

REPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

ECOLE NORMALE SUPERIEURE
D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

Département de Génie Mécanique

B.P. 886 Ebolowa / Tél : +237 243 71 78 16
Site web: www.enset-ebolowa.com
Courriel : ensetebwa@gmail.com



REPUBLIC OF CAMEROON
Peace – Work – Fatherland

THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

HIGHER TECHNICAL TEACHER
TRAINING COLLEGE

Department of Mechanical Engineering

PO. BOX 886, Ebolowa / Tél: +237 243 71 78 16
Web site: www.enset-ebolowa.com
Mail: ensetebwa@gmail.com

**ELABORATION D'UNE BASE DE DONNEES DE SIGNAUX ISSUS DES
DEFAUTS D'IMPACTS SUR LES ROULEMENTS A BILLES**

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur des Lycées
d'Enseignement Technique et Professionnel de deuxième grade (DIPET II)

OPTION : **Construction Mécanique**

Par

SAGUO TAMGA Joseph Aimé

Matricule : 19W1227

Sous la Supervision de

Pr. KANAA Thomas, Maître de Conférences

Devant le Jury constitué de :

Président	: Pr. BETENE Fabien	Maitre de Conférences, ENSET Douala
Rapporteurs	: Pr. KANAA Thomas	Maitre de Conférences, ENSET Ebolowa
	: M. NDONGUE Emmanuel	Assistant, ENSET Ebolowa
Examineur	: Dr. ZOGO Tsala Armand	Chargé de Cours, ENSET Ebolowa

Année Académique : **2020 / 2021**



DEDICACE

À ma famille

REMERCIEMENTS

Le présent document est le fruit d'un travail de longue haleine qui n'aurait pu être réalisé sans le concours de plusieurs personnes, c'est pourquoi j'adresse mes sincères remerciements à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à son élaboration. Ces remerciements s'adressent particulièrement à :

- Dieu Tout Puissant qui nous a mis dans les conditions physiques favorables et nous a donné espoir quand les difficultés rencontrées semblaient prendre le dessus ;
- A tous les membres du jury pour leur précieux conseils et remarques qui ont été d'une aide exceptionnelle ;
- Madame le directeur de L'ENSET d'EBOLOWA le **Pr. NDJAKOMO ESSIANE Salomé** pour son soutien et son souci à faire de nous les meilleurs de demain ;
- Monsieur le Directeur adjoint de l'ENSET d'EBOLOWA Dr OLLE OLLE Daniel pour ces directives, son encouragement, et ces efforts pour nous garantir une formation de qualité ;
- Monsieur le chef de département du Génie Mécanique **Pr. KANA'A Thomas** pour ces multiples conseils ;
- Mon encadreur académique **M. NDONGUE ESSEME Emmanuel** pour sa disponibilité, ces conseils techniques et son souci à parfaire le travail de son étudiant ;
- Tout le personnel enseignant et administratif de l'ENSET d'EBOLOWA pour leurs précieux enseignements et leur encadrement de qualité ;
- A mon papa **TAMGA Jean Lambert** pour son soutien moral et matériel ;
- A mes tantes et oncles **Eveline, Chantal, Emilienne, Thérèse, Frederick, Désiré, Mathieu, Jacques** pour leur soutien moral et financier ;
- Tous mes frères et sœurs **Gilberte, Doriane, Delphine, Vanessa, Sandrine, Kévine, Line, Nestor Thiery, Patrick, Eloïc, Junior, Prince** pour leur soutien ;
- A tous mes amis(es) pour leur soutien ;
- A ma tendre mère chérie **MAGNE Hortense Flore** pour tous le soutien qu'elle m'a apporté et les conseils quelle me prodigue ;
- A tous les étudiants de l'ENSET d'EBOLOWA en particulier à ceux de la filière Construction Mécanique promotion 2019 pour leur collaboration ;

D'une manière générale, j'adresse mes sincères reconnaissances à tous ceux qui de près ou de loin ont apportés leur aide précieuse dans la réalisation de ce travail, qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude. Que tous ceux qui n'ont pas été cités trouvent également ici l'expression de ma profonde considération.

AVANT PROPOS

Créée par décret présidentiel N° 2017/586 du 24 Novembre 2017, l'Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique (ENSET) d'Ebolowa est une des grandes écoles de l'Université de Yaoundé 1 ayant pour mission d'assurer :

- La formation des professeurs de l'enseignement secondaire technique et des conseillers d'orientation scolaire, universitaire et professionnelle ;
- La promotion de la recherche scientifique, technologique et pédagogique, ainsi que la validation de ses résultats ;
- Le recyclage et le perfectionnement du personnel de l'enseignement secondaire technique ;
- Le perfectionnement des professionnels dans ses domaines de formation ;
- L'appui au développement, en particulier sous forme de prestation de services et de gestion du développement durable.

L'ENSET d'Ebolowa comprend des cycles de formation à savoir :

- Le cycle de formation des professeurs d'enseignement technique et professionnel, d'une durée de trois (03) ans, appelé aussi premier (1^{er}) cycle, sanctionné par le Diplôme de Professeur d'Enseignement Technique et Professionnel de 1^{er} grade (DIPET 1) ;
- Le cycle de formation des professeurs d'enseignement technique et professionnel de deuxième grade, d'une durée de deux (02) ans, appelé aussi second (2nd) cycle, sanctionné par le Diplôme de Professeur d'Enseignement Technique et Professionnel de 2^{ème} grade (DIPET 2) ;
- Le cycle de formation des conseillers d'orientation scolaire, universitaire et professionnelle d'une durée de deux (02) ans, sanctionné par le Diplôme de Conseiller d'orientation (DIPCO).

La fin de chaque cycle est marquée par la présentation d'un projet de mémoire que l'élève professeur doit défendre devant un jury conformément à l'arrêter N°03/BU du 26 Novembre 1985, en vue de l'obtention d'un diplôme de fin de cycle. Ce travail doit être en conformité avec la filière de l'étudiant, être d'actualité ou alors relever d'un intérêt pédagogique. L'objectif ici vise à développer chez les futurs enseignants, un esprit d'analyse, de recherche, de créativité, de conception et de réalisation ainsi que l'esprit de synthèse. Le suivi de ces objectifs nous a conduits à porter choix sur le thème :

« Élaboration d'une base de données de signaux issus des défauts d'impacts sur roulement à billes » étude appliquée à l'ENSET d'EBOLOWA. Cette recherche nous permettra

dans la mesure du possible de donner le meilleur de nous-même afin de se conformer aux exigences académiques de fin de formation. Nous saluons très chaleureusement tous ceux qui ont gracieusement contribué à la réussite de ce travail.

RESUME

Le monde de l'industrie et des transports dispose de machines et d'installations de plus en plus performantes et complexes. Ce travail s'inscrit dans la thématique de l'élaboration d'une base de données de signaux issus des défauts d'impacts sur les roulements à billes. Sa simplicité de montage, son faible cout d'achat et sa non robustesse mécanique surtout sa quasi absence d'entretien, justifie son omniprésence dans le secteur industriel. Ils ne peuvent être exempts de perturbations et de défaillances, influant sur la qualité du produit, pouvant provoquer l'arrêt immédiat d'une machine et porter atteinte au bon fonctionnement d'un système de production entier. Le diagnostic de ces machines, s'appuie essentiellement sur la surveillance de symptômes liés à différentes conditions de dégradation. Ces symptômes peuvent être tirés de diverses sources d'information, parmi lesquelles l'analyse vibratoire et l'émission acoustique occupe une place prépondérante. Aujourd'hui, de nombreux dispositifs d'analyse de défauts efficaces sont bien établis, ancrées sur des outils puissants offerts notamment par la méthode de l'analyse vibratoire. La complexité de ces outils exige un expert pour les utiliser et les interpréter. La présence continue d'un expert est difficilement réalisable et couteuse. Des indicateurs d'état de ces derniers existent dans la littérature mais ils sont conçus sous l'hypothèse de conditions de fonctionnement parfaites. Le principal objectif de ce mémoire est de réduire le recours à l'intervention humaine en proposant des stratégies pour concevoir un indicateur optimal qui résumant l'information des vibrations par des valeurs numériques. L'Analyse Vibratoire (A.V), est aujourd'hui reconnue pour son efficacité dans les applications de vérification de l'intégrité des composants mécaniques. Cette méthode non intrusive et non destructive, peut être mise en œuvre notamment lors de point 'zéro' pendant l'épreuve initiale de réception et en service, sans arrêt des équipements industriels et dans des conditions de fonctionnement normales.

Mots Clés : Base de Données, Signaux, Impacts, Roulement à billes, Analyse Vibratoire, Emission Acoustique, Capteur piézoélectrique.

ABSTRACT

The world of industry and transport has increasingly efficient and complex machines and installations. This work is part of the theme of developing a database of signals from impact defects on ball bearings. Its simplicity of assembly, its low purchase cost and its mechanical non-robustness, especially its virtual absence of maintenance, justifies its omnipresence in the industrial sector. They cannot be free from disturbances and failures, affecting the quality of the product, which can cause the immediate shutdown of a machine and impair the proper functioning of an entire production system. The diagnosis of these machines is mainly based on monitoring symptoms related to different degradation conditions. These symptoms can be drawn from various sources of information, among which vibration analysis and acoustic emission occupy a prominent place. Today, many effective fault analysis devices are well established, anchored on powerful tools offered notably by the method of vibration analysis.

The complexity of these tools requires an expert to use and interpret them. The continued presence of an expert is difficult and expensive. State indicators of the latter exist in the literature but they are designed under the assumption of perfect operating conditions. The main objective of this thesis is to reduce the recourse to human intervention by proposing strategies to design an optimal indicator which summarizes the information of vibrations by numerical values. Vibration Analysis (A.V) is recognized today for its effectiveness in applications for verifying the integrity of mechanical components. This non-intrusive and non-destructive method can be implemented in particular during the "zero" point during the initial acceptance test and in service, without stopping industrial equipment and under normal operating conditions.

Keywords: Database, Signals, Impacts, Ball bearings, Vibration analysis, Acoustic emission, Piezoelectric sensor.

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Constitution d'un roulement[1].....	2
Figure 2.1: Avancée historique du roulement [4].....	3
Figure 3.2: Chaîne générale d'acquisition de données [25]	14
Figure 4.2: grandeur mesurée	18
Figure 5.2: Accéléromètre piézoélectrique [25]	20
Figure 6.2: Réponse en fréquence d'un capteur Piézoélectrique [25]	20
Figure 7.2: Système d'acquisition Picoscope 4424 avec le capteur réf623C01[24]	21
Figure 8.2: Schémas de la chaîne d'émission acoustique, de la création de l'onde mécanique à la visualisation du signal EA[24]	24
Figures 9.2: Représentation d'une émission continue et d'une émission discrète.....	24
Figure 10.2: Plage de mesures fréquentielles de chaque méthode [24].....	26
Figure 11.2: Chaîne de mesure de l'Emission Acoustique[24]	27
Figure 12.2: Coupe d'un capteur d'émission acoustique piézoélectrique[24]	29
Figure 13.2: signal temporel et fréquentiel	31
Figure 14.2: caractéristique amplitude fréquence.....	31
Figure 15.2: visualisation de l'amplitude Max du signal	32
Figure 16.2: Analyse fréquentielle du défaut	32
Figure 17.2: classification des signaux[12]	35
Figure 18.2: Architecture global du traitement de signal[12]	36
Figure 19.2: Impulsion d'échantillonnage $\delta(t)$	37
Figure 20.2: synoptique générale	43
Figure 21.3: diagramme bête à corne	44
Figure 22.3: diagramme de Pieuvre.....	45
Figure 23.3: schémas de câblage de l'alimentation	46
Figure 24.3: l'effet piézoélectrique.....	47
Figure 25.3: fiche de raccordement électrique.....	48
Figure 26.3: principe et schéma d'un capteur piézoélectrique.....	49
Figure 27.3: carte ARDUINO UNO.....	49
Figure 28.3: schéma des ports de la carte ARDUINO	50
Figure 29.3: diodes électroluminescentes	53
Figure 30.3: carte SD.....	54
Figure 31.3: présentation d'un afficheur LCD	54
Figure 32.3: schéma fonctionnel du microcontrôleur LCD	55
Figure 33.3: Commande de l'afficheur LCD	56
Figure 34.3: schéma de câblage du fonctionnement.....	56
Figure 35.3: schéma électronique de câblage.....	59

LSTE DES TABLEAUX

Tableau 1: différent types de roulement.....	3
Tableau 2 : comparaison entre l'analyse vibratoire et l'émission acoustique.....	31
Tableau 3 : Caractéristiques Techniques de la carte Arduino.....	48
Tableau 4: liste du matériel et cout du projet	55

LISTE DES ABREVIATIONS

LCD: Liquid Cristal Digital

LED: Light Emitting Diodes

EA : Emission Acoustique

AV : Analyse Vibratoire

SD : Secure Digital

AF : Analyse Fréquentielle

BDD : Base De Données

TFCT : Transformée de Fourier a Cout Terme

FP : Fonction Principale

FC : Fonction de Contrainte

TBT : Très Basse Tension

AREF : Fonction analogReference

GSM: Global System for Mobile Communication

SGBD : Système de Gestion de la Base de Données

RTF : Représentation Temps Fréquence

ENSET : Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
AVANT PROPOS	iii
RESUME	v
ABSTRAT	vi
LISTE DES FIGURES	vii
LSTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES ABREVIATIONS	xi
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES ROULEMENTS ET LES BASES DE DONNEES	2
INTRODUCTION	2
I.1. Présentation générale sur les roulements à billes	2
1.2. Historique des roulements	3
1-3. Les différents types de roulements	3
1.4. Modes de défaillances et types de défauts des roulements	6
1.4.1. Les modes de défaillances des roulements	6
1.4.2. Origine des défauts des roulements.	6
I.4.3. Types de défauts de roulement	7
1.5. Élaboration d'une base de données	10
1.5.1. Technique d'acquisition d'une base de données	10
1.5.2. Système de gestion de base de données(SGBD)	10
1.5.3. Les modèles de base de données existant	11
1.5.4. Les étapes d'élaboration d'une base de données	11
1.5.6. Etapes de la conception d'une base de données	11
1.5.7. Acquisition de données	12
1.5.8. Segmentation d'une représentation temps-fréquence	12
1.5.9. Représentations temps-fréquence	12
Conclusion	13
CHAPITRE 2 : EMISSION ACOUSTIQUE ET ANALYSE VIBRATOIRE	14

Introduction.....	14
2.1. Analyse vibratoire	14
2.1.1. Origine des vibrations	15
2.1.2. Choix des paramètres de surveillance	15
2.1.3. Chaîne d'acquisition	16
2.1.4. Chaîne de mesure vibratoire	16
2.1.5. Les appareils de mesure	17
2.2. Acquisition du signal.....	17
2.3. Paramètres de surveillance.....	18
2.4. Grandeurs mesurées.....	18
2.5. Surveillance	18
2.6. Diagnostic	19
2.7. Outils d'analyse vibratoire	19
2.7.1. Capteurs de vibrations.....	19
2.7.3. Chaîne et matériel d'acquisition.....	20
3. Emission acoustique	23
3.1. Principe	23
3.2. Types de signaux d'émission acoustique	24
3.3. Ondes élastiques	26
3.4. Acquisition du signal	26
3.5. Chaîne d'acquisition.....	26
3.6. Le capteur piézoélectrique acoustique	28
3.7. Constitution du signal	30
3.8. Type de détection	32
3.9. Analyse fréquentielle	32
4. Les signaux	34
4.1. Classification des signaux	34
4.1.1. Signal analogique	34
4.1.2. Signal numérique	34
4.2. Traitement du signal.....	35
4.2.1. Numérisation	35
4.2.2. Documentation	37

5. Acquisition des données.	38
6. Méthode de collecte des données	38
7. Les modèles d'acquisition des données	39
CHAPITRE 3 : CONCEPTION ET REALISATION	41
Introduction	41
3. Etude conceptuelle	42
3.1. Plateforme de conception	42
3.2. Synoptique général du système	42
3.3. Analyse fonctionnelle du dispositif d'acquisition	43
3.3.1. Analyse du besoin	43
3.3.2. Analyse fonctionnelle du besoin	44
4. Choix et dimensionnement des composants	46
4.1. Choix de l'alimentation	46
5. Choix du matériel de détection des vibrations	46
5.1. Fonctionnement	47
5.2. Montage de l'élément sensible	47
6. La carte Arduino Uno	49
6.1. Tableau des caractéristiques techniques de la carte Arduino	50
6.2. Détails techniques	51
7. la diode électroluminescente (light emitting diodes)	52
7.1 La carte Secure digital (SD)	53
8. L'afficheur	54
8.1. Rôle d'un afficheur LCD : (light control display)	54
8.2. Fonctionnement d'un afficheur LCD	54
8.3. Schéma fonctionnel	55
8.4. Rôle des différentes broches de l'afficheur LCD	55
9. Schéma de câblage général	56
10. Liste du matériel et devis	56
4. Réalisation.....	58
4.1. Simulation.....	58

4.2. Présentation générale du module.....	58
4.3. Présentation du schéma de câblage sur Proteus	58
4.4. Résultats expérimentaux	59
4.4.1. Présentation du module électronique réalisé	59
4.5. Organigramme du dispositif d'acquisition	60
Conclusion	61
Conclusion générale	62
Annexes	63
Annexe : 1.....	64
Annexe : 2.....	65
Annexe : 3.....	66
Annexe : 4	67
Annexe : 5.....	68
Annexe : 6.....	69
Bibliographie	73

INTRODUCTION GENERALE

Les roulements font partie des composants en mécanique les plus utilisés. C'est le composant de base, essentiel au fonctionnement de nombreuses machines. Ont des propriétés qui leurs confèrent un caractère indispensable pour le fonctionnement des machines. Mais il est à noter que le fait que ces derniers ont des conditions de fonctionnement influencées par plusieurs paramètres physiques dont le principal est la vibration. Ne pouvant fonctionner qu'à certaines valeurs de fréquences de vibrations varient entre 0 et 10000HZ (fréquence pour une croissance optimale du roulement) rend la surveillance de ceux-ci problématique. Afin de permettre aux personnels de surveillance de mieux prendre connaissance de l'état de santé du roulement dans une machine, nous nous sommes proposé de mettre à leur disposition un dispositif adéquat donc la fréquence de vibration varie de 0 à 10000Hz. Notre dispositif leur permettra ainsi d'éviter le disfonctionnement des machines qui cause de nombreuses pertes pour les entreprises de productions et les autres secteurs d'activités où les roulements interviennent. Telle est notre motivation à travailler sur le thème « ELABORATION D'UNE BASE DE DONNEES DE SIGNEAUX ISSUS DES DEFAUTS D'IMPACTS SUR LES ROULEMENTS A BILLES ». Notre travail s'est fait en deux phases, une phase théorique et l'autre expérimentale, au moyen des logiciels ci-après : Arduino ATmega328 pour la programmation, Proteus 8 Professionnel pour la simulation de la partie électronique et une application Android du nom d'Everycircuit. Pour mener à bien notre travail, nous l'avons structuré comme suit :

- Dans le premier chapitre, nous présenterons les généralités sur les roulements et les bases de données.
- Dans le second chapitre nous présenterons l'Analyse Vibratoire et l'Emission Acoustique.
- Dans le chapitre trois pour terminer nous présenterons la conception et la réalisation. Il s'agit donc de présenter les ressources matériels logiciels et les résultats de notre travail et l'algorithme sera largement présenter.

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES ROULEMENTS ET LES BASES DE DONNEES

INTRODUCTION

Le roulement est un organe mécanique destiné à permettre la transmission des efforts entre deux pièces en rotation l'une par rapport à l'autre avec un frottement minimal. Les roulements en général et les bases de données en particulier occupent une place de choix dans les industries mécaniques. L'objet de notre mémoire étant de concevoir et réaliser un dispositif d'acquisitions de données et en suite l'élaboration de la base de données. Dans ce chapitre nous présenterons les généralités sur les roulements, par la suite nous parlerons de la base de données en insistant sur les modèles existants.

I.1. PRESENTATION GENERALE SUR LES ROULEMENTS A BILLES

Le roulement est un composant de base, essentiel au fonctionnement de nombreuses machines. Très utilisé dans l'industrie automobile, aérospatiale, éolienne, dans des machines, dans l'électronique et robotique C'est le composant d'un palier fonctionnant avec roulement (plutôt qu'avec glissement) entre les parties supportant la charge et en mouvement relatif. Il se compose, de chemin de roulement et d'éléments roulants avec ou sans dispositifs pour leur espacements et /ou guidage. Conçu pour supporter des charges radiales, axiales ou combinées, il assure une liaison entre un arbre et un logement. Le palier à roulement est constitué d'une bague extérieure, d'une bague intérieure, des éléments roulant et d'une cage [1].

