

*Faculté des Sciences et Techniques de Fès*



*Département de Génie Industriel*



*LST de Génie Industriel*

## **Projet de Fin d'Etudes**

**Etude du phénomène de bruit et  
vibrations générés par des groupes  
électropompes**

**Lieu : L'ONEE – branche eau Fès**

**Référence : 04/16GI**

**Préparé par :**

*CHAKIR LINA*

**Soutenu le 10 Juin 2016 devant le jury composé de :**

- Pr. M. EL HAMMOUMI.
- Pr. H. Kabbaj.
- Pr.F. Kaghat.

## Remerciements

*Au terme de ce stage, effectué au sein du complexe de production de l'eau potable à l'ONEE Fès, j'ai le plaisir d'adresser mes plus vifs remerciements à tous ceux qui m'ont beaucoup soutenu afin d'effectuer ce stage dans les meilleures conditions.*

*Je tiens à remercier chaleureusement le responsable de mon stage Mr DAOUD MOHAMMED, chef de service Technique et Maintenance au secteur de production Fès-Sefrou-Taza, la société « Process automation consulting » qui m'a offert une formation pendant 3 jours à Casablanca portant sur le sujet de stage , ainsi que tous les agents du service qui, en mettant à ma disposition certains documents, leur temps et leur savoir-faire, ont participé à la réalisation du rapport entre vos mains.*

*Mes sincères remerciements vont également à Mr EL HAMMOUMI responsable de mon stage à la FST, ainsi que tous les enseignants de FST Fès, qui n'ont épargné aucun effort pour le bon déroulement de notre formation à l'école.*

*Je souhaite aussi faire part de ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce rapport.*

## Sujet de stage

*Du fait de l'acharnement de la concurrence mondiale dans tous les domaines et surtout dans celui de la production de l'eau et l'électricité, les grandes entreprises se voient dans l'obligation d'optimiser et d'améliorer tous les paramètres pouvant influencer la production.*

*Dans ce cadre, l'ONEE (Office national de l'électricité et de l'eau potable) branche eau, en tant que Leader national dans la production de l'eau, s'implique fortement à des améliorations en réalisant des projets pour promouvoir la production de l'eau.*

*J'ai eu l'occasion de passer mon stage de fin d'étude à l'Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable (ONEE), branche eau, et précisément au secteur de production au sein du service technique et maintenance relevant de la Direction Régionale du Centre Nord (Fès).*

*Le sujet du stage qui m'a été donné s'articule essentiellement sur la problématique du bruit et vibration des machines tournantes (groupes électropompes) installés au sein du complexe de production de l'eau de Sebou et BAB LOUTA.*

*L'occasion m'a été donné d'assister à des mesures du bruit et vibration dans le cadre d'une étude œuvrée par le biais d'un bureau d'étude (Process Automation Consulting) spécialisé dans l'étude de ce problème qui est devenu un sujet d'intérêt croissant.*

*En effet, dans le cadre de cette étude il a été procédé à :*

- ✓ Etude sur les causes de bruit et vibration de ces machines tournantes.*
- ✓ Mesurage de bruit et vibration sur les groupes et interprétation des résultats obtenus.*

# Cahier de charges

- *Inventorier (avec caractéristiques) les groupes de pompage existants susceptibles d'être source de bruit.*
- *La description de l'espace de travail des agents du complexe de production;*
- *L'identification des agents qui sont exposés au bruit, leurs fonctions ; leurs journées effectives de travail, et leurs durées...*
- *Suivi des opérations de mesures du bruit et vibration confiées au bureau d'étude Process Automation Consulting selon le marché qui a été conclu entre ce dernier et l'ONEE.*

*Ces opérations sont essentiellement :*

- *La mesure normalisée du bruit et vibration émis par chacune des machines identifiées dans l'étape précédente.*
- *La mesure normalisée de l'exposition quotidienne au bruit pour les agents identifiés.*
- *La comparaison du bruit émis par chaque machine par rapport au seuil normatif défini dans la norme marocaine NM 06.5.019 (2010).*
- *L'analyse vibratoire des machines et le recensement des éventuelles défaillances détectées suite à cette analyse.*
- *La mesure du bruit ambiant au niveau de ces locaux et l'élaboration de la cartographie du bruit ambiant dans l'espace de travail identifié.*

