV</b>	<b>Ultra Violet</b>
<b>FFT</b>	<b>Fast Fourier Transforme</b>
<b>STFT</b>	<b>Slow Terme Fourier Transforme</b>
<b>DWV</b>	<b>Distrubition de Winger - Ville</b>
<b>RNA</b>	<b>Réseaux de neurones artificiels</b>
<b>RDF</b>	<b>Reconnaissance des formes</b>
<b>CRNB</b>	<b>Centre de Recherche Nucléaire de Birine</b>
<b>LabVIEW</b>	<b>Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench</b>
<b>LED</b>	<b>Light-Emmitting Diod</b>
<b>NI</b>	<b>National Instrument</b>
<b>MAS</b>	<b>Machine Asynchrone</b>
<b>PSD</b>	<b>Power Spectral Density</b>
<b>BBR</b>	<b>Broken Bar Rotor</b>
<b>OP</b>	<b>Open Phase</b>
<b>VI</b>	<b>Virtuel instrument</b>
<b>G</b>	<b>Language Graphique</b>

1. Introduction générale.....	01
-------------------------------	----

## **Chapitre1 : Internet industriel des objets (IIo)**

1.1. Introduction .....	05
1.2. Objet connecté (OC).....	05
1.3. Internet des objets IoT.....	05
1.4. La technologie et standards .....	06
1.5. Les Éléments de l'IoT .....	06
1.6. Technologies Habilitantes .....	06
1.6.1 Radio Frequency Identification.....	06
1.6.2. Wireless Sensors Network (WSN).....	07
1.6.3. Bluetooth Low Energy (BLE) – IEEE 802.15.1 .....	07
1.6.4. ZigBee (IEEE 802.15.4) .....	07
1.7. Visualisation (Interface) .....	07
1.8. Stockage et analyse de donnée .....	07
1.8.1 Les « couches » de l'IoT.....	08
▪ Niveau 1 : Dispositifs physiques et contrôleurs .....	09
▪ Niveau 2 : Connectivité.....	09
▪ Niveau 3 : Edge Computing (Brouillard).....	09
▪ Niveau 4 : Accumulation de données .....	10
▪ Niveau 5 : Abstraction de données .....	11
▪ Niveau 6 : Application .....	11
▪ Niveau 7 : Collaboration et processus .....	12
1.9. Domaines d'application .....	12
1.9.1 Domotique.....	13
1.9.2 Environnement intelligent .....	14
1.9.3 Transport et logistique.....	14
1.9.4 Agriculture intelligente.....	15
1.9.5. Villes intelligentes.....	16
1.9.6. Les compteurs intelligents .....	16
1.9.7 Sécurité et Urgences.....	17
1.9.8. Cybersanté .....	17
1.9.9. Contrôle industriel.....	18
1.9.10. Vente au détail .....	19
1.9.11 Gestion de l'eau intelligente .....	20
1.11 Conclusion.....	21

## **Chapitre 2 : Les machines tournantes**

2.1 Introduction .....	22
2.2 Définitions générale .....	23
2.2.1 Le rotor .....	23
2.2.2 La structure .....	23
2.2.3 Les liaisons .....	24

2.3 Défaillances d'ordre électrique .....	24
2.3.1 Défaillance au stator .....	24
2.3.1.1 Défauts d'isolant dans un enroulement.....	24
2.3.2 Défauts de court-circuit .....	25
2.3.2.1 court-circuit entre spires .....	25
2.3.2.2 courts-circuits entre phase.....	25
2.3.2.3 courts-circuits phase/bâti.....	26
2.3.3 Les Défauts de mauvais branchement .....	26
2.3.4 Défaillances au rotor .....	27
2.3.4.1 Rupture de barres .....	27
2.3.4.2 Rupture d'anneaux .....	27
2.4 Les différentes types des défaillances d'origine mécanique .....	28
2.4.1 Le défaut d'Excentricité .....	28
a) L'excentricité statique.....	28
b) L'excentricité dynamique... ..	28
c) L'excentricité mixte.....	28
2.4.2 Désalignement .....	29
2.4.2.1 Désalignement parallèle.....	29
2.4.2.2 Désalignement angulaire .....	30
2.4.3 Jeu mécanique.....	30
2.4.4 Défauts d'un mauvais serrage mécanique .....	30
2.4.5 Défauts de Roulements.....	31
2.4.6 Défauts d'engrenages .....	33
2.5 Autres défauts mécaniques .....	36
2.6 Techniques de supervision et de diagnostic .....	36
2.6.1 L'utilité du diagnostic .....	37
2.6.2 Techniques de diagnostic et de détection des défauts.....	38
2.6.2.1 Approche modèle .....	39
2.6.2.1.1 Diagnostic à l'aide des observateurs .....	39
2.6.2.1.2 Diagnostic par redondance analytique (espace de parité).....	39
2.6.2.1.3 Diagnostic par estimation paramétrique .....	40
2.6.2.1.4 Diagnostic par analyse de modèle de Park... ..	40
2.6.2.2 Approche signal .....	41
2.6.2.2.1 Diagnostic par analyse des courants statoriques .....	41
2.6.2.2.2 Diagnostic par analyse des vibrations mécaniques .....	41
2.6.2.2.3 Diagnostic par Mesure de puissance instantanée .....	42
2.6.2.3 Méthode de traitement de signal .....	43
a) Analyse dans le domaine Temporel.....	43
b) Analyse dans le domaine Fréquentiel .....	44
• Transformée de Fourier rapide FFT... ..	44
• Analyse temps-fréquence.....	45
2.6.2.4 Approche intelligence artificiel .....	47
2.6.2.4.1 Réseaux de neurones artificiels RNA .....	47
2.6.2.4.2 Reconnaissance des formes RDF.....	48
2.6.2.4.3 La logique floue .....	48

2.6.2.4.4 Méthodes de prises de décision (classification) .....	49
---	----

2.7 Conclusion.....	49
---------------------	----

### **Chapitre3 : Introduction à LabVIEW**

3.1 Introduction .....	50
3.2 Fonctionnement LabVIEW .....	50
3.3. Les fenêtres de LabVIEW .....	51
3.3.1 Le panneau avant (front panel) .....	52
3.3.2 Le schéma fonctionnel ou le diagramme (block diagram) .....	53
3.3.3 Les caractères communs au panneau avant et au diagramme .....	55
3.3.4 Les palettes .....	56
3.3.4.1 La palette d'outils.....	56
▪ Outils de développement.....	56
▪ Outils d'édition .....	56
3.3.4.2 La palette d'objets du « panneau avant » ( Controls Palette).....	57
3.4 Les types des fils de connexion... ..	57
3.5. Fonctions et structures de LabView.....	59
3.5.1 Les fonctions sur les nombres... ..	59
3.5.2 Les fonctions sur les chaînes de caractères .....	59
3.5.3 Les fonctions sur les tableaux .....	59
3.5.4 Les fonctions sur les clusters.....	60
3.5.5 Les fonctions sur les fichiers... ..	60
3.5.6. Les structures.....	60
3.5.6.1 La boucle FOR... ..	60
3.5.6.2 La boucle While .....	61
3.5.7 La structure séquence .....	61
3.5.8 La structure selecte « if » .....	62
3.6 Les registres à décalages et les nœuds de retour.....	63
3.6.1 Les registres à décalage.....	63
3.6.2 Les nœuds de retour .....	63
3.7 Quelques exemples sous LabVIEW.....	63
3.7.1 Opération arithmétiques et logique.....	63
3.7.2 Solution d'un polynôme 2eme degré... ..	64
3.7.3 Génération et manipulation des signaux .....	66
3.8 Conclusion... ..	67

## **Chapitre4: Supervision et Diagnostic des défauts de la Machine tournante**

4.1 Introduction.....	69
4.2 Description du Banc d'essais.....	71
4.2. 1. Machine asynchrone à cage.....	71
4.2.2. Frein à poudre.....	71
4.2.3. Le module MODMECA 3.....	73
4.2.4. Autotransformateur.....	73
4.2.5. Appareils de mesure.....	74
4.2.6. Capteur de courant.....	74
4.2.7. Cartes d'acquisition.....	74
4.2.7.1. LabVIEW Real-Time $\mu$ TECH-LRT+.....	75
4.2.7.2. NI USB-9162.....	75
4.2.8. Analyseur de puissance et de réseau transitoire C.A 8332B.....	76
4.3. Résultats expérimentaux.....	77
4.3.1 Diagnostic de défauts électriques.....	77
4.3. 2 Machine tournante en état sain.....	79
4.3.3 Machine tournante avec cassure de deux barres rotorique (BBR).....	83.
4.3. 4 Machine tournante avec ouverture d'une phase (OP).....	88
4.3.5 Diagnostic de défauts mécaniques.....	93
4.3.5.1 Diagnostic off line par extraction des indicateurs santé des Roulements.....	93
4.3.5.2 <i>Description des tests expérimentaux</i> .....	93
4.3.5.3 Structure de la base de données.....	94
4.3.5.4 Exploitation de base de données sous LabView.....	94
4.4 Conclusion.....	99
1. Conclusion.....	101

## **Introduction générale**

L'Internet des Objets Industriels (IIoT - Industrial Internet of Things) consiste, grâce à une technologie embarquée (capteurs, actionneurs, puces RFID...) à identifier et faire communiquer entre eux, tous les maillons des chaînes de valeur (machines, produits en cours de fabrication, finis et en cours d'utilisation, collaborateurs, fournisseurs, clients, infrastructures,...), que l'on peut désigner comme des « objets »[1].

Ces objets, au travers de dispositifs d'instrumentation génèrent et reçoivent des quantités considérables de données qui sont alors véhiculés au travers d'un réseau local ou d'internet.

Les données issues de l'Internet des objets pourront être traitées et exploitées en temps réel. La collecte et l'analyse de données sont essentielles dans l'IIOT (Industrial Internet Of Things) industriel pour fournir des informations utiles. Ces informations aident les entreprises industrielles à prendre des décisions commerciales mieux informées plus rapidement que jamais [2, 3].

L'utilisation des données machine des équipements utilisant l'IIOT industriel aide les entreprises à transformer leurs processus industriels ou leur fabrication. Un meilleur contrôle de la qualité, des pratiques durables et vertes, une climatisation confortable et une gestion plus efficace de la chaîne d'approvisionnement sont des exemples courants où les données jouent un rôle. Il bénéficie également de la maintenance prédictive, du service sur le terrain, de la gestion de l'énergie et des installations et du suivi des actifs.

Les machines tournantes, telles que les moteurs et les générateurs, sont des composants essentiels des applications industrielles et de production d'énergie. C'est la raison pour laquelle elles requièrent un niveau élevé de fiabilité et de disponibilité. Un défaut est un mauvais fonctionnement du système conduisant à une dégradation du procédé et de ses performances. Ces défauts peuvent provenir essentiellement des actionneurs, des capteurs, du contrôleur ou du procédé lui-même. Afin de planifier efficacement la supervision, il est essentiel de disposer d'informations précises quant à l'état des composants pour savoir quand les réparer ou les remplacer [4-6].



Accès VPN à distance aux machines

Il s'agit également de développer des SMS (Smart Motor Sensor) qui peut être connecté à l'IIoT pour les moteurs électriques, qui sont essentiels pour la sûreté de fonction d'une installation. Cela fait un simple moteur d'un processus productif, devenu un moteur intelligent.

Comme chaque solution nécessite une approche personnalisée, trois éléments communs sont nécessaires pour connecter des appareils industriels à Internet.

### 1. Un appareil IIoT industriel

Presque n'importe quel appareil industriel peut agir comme un instrument IIoT intelligent. Des capteurs, des caméras IP, des robots, des machines entières ou même des bâtiments peuvent être connectés au cloud. En plus du contrôle à distance, ils fournissent des informations précieuses pour d'autres applications.

### 2. Connectivité IIoT

Les appareils ne deviendront une ressource IIoT que lorsqu'ils seront connectés au cloud. Il existe différentes options de connectivité, telles que WiFi, 4G/LTE ou câblé pour l'activer. Même une connexion Internet avec une bande passante limitée peut suffire à fournir la connectivité nécessaire au cloud.

### 3. Utilisation d'une plateforme IIoT et traitement des données IIoT

Vous transformez votre appareil industriel en une ressource IIoT lorsqu'il utilise la connexion et transmet des données à d'autres fins, comme l'analyse. Le logiciel de la plate-forme IIoT rend les appareils plus accessibles.

## *Introduction générale*

Une plateforme IIoT est conçue pour collecter, stocker, visualiser et analyser des données. Obtenez des informations sur les processus, les rapports de production, les heures de production des machines ou la consommation d'énergie à l'aide d'un dispositif de passerelle périphérique. La plate-forme IIoT offre un accès à distance à vos machines pour le contrôle, la maintenance, la collaboration avec des solutions tierces ou à des fins d'optimisation.

Dans notre travail on va s'intéresser à cette nouvelle tendance des objets interconnectés utilisés dans le but de superviser et détecter les défauts survenant dans les machines tournantes. Pour cela, des mesures doivent être prises en temps réel et dans les différentes cas de la machine, (saine et avec défauts). Nous avons utilisé la plateforme IIoT pour collecter, stocker, visualiser et analyser des données de la machine tournante en temps réel. La plate-forme IIoT offre un accès à distance à notre machine assurera la surveillance et le contrôle sous LabVIEW, qui nous permet d'évaluer l'état des machines en permanence dans les conditions normales d'exploitation.

Nous avons structuré notre mémoire en quatre chapitres.

Dans le chapitre 1, nous allons expliquer en détails la technologie IoT, le principe de son utilisation et surtout l'impact qu'elle va avoir sur notre mode de vie, à travers des applications dans les différents domaines.

Le deuxième chapitre présente l'état mécanique d'une machine tournante et les principales défaillances souvent rencontrées sur ces machines, nous présentons aussi quelques techniques et méthodes employées dans le domaine de surveillance et de diagnostic.

Le troisième chapitre, porte sur le Logiciel de développement d'applications appelées LabVIEW ou encore, "Instruments Virtuels" car leur apparence et fonctionnement ressemblent aux instruments réels. Nous allons présenter son langage de programmation graphique (langage G) qui fait appel à des symboles (icônes) pour décrire les opérations de notre programme.

Le chapitre 4 est consacré à l'application de la plate forme IIOT sous LabVIEW qui nous permet de traiter les données reçues à distance, afin de superviser et détecter les défauts provenant des machines tournantes.

Enfin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale



## 1.2. Objet connecté (OC)

Avant de définir les concepts d'Internet des Objets (IdO), il est important de définir l'objet connecté qui est un dispositif dont la finalité première n'est pas d'être un système informatique ni une interface d'accès au web, exemple, un objet tel qu'une machine à café ou une serrure était conçue sans intégration de systèmes informatiques ni connexion à Internet. L'intégration d'une connexion Internet à un OC permet de l'enrichir en terme de fonctionnalité, d'interaction avec son environnement, il devient un **OC Enrichi (OCE)**, par exemple, l'intégration d'une connexion internet à la machine à café la rendant accessible à distance [1].

## 1.3. Internet des objets IoT

Le CERP-IdO (Cluster des projets européens de recherche sur l'Internet des objets) définit l'internet des objets comme : une infrastructure dynamique d'un réseau global. Ce réseau global a des capacités d'auto-configuration basée sur des standards et des protocoles de communication interopérables. Dans ce réseau, les objets physiques et virtuels ont des identités, des attributs physiques, des personnalités virtuelles et des interfaces intelligentes, et ils sont intégrés au réseau d'une façon transparente [2]. Un nouveau paradigme appelé Internet des Objets a rapidement gagné du terrain ces dernières années, également connu sous le nom d'IoT (« Internet of things »). L'internet des objets fait référence à "un réseau mondial d'objets interconnectés adressables de manière unique, basé sur des protocoles de communication standard" [3] dont le point de convergence est l'Internet.

L'Internet des Objets regroupe schématiquement 3 grandes familles :

- Les objets connectés directement à internet ;
- M2M, Machine to Machine : la communication entre les machines et l'accès au système d'information sans intervention humaine via une technologie tierce telle que : le Bluetooth, RFID, NFC, le Wi-Fi, 3G et 4G voire bientôt la 5G ;
- Les terminaux communiquant : ordinateurs portables, smartphones, tablettes, etc.

L'Internet Industriel des Objets est donc une sous-catégorie de l'Internet des Objets qui permet à ces objets d'élargir leurs champs d'action et d'impacter directement le secteur industriel grâce à leur usage.

## 1.4 La technologie et standards

Divers types de choses ou d'objets peuvent être interconnectés grâce à l'utilisation de technologies de communication sans fil telle que l'identification par radiofréquence (RFID)[7].

l'IoT peut être réalisé en trois paradigmes : orienté vers internet (middleware), orienté vers les objets (capteurs) et orienté vers la sémantique (apprentissage). Bien que ce type de conception soit nécessaire en raison de la nature interdisciplinaire du sujet, l'utilité de l'IoT ne peut être déclenchée que dans un domaine d'application où les trois paradigmes se recoupent. Le groupe RFID définit l'IoT comme « le réseau mondial d'objets interconnectés d'adresse unique, basé sur des protocoles de communication standard ».

Un environnement intelligent utilise les technologies d'information et de la communication pour rendre plus conscients, interactifs et efficaces les systèmes critiques de l'administration des secteurs les plus variés tels que l'éducation, la santé, la sécurité publique, le secteur immobilier, le transport les services publics et l'industrie[8]. La vision de l'IoT pour les environnements intelligents est l'interconnexion des dispositifs de détection et d'actionnement, qui offrent la possibilité de partager l'information de l'environnement à travers une structure unifiée, développant une image opérationnelle commune, permettant ainsi le développement de stratégies innovantes. Ceci est réalisé par une détection omniprésente parfaite, une analyse des données et une représentation de l'information avec le « cloud computing » comme structure unificatrice [9].

## 1.5 Les Éléments de l'IoT

On présente ici les éléments qui aideront à définir les composants nécessaires à l'Internet des objets dans le contexte de ce mémoire. Des taxonomies spécifiques de chaque composante peuvent être trouvées ailleurs [10,11] et [12]. Trois composants IoT permettent l'emplacement parfait :

- Hardware composé de capteurs, actionneurs
- Hardware de communication intégré ;
- Outils de stockage et computation de bord (frontière) sur demande.

Dans cette section, nous discutons de certaines technologies habilitantes dans ces catégories qui constituent les trois composantes mentionnées ci-dessus.

## 1.6 Technologies Habilitantes

### 1.6.1 Radio Frequency Identification

L'abréviation RFID (en anglais radio frequency identification) est synonyme d'identification par radiofréquence, et est définie comme étant une information véhiculée par des ondes électromagnétiques dans la bande des radiofréquences.

La technologie RFID permet la conception de puces pour la communication de données sans fil. Ils aident à identifier automatiquement tout ce qu'ils sont tenus d'agir comme un code à

barres électronique[13]. Il existe plusieurs catégories de technologie RFID et chacune a ses avantages et ses inconvénients. Les exigences de l'application déterminent quelle technologie RFID est appropriée.

### **1.6. 2. Wireless Sensors Network (WSN)**

Les progrès technologiques récents dans les circuits intégrés de faible puissance et la communication sans fil ont fourni des dispositifs miniaturisés efficaces, à faible coût et de faible puissance, pour une utilisation dans des applications à distance. La combinaison de ces facteurs a amélioré la faisabilité d'utiliser un réseau de capteurs constitué d'un grand nombre de capteurs intelligents, permettant la collecte, le traitement, l'analyse et la diffusion d'informations précieuses recueillies dans divers environnements [14].

### **1.6.3. Bluetooth Low Energy (BLE) – IEEE 802.15.1**

Le Bluetooth est considéré comme une technologie sans fil à courte portée et à faible coût pour fournir des fonctionnalités de communication, allant du remplacement du fil au réseau personnel simple [15]. La plupart des applications Bluetooth envisagées impliquent une communication locale entre de petits groupes d'appareils [16].

### **1.6.4. ZigBee (IEEE 802.15.4) :**

ZigBee est une norme de spécification pour une suite de protocoles de communication de haut niveau utilisés pour créer des réseaux personnels construits à partir de petites radios numériques de faible puissance [17].

## **1.7. Visualisation (Interface)**

La visualisation est fondamentale pour une application IoT, car elle permet l'interaction de l'utilisateur avec l'environnement. Avec les progrès récents dans les technologies d'écran tactile, l'utilisation de tablettes et de téléphones intelligents est devenue très intuitive [8]. Pour profiter pleinement de la révolution IoT, il est nécessaire de créer une visualisation attrayante et facile à comprendre.

Les écrans tactiles et les tablettes intelligentes intégrées ont créé un environnement conducteur pour le système. Les informations qui sont traitées dans des données significatives en utilisant des algorithmes de fusion de capteurs présenteront de nombreuses inférences sur la situation actuelle et les scénarios. Ces inférences doivent être représentées à partir des méthodes visuellement attrayantes, en utilisant la logique floue.

## **1.8 Stockage et analyse de données**

Le stockage, la propriété et l'expiration des données deviennent des problèmes critiques. L'Internet consomme jusqu'à 5 % de l'énergie totale produite aujourd'hui et va

certainement augmenter encore plus avec ces types de demandes [8]. L'infrastructure de stockage de données orientée IoT dans la plateforme Cloud devrait fournir un service de stockage, d'accès et de gestion des données IoT. Le système de stockage IoT permet le suivi des informations essentielles sur les éléments lorsqu'ils se déplacent dans les plateformes cloud.

Le système de stockage de données prenant en charge les dispositifs IoT peut être utilisé pour améliorer l'efficacité du traitement des données dans son ensemble et offrir un énorme avantage concurrentiel aux applications IoT. Les systèmes de stockage de données IoT permettront à l'entreprise d'acquérir une telle capacité [18].

### 1.8.1 Les « couches » de l'IoT

Dans un système IoT, les données sont générées par plusieurs types de dispositifs, traitées de manières différentes et transmises dans différents emplacements par des applications.

L'architecture orientée aux services a été appliquée comme technologie habilitante par [19] qui divisait l'IoT en quatre couches :

- Couche de détection : Cette couche est intégrée avec le Hardware existant (RFID, capteurs, actionneurs, etc.) et sert à détecter/contrôler le monde physique et acquérir des données

- Couche de mise en réseau : Cette couche fournit un soutien réseau de base et le transfert de données par un réseau sans ou avec fil.

- Couche de service : cette couche crée et gère les services et fournit des services pour satisfaire les besoins des utilisateurs.

- Couche d'interface : cette couche fournit des méthodes d'interaction aux utilisateurs et aux autres applications.

Le modèle de référence IoT que nous proposons comprend sept niveaux. Chaque niveau est défini avec une terminologie qui peut être standardisée pour créer un cadre de référence[9].

La figure 1.2 illustre le modèle de référence IoT et ses niveaux. Il est important de noter que dans l'IoT, les données circulent dans les deux sens. Dans un modèle de contrôle, les informations de contrôle circulent du bas du modèle (niveau 7) vers le haut (niveau 1).

Dans un modèle de surveillance, le flux d'informations est l'inverse. Sur la plupart des systèmes, le flux sera bidirectionnel.

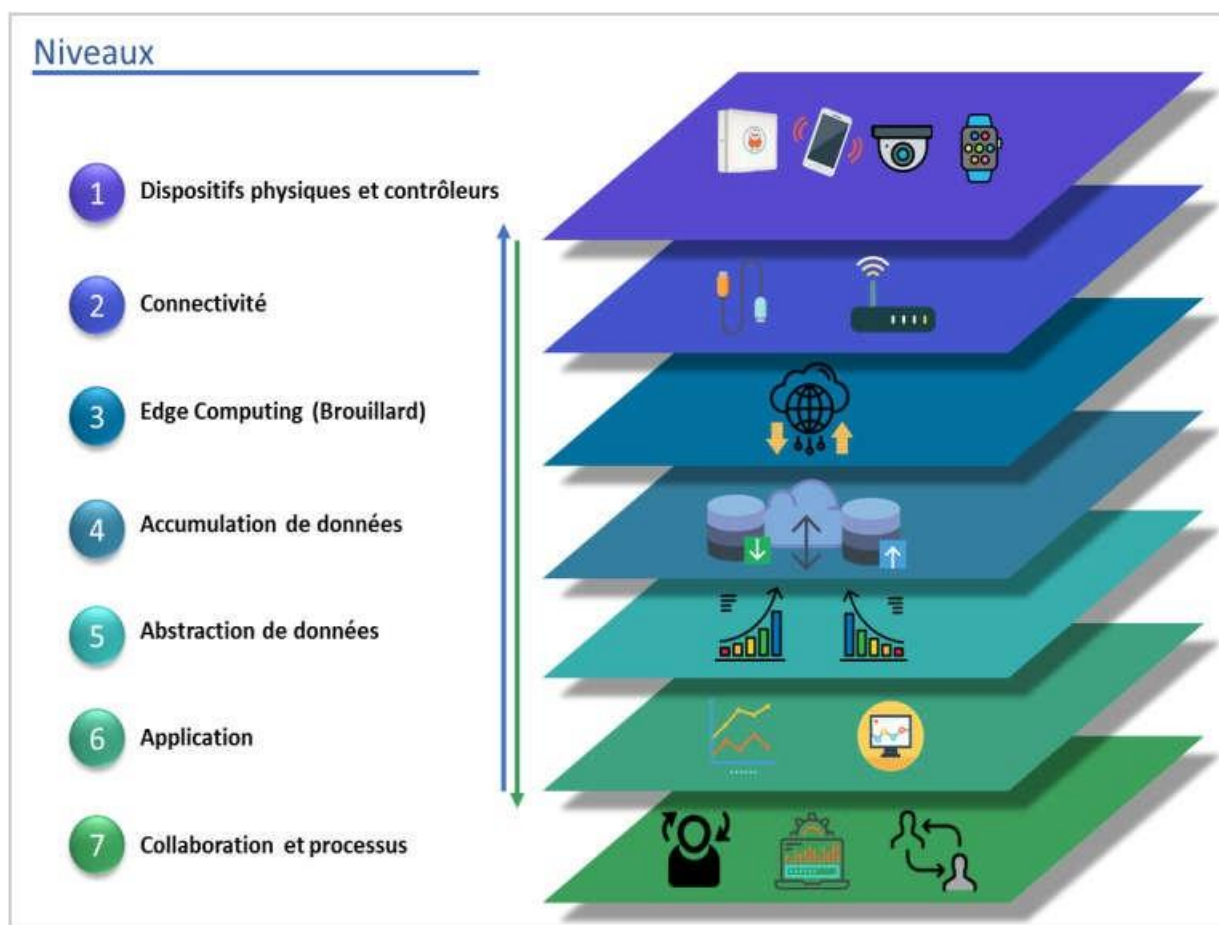


Figure 1.2 : Le Modèle de référence de L'IoT (CISCO, 2014)

### Niveau 1 : Dispositifs physiques et contrôleurs

Le modèle de référence IoT commence par la couche 1 : périphériques physiques et contrôleurs pouvant contrôler plusieurs périphériques.

### Niveau 2 : Connectivité

La fonction la plus importante du niveau 2 est la transmission fiable et opportune de l'information. Cela comprend les transmissions entre les appareils (niveau 1) et le réseau, entre le réseau (niveau 2) et le traitement des informations de faible niveau se trouvant au niveau 3 et à travers les réseaux (est-ouest).

### Niveau 3 : EdgeComputing (Brouillard)

Les fonctions de niveau 3 sont dictées par la nécessité de convertir les flux de données du réseau en informations appropriées pour le stockage et le traitement de niveau 4 (hiérarchisé). Le traitement de niveau 3 peut couvrir de nombreux exemples, tels que :

- Évaluation : évalue des données pour déterminer si elles doivent être traitées à un niveau supérieur ;
- Mise en forme : reformate des données pour un traitement cohérent de haut niveau ;
- Expansion/décodage : manipule de données cryptiques avec un contexte supplémentaire (comme l'origine) ;
- Distillation/Réduction : réduit et/ou synthétise des données afin de minimiser l'impact des données et du trafic sur le réseau et les systèmes de traitement de niveau supérieur ;
- Évaluation : détermine si les données représentent un seuil ou une alerte ; cela peut inclure la redirection de données vers des destinations supplémentaires ;

#### **Niveau 4 : Accumulation de données**

La plupart des applications ne peuvent ou n'ont pas besoin de traiter des données à la vitesse du réseau. Les applications supposent généralement que les données sont «au repos» — ou immuables — en mémoire ou sur disque. Au niveau 4 (Accumulation de données), les données en mouvement sont converties en données au repos. Le niveau 4 détermine :

- Si les données présentent un intérêt pour les niveaux supérieurs : si c'est le cas, le traitement de niveau 4 est le premier niveau configuré pour répondre aux besoins spécifiques d'un niveau supérieur.
- Les données doivent-elles être persistantes ? Les données doivent-elles être conservées sur disque dans un état non volatile ou accumulées en mémoire pour une utilisation à court terme ?
- Le type de stockage requis : La persistance nécessite-t-elle un système de fichiers, un système de données volumineux ou une base de données relationnelle ?
- Si les données sont organisées correctement : les données sont-elles organisées de manière appropriée pour le système de stockage requis ?
- Si les données doivent être recombinaées ou recalculées : les données peuvent être combinées, recalculées ou agrégées avec des informations précédemment stockées, dont certaines peuvent provenir de sources non IoT.

**Niveau 5 : Abstraction de données**

Les fonctions d'abstraction des données de niveau 5 se concentrent sur le rendu des données et leur stockage de manière à permettre le développement d'applications plus simples et améliorées.

Avec plusieurs périphériques générant des données, il existe de nombreuses raisons qui expliquent pourquoi ces données ne peuvent pas se retrouver dans le même magasin de données :

- Il peut y avoir trop de données à mettre dans un endroit.
- Le transfert de données vers une base de données peut consommer beaucoup de puissance de traitement, de sorte que sa récupération doit être séparée du processus de génération de données.
- Les bases de données et les entrepôts de données.
- Les appareils peuvent être géographiquement séparés et le traitement est optimisé localement.
- Les niveaux 3 et 4 peuvent séparer les «flux de données brutes continues» des «données représentant un événement».
- Le stockage de données pour le streaming de données peut être un système de données volumineux. Le stockage des données d'événement peut être un système de gestion de base de données relationnelle avec des temps de requête plus rapides.
- Différents types de traitement de données peuvent être requis. Par exemple, le traitement en magasin se concentrera sur des choses autres que le traitement sommaire dans tous les magasins.

Pour ces raisons, le niveau d'abstraction des données doit traiter beaucoup de choses différentes. Ceux-ci incluent :

- Concilier différents formats de données provenant de différentes sources ;
- Assurer une sémantique des données cohérente entre les sources ;
- Vérifier que les données sont complètes pour l'application de niveau supérieur.

**Niveau 6 : Application**

Le niveau 6 est l'endroit où l'interprétation de l'information se produit. Le logiciel à ce niveau interagit avec le niveau 5 et les données au repos, il n'a donc pas besoin de

Fonctionner à des vitesses réseau. Le modèle de référence IoT ne définit pas strictement une application. Ces sujets dépassent la portée de notre discussion sur le modèle de référence IoT. Il suffit de dire que la complexité de l'application varie considérablement.

Les exemples incluent :

- Des applications entrepreneuriales critiques telles que des solutions ERP (« Enterprise Resource Planning ») généralisées ou des solutions sectorielles spécialisées ;
- Des applications mobiles qui traitent d'interactions simples ;
- Des rapports Business Intelligence, dans lesquels l'application est le serveur BI ;
- Des applications analytiques qui interprètent les données pour les décisions d'affaires ;
- Des applications de gestion de systèmes/centres de contrôle qui contrôlent le système IoT lui-même et n'agissent pas sur les données produites par celui-ci.

Si les niveaux 1-5 sont correctement architecturés, la quantité de travail requise par le niveau 6 sera réduite. Si le niveau 6 est correctement conçu, les utilisateurs pourront mieux faire leur travail.

#### **Niveau 7 : Collaboration et processus**

La communication et la collaboration nécessitent souvent plusieurs étapes. Et cela transcende généralement plusieurs applications. C'est pourquoi le niveau 7 représente un niveau supérieur à la place d'une seule application. (CISCO, 2014).

### **1.10. Domaines d'application**

Nous avons recensé de nombreuses applications IdO et nous les avons classées en 11 catégories et sous catégories représentatives de ce domaine.