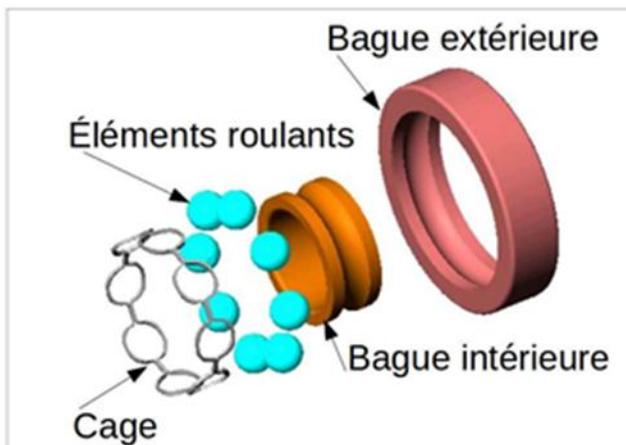
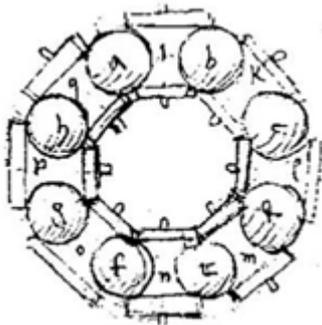


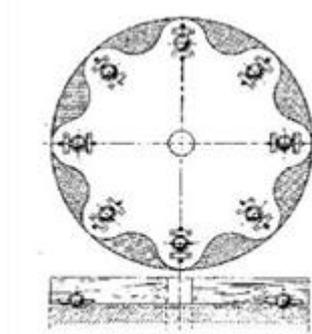
Figure 1.1: Constitution d'un roulement [1]

1.2. Historique des roulements

Dès l'antiquité, l'homme a su déplacer des charges lourdes en remplaçant le frottement de glissement par le frottement de roulement, l'effort horizontal de frottement étant diminué d'un facteur de 10 à 20. En interposant des rouleaux entre la charge à transporter et le sol, les Assyriens comme les Égyptiens ont posé les bases du composant roulement actuel, pour faciliter le transport des blocs de pierres utilisés pour la construction de leurs édifices. Plus tard, la civilisation Gréco-romaine s'empare de la genèse du concept en l'adaptant à sa technologie militaire, pour des raisons de mobilité. Les historiens citent le Grec Diades comme ayant inventé un bélier sur cage à rouleaux, en 330 avant J.C. Plus tard, le concept aurait servi de support rotatif pour une statue, à l'époque du troisième empereur Romain, Caligula vers l'an 40. Enfin, au XV^{ième} siècle, Léonard de Vinci théorise la géométrie des roulements. Ces écrits sont riches de descriptions détaillées de systèmes de guidages avec des éléments roulants. Entre 1881 et 1885, Heinrich Hertz publie ses travaux sur la déformation des corps en contact qui permet d'améliorer les performances du roulement. La révolution industrielle suivie de l'essor de l'automobile à partir de 1910 rend le roulement omniprésent. Le développement de la Technologie du roulement s'est accéléré avec sa normalisation dans les années 1920. Aujourd'hui, il s'agit d'une pièce de précision et de qualité, présente dans un grand nombre de machines. Plusieurs milliards de roulement sont fabriqués chaque année [2,3].



a) Butée à billes Romaine



b) roulement de Vinci

Figure 2.1: Avancée historique du roulement [4]

1-3. Les différents types de roulements

Il existe en général deux grandes catégories de roulement à savoir les roulements à billes et les roulements à rouleaux que nous allons récapituler dans le tableau ci-dessous [4].

CATEGORIE DES ROULEMENTS	TYPES DE ROULEMENTS	CARACTERISTIQUES
Roulements à billes	Rigide a une rangée de bille	Ils supportent les charges axiales modérées, ils sont à la fois meilleur marché et plus compact.
	1 à 2 rangées de billes	Elles supportent des charges radiales importantes et des charges axiales.
	A contact radiale	Ils supportent mieux les charges radiales que les charges axiales.
	Roulement à billes de type RBTC (Reinforced Bearing Track component)	Ils supportent les charges radiales et admet des vitesses élevées, mais aucune charges axiales.
	Roulements à rotules sur billes	Ce sont des ensembles indissociables à deux rangées de billes, composés d'une bague.
	Roulement à bille à contact oblique	Elle supporte des charges radiales importante et dans un sens des charges axiale.
	Les butées à billes	Supportent des charges axiales.
Roulement à rouleaux	Roulement à rouleaux coniques	Ces roulements supportent des charges (simultanément radiales et axiales) combinées, offrent une longue durée de service et améliorent la fiabilité opérationnelle [2].
	Roulement à rouleaux cylindriques	Ils possèdent une grande puissance radiale et ses rouleaux sont guidés avec précision.il peut

		fonctionner a de très. grandes vitesses en raison du faible frottement.
	Roulement rotule à rouleaux	De par sa conception, ce type de roulement peut supporter des charges radiales et des charges axiales dans les deux directions.
	Roulements à rouleaux sphériques	Ils supportent les charges axiales dans les deux sens ainsi que des charges radiales importantes. Ces roulements ont une bonne stabilité dimensionnelle tout en subissant des vibrations, chocs et désalignement, et résistent à l'usure et à l'abrasion.
	Roulements à aiguilles	Ils sont caractérisés par l'utilisation d'éléments roulants de faible diamètre et de grande longueur. Ils sont d'un encombrement faible pour une aptitude aux charges élevées et leurs utilisations s'est considérablement développé »es au cours de ces dernières années.

Tableau 1: différent types de roulement [3,4].

Dans notre étude, nous nous intéressons particulièrement aux roulements à billes. Ceux-ci sont composés de plusieurs éléments tel que décrit la figure 1.1. Un roulement à billes se présente sous la forme de deux bagues coaxiales entre lesquelles sont placées des billes, légèrement lubrifiées, et maintenues espacées par une cage. Les matériaux employés dépendent de l'application pour laquelle est conçu le roulement, mais il doit être généralement très résistant à la compression [5].

C'est pourquoi on choisit souvent l'acier ou la céramique (Si_3N_4 , Sic ou ZrO_2). Contrairement à une idée reçue, la lubrification n'a pas pour but principal de réduire les frottements entre les billes et les bagues ; le lubrifiant sert ici, avant tout, à éviter le grippage des divers éléments. D'ailleurs, un excès de lubrifiant rend le mouvement plus difficile et provoque un échauffement très préjudiciable à la durée de vie du composant.

Le roulement n'étant pas étanche, il faut veiller à le protéger des poussières et autres corps étrangers qui pourraient s'y loger, accélérant son usure et diminuant son rendement. Les roulements sont néanmoins souvent équipés de flasques permettant d'éviter d'avoir à effectuer l'étanchéité. Pour un roulement de type classique, l'étanchéité est réalisée par des joints à lèvres [3].

La liaison mécanique équivalente entre les deux bagues d'un roulement dépend du type d'éléments roulants et de la disposition des contacts de ces éléments avec les bagues. La liaison locale obtenue entre l'arbre et son logement est de plus tributaire de la manière dont le roulement est fixé à l'arbre et à l'alésage. Il est souvent nécessaire, pour réaliser une liaison pivot d'utiliser deux roulements, une des solutions isostatiques étant l'association d'une liaison rotule et d'une linéaire annulaire [2].

1.4. MODES DE DEFAILLANCES ET TYPES DE DEFAUTS DES ROULEMENTS

1.4.1. LES MODES DE DEFAILLANCES DES ROULEMENTS

Selon la norme ISO15243[6] : 2017(Fr) le mode de défaillance d'un roulement c'est le résultat d'une détérioration qui empêche le roulement de satisfaire à ses performances initialement prévues ou manque la fin de sa durée de vie, c'est encore la manière par laquelle la détérioration d'un roulement se déclare. En service c'est l'état du roulement tel qu'il sort de l'usine du fabricant, caractéristiques visibles qui est celle possible d'observer directement ou avec une loupe ou un microscope optique, ainsi que celles observées sur des images, mais en utilisant uniquement des méthodes non destructives nous avons donc :

- ✚ Fatigue de contact de roulement
- ✚ Usure
- ✚ Corrosion
- ✚ Electroérosion
- ✚ Déformation plastique
- ✚ Défaut d'alignement
- ✚ Usure par vibrations
- ✚ Grippage
- ✚ Usure des cages

1.4.2. Origine des défauts des roulements.

Le palier à roulement, élément guidage mécanique très utilisées en industrie pour sa fiabilité, sa précision, sa capacité à résister aux agressions chimiques et météorologique, est très

souvent endommagé de façon précoce loin de sa durée de vie nominale présentée par le constructeur pour des raisons diverses à savoir [4] :

- Une mauvaise lubrification : selon les études une lubrification inadéquate serait la cause la plus importante des défaillances des roulements ;
- Une contamination extérieure : la propreté de la graisse est d'une importance capitale ;
- Des dommages Electriques ;
- Une fatigue prématurée ;
- Un montage incorrect ;
- Manipulation sans précaution ;
- Lubrification insuffisante ;
- Couple inadapté ;
- Le désalignement ;
- Le défaut de fabrication ;
- Fonctionnement ;
- Fabrication ;
- Problèmes de charges axiales et radiales.

I.4.3. TYPES DE DEFAUTS DE ROULEMENT

Chaque roulement, selon son domaine d'utilisation, la difficulté de son remplacement, les incidences qu'impliqueraient sa rupture n'est pas "programmées" pour la même longévité. Il est essentiel de considérer ces points avant de parler « d'avarie ». Un phénomène, souvent d'origine extérieure, provoque une dégradation. C'est ce type de problème dont nous traiterons ici. Tout comme, l'usure anormale d'un roulement peut connaître une évolution lente ou foudroyante. Elle présente aussi des symptômes, plus ou moins faciles à détecter. Le roulement est donc un élément "vivant", pour lequel "mieux vaut prévenir que guérir".

Le diagnostic juste et précoce d'une avarie peut permettre d'éviter son aggravation, mais aussi de prévenir le même type de problème sur d'autres roulements, avant qu'ils ne manifestent les mêmes symptômes ; d'une fatigue de la matière, mais d'un phénomène qui n'affecte que la surface, nous aurons donc [6] :

- **ECAILLAGES**

L'écaillage est un phénomène continu qui se développe progressivement et qui s'accélère plus ou moins rapidement après l'apparition des premières fissures. Il est donc

important de pouvoir reconnaître ces premiers signes d'un écaillage de la matière qui entraînera à brève échéance la mise hors service du roulement.

- **Grippage.**

C'est l'arrachement superficiel de métal accompagnés de zones mates significatives d'un transfert également superficiel de la matière. La rectification a complètement disparu dans ces zones. Traces brunes, révélatrices d'échauffements locaux ou généralisés. A un degré plus élevé de gravité, les corps roulants sont fortement déformés par arrachements de métal, fusions localisées et laminage.

- **Traces de coups - Fissures – Cassures**

Ces trois avaries traduisent les différents niveaux d'une même erreur dans la pratique du montage : la percussion sans précautions ; Ce sont des Traces de coups et d'empreintes d'outils sur les faces planes, les corps roulants, les arrondis, Fissures et cassures d'épaulements et de collets.

- **Rupture des bagues**

La rupture des bagues est la cassure affectant de larges secteurs de bague et même des Ruptures transversales.

- **Détérioration des cages.**

La détérioration des Cages c'est lorsqu'elles se déforment (cages déformées), alvéoles écrasées, traces de coups. Avaries parfois difficilement identifiables parce que masquées souvent par d'importants effets secondaires tels que : échauffements, laminage des cages sous les corps roulants, grippage.

- **Corrosion- oxydation**

C'est l'oxydation localisée ou généralisée du roulement. Ce sont des taches plus ou moins étendues de couleur rougeâtre ou noire avec attaque de la surface intéressées ou cavités.

- **Vibrations**

La vibration c'est la présence d'empreintes nombreuses qui se superposent ou s'intercalent. Nous pouvons retrouver sur ces empreintes l'écartement des corps roulants.

- **Cratères et cannelures**

Les cratères se sont des piques à bords nets liés en chapelets plus ou moins longs. Ces cratères nous montre qu'il Ya eu fusion localisée du métal. Les cannelures

sont une succession de plages étroites cotes à cote donnant l'impression de cannelure qui se succèdent sur la zone des chemins soumise la charge.

- **Traces de coups Fissures-cassures**

C'est lorsqu'un coup porté directement sur une bague de roulement dépasse les limites élastiques du métal, Ilya formation d'une emprunte permanente. Les coups peuvent entraîner les différents d2sordrent : déformation des bagues, empreintes.

Dans certains cas, les chocs peuvent provoquer l'apparition de fissure ou même de cassures franches.

- **Incidences de mauvaises positions des zones de charge**

C'est le constat d'une anomalie de fonctionnement due soit à une déformation des organes récepteurs. Soit à une mauvaise position du roulement sur ces portées, soit à une modification en fonctionnement des conditions théoriques de travail.

- **Corrosion de contact**

La corrosion de contact se présente sous forme de taches roses, brunes ou noires plus ou moins étendues.

- **Usure-empruntes de corps étrangers**

C'est un défaut de protection permettant à des particules étrangères de pénétrer dans le roulement

- **Dentelure**

Le défaut apparait généralement lorsque le roulement n'est pas correctement monté ou lorsque le roulement est soumis à une grande charge lorsqu'il est immobile. Une dentelure apparait, dont la distance entre les fissures est égale à la distance entre les corps roulants.

- **Bavure**

Ce phénomène apparait sous forme d'un transfert de matière d'une surface à une autre. Cela peut être causé par plusieurs facteurs : un manque de lubrification, la pénétration du corps roulant dans la zone chargée, une charge légère par rapport à la vitesse de rotation et d'autres. Chaque cas doit être traité de façon à éliminer la cause. Le développement de la bavure conduit à une cassure totale de la bague ou du corps roulant.

- **Choc électrique**

Le passage d'un courant électrique dans un roulement en rotation ou non peut endommager ses différentes parties [7,8].

1.5. ELABORATION D'UNE BASE DE DONNEES

Une base de données est un ensemble structuré et organisé permettant le stockage de grandes quantités d'informations afin d'en faciliter l'exploitation (ajout, mise à jour, recherche de données). Une base de données est un ensemble cohérent de données structurées. Une base de données contient en général plusieurs tables, éléments de stockage des données. Une table est un ensemble de données organisé en tableau avec des lignes (horizontales) et des colonnes (verticales). A l'intersection des colonnes et des lignes, se trouvent les données.

Le libellé des colonnes s'appelle un CHAMP.

Chaque ligne s'appelle un ENREGISTREMENT (en abrégé : ENR) [9,10].

1.5.1. TECHNIQUE D'ACQUISITION D'UNE BASE DE DONNEES

L'acquisition de données numériques fait appel à diverses techniques allant de la mesure directe pour les données primaires, à la vectorisation semi-automatisée d'objets spatiaux, en passant par le positionnement (ou géoréférencement) d'images numériques et la digitalisation d'objets. Il existe alors cinq étapes pour construire sa base de données à savoir [11,12]. :

- 1- L'outil CRM
- 2- La collecte d'informations
- 3- Les dispositifs de collectes
- 4- Le consentement de l'internaute
- 5- Création d'un compte client.

1.5.2. SYSTEME DE GESTION DE BASE DE DONNEES(SGBD)

Un système de gestion de base de données est un ensemble de programmes permettant de gérer des bases de données. C'est un système de gestion de base de données(SGBD) de type Relationnel (SGBDR).

Un SGBD permet :

- De créer et modifier la structure de la base de données,
- De stocker des données, de les modifier (mettre à jour), de les supprimer,
- D'effectuer des recherches (ou requêtes) dans cette base de données

[13,14].

1.5.3. LES MODELES DE BASE DE DONNEES EXISTANT

Un modèle de base de données illustre la structure logique d'une base de données, y compris les relations et les contraintes qui déterminent les données peuvent être stockées et accessibles. Les modèles de base de données et accessible. Les modèles de base de données individuels sont conçus en fonction des règles et concepts du modèle de données plus généralement adopté par les concepteurs. La plupart des modèles de données peuvent être représentés par un diagramme de base de données, nous avons donc [15]. :

- ✚ Les principales bases de données et leurs évolutions
- ✚ La base de données hiérarchique
- ✚ Modèle entité-attribut-valeur
- ✚ Modèle entité –association
- ✚ La base de données sur le web
- ✚ Le modèle document
- ✚ La base de données réseau
- ✚ La base de données relationnelle
- ✚ La base de données objet
- ✚ L'emploi dans le secteur de base de données
- ✚ Architecte de base de données
- ✚ Administrateur de base de données

1.5.4. LES ETAPES D'ELABORATION D'UNE BASE DE DONNEES

La conception ou l'élaboration d'une base de données suit les étapes suivantes [15] :

1. Identifier le besoin.
2. Définir le modèle de base de données.
3. Choisir le système de gestion de base de données (SGBD).
4. Optimiser sa base de données.
5. Suivre et maintenir sa plateforme.

1.5.6. ETAPES DE LA CONCEPTION D'UNE BASE DE DONNEES

On distingue quatre étapes dans la conception d'une base de données [16]. :

1. L'analyse : elle consiste à étudier le problème et à consigner dans un document, la note de clarification, les besoins, les choix, les contraintes.
2. La modélisation conceptuelle.
3. La modélisation logique.
4. L'implémentation.

1.5.7. ACQUISITION DE DONNEES

Les données en entrée d'un récepteur passif sont recueillies par une base de données. Il existe plusieurs types de systèmes de gestion de base de données à la reconnaissance de signaux ayant des caractéristiques différentes :

- Un capteur installé, remorqués par un banc de test de défectuosité de surface,
- Une base de données préalablement élaborée,
- Un détecteur de défaut des impacts.

En agissant sur l'espacement entre capteurs, sur le nombre de capteurs, sur la distance du roulement, ça influence sur les résultats attendus. Ainsi la distance inter-capteurs détermine la gamme des ondes perçues par le détecteur d'impact. La distance du détecteur de défaut et la distance inter-capteurs caractérisent sa résolution sonique. La fonction de directivité de l'antenne, qui dépend du nombre de capteurs, fait apparaître la résolution sonique fonction (par exemple) de la voie formée ou de la plage de fréquences traitée [8].

A ce stade de traitement nous disposons d'un signal analogique, nous devons donc le filtrer au niveau de chaque capteur, l'amplifier et l'enregistrer, pour plus de renseignements sur ces dernières étapes le lecteur pourra se référer sur ce texte. L'étape d'échantillonnage discrétise le signal dans l'espace des temps alors que la quantification introduit un codage en valeur, c'est une discrétisation dans l'espace des amplitudes. Ainsi un nombre binaire obtenu lors de la numérisation représente une discrétisation en niveau et en temps du signal. L'information est donc devenue un signal numérique pour chaque capteur que nous devons remettre en phase [16].

1.5.8. Segmentation d'une représentation temps-fréquence

A cette étape, aucune hypothèse n'est faite sur la stationnarité du signal utile. Il peut présenter un caractère non-stationnaire propre aux signaux réels rencontrés. Dans ces conditions, l'analyse temps fréquence est la technique qui semble la plus appropriée. Dans notre chaîne de traitement, le but est d'extraire le signal utile qui se trouve dans l'observation afin de soumettre ce dernier à un organe de reconnaissance [8].

1.5.9. Représentations temps-fréquence

Un signal non stationnaire peut se définir par complémentarité à un signal stationnaire, c'est-à-dire par des propriétés statistiques qui varient au cours du temps ou bien par une durée d'existence limitée par rapport à la durée d'observation.

Une représentation du signal comme fonction du temps uniquement donne peu d'indications sur le comportement en fréquence, tandis que son analyse de Fourier ne fait pas apparaître l'instant d'émission et la durée de chacun des éléments composant le signal. Pour les besoins du traitement du signal on a cherché à représenter simultanément les informations temporelles et fréquentielles contenues dans le signal. Ces transformées sont appelées représentations temps-fréquence (RTF). Il convient de considérer le passage par RTF au domaine temps-fréquence, comme une distribution de l'information contenue dans le signal analysé de façon à en faciliter l'interprétation. Les RTF présentent l'avantage majeur de mettre en évidence les comportements non-stationnaires du signal, en effet un signal réel est de façon global non stationnaire mais il est localement stationnaire, ainsi nous pouvons utiliser des traitements dédiés aux signaux stationnaires sur les parties du signal qui le sont. La relation existant entre représentation temps-fréquence et représentation fréquentielle d'un signal peut se comparer à la relation entre une suite de notes musicales écrites sur une portée et l'histogramme de ces notes, en effet une partition rend compte à la fois de la fréquence des notes mais également de l'ordre dans lequel elles doivent être jouées, alors que l'histogramme nous donne juste les proportions dans lesquelles elles seront présentés [9].

CONCLUSION

Il a été question pour nous dans ce chapitre de généraliser les roulements et bases de données il en ressort que, par leur morphologie, les roulements nécessitent les conditions d'analyse de défauts pour assurer le bon fonctionnement des machines. D'où l'importance de concevoir pour eux un dispositif d'acquisition de données et en suite les stockées dans une base.

CHAPITRE 2 : EMISSION ACOUSTIQUE ET ANALYSE VIBRATOIRE

INTRODUCTION

De nombreuses ressemblances existent entre l'analyse vibratoire et l'émission acoustique. Leurs principes ne sont d'ailleurs pas si éloignés. L'analyse vibratoire traduit les mouvements relatifs d'une structure soumise à une sollicitation dynamique. La mesure de vibrations impose peu de contraintes au niveau de l'installation des capteurs : un ou plusieurs accéléromètres (de type piézoélectrique) placés à proximité de la source vibratoire mesurent les vibrations dans une ou plusieurs directions. Quant à l'émission acoustique, elle est causée par des déformations à l'échelle microscopique : une sollicitation statique ou dynamique de la pièce fait naître des micro déplacements internes au matériau (dislocations, maclage...) qui créent des ondes à hautes fréquences. L'atténuation rapide de ces ondes impose de placer le capteur au plus près de la source d'émission acoustique. L'analyse vibratoire, méthode de choix qui a fait ses preuves depuis longtemps déjà dans le milieu industriel, fournit une mine d'informations grâce à l'analyse temporelle et surtout fréquentielle des signaux [24, 25].