# Sommaire

<b>Remerciement.....</b>	
<b>Sujet de stage.....</b>	
<b>Cahier de charges.....</b>	
<b>Figures et tableaux.....</b>	
<b>Liste des abréviations.....</b>	
<b>Introduction.....</b>	<b>10</b>
<b>Chapitre1 : Présentation de l'ONEE branche eau.....</b>	
1- Historique.....	12
2- Création de l'ONEP.....	12
3- Missions et objectifs de l'ONEP.....	12
4- Groupement ONE / ONEP.....	13
5- Structure de l'ONEE-branche eau.....	13
6- descriptif du complexe de production d'eau potable à partir de l'OUED SEBOU-FES.....	15
<b>Chapitre 2 : descriptif des équipements du complexe de production Sebou.....</b>	
1- Généralités sur les groupes électropompes.....	21
1-1- Moteurs.....	22
1-2- Pompes.....	24
2- Equipements hydromécaniques.....	24
<b>Chapitre 3 : généralités sur la maintenance par analyse vibratoire et analyse acoustique.....</b>	
Introduction.....	28
1- Stratégie de maintenance. ....	28
1-1- Définition de la maintenance.....	28
1-2- Différents types de maintenance. ....	28

2-	Maintenance conditionnelle et techniques de surveillance.....	28
3-	Analyse vibratoire.....	29
3-1-	Définition d'une vibration.....	29
3-2-	Objectifs. ....	29
3-3-	Surveillance. ....	29
3-4-	Diagnostic. ....	30
3-5-	La mesure des vibrations ....	30
4-	Notions d'acoustique liées au bruit. ....	31
4-1-	Quelques définitions ....	31
4-2-	Niveau de pression acoustique continu équivalent $L_{p,A,eq,T}$ .....	32
4-3-	Niveau de pression acoustique de crête $L_{p,c,peak}$ .....	33
4-4-	Niveau de pression acoustique continue équivalent noté $L_{Ceq,t}$ .....	33
4-5-	Notion de pondération ....	33
4-6-	Mesurage de bruit.....	34
5-	Principaux défauts qui causent le bruit et la vibration ....	35
5-1-	Le balourd.....	35
	a- Définition.....	35
	b- Typologie du balourd.....	36
5-2-	Le délignage ou mauvais alignement.....	37
	Les conséquences du délignage.....	37
5-3-	Défauts de courroies ....	38
	a- Manifestation.....	38
	b- Origine.....	39
5-4-	Défauts des roulements ....	39
	a- Constitution.....	39
	b- Défaillances.....	39
	c- Les paliers lisses.....	42
5-7-	Phénomène de résonance.....	42

## **Chapitre 4 : mesurage du bruit et vibration des groupes électropompes Cas pratique du Complexe Sebou et Bab Louta de l'ONEE.....**

	Inventaire des machines susceptibles de générer du bruit et vibration.....	44
--	--	----

I.	Mesurage de vibration des équipements ONEE Sebou et Bab Louta .....	44
1.	SP-AIN NOKBI.....	46
2.	SP-SEBOU.....	48
3.	SP1-BAB LOUTA.....	49
4.	SP2-BAB LOUTA .....	50
II.	Mesurage du bruit.....	52
1.	Mesurage de l'exposition au bruit GP1 Sebou.....	52
2.	Mesurage du bruit émis GP1 Sebou.....	52
	Conclusion.....	54
	Bibliographie.....	
	Annexes.....	

## Figures et tableaux

	<b>Titre</b>	<b>page</b>
Figure 1	Organigramme de la Direction Régionale du Centre Nord	14
Figure 2	Organigramme du Secteur de Production Fes-Sefrou-Taza	15
Figure 3	Le dégrilleur	16
Figure 4	Vis d'Archimède	16
Figure 5	Le déssableur	16
Figure 6	Le débourbeur	17
Figure 7	Station de pompage d'eau brute	17
Figure 8	Répartiteur mélangeur	19
Figure 9	Les décanteurs	19
Figure 10	Le filtre	19
Figure 11	Synoptique d'une station de pompage	21
Figure 12	Schématisation d'un groupe électropompe	22
Figure 13	Vue en coupe d'un moteur asynchrone triphasé	22
Figure 14	Accéléromètre piézoélectrique.	29
Figure 15	Tableau de l'exposition maximale au bruit	30
Figure 16	Exemples de niveaux de bruit reçus par deux travailleurs lors d'une période de travail d'une durée de 100 minutes	31
Figure 17	Exemples de sources de bruits impulsionnels	32
Figure 18	Le dosimètre acoustique WED	33
Figure 19	Le sonomètre	34
Figure 20	Balourd statique	35
Figure 21	Balourd de couple	35
Figure 22	Balourd dynamique	35
Figure 23	Spéctre d'un moteur tournant à 2925 tr/min	36
Figure 24	Exemple d'un spéctre du défaut de délignage	37
Figure 25	Transmissions par courroies	38
Figure 26	Constitution d'un roulement	38
Figure 27	Écaillage sévère sur une bague extérieure de roulement	39
Figure 28	Spéctre du défaut de la bague externe d'un roulement	40
Figure 29	Comparaison entre deux spéctres : l'un d'un roulement dégradé et l'autre d'un roulement remplacé	40
Figure 30	Pompe centrifuge détruite par la cavitation	41
Figure 31	spéctre associé au mesurage du bruit GRP1 Sebou	51
Figure 28	L'emplacement du sonomètre pour mesurer le bruit émis	52