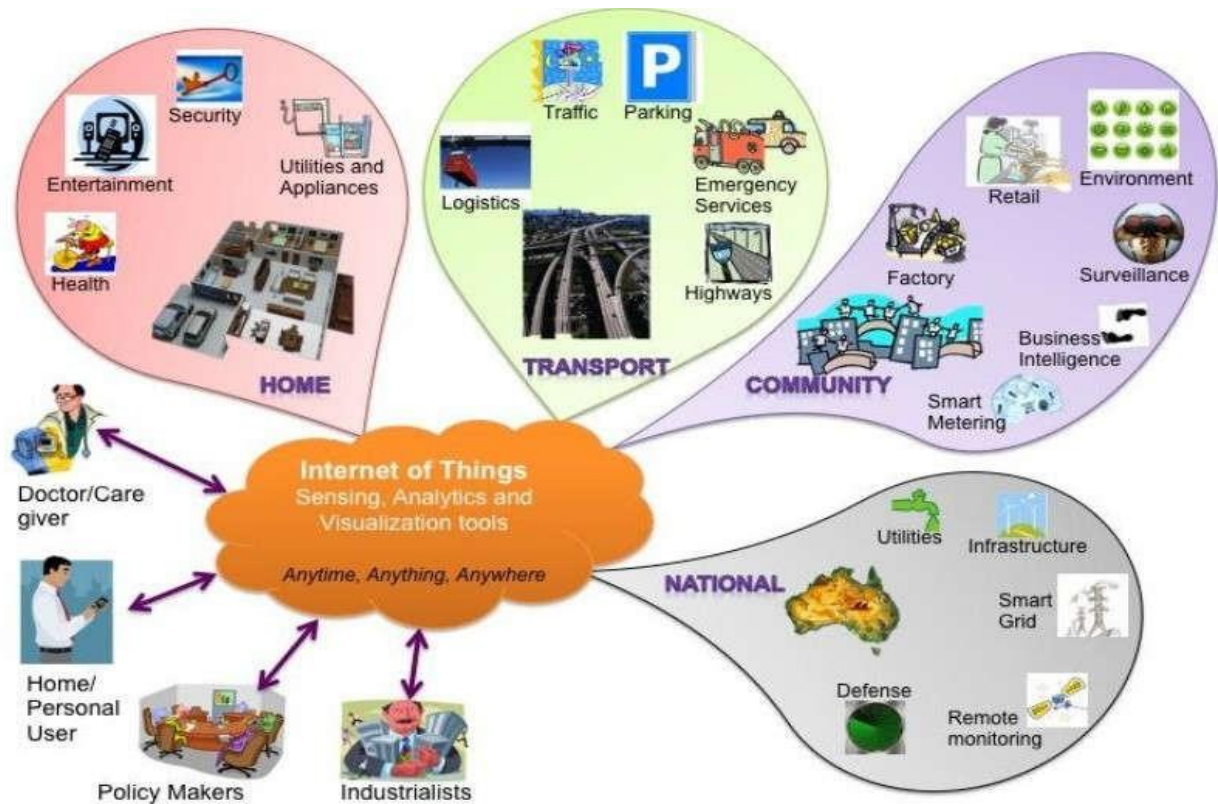


Figure 1.2 :Les domaines d'Internet of Things

### 1.10. 1. Domotique

Cette catégorie regroupe les appareils de contrôle à distance : allumer et éteindre les appareils à distance pour éviter les accidents et économiser de l'énergie, l'utilisation de l'énergie et de l'eau : surveillance de la consommation d'énergie et d'eau pour obtenir des conseils sur la façon d'économiser les coûts et les ressources, L'art et préservation des biens : Suivi de l'état de conservation à l'intérieur des musées et des entrepôts d'art, et les systèmes de détection d'intrusion : détection des ouvertures de portes, de fenêtres et des violations dans le but d'empêcher les intrusions.

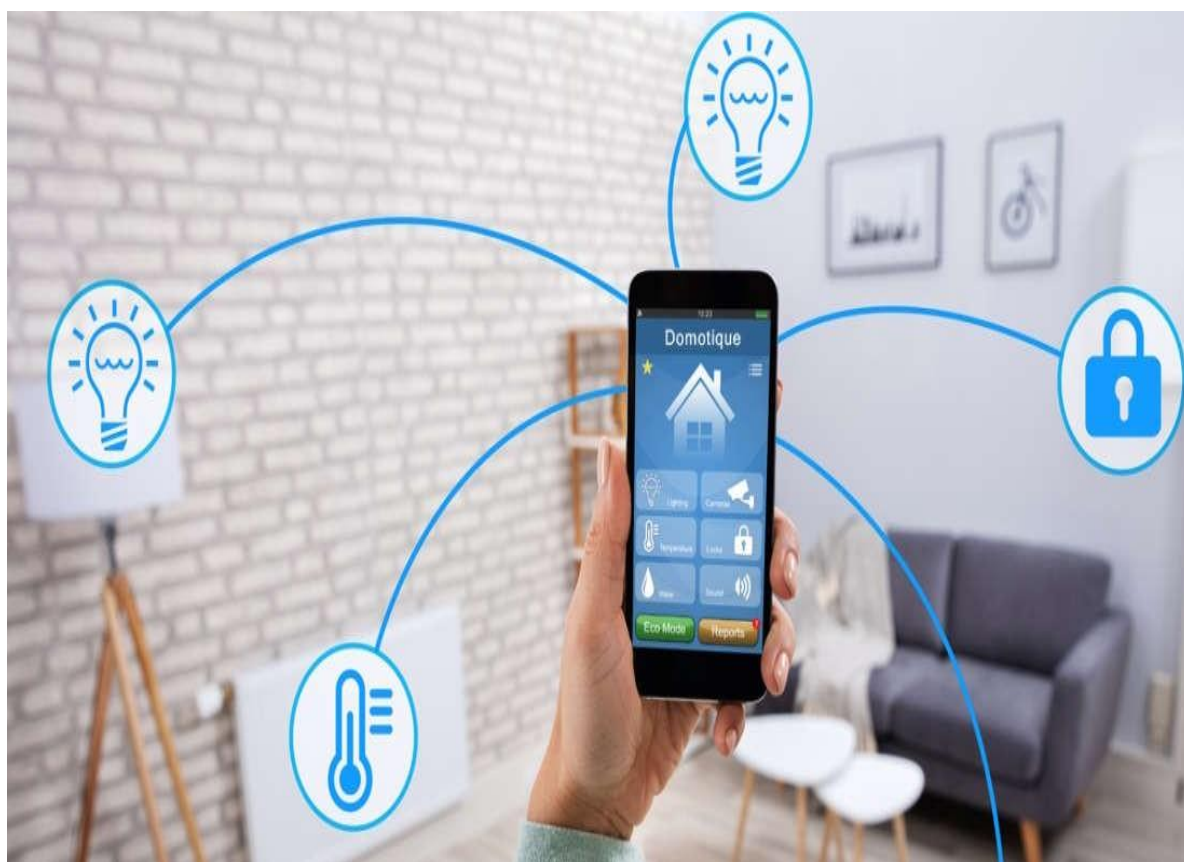


Figure 1.3: une figure qui représente la domotique

### 1.10.2 Environnement intelligent

Cette catégorie regroupe la détection précoce des tremblements de terre : contrôle distribué dans des endroits spécifiques de tremblements, les glissements de terrain et la prévention des avalanches : surveillance de l'humidité du sol, des vibrations et de la densité de la terre pour détecter les tendances dangereuses dans les conditions du terrain, la surveillance du niveau de neige : mesure de niveau de neige pour connaître en temps réel la qualité des pistes de ski et permettre la sécurité des avalanches, la détection des incendies de forêt : surveillance des gaz de combustion et des conditions d'incendie pour définir les zones d'alerte, et la pollution de l'air : contrôle des émissions de CO<sub>2</sub> des usines, de la pollution émise par les voitures et des gaz toxiques.

### 1.10.3 Transport et logistique

Cette catégorie regroupe la détection d'incompatibilité de stockage : émissions de conteneurs stockant des produits inflammables fermés à d'autres contenant des matières explosives, le suivi de flotte : contrôle du suivi des itinéraires pour les marchandises

Sensibles comme les bijoux, les médicaments ou les marchandises dangereuses, l'emplacement des articles : recherche d'éléments individuels dans de grandes surfaces comme les entrepôts ou les ports et la qualité des conditions d'expédition : surveillance, à des fins d'assurance, des vibrations, des coups, des ouvertures de conteneurs ou de leur entretien.

#### 1.10.4 Agriculture intelligente

Cette catégorie regroupe le compost : contrôle de l'humidité et des niveaux de température dans le foin, la paille, etc. pour prévenir les champignons et autres contaminants microbiens, les stations météorologiques : étude des conditions météorologiques dans les champs pour prévoir la formation de glace, la pluie, la sécheresse, la neige ou les changements de vent, l'amélioration de la qualité du vin : surveiller l'humidité du sol et le diamètre du tronc dans les vignes pour contrôler la quantité de sucre dans la vigne et sa santé, les cours de golf : l'irrigation sélective dans les zones sèches pour réduire les ressources en eau nécessaires, les serres : contrôler les conditions microclimatiques pour maximiser la production de fruits et légumes et sa qualité et l'hydroponique : contrôler l'état des plantes cultivées dans l'eau pour obtenir les cultures les plus efficaces.



Figure 1.4: une figure qui représente l' agriculture intelligente

### 1.10.5. Villes intelligentes

Cette catégorie regroupe le contrôle des niveaux de champs électromagnétiques : mesure de l'énergie rayonnée par les stations cellulaires et les routeurs WiFi, la santé structurelle : surveillance des vibrations et des conditions matérielles dans les bâtiments, les ponts et les monuments historiques, la gestion des déchets : détection des niveaux d'ordures dans les conteneurs pour optimiser les voies de collecte, la détection de smartphone : détecter les smartphones et en général tout appareil fonctionnant avec des interfaces WiFi ou Bluetooth, les routes intelligentes : autoroutes intelligentes avec messages d'avertissement et de détournements en fonction des conditions climatiques et des événements inattendus tels que les accidents ou les embouteillages, le stationnement intelligent : suivi de la disponibilité des places de parking dans la ville, l'éclairage intelligent : éclairage des réverbères intelligent et adapté aux conditions météorologiques, les embouteillages : surveillance des véhicules et des piétons pour optimiser les itinéraires de conduite et de marche, la cartographie urbaine du bruit : surveillance sonore dans les différentes zones urbaines en temps réel.



Figure 1.5: une figure qui représente une ville intelligente

### 1.10.6. Les compteurs intelligents

Cette catégorie regroupe l'écoulement de l'eau : mesure de la pression de l'eau dans les systèmes de transport d'eau, les niveaux des réservoirs : surveillance des niveaux d'eau, de pétrole et de gaz dans les réservoirs de stockage et les citernes, la grille intelligente : suivi et gestion de la consommation d'énergie, le calcul du stock des silos : mesure du niveau de vide et du poids des marchandises, et les installations photovoltaïques : surveillance et optimisation de la performance dans les centrales solaires.

### Linky : un système de compteurs communicant



Figure 1.6: une figure qui représente les compteurs intelligents

#### 1.10.7 Sécurité et Urgences

Cette catégorie regroupe les mesures de niveaux de rayonnement : mesure distribuée des niveaux de rayonnement dans les environs des centrales nucléaires pour générer des alertes de fuite, le contrôle d'accès périmétrique : contrôle d'accès aux zones restreintes et détection des personnes dans les zones non autorisées, les gaz explosifs et dangereux : détection des niveaux de gaz et des fuites dans les environnements industriels, les environnements des usines chimiques et l'intérieur des mines, et la présence liquide : détection de liquides dans les centres de données, les entrepôts et les terrains sensibles afin de prévenir les pannes et la corrosion.

#### 1.10.8. Cyber santé

Cette catégorie regroupe le rayonnement ultraviolet : mesure des rayons UV pour prévenir les personnes en cas de forte exposition, les soins aux sportifs : surveillance des signes vitaux dans les centres et les champs de haute performance, le suivi des personnes seules : assistance aux personnes âgées ou handicapées vivantes en autonomie, la surveillance des patients : suivi des conditions des patients à l'intérieur des hôpitaux et dans la maison de retraite, et les réfrigérateurs médicaux : contrôle des conditions à l'intérieur des congélateurs stockant les vaccins, les médicaments et les éléments organiques.



Figure 1.7: une figure qui représente la Cybersanté

#### 1.10.9. Contrôle industriel

Cette catégorie regroupe la mesure de la qualité de l'air intérieur : surveillance des niveaux de gaz toxiques et d'oxygène à l'intérieur des usines chimiques pour assurer la sécurité des travailleurs et des biens, la surveillance de la température : contrôle de la température à l'intérieur des réfrigérateurs industriels et médicaux avec des marchandises sensibles, l'auto-diagnostic du véhicule : collecte d'informations sur le bus interne du véhicule afin d'envoyer des alarmes en temps réel aux urgences ou fournir des conseils aux conducteurs, et la localisation à l'intérieur : emplacement intérieur des ressources en utilisant des étiquettes actives et passives.



Figure 1.8: une figure qui représente le Contrôle industriel

#### 1.10.10. Vente au détail

Cette catégorie regroupe les applications de magasinage intelligentes : obtenir des conseils dans le point de vente en fonction des habitudes du client, de ses préférences, de la présence de composants allergiques pour eux ou des dates d'expiration, le paiement sans contact : traitement des paiements en fonction du lieu ou de la durée de l'activité pour les transports en commun, les complexes sportifs, les parcs à thème, etc., la gestion intelligente des produits : contrôle de la rotation des produits dans les étagères et les entrepôts pour automatiser les processus de réapprovisionnement, et le contrôle de la chaîne d'approvisionnement : suivi des conditions de stockage tout au long de la chaîne d'approvisionnement et suivi de la traçabilité des produits.



Figure 1.9: une figure qui représente le Vente au détail

#### 1.10.11 Gestion de l'eau intelligente

Cette catégorie regroupe les mesures de niveaux de pollution maritime : contrôle des fuites et des déchets en temps réel dans la mer, la détection de fuite chimique dans les rivières : Détecter les fuites et les déchets des usines dans les rivières, les Inondations : surveillance des variations du niveau d'eau dans les rivières, les barrages et les réservoirs, la mesure à distance des piscines : contrôle à distance de l'état des piscines, les fuites d'eau : détection de la présence de liquide à l'extérieur des réservoirs et des variations de pression le long des tuyaux, et la surveillance de l'eau potable : surveillance de la qualité de l'eau du robinet dans les villes.

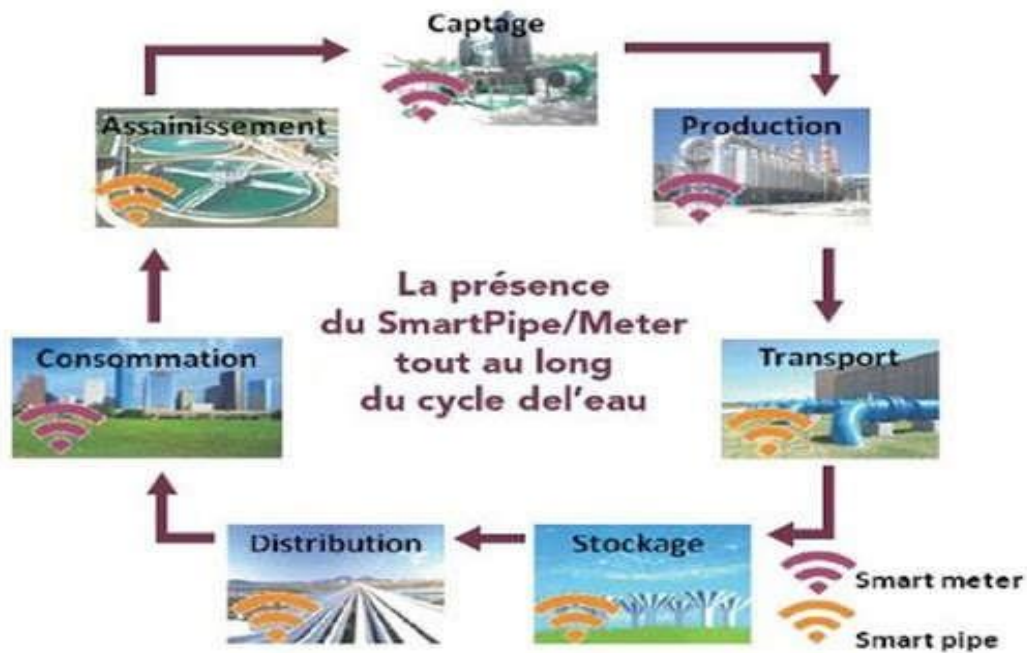


Figure 1.10: une figure qui représente la Gestion de l'eau intelligente

### 1.11. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude détaillée sur l'internet des objets, sa définition, les principaux composants d'IoT, nous abordons les différentes visions qui sous-tendent l'Internet des objets, c'est-à-dire les différents objectifs et technologies habilitantes clés proposés dans la littérature. En outre, nous présentons leur domaine d'application. Pour cela nous exposerons quelques applications existantes.

## 2.1 Introduction

Les machines tournantes occupent actuellement une place prépondérante dans les applications faisant intervenir des systèmes de transmission de puissance. La mesure des vibrations sur ces machines revêt une importance toute particulière puisqu'elle joue un rôle capital dans les programmes de maintenance. Lorsque ces vibrations sont trop élevées, elles causent souvent un sentiment d'inquiétude, puisqu'elles annoncent possiblement un arrêt ou un bris imprévu et par conséquent une perte non négligeable de productivité ou une atteinte à la sécurité du personnel.

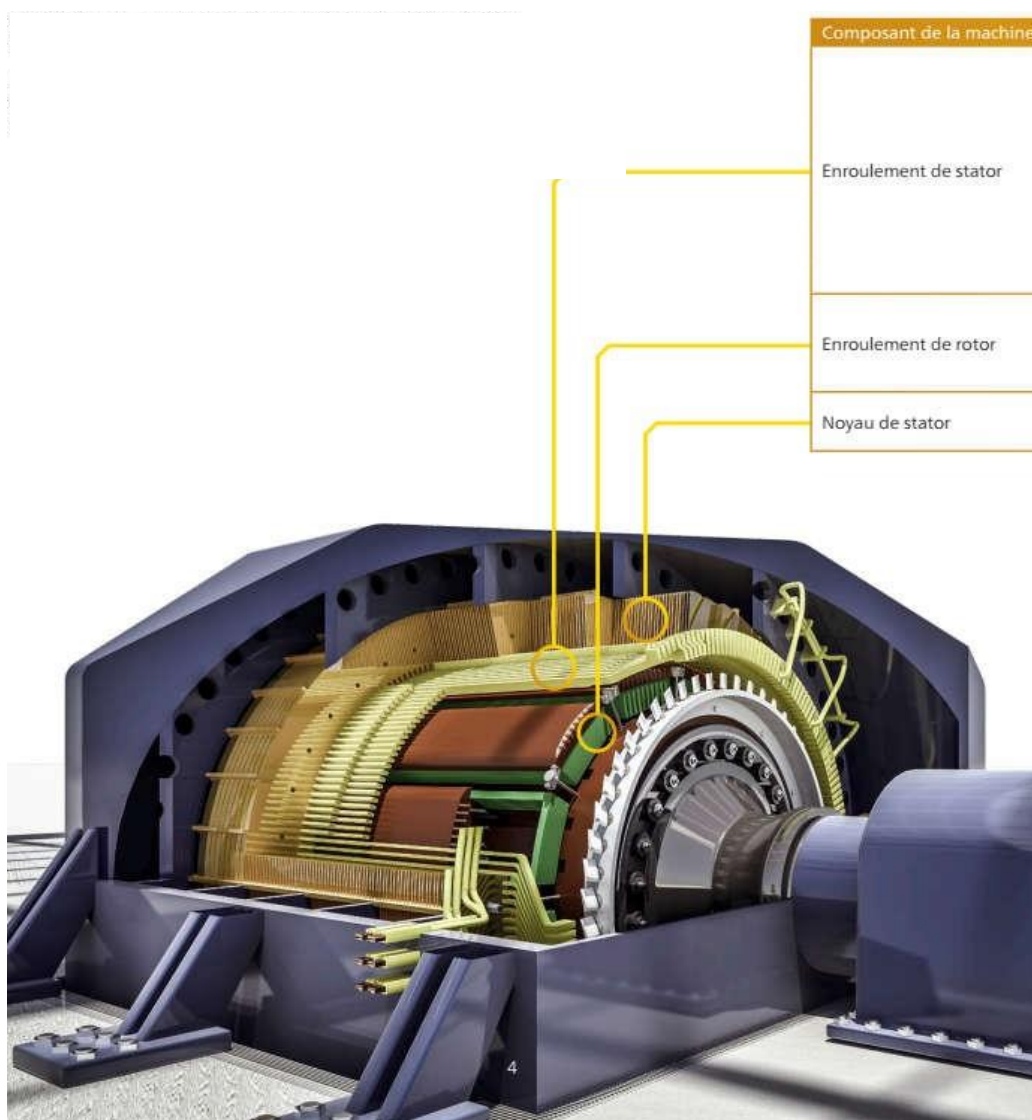


Figure 2.1 Machine tournante

## 2.2 Définitions générales

Une machine est un ensemble des pièces mécaniques, hydrauliques ou électriques concourant à exercer une ou plusieurs fonctions données et, en particulier, l'application d'une force modulée ou non, destinée à vaincre une résistance ou à assurer un mouvement avec ou sans transmission de force.

Les machines tournantes sont des systèmes dans lesquels on peut distinguer : un rotor, une structure, des liaisons [20].

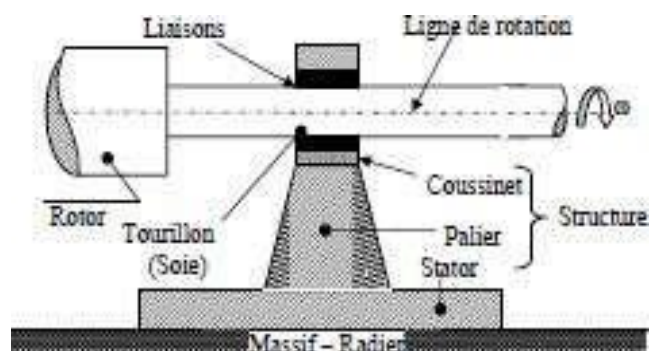


Figure 2-2 Eléments d'une machine tournante [26]

### 2.2.1 Le rotor

Est une structure dont les éléments tournent autour d'une ligne de rotation définie en fonction de l'état mécanique de ce dernier, en général distincte d'un axe (ligne droite). Le rotor fabriqué avec plusieurs matériaux (acier, cuivre, bois, plastique...) réalise une fonction bien définie : (manipulation fluide, de solide, parcours dans un champ électromagnétique,...etc.).

### 2.2.2 La structure

La structure non rotative comprend les éléments essentiels suivants :

- **Les coussinets** : ils sont de faible dimension au droit des tourillons des rotors. Des bagues peuvent être substituées aux coussinets (roulements).
- **Les paliers** : relie les coussinets (bagues) au stator

- **Le stator** : (enveloppe de la machine) : il contient les éléments essentiels, à savoir les circuits magnétiques dans les machines électriques, les ailettes pour les turbomachines.
- **Le massif** : il peut prendre des formes beaucoup plus variées que celles des systèmes terrestres dont les massifs sont liés au radier.
- **Le radier** : c'est un élément spécifique au système. Il assure la liaison entre le massif et le sol et a pour mission de diminuer les pressions exercées au sol dans des limites acceptables.

C'est par lui que les séismes perturbent les machines tournantes.

### 2.2.3 Les liaisons

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

Les liaisons sont classées dans trois ensembles : à fluide, à roulements, magnétique [26].

## 2.3 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 [21]

### 2.3.1 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. Dans la plus plupart des cas, cette défaillance commence par un défaut entre spires.

#### 2.3.1.1 Défauts d'isolant dans un enroulement

La dégradation des isolants dans les enroulements peut provoquer des court-circuit. 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.



Figure 2.3 Court-circuit dans les enroulements statoriques

## 2.3.2 Défaits de court-circuit

### 2.3.2.1 Court-circuit entre spires

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 [22].

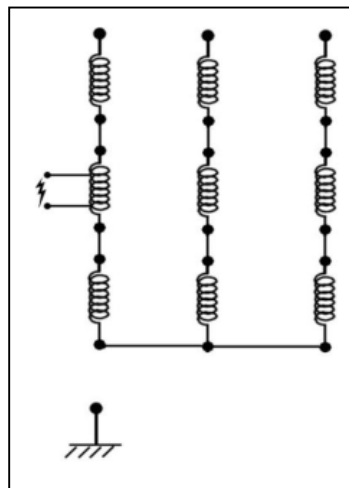


Figure 2.4 Court-circuit entre spire ;

### 2.3.2.2 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.

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

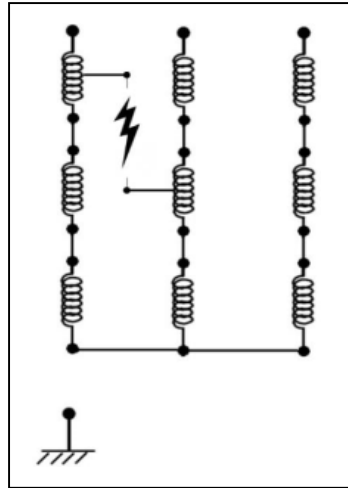


Figure 2.5 court-circuit entre phase

**2.3.2.3 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.

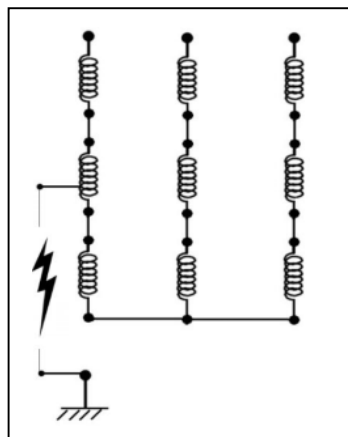


Figure2.6 court-circuit phase/bâti

**2.3.3 Les Défaits 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.

### 2.3.4 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 :

#### 2.3.4.1 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.

Ce défaut induit des modifications dans les courants statorique et entraîne donc l'apparition d'harmoniques caractéristiques dans le spectre de ce signal.

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.

#### 2.3.4.2 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 [24].

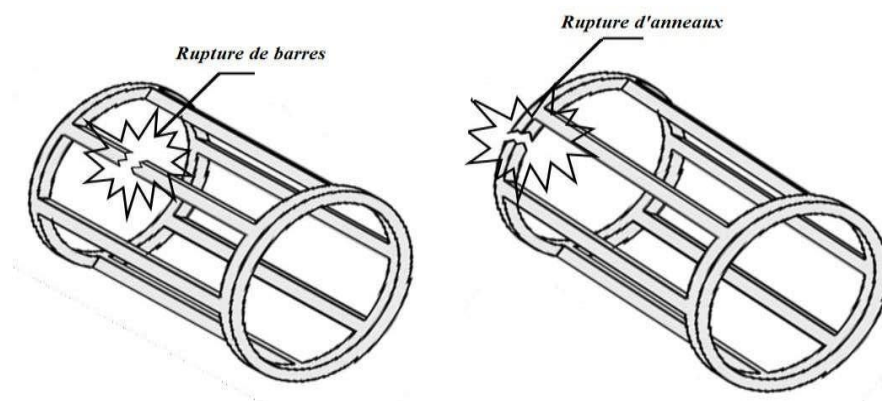


Figure 2.7 Défauts de rupture de barres et d'anneaux rotoriques.

## 2.4 Les différents types des défaillances d'origine mécanique

Les défaillances d'ordre mécaniques 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 [20].

### 2.4.1 Le défaut d'Excentricité

**a) L'excentricité statique** : correspond au cas où le centre de rotation de l'arbre du rotor est déplacé du centre de l'alésage du stator mais tourne toujours autour de son axe [KAI10]. Elle peut être causée soit par une imperfection dans l'alésage du stator, soit par un mauvais positionnement du rotor et/ou du stator durant la phase de l'assemblage [IBR09].

**b) L'excentricité dynamique** : correspond, elle, au cas où le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe. Par conséquent, la position de l'entrefer minimale change avec la position du rotor. Ce qui fait que l'excentricité dynamique dépend du temps et de l'espace, alors que l'excentricité statique dépend seulement de l'espace [KAI10]. L'excentricité dynamique peut être provoquée par plusieurs facteurs, tels que des tolérances de fabrication, flexion de l'arbre, usure des roulements, défauts d'alignement entre le rotor et la charge, ou aussi par la résonance mécanique due à la vitesse critique [IBR09].

**c) L'excentricité mixte** : en réalité les excentricités statiques et dynamiques ont tendance à coexister, dans ce cas l'excentricité est dite mixte [KAI10].

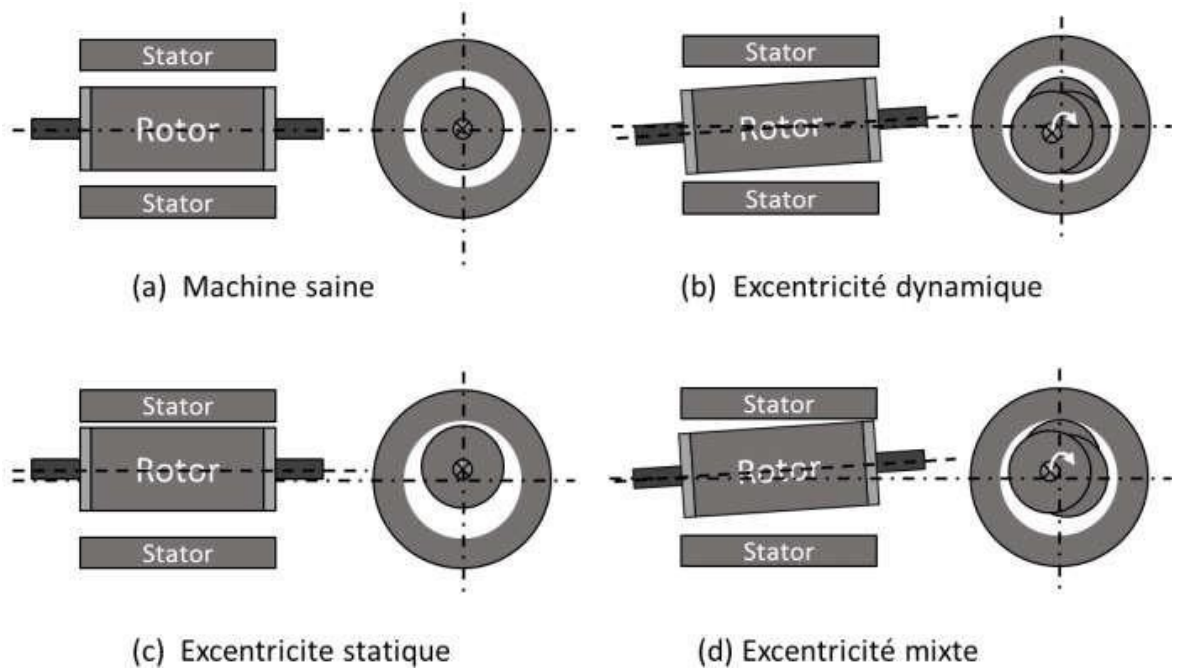


Figure 2.8 – Représentation schématique de défauts d'excentricités.

### 2.4.2 Désalignement

Le désalignement est un problème presque aussi commun que le balourd, et la raison en est bien simple. Malgré l'emploi de paliers auto-alignant, et d'accouplements flexibles, il est difficile d'aligner deux arbres, ainsi que leurs paliers afin d'assurer qu'il n'existe aucune force qui puisse causer de vibration.

Un désalignement provoque des vibrations aux fréquences de rotation, ainsi qu'aux harmoniques d'ordre 2, 3 et parfois 4 de la fréquence de rotation.

Un désalignement se produit par des niveaux [27] :

- Axiaux très élevés à deux fois la fréquence de rotation.
- Radiaux élevés à deux fois la fréquence de rotation.

On constate deux types de désalignement (parallèle et angulaire) :

#### 2.4.2.1 Désalignement parallèle

Il se produit quand les axes de rotation des deux machines ont le même angle d'orientation, mais ils sont séparés verticalement, chacun de l'autre.

Le désalignement parallèle se caractérise par une vibration radiale élevée.

### 2.4.2.2 Désalignement angulaire

Il se produit quand l'axe de rotation de deux machines a un angle différent. Le désalignement angulaire se caractérise par une vibration axiale élevée.

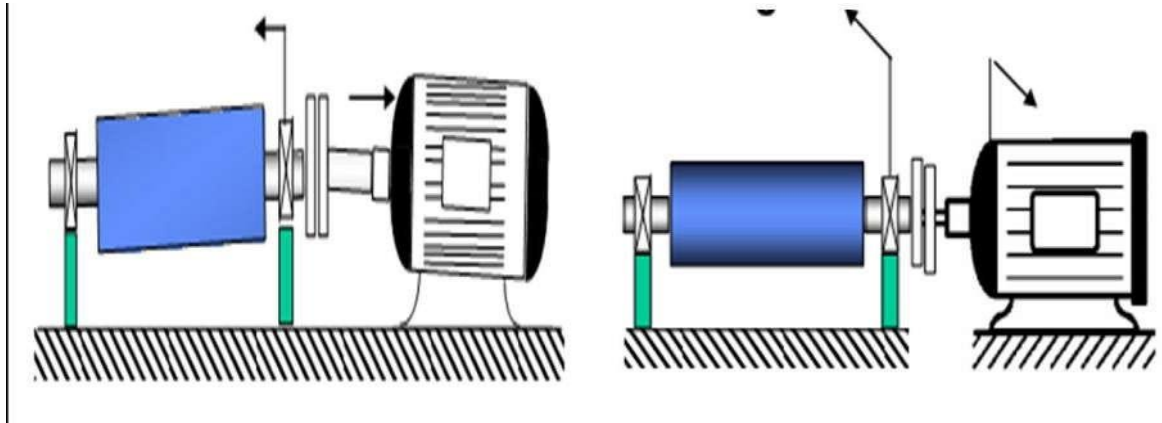


Figure 2-9 Désalignement angulaire et parallèle [26].

### 2.4.3 Jeu mécanique

La figure suivante montre le spectre typique d'un jeu mécanique associé au mauvais serrage d'un roulement et à celui d'un jeu d'arbre excessif. La vibration causée par un problème de jeu mécanique est souvent caractérisée par un deuxième harmonique élevé ( $2\times$ ) de la fréquence de rotation, accompagné de composantes inter harmoniques ( $0.5\times$ ,  $1.5\times$ , etc.).

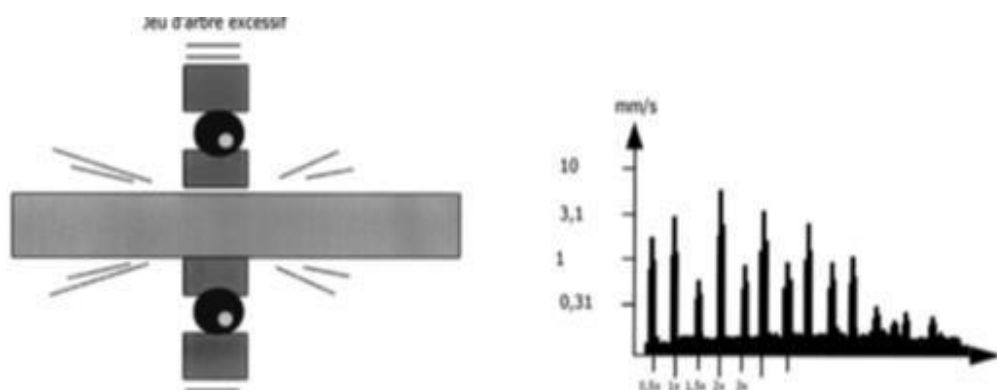


Figure 2-10 Jeu d'arbre excessif et leur image vibratoire.