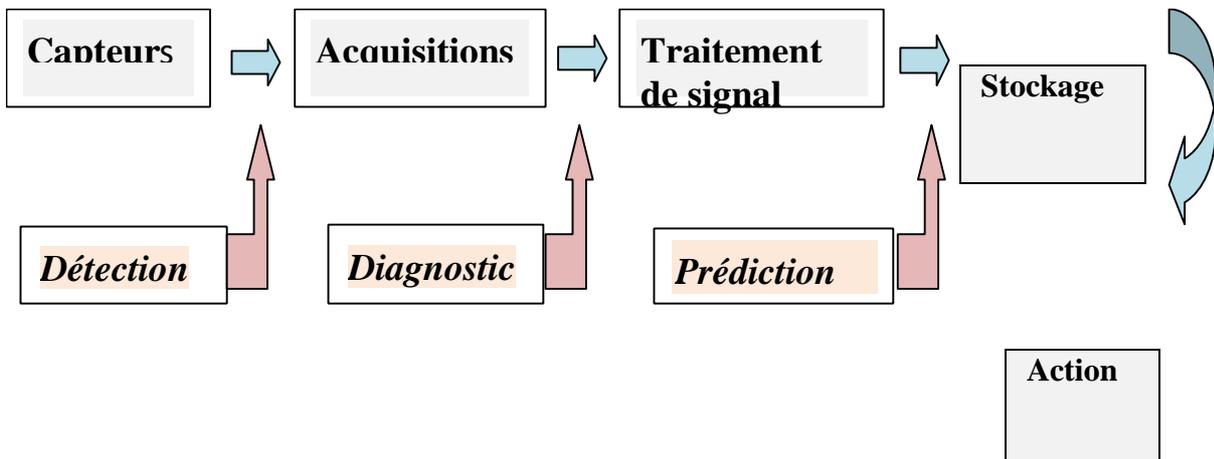


Figure 3.2: Chaîne générale d'acquisition de données [25]

2.1 ANALYSE VIBRATOIRE

Un corps est dit en vibration lorsqu'il est animé d'un mouvement autour d'une position de référence. L'une de ses caractéristiques est la période T [14].

2.1.1. Origine des vibrations

Elles sont dues :

- Aux effets dynamiques des jeux ;
- Des contacts de frottement ainsi qu'au déséquilibre des pièces en rotation.

Elles sont inévitables ;

Les vibrations d'une machine tournante se transmettent du rotor à la structure à travers les paliers. Elles seront donc mesurées au niveau des paliers [24].

L'identification précoce des défauts de roulements ainsi que la gravité de ces derniers lors du fonctionnement du roulement peuvent éviter les dysfonctionnements et les pannes des machines. Un tel inconvénient ajouterait non seulement des frais importants au coût d'exploitation de la machine, mais il pourrait également avoir de graves conséquences pour les travailleurs et les utilisateurs dans des applications critiques. D'où la nécessité d'une activité de suivi d'état pour assurer un fonctionnement continu du système [23]. Le contrôle non destructif, que ce soit par l'analyse vibratoire ou par l'émission acoustique a le même but, détecter des défaillances par l'installation de différentes alarmes. Elles sont définies par l'utilisateur et doivent correspondre à des seuils auxquels des défauts sont détectés. Ces alarmes permettent de déterminer les éléments qui sont en cours de défaillance et qui doivent être contrôlés par le personnel de maintenance. Cela va rendre possible la planification des phases de maintenance, et porte aussi le nom de maintenance préventive (Voir figure ci-dessous). L'intérêt de l'émission acoustique est de définir l'état de santé des matériaux par l'étude des fissures ou des composants qui constituent la machine tournante (roulement à billes) pendant son fonctionnement. L'émission acoustique fait partie des méthodes de Contrôle Non Destructif (C.N.D). Aujourd'hui, la méthode la plus utilisée et la plus connue dans l'industrie est **l'analyse vibratoire**. Elle s'est développée avec l'émergence de l'informatique et avec l'amélioration des procédés de traitement du signal [24].

On utilise à cet effet des paramètres calculés :

- Soit dans le domaine temporel
- Soit dans le domaine fréquentiel
- Soit dans les deux à la fois

2.1.2 Choix des paramètres de surveillance

Une analyse cinématique de la machine permet de définir les paramètres utiles à la surveillance. Elle repose sur la connaissance des éléments suivants :

Eléments constitutifs de la machine : éléments mécaniques, chaînes cinématiques, dimensions.

Paramètres de fonctionnement : vitesse, puissance, charge.

Manifestations des phénomènes attendus : fréquences caractéristiques des défauts possibles (balourd, lignage, fixation...), typologie spectrale (spectre théorique correspondant au défaut) [25].

2.1.3 Chaîne d'acquisition

La chaîne d'acquisition (Figure 3.2) est, comme signalé dans le cas de l'analyse par émission acoustique, un élément important de l'analyse vibratoire. Elle a pour objectif de transformer le signal sinusoïdal généré par les accélérations du système en un signal exploitable.

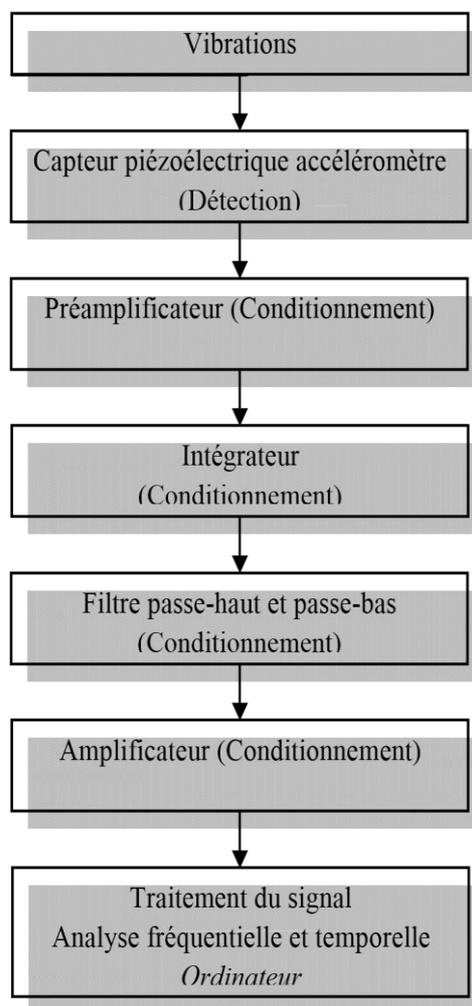


Figure 7.3 : Chaîne de mesure de l'Analyse Vibratoire [24]

2.1.4 Chaîne de mesure vibratoire

Le monde de l'industrie et des transports dispose de machines et d'installations de plus en plus performantes et complexes. Ils ne peuvent être exempts de perturbations et de

défaillances, influant sur la qualité du produit, pouvant provoquer l'arrêt immédiat d'une machine et porter atteinte au bon fonctionnement d'un système de production entier. Le diagnostic de ces machines, s'appuie essentiellement sur la surveillance de symptômes liés à différentes conditions de dégradation. Ces symptômes peuvent être tirés de diverses sources d'information, parmi lesquelles l'analyse vibratoire et acoustique occupe une place prépondérante. Aujourd'hui, de nombreuses techniques efficaces sont bien établies, ancrées sur des outils puissants offerts notamment par la théorie des processus cyclo stationnaires. Le transducteur (capteur de vibration) soumis à la vibration converti les effets mécaniques de celle-ci en signal électrique pré-amplifié ayant la forme de la vibration.

Ce signal est reçu soit par un mesureur qui effectue une mesure de niveau global soit par un analyseur qui effectue une analyse de fréquence.

2.1.5 Les appareils de mesure

On distingue fondamentalement 2 types de surveillance :

- ❖ La surveillance on-line (les capteurs sont installés à demeure sur les machines et connectés à un système de surveillance)
- ❖ La surveillance off-line (les mesures sont réalisées à intervalles réguliers par un opérateur équipé d'un mesureur ou d'un collecteur de données)

Le mesureur relève le niveau global de la vibration sur une large gamme de fréquence. Cela représente l'état de la machine et indique son évolution.

L'analyseur (les mesures sont alors faites avec un collecteur de données) permet de tracer le spectre (analyse fréquentielle). Nous pouvons donc identifier les défauts (diagnostic) et les suivre (comparaison des raies, correspondantes au défaut, avec un spectre de référence ou signature).

2.2 ACQUISITION DU SIGNAL

La mesure est réalisée par 2 types de capteurs

- ❖ Les accéléromètres pour des mesures de vibration absolues (placés sur des paliers à roulement).
- ❖ Les sondes de déplacement ou de proximité pour des mesures de déplacement relatif de l'arbre dans les paliers (Placés sur des paliers lisses, fluides ou des machines à rotor léger sur un bâti massif : la vibration n'est pas perçue par le bâti)

[29].

2.3 PARAMETRES DE SURVEILLANCE

2.4 Grandeurs mesurées

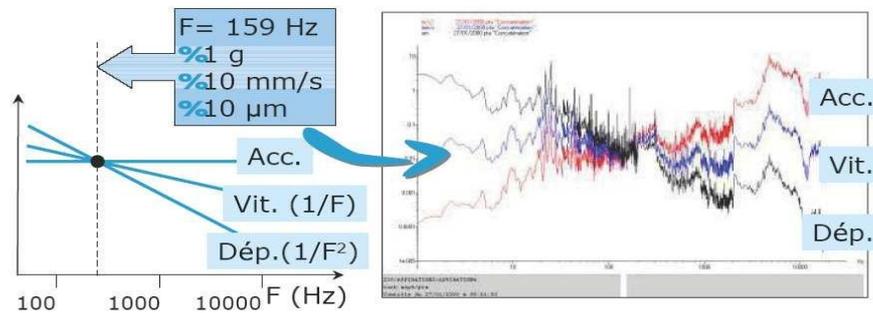


Figure 4.2: grandeur mesurée

Pour un accéléromètre, le signal peut être exprimé en :

Accélération (mm/s^2 ou $g : 9,81\text{m/s}^2$)

Vitesse (mm/s)

Déplacement (μm ou mm)

Pour une sonde de déplacement le signal est exprimé en déplacement (μm)

Le choix de l'unité n'est pas indifférent. Les mesures en accélération sont à privilégier ($0 < F < 20000$ Hz), les mesures en vitesse (réservées aux basses fréquences $F < 1000$ Hz) et en déplacement (très basses fréquences $F < 100$ Hz) étant atténuées par les fréquences élevées [23].

2.5. Surveillance

La comparaison des mesures vibratoires effectuées à intervalles de temps déterminés dans des conditions de fonctionnement identiques permet de suivre l'évolution d'un défaut en exploitant le signal vibratoire [18]. A partir de ces mesures, il est possible d'obtenir un historique de l'évolution du défaut par rapport à un niveau de référence caractérisé par la signature vibratoire de la machine en bon état. Les critères d'évaluation des niveaux vibratoires permettant d'estimer la sévérité des défauts et donc de l'état de fonctionnement de la machine. La sévérité vibratoire représente la valeur efficace de la vitesse de vibration mesurée dans la bande fréquentielle [10-1000 Hz] sachant que les critères d'évaluation dépendent de la classe dans laquelle la machine se situe. Mais ces méthodes dites « mesures des niveaux globaux » restent imprécises et ne permettent pas la détermination de la cause de l'augmentation du niveau vibratoire [24].

2.6. Diagnostic

Pour établir un diagnostic vibratoire, il est souvent nécessaire de faire appel à des outils mathématiques relativement élaborés. Ces outils doivent assister l'opérateur et lui permettre de remonter aux origines du ou des défauts. Mais dans l'absolu, les signaux vibratoires sont insuffisants pour établir un diagnostic. C'est pourquoi il est indispensable de connaître non seulement la cinématique de la machine, mais également les caractéristiques de ses composants ainsi que leurs différents modes de dégradation. La connaissance de ces modes de défaillance et de leurs influences sur le niveau de vibration est à la base d'un diagnostic et d'une surveillance fiable [18].

2.7. Outils d'analyse vibratoire

2.7.1 Capteurs de vibrations

Le capteur est un dispositif permettant de capter un phénomène physique et de le restituer sous forme de signal...Les capteurs sont les éléments de base des systèmes d'acquisition de données. On peut alors classer les capteurs en deux catégories, les capteurs à contact qui nécessitent un contact direct avec l'objet à détecter et les capteurs de proximité. Chaque catégorie peut être subdivisée en trois catégories de capteurs : les capteurs mécaniques, électriques et pneumatiques [18].

Le capteur le plus utilisé est l'accéléromètre piézo-électrique. C'est un capteur utilisant l'effet piézoélectrique afin de mesurer des grandeurs physiques telles que la pression, l'accélération, la vibration ou toute autre grandeur physique engendrant des contraintes ou des déformations mécaniques par le biais de matériaux actifs. Il est constitué d'une masselotte placée sur un cristal piézo-électrique dont les deux faces opposées ont été rendues conductrices par dépôt métallique (voir figure ci-dessous). Il possède une très bonne linéarité et une large bande passante. Un capteur monodirectionnel collé sur la paroi d'un bâti mesurera les accélérations normales à celle-ci. Sa masse, bien que légère (environ 20 g), influence malgré tout toutes les mesures, car sur des parois de grandes dimensions et relativement peu épaisses, une masselotte ajoutée peut faire diminuer les fréquences propres de quelques pour cent.

La fixation du capteur sur la structure peut avoir une réelle influence sur la qualité du signal recueilli. Il peut être fixé de diverses façons sur la machine : vissé à même la structure, vissé sur une embase collée, magnétique pour les structures ferriques, ou accolé avec une pointe touche. Cette fixation joue un rôle important sur le résultat des mesures, et la largeur de bande peut s'en trouver affectée [25].

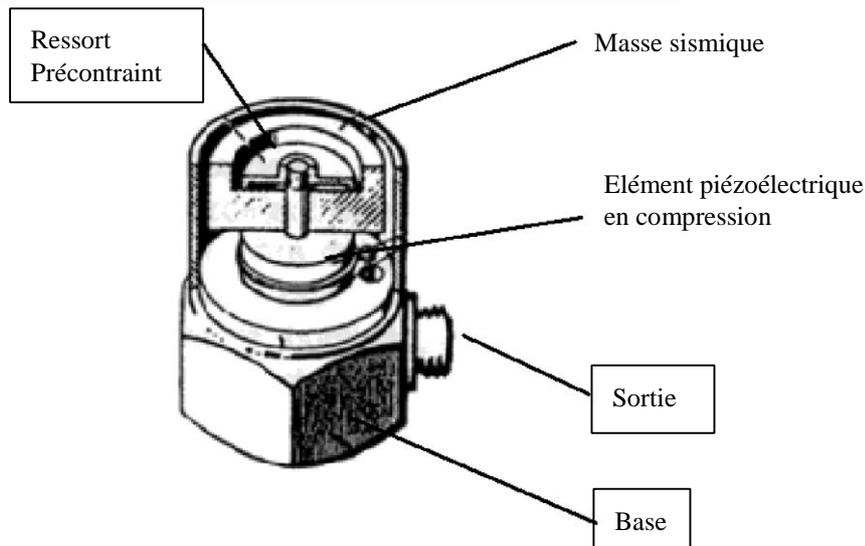


Figure 5.2: Accéléromètre piézoélectrique [25]

Afin que la reproductibilité et la fiabilité des mesures soient bonnes, même en basses fréquences de 0 à 2 kHz et de 0 à 7 kHz (voir figure ci-dessous), il reste préférable d'utiliser des embases collées (cyanoacrylate de méthyle). L'accéléromètre doit être placé en des endroits (pas toujours accessibles) de la structure où la mobilité est maximale pour la bande de fréquences étudiée. La tendance actuelle est toujours de placer le capteur au plus près du composant à suivre, ainsi en limitant les distances et les contacts, le signal s'en trouve moins perturbé.

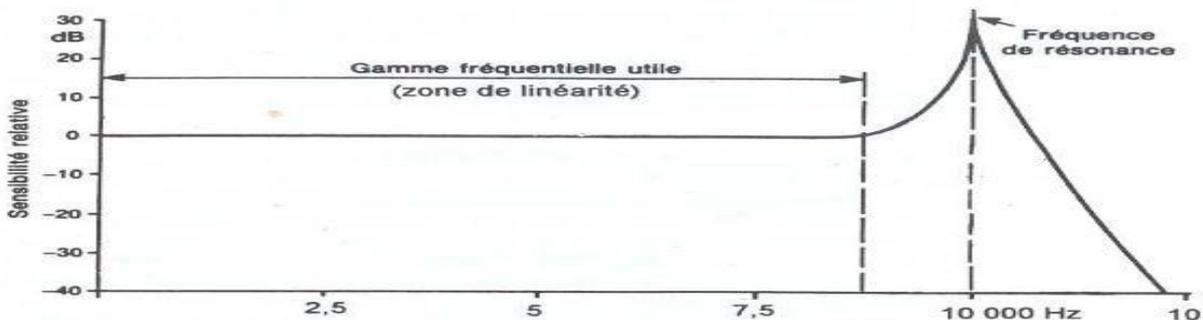


Figure 6.2: Réponse en fréquence d'un capteur Piézoélectrique [25]

2.7.3 Chaîne et matériel d'acquisition

Une surveillance fiable ne peut être obtenue que si d'une part le matériel de mesure est en adéquation avec les caractéristiques vibratoires fournies par les machines et si d'autre part les données le sont avec les outils de post-traitement qui doivent en faciliter le diagnostic [25]. Il est indispensable de posséder un matériel d'analyse des vibrations qui peut être constituée des éléments suivants : en plus de la structure à étudier, des capteurs, conditionneur, pot vibrant

ou marteau d'impact, analyseur et programme d'analyse modale, sont nécessaires, comme le montre la figure ci-dessous [24] :

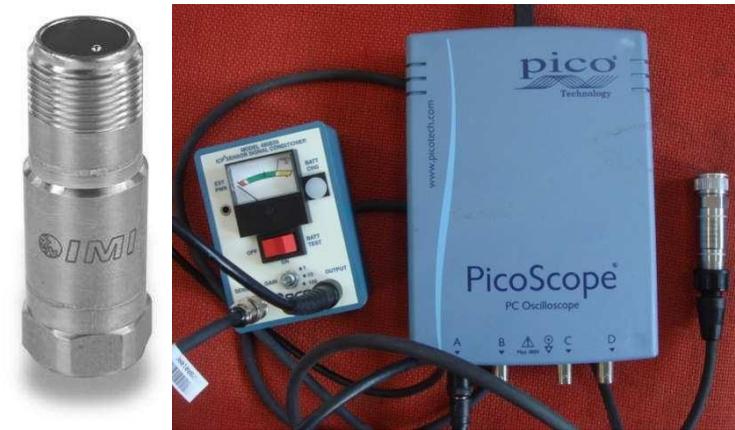


Figure 7.2: Système d'acquisition Picoscope 4424 avec le capteur réf623C01 [24]

Les capteurs doivent être placés sur un certain nombre de points choisis judicieusement, c'est à dire le plus proche possible des sources de vibrations et dans une direction donnée, si ces sources sont connues et si la structure le permet. L'appareil en analyse vibratoire utilisé pour la phase d'essais est le Picoscope 4424 (voir figure ci-dessus). C'est un appareil généraliste, il permet de réaliser des mesures en émission acoustique, en analyse vibratoire et en température. Cet appareillage est énormément utilisé dans le domaine automobile.

La partie essentielle de cet appareil est le capteur, il définit la forme du signal voulu et surtout le type de mesure escompté. Le paramétrage du logiciel d'acquisition est assez simple d'utilisation. Les paramètres importants sont le nombre d'échantillons désiré et la durée d'acquisition du signal. Ces deux paramètres ont une incidence sur la résolution du signal et surtout sur la gamme de fréquence voulue.

Le nombre d'échantillons peut être paramétré de quelques échantillons à quelques Méga échantillons ainsi que la durée d'acquisition qui peut aller de quelques secondes à quelques millisecondes. Le capteur utilisé est un accéléromètre réf 623C01. La gamme de fréquences est de 0.8 kHz à 15 kHz [24].

Avantages de l'analyse vibratoire pour l'analyse des machines tournantes :

- Détection de défauts à un stade précoce.
- Possibilité de réaliser un diagnostic approfondi.

- Autorise une surveillance continue.
- Permet de surveiller l'équipement à distance (télémaintenance).
- Détection des défauts de tous les organes cinématiques de la machine (balourd, défauts d'alignement, jeux, etc.) et de sa structure.

Inconvénients de l'analyse vibratoire :

- Spectres parfois difficiles à interpréter.
- Dans le cas de la surveillance continue, les installations deviennent relativement coûteuses.

Le contrôle non destructif est devenu primordial dans l'industrie, il permet de limiter les coûts de maintenance et de préparer les programmes de maintenance sur des machines à grandes cadences et à fonctionnement 24h/24.

Ce chapitre permet de réaliser le comparatif entre deux méthodes de contrôle non destructif d'un point de vue théorique. L'émission acoustique dans le domaine de la machine tournante est une technique nouvelle, peu connue et peu utilisée. Elle est basée sur l'analyse des ondes élastiques qui sont émises par le biais d'une contrainte dans le matériau ou d'un défaut dans la machine tournante (roulement). Cette méthode s'est améliorée avec l'évolution de l'informatique qui a permis d'augmenter les capacités pour la prise de données et leurs analyses.

Tout d'abord, une présentation de l'émission acoustique a été réalisée. Cette présentation a permis de comprendre le principe et d'expliquer le phénomène des ondes élastiques qui est la base de cette méthode.

La première méthode, qui est fortement utilisée en industrie, est l'analyse vibratoire. Elle permet dans la plupart des cas de réaliser un pronostic de la machine et de définir les différents défauts. La seconde méthode, qui est plus récente, est l'émission acoustique. Elle permet de réaliser une détection de défauts sur machines tournantes.