## **Liste des abréviations**

dB : décibels

REI : la Régie des Exploitations Industrielles

ONEE : office national de l'électricité et de l'eau potable

MES : matières en suspension

HMT : hauteur manométrique

Ha : hauteur d'aspiration

# Introduction

Le bruit des machines tournantes constitue une nuisance présente dans de nombreux secteurs professionnels. Une exposition à des niveaux sonores élevés peut affecter le système auditif. En effet, des données statistiques illustrent la permanence de l'exposition à des niveaux sonores élevés. En France, une enquête effectuée par le ministre du Travail a montré que l'exposition à des bruits nocifs pendant plus de 20 heures par semaine concernait près de 7% des salariés en 2003. Définis comme des bruits dépassant le seuil de 85 dBA ou comportant des chocs et impulsions, ces bruits nocifs sont susceptibles de porter atteinte au système auditif. Les atteintes auditives sont progressives. Quand les niveaux de bruit sont très élevés et que l'exposition se prolonge au fil des ans, le risque devient très important et peut conduire à une surdité, phénomène irréversible qui a un coût humain considérable et entraîne un handicap social largement sous-estimé actuellement.

En plus, les machines tournantes produisent des vibrations. En pratique, une bonne conception produira de faibles niveaux vibratoires dans une machine tournante. Cependant, la machine vieillissant, les pièces se déforment et s'usent, et de légers changements dans ses propriétés dynamiques apparaissent, les arbres se désalignent, les paliers s'usent, les rotors se déséquilibrent, les courroies se détendent, les jeux augmentent. Tous ces facteurs se traduisent par une augmentation de l'énergie vibratoire qui excite la machine.

Par conséquent, **le bruit et la vibration de ces machines conduisent à :**

- Indisponibilité des machines d'où une perte de production.
- Coûts de maintenance important.
- Nuisance et inquiétude.

D'où la nécessité de la surveillance des bruits et vibrations des machines tournantes et le diagnostic éventuel de ces phénomènes.

# **Chapitre 1: Présentation de l'ONEE branche**

**eau.**

### ***1- Historique :***

Vers les années 50, le service de l'eau potable était réservé à des quartiers privilégiés ; il n'existait pas de structures de gestion efficaces en dehors des villes de Rabat, Casablanca et d'une soixantaine de centres gérés par REI ; véritable entreprise d'État à tout faire en l'absence d'un secteur privé entreprenant.

La prise de conscience de développer les services de l'eau a pris racine dès les années 60 dans le cadre d'une politique volontariste de mobilisation des eaux de surface en vue de développer l'agriculture irriguée et d'assurer les besoins en eau potable des populations ainsi que la satisfaction des besoins industriels.

Il a donc fallu agir sur les plans tant institutionnels que de la mobilisation des fonds en vue de sécuriser l'alimentation en eau potable et étendre le service qui était alors encore embryonnaire. Rappelons à ce titre qu'à la veille de l'indépendance, la population urbaine disposant de l'eau à domicile ne dépassait guère les 28 % de cette tranche de population.

### ***2- création de l'ONEP.***

La problématique des ressources en eau, caractérisée par une répartition inégale dans le temps et dans l'espace, a donc poussé les pouvoirs publics à une restructuration profonde du secteur et à le doter notamment d'un organe de planification à long terme. Pour ce faire il a été créé en 1972 un office appelé office national de l'eau potable (ONEP).

L'organisme ainsi créé, a imposé sa marque tant au niveau national qu'international en se dotant d'outils de planification performants et en devenant un interlocuteur privilégié des bailleurs de fonds, ce qui a permis de faire bénéficier notre pays de financements concessionnels et de répondre à un important besoin d'investissement.