### 2.4.4 Défauts d'un mauvais serrage mécanique

Lorsqu'un palier est desserré ou présente une possibilité de mouvement partiel dans le plan radial, il apparaît une vibration radiale à une fréquence radiale égale à deux fois la

vitesse de rotation. Cette vibration se traduit sous l'effet de balourd initial et elle peut prendre une amplitude élevée en fonction du degré de desserrage du palier.

Une analyse du déphasage entre deux mesures prises orthogonalement sur un même palier permet de différencier une anomalie due à un balourd (force tournante), d'un défaut de serrage ou d'une déformation du support (force directionnelle due à la contrainte). [26].

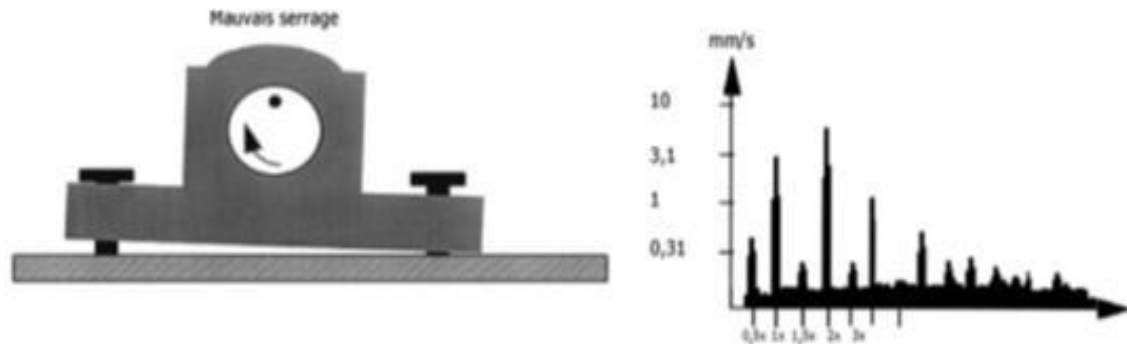


Figure 2-11 Mauvais serrage mécanique et leur image vibratoire [27].

#### 2.4.5 Défauts de Roulements

Un roulement est un élément mécanique qui s'interpose entre deux parties d'une machine dont l'une est tournante et l'autre est fixe. Le roulement a été utilisé depuis longtemps, mais sous une forme simpliste. Le premier à avoir établi un dessin pour le roulement à billes est **Léonard DE VINCI** (XV<sup>ème</sup> siècle) qui fut ainsi considéré comme l'inventeur du roulement moderne. Aujourd'hui, les roulements prennent des formes plus développées et plus variées et leur utilisation au sein des machines tournantes devient une nécessité absolue. Ceci explique bien l'intérêt actuel qu'on leur accorde. [28].

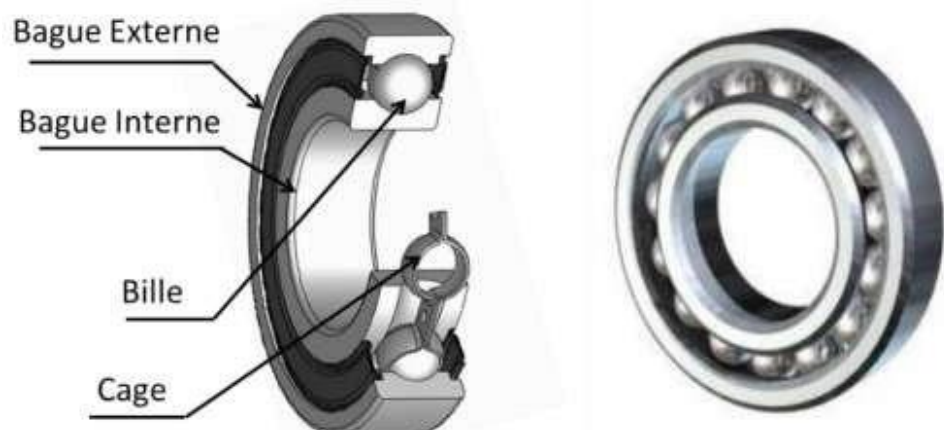


Figure 2.12 Différentes composantes d'un roulement à billes [28].

Un roulement est composé des bagues interne et externe, d'une cage et de billes (Figure 2.9). Des vibrations sont produites quand les conditions de Roulement ne sont pas Parfaites, et qui peuvent être induites par des dommages extérieurs ou des forces agissant sur les roulements (déséquilibre, désalignement, etc.). Comme le roulement tourne, les impulsions résultantes se produisent périodiquement. Les fréquences de ces impulsions sont uniquement déterminées par l'emplacement où le défaut se produit, soit sur la bague interne, sur la bague externe, ou sur les éléments de billes. La géométrie du roulement est aussi un paramètre très important (Figure-2.14). [28].

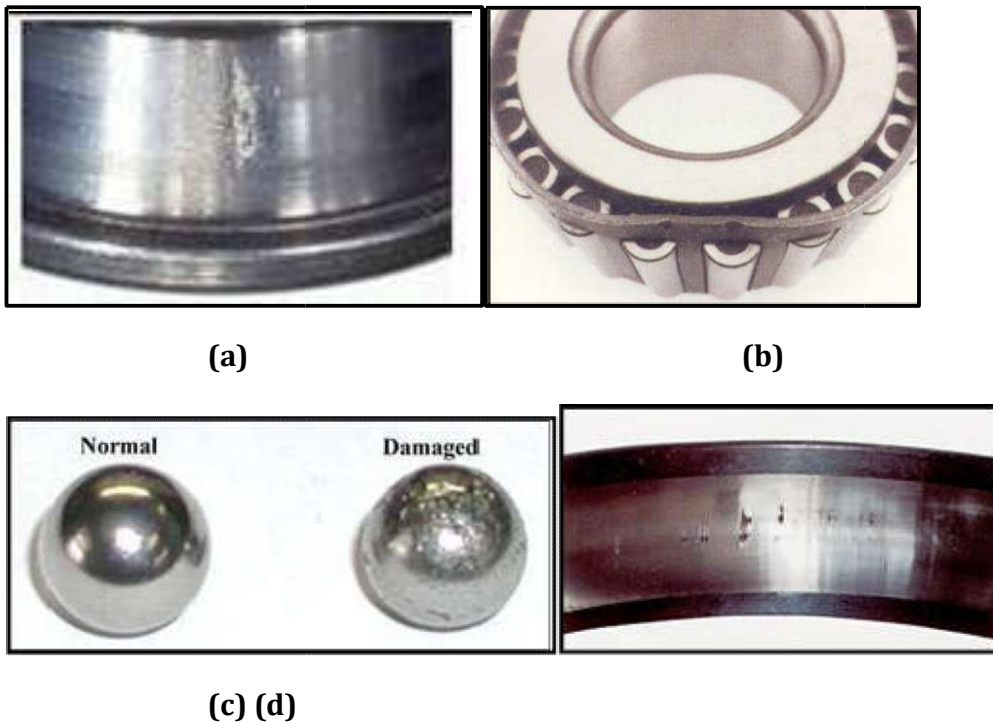


Figure 2.13 Défauts des roulements à billes. (a) sur la bague interne; (b) sur la cage; (c) sur une bille et (d) sur la bague externe [28].

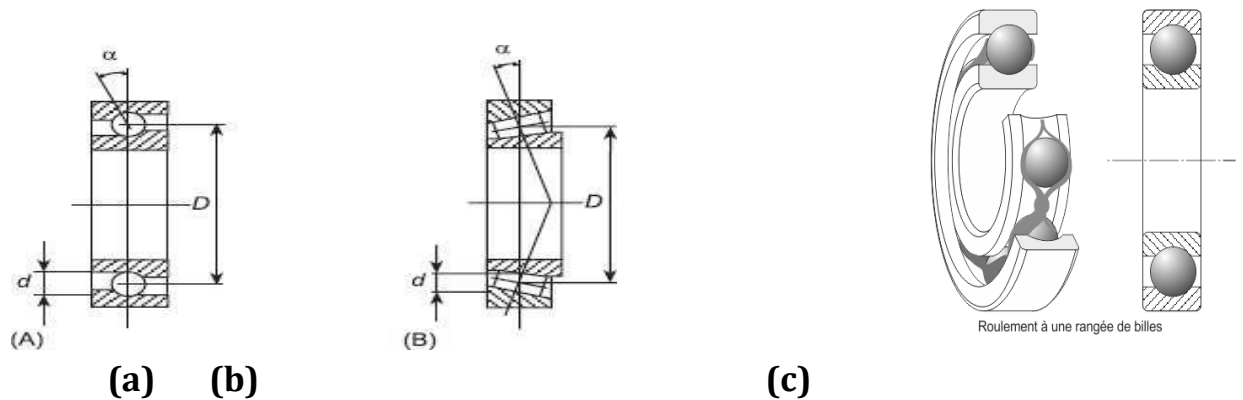


Figure 2.14 Géométrie d'un roulement. (a) Une vue de coupe d'un roulement à billes ; (b) Une vue de coupe d'un roulement à billes coniques.  $D$  : diamètre moyen au centre de la bille ;  $d$  : diamètre de la bille;  $\alpha$  : angle de contact; (c) Roulement à une seule rangée de billes **(Randall et al-2001).**

#### 2.4.6 Défauts d'engrenages

Ces défauts sont liés aux dégradations de la denture (denture cassée ou abimée, usure uniforme ou non, putting localisé ou réparti, mauvais centrage) (figure I.19). On peut observer aussi du fretin (corrosion, frottement) qui se traduit par un enlèvement de métal lorsque l'engrenage est mal lubrifié et que les efforts sont importants.

Les vibrations des engrenages sont dominées par un effort à chaque contact [29]. Un arbre tournant à une fréquence sur lequel est monté un pignon ou une roue comptant  $z$  dents sera soumis à  $z$  chocs par tour. La fréquence caractéristique de l'engrènement sera :

$$f_e = z \cdot f_r$$

Si l'arbre ou le pignon présente un défaut d'excentricité ou si une dent du pignon présente un défaut localisé, il va apparaître une modulation d'amplitude du signal par la fréquence du signal. Cela se traduira, sur le spectre, par un peigne de raies centré sur la fréquence d'engrènement et de pas. Ce peigne est visible que sur un zoom centré lui aussi sur la fréquence d'engrènement (figure 2.17) [30].

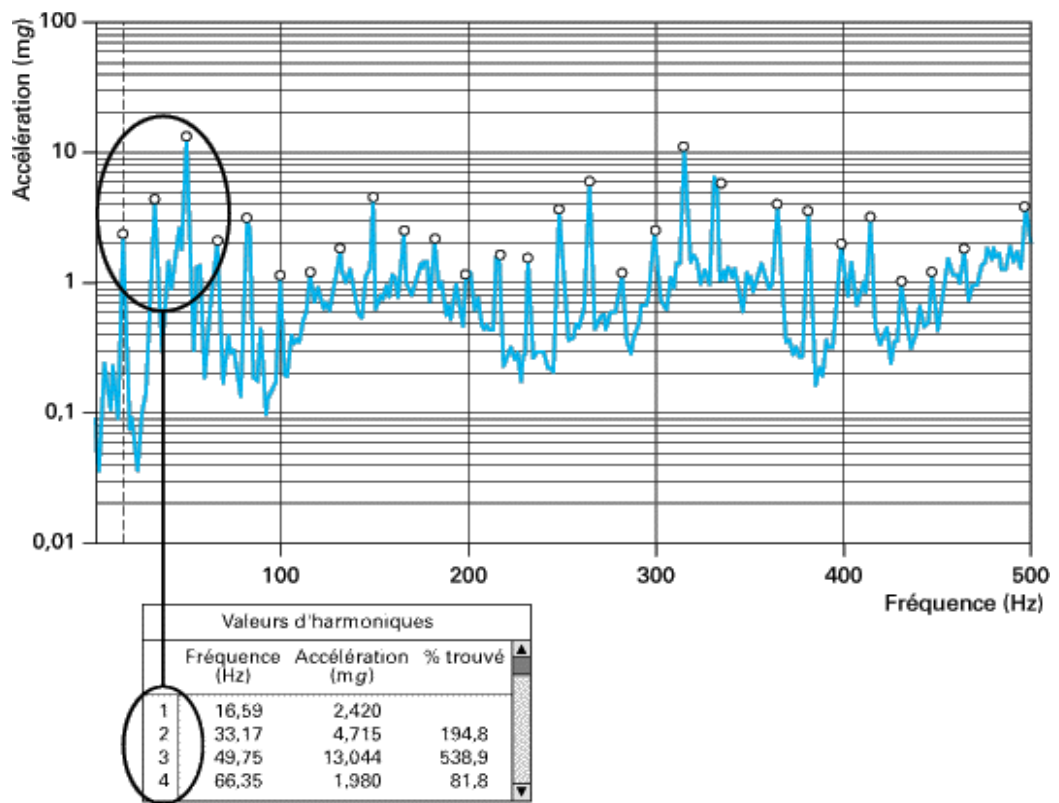
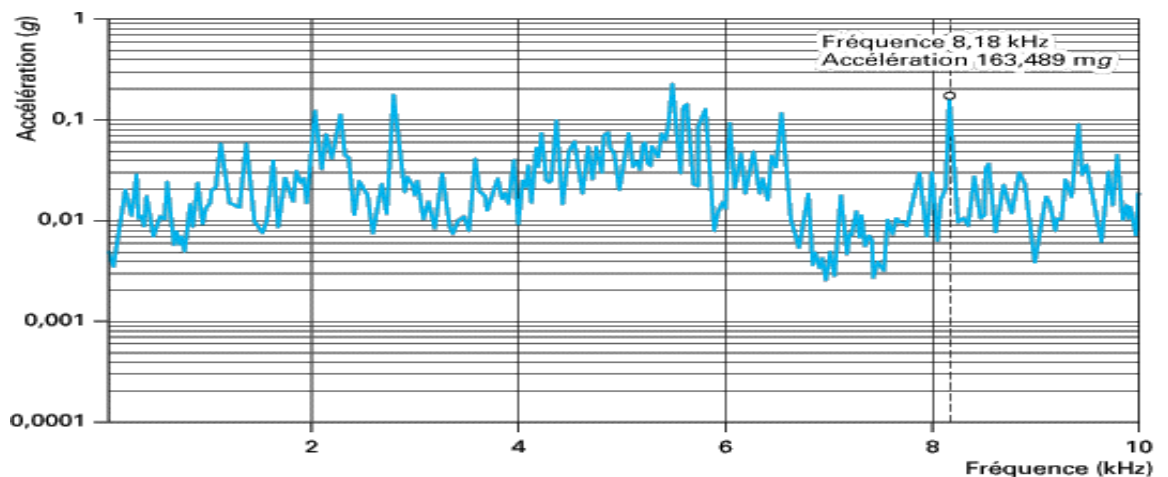


Figure 2.15 Spectre du défaut de délignage

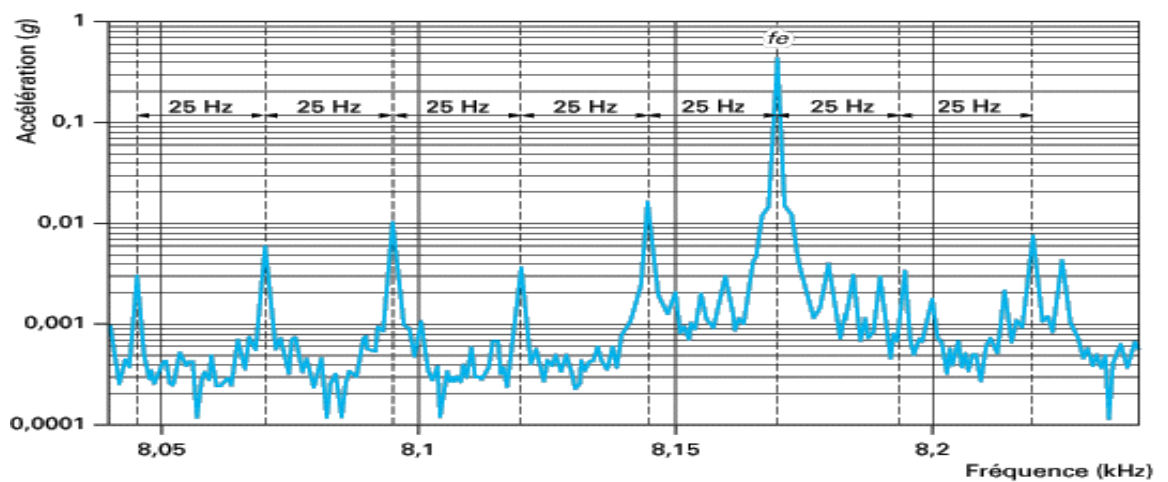


Figure 2.16 Dégradation des dents d'une roue dentée



On y distingue nettement la fréquence d'engrènement préalablement calculée :  $f_e = 8\,175\text{ Hz}$

Ⓐ spectre RC HF :  $Acc_{eff}$  [0 - 10 000 Hz]



Le peigne de raies apparaît. Son pas est de 25 Hz, soit la fréquence de rotation de l'arbre primaire

Ⓑ zoom RC :  $Acc_{eff}$  [8 040 - 8 240 Hz]

Figure 2.17 Spectre RC et peigne de raies du défaut d'engrenages

Si une même machine est le siège de plusieurs engrènements, les images caractéristiques de chacun peuvent se superposer de manière à ne plus être reconnaissables. Le seul outil permettant de dissocier les différents phénomènes est le sceptra (figure 2.18). Il fait apparaître un pic caractéristique pour chaque fréquence de modulation. Cela permet de séparer les phénomènes de chaque ligne d'arbre [30,31].

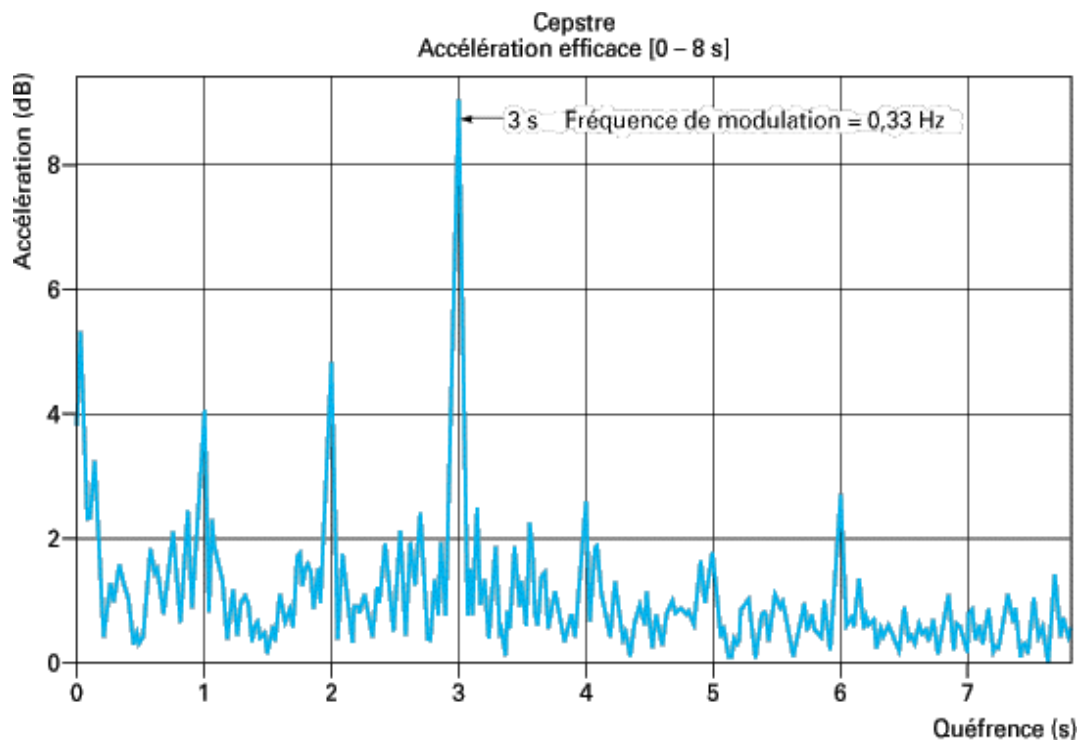


Figure 2.18 Spectre du défaut d'engrenages

## 2.4 Autres défauts mécaniques

Un autre type de défauts mécanique peut être dû à l'excitation du film d'huile (mouvement giratoire) qui apparaît dans les turbomachines à grande vitesse. Le défaut peut être décrit comme une onde qui se déplace dans le film d'huile, avec une vitesse inférieure de moitié à celle du rotor ( $0.43 - 0.45f_r$ ).

Les fissures dans l'arbre sont aussi un autre type de défauts qui présente une grande importance dans les turbomachines à haute puissance. Cependant, il est difficile de détecter ces phénomènes non-linéaires. Les procédures des *Run-up* et *Run-down* sont souvent employées pour détecter ces phénomènes en examinant l'amplitude et la phase relatives des premiers harmoniques de la rotation.

Il existe un large éventail de techniques de traitement de signal appliquées au diagnostic des machines et celles basées sur l'intelligence artificielle peuvent être une approche additionnelle capable d'identifier et d'isoler les défauts dans une machine tournante.

## 2.5 Techniques de supervision et de diagnostic

« 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.

Le diagnostic de défaut concerne la détection, l'isolement et l'identification, d'une condition de défaut imminente, ou naissante dans un système 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.

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. [32].

### 2.5.1 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. 2.19. Ce dernier à une grande importance dans l'environnement des entreprises due aux raisons suivantes [33,34] :

- 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

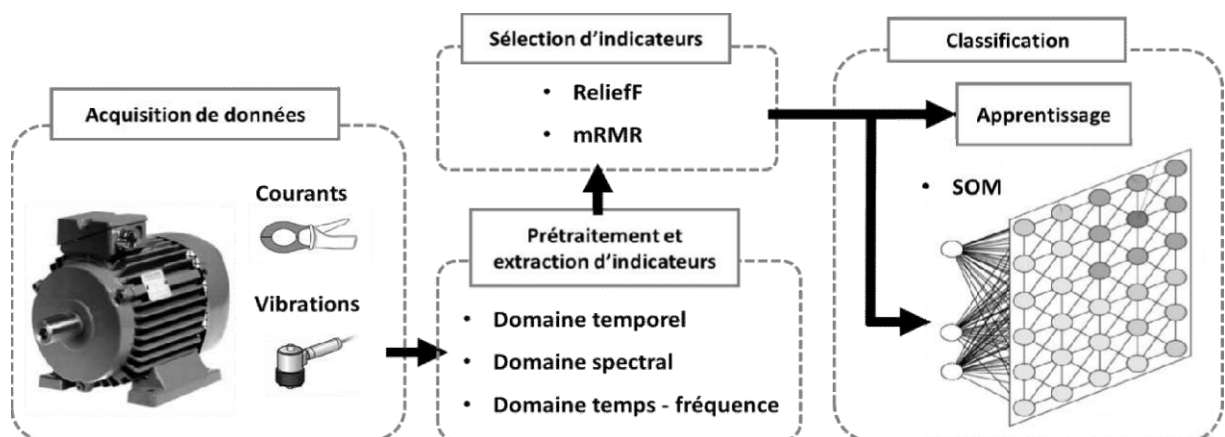


Figure. 2.19: Processus de surveillance et de diagnostic des défauts

2.5.2 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. 2.20.

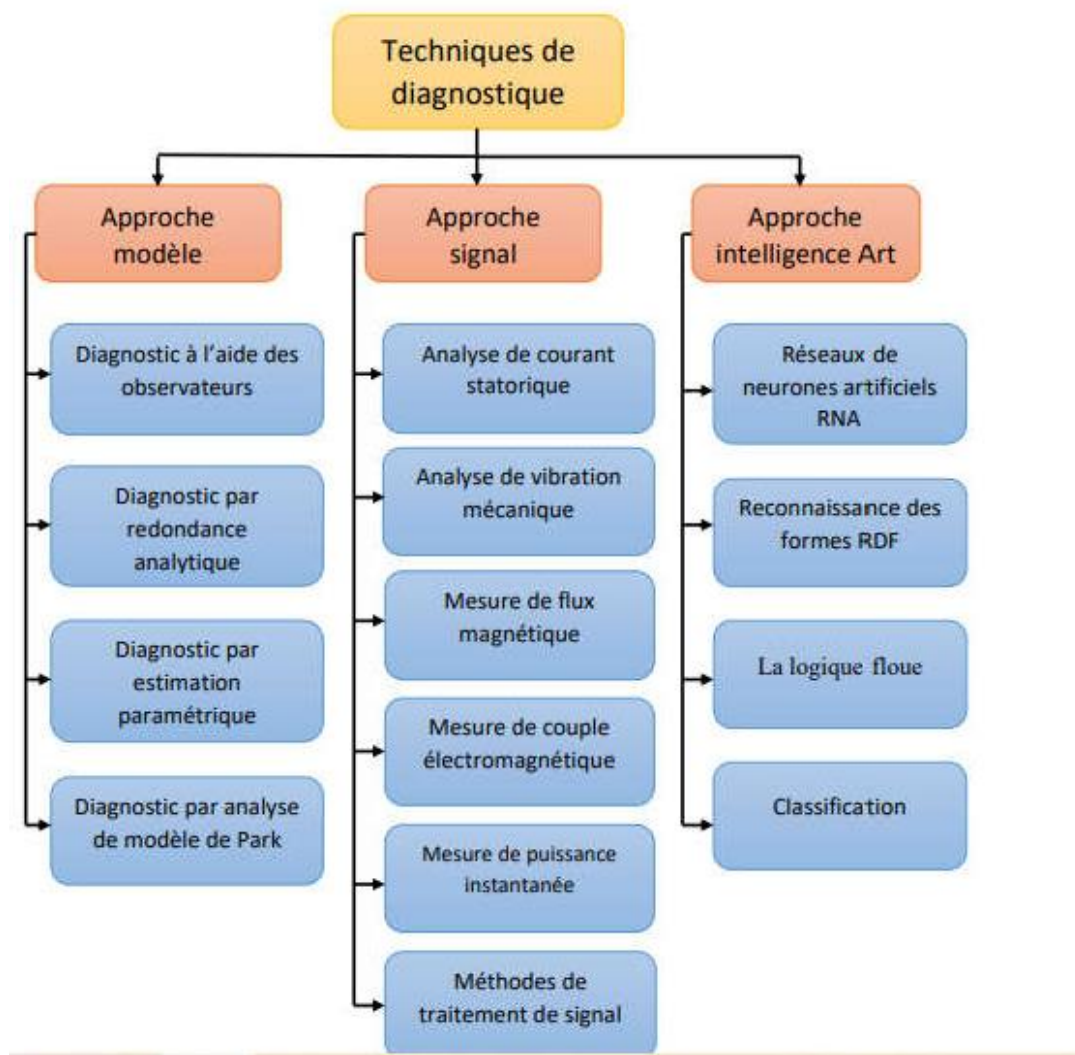


Figure. 2.20 : Approches de surveillance et de diagnostic des machines tournantes

### 2.5.2.1 Approche modèle

#### 2.5.2.1.1 Diagnostic à l'aide des observateurs

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 [35].

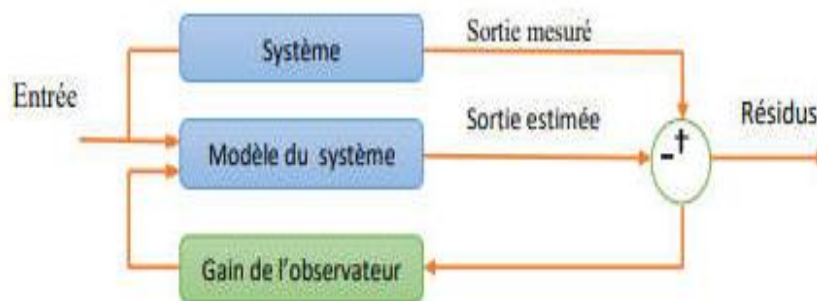


Figure. 2.21 : Générateur de résidus à base d'un observateur

#### 2.5.2.1.2 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. 2.22 donne le schéma conceptuel d'une approche de type espace de parité pour un générateur de résidus [35].

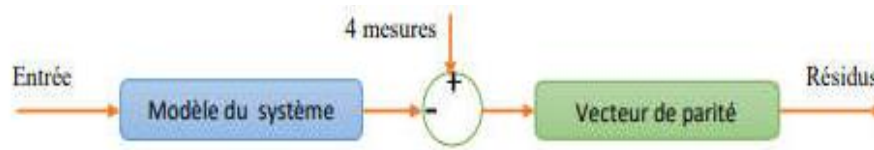


Figure. 2.22: Générateur de résidus dans l'espace de parité.

### 2.5.2.1.3 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.2.23 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 [36,37].

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

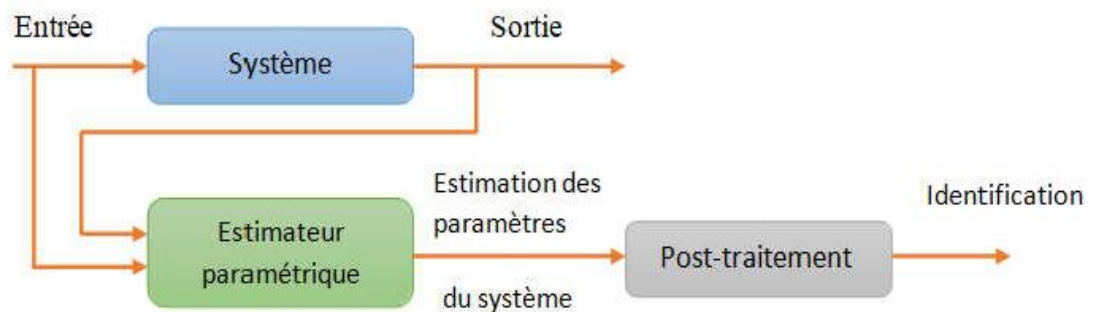


Figure. 2.23 : Description schématique d'une estimation paramétrique

### 2.5.2.1.4 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 Lissajous:  $i_q = f(i_d)$ . 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.

### 2.5.2.2 Approche signal

#### 2.5.2.2.1 Diagnostic par analyse des courants statoriques

L'analyse spectrale des courants statoriques appelée aussi MCSA (MotorCurrent Signature Analysis) a été utilisée amplement pour la détection des défaillances d'ordre électrique, à savoir les ruptures de barres rotoriques et les court-circuit 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 [38].