L'avantage majeur de l'émission acoustique par rapport à l'analyse vibratoire est de réaliser un examen de la machine à de faibles fréquences de rotation (aux environs de deux tr/min). Car, lors de l'analyse vibratoire, les chocs émis par les défauts ne génèrent pas d'accélération importantes afin de traiter les signaux.

Le plus gros inconvénient de l'émission acoustique vient de l'étude des ondes élastiques. La vitesse de propagation des ondes élastiques est le critère principal de cette

méthode. Dans l'hypothèse où le bâti de la machine est constitué de plusieurs types de matériaux, il est très difficile d'analyser les courbes de fréquences [24].

3. EMISSION ACOUSTIQUE

3.1. Principe

Selon la norme NF A 09-350 de 1984, l'émission acoustique résulte d'un phénomène de libération d'énergie sous forme d'ondes élastiques transitoires au sein d'un matériau soumis à une sollicitation [24]. Cette norme a été remplacée par la norme NF EN 1330-9 d'Avril 2000 qui correspond aux essais non destructifs en émission acoustique. L'émission acoustique consiste à détecter des signaux à hautes fréquences (ultrasons) sur une gamme de 20 kHz à 10 MHz.

L'émission acoustique fait partie des méthodes de contrôle non destructif. Elle a un grand intérêt pour la maintenance conditionnelle car elle permet de planifier des phases de contrôle et de définir les interventions à l'aide de seuils, d'alarmes.

Les premiers travaux réalisés sur l'émission acoustique ont débuté dans les années 1950 par Kaiser. Les premières applications dans le domaine industriel datent des années 1970 avec le contrôle de réservoirs des fusées POLARIS et des contrôles d'équipements sous pression au niveau de la Marine Française quelques années après. Depuis 1980, la technique s'est améliorée et a permis de développer de nouvelles fonctions qui sont : le contrôle de l'état de santé de matériaux (corrosion, fissures), le contrôle de soudure, le contrôle de matériaux composites et la surveillance en service. [24]

Cette technique s'améliore grâce à l'évolution de l'informatique et aux moyens de traitements de signaux et commence à se développer dans le contrôle de machines tournantes.

Comme résumé précédemment, L'Emission Acoustique (EA) découle d'une libération d'énergie sous forme d'ondes (voir *figure ci-dessous*). L'EA permet de relever plusieurs phénomènes : la relaxation de contraintes dans les soudures, la propagation de fissures, la corrosion, les frottements (éléments tournants, les roulements), les fuites (de liquide ou de gaz).

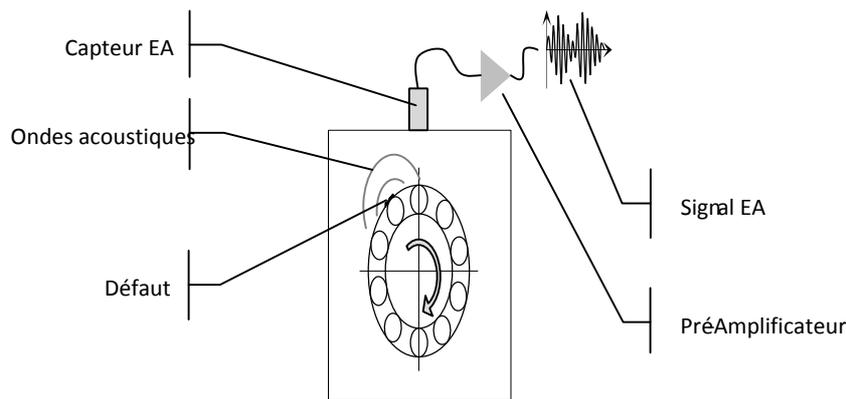
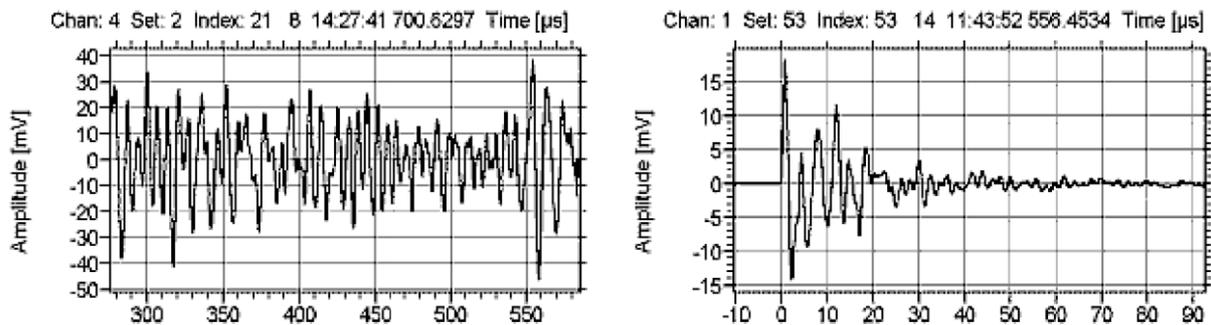


Figure 8.2: Schémas de la chaîne d'émission acoustique, de la création de l'onde mécanique à la visualisation du signal EA[24]

L'analyse par émission acoustique découle de l'analyse des ondes élastiques qui se propagent dans le matériau.

3.2. Types de signaux d'émission acoustique

On distingue deux types de signaux d'émission acoustique, l'émission continue et l'émission discrète par le biais d'évènements (salves). Ces deux types sont la conséquence des paramètres d'acquisition et correspondent à un choix de l'opérateur [24].



Figures 9.2: Représentation d'une émission continue et d'une émission discrète

L'émission est continue ou pseudo-continue, lorsque les salves ne peuvent être séparées les unes des autres. Ce type de signal provient de l'augmentation du bruit de fond qui couvre le signal émis par le défaut de l'élément contrôlé.

Ce type de signal est rencontré lors de la déformation plastique dans des matériaux de type cuivre ou aluminium. Elle est due au fait qu'un grand nombre d'évènements, individuellement peu énergétiques, sont répartis aléatoirement dans le volume déformé et dans le temps.

Elle n'est pas utilisée en milieu industriel et se caractérise par une continuité d'émissions discrètes.

Le bruit de fond est l'information analogique obtenue en l'absence d'émission acoustique.

L'émission acoustique est dite discontinue ou discrète lorsque les salves peuvent être séparées les unes des autres par observation ou traitement du signal. Ce type d'émission acoustique est observé dans les structures métalliques au-delà de la limite élastique. Elle est due aux évènements énergétiques et localisés

3.3 Ondes élastiques

Les ondes élastiques se caractérisent par leurs célérités et leurs amplitudes.

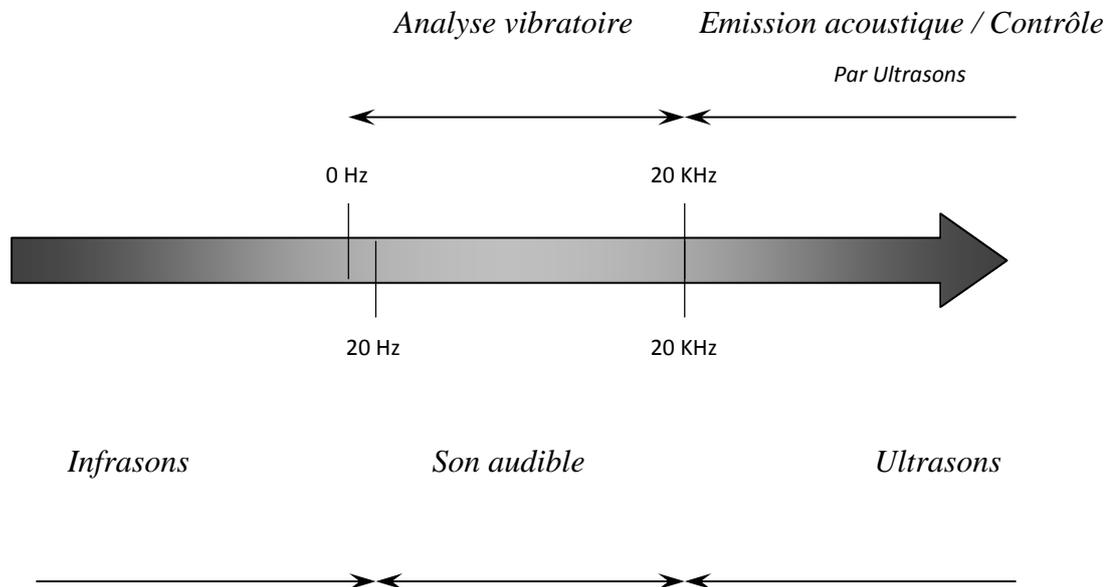


Figure 10.2: Plage de mesures fréquentielles de chaque méthode [24].

L'émission acoustique permet de détecter des ondes de quelques kHz à 10 MHz (Ultrasons) (figure 10.2).

Les ondes ultrasons sont des ondes de vibration. Elles se propagent à l'intérieur des matériaux avec des vitesses qui varient selon le milieu et le type d'ondes.

3.4 Acquisition du signal

Acquérir un signal, c'est récupérer une information numérique ou analogique par un système : scanner, capteur.....dans le même sciage, un signal est dit numérique s'il ne peut prendre que deux valeurs 0 ou 1. Un signal est dit analogique, si la grandeur mesurée varie (de façon continue).

3.5 Chaîne d'acquisition

La chaîne d'acquisition (Figure 11.2) est l'élément essentiel de toutes techniques. Elle permet de transformer un phénomène physique (génération d'ondes élastiques) en un signal exploitable via le capteur. Son intérêt est d'améliorer le signal émis en un signal retravaillé pour faire ressortir ses caractéristiques [24].

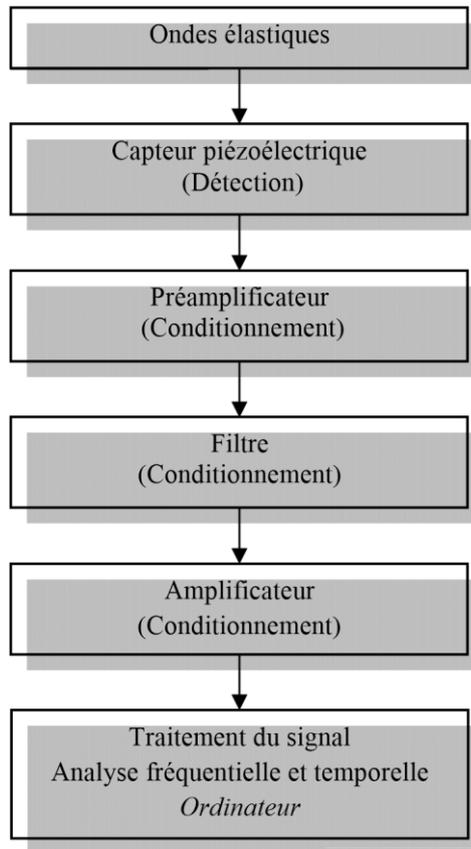


Figure 11.2: Chaîne de mesure de l'Emission Acoustique [24]

La partie conditionnement regroupe le préamplificateur, le filtre et l'amplificateur.

- **Le préamplificateur** se trouve à proximité du capteur. Dans certains cas, il peut être intégré au capteur. Son but est d'effectuer une première amplification du signal et de convertir les ondes élastiques en un signal électrique.

- **Le filtre** permet d'améliorer le signal relevé en le dissociant du bruit relevé lors de la mesure. Un filtre passe-haut va permettre d'éliminer les bruits de fonctionnement de l'installation sur lesquels une mesure en service est effectuée.

- **L'amplificateur** permet de préparer le signal pour qu'il puisse être traité par la suite.

- **Le capteur** idéal devra assurer la conversion des ondes mécaniques en ondes électriques en conservant au mieux les informations contenues dans le signal d'origine.

- **Un capteur piézoélectrique** est un capteur utilisant l'effet piézoélectrique afin de mesurer des grandeurs physiques telles que la pression, l'accélération, ou toute autre grandeur physique engendrant des contraintes ou des déformations mécaniques par le

biais de matériaux actifs. Ainsi le terme piézoélectrique désigne la propriété que présentent certains corps de se polariser électriquement, soit de générer un champ ou un potentiel électrique, sous l'action d'une contrainte mécanique.

Les qualités primordiales pour un capteur sont la sensibilité qui va dépendre de la précision du déplacement de l'ordre de quelques nanomètres, une grande dynamique, une réponse linéaire à des phénomènes dynamiques dont le temps de montée peut être de quelques nanosecondes et la durée de quelques microsecondes, une grande impédance d'entrée et une bande passante très élevée pour ne pas altérer les caractéristiques du signal, une bonne tenue dans le temps pour garantir la fidélité et la répétitivité des mesures.

Les différents types de capteurs pour l'émission acoustique sont : le capteur piézoélectrique, le capteur optique, le capteur capacitif.

Le capteur qui correspond le mieux aux critères cités ci-dessus est le capteur piézoélectrique. La détection de l'onde élastique et sa conversion en un signal d'émission acoustique sont réalisées dans la plupart des cas par des capteurs de type piézoélectrique. Ce capteur est l'élément majeur de la chaîne d'émission acoustique.

3.6. Le capteur piézoélectrique acoustique

Le choix du capteur se fait principalement sur la fréquence de résonance ou sur la bande de fréquences. Il faut que cette fréquence soit proche de la fréquence émise par le signal d'émission acoustique, produit par la source afin de détecter les sources d'émission acoustique. [24]

Les capteurs à émission acoustique sont répertoriés en 2 catégories :

- Les capteurs large bande. Ils sont uniquement sensibles aux ondes longitudinales arrivant perpendiculairement à la face du capteur. Ils ne présentent aucune résonance dans la bande de fréquences considérée. L'avantage de ce type de capteur est de ne pas modifier la forme réelle du signal, en revanche, ils possèdent une faible sensibilité. Ils permettent aussi d'obtenir des signaux très courts et de déterminer des localisations très précises.
- Les capteurs dits « résonants » ont une bande passante moins large et présente un pic de réponse aux alentours d'une certaine fréquence.

L'élément sensible (*Figure ci-dessous*) est constitué d'une céramique piézoélectrique fixée dans un boîtier dont le fond sert de face de couplage à la structure. [24]

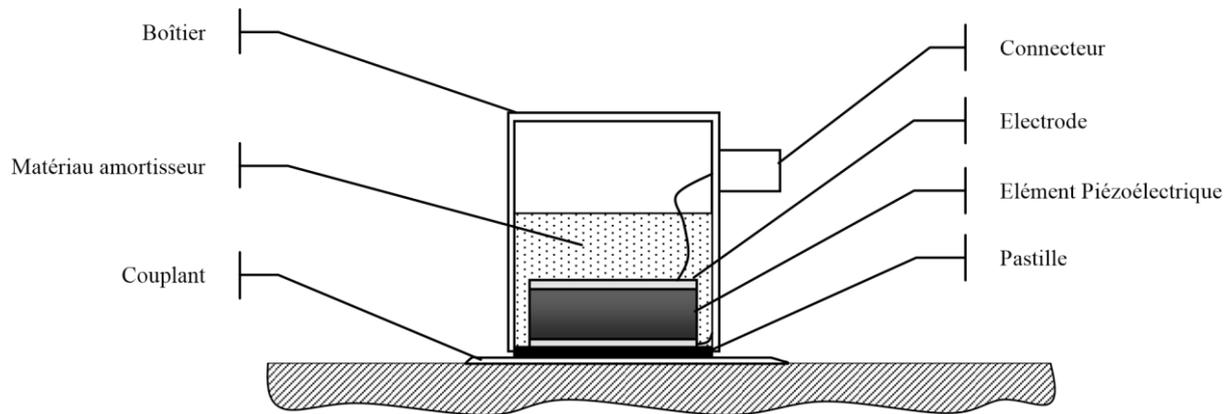


Figure 12.2: Coupe d'un capteur d'émission acoustique piézoélectrique [24]

Les capteurs piézoélectriques sont très sensibles, très fiables et stables dans le temps. Cependant, leur fonction de transfert est assez mal connue. Le capteur peut avoir des caractéristiques différentes qui vont dépendre du préamplificateur. De même certains seront plus ou moins résonants, ce qui de ce fait marque plus ou moins le signal.

Avantages de l'émission acoustique pour l'analyse des machines tournantes :

- Réaliser des analyses sur des machines tournantes qui ont de faibles fréquences de rotation (de l'ordre de 2tr/min).
- Permet de réaliser une analyse de l'évolution du défaut.
- Permet de détecter l'apparition de défauts audibles.
- Autorise une surveillance continue.
- Détection d'un bruit inhabituel pouvant ensuite être analysé par l'analyse vibratoire.

Inconvénients de l'émission acoustique :

- Elle ne permet pas de définir avec précision le défaut sur la machine tournante.
- Elle est complexe à utiliser dans le cas de matériaux hétérogènes (composite).
- La localisation doit se faire par le biais d'un ou plusieurs capteurs. La difficulté peut venir de la taille du bâti ou de l'éloignement de la source acoustique par rapport au capteur. Plus les capteurs sont éloignés de la source, moins le signal est net.
- Lors de l'analyse, en prenant un capteur large bande, le phénomène de bruit dans le signal a un grand risque d'être observé car la plage de fréquences est trop large.
- Sensibilité au bruit ambiant.
- Diagnostic souvent difficile à réaliser.
- Problème de répétabilité des mesures.

3.7 Constitution du signal

Le signal peut être constitué d'une composante unique (une seule période) ou de plusieurs composantes (plusieurs périodes différentes).

Le signal de vibration $x(t)$ modélisé par *McFadden et al.* [28], prend la forme suivante :

$$x^{(t)} = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} h(t - iT)q(iT) + n(t)$$

Où $h(t)$ est la réponse impulsionnelle au capteur, $q(t + P)$ la modulation périodique de période P liée à la répartition de la charge, T le temps d'arrivée entre deux chocs consécutifs et $n(t)$ représente le bruit de fond additif incluant toutes les autres sources de vibrations.

Le modèle modifié de signal de vibration $x(t)$ incluant de légères fluctuations aléatoires aux temps d'arrivée des chocs [23],

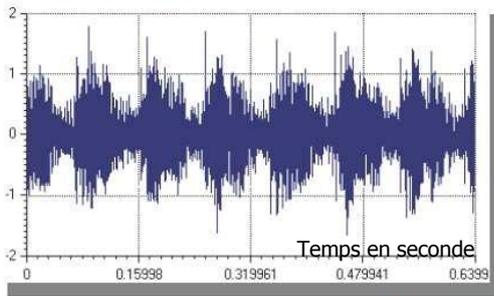
$$x^{(t)} = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} h(t - iT - \tau_i)q(iT) + n(t)$$

Où τ_i est l'incertitude sur le temps d'arrivée des chocs. Ce dernier est modélisé sous la forme d'une variable aléatoire de moyenne nulle et décorrélée avec $\{\tau_i\} = 0$ et $Va\{\tau_i\} = \sigma_\tau^2$. Finalement, le modèle de vibration contenant à la fois les incertitudes sur le temps d'arrivée des chocs et sur leurs amplitudes [39] s'écrit

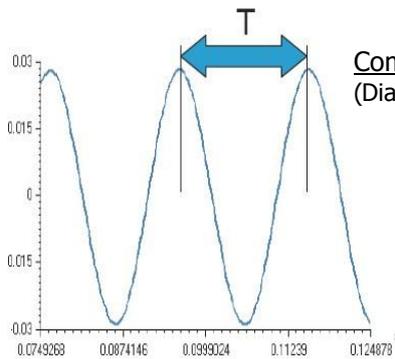
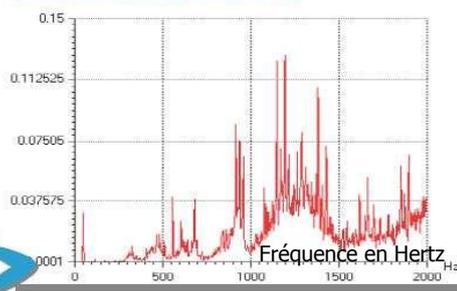
$$x^{(t)} = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} h(t - iT - \tau_i)q(iT)A_i + n(t),$$

Où A_i est l'incertitude sur l'amplitude de choc i . C'est une modulation d'amplitude modélisée sous la forme d'une séquence aléatoire corrélée en delta avec $\{A_i\} = 1$ et $Va\{A_i\} = \sigma_A^2$.

Signal temporel



Signal fréquentiel



Composante unique
(Diapason sonore)

Plusieurs composantes
(Engrènement b.vitesse)

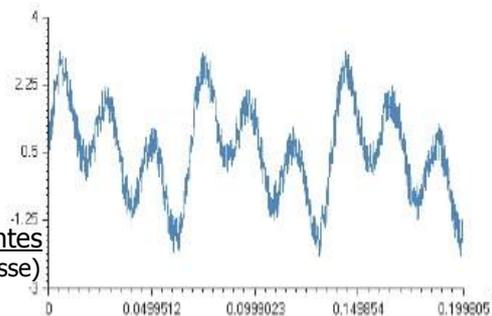


Figure 13.2: signal temporel et fréquentiel

La caractéristique amplitude temps donne la forme du Signal (signal temporel) ;

La caractéristique amplitude fréquence met en évidence les diverses composantes (signal fréquentiel ou spectre).

La période (ou cycle) par seconde est appelée fréquence ($F=T/s$). L'unité est le hertz (1Hz = 1 cycle/s ou 60 CPM (cycle par minute)).