### ***3- Missions de l'ONEP.***

L'ONEP est un établissement public à caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Acteur principal dans le secteur de l'eau potable et de l'assainissement, les missions principales de l'Office vont de la planification de l'approvisionnement en eau potable jusqu'à sa distribution en passant

par les phases, études, conception, réalisation, gestion, exploitation des unités de production, de distribution et d'assainissement liquide et enfin du contrôle de la qualité des eaux jusqu'à la protection de la ressource.

L'ONEP a développé une stratégie en matière d'alimentation en eau potable rurale. Elle intervient dans le domaine de l'assainissement liquide en vue d'assurer la protection des ressources et d'améliorer les conditions sanitaires des populations dans le cadre d'une vision de gestion intégrée du cycle de l'eau.

#### **4- Groupement ONEP / ONE.**

Afin de relever les défis auxquels le Maroc est confronté en matière d'énergie électrique, d'eau et d'assainissement liquide, il devient nécessaire d'harmoniser les nouvelles stratégies de l'eau et de l'énergie électrique.

Mobiliser et valoriser les ressources énergétiques et hydriques, sécuriser leur approvisionnement, leur disponibilité à des prix appropriés, maîtriser leur production et leur demande et gérer leur utilisation de manière constituent des objectifs majeurs de ce regroupement et ce pour faire face aux mutations économiques et financières mondiales.

ONE et ONEP se sont regroupé en avril 2012 et ont constitué un unique office dénommé Office national de l'électricité et de l'eau potable (ONEE). Toutefois la fusion n'est pas encore arrivée à son stade final. En effet, l'ONE est devenu l'ONEE-branche électricité et l'ONEP est devenu l'ONEE-branche eau.

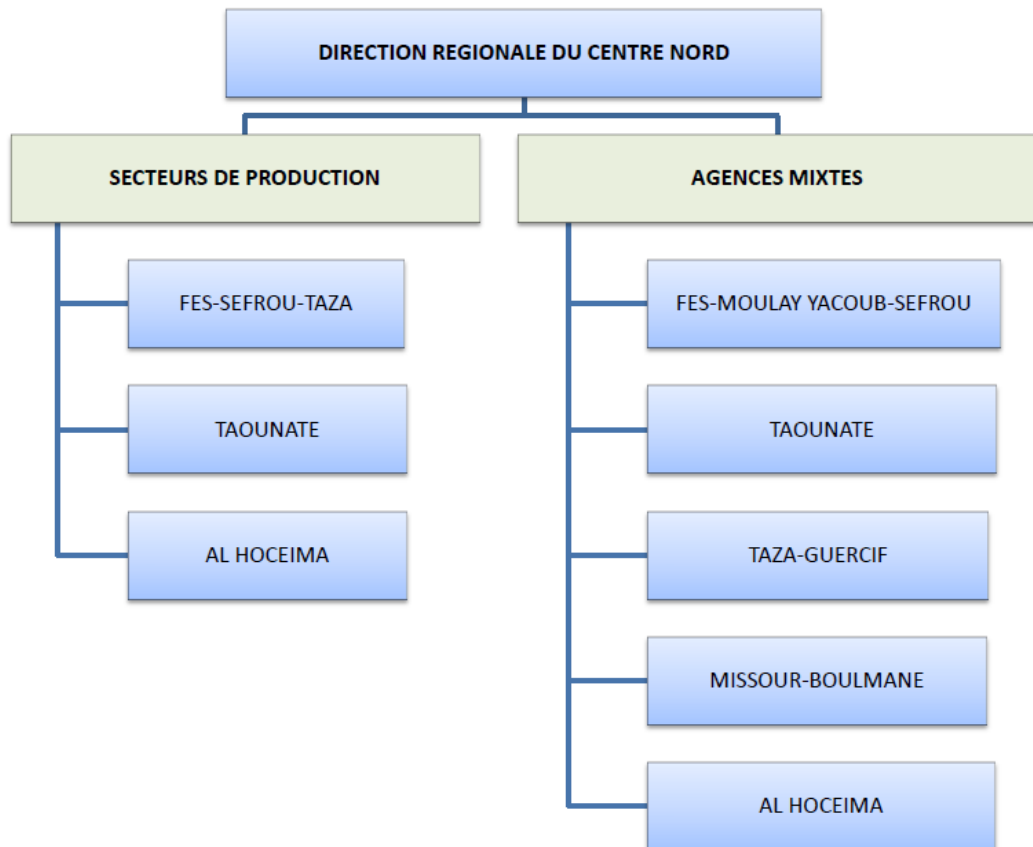
#### **5- Structure de l'ONEE -branche eau.**

La direction générale de l'ONEE-branche eau se trouve à Rabat.