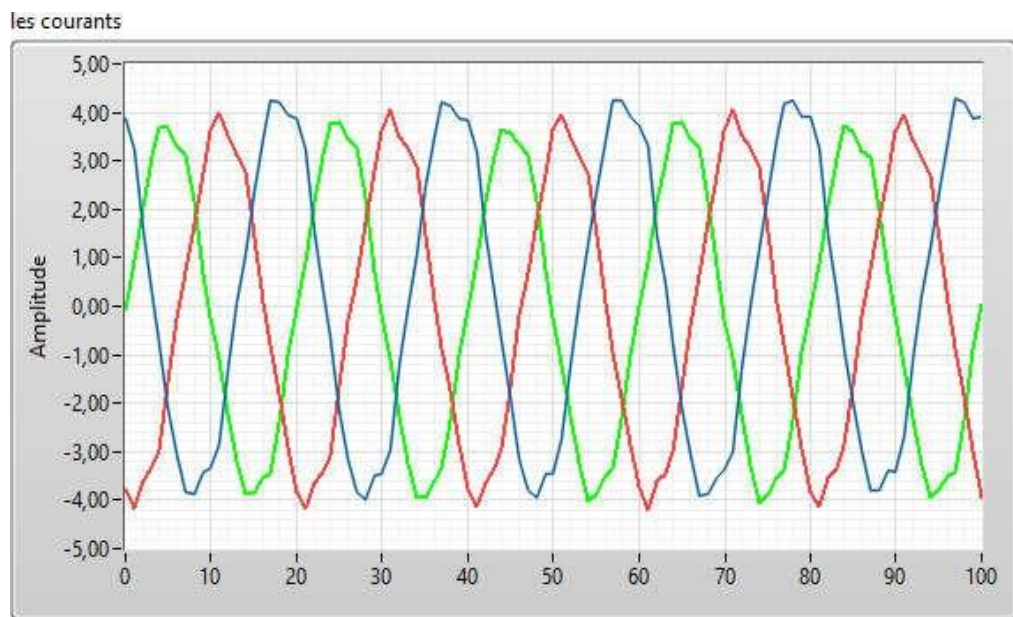


Figure. 2.24 : 3 phases de courants statorique d'une machine tournante

#### 2.5.2.2.2 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.

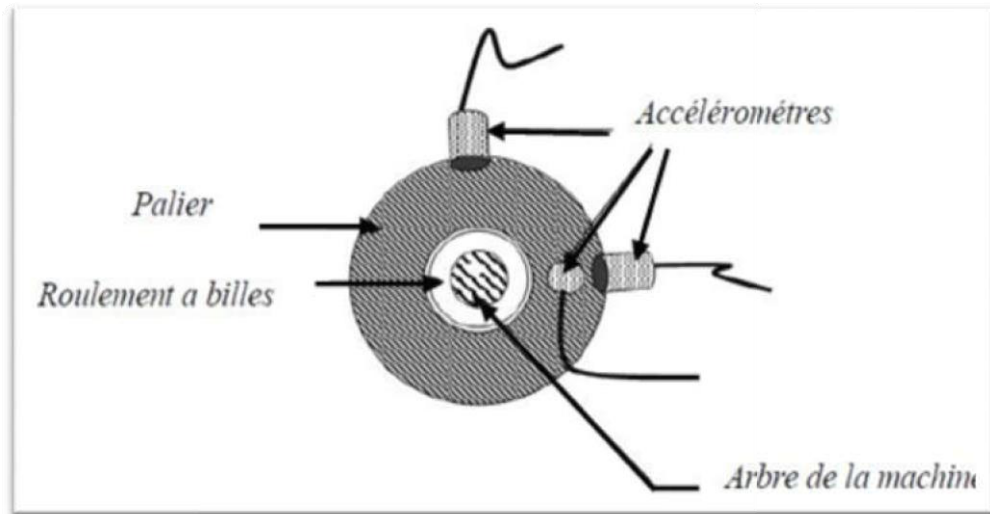


Figure. 2.25: Mesures vibratoires sur la machine asynchrone

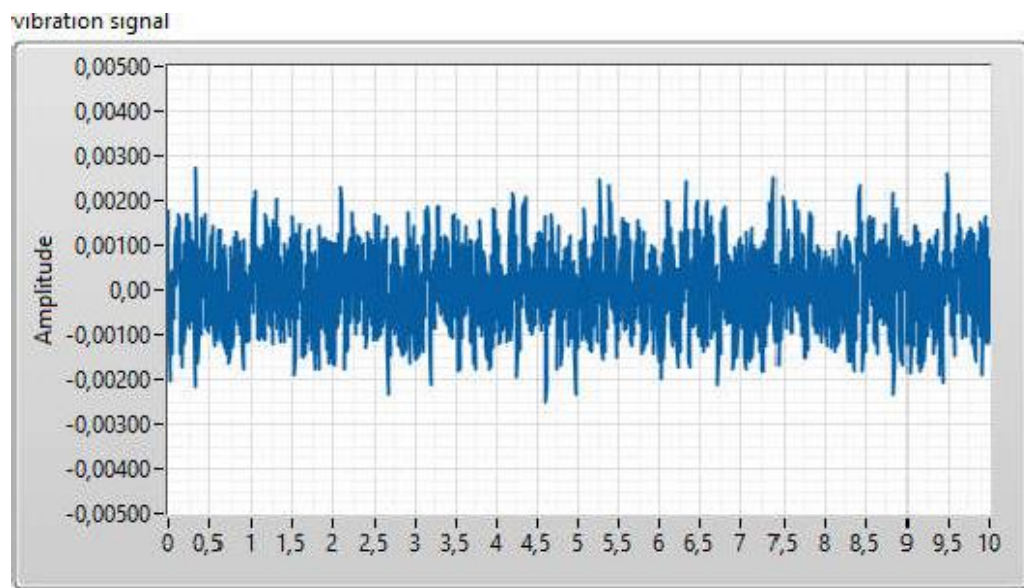


Figure. 2.26 : Signal de vibration mécanique

### 2.5.2.2.3 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].

### 2.5.2.3 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 :

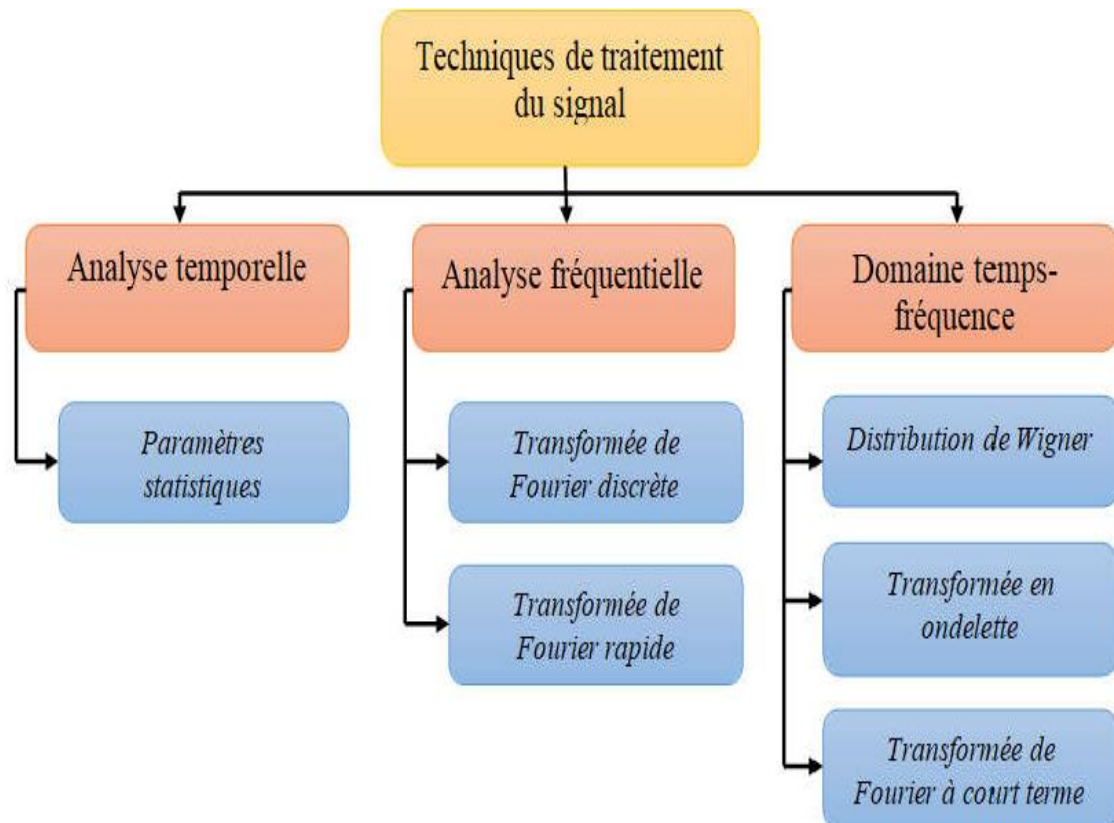


Figure. 2.27: Techniques de traitement de signal pour le diagnostic des machines tournantes

#### 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 :

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

Où  $x_i$  est la  $i^{\text{ème}}$  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 :

$$\delta^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}$$

- 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 carrée de la variance du signal :

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

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  $S_{\text{kurt}}$  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.

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

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  $F_c$  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 :

$$F_c = \frac{|x_{\text{pic}}|}{\text{RMS}}$$

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

- Le Skewness : le Skewness 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 :

$$S_{\text{kew}} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{\bar{\sigma}^3}$$

L'analyse temporelle a été appliquée beaucoup plus sur les signaux vibratoires et acoustiques pour la surveillance et la détection des défauts mécaniques [41]. 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 [42].

### 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 temporelle, 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 transformée 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 :

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

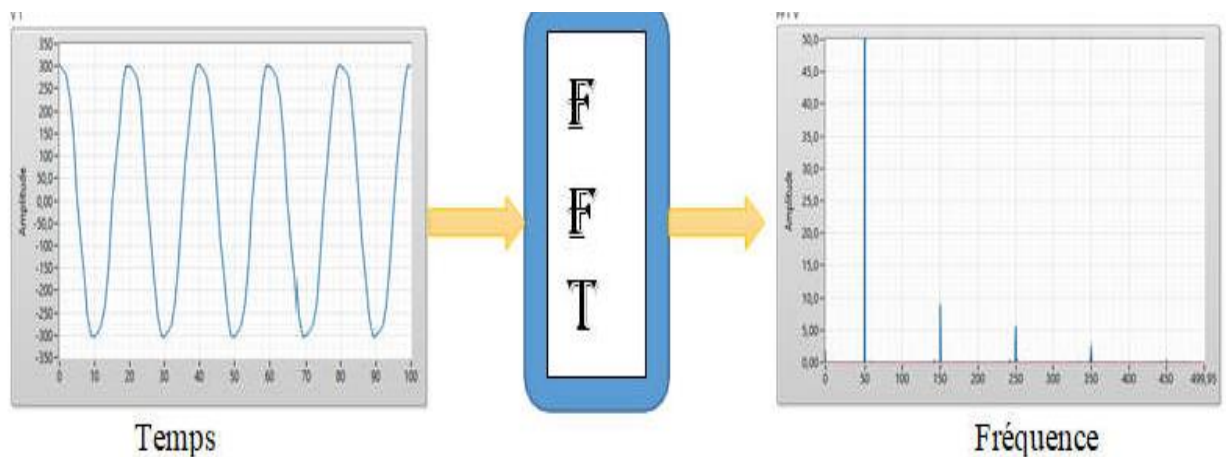


Figure.2.28 : Représentation temporel au fréquentiel d’une sinusoïde par FFT

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

$$X\left(\frac{f}{NT}\right) = \frac{1}{N} \sum_{K=0}^{K=N-1} x(KT) e^{-\frac{j2\pi f k T}{NT}}$$

Et sa relation inverse est donnée par :

$$x(kT) = \frac{1}{N} \sum_{K=0}^{K=N-1} X\left(\frac{f}{NT}\right) e^{\frac{j2\pi f k T}{NT}}$$

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  $\{e^{2\pi n f k T}\}$ . Malheureusement, ceci convient pour des signaux stationnaires dont les propriétés statistiques sont invariantes dans le temps [43].

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.

### 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 [44].

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 calcule 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.

#### 2.5.2.4 Approche intelligence artificiel

##### 2.5.2.4.1 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 2.29). Une loi d'apprentissage permet d'ajuster les poids des connexions afin d'avoir les performances désirées.

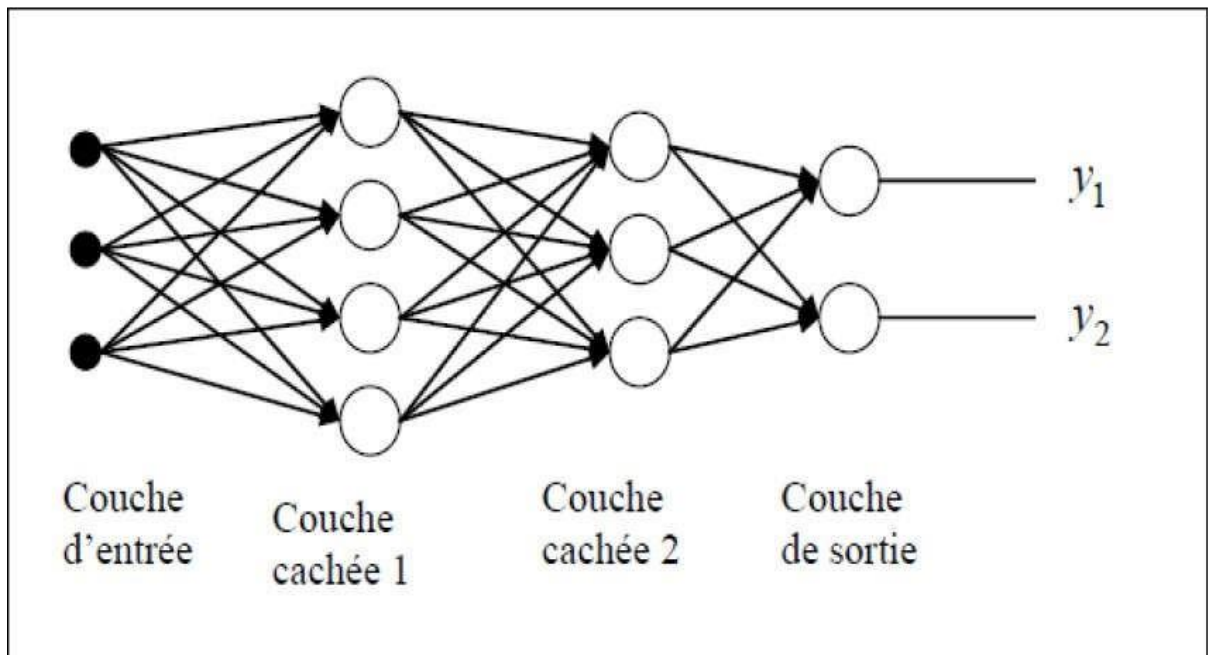


Figure.2.29 : Le neurone formel et l'architecture des RNA.

#### 2.5.2.4.2 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 importants, parfois incompatibles avec une exploitation temps réel [45].

#### 2.5.2.4.3 La logique floue

La logique floue est issue de la théorie mathématique des ensembles flous qui considère des ensembles définis de manière graduelle. À 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).

#### **2.5.2.4.4 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.

## **2.6 Conclusion**

Ce chapitre a été consacré à la description de différents éléments de la machine tournante, ainsi que les défauts qu'on peut les rencontrer dans ces machines. Nous avons, également, donné un aperçu sur les différentes techniques et méthodes de supervision et de diagnostic utilisées dans les machines tournantes. Dans ces techniques, la détection d'un défaut d'ordre électrique ou mécanique, se fait par deux approches essentielles : l'approche modèle (avec connaissance a priori) et l'approche signal (sans connaissance a priori).

### 3.1 Introduction

LabVIEW (abréviation de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) développé par la société National Instrument en 1983. C'est un logiciel de développement d'applications d'instrumentation plus particulièrement destiné à l'acquisition des données de mesure et à leur traitement à partir d'un PC [46].

LabVIEW utilise un langage de programmation graphique G qui partage certains aspects avec les langages de programmation non graphiques traditionnels (C, Pascal, etc.) et certains aspects des langages de définition de matériel (VHDL, Verilog) [47, 48].



Figure 3.1 LabVIEW

### 3.2 Fonctionnement LabVIEW

L'idée de LabVIEW est de remplacer les instruments de mesures et d'analyse d'un laboratoire par un ordinateur muni de cartes spécifiques et d'un logiciel approprié. Dans le cadre de la mesure, les cartes permettent de convertir des signaux électriques provenant de capteurs, en données numériques. Ainsi, un seul ordinateur muni d'une carte d'acquisition analogique et de LabVIEW est capable de remplacer un voltmètre, un fréquencemètre ou un oscilloscope.



Figure 3.2 Fonctionnalité de LabVIEW

### 3.3 Les fenêtres de LabVIEW

Un programme de LabVIEW comprend 2 fenêtres distinctes : **le panneau avant** servant d'interface avec l'utilisateur et **le diagramme** contenant le programme source en langage graphique G.

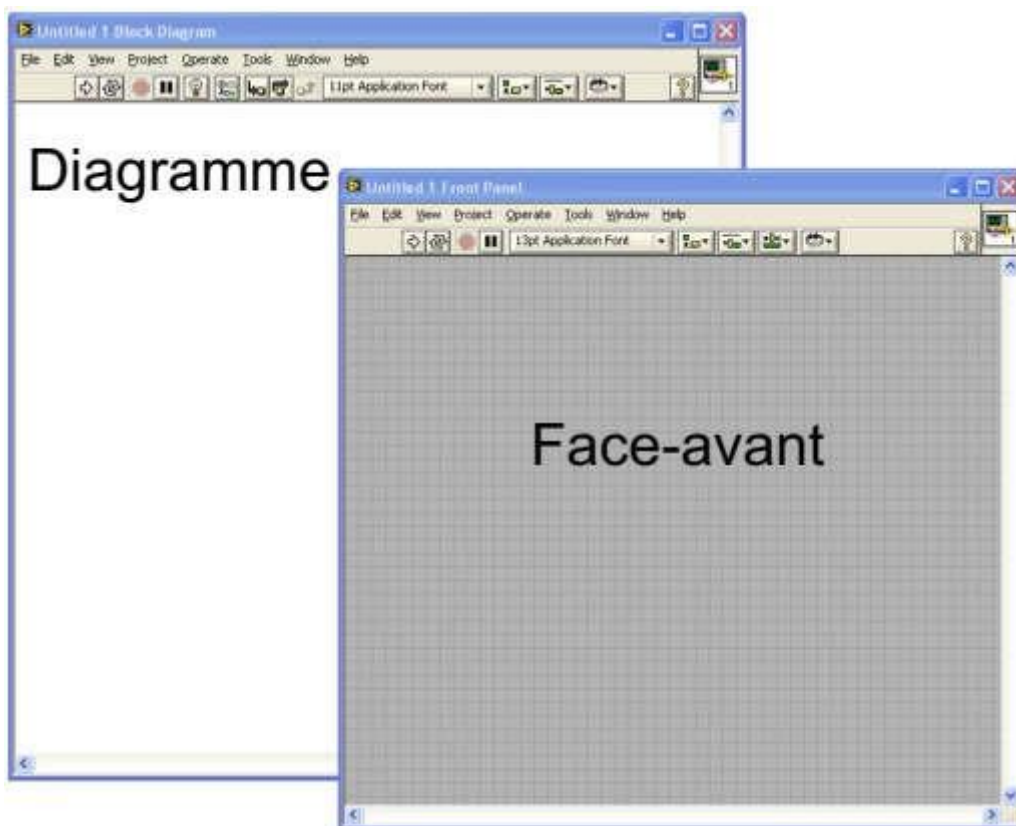


Figure 3.3 deux fenêtres de LabVIEW

Lorsque vous ouvrez LabVIEW, vous arrivez d'abord à la fenêtre "Getting Started" (Démarrage)

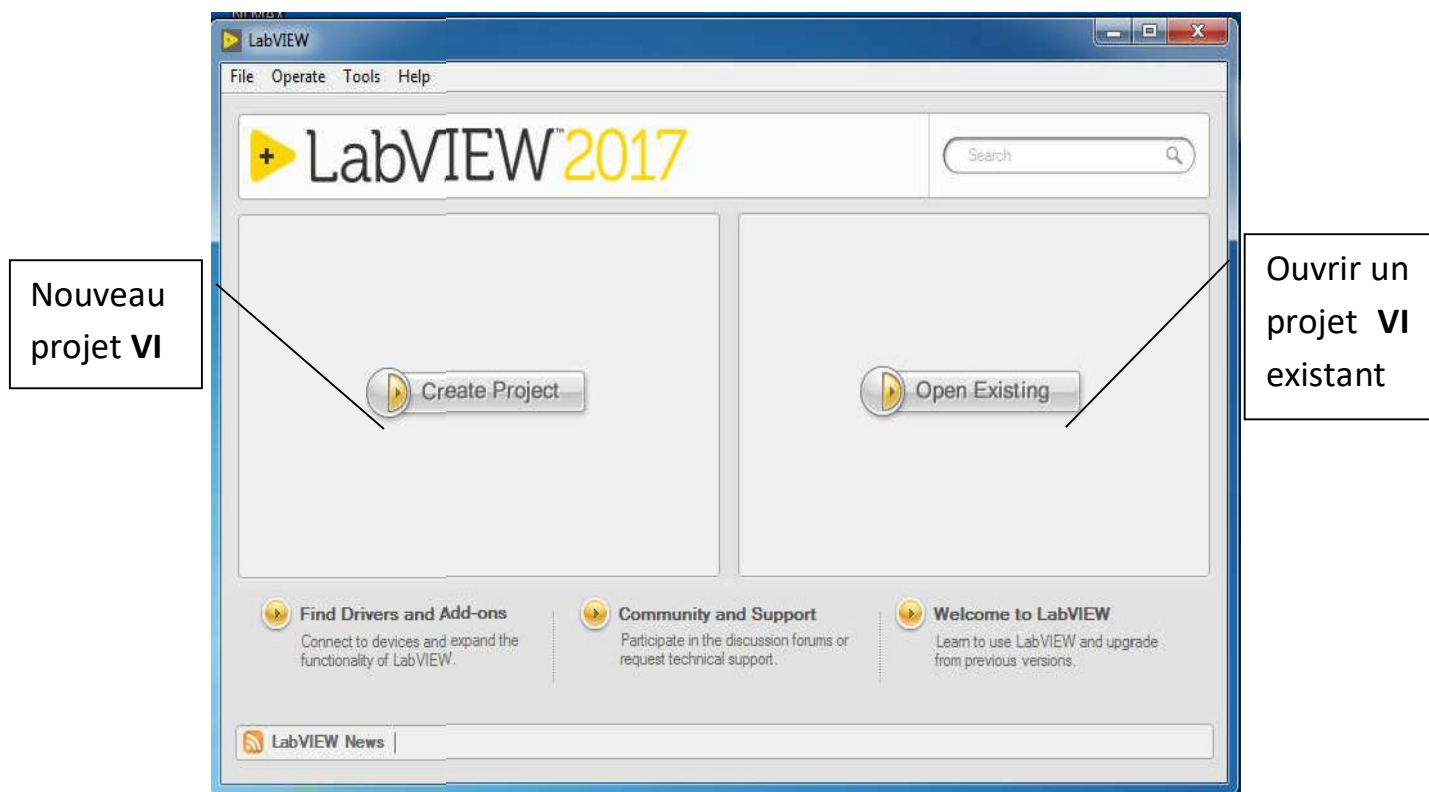


Figure 3.4 Page d'accueil de LabVIEW

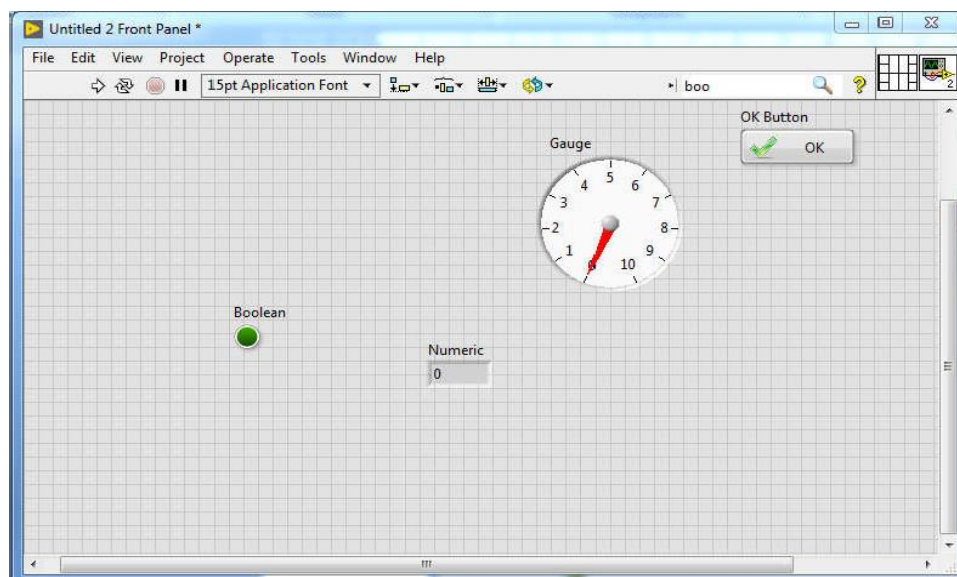
Pour créer un nouveau VI, sélectionnez "create project".

Lorsque vous ouvrez un VI vierge, une fenêtre sans titre apparaît sur le panneau avant. Cette fenêtre affiche le panneau avant et est l'une des deux fenêtres LabVIEW que vous utilisez pour construire un VI. L'autre fenêtre contient le schéma fonctionnel. Les sections ci-dessous décrivent le panneau avant (front panel) et le schéma fonctionnel (block diagram).

### 3.3.1 Le panneau avant (front panel)

Cette fenêtre, où apparaissent des objets sous forme de commandes d'entrée ou contrôleurs (Controls) ou d'indicateurs de sortie (Indicators), constitue l'interface interactive du programme. Le « panneau avant » vide apparaissant par défaut lors de la création d'un programme est indiqué sur la figure ci-dessous.

Lorsque nous avons créé un nouveau VI ou sélectionné un VI existant, le panneau avant et le schéma fonctionnel de ce VI spécifique s'affichent.



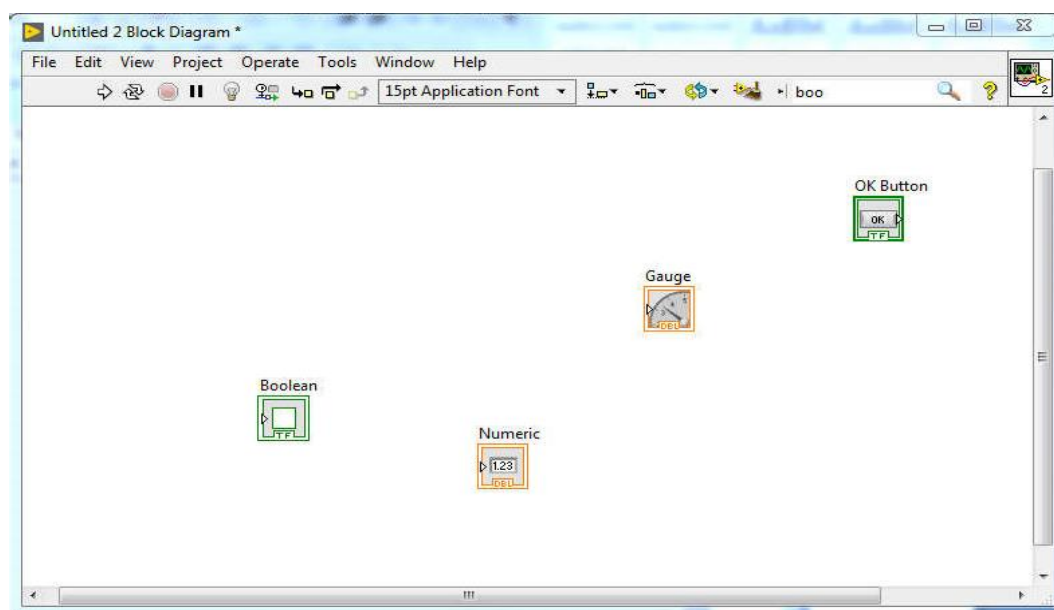
**Figure 3.5 La « face-avant » (Front panel)**

Dans LabVIEW, vous construisez une interface utilisateur, ou panneau avant, avec des contrôles et des indicateurs. Les commandes sont des boutons, des boutons-poussoirs, des cadrans et d'autres dispositifs d'entrée. Les indicateurs sont des graphiques, des LED et d'autres affichages.

Vous construisez le panneau avant avec les commandes et les indicateurs, qui sont les entrées et les sorties interactives respectivement aux bornes de sortie du VI. Les commandes sont des boutons, des boutons-poussoirs, et autres.

### 3.3.2 Le schéma fonctionnel ou le diagramme (block diagram)

Cette fenêtre contient le code source graphique représentant le programme écrit en langage G. Le diagramme vide apparaissant par défaut lors de la création d'un programme est indiqué sur la figure ci-dessous.



**Figure 3.6 Le schéma fonctionnel (block diagram)**

On passe du « panneau avant » au diagramme à l'aide du choix Show Block Diagram du menu Window de la barre de menus. Réciproquement, on retourne au « panneau avant » à partir du diagramme à l'aide du choix Show Front Panel du menu Window de la barre de menus.

✓ **Remarque :** Chaque contrôle utilisé dans le front panel va créer un objet terminal dans le Block Diagram et non pas le contraire

**Exemple :**

La figure ci-dessous montre un panneau avant et son diagramme correspondant avec les composants du panneau avant et du schéma fonctionnel.

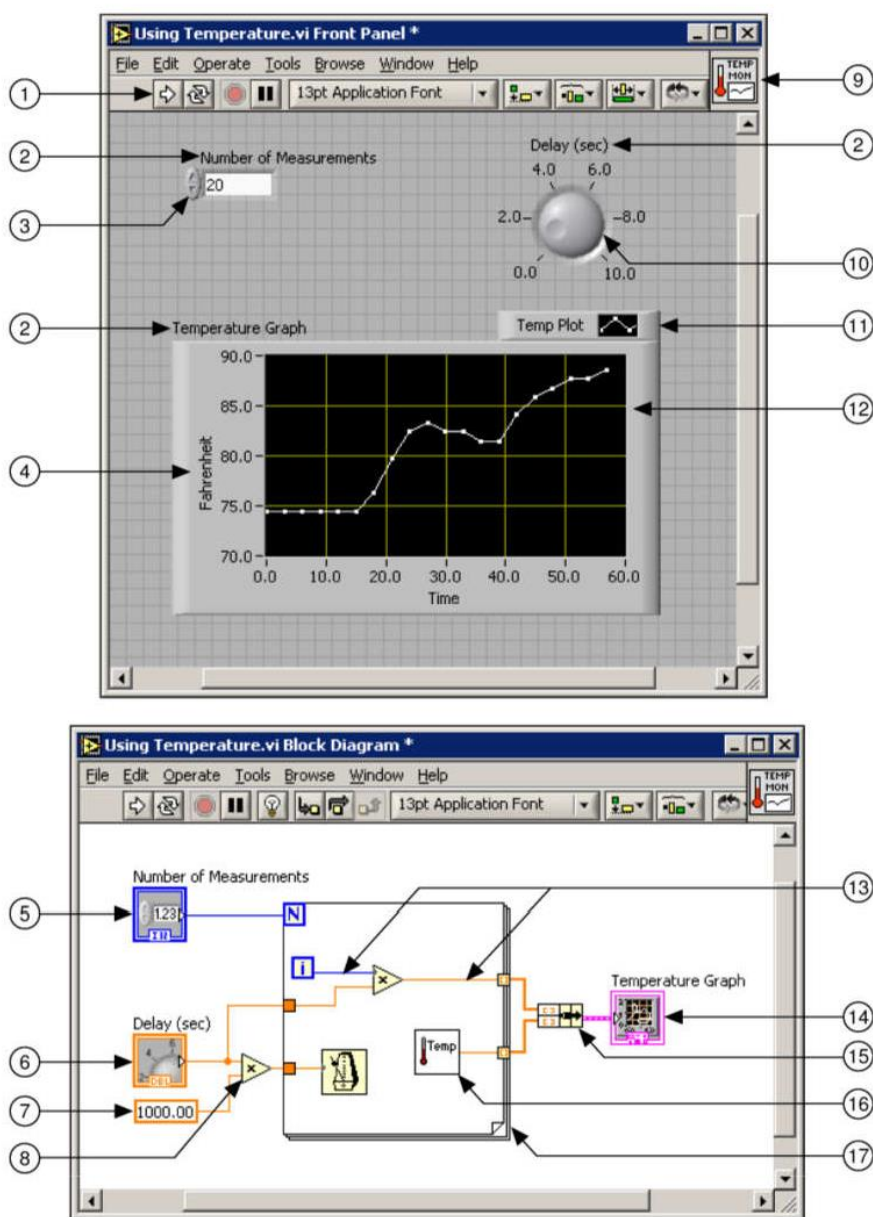


Figure 3.7 Panneau avant et son schéma fonctionnel

- 1-Barre de menus      2- Owned Label      3- contrôle numérique      4-Etiquette sur l'axe Y  
 5-le terminal de contrôle numérique      6- Knob Terminal      7- une constante numérique  
 8- Fonction de multiplication      9- Icône      10- Réglage      11- Tracer la légende  
 12- XY Graph      13- Wire Data Path      14- XY Graph de simulation  
 15- Bundle Function      16- SubVI      17- For Loop Structure

### 3.3.3 Les caractères communs au panneau avant et au diagramme

Barre de titre Située en haut de chaque fenêtre, la barre de titre ( Figure 3.8) affiche le nom du programme. Ce nom est Untitled i (où i est un nombre > 0) par défaut à l'ouverture d'un nouveau programme, et le reste tant que le programme n'a pas été sauvegardé. Barre de menus Située sous la barre de titre ( Figure3.8), elle présente une série de menus déroulant communs aux deux fenêtres. Ces menus à structure hiérarchisée proposent des choix pouvant ), ou aboutir à une fenêtre deventraîner une action immédiate, conduire à des sous-menus ( dialogue (...). Les principales actions déroulant de ces menus sont indiquées ci-dessous.

Menus hiérarchisés communs aux fenêtres du diagramme et du panneau avant :

- ❖ File Pour manipuler les fichiers (créer, ouvrir, sauver, imprimer)
- ❖ Edit Pour éditer la fenêtre active (copier, coller)
- ❖ View Pour voir la hiérarchie des VI en mémoire et rappeler les palettes
- ❖ Tools ou Controls Project
- ❖ Operate Pour choisir le mode de fonctionnement
- ❖ Tools
- ❖ Window Pour changer la fenêtre active (« panneau avant »/diagramme)
- ❖ Help Pour afficher la fenêtre d'aide de LabVIEW et accéder à l'aide en ligne (Online Reference ...)

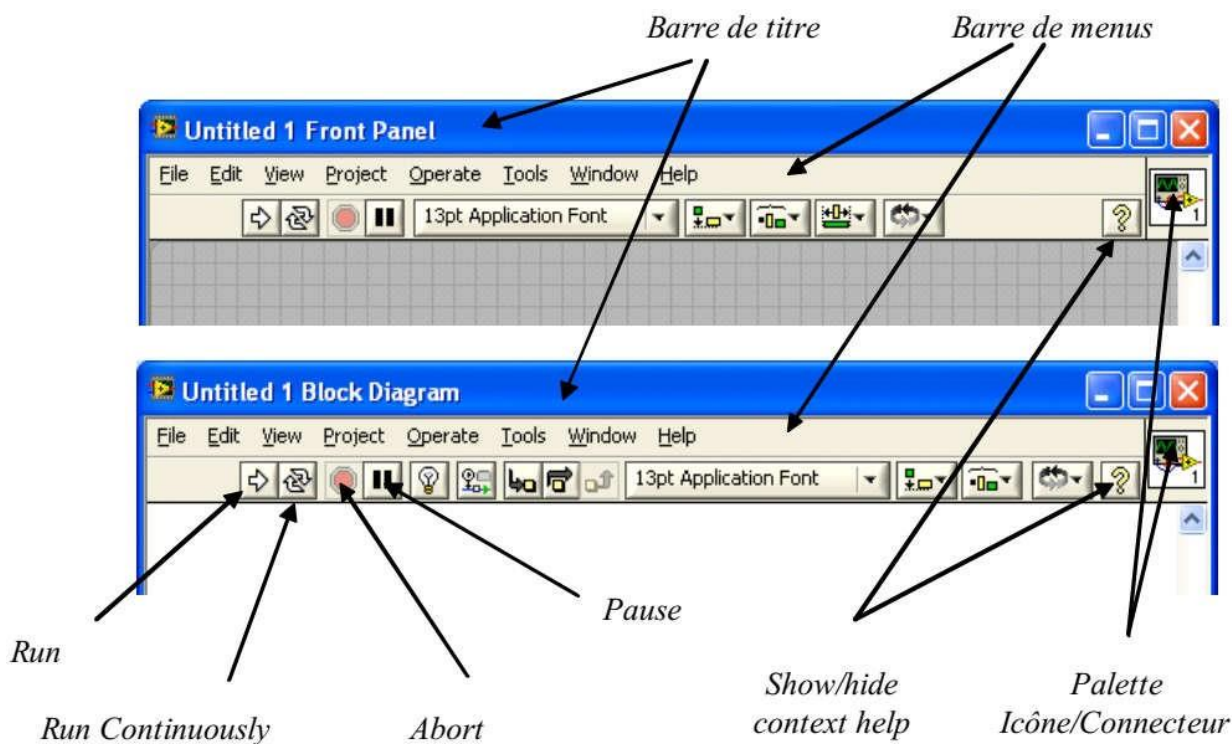


Figure 3.8 Caractères communs aux deux fenêtres

### 3.3.4 Les palettes

Sous l'environnement LabVIEW, le programmeur dispose d'une palette d'outils et de deux palettes d'objets, apparaissant par défaut en fonction du contexte, selon qu'on travaille sur le «panneau avant » ou sur le diagramme.