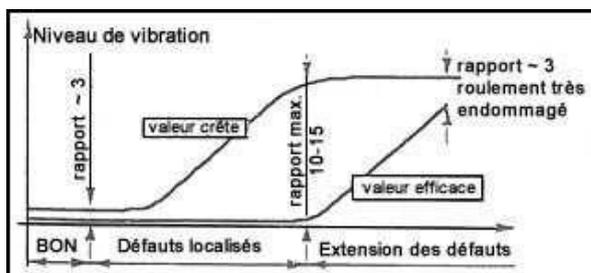


Figure 14.2: caractéristique amplitude fréquence

L'apparition de petits défauts sur les billes ou chemin de roulement produisent des chocs vibratoires donc la valeur crête croit alors que la valeur efficace reste stable.

Le développement et l'extension de l'écaillage fait croître la valeur efficace alors que la valeur crête se stabilise. Lorsque le facteur de crête atteint 3, le roulement est HS.

3.8 Type de détection

Il doit être clairement identifié parmi :

L'amplitude crête à crête A_{p-p} (amplitude maxi du signal)

L'amplitude crête A_{0-p} (indique le niveau des chocs de courte durée)

L'amplitude efficace A_{rms} , valeur efficace ou Rms (tient compte du contenu énergétique et des capacités destructrices de la vibration)

En pratique on utilise souvent :

La valeur efficace pour les mesures issues d'accéléromètre,

L'amplitude crête à crête pour les mesures issues de sonde de déplacement.

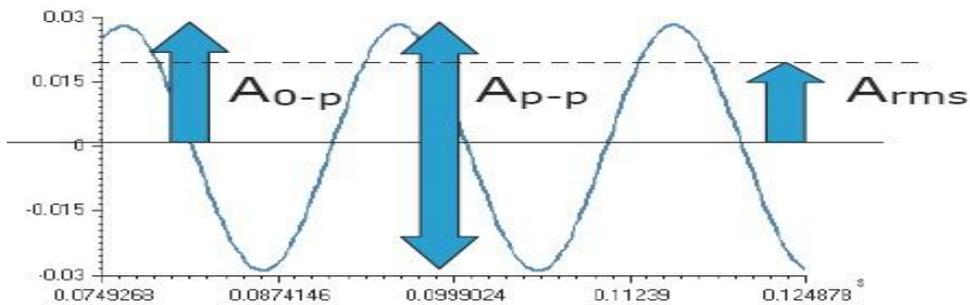


Figure 15.2: visualisation de l'amplitude Max du signal

3.9 Analyse fréquentielle

Toute anomalie est traduite par une fréquence correspondante à celle du phénomène qui la provoque d'où analyse de spectre, ce qui permet le diagnostic.

La mesure de l'amplitude de certaines raies du spectre (correspondantes au défaut recherché) permettra le suivi de ce défaut.

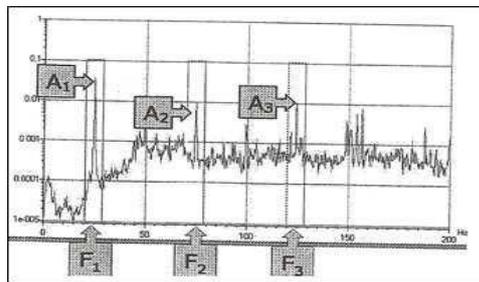


Figure 16.2: Analyse fréquentielle du défaut

Si le défaut apparaît à la fréquence fondamentale F_1 , le suivi de l'amplitude de la raie A_1 et des harmoniques A_2 ($F_2=3F_1$) et A_3 ($F_3=5F_1$) permettra le suivi de ce défaut.

L'analyse fréquentielle ou de spectre, nécessite un matériel approprié mais il permet de faire du diagnostic. La démarche est simple mais la lecture du spectre est parfois difficile et délicate.

• **TABLEAU COMPARATIF D'ANALYSE DE L'EMISSION ACOUSTIQUE ET L'ANALYSE VIBRATOIRE**

	Analyse par émission acoustique	Analyse vibratoire
Capteur	Capteur piézoélectrique (autre nom : capteur d'émission acoustique)	Capteur piézoélectrique (autre nom : accéléromètre)
Fréquence	Détection de signaux hautes fréquences (20 kHz à 10 MHz)	Détection de signaux basses fréquences (0 Hz à 20 kHz)
Applications :	<ul style="list-style-type: none"> - Surveillance de l'apparition de phénomènes hautes fréquences, - Localisation possible avec plusieurs capteurs, - Détection précoce des défauts à caractère évolutif avec un suivi de leur progression. 	<ul style="list-style-type: none"> - Surveillance de machine pour la maintenance prédictive, - Identification de l'origine et de la nature du signal, - Détection précoce des défauts dans la machine tournante, - Réalisation de diagnostic approfondi avec l'analyse dans le domaine spectral.
Restrictions	<p>Problème d'atténuation des ondes hautes fréquences : impose de disposer le capteur au plus près de la source.</p> <p>Analyse plus complexe dans les matériaux hétérogènes (composite, ...).</p>	Les analyses approfondies nécessitent une interprétation des spectres par des spécialistes.
Observations	Applications encore rares dans la machine tournante.	Méthode déjà utilisée dans le domaine de la surveillance des machines tournantes.

Tableau 2 : Tableau comparatif des deux méthodes [24].

4. LES SIGNAUX

La complexité des signaux nécessite une implication humaine dans l'utilisation des outils de traitement et de son expérience pour interpréter les résultats obtenus. Pour alléger la demande d'expertise de l'utilisateur, des indicateurs scalaires, appelés "indicateurs d'état" ont été développées. Ces indicateurs doivent refléter l'état de santé des machines tournantes, en particulier en présence de défaut. Ils mesurent idéalement une certaine propriété du signal, dont l'occurrence est corrélée avec le symptôme d'un défaut [23].

Les signaux recueillis sur un dispositif expérimental sont des fonctions réelles $(S(x, \dots, t))$ de variables réelles (x, \dots, t) . Afin d'alléger l'écriture, nous faisons l'hypothèse générale que les signaux sont adéquats au traitement.

La transformée de Fourier à court terme (TFCT) considère implicitement un signal non stationnaire comme une succession de situations localement stationnaires. Historiquement la TFCT, ainsi que ses variantes telles que la transformée de Gabor [10] ont été les premières méthodes proposées. La TFCT utilise une fonction $h(t)$, appelée fenêtre d'analyse. Cette fenêtre sélectionne une portion du signal et se déplace par translation le long de l'axe temporel, on la qualifie de fenêtre glissante. A chaque déplacement de la fenêtre, qui peut s'effectuer avec ou sans recouvrement, on associe le spectre instantané de la portion de signal analysé par la fenêtre à la position temporelle de la fenêtre.

4.1. Classification des signaux

Parmi les diverses classifications existantes, nous nous bornerons au signal analogique et numérique.

4.1.1 Signal analogique

Un signal est dit analogique si l'amplitude de la grandeur physique le représentant peut prendre une infinité de valeurs dans un intervalle donné.

- **Signal continu** : C'est un signal qui varie 'lentement' dans le temps : température, débit, niveau.
- **Forme** : C'est la forme de ce signal qui est importante : pression cardiaque, chromatographie, impact.
- **Fréquentiel** : C'est le spectre fréquentiel qui transporte l'information désirée : analyse vocale, sonar, spectrographie.

4.1.2 Signal numérique

Un signal est numérique si l'amplitude de la grandeur physique le représentant ne peut prendre qu'un nombre fini de valeurs. En général ce nombre fini de valeurs est une puissance de 2.

- **Tout ou rien (TOR)** : Il informe sur un l'état bivalent d'un système. Exemple : une vanne ouverte ou fermée.
- **Train d'impulsion** : Chaque impulsion est l'image d'un changement d'état. Exemple : un codeur incrémental donne un nombre fini et connu d'impulsion par tour.

Échantillonnage : C'est l'image numérique d'un signal analogique. Exemple : température, débit, niveau.

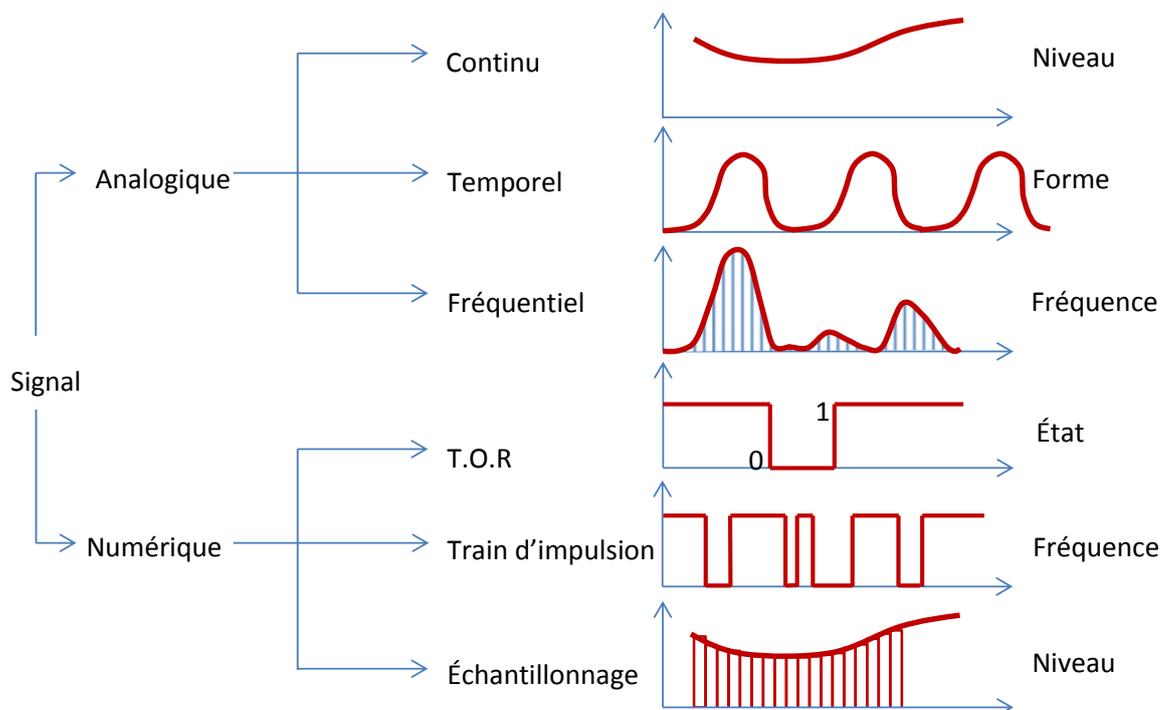


Figure 17.2: classification des signaux[12]

4.2 Traitement du signal

4.2.1 Numérisation

Le traitement numérique du signal utilise les calculateurs (Ordinateur, microcontrôleur, DSP...) et donc l'opérande de base est le nombre. La conversion analogique numérique est donc une obligation pour traiter de façon rapide et fiable les données de processus physiques (sons, image, mesure physique [température, pression, tension, courant] ...). Parfois ce même traitement numérique doit être reconverti en signaux analogique pour être interprété par

d'autres organes (oreille, moteurs, détecteurs...). L'architecture globale est donc représentée sur la figure ci-dessous.

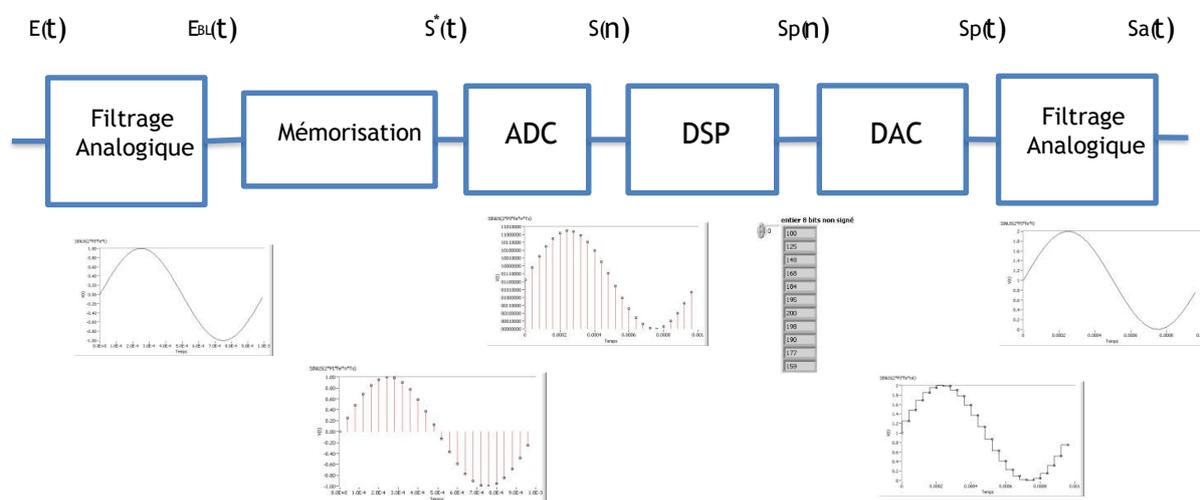


Figure 18.2: Architecture globale du traitement de signal[12]

De façon mathématique, l'opération de mémorisation s'appelle l'échantillonnage du signal analogique et consiste à la multiplication du signal analogique par la distribution peigne de Dirac. Cela a des conséquences au niveau spectral qui rend obligatoire l'emploi d'un filtrage pour limiter la bande passante du signal d'entrée. Le passage du domaine continu au domaine des signaux numérisés correspond à deux approximations successives du signal analogique. Dans le domaine des temps, l'échantillonnage remplace un temps continu par des valeurs à des instants entiers multiples du temps d'échantillonnage. Le signal à temps discret a donc perdu la notion de temps. On a une suite de nombre avec un indice et non plus un temps. La seconde approximation est la quantification de l'information qui affecte la valeur vraie d'une erreur VQ.

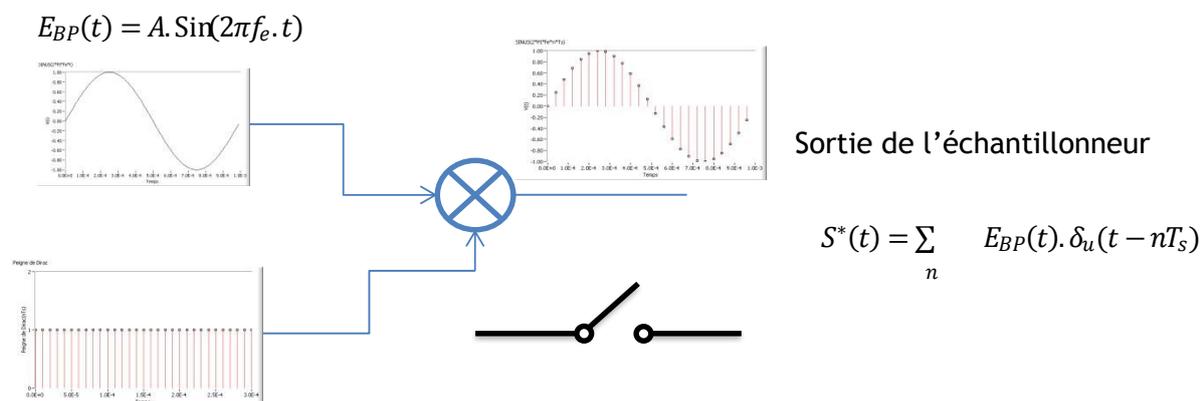


Figure 19.2: Impulsion d'échantillonnage $\delta u(t)$

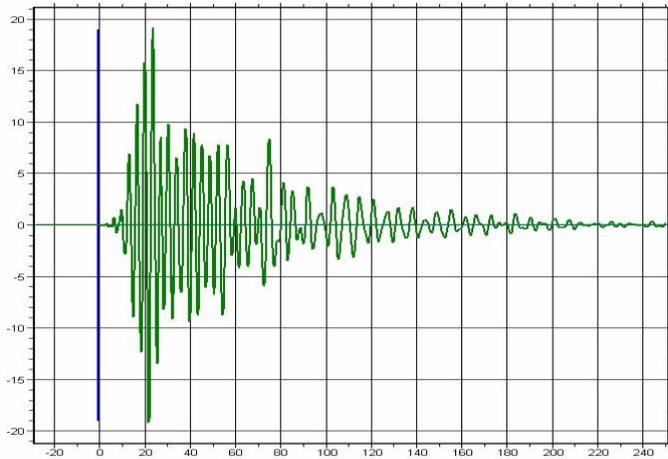


Figure 19.3: Représentation temporelle d'un signal [17]

Les systèmes de traitement actuels utilisent l'émission discontinue, correspondant à un signal caractérisé par un temps de début et de fin.

Le signal type d'émission acoustique peut se présenter sous la forme suivante :

Les principales caractéristiques déterminées par le système de mesure sont les suivantes :

- La durée ;
- Le temps de montée ;
- L'amplitude maximum ;
- Le nombre d'alternance ;
- L'énergie ;
- Le temps d'arrivée de l'onde sur un capteur est également enregistré afin de permettre une localisation précise.

La représentation donnée en figure 2 est idéale, en pratique les signaux enregistrés lors des contrôles, sont très complexes et très divers.

4.2.2 Documentation

Des documents peuvent être réalisés et inclus dans le plan de maintenance (partie plan de maintenance conditionnelle).

Ils définiront la surveillance à réaliser sur les équipements choisis.

- Fiche inventaire : tous les équipements suivis en surveillance sont listés (nom, référence, localisation)

- Fiche implantation : situation des équipements sur un plan de masse et tracé du chemin (route) à suivre pour réaliser la collecte.

Par équipement :

- Fiche cinématique : cinématique des équipements avec mise en évidence des paliers.

- Fiche position points : mise en évidence des points de mesure sur l'équipement ainsi que des directions (croquis, schémas, photos)

- Fiche mesure : définition des points de mesure (position, direction, unités, alarmes) et indication des conditions de mesure.

- Fiche technique : caractéristiques des équipements et de certains composants (roulement, courroie, turbine...)

- Fiche analyse : mise en évidence de toutes les fréquences caractéristiques des composants.

Pour le suivi :

- Fiche tendance : utilisée si le suivi se fait manuellement et non par un logiciel spécifique de traitement. On crée une fiche par position, par direction et par unité [18].

5. ACQUISITION DES DONNEES.

Une chaîne d'acquisition est un système électronique permettant d'exploiter une grandeur physique. Elle se repose sur les points suivants :

- Concevoir la chaîne d'acquisition
- Ou analyser la chaîne existante à disposition
- Traiter les signaux et les informations acquis

6. METHODE DE COLLECTE DES DONNEES

Le choix de la méthode dépend de la stratégie de collecte des données, du type de variable, de la précision souhaitée, du point de collecte et des compétences de l'agent recenseur. Les relations qui existent entre une variable, sa provenance, et les méthodes concrètement utilisées pour sa collecte peuvent aider à choisir la méthode appropriée. Les principales méthodes de collecte sont les suivantes :

- L'enregistrement : les registres et les licences sont particulièrement utiles pour un dénombrement complet, mais se limitent aux variables qui évoluent lentement, comme le nombre des navires de pêches et leur caractéristique.

- Les questionnaires : ce sont des formulaires qui sont remplis et retournés par les déclarants. C'est une méthode peu coûteuse, utile là où les taux d'alphabétisation sont élevés et les déclarants coopératifs.
- Les entretiens : ce sont des formulaires qui sont remplis à l'occasion d'un entretien avec le déclarant.
- Les observations directes : les mesures effectuées directement sont la méthode la plus précise pour de nombreuses variables, comme les captures, mais sont souvent coûteuses.
- Les déclarations : la principale alternative aux mesures directes consiste à demander aux informaticiens et aux autres intéressés de rendre compte de leurs activités.
- Les rapports.

7. LES MODELES D'ACQUISITION DES DONNEES

En plus de Christophe Migeon cité plus haut qui a travaillé sur l'analyse vibratoire, nous avons d'autres auteurs qui ont aussi travaillé sur la même thématique tel que :

N. HAMWAOU, Boisson et al dans la prévision du bruit et diagnostic vibroacoustique d'un système composé d'un rotor sur deux paliers à roulements, 1992. Le matériel utilisé est le suivant [26] : L'accéléromètre, un ordinateur portable, un banc à essai et un moteur

H Hamzaoui-congres français de mécanique appliquée, La réalisation des simulations des défauts isolés sur des roulements et/ou pour différentes vitesses de rotations et différentes bandes séquentielles, 2015-documents.inist.fr, laboratoire de mécanique et structures, à l'issue de ce ci il a utilisé les équipements suivant : deux transmissions par engrenage, Un accéléromètre, Un moteur palier à roulements, Frein, Boite de commande frein [31].

R. YOUNES et al, sur la thématique intitulé optimisation d'indicateurs de défauts combinés d'engrenages et de roulements par la perception sonore, 8 mai 1945 Guelma, Algérie et INSA de LION France ont utilisés les équipements tels que deux transmissions par engrenages, un accéléromètre, le frein, moteur palier à roulement, boîte de commande de frein [32].

AHMED HAMIDA BOUDINAR et al ont travaillé sur la thématique intitulée diagnostic des défauts de roulements d'un moteur asynchrone, 39-48, 2019 revues. elth.pub.ro avec pour équipements : un ordinateur, une carte d'acquisition, un capteur de courant, une génératrice à courant continu, un tachymètre et l'alimentation triphasé.

AOUFI et al, ont travaillé sur la thématique d'étude et réalisation d'un banc d'essai dédié aux applications du contrôle non destructif par courant de Foucault, 2018/2019 Algérie. Suivi des équipements ci-après : carte Arduino (UNO), driverTB6600, fin de course, alimentation, la sonde et un moteur pas à pas.