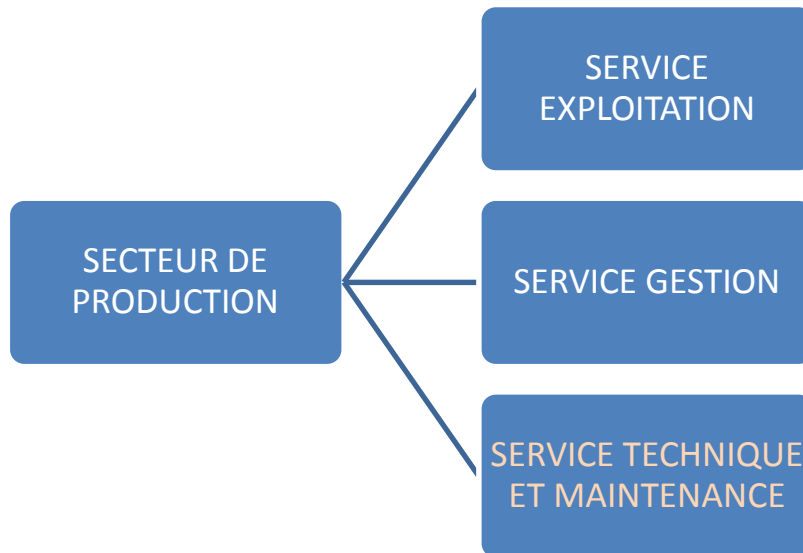
L'ONEE-branche eau Comprend 10 Direction Régionale (DR) :

- ✓ DR1: direction régionale à Agadir.
- ✓ DR2: direction régionale Tanssifte Al Haouz à Marrakech.
- ✓ DR3: direction régionale à Khouribga.
- ✓ DR4: direction régionale nord ouest à Kenitra.
- ✓ **DR5: direction régionale centre nord à Fès (figure 1).**

- ✓ DR6: direction régionale à Oujda.
- ✓ DR7: direction régionale centre sud à Mekhnès.
- ✓ DR8: direction de province Saharienne à Laayaune.
- ✓ DR9 : direction régionale du Nord
- ✓ DRC : direction régionale côte atlantique.



**Figure 1 : Organigramme de la Direction Régionale du Centre Nord**



**Figure 2 : Organigramme du Secteur de Production Fes-Sefrou-Taza**

## ***6- Descriptif du complexe de production d'eau potable à partir de l'OUED SEBOU-FES.***

Le complexe de production d'eau potable est constitué de 5 stations :

- ✚ Station de prétraitement réalisée en 1989 capable de traiter des eaux chargées en matières en suspension (MES) allant jusqu'à 50 g/l.
  - ✚ Station de pompage d'eau brute de l'Oued Sebou .
  - ✚ Station de traitement réalisé en 1987 avec une capacité de production initial de 800 l/s.
  - ✚ Station de pompage d'eau traitée.
  - ✚ Station de transfert.
- ◆ Si les **M.E.S sont inférieures à 2 g/l** : l'eau brute est pompée directement vers la station de traitement.
  - ◆ Si les **M.E.S sont comprises entre 2 g/l et 50 g/l** : l'eau passe d'abord par un prétraitement avant d'être pompée vers la station de traitement
  - ◆ Si les **M.E.S sont supérieures à 50 g/l** on fait arrêter les 2 stations et on a recours à la nappe de Saiss pour alimenter en eau potable la ville de Fès.

### **❖ Station de prétraitement :**

Elle est située près de l'Oued Sebou à 2,5 Km de la station de traitement, elle est constituée de :

- Une prise d'eau équipée de 3 grilles et un dégrilleur.
- Une station de relevage équipée de 3 vis d'Archimède.
- 2 désableurs.
- 1 répartiteur mélangeur.
- 3 débourbeurs.
- Une bâche de protection de 1600 m<sup>3</sup>.

### 1. Le dégrilleur :

C'est une étape préliminaire qui s'effectue à l'entrée de la prise d'eau brute par une grille métallique à commande automatique qui, par un mouvement de va et viens de bas vers le haut, permet l'élimination des matières volumineuses (branches et troncs d'arbre, herbes mortes, algues....) (voir figure 3).