#### 3.3.4.1 La palette d'outils

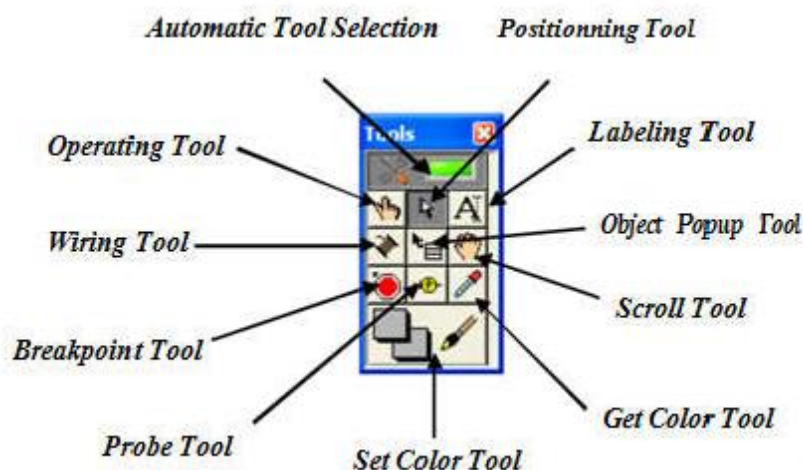


Figure 3.9 Palette d'outils (Tools)

Une palette d'outils (*Tools*) utilisables aussi bien pour le diagramme que pour le « panneau avant » apparaît par défaut lorsqu'on ouvre un VI et reste néanmoins toujours accessible par le choix *Tools Palette* du menu *View* si on l'a supprimée. Elle permet de définir divers modes de fonctionnement du curseur :

#### **Outils de développement :**

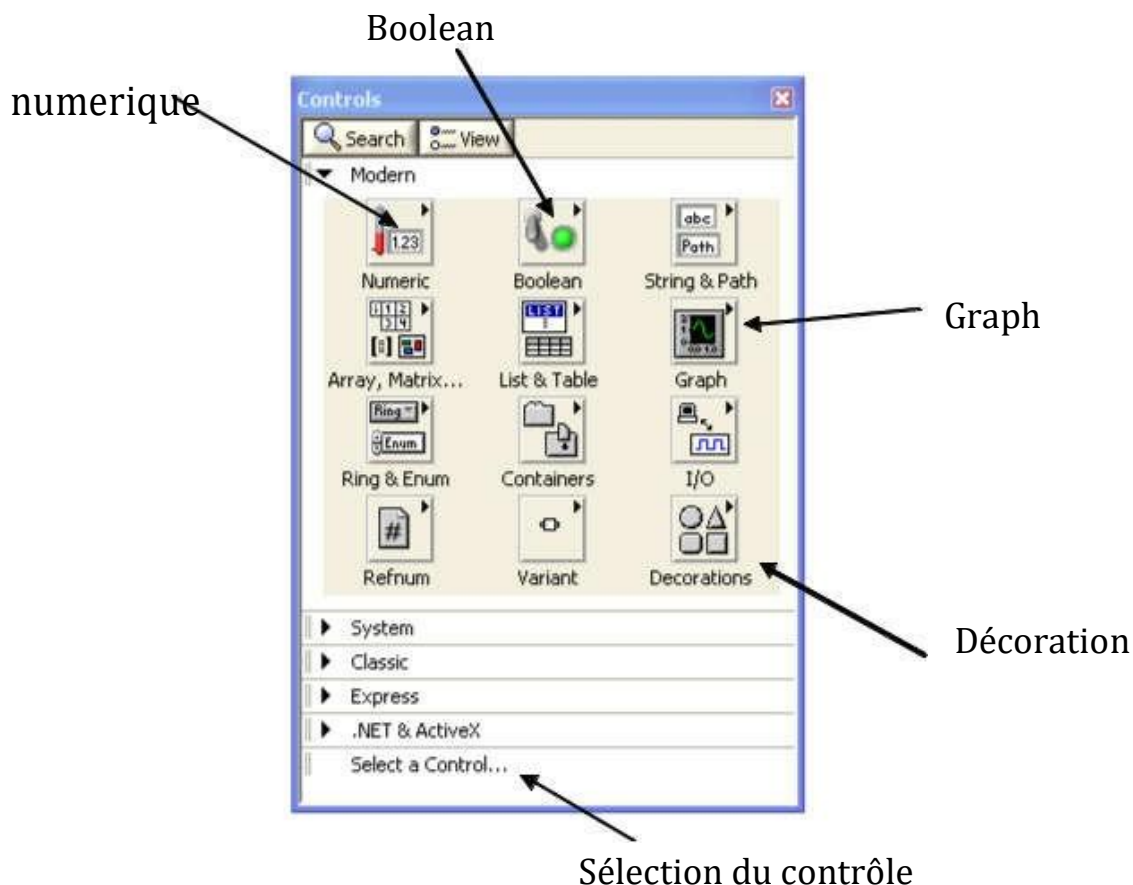
- ❖ Breakpoint tool : pour insérer des points d'arrêt
- ❖ Probe tool : pour insérer des sondes sur les fils permettant de connaître les valeurs transmises

#### **Outils d'édition :**

- ❖ Operating tool : sert à actionner les objets de la fenêtre
- ❖ Positioning tool : sert à sélectionner, déplacer, modifier les objets
- ❖ Labeling tool : utilise pour entrer du texte
- ❖ Wiring tool : véhicule le flot de données entre les objets
- ❖ Object popup tool : fait surgir un menu sur un objet
- ❖ Scroll tool : déplace la zone visualisée
- ❖ Get color tool : sert à copier la couleur d'un objet
- ❖ Set color tool : sert à colorier les objets et l'arrière-plan des fenêtres
- ❖ Automatic tool selection : laisse à LabVIEW la possibilité de sélectionner lui-même les outils de la palette à utiliser selon le lieu où se trouve le curseur (positioning tool, wiring tool, ...)

### 3.3.4.2 La palette d'objets du « panneau avant » ( Controls Palette ) :

Cette palette apparaît par défaut lorsque la fenêtre du « panneau avant » est active et reste accessible, si on l'a fermée, par le choix *Controls Palette* du menu *View* ou par le bouton de droite de la souris sur le « panneau avant ».












**Figure 3.10 Palette d'objets du panneau avant ( Controls Palette ) apparaissant par défaut**

Les principaux choix offerts par cette palette fournissent des objets représentant les entrées-sorties du programme. Ils correspondent à des types prédéfinis du langage Numeric( Boolean, String & Path, List & Tables, Array & Matrix, Graph, Refnum, ... ), à des symboles de décoration divers (Decorations) ou à des types définis par l'utilisateur (Select a Control ...).

### 3.4 Les types des fils de connexion :

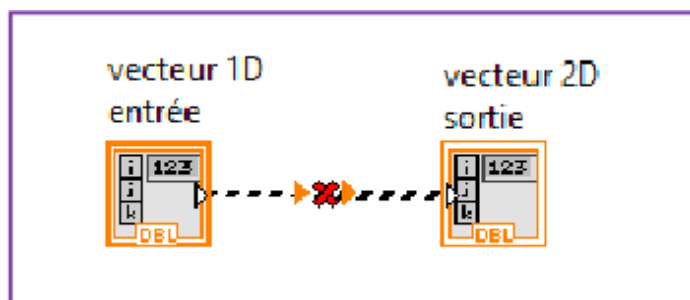
Vous transférez les données entre les objets du schéma fonctionnel par des fils. Dans les figures 3.5 et 3.6, les fils relient les bornes de contrôle et d'indicateur à la fonction d'addition et de soustraction. Chaque fil a une seule source de données, mais vous pouvez le relier à plusieurs VI et fonctions qui lisent les données. Les fils sont de couleurs, de styles et d'épaisseurs différents, en fonction de leurs types de données

Le tableau présente les types de fils les plus courants

Wire Type	Scalar	1D Array	2D Array	Color
Numeric				Orange (floating-point), Blue (integer)
Boolean				Green
String				Pink

**Figure 3.11 Types des fils de connexion les plus courants**

Un fil brisé apparaît comme une ligne noire pointillée avec un X rouge au milieu, comme indiqué ci-dessus. Les fils cassés se produisent pour diverses raisons, par exemple lorsque vous essayez de relier deux objets ayant des types de données incompatibles.



**Figure3.12 Liaison erroné entre deux contrôles**

Dans LabVIEW, vous utilisez des fils pour connecter plusieurs terminaux ensemble afin de transmettre des données dans un VI. Vous devez connecter les fils à des entrées et des sorties qui sont compatibles avec les données qui sont transférées avec le fil. Par exemple, vous ne pouvez pas connecter une sortie de tableau à une entrée numérique. En outre, le sens des fils doit être correct. Vous devez connecter les fils à une seule entrée et à au moins une sortie. Par exemple, vous ne pouvez pas connecter deux indicateurs ensemble.

Les éléments qui déterminent la compatibilité de câblage comprennent le type de données de la commande et/ou de l'indicateur et le type de données du terminal. Par exemple, si un interrupteur a une bordure verte, vous pouvez câbler un interrupteur à n'importe quelle entrée portant une étiquette verte sur un Express VI. Si un bouton a une bordure orange, vous pouvez le connecter à n'importe quelle entrée avec une étiquette orange. Cependant, vous ne pouvez pas connecter un bouton orange à une entrée avec une étiquette verte. Notez que les fils sont de la même couleur que la borne.

### 3.5 Fonctions et structures de LabView

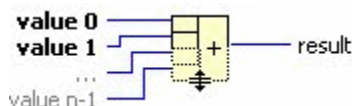
#### 3.5.1 Les fonctions sur les nombres :

On trouve dans cette catégorie les fonctions mathématiques de bases et les fonctions de manipulation des booléens.



**Figure 3.13 Composante de soustraction**

La fonction soustraction permet donc de soustraire deux nombres x et y fournis en entrée.



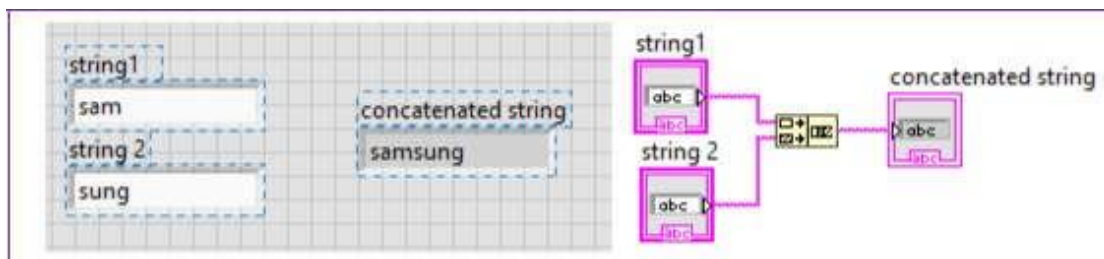
**Figure 3.14 Composante arithmétique**

Cette fonction permet d'effectuer des opérations de bases sur plusieurs nombres (addition, soustraction) ou plusieurs booléens (ou, et, xor, nor...).

#### 3.5.2 Les fonctions sur les chaînes de caractères

On trouve dans cette catégorie les fonctions de manipulation des chaînes de caractères.

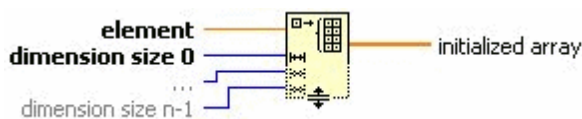
Cette fonction permet de mixer deux chaînes de caractères dans une seule chaîne



**Figure 3.15 Fonction concaténations des caractères**

#### 3.5.3 Les fonctions sur les tableaux

LabVIEW propose un certain nombre de fonctions destinées à la manipulation des tableaux.



**Figure 3.16 Composant d'un nouveau tableau**

Entre autre cette méthode qui sert à l'initialisation d'un nouveau tableau. L'entrée **element** permettra de définir le type des données contenues dans ce tableau. Les autres paramètres d'entrées permettent de définir les dimensions du tableau.

### 3.5.4 Les fonctions sur les clusters

LabVIEW propose aussi des fonctions destinées à la manipulation des clusters. On rappelle que les clusters sont des assemblages de différents types de données.

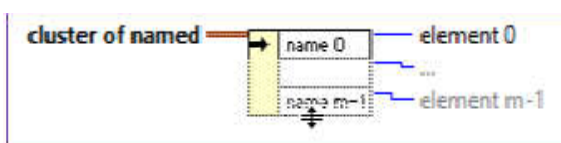


Figure 3.17 Extraction des données d'un cluster

Par exemple, cette méthode permet d'extraire les différentes données contenues dans un cluster afin de les récupérer dans des variables distinctes.

On dispose aussi de fonctions de conversion des différents types entres eux ou de différentes constantes de mesures physiques, ainsi qu'une bibliothèque très importante en ce qui concerne les fonctions mathématiques et électronique avancées.

### 3.5.5 Les fonctions sur les fichiers :

On trouve dans cette catégorie les fonctions utiles pour la manipulation des fichiers (ouvrir, écrire, lire ...).

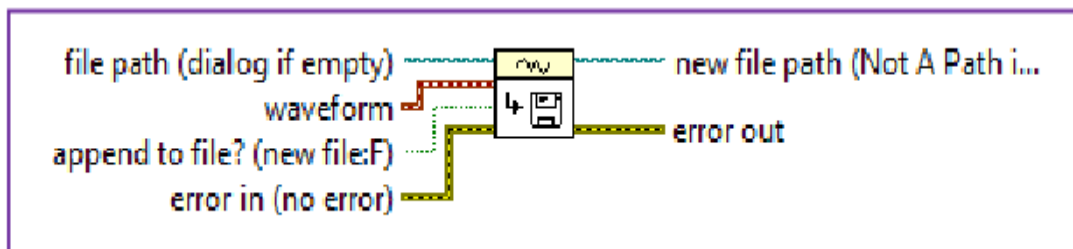


Figure 3.18 Fonction créer un fichier sous LabVIEW

Dans cette exemple 3.17 on utilise une fonction pour la création d'un nouveau fichier ou l'ajouté à un fichier existant.

### 3.5.6. 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.

#### 3.5.6.1 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.

®

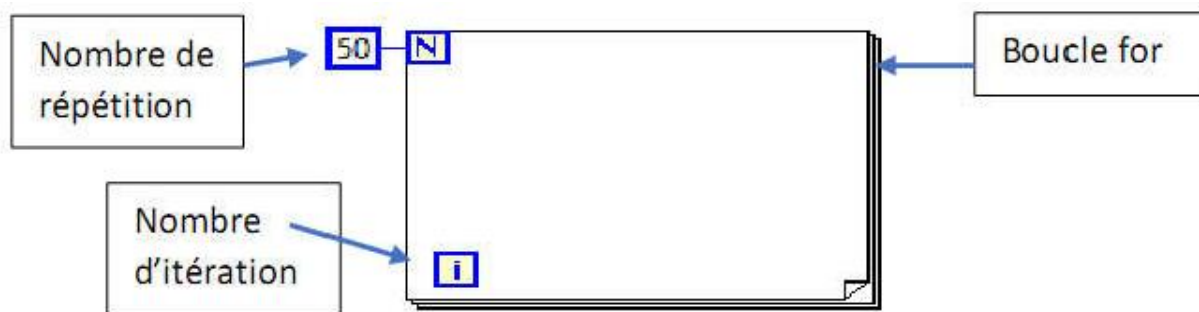
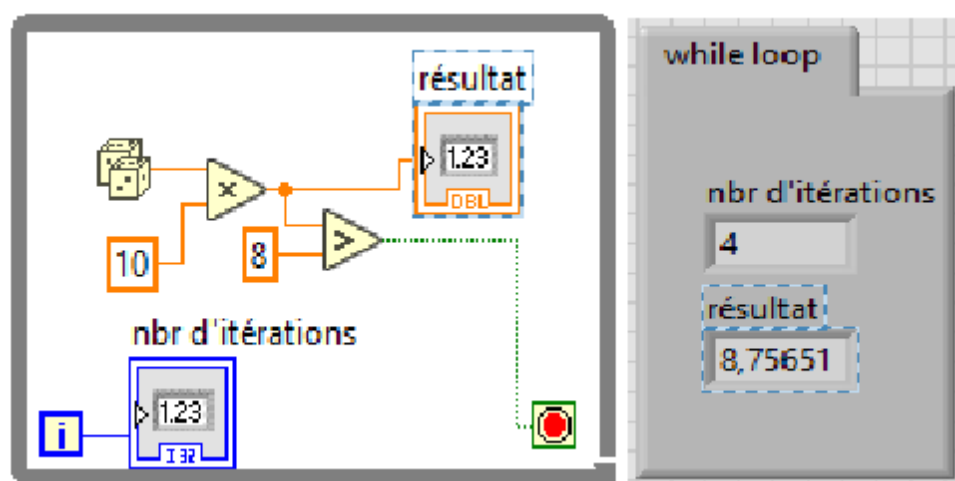


Figure 3.19 La boucle For du Labview

### 3.5.6.2 La boucle While

Elle 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 vérifié si la condition d'arrêt est vrai ou fausse.

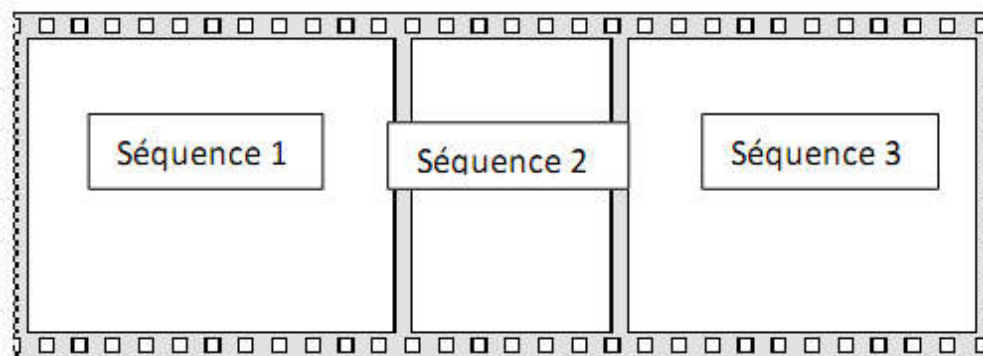
On donne ce petit exemple explicatif, les dés génère des valeurs aléatoires  $x$  ( $0 < x < 1$ ), la condition est si après multiplication fois 10 du la valeur  $x$  et qu'elle soit supérieur à 8, le programme sort de la boucle. On remarque qu'il s'est exécuté 4 fois.



3.20 La boucle While du LabVIEW

### 3.5.7 La structure séquence

Elle permet d'ordonner une suite d'opérations précise. 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



3.21 La structure séquence de Labview

3.5.8 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.

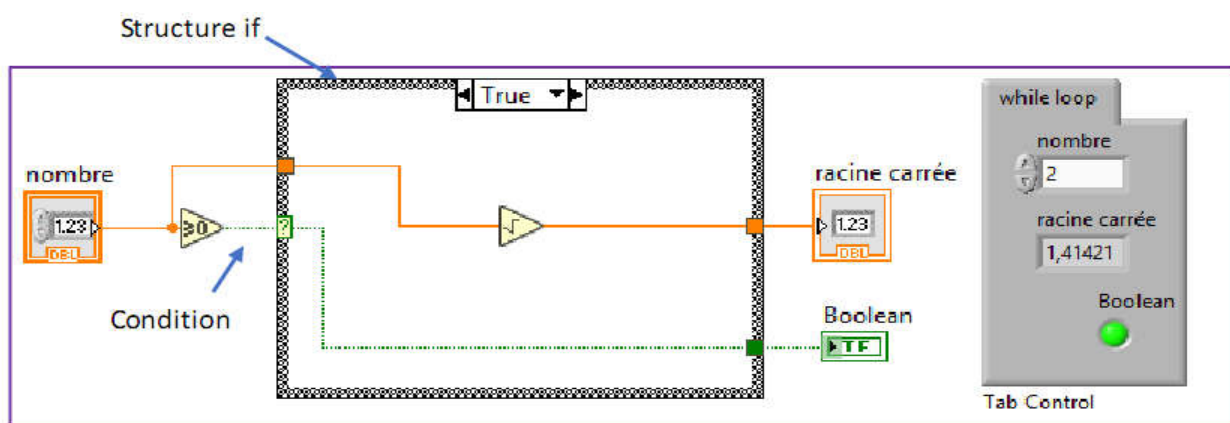


Figure 3.22 Calcule de la racine carrée d'un nombre positif en utilisant la structure selecte

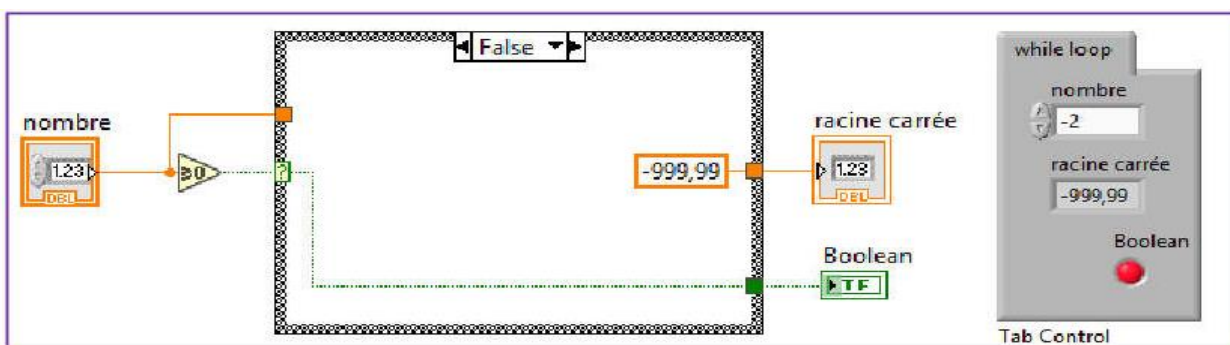


Figure3.23 Calcule de la racine carrée d'un nombre négatif en utilisant la structure selecte

### 3.6 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 présentent dans LabVIEW :

#### 3.6.1 Les registres à décalage

Ils font transférer les valeurs d'une itération à l'itération suivante.

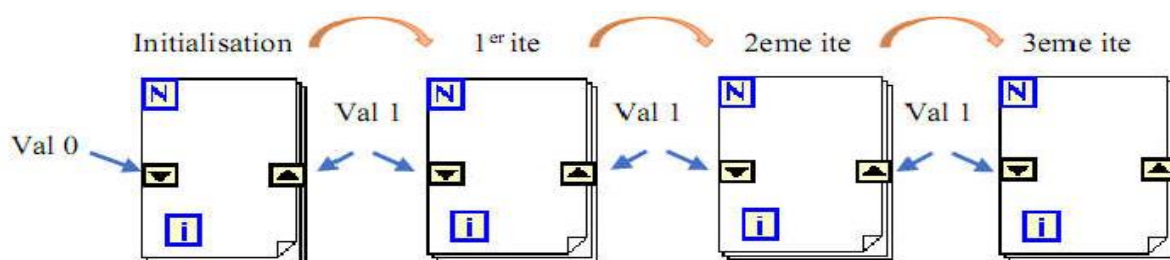


Figure 3.24 Transfert de données d'une itération à la suivante par un registre à décalage

#### 3.6.2 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.

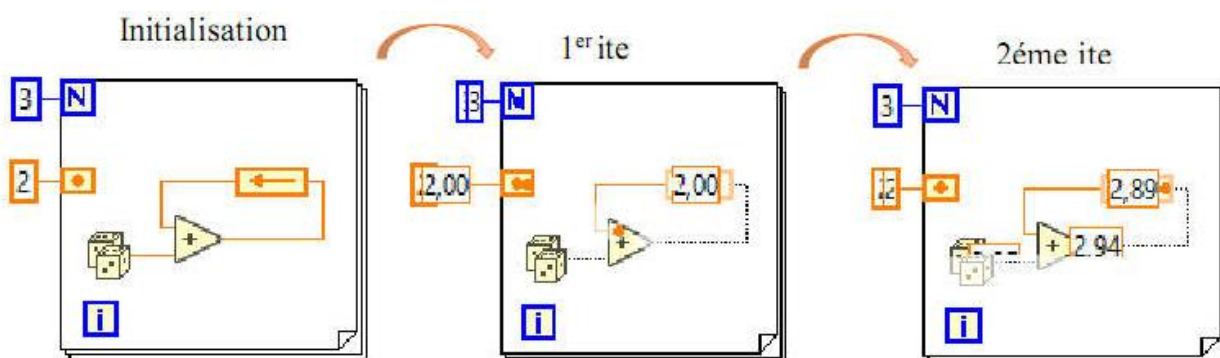
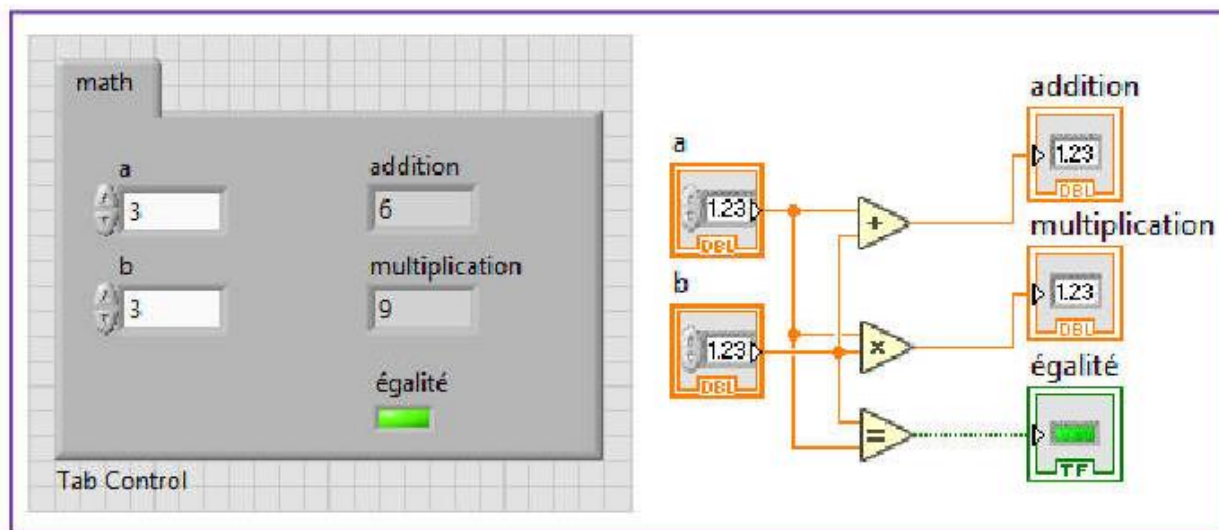


Figure 3.25 Enregistrement et utilisation des data des itérations précédentes par feedback

## 3.7 Quelques exemples sous LabVIEW

### 3.7.1 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



### 3.26 Opération arithmétiques et logique

#### 3.7.2 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 calcule 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.**

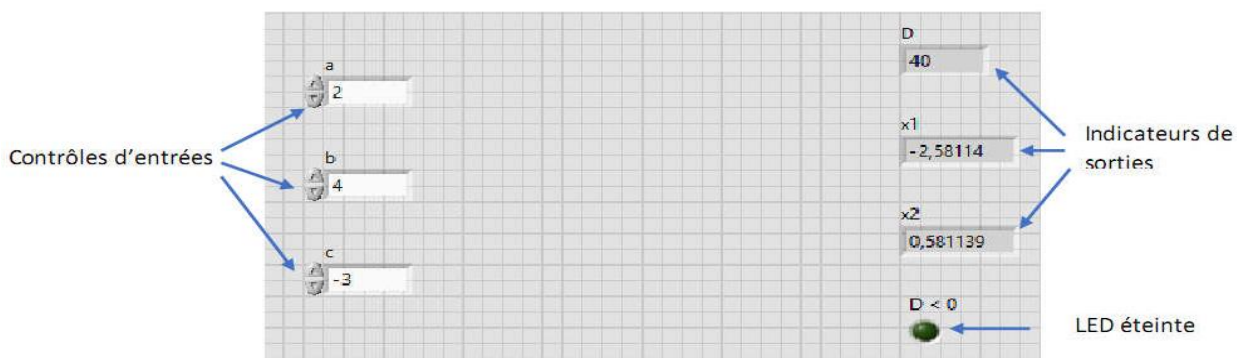


Figure 3.27 Front panel pour la résolution d'un polynôme 2eme degré true case

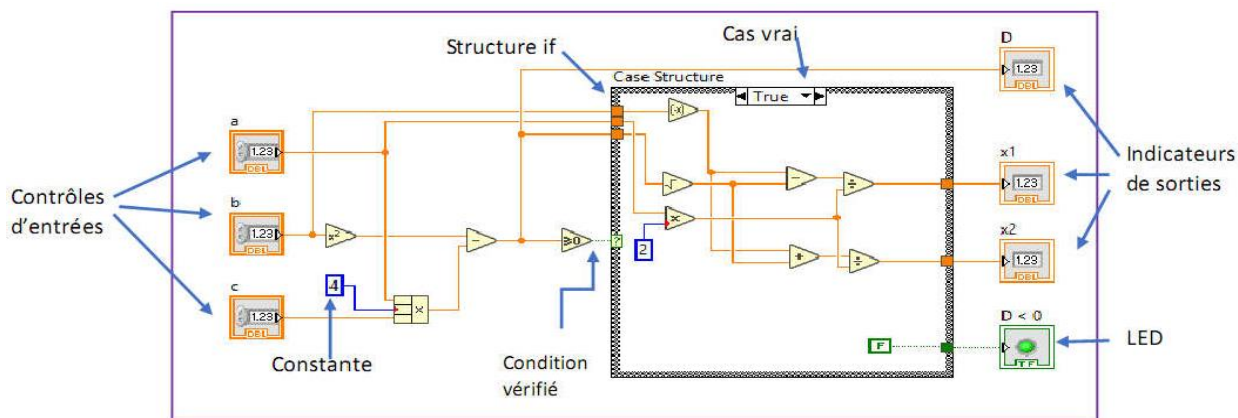


Figure 3.28 block diagram pour la résolution d'un polynôme 2eme degré true case

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

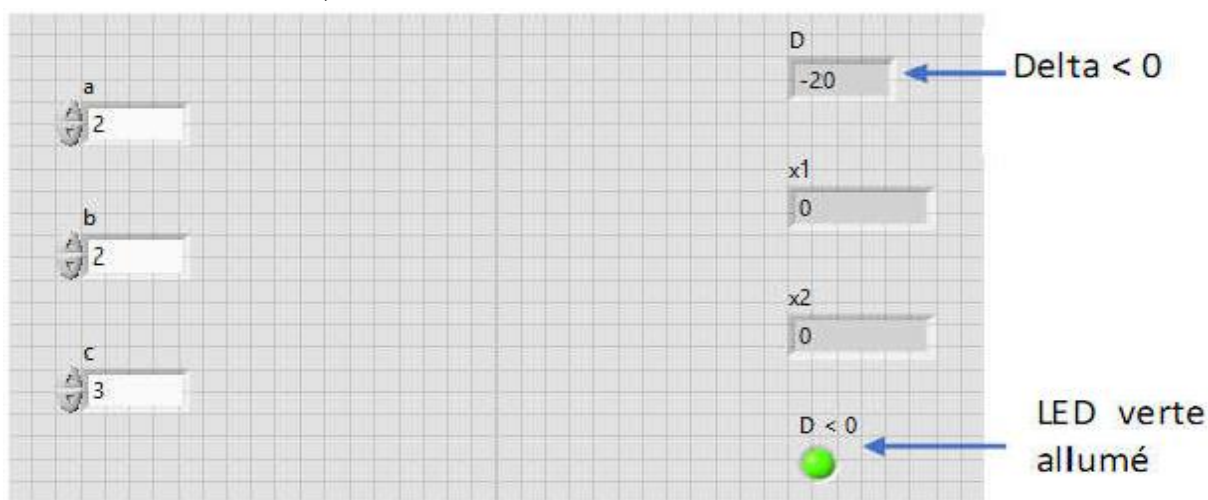


Figure 3.29 Front panel pour la résolution d'un polynôme 2eme degré false cas

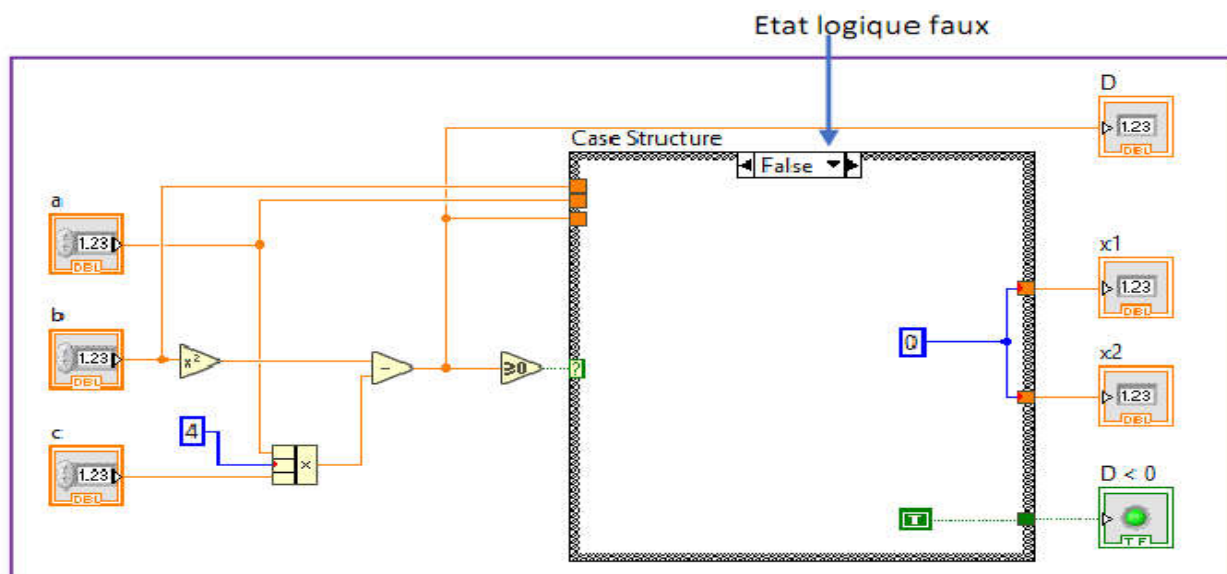


Figure 3.30 Block diagram pour la résolution d'un polynôme 2ème degré false case

### 3.7.3 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.

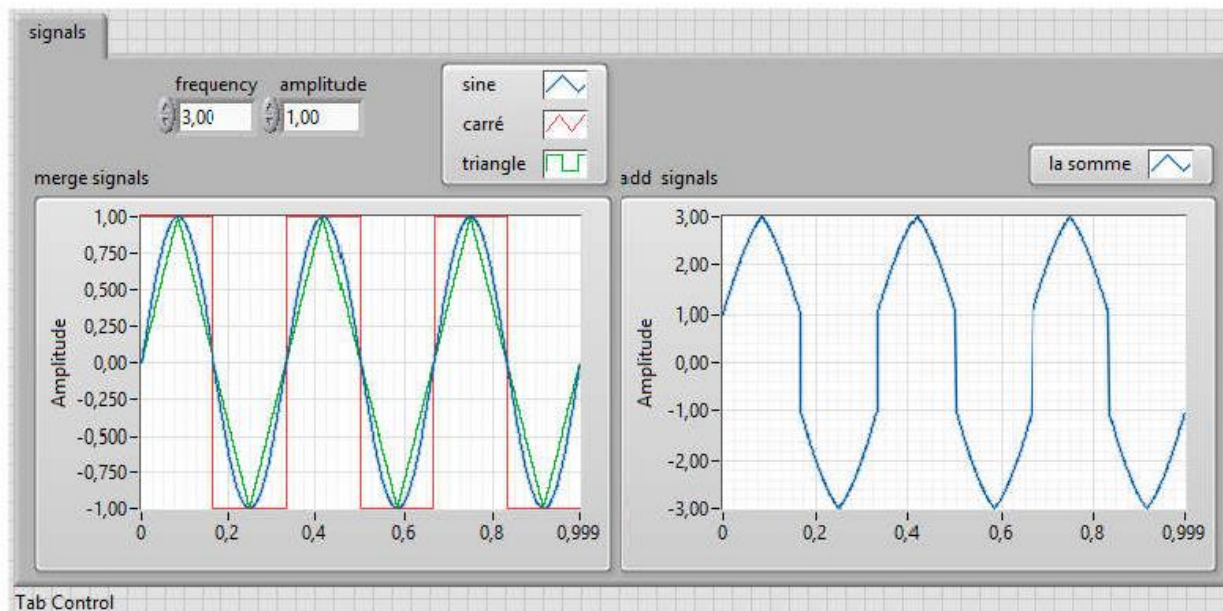


Figure 3.31 La « face-avant » (Front panel) pour l'affichage des signaux dans LabVIEW