CHAPITRE 3 : CONCEPTION ET REALISATION

INTRODUCTION

Au cours de ces dernières décennies, les technologies de surveillance de l'état des machines (Control Monitoring) se sont beaucoup développées. On peut citer des techniques telle que :

L'analyse vibratoire et l'émission acoustique. Néanmoins, les nouvelles technologies introduisent souvent des nouveaux types d'informations qui n'ont pas été pleinement exploités. Ce développement a présenté un défi important pour la communauté des chercheurs. Il s'agit d'analyser, de synthétiser et d'intégrer ces nouvelles informations dans les calculs de fiabilité et dans la programmation des opérations de maintenance. La maintenance conditionnelle est caractérisée par trois éléments clés qui sont :

- l'acquisition de données (à savoir la collecte et le stockage de l'information santé de la machine),
- le traitement des données (l'extraction des données acquises),
- la prise de décision (à savoir la recommandation de mesures de maintenance grâce à un diagnostic et / ou un pronostic). Ensuite, nous présenterons la réalisation du dispositif d'acquisition de données tel que décrit précédemment, ainsi que les tâches effectuées et les moyens utilisés pour parvenir aux résultats escomptés. En se basant sur l'étude théorique faite précédemment dans la partie intitulé **ETUDE CONCEPTUELLE**, nous allons aborder la partie réalisation du module et du programme ARDUINO que nous allons utiliser pour commander notre module. Celle-ci présente l'étape la plus importante et la plus complexe de notre mémoire, car même si la simulation a été faite avec succès dans Proteus la pratique est tout à fait différente. Pour réaliser cette commande, nous avons opté pour une électronique numérique à base de microcontrôleur sachant qu'elle contient plusieurs avantages comme :

- ❖ Nombre de composant réduit, donc moins encombrant, un cout et un poids moindre
- ❖ Une robustesse vis-à-vis des perturbations
- ❖ Son utilisation est simple et souple : les paramétrages de réglage sont modifiés par programmation de préférence que par la modification du câblage dans la régulation.

3. ETUDE CONCEPTUELLE

3.1 PLATE FORME DE CONCEPTION

Toute conception ayant besoin d'être testé au fur et à mesure de la réalisation nous avons opté pour le choix d'un logiciel de simulation pour éviter de faire et défaire notre câblage a tous bout de champ. De ce fait nous avons opté pour le logiciel PROTEUS.de ce même pour pouvoir interpréter et commander nos éléments. Notre microcontrôleur a besoin des instructions, pour programmer ce dernier nous utiliserons L'IDE d'ARDUINO.

3.2. SYNOPTIQUE GENERAL DU SYSTEME

Notre prototype est constitué :

- D'une alimentation
- D'une sonde de fréquence ou capteurs piézoélectriques
- D'un module d'acquisition de données
- D'une carte ARDUINO
- D'une carte SD
- Des diodes électroluminescentes
- D'un afficheur

- **SYNOPTIQUE GENERAL DU SYSTEME**

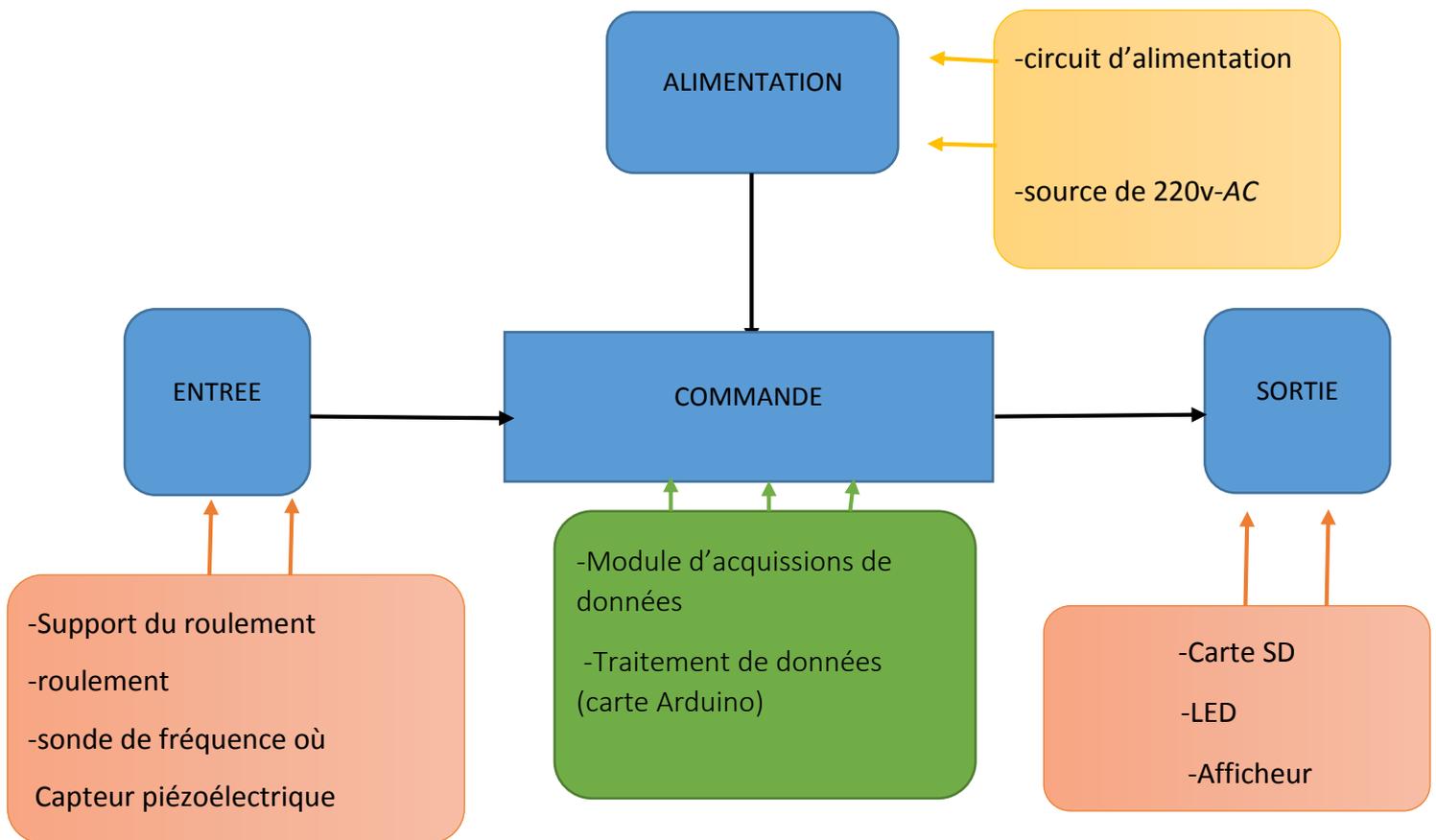


Figure 20.2: synoptique générale

3.3 Analyse fonctionnelle du dispositif d'acquisition

3.3.1 Analyse du besoin

Le but pour nous de faire une analyse du besoin dans le cadre de notre projet était de définir le besoin auquel notre dispositif devra répondre et d'explicitier l'exigence, fondamentale qui justifie la réalisation de notre dispositif. Car un tel projet n'a de sens que s'il satisfait le besoin de l'utilisateur et nous avons schématisé le besoin à travers un diagramme bête à corne.

➤ **Diagramme bête à corne** : est un outil qui définit le besoin auquel répond le système.

- **Diagramme bête a corne**

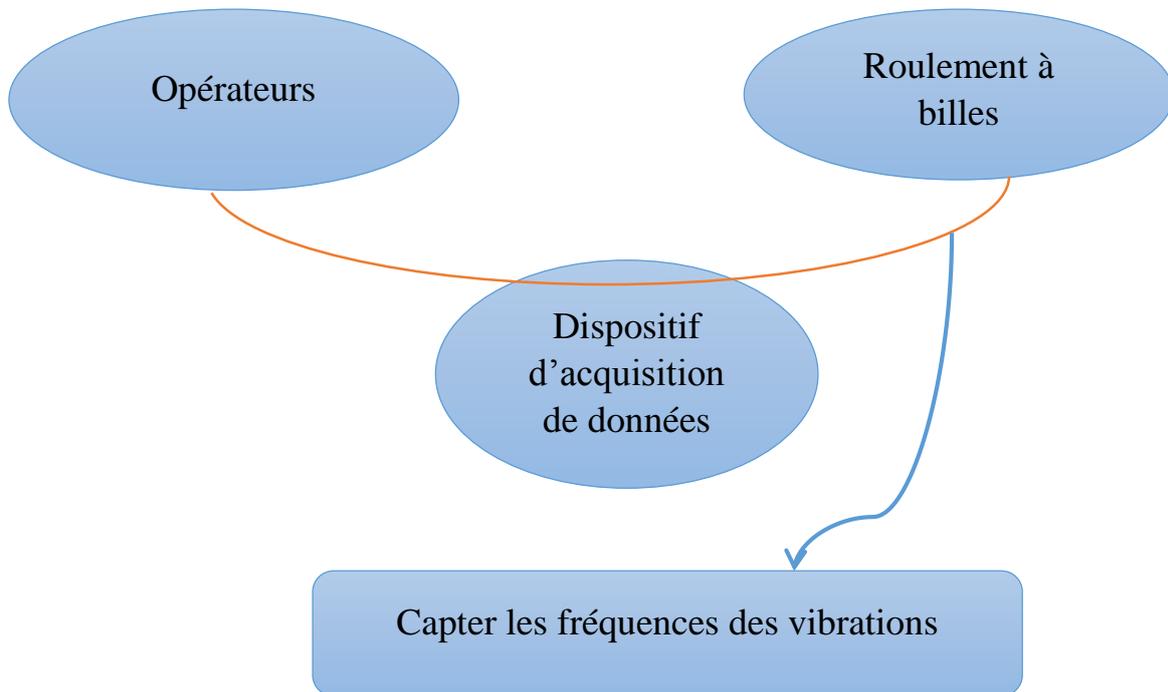


Figure 21.3: diagramme bête à corne

3.3.2 Analyse fonctionnelle du besoin

Après avoir analysé le besoin de notre dispositif nous sommes passé à l'analyse fonctionnelle du besoin, hors l'analyse fonctionnelle du besoin nous permettra d'identifier les relations de notre dispositif avec son contexte d'utilisation, afin de dégager les fonctions de service aptes à satisfaire le besoin, et de ce fait nous nous sommes servi du diagramme de pieuvre.

- **Diagramme de pieuvre** : c'est un outil qui identifie les fonctions d'un système ou d'un produit, et recherche les fonctions attendues et leurs relations dans l'analyse fonctionnelle du besoin ou l'analyse fonctionnelle externe.

Le diagramme pieuvre nous permettra de déterminer non seulement la **fonction principale (FP)** en répondant à la question : « A quoi sert le produit ? », mais aussi les fonctions contraintes (FC) en répondant à la question : « De quoi le produit a-t-il besoin pour fonctionner ? ».

- **Fonction principale :** est une fonction pour laquelle le produit est créé et elle correspond à la raison d'être du produit, en établissant les relations entre au moins deux milieux environnant par l'intermédiaire du produit.
- **Fonction de contrainte :** est une fonction qui limite la liberté du concepteur par rapport au réalisateur d'un produit et jugé nécessaire par le demandeur ou par la législation et elle relie le produit à un milieu environnant.
- **Diagramme de Pieuvre**

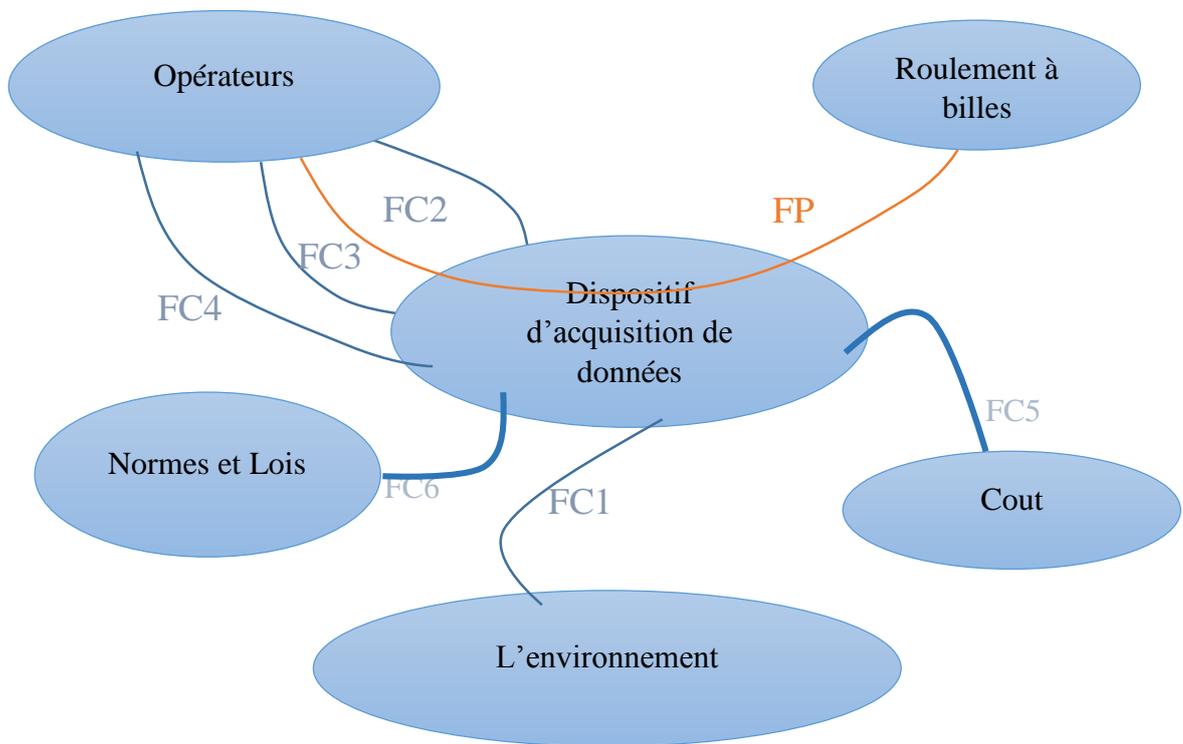


Figure 22.3: diagramme de Pieuvre

De ce diagramme pieuvre, il ressort que notre équipement fait l'objet de :

- ✓ 01 fonction principale (FP), à savoir :
 - ✓ **FP :** Permettre à l'utilisateur d'analyser les vibrations ;
- ✓ 06 fonctions contraintes (FC), à savoir :
 - **FC1 :** Etre peu encombrant ;
 - **FC2 :** Etre confortable pour l'utilisateur ;
 - **FC3 :** Etre facile à manipuler ;
 - **FC4 :** Etre d'entretien facile ;
 - **FC5 :** Avoir un coût concurrentiel ;

- **FC6** : Respecter les normes et les lois en vigueur.

4. CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DES COMPOSANTS

4.1 CHOIX DE L'ALIMENTATION

L'alimentation est chargée de convertir la tension électrique du secteur en différentes tensions continues TBT compatibles avec les différents circuits électroniques. Elle convertit la tension alternative de 120V ou 230V en divers tensions utilisées par la carte et les périphériques ; en général le bloc d'alimentation est un convertisseur de type alimentation à découpage avec un rendement et sa compacité. Il existe dans ce cas deux types de câble adaptateur d'alimentations : AT et ATX.

Le câble d'alimentation AT : ce type de câble adaptateur fournit des tensions continues de +5V, +12V et -12V.

Le câble adaptateur alimentation ATX : ce type de câble adaptateur fournit les tensions de sorties suivantes : +5V, -5V, +12V, -12V, +3V ET -3V

Pour notre projet, nous utiliserons le câble adaptateur d'alimentation ATX parce qu'il convertit les tensions alternatives en divers tensions continues de façon symétrique.

Les deux types d'alimentation comportent des sorties pour alimenter les périphériques.

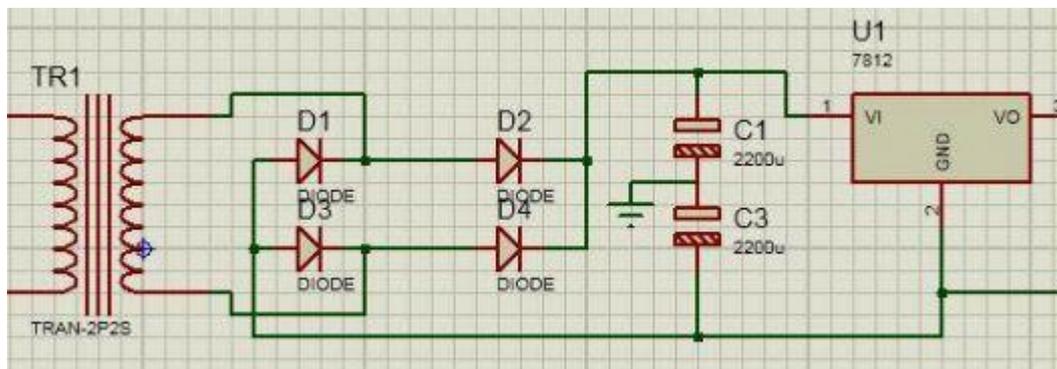


Figure 23.3: schémas de câblage de l'alimentation

5. CHOIX DU MATERIEL DE DETECTION DES VIBRATIONS

Suite à notre précédente expérience sur les types de capteurs nous allons dans une perspective d'apprentissage et de découverte de technologie innovante, pour notre mémoire nous utiliserons un capteur incontournable de part ces particularités dans la plupart des mémoires et thèses. Il s'agit du capteur piézoélectrique.

5.1 Fonctionnement

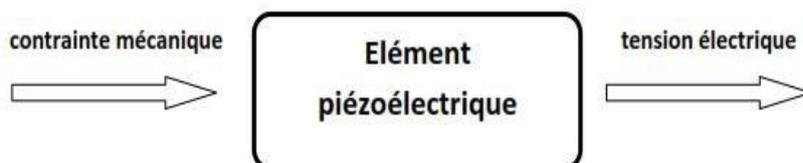
Les capteurs piézoélectriques génèrent des charges de l'ordre d'un pico coulomb. Un circuit électronique convertit cette charge en un signal de tension qui devient exploitable par un système d'acquisition de données. Le piézoélectrique est basé sur le concept simpliste de l'éponge. Une éponge sèche ne présente aucune prédisposition particulière, dès lors que l'eau la touche, l'éponge tend à prendre du volume et lorsqu'elle est pressée elle restitue l'eau dont elle est gorgée. En réalité le mot piézoélectrique vient de cette capacité à transformer l'énergie, du grec : presser.

Les matériaux piézoélectriques sont de différentes natures, le quartz cristallin est le plus connu, une excitation mécanique va l'obliger à fournir une sortie en pico Coulombs, une excitation électrique va le forcer à se déformer. Une piézite de synthèse en titano-zirconate de plomb ($\text{PbZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$, abrégé en PZT) va offrir le même résultat, tout comme les plastiques piézoélectriques en PVF² ou PVDF.

La suite est un peu plus complexe, le matériau doit-être muni d'électrodes pour restituer la mesure ou recevoir l'énergie électrique. Dans le cadre d'un plastique, le concept est simpliste, dans le cadre de quartz ou de matériau se synthèse c'est un peu plus complexe.

Dans tous les cas l'élément sensible permet une mesure de la force correspondant à l'équation $F = M\gamma$ où M est la masse et γ l'accélération.

Effet piézoélectrique direct



Effet piézoélectrique inverse

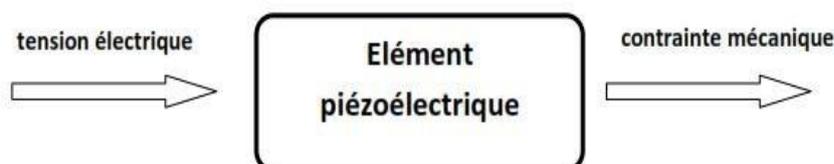


Figure 24.3: l'effet piézoélectrique

5.2 Montage de l'élément sensible

L'élément sensible doit être monté sous la forme corps d'épreuve équipé. Le montage le plus simple est dit sous forme de poutre.

La poutre maintenue à une extrémité va ployer sous l'effet de l'accélération. Le dispositif est sensible parce qu'élastique mais le manque de rigidité de la mécanique engendre différents problèmes dont des soucis de bande passante, de précision et de dérives thermiques.

Le dispositif en compression comprend une base, l'élément piézoélectrique, une masse sismique et une vis de précontrainte. L'assemblage est efficace puisque le mouvement de la masse sismique précontrainte sera transmis intégralement au quartz et que la bande passante sera importante.

Un autre dispositif consiste à utiliser un mode en cisaillement, le quartz ou le matériau de synthèse est taillé en cône 'male' pour une partie et en cône 'femelle' pour l'autre, la masse sismique est un anneau de précontrainte qui vient serrer les deux parties ensemble. La mesure résultera du frottement sur les parties en cisaillement. La bande passante est importante et la précision excellente, la sensibilité est moindre que dans les deux autres configurations mais la précision importante. Enfin, les matériaux souples, comme les plastiques permettent des agencements.