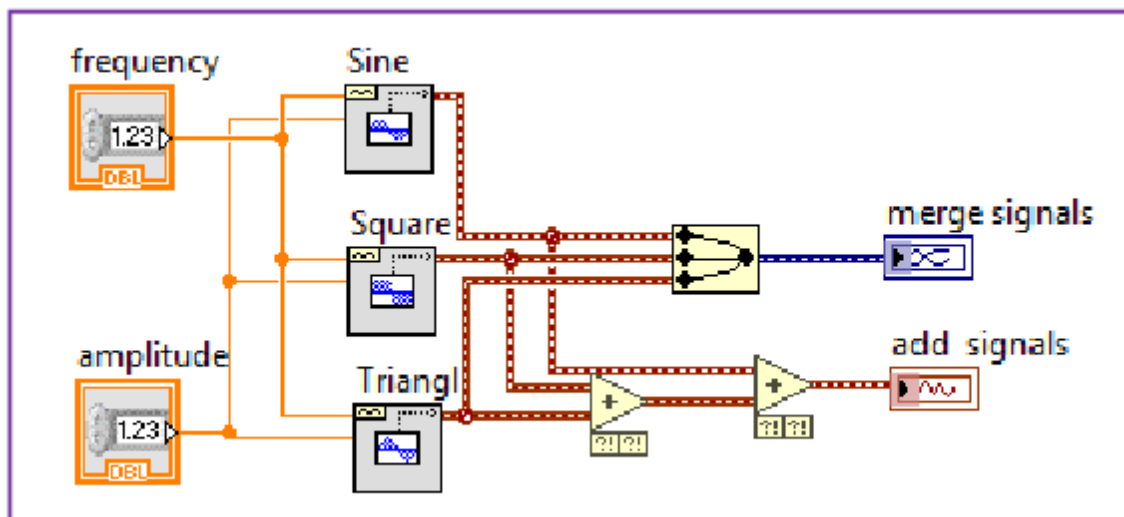


Figure 3.32 Block diagram pour l'affichage des signaux dans LabVIEW

On peut remarquer sur la Figure 3.31, 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 3.32 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.

### **3.8 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté le logiciel LabVIEW qui nous permet de remplacer les instruments de mesures et d'analyse d'un laboratoire par un ordinateur muni de cartes spécifiques et d'un logiciel approprié. Nous avons essayé de présenter une introduction à l'environnement du logiciel LabVIEW, à travers quelques définitions, les palettes de commande très utilisées, nous décrirons leurs fonctions et structures et nous avons terminé ce chapitre par quelques exemples qui nous permettent de tester son fonctionnement.

## **Chapitre 4**

### ***Supervision et Diagnostic des défauts de la Machine tournante***

### 4.1 Introduction

Les machines tournantes, telles que les moteurs et les générateurs, sont des composants essentiels des applications industrielles et de production d'énergie. C'est la raison pour laquelle elles requièrent un niveau élevé de fiabilité et de disponibilité. Une défaillance prématurée peut entraîner des pertes économiques substantielles, en raison de coupures non planifiées et d'éventuels dommages sur l'installation elle-même. Afin de planifier efficacement la maintenance, il est essentiel de disposer d'informations précises quant à l'état des composants pour savoir quand les réparer ou les remplacer.

Cette partie est prévue la réaliser 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, équipé d'un un banc d'essai d'un moteur asynchrone dans le but de détecter et superviser les défauts survenant de cette machine. 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. Comme nous n'avons pas le temps de faire la partie pratique due à la pandémie de Covid-19, nous montrerons les résultats obtenus à travers une bases de donnée réelles.



Figure. 4.1: Banc d'essais d'une machine asynchrone au niveau de la DEDINE (CRNB)

Dans ce travail, nous utiliserons le courant statorique comme une grandeur physique mesurable, qui sera affectée par l'apparition d'un défaut de nature électrique, nous utiliserons une base de données réelle, qui a été relevées par des chercheurs. Dans ce travail nous avons traité les signaux temporels des courants statoriques et les 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. Les techniques de traitement du signal sont développées hors ligne dans LabView pour extraire les différents indicateurs fréquentiels des défauts (harmoniques).

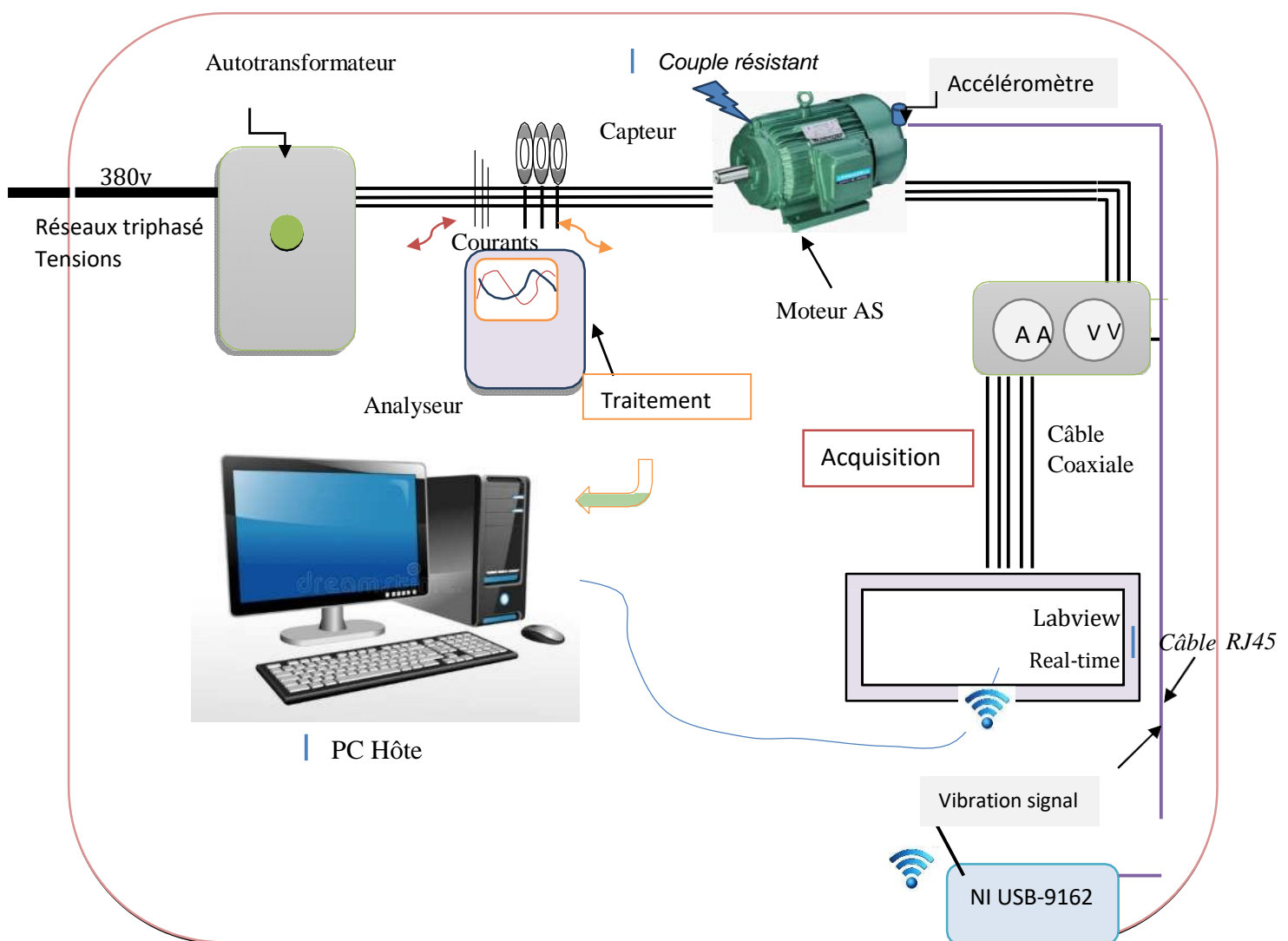


Figure.4.2 : Différentes étapes de travail pour le diagnostic de défauts de la MAS

### 4.2 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

#### 4.2. 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. □.3.



Figure. 4.3 : Moteur asynchrone à cage d'écureuil

#### 4.2.2. 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. 4.4 : 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.

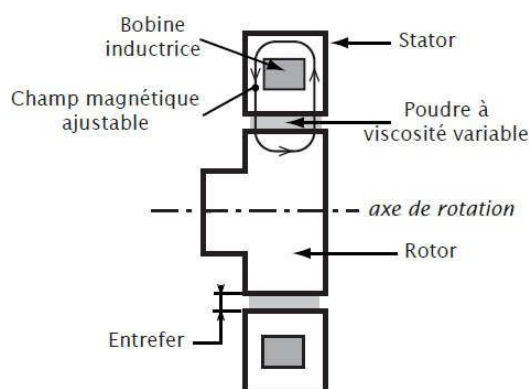


Figure. 4.5 : Schéma de principe du frein à poudre (électromagnétique). Vue en coupe

### 4.2.3. 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.4.6 : MODMECA 3, module de mesure mécanique

### 4.2.4. 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.4.7 : L'autotransformateur.

### 4.2.5. 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.4.8 : Appareils de mesure.

### 4.2.6. 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.

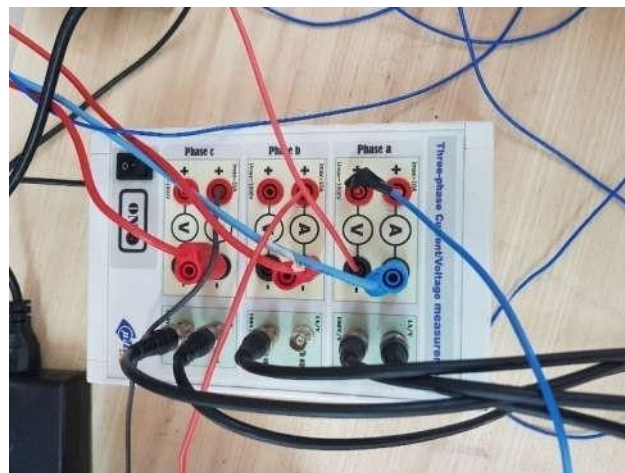


Figure. 4.9 : Capteur de courant LA 125-P.

### 4.2.7. Cartes d'acquisition

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

### 4.2.7.1. 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 plate forme 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.4.10 : La Plateforme temps réel programmable  **$\mu$ TECH-LRT+ de NI**

### 4.2.7.2. 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.4.11 :Carte d'acquisition NI USB-9162

#### 4.2.8. 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.

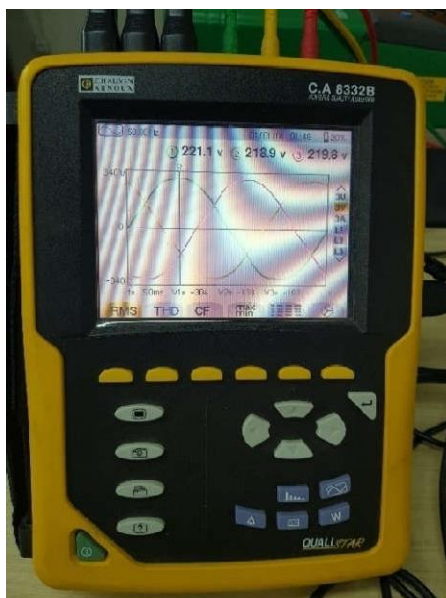


Figure.4.12 : Analyseur de puissance et de réseau transitoire C.A 8332B

### 4.3. Résultats expérimentaux :

La surveillance par analyse spectrale de la machine tournante consiste donc à effectuer une transformée de Fourier des grandeurs affectées par le défaut, et à visualiser les fréquences parasites constituant la signature d'un défaut dans la machine. Les grandeurs choisies sont soit électriques (plus particulièrement les courants de ligne), soit mécaniques (couple électromagnétique). Cette technique permet une surveillance rapide et peu onéreuse car elle exige un simple capteur de courant ou de vibration.

#### 4.3.1 Diagnostic de défauts électriques

Cette partie porte sur la détection et le diagnostic des défauts d'ordre électrique à savoir le circuit-ouvert et la rupture de barres rotoriques. Nous allons les techniques de diagnostic notamment FFT et DSP par des essais et des données expérimentales des moteurs dans différentes situations.

L'extraction des données est réalisée à l'aide du logiciel LabView. Chaque point de mesure est relié à une carte d'acquisition branchée sur l'ordinateur. Les signatures sont extraites des capteurs placés aux points de mesure répartis sur la machine.

Pour l'étude présentée dans ce mémoire, une base de données directement issues des capteurs a été élaborée et chaque série de mesures correspond à l'acquisition simultanée des trois signaux numériques, La fréquence d'échantillonnage choisie pour chaque acquisition de données est de 50kHz à 1s, avec une durée d'acquisition de 10 minutes pour chaque signal.

La figure 4.13 montre le block diagramme de LabVIEW qui sert à traiter les fichiers de données acquises.

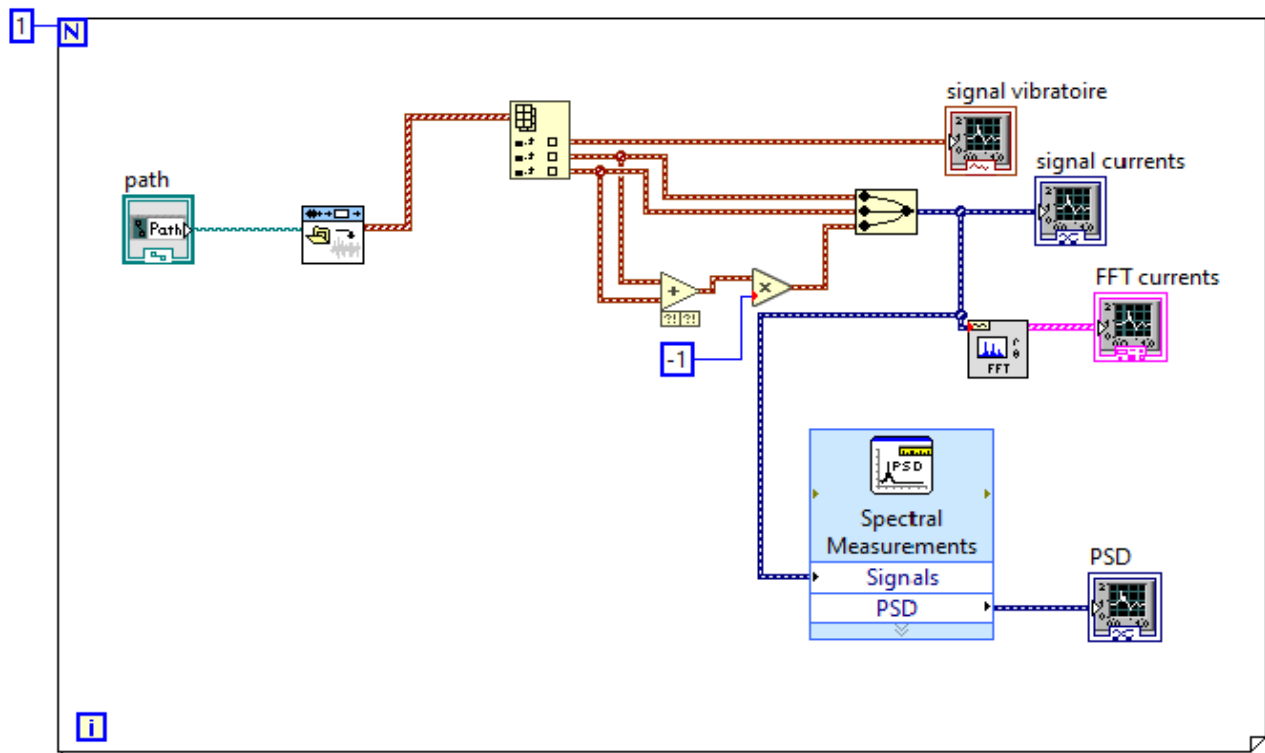


Figure 4.13: lecture des data et traitement par l'FFT et le PSD

Data May-28-19 Time 11:39:47 - Bloc-notes

Fichier Edition Format Affichage Aide

Date 28-May-19

Time 11:39 AM

Laboratory Name Centre de Recherche Nucleaire de Birine

-0.000452	3.086533	-0.390184
0.000044	3.109206	-0.351105
0.000647	3.100317	-0.415975
0.000532	3.108205	-0.458704
0.000381	3.154980	-0.486912
0.000989	3.147836	-0.516842
0.001068	3.131640	-0.535964
0.000415	3.146478	-0.595997
0.000472	3.161833	-0.611475
0.000850	3.174560	-0.654663
0.000479	3.212543	-0.613422
0.000162	3.167269	-0.685497
0.000243	3.147302	-0.717697
0.000311	3.175899	-0.747390
0.000243	3.124076	-0.767086
0.000016	3.185973	-0.757550
-0.000221	3.163869	-0.829148
0.000245	3.109731	-0.821409
0.000192	3.140919	-0.895840
-0.000301	3.139618	-0.923902
-0.000032	3.111850	-0.887246

Ln 1, Col 1    100%    Windows (CRLF)    UTF-8

Figure. 4.14 : Fichier de base de données de moteur avec défaut

### 4.3. 2 Machine tournante en état sain

Les courants statoriques de la machine ont été acquis à vide et en charge et pendant le régime permanent sur les 3 cas : machine saine, rupture de barres rotoriques (2 barres cassées) et ouverture de phase.

Le courant statorique est la première grandeur physique mesurable qui sera affectée par l'apparition d'un défaut de nature électrique. Par conséquent, c'est la grandeur la plus adéquate pour la détection de ce genre de défauts. Le diagnostic des défauts de la machine asynchrone fait appel souvent à l'analyse fréquentielle des signaux, plus particulièrement, le module de la transformée de Fourier du courant statorique de la machine.

Les figures 4.15-4.22 représentent les signaux de vibration de l'état sain de la machine tournante dans les deux cas lorsque le moteur tourne à vide et avec charge.

#### 1- A vide

Les figures 4.15, 4.16, 4.19 et 4.20 montrent les signaux vibratoires et les signaux des courants statorique de la machine asynchrone fonctionnant à vide et en charge. Nous pouvons voir que lorsqu'on met la machine en charge, le courant statorique augmente mais on a toujours un champ d'entrefer qui, à tension d'alimentation donnée, est pratiquement identique à celui obtenu à vide.

La figure 4.17 montre le spectre de fréquences des données de courant statorique à vide. Dans cette figure, les fréquences de défaut ne se trouvent pas dans la bande latérale, car les enroulements du stator du moteur sont sains. Alors que le moteur sain fonctionne avec charge, comme le moteur est sain, les fréquences de défaut ne sont pas trouvées dans le spectre de fréquence. Ceci est démontré dans Figure 4.21