Figure 25.3: fiche de raccordement électrique

6. LA CARTE ARDUINO UNO

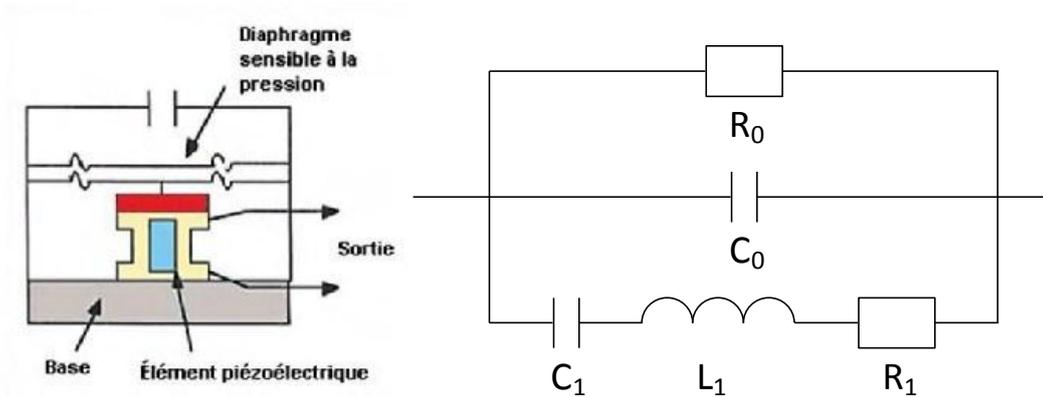


Figure 26.3: principe et schéma d'un capteur piézoélectrique

La carte Arduino UNO est un microcontrôleur ATmega328 programmable permettant de faire fonctionner des composants (moteur, LED, carte SD...). Elle possède des « ports » permettant par exemple de se connecter à un ordinateur ou de s'alimenter.

La carte Arduino UNO est la pièce maîtresse de tout circuit électronique pour les débutants.

Elle est dotée :

- De 14 entrées/sorties
- (Dont 6 fournissent la sortie PWM)
- 6entrées analogiques
- Un cristal à 16 MHz
- Une connexion USB
- Une prise jack d'alimentation -
- Un en-tête ICSP -
- Une fonction reset.



Figure 27.3: carte ARDUINO UNO

Schéma des ports

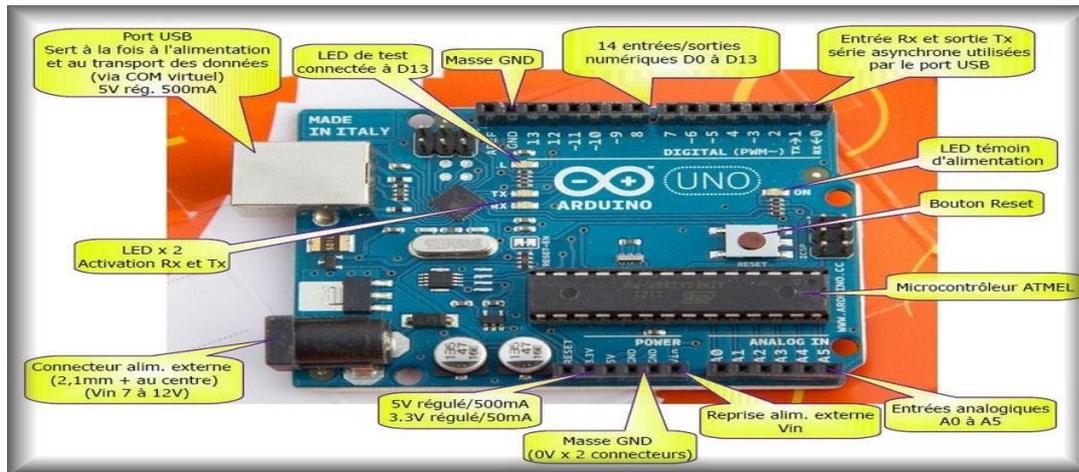


Figure 28.3: schéma des ports de la carte ARDUINO

6.1 TABLEAU DES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA CARTE ARDUINO

Microcontrôleur	ATmega328P
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'entrée (recommandé)	7-12V
Tension d'entrée (limite)	6-20V
E / S numériques Pins	14 (dont 6 fournissent la sortie PWM)
PWM numérique E / S Pins	6
Pins d'entrée analogique	6
DC Courant par I O Pin /	20 mA
Courant DC pour 3.3V Pin	50 mA
Mémoire flash	32 KB (ATmega328P) dont 0,5 KB utilisé par bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Vitesse de l'horloge	16 MHz
Longueur	68,6 mm
Largeur	53,4 mm
Poids	25 g

Tableau 3 : Caractéristiques Techniques de la carte Arduino

6.2 Détails techniques

La carte Arduino Uno peut être alimentée via la connexion USB ou avec une alimentation externe. La source d'alimentation est automatiquement sélectionnée.

Une alimentation externe peut provenir soit d'un adaptateur AC-DC ou d'une batterie. L'adaptateur peut être connecté en branchant une prise 2.1mm dans la prise d'alimentation de la carte ou à partir d'une batterie connectée dans le pin (ou broche) GND et V-in (alimentation externe).

Le processeur peut fonctionner sur une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si la tension est inférieure à 7V, le pin 5V peut fournir moins de cinq volts et le processeur peut devenir instable. Si la tension est supérieure à 12V, le régulateur de tension peut surchauffer et endommager la carte. La plage recommandée est de 7 à 12 volts.

Les pins (ou broches) d'alimentation sont les suivantes :

- V-in. Tension d'entrée à la carte Arduino à l'aide d'une source d'alimentation externe (par opposition à 5 volts de la connexion USB ou une autre source d'alimentation régulée). Si l'alimentation en tension est faite par l'intermédiaire de la prise d'alimentation, on pourra y accéder via ce pin.
- 5V. Cette pin délivre un 5V régulé par la carte. Le processeur peut être alimenté soit à partir de la prise d'alimentation DC (7-12V), le connecteur USB (5V), ou le pin V-in de la carte (7-12). La fourniture d'une tension via les 5V ou 3,3V contourne le régulateur, et peut endommager votre processeur. A déconseiller !
- 3V3. Une alimentation de 3,3 volts générée par le régulateur. La consommation de courant maximale est de 50 mA.
- GND. Masse
- IOREF. Ce pin sur la carte Arduino fournit la référence de tension avec laquelle le microcontrôleur fonctionne.

Mémoire

L'ATmega328 a 32 Ko (avec 0,5 KB occupées par le bootloader). Il a également 2 Ko de SRAM et 1 Ko de mémoire EEPROM (qui peut être lu et écrit avec la bibliothèque de l'EEPROM).

Entrées et sorties

Chacune des 14 broches numériques sur la carte Uno peut être utilisée comme une entrée ou une sortie, en utilisant les fonctions `pinMode ()`, `digitalWrite ()`, et `digitalRead ()`. Ils fonctionnent à 5 volts. Chaque broche peut fournir ou recevoir 20 mA en état de fonctionnement recommandée et a une résistance de pull-up interne (déconnecté par défaut) de 20-50k ohm. Un maximum de 40mA est la valeur qui ne doit pas être dépassée sur toutes les broches d'Entrée/Sorties pour éviter des dommages permanents au microcontrôleur.

Certaines broches ont des fonctions spécialisées :

- Série : 0 (RX) et 1 (TX). Permet de recevoir (RX) et transmettre (TX) TTL données série. Ces pins sont connectés aux pins correspondants de l'USB-TTL puce Serial ATmega8U2.
- LED : 13. Il est équipé d'un conduit par la broche numérique 13. LED Lorsque la broche est à la valeur HIGH, la LED est allumée, lorsque la broche est faible, il est hors tension.

L'Uno dispose de 6 entrées analogiques, A0 à A5, dont chacune fournit 10 bits de résolution (ou 1024 valeurs différentes). Par défaut, la tension est de 5 volts. Il est cependant possible de changer la limite supérieure de la gamme en utilisant la broche AREF et la fonction `analogReference ()`.

Autres broches de la carte :

- AREF. Tension de référence pour les entrées analogiques. Pin utilisé avec `analogReference ()`.
- Réinitialiser.

7. LA DIODE ELECTROLUMINESCENTE (Light emitting diodes)

C'est un dispositif optoélectronique émetteur de photon produisant de la lumière à partir d'un courant (électrons) et module un signal optique *via* une commande externe (tension, courant). La lumière émise par une LED n'est pas monochromatique : élargissement spectral. Une diode électroluminescente est constituée d'une jonction p-n et d'une zone active au cœur de celle-ci. C'est là que vont avoir lieu les recombinaisons électrons-trous.

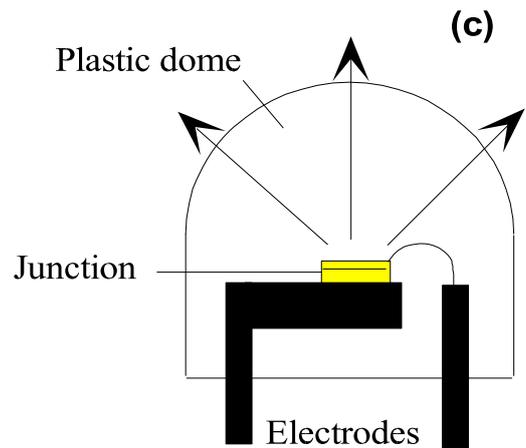
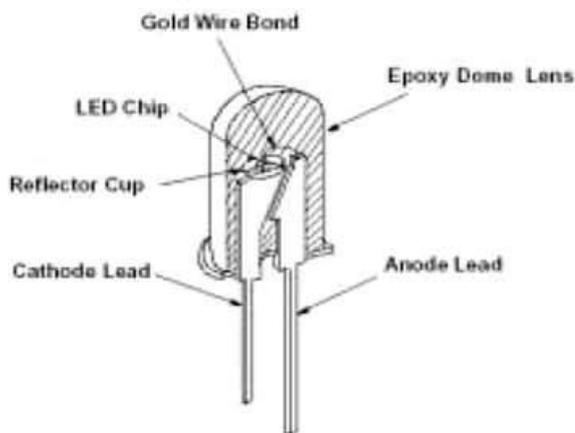


Figure 29.3: diodes électroluminescentes

7.1 LA CARTE SECURE DIGITAL (SD)

Par définition, une carte micro SD est une carte mémoire amovible de stockage de données numériques créée en janvier 2000 par une alliance formée entre les industriels. Depuis 2010, les cartes SD font office de stockage, à la suite de l'abandon progressif des autres formats, notamment Du Memory Stick de Sony.

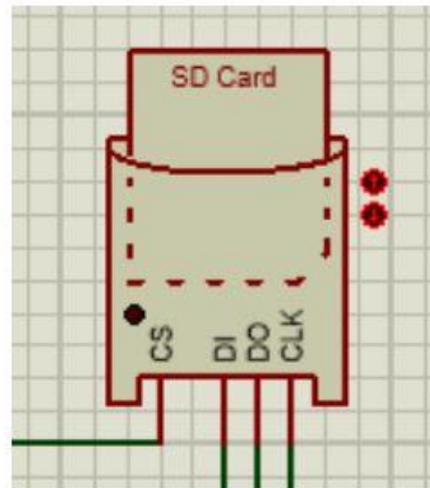


Figure 30.3: carte SD

8. L’AFFICHEUR

8.1 Rôle d’un afficheur LCD : (Light Control Display)

Les afficheurs LCD encore appelé afficheur à cristaux liquide sont devenus indispensables dans les systèmes techniques qui nécessitent l’affichage de paramètres de fonctionnement. Grâce à la commande par un microcontrôleur ces afficheurs permettent de réaliser un affichage de messages aisés. Ils permettent également de créer ses propres caractères.

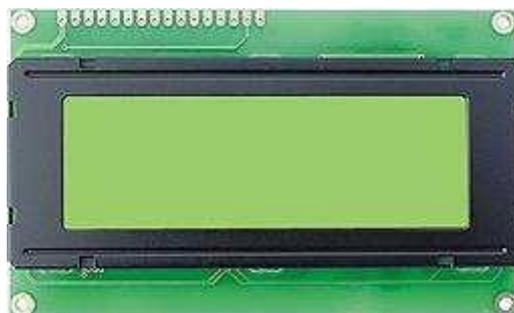


Figure 31.3: présentation d’un afficheur LCD

8.2 Fonctionnement d’un afficheur LCD

Ils consomment relativement peu (de 1 à 5ma)

8.3 Schéma fonctionnel

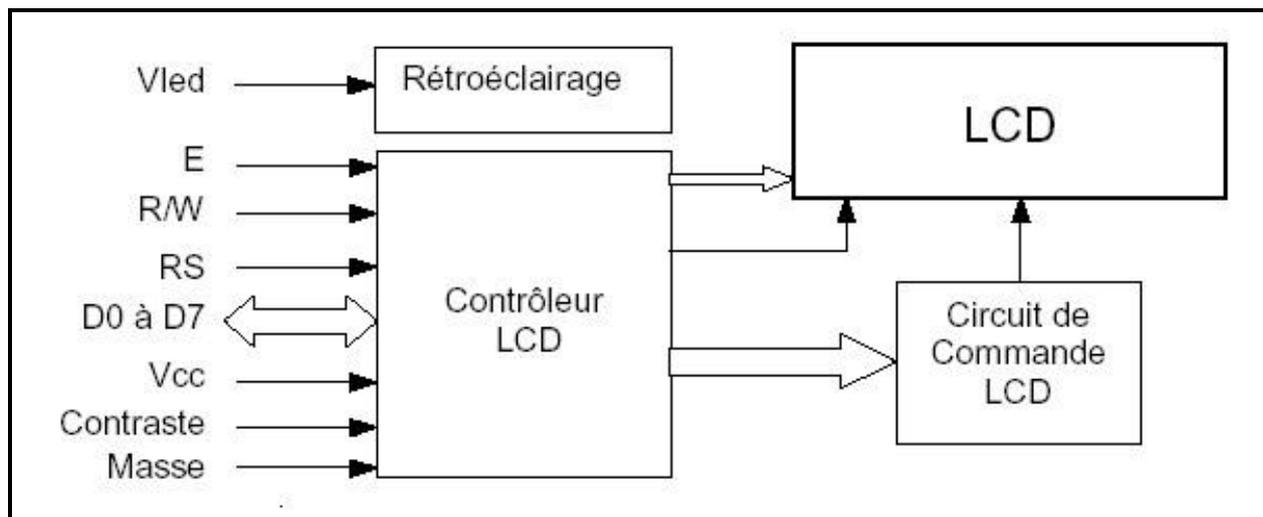


Figure 32.3: schéma fonctionnel du microcontrôleur LCD

8.4 Rôle des différentes broches de l'afficheur LCD

Vcc, Masse : alimentation de l'afficheur LCD. Un afficheur LCD s'alimente en **0V5V-2A**.

Contraste : entrée permettant de régler le contraste de l'afficheur LCD. Il faut appliquer une tension continue réglable (entre **0V** et **5V**) à l'aide d'un potentiomètre.

Vled : différence de potentiel permettant de commander le rétro éclairage. **E** : entrée de validation (**ENABLE**), elle permet de valider les données sur un **front descendant**. Lorsque **E=0** alors le bus de données est à l'état haute impédance. **RS** : **Register Select** cette entrée permet d'indiquer à l'afficheur si l'on souhaite réaliser une commande (**RS=0**) par des instructions spécifiques ou écrire une donnée (envoi du code du caractère à afficher) sur le bus (**RS=1**).

R/W : entrée de lecture (**R/W=1**) et d'écriture (**R/W=0**). Lorsqu'on commande l'afficheur LCD il faut se placer en écriture.

D7...D0 : **bus de données bidirectionnels**, il permet de transférer les instructions ou les données à l'afficheur LCD.

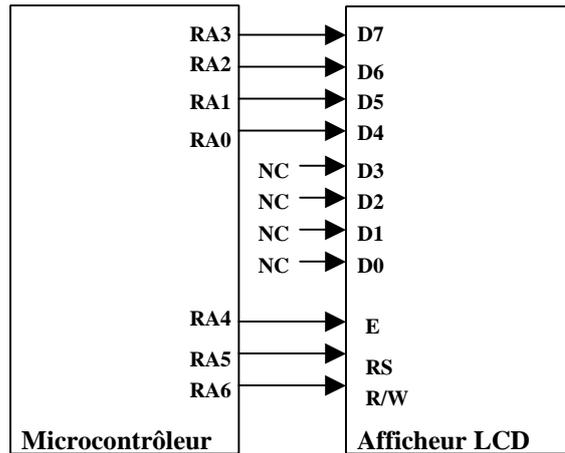


Figure 33.3: Commande de l'afficheur LCD

9. SCHEMA DE CABLAGE GENERAL

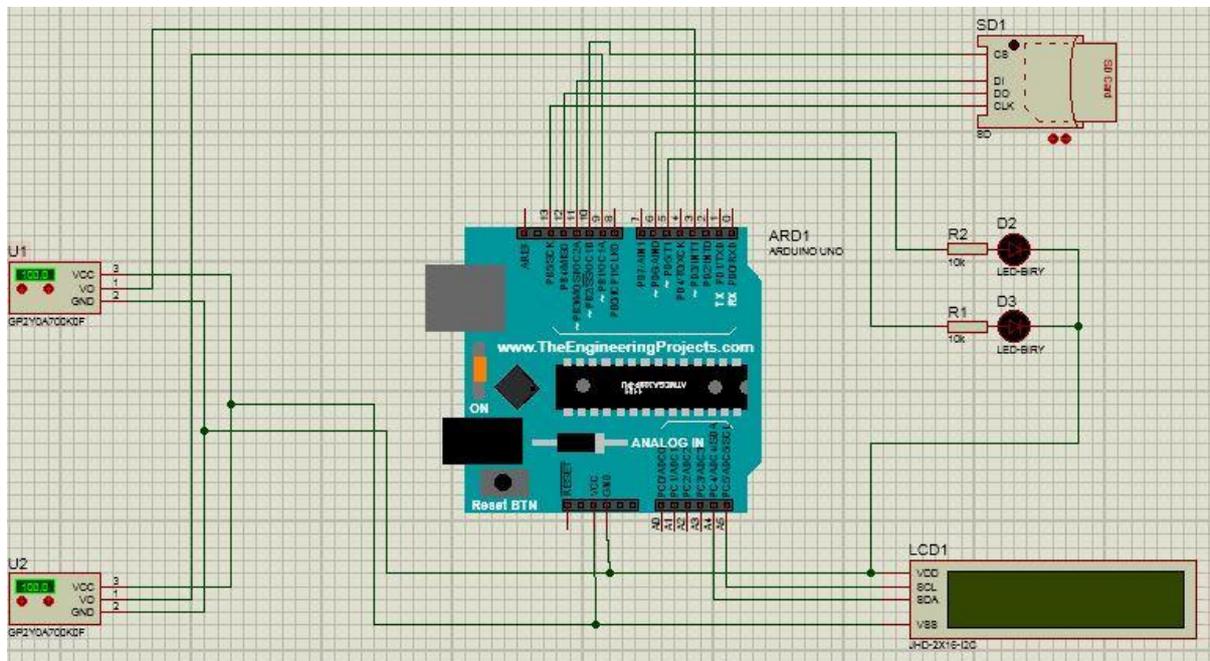


Figure 34.3: schéma de câblage du fonctionnement

10. LISTE DU MATERIEL ET DEVIS

Qté	DESIGNATION	PRIX	CARACTERISTIQUES
01	Carte ARDUINO	5000	5V-2A
02	Résistances	400	10K-230Ω*2
01	Afficheur LCD	7000	5V-2A

01	Acquisiteur	5000	5V-2A
01	Transformateur	3500	220V-12V
01	Condensateur	700	2200mf
01	Condensateur	250	100mf
04	Diodes	400	BC-6007
03	LED	600	Bleu-Rouge-Verte
01	Régulateur	600	7805
01	Alimentation	1500	/
10m	Conducteur	2000	2,5mm ²
01	interrupteur	500	220V-30A
01	Pot de peinture	3500	commerce
02m	bois	3000	Sauvage
01m	Contre paquet	1000	05mm
01	Boite de colle	1300	commerce
01	Rouleau d'étain	1500	commerce
02	Capteurs de fréquence	6000	2A-15V
01	Fiche male	1000	220V-10A
TOTAL : 44750			
/	A- MAIN D'ŒUVRE D'ETUDE	50000Frs CFA	/
/	B- MAIN D'ŒUVRE POUR LA REALISATION	100000Frs CFA	/
C- DIVERS			

/	<i>Transport, amortissement matériel de soudure</i>	30000Frs CFA	/
<i>TOTAL(A+B+C)</i> <i>180000Frs CFA</i>			/

Tableau 4 : liste du matériel et cout du projet

Enfin un devis estimatif pour la réalisation du dispositif a été effectué et le cout de ce dernier est de deux cent vingt-quatre mille sept cent cinquante francs CFA (**224750Frs CFA**).

4. REALISATION

4.1. SIMULATION

Des essais pratiques nous ont permis de déterminer si notre cahier de charge a été respecté.

4.2 PRESENTATION GENERALE DU MODULE

Notre prototype d'acquisition de données ci-dessus est un système permettant d'acquérir les données d'un roulement à billes provenant de la vibration d'une machine. Ce système est constitué d'un capteur piézoélectrique, d'un afficheur LCD, d'une alimentation 220V/12V, capteurs de fréquence 2A-15V, d'une carte ARDUINO 5V-2A et des Diodes Electroluminescentes(LED).

4.3 PRESENTATION DU SCHEMA DE CABLAGE SUR PROTEUS

Il est présenté dans cette section le schéma bloc global de simulation dans le logiciel PROTEUS.