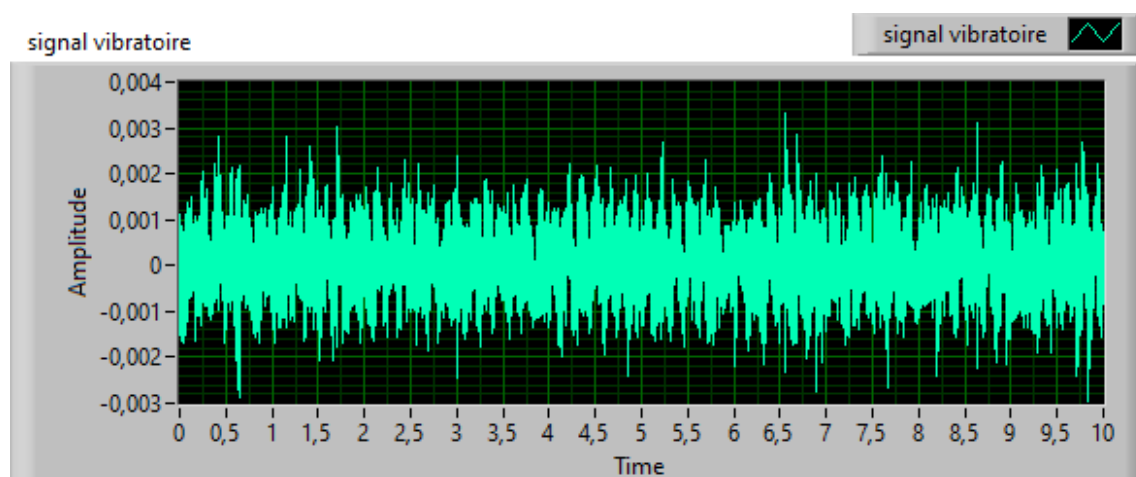


Figure. 4.15 signale vibratoire d'une machine tournante état sain à vide

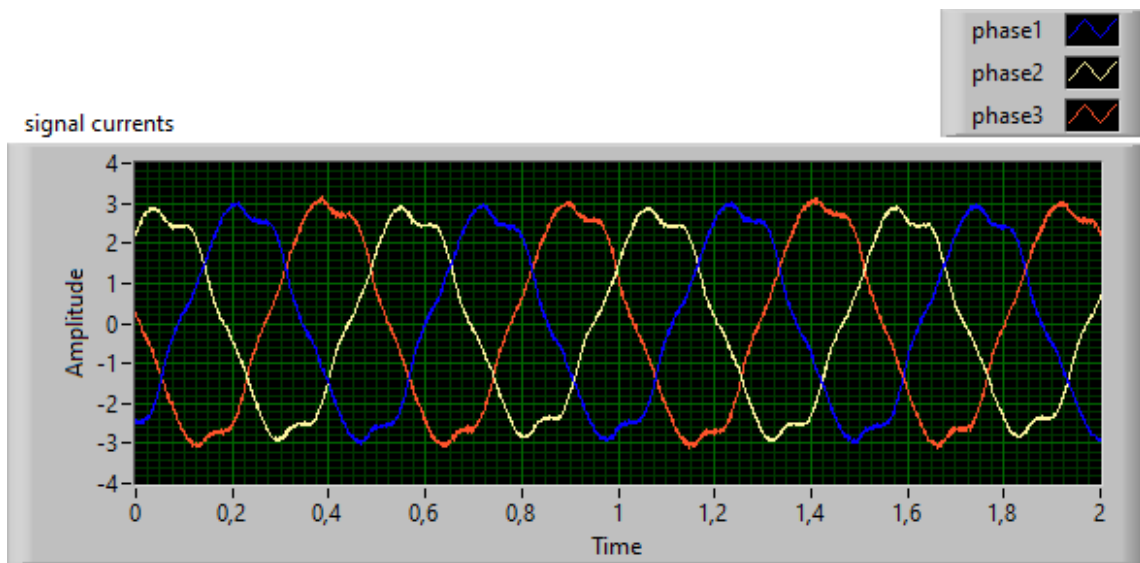


Figure. 4.16 signale des courants d'une machine tournante état sain à vide

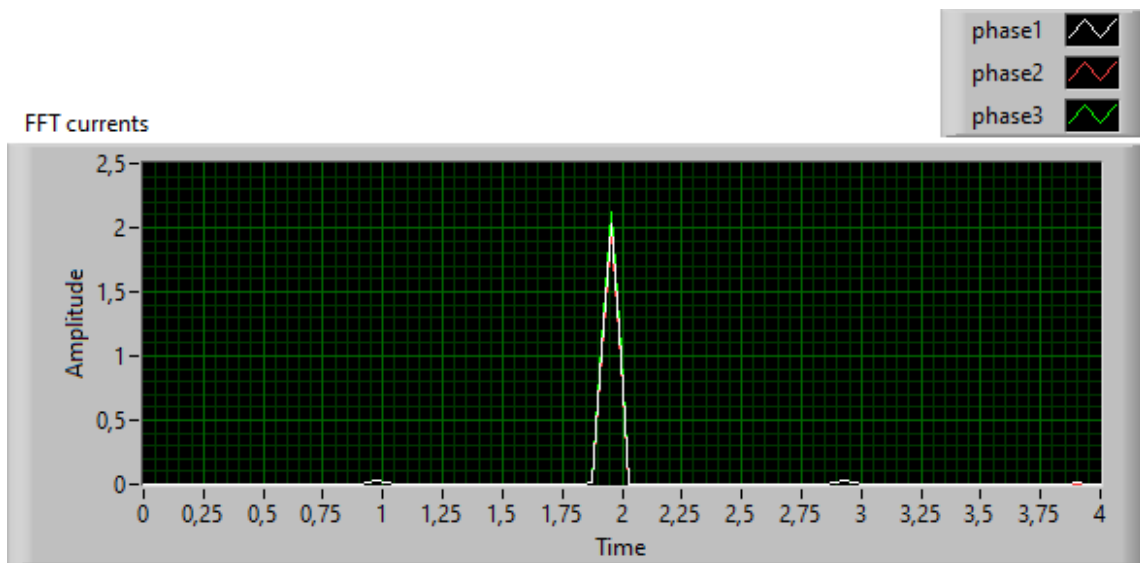


Figure. 4.17signal FFT des courants d'une machine tournante état sain à vide

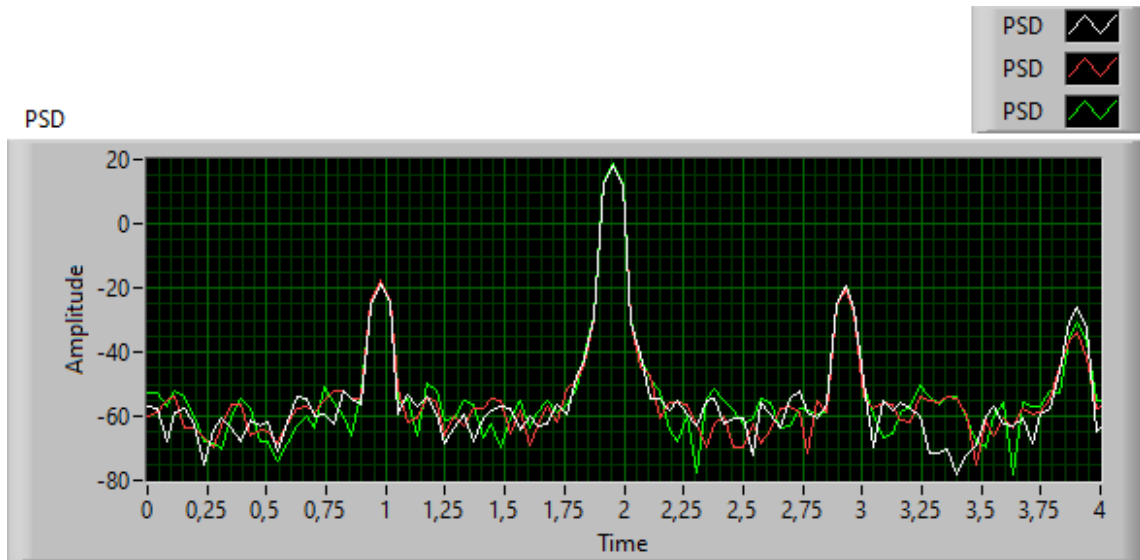


Figure. 4.18 signale PSD des courants d'une machine tournante état sain à vide

2- En charge :  $T= 8 \text{ (N.m)}$  ,  $R=1440 \text{ Tr/min}$

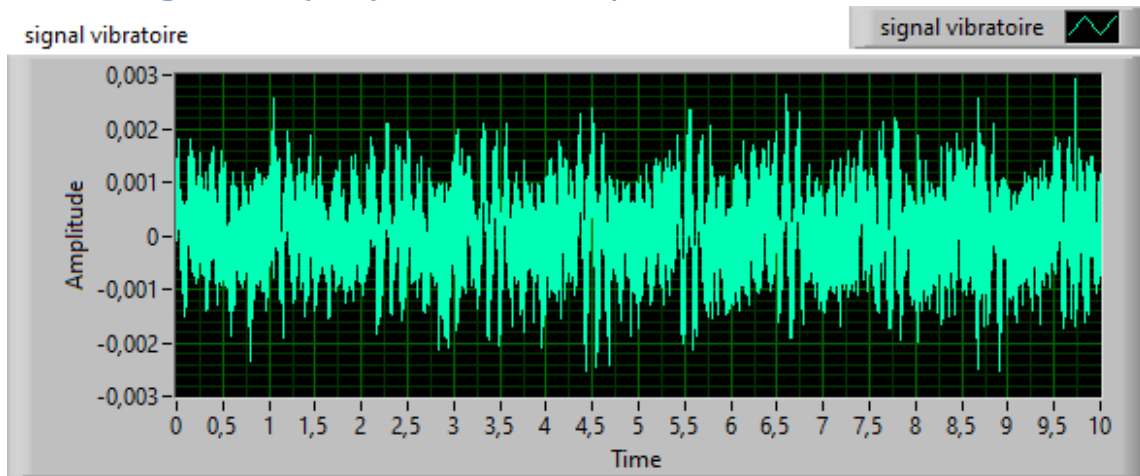


Figure. 4.19 signale vibratoire d'une machine tournante état sain en charge

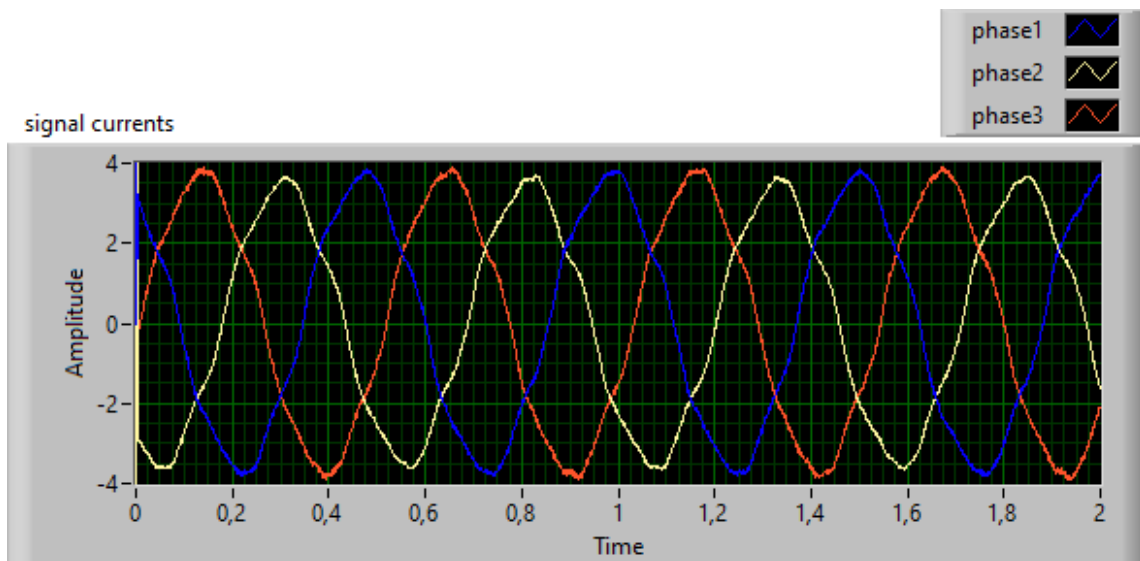


Figure. 4.20 signale des courants d'une machine tournante état sain en charge

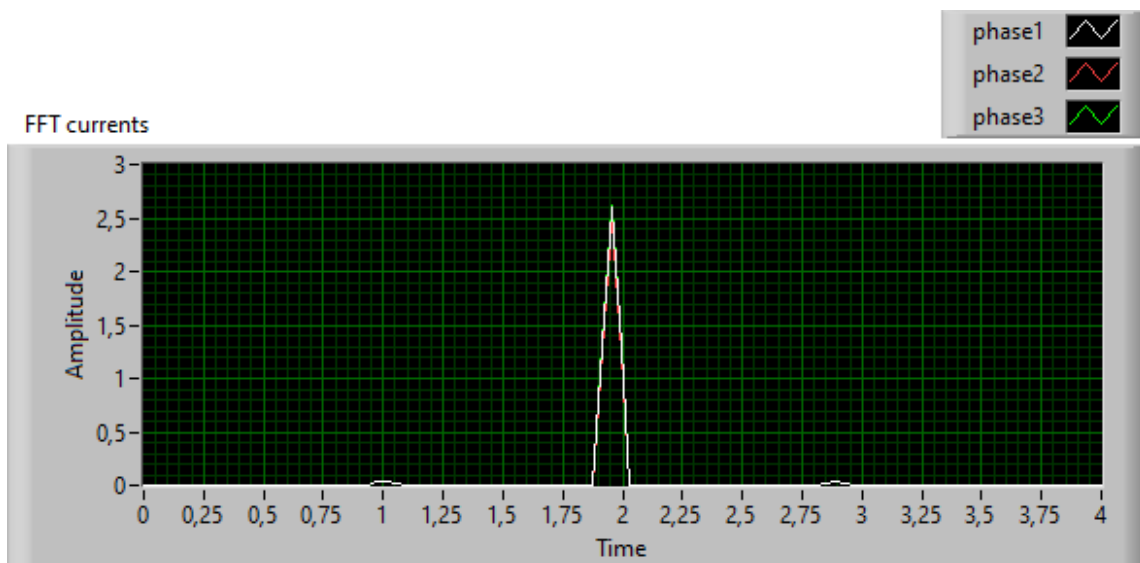


Figure. 4.21 Signal FFT des courants d'une machine tournante état sain en charge

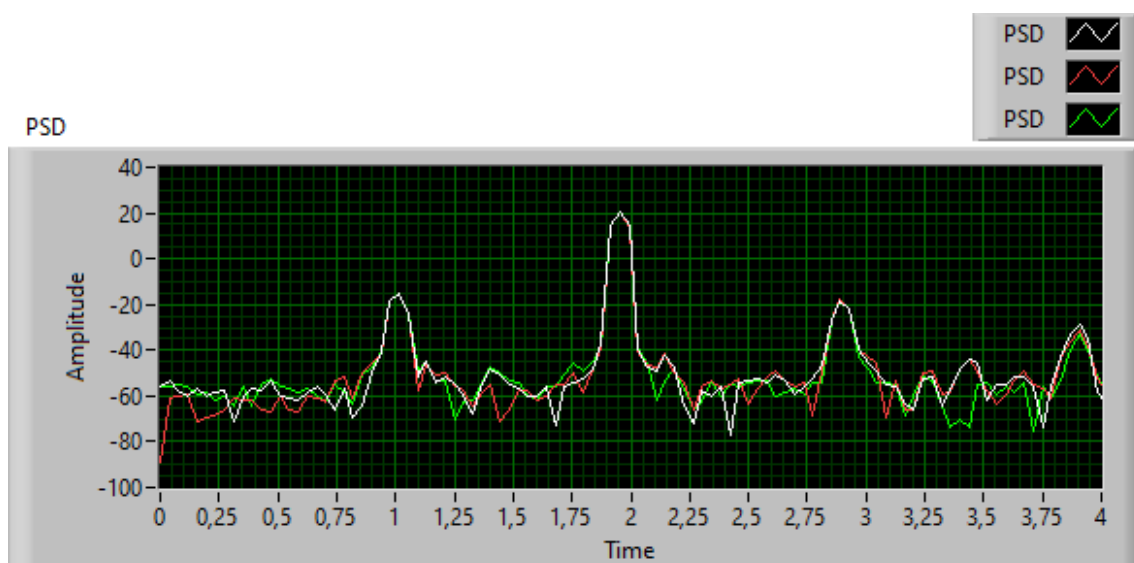


Figure. 4.22 signale PSD des courants d'une machine tournante état sain en charge

Nous constatons que les courants de phases pour la machine saine sont symétriques (Figure III.9(a)), mais pour la machine avec trois barres cassées ces courants ne sont plus équilibrés (Figure III.9(b)).

#### 4.3.3 Machine tournante avec cassure de deux barres rotorique (BBR)

Des tests ont été effectués pour différents modes (à vide et avec charge) avec le moteur sain et avec défaut, ayant 2 barres de rotor cassées. Les défauts du rotor ont été créés en cassant les barres du rotor en perçant des trous dans le rotor pour s'assurer que la barre du rotor est complètement coupée. Les signaux de courant mesurés ont été traités à l'aide de la transformation de Fourier rapide (FFT) et la DSP par le biais d'une plate forma IV. Les résultats obtenus pour les différents modes de moteur (à vide et avec charge) et ceux ayant des défauts de rotor ont été comparés, en particulier en cherchant les composants de la bande latérale. Afin d'augmenter la précision ou l'exactitude de la détection des défauts, la DSP a été prise en compte.

La signature fréquentielle spécifique au défaut "barres cassées" est la forte modulation des harmoniques du courant par la fréquence de glissement. Comme ces fréquences en bande latérale sont des fonctions du glissement, elles changent avec la vitesse (implicitement avec la charge). Ce phénomène peut être observé distinctement à partir de la figure 4.30, où la densité spectrale de puissance des courants mesurés pour le moteur ayant 2 barres cassées est tracée dans les deux modes (à vide et en charge). Comme on peut le constater, l'amplitude des composantes de fréquence de la bande latérale augmente également avec l'augmentation de la charge.

Comme indiqué précédemment, la présence des bandes latérales de fréquence de glissement établit l'existence des barres de rotor cassées. L'amplitude est fonction du nombre de barres cassées. Cela peut être vérifié en se référant les figures 4.18, 4.22, 4.26 et 4.30, dans lequel sont indiquées les amplitudes des composantes de fréquence de défaut pour les moteurs sains et défectueux. Les figures 4.26 et 4.30 montrent la variation des fréquences de défaut et leurs amplitudes en fonction du nombre de barres de rotor cassées. Il est évident que le nombre de barres cassées peut être déterminé par la mesure des fréquences de défaut et de leurs amplitudes.

### 1- A vide

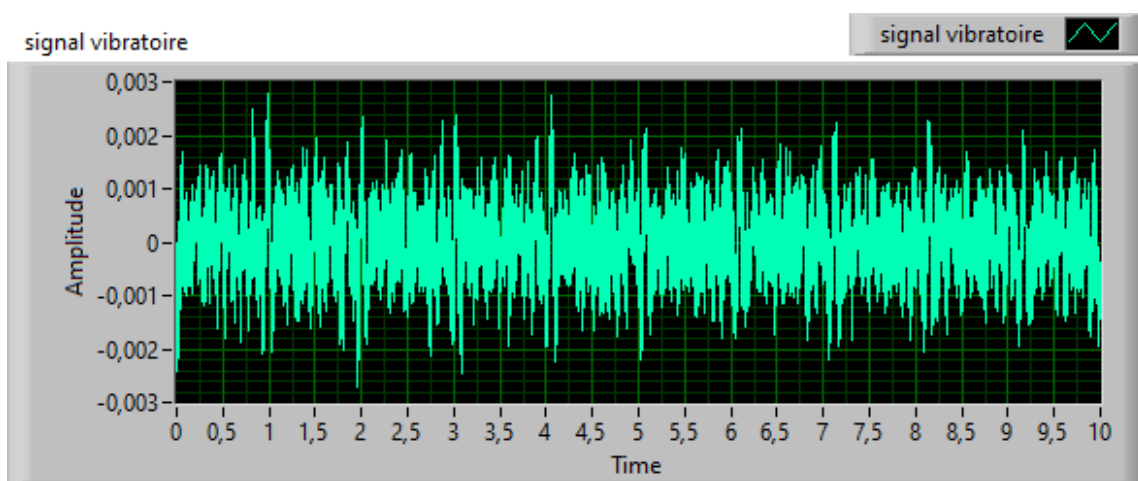


Figure. 4.23 signale vibratoire d'une machine tournante avec BBR à vide

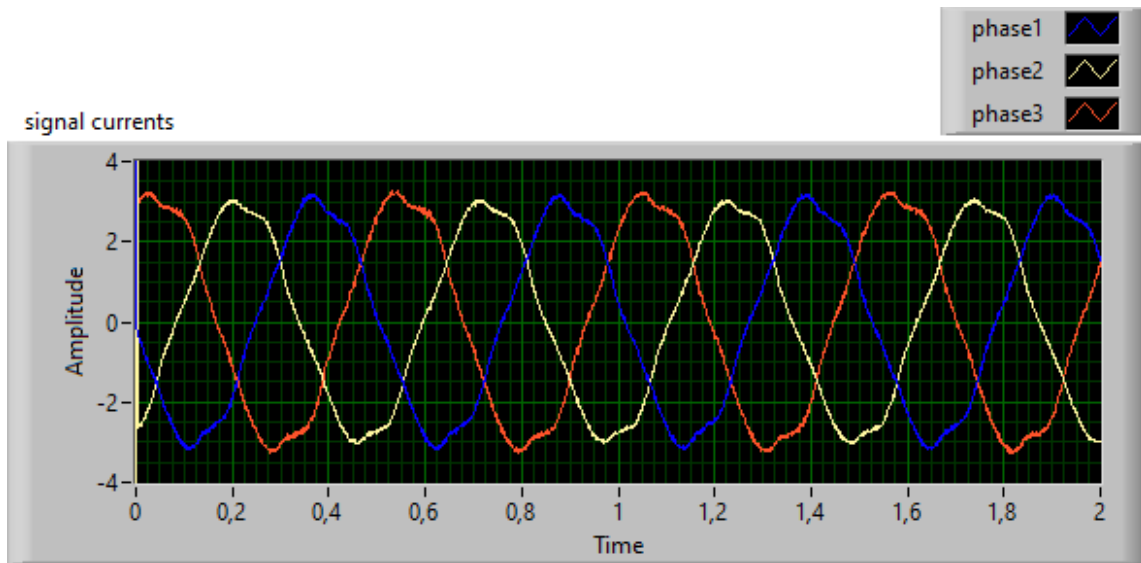


Figure. 4.24 signale des courants d'une machine tournante avec BBR à vide

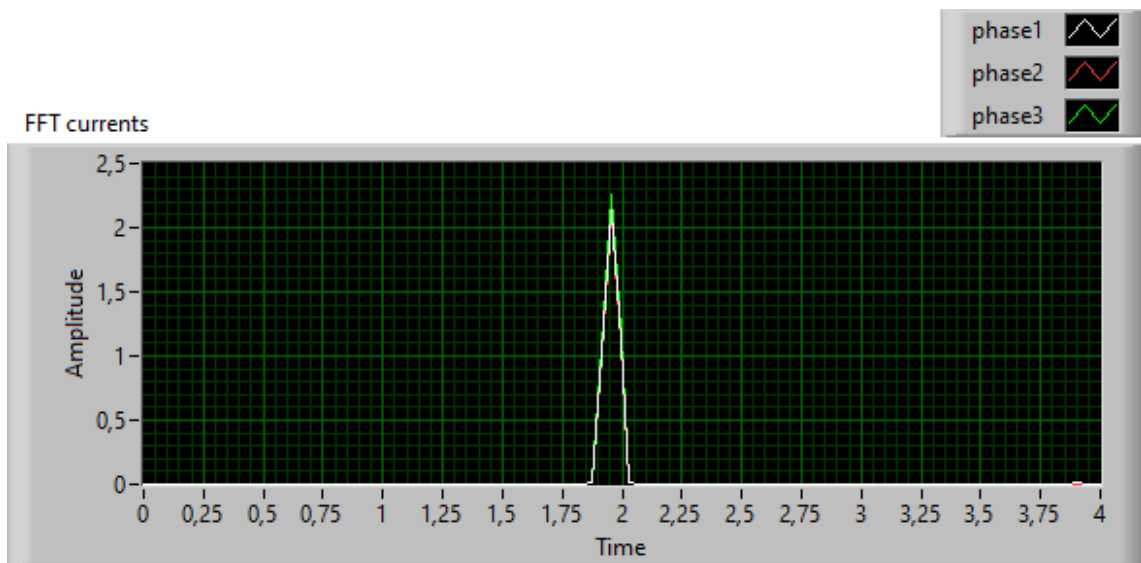


Figure. 4.25 signal FFT des courants d'une machine tournante avec BBR à vide

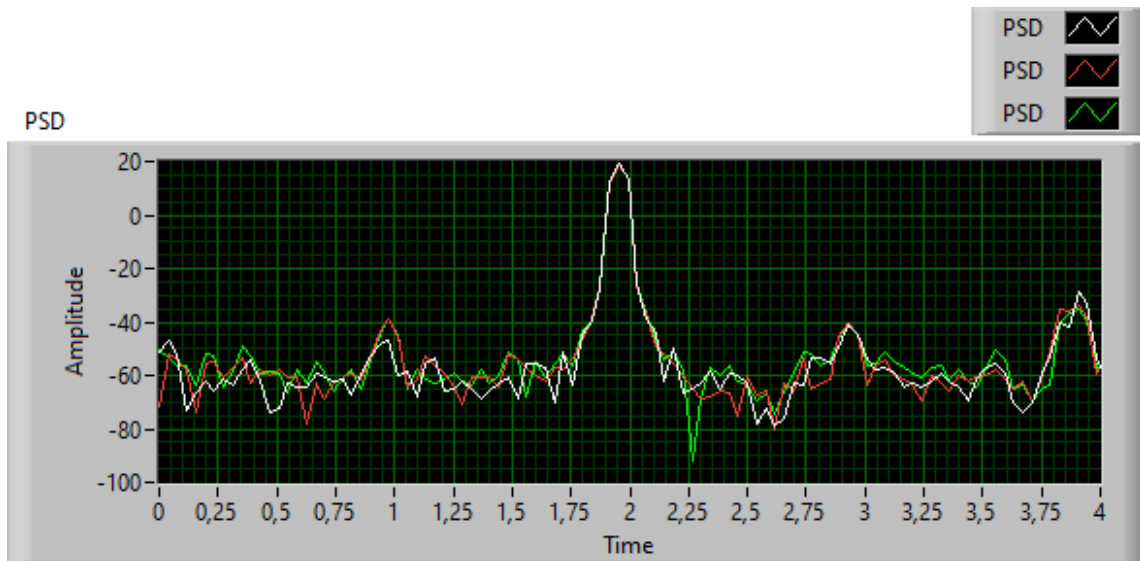


Figure. 4.26 signale PSD des courants d'une machine tournante avec BBR à vide

## 2- En charge : $T= 8$ (N.m) , $R=1440$ Tr/min

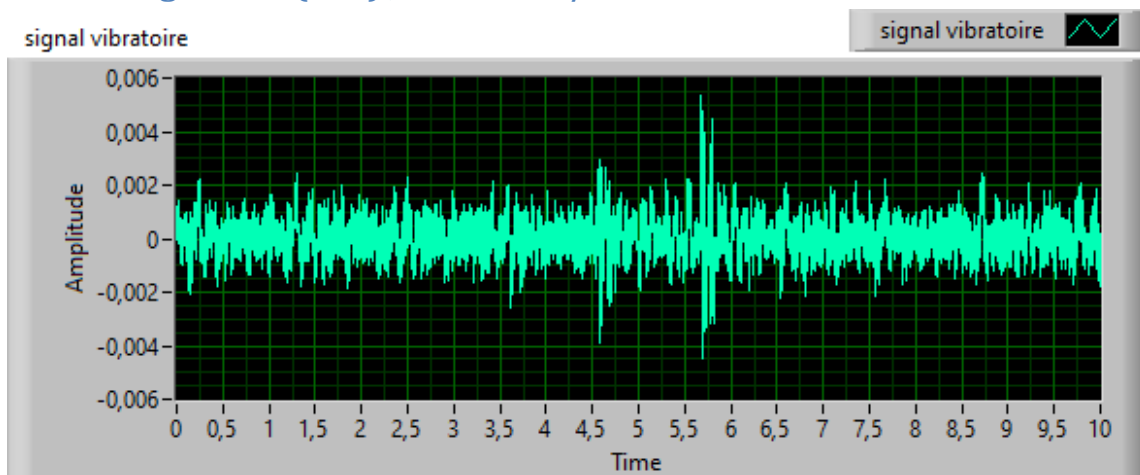


Figure. 4.27 signale vibratoire d'une machine tournante avec BBR en charge

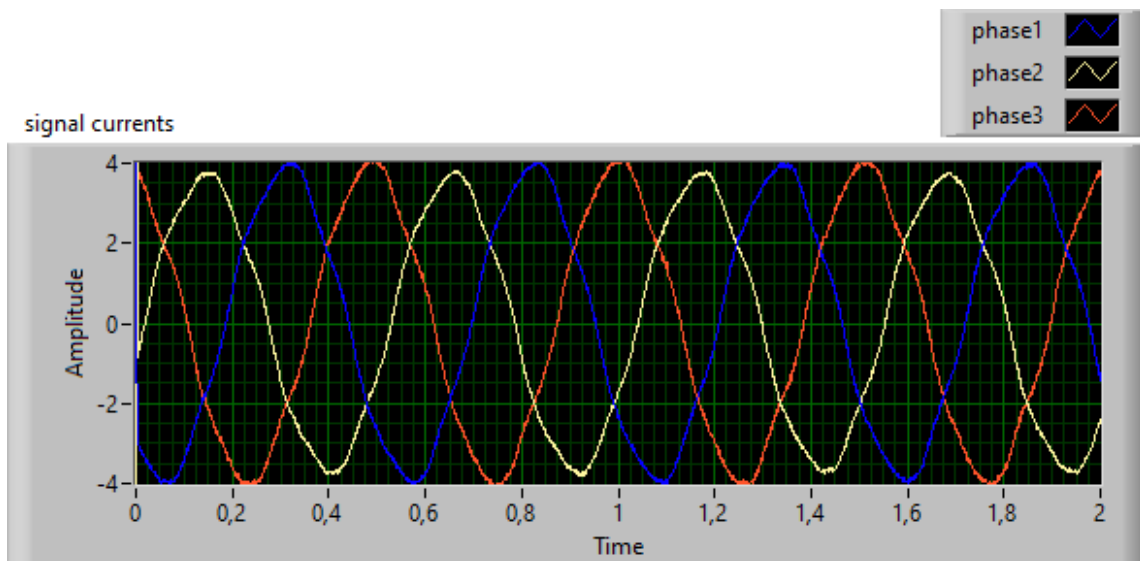


Figure. 4.28 signale des courants d'une machine tournante avec BBR en charge

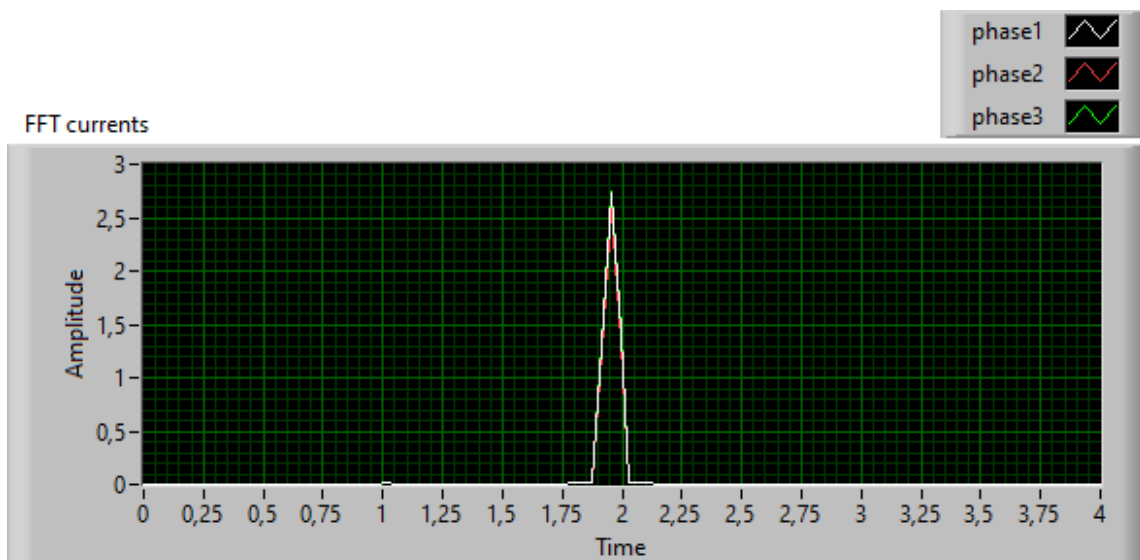


Figure. 4.29 signal FFT des courants d'une machine tournante avec BBR en charge

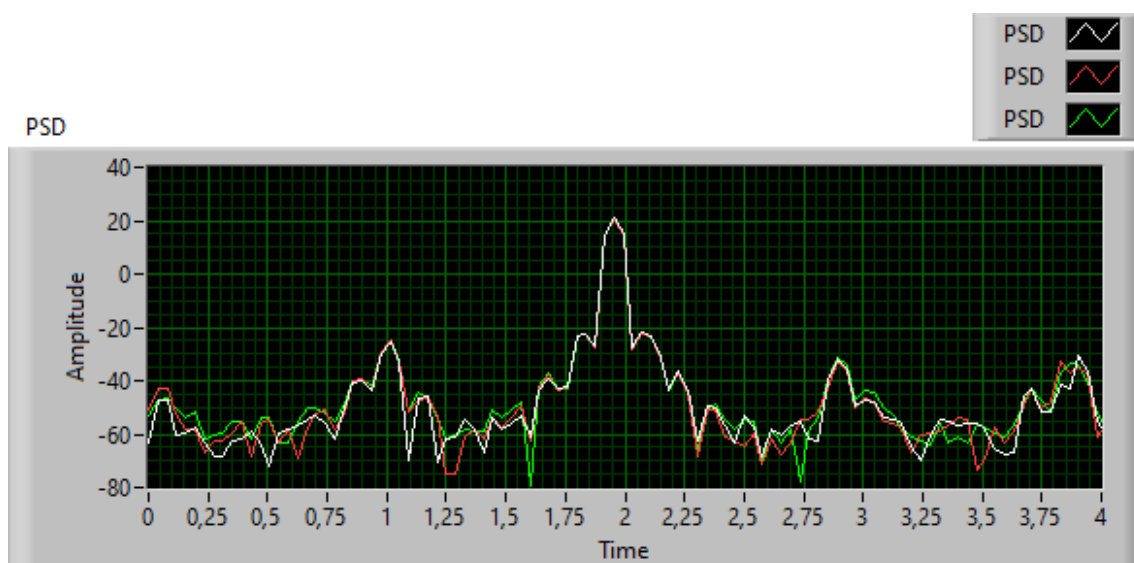


Figure. 4.30 signale PSD des courants d'une machine tournante avec BBR en charge

#### 4.3. 4 Machine tournante avec ouverture d'une phase (OP)

Pour éviter toute confusion dans ce travail les notations « à vide » et « en charge » signifient deux états différents de charge. Quand on a la mise en charge, il est nécessaire de tenir compte de l'hypothèse suivante: les composantes gardent la même amplitude pour l'induction relative à la machine saine.

Les formes d'ondes qui concernent les courants dans les trois phases du stator, obtenues pour la machine saine et défectueuse sont présentées sur les Figures 31-38.

Les résultats présentés dans la Figure 4.31 et 4.35 montrent les oscillations de vibration qui augmentent avec l'ouverture de phase.

Lorsqu'une phase est défaillante, le courant manquant dans la seule bobine en défaut peut être clairement observé sur les figures. 4.32 et 4.36. Les phases saines de cette bobine contribuent toujours à la génération de couple, mais avec des valeurs plus élevées. On constate que les amplitudes de courant des autres phases augmentent significativement par rapport au courant de la phase ouverte. Lorsqu'une phase est ouverte de la machine, cela conduit à la production d'un défaut le plus grave qui puis survenir.

En revanche, dans les figures 4.34 et 4.38, nous remarquons une atténuation de l'amplitude des harmoniques, d'où l'influence de la phase ouverte sur ces harmoniques est faible.

Nous constatons que les tests de courant de phase de la machine dans les deux modes sont quasiment symétriques.