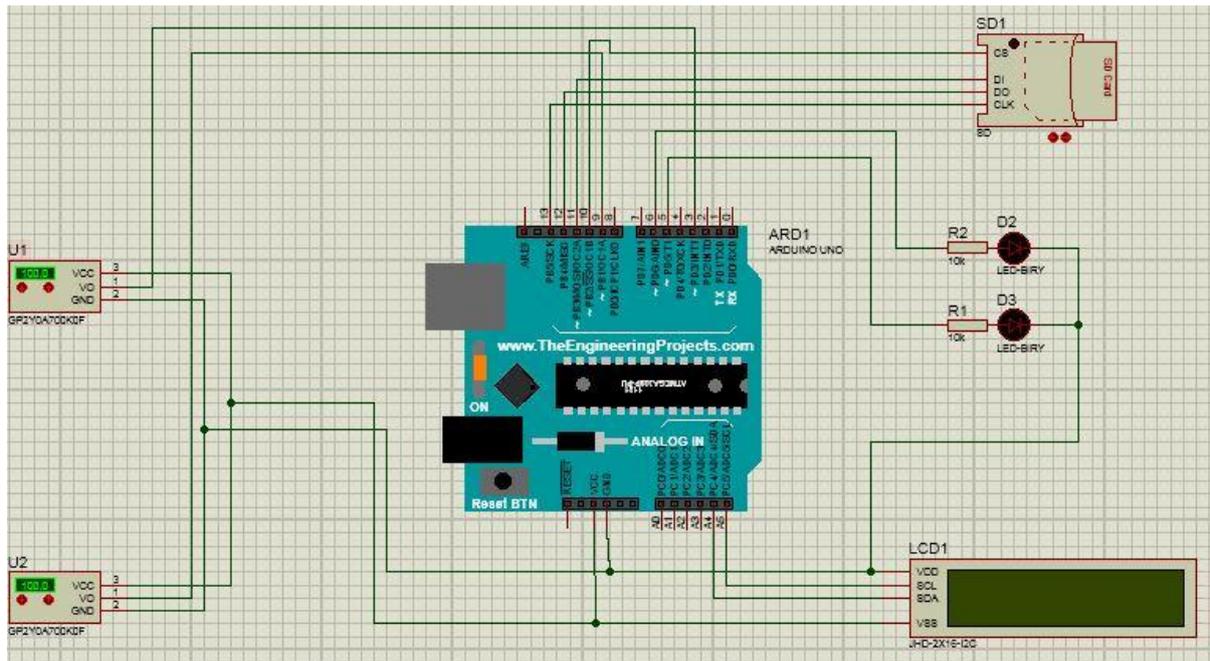


Figure 35.3: schéma électronique de câblage

Toutefois le problème majeur que nous avons rencontré était celui de la carte SD qui n'avait pas d'une fiabilité de stockage des données du coup pour palier à ça nous avons eu l'initiative d'utiliser l'afficheur LCD qui affiche les mêmes résultats qui devaient être stocké dans la carte SD.

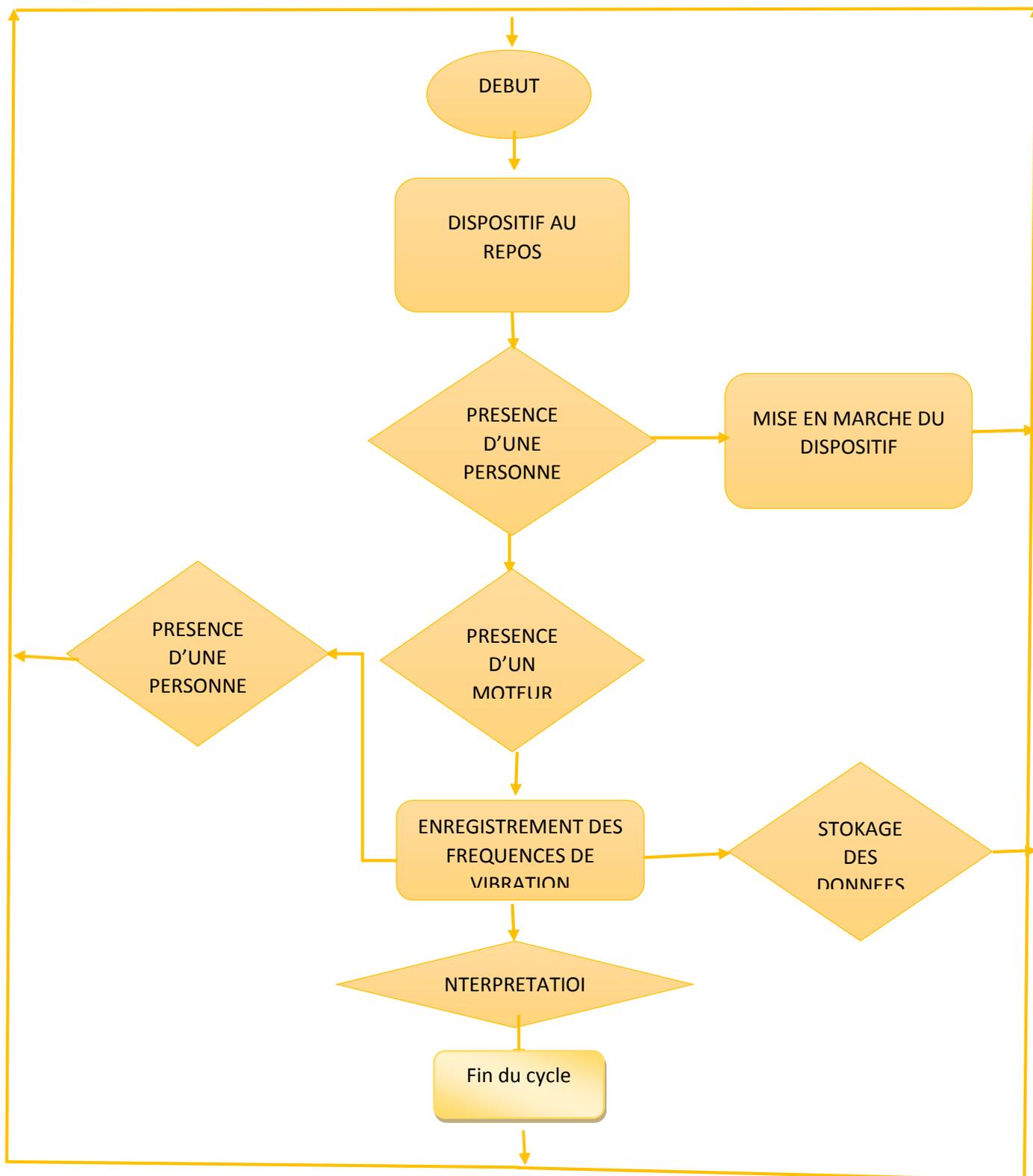
4.4 RESULTATS EXPERIMENTAUX

4.4.1 PRESENTATION DU MODULE ELECTRONIQUE REALISE

➤ PRESENTATION DE LA CARTE

Pour la mise en œuvre de notre module nous avons utilisé une carte pré-perforée afin d'assurer les raccordements (voir annexes)

4.5. ORGANIGRAMME DU DISPOSITIF D'ACQUISITION



Figur36.3 : organigramme du dispositif d'acquisition

CONCLUSION

Dans ce chapitre, il était question de faire une étude théorique du dispositif d'acquisition de données et de présenter les différentes étapes nécessaires pour sa mise en œuvre. Et se lancer dans la phase de réalisation sera pour nous un moyen de juger les résultats de conceptions ci-dessus. Par la suite il est question pour nous de procéder à la réalisation, présenter les tâches effectuées et les moyens utilisés pour parvenir aux résultats. Il en ressort de ce qui précède que notre dispositif répond au besoin attendu. Ce dispositif peut être utilisé dans les centres de visite technique d'automobile, les laboratoires d'analyses vibratoires, les machines de production, dans l'aéronautique.

CONCLUSION GENERALE

Parvenus au terme de notre travail, il était question pour nous D'ELABORER UNE BASE DE DONNEES DE SIGNAUX ISSUS DES DEFAUTS D'IMPACTS SUR ROULEMENTS A BILLES, pour mener à bien notre travail nous avons tout d'abord fait une étude sur les roulements et les bases de données et une revue sur les différents types qui existent, ensuite nous avons fait une étude conceptuelle pour définir au mieux les caractéristiques de notre dispositif, et en fin nous avons procédé à la réalisation et la simulation des pannes en passant par les tests du dispositif. Il ressort que le seuil fréquentiel de vibration d'un roulement est compris entre 0 et 10KHz. Nous avons opté à un dispositif qui capte les fréquences de vibration par un capteur piézoélectrique. Partant de l'architecture du système proposé, ainsi que du cahier de charge, nous avons élaboré le schéma synoptique du dispositif, lequel schéma nous a permis d'élaborer le schéma électronique de câblage. Le principe de fonctionnement de chaque élément de notre dispositif ainsi décrit, nous sommes passés au schéma de montage sur Proteus suivi de quelques simulations. L'organigramme du dispositif bien élaboré ainsi que la programmation de l'algorithme permet de charger celui-ci dans notre dispositif de stockage(SD). L'exploitation du dispositif permet de prévenir le dysfonctionnement des machines dans le domaine de mécanique.

Les difficultés majeures dans la réalisation du prototype s'étendaient sur les tests du dispositif, la documentation peu fournie sur le sujet et la planification des séances monôme.

Ce travail dégage d'énormes perspectives à savoir :

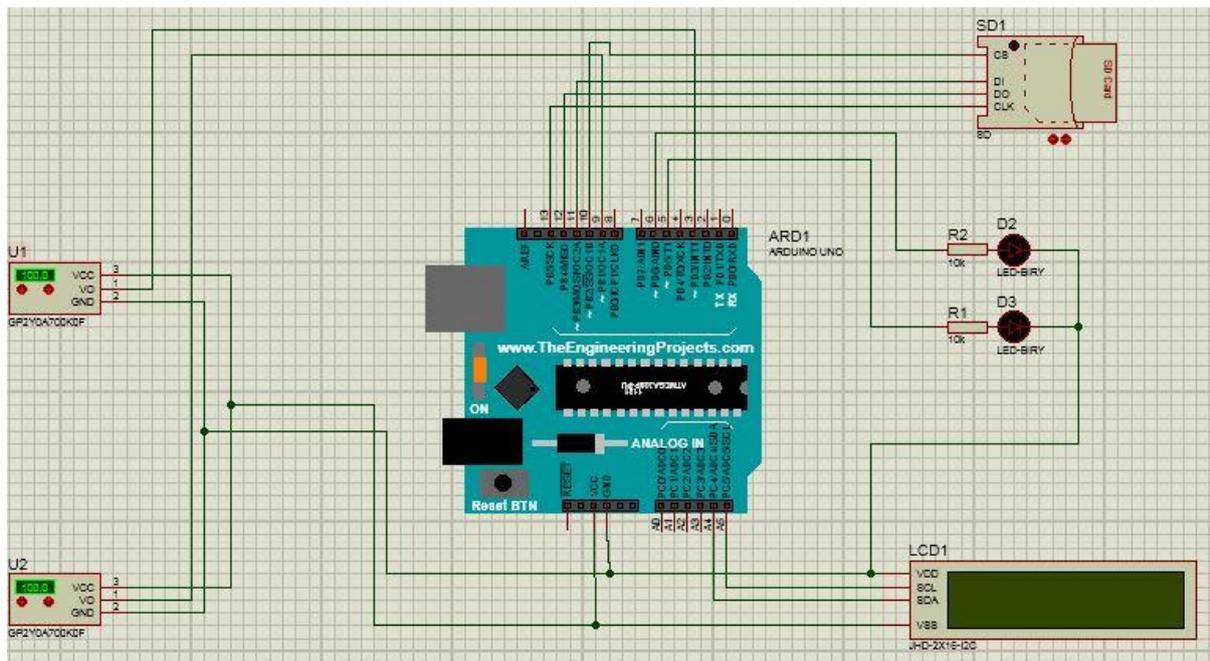
- ✚ La conception du dispositif adapté pour les systèmes triphasés, la commande à distance via un réseau GSM (Global System for Mobile communication) par exemple
- ✚ L'usage du système Bluetooth et le port USB pour le stockage des données
- ✚ La connexion de ce dispositif au réseau internet pour une supervision à distance du système à synchroniser
- ✚ Assurer également une bonne ASI (panneaux solaire).
- ✚ Prévoir les pictogrammes pour éviter les confusions de touches.



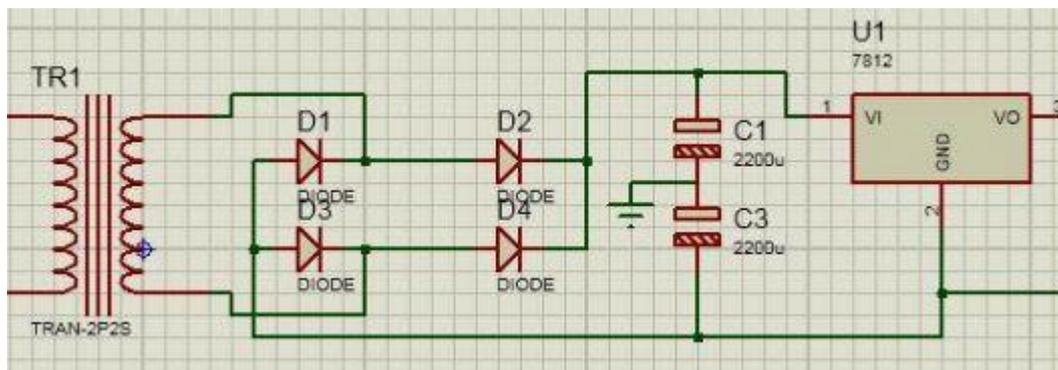
ANNEXES

ANNEXE : 1

SCHEMA DE CABLAGE DU DISPOSITIF D'ACQUISITION



SCHEMA ELECTRONIQUE D'ALIMENTATION



ANNEXE : 2

ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS

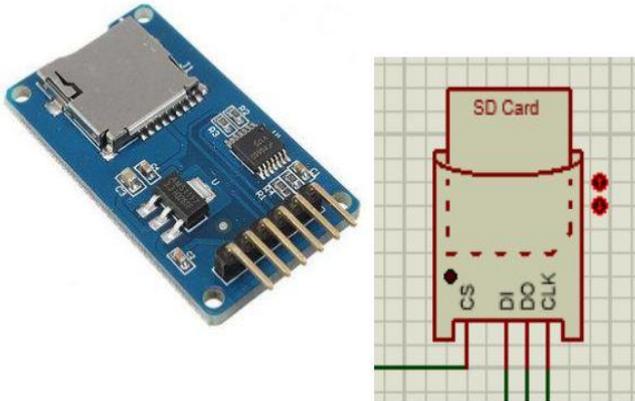


CARTE SD, AFFICHEUR, LED ET INTERRUPTEURS MONTES



ANNEXE : 3

CARTE SD ENCORE APPELE CARTE MEMOIRE



ENCEINTE DE MONTAGE



ANNEXE : 4

FINALISATION DU PROTOTYPE SUIVI DU TEST



PRESENTATION DES INTERFACES DE SORTIES



ANNEXE 5

➤ CABLAGE DE LA CARTE ARDUINO AVEC LES CAPTEURS



DESCRIPTION DU MODULE



ANNEXE 6

ESSAIS SUR LA PHOTOCOPIEUSE



PRESENTATION DU PROGRAMME SUR ARDUINO

Le programme ci-dessous nous a permis de commander notre dispositif. Ensuite nous avons réglés la fréquence de vibration entre 0 et 10000Hz ce qui fais que la LED verte signal l'état vibratoire du roulement entre 0 et 10KHz qui est le seuil de fonctionnement et la LED rouge signal l'état critique du roulement puis que la fréquence a débordé le seuil.

```
#include<SPI.h>//acquisiteur
#include<SD.h>//module sd
File myFile; //initioalisation des capteurs
int X0=0;
int X1=0;
#include<Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
int ledPin1 = 5;
int ledPin2 = 7;
int EP_1 = 9;
```

```

int EP_2 = 3;
void setup() {
  pinMode(10, OUTPUT);
  SD. begin(10);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.begin(16,2);
  pinMode(ledPin1,OUTPUT);
  pinMode(ledPin2,OUTPUT);
  pinMode(EP_1,INPUT);
  pinMode(EP_2,INPUT);

  Serial.begin(9600);
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  long measurement1 =TP1_init();
  delay(50);
  long measurement2 =TP2_init();
  delay(100);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("MESURE1= ");
  lcd.print(measurement1);
  lcd.print("Hz");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("MESURE2 = ");
  lcd.print(measurement2);
  lcd.print("Hz");
  if(measurement1 >10000){

```

```

digitalWrite(ledPin1,HIGH);
digitalWrite(ledPin2,LOW);
}
else{
digitalWrite(ledPin1,LOW);
digitalWrite(ledPin2,HIGH);

}
if(measurement2 >10000){
digitalWrite(ledPin1,HIGH);
digitalWrite(ledPin2,LOW);
}
else{
digitalWrite(ledPin1,LOW);
digitalWrite(ledPin2,HIGH);

}
}
long TP1_init(){
delay(50);
long measurement1 = pulseIn (EP_1,HIGH);
return measurement1;
}
long TP2_init(){
delay(50);
long measurement2 = pulseIn (EP_2,HIGH);
return measurement2;

myFile = SD.open("data-log.txt" , FILE_WRITE);// creation fichier de stockage
if(myFile){
myFile.print("MESURE1");
}
}

```

```
myFile.print(X0);
myFile.print(":");
myFile.println((long)TP1_init*0.48875);
myFile.print("MESURE2");
myFile.print(X1);
myFile.print(":");
myFile.println((long)TP2_init*0.48875);
}
myFile.close();//incrémentation des valeurs
X0++;
X1++;
delay(1000);
}
```

BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. Bouamama et al, Détection des défauts des roulements par analyse spectrale 2015 html ;
- [2] For New Technology Net Work, Roulements à Billes et à Rouleaux, NTN corporation 2007 ;
- [3] Hassane FATMI, Méthodologie d'analyse des signaux et caractérisation hydrogéologique : application aux chroniques de données obtenues aux laboratoires
- [4] MEDOUED AMMAR, Surveillance et Diagnostic des Défauts des Machines Electriques,2012 ;
- [5] D Rouget, De l'analyse d'avarie a la conception des montages de roulements : II, Revue Française de Mécanique, 181-186,1994
- [6] Olivier Français, Chaîne d'Acquisition-Restitution ,2000 ;
- [7] Jean Breuil ; Le calcul des roulements à billes et à rouleaux la pratique des industries mécaniques 13(2) 45-58,1930 ;
- [8] Bechir Badri Caractérisation numérique et expérimentale des défauts de roulements, Ecole de Technologie supérieure, 2007 ;
- [9] X Milisen et al, Comparaison de différentes méthodes de détection de défauts dans les roulements, scientific Review of ISILF,157-171,2006 ;
- [10] Etude des défauts des roulements par analyse vibratoire
- [11] Baptiste TRAJIN, détection de défauts de roulements, LAPLACE-2, rue Charles Camichel-BP 7122 -31071 TOULOUSE, décembre 2008
- [12] S7.2, Acquisition de la grandeur physique, Cours 2^{eme} Année STS Maintenance ;
- [13] Hubert Figner, Analyse vibratoire des machines à courant continu,2009 ;
- [14] Noureddine, Analyse vibratoire ,2017
- [15] Abdellatif BADAOU, Acquisition de données à distance dans les réseaux de capteurs,2013 ;
- [16] T. Belsher et al, Acquisition de Données, 2003-Elsevier.
- [17] M. Riethmuller, L'EMISION ACOUSTIQUE : Application aux Equipements industriels, institut de soudure Industrie, 2012 ;
- [18] G GARCIA PEYRANO et al, Contrôle non destructif par analyse vibratoire de l'endommagement des roulements à billes ou à rouleaux, Revue pratique de contrôle industriel (1984) 26(144),26-30,1987 ;

- [19] A. Neurouth et al, Influence de la modélisation des roulements à billes sur la prédiction du comportement, université de Lyon UMR CNRS 5259 Villeurbanne Cedex, France ;
- [20] Schaeffler Technologies AG et al, Montage et Maintenance des roulements à billes ,2015, décembre ;
- [21] KASS Souhayb Diagnostic Vibratoire Autonome des Roulements, 2019, INSA de Lyon
- [22] Antoni, Cyclic spectral analysis of rolling-element bearing signals: Facts and fictions, vol 304; numero.3-5; pp.494-529,2007,
- [23] R. YOUNES et al, optimisation d'indicateurs de défauts de roulements par la perception sonore, Laboratoire de Mécanique et Structures, Université 8 Mai 1945 Guelma ; Algérie ;
- [24] Christophe Migeon. Émission acoustique et analyse vibratoire pour l'étude des défauts de roulements pour différents régimes moteurs. Mécanique 2011. Dumas-01157531
- [25] Omar DJEBILI Contribution à la maintenance prédictive par analyse vibratoire des composants mécaniques tournants. Application aux butées à billes soumises à la fatigue de contact des roulements Soutenue le 26 septembre 2013
- [26] N. HAMZAOUI et al, Laboratoire de vibration-Acoustique, AVRIL1992.
- [27] H Hottait, X Chimentin...-congres français de ...,2019-researchgate. Net
- [28] S Kass, Diagnostic vibratoire autonome des roulements, Université libanaise,2019 ;
- [29] Hassane Hottait, Contribution au processus de surveillance intelligente des machines tournantes : cas des roulements à billes, novembre 2020 ;
- [30] OMAR DJIBILI Contribution à la maintenance prédictive par analyse vibratoire des composants mécaniques tournants. Application aux butées à billes soumises à la fatigue de contact de roulement, le 26 septembre 2013 ;
- [31] AMEUR FETHI AIMER et al, Vol. **62**, 2, pp. 134–141, Bucarest, 2017 ;
- [32] R. YOUNES et al, optimisation d'indicateurs de défauts combinés d'engrenages et de roulements par la perception sonore, 8mai 1945 Guelma, Algérie et INSA de LION France.