#### 1- A vide

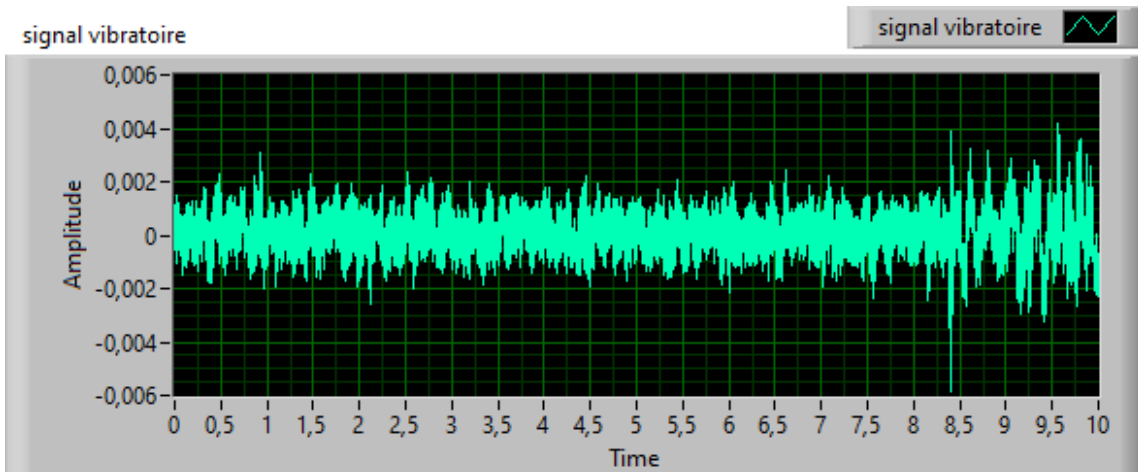


Figure. 4.31 signale vibratoire d'une machine tournante avec OP à vide

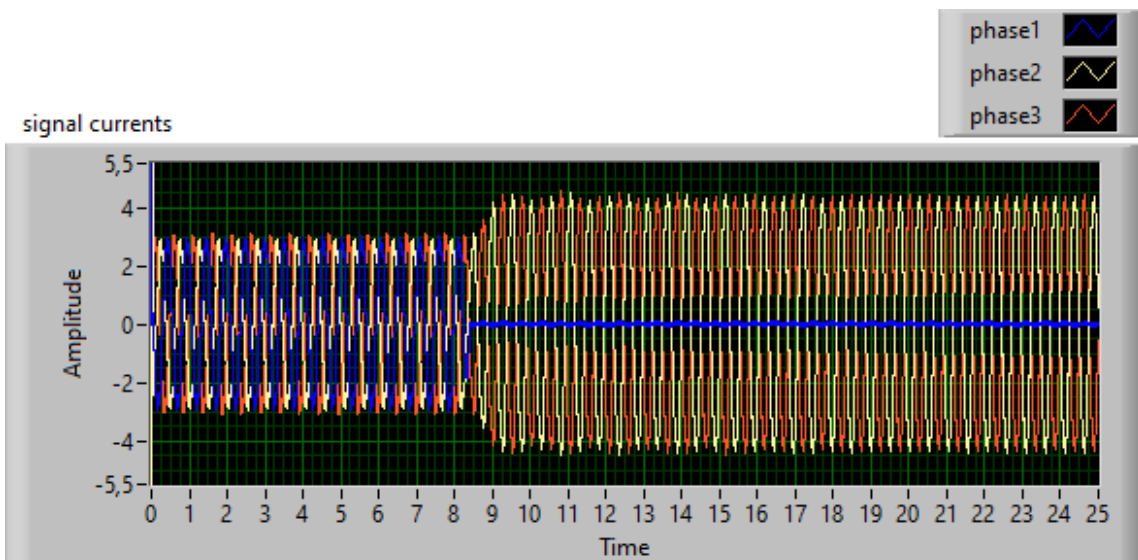


Figure. 4.32 signale des courants d'une machine tournante avec OP à vide

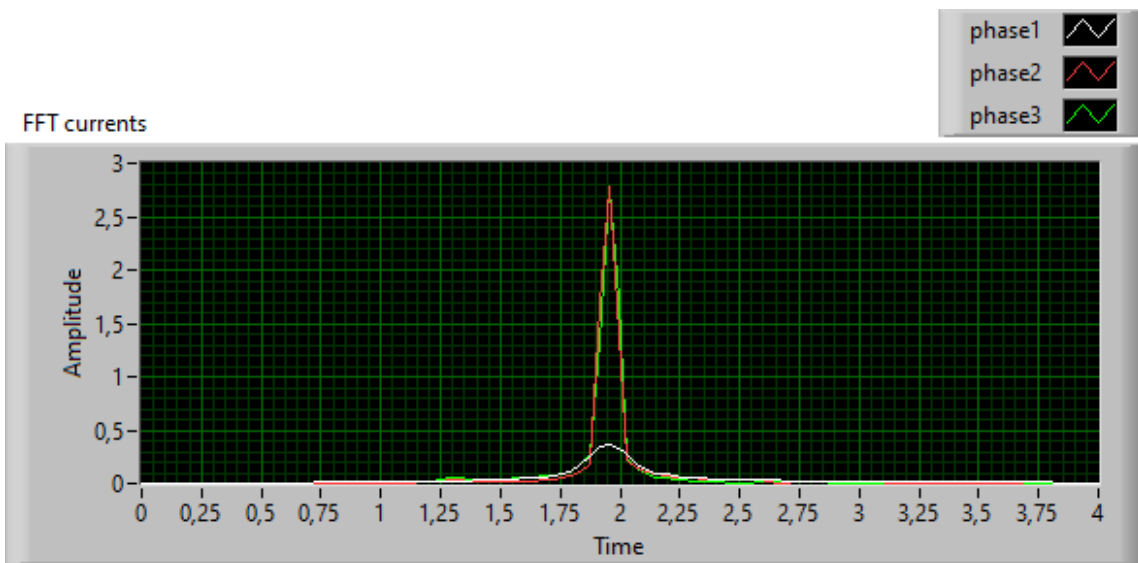


Figure. 4.33 Signale FFT des courants d'une machine tournante avec OP à vide

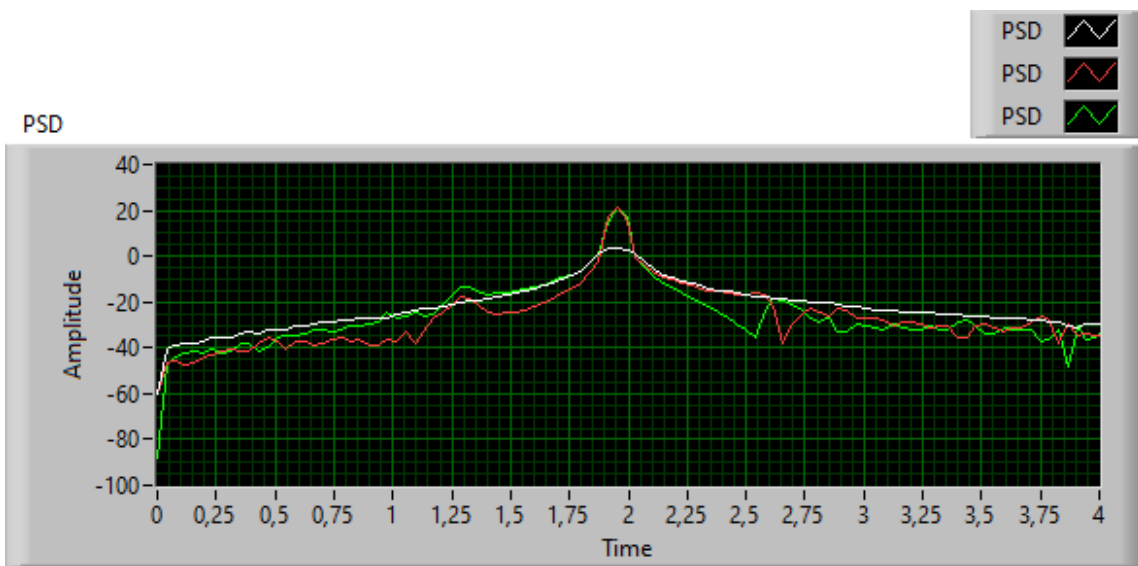


Figure. 4.34 signale PSD des courants d'une machine tournante avec OP à vide

## 2-En charge

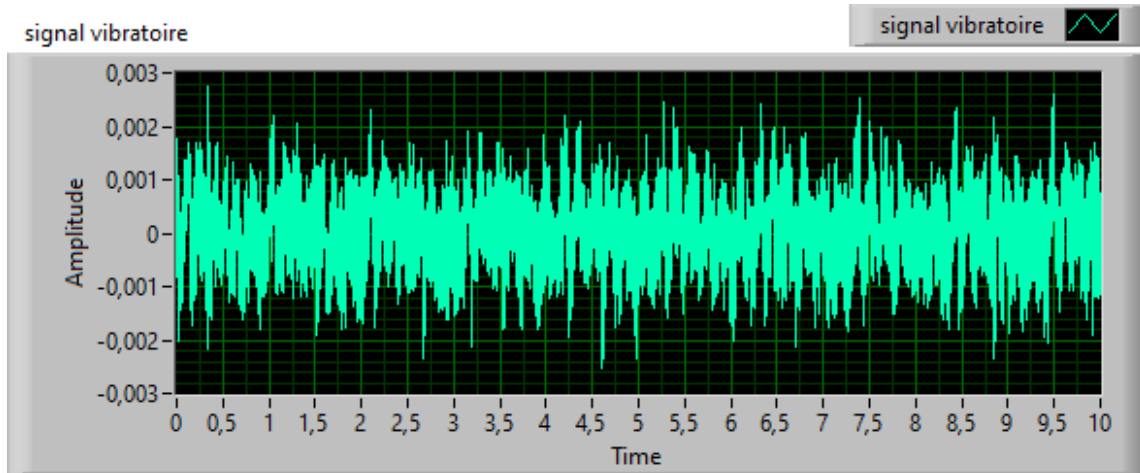


Figure. 4.35 signale vibratoire d'une machine tournante avec OP en charge

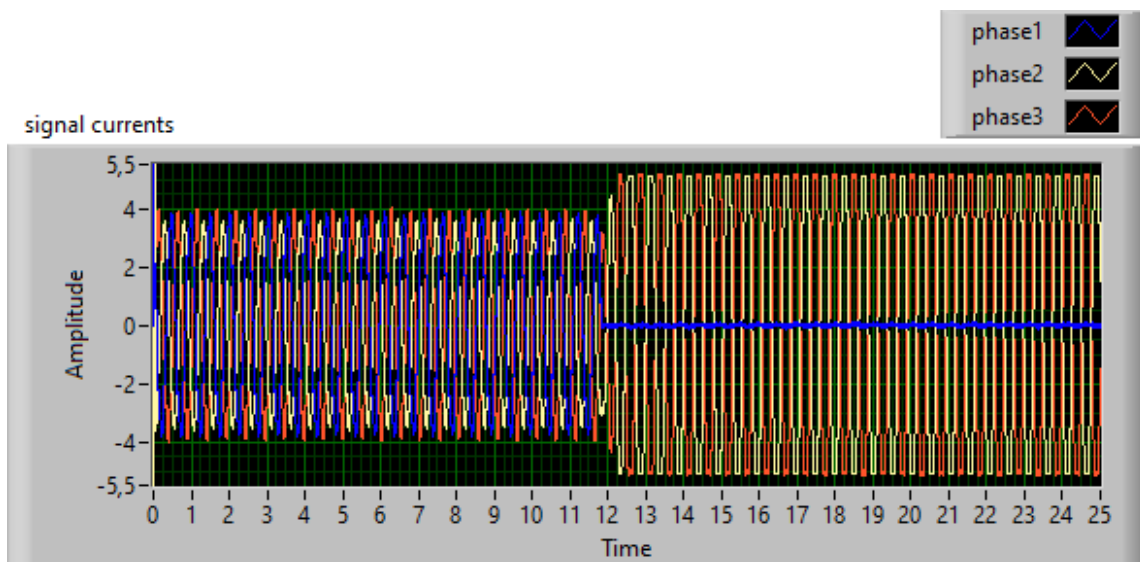


Figure. 4.36 signale des courants d'une machine tournante avec OP en charge

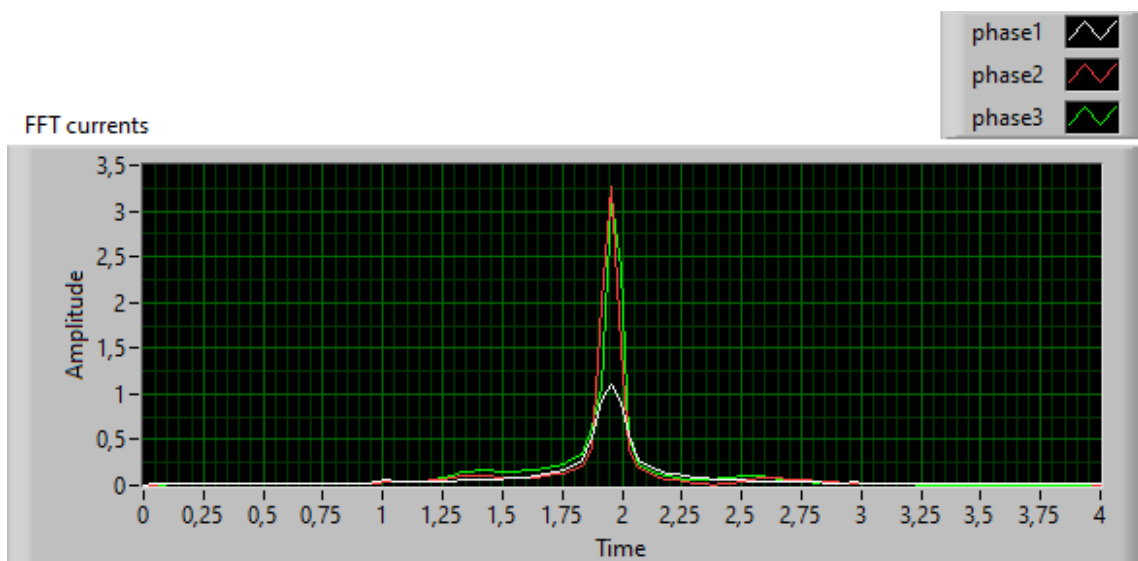


Figure. 4.37 Signal FFT des courants d'une machine tournante avec OP en charge

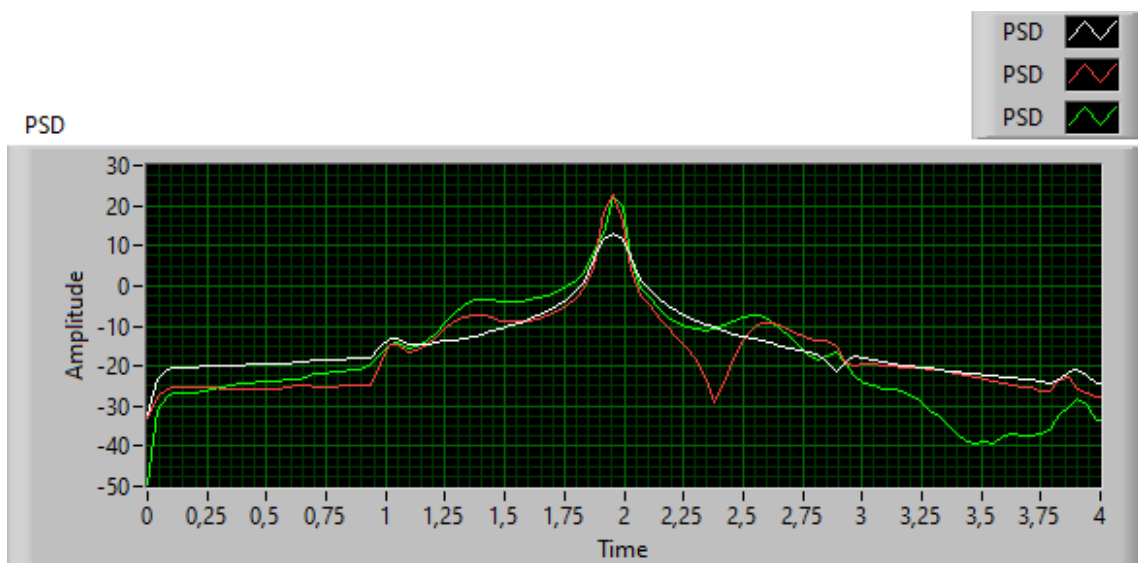


Figure. 4.38 Signal PSD des courants d'une machine tournante avec OP en charge

La section suivante décrit les défaillances mécaniques et le diagnostic des défauts de roulements à l'aide d'une plateforme IV.

### 4.3.5 Diagnostic de défauts mécaniques

#### 4.3.5.1 Diagnostic off line par extraction des indicateurs santé des roulements

Le débruitage 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.

#### 4.3.5.2 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. 4.39 : Vue des roulements sains et défectueux (bague cassée)

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.

### 4.3.5.3 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 20480 points dont la fréquence d'échantillonnage est de 20 KHz. Dans ce chapitre, nous ne nous intéresserons qu'au 2<sup>ème</sup> test, étant donné la taille énorme des autres tests du 1<sup>er</sup> et du 3<sup>ème</sup>.

- 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

### 4.3.5.4 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. Les figures 4.41-4.45 présentent 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 (Figure 4.44) de 1<sup>er</sup> roulement dépasse largement la limite tel que  $K1=17,2$ .

Les figures 4.41-4.45 montrent 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.

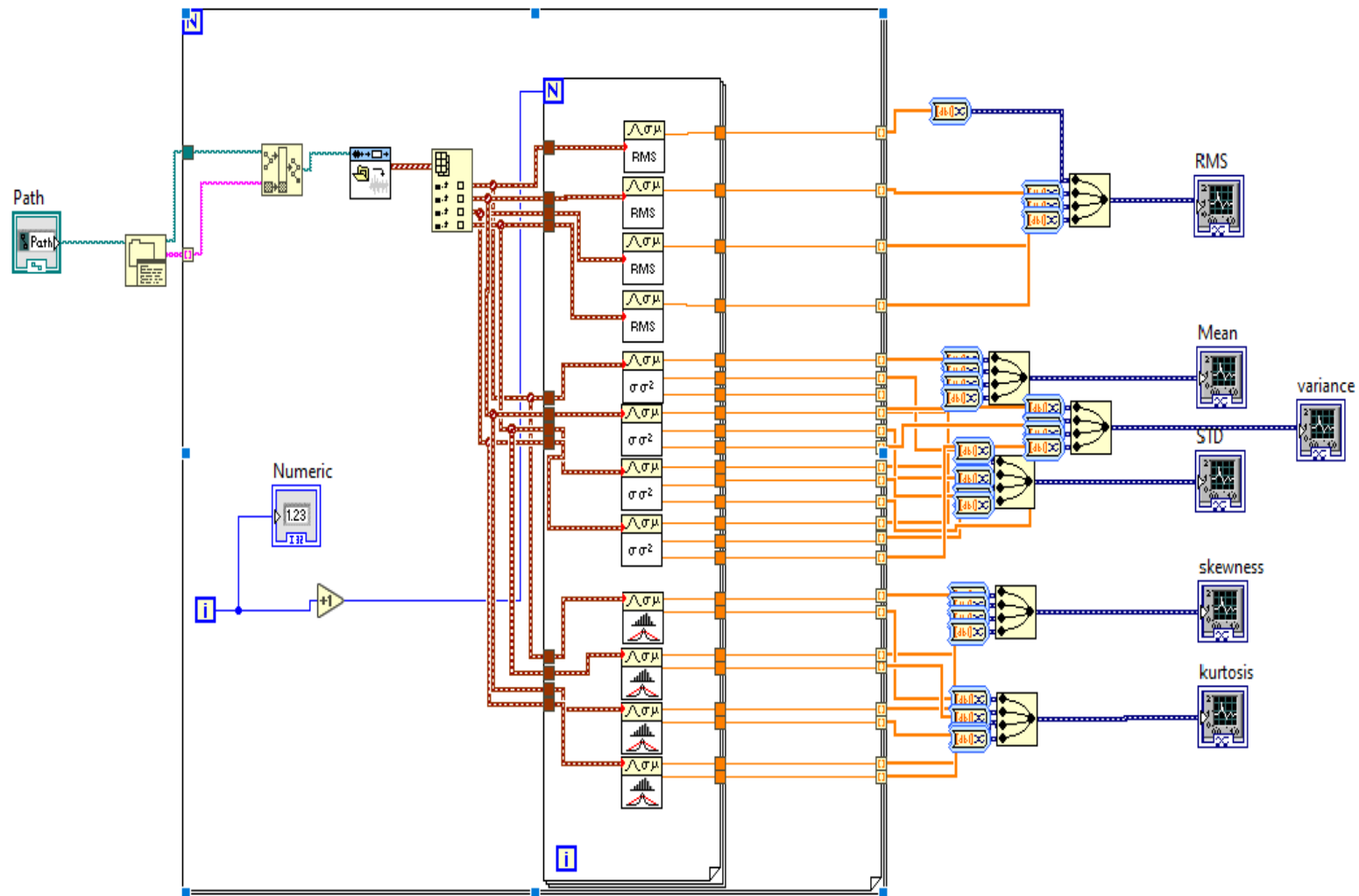


Figure. 4.40: Diagramme block LabView pour l'extraction des différents indicateurs santé des roulements

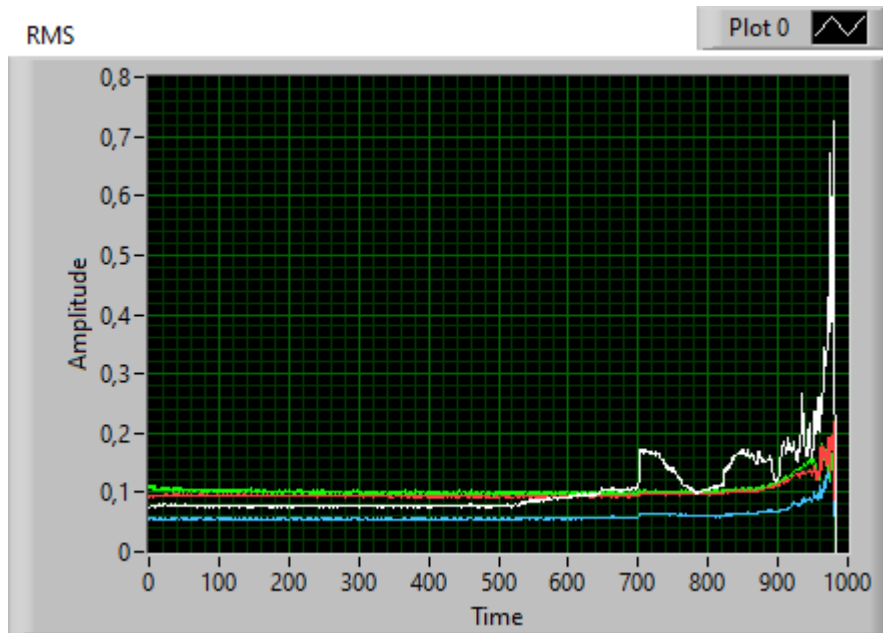


Figure4.41: Front panel LabView pour la visualisation de l'indicateur de santé RMS

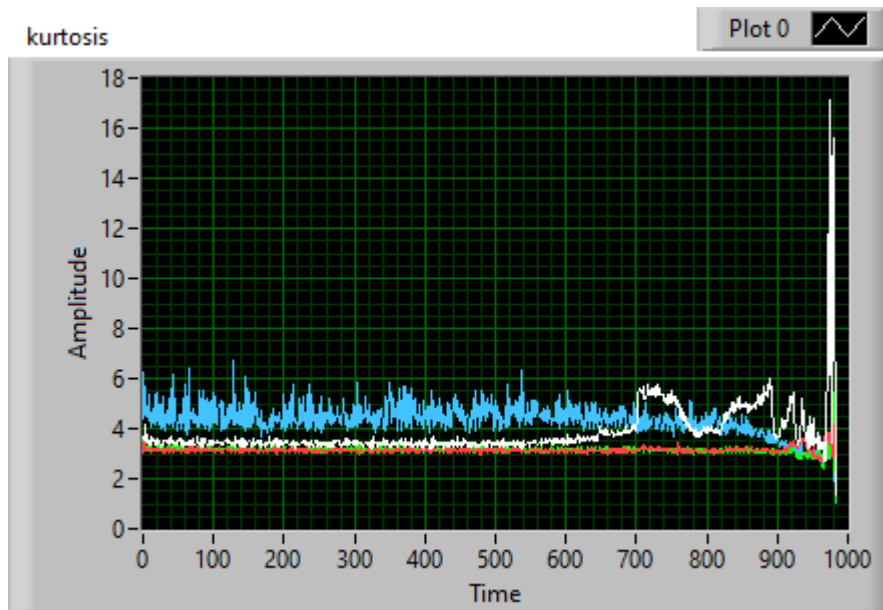


Figure4.42: Front panel LabView pour la visualisation de l'indicateur de santé Kurtosis

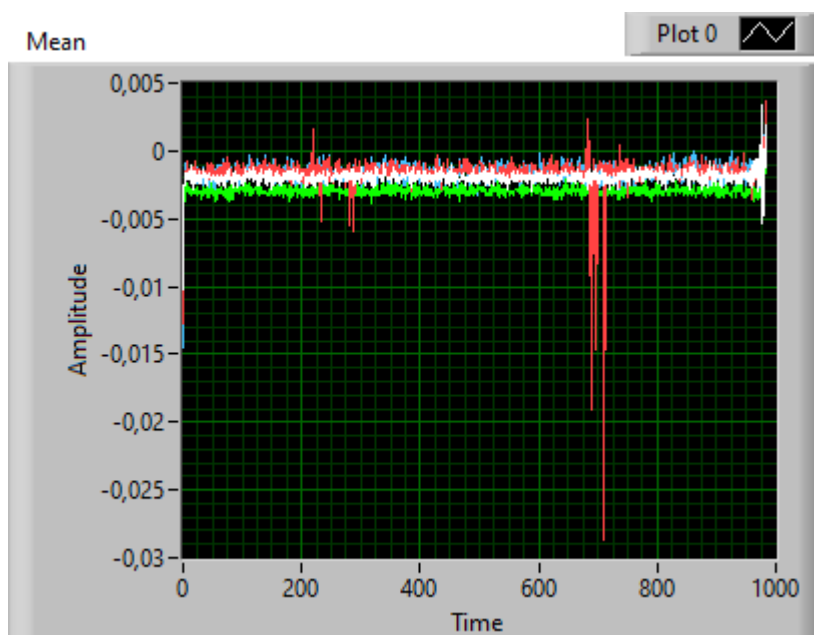


Figure4.43: Front panel LabView pour la visualisation de l'indicateur de santé Mean

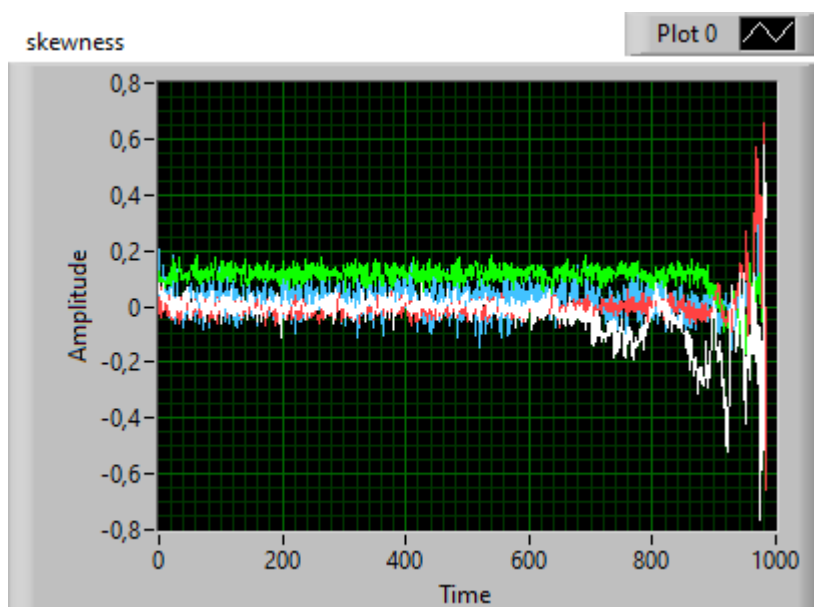


Figure4.44: Front panel LabView pour la visualisation de l'indicateur de santé Skewness

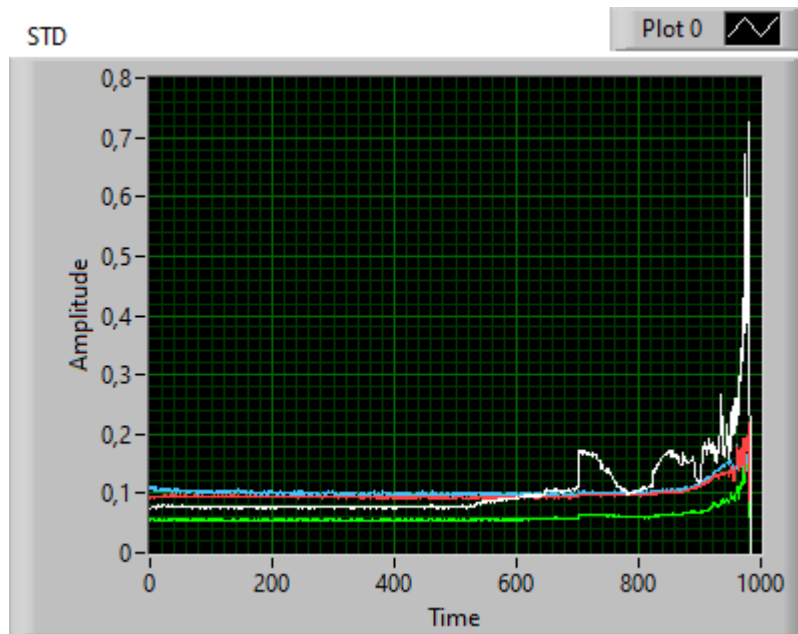


Figure4.45: Front panel LabView pour la visualisation de l'indicateur de santé STD

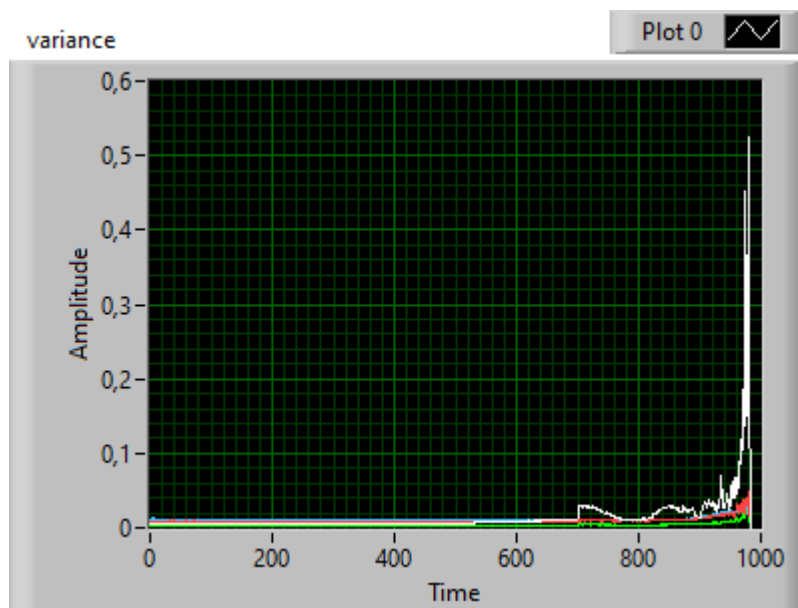


Figure4.45: Front panel LabView pour la visualisation de l'indicateur de santé variance

#### 4.4 Conclusion :

Cette partie de ce travail est consacrée aux différents tests de détection et de diagnostic des défauts des machines tournantes par analyse vibratoire. Il est conclu de ce qui précède qu'en utilisant le logiciel LabVIEW, nous serons en mesure de recevoir des signaux. Ces signaux sont le résultat de différentes sources de vibrations correspondant aux composants défectueux de la machine. Nous avons utilisé des méthodes basées sur les significations de l'amplitude des signaux telles que la valeur crête à crête, la valeur efficace, nous avons également utilisé la FFT et la DSP comme techniques d'analyse et de traitement du signal.

Le travail avec l'IIoT nous aura permis de transmettre les signaux à distance et de superviser la machine en temps réel via un réseau internet, ainsi que la communication avec plusieurs systèmes par un réseau sans fil.

### **Conclusion générale**

Ce travail c'était prévu le réaliser 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, dans le cadre de notre projet PFE, Mais malheureusement avec la propagation de la pandémie de Covid-19, nous n'avons pas le temps de la terminer, nous avons essayé de préparer une étude documentaire, ce qui nous permet de stimuler l'idée de notre projet.

Ce travail comporte 4 parties, dont l'objectif est de réaliser une plateforme IIoT qui nous permet de manipuler des machines tournantes à distance via un réseau de communication et qui assurera la surveillance et le diagnostic sous LabVIEW.

Dans la première partie de ce travail nous avons présenté une vue générale sur l'internet des objets IIOT, dans lequel l'Internet jouera un rôle important, qui permettra d'enchaîner des réseaux de natures très diverses et de constituer un maillage permettant aux objets situés dans les réseaux de communiquer entre, eux grâce à l'universalité de l'Internet et de ses protocoles.

La deuxième partie concerne la détection et le diagnostic des défauts des machines tournantes par l'analyse des vibrations issus du mouvement de la machine. La caractérisation de cette mesure, passe par des méthodes basées sur les significations de l'amplitude du signal telles que la valeur crête à crête, la valeur efficace et le Kurtosis, nous avons également utilisé les méthodes fréquentielles basées sur l'analyse spectrale du signal.

La troisième partie consiste à se familiariser avec l'environnement LabVIEW. L'idée de LabVIEW est de remplacer les instruments de mesures et d'analyse d'un laboratoire par un ordinateur muni de cartes spécifiques et d'un logiciel approprié. L'intégration de la technologie informatique pour la mesure et le diagnostic à l'aide de LabVIEW, nous a permis de concevoir un programme d'acquisition de données simple.

La dernière partie est consacrée à l'étude théorique, avec une base de donnée réelles de défauts de la machine tournante, pour la détection et le diagnostic de défauts électriques (ouverture de phase dans le bobinage statorique et rupture de barres de la cage rotorique) par l'analyse des courant statoriques. Enfin, en dernier lieu, le diagnostic de défauts mécaniques (défauts de roulements) par l'analyse des signaux vibratoires, dans

## ***Bibliography***

cette étude l'analyse du spectre d'un signal a nous aidé à détecter l'apparition d'un défaut tandis que la décomposition de ce signal dans le temps peut nous a fourni la nature et la position de ce défaut.

## *Bibliography*

- [1] SALEH, I., 2017. « Les enjeux et les défis de l'Internet des Objets (IdO) », Revue « Internet des objets » 1. DOI:10.21494/ISTE.OP.2017.0133.
- [2] Cluster of European Research Projects on the Internet of Things, Vision and Challenges for Realising the Internet of Things, March 2010.
- [3] Alessandro Bassi and Geir Horn. Internet of Things in 2020 - Roadmap for the future. Academic Press, 2008.
- [4] C. Xavier, “ Localisation et quantification des sources vibratoires dans le cadre d'une maintenance préventive conditionnelle en vue de fiabiliser le diagnostic et le suivi de l'endommagement des composants mécaniques tournants : application aux roulements à billes” Thèse de doctorat, Université De Reims Champagne Ardenne, 2007.
- [5] P. Konar, P. Chattopadhyay, “Multi-class fault diagnosis of induction motor using Hilbert and Wavelet Transform”. Applied Soft Computing, Vol.30, pp. 341–345, 2015.
- [6] H. Bendjama, “ Contribution a la détection et au diagnostic des défauts .Application aux systèmes dynamiques et aux matériaux ”, Thèse de Doctorat, École nationale polytechnique, Algérie, 2012.
- [7] Evangelos A. Kosmatos, Nikolaos D. Tselikas, and Anthony C. Boucouvalas. Integrating RFIDs and Smart Objects into a Unified Internet of Things Architecture. Advances in Internet of Things, 01(01) :5–12, 2011. ISSN 2161-6817, 2161-6825. doi : 10.4236/ait.2011.11002.
- [8] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., et Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, 29(7), 1645-1660. doi:https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010
- [9] Marques, R. Armellini, F. (2017). Proposta de modelo de referência para utilização da internet das coisas como suporte à estratégia de marketing. Paper presented at the 11<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto, Brazil.
- [10] Fosso Wamba, S., Lefebvre, L. A., Bendavid, Y., et Lefebvre, É. (2008). Exploring the impact of RFID technology and the EPC network on mobile B2B eCommerce: A case study in the retail industry. International Journal of Production Economics, 112(2), 614-629. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.05.010
- [11] Tilak, S. N. B. A.-G. a. W. H. (2002). A Taxonomy of Wireless Microsensor Network Models. ACM Mobile Computing and Communications Review, 6 N<sup>o</sup>2, 7. doi:doi:10.1145/565702. 565708
- [12] Buyya, R., Yeo, C. S., Venugopal, S., Broberg, J., & Brandic, I. (2009). Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. Future Generation Computer Systems, 25(6), 599-616. doi:https://doi.org/10.1016/j.future.2008.12.001
- [13] Welbourne, E., Battle, L., Cole, G., Gould, K., Rector, K., Raymer, S., Borriello, G. (2009). Building the Internet of Things Using RFID: The RFID Ecosystem Experience. IEEE Internet Computing, 13(3), 48-55. doi:10.1109/MIC.2009.52
- [14] Carlsson, B., Jacobsson, S., Holmén, M., & Rickne, A. (2002). Innovation systems: analytical and methodological issues. Research Policy, 31(2), 233-245. doi:https://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00138-X
- [15] Cassioli, D., Detti, A., Loreti, P., Mazzenga, F., et Vatalaro, F. (2002, 2002//). The Bluetooth Technology: State of the Art and Networking Aspects. Paper presented at the NETWORKING 2002: Networking Technologies, Services, and Protocols; Performance of Computer and Communication Networks; Mobile and Wireless Communications, Berlin, Heidelberg.
- [16] Bisdikian, C. (2001). An overview of the Bluetooth wireless technology. IEEE Communications Magazine, 39(12), 86-94. doi:10.1109/35.968817
- [17] Porkodi, R., et Bhuvaneshwari, V. (2014, 6-7 March 2014). The Internet of Things (IoT) Applications and Communication Enabling Technology Standards: An Overview. Paper

## *Bibliography*

- presented at the 2014 International Conference on Intelligent Computing Applications.
- [18] Cai, H., Xu, B., Jiang, L., et Vasilakos, A. V. (2017). IoT-Based Big Data Storage Systems in Cloud Computing: Perspectives and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(1), 75-87. doi:10.1109/JIOT.2016.2619369
- [19] Xu, L. D., He, W., et Li, S. (2014). Internet of Things in Industries: A Survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233-2243. doi:10.1109/TII.2014.2300753.
- [20] Reland BIGRET et Jaque-louis FERON « Diagnostic-maintenance disponibilité des machines tournantes »1995.
- [21] Smail HAROUN, Détection robuste de défauts et diagnostic par classification neuronale des pompes de refroidissement d'une centrale nucléaire avec dégradation de la qualité d'énergie, thèse de doctorat, Université USHTB, 2018.
- [22] 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.
- [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] O. Ondel, "Diagnostic par reconnaissance des formes: Application à un ensemble convertisseurmachine asynchrone," Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lyon, 2006.
- [25] Nabti Mohamed Tahar « Etude de l'évolution des indicateurs spectraux et cepstraux dans la détection des défauts mécaniques » thème de magister université FARHAT Abas Setif, 2011.
- [26] Bruol and kjaer vibro "Méthode de la maintenance conditionnelle", société Allemagne de fabrication des appareils et logiciels de mesure vibratoire.
- [27] Bruol and kjaer vibro "Méthode de la maintenance conditionnelle", société Allemagne de fabrication des appareils et logiciels de mesure vibratoire.
- [28] D.-M. Yang, A. F. Stronach, P. McConnell, J. Penman, Third-order spectral techniques for the diagnosis of motor bearing condition using artificial neural networks, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 16 (2002) 391-411.
- [29] Chevalier R., «Etat de l,art de la surveillance et du diagnostic des machines tournantes à EDF», RFM, 2001.
- [30] Augeix D., Techniques de l,ingénieur BM5 – 145, «bruit et vibrations», 2007.
- [31] Morel J., «surveillance vibratoire et maintenance prédictive», Techniques de l,ingénieur R 6 100, 2007.
- [32] Didier G., « Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances », Thèse de doctorat, Université Nancy 1, France, 2004.
- [33] Peter Vas, 'Parameter estimation, condition monitoring, and diagnosis of electrical machines', Clarendon Press Oxford, 1993.
- [34] P. J. Tavner and J. Penman 'Condition monitoring of electrical machines'. Hertfordshire, England: Research Studies Press Ltd, ISBN: 0863800610, 1987.
- [35] 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, France, 2001.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] H. Henao, 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,

## *Bibliography*

Sep/Oct. 2003.

[40] M. Sahraoui, ‘‘ Etude comparative des méthodes de diagnostic des machines asynchrone, ‘‘ These de Doctorat, Université de Biskra, Déc. 2010.

[41] 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.

[42] 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.

[43] E. Oran Brigham, ‘‘Fast Fourier transform and its application,’’ Prentice Hall, 1988.

[44] Lee. Burgess, Terry. Shimbel, "What is the prognosis on your maintenance program," *Engineering & Mining Journal*, May.1995.

[45] M. Gaouaoui, "Diagnostic par Reconnaissance des formes: Application à la machine asynchrone," Thèse de Doctorat, Département Automatique, Université Mouloud Maameri de Tizi Ouzou, 2012.

[46] Le site de National Instruments (en Anglais)

[47] Le site de National Instruments France

[48] initiation à LabVIEW, National instruments, 2003.