**Figure 3 : le dégrilleur**

### 2. Station de relevage :

Il comprend 3 vis d'Archimède (figure 4) qui relèvent l'eau de la cote minimale de l'Oued vers les dessableurs (6.5m de hauteur). Le débit normal de chaque vis est 750 l/s avec 30 m de longueur.



**Figure 4 : les Vis d'Archimèdes**

### 3. Le désablage :

C'est un ouvrage (figure 5) qui permet l'élimination des particules de taille moyenne (sable, gravier) en stockant l'eau dans 2 bassins rectangulaires appelés dessableurs afin de permettre sa décantation. C'est un premier traitement physique de l'eau brute.



**Figure 5 : le désableur**

### 4. Répartiteur (mélangeur) :



C'est un ouvrage constitué de 4 bacs équipé d'un mélangeur et de 4 vannes départs. A cette étape on fait injecter le polymère.

### **5. Débourbeurs :**

Les 3 débourbeurs (figure 6) permettent de décanter les floques formés par action du polymère en éliminant la totalité des sables fins dont la concentration dépasse 2g/l par un pré-décantation. Chaque débourbeur est équipé d'un mélangeur, un racleur de boue et de 2 motopompes d'évacuation de boue.



**Figure 6 : le débourbeur.**

### **❖ Station de pompage d'eau brute :**

Cette station (figure 7) est constituée de 5 groupes (500 l/s, 95 m de HMT, et de puissance 700 Kw chacun) qui refoulent l'eau vers la station de traitement via une conduite de refoulement de diamètre 1200 mm de 2,5 km de longueur.



**Figure 7 : Station de pompage d'eau brute**

L'aspiration se fait à partir d'une prise directe sur l'Oued Sebou ou à partir de la bache 1600 m<sup>3</sup> au cas où la station de prétraitement est en marche.

## ❖ Station de traitement :

### 1. Ouvrage d'arrivée :

Cet ouvrage reçoit l'eau. Cette eau est répartie entre 6 décanteurs par l'intermédiaire d'un ouvrage appelé répartiteur. A la sortie de l'ouvrage d'arrivée se fait l'injection du sulfate d'alumine et la pré chloration.

### 2. Répartiteur (mélangeur) :

Son rôle est de mélanger les réactifs de traitement avec l'eau provenant de l'ouvrage d'arrivée, et de réaliser une répartition égale sur les six décanteurs. Chaque départ vers un décanteur est équipé d'une vanne murale manuelle.



**Figure 8 : Répartiteur mélangeur**

### 3. Décanteurs :

L'eau brute arrive aux 6 décanteurs (figure 9). Ces derniers sont conçus pour traiter une eau brute ayant un taux de MES inférieure à 2g/l .

L'eau décantée est acheminée vers les filtres par l'intermédiaire des goulottes.



**Figure 9 : Les décanteurs**

### 4. Les filtres :

Les 12 filtres de la station de traitement sont des filtres à sable d'une hauteur de 1 mètre. Chaque filtre (figure 10) est équipé d'un pupitre de lavage. Ce dernier permet d'envoyer à contre courant l'eau et l'air surpressés pour détacher les impuretés, il se fait en automatique ou en manuel après chaque colmatage en trois phases :

- le **décolmatage** : air sec pendant 3min (surpresseur d'air seul).
- le **barbotage** : air + eau pendant 7min (surpresseur d'air + pompe à eau de lavage).
- le **rinçage** : eau sec pendant 10min (pompe à eau de lavage seule).



**Figure 10 : les filtres**

#### **5. Réservoirs de stockages :**

Ils sont au nombre de trois : deux citernes de capacité 7 500 m<sup>3</sup> chacune et un réservoir de capacité 30 000 m<sup>3</sup> équipé d'une station de relevage d'eau traitée vers les deux citernes de 7 500 m<sup>3</sup>. L'eau est stérilisée à l'entrée des deux citernes par chloration.

#### **❖ Station de pompage AIN NOKBI :**

La station de pompage AIN NOKBI est équipée de 6 groupes électro-pompes (400 l/s, 85m de HMT et 500 kW de puissance). Cette station refoule l'eau potable vers le réservoir de la Régie BAB HAMRA via une conduite de refoulement en béton précontraint de diamètre 1200 mm sur une longueur de 2,5 km.

#### **❖ Station de transfert des eaux d'AIN NOKBI vers le réservoir RADEEF :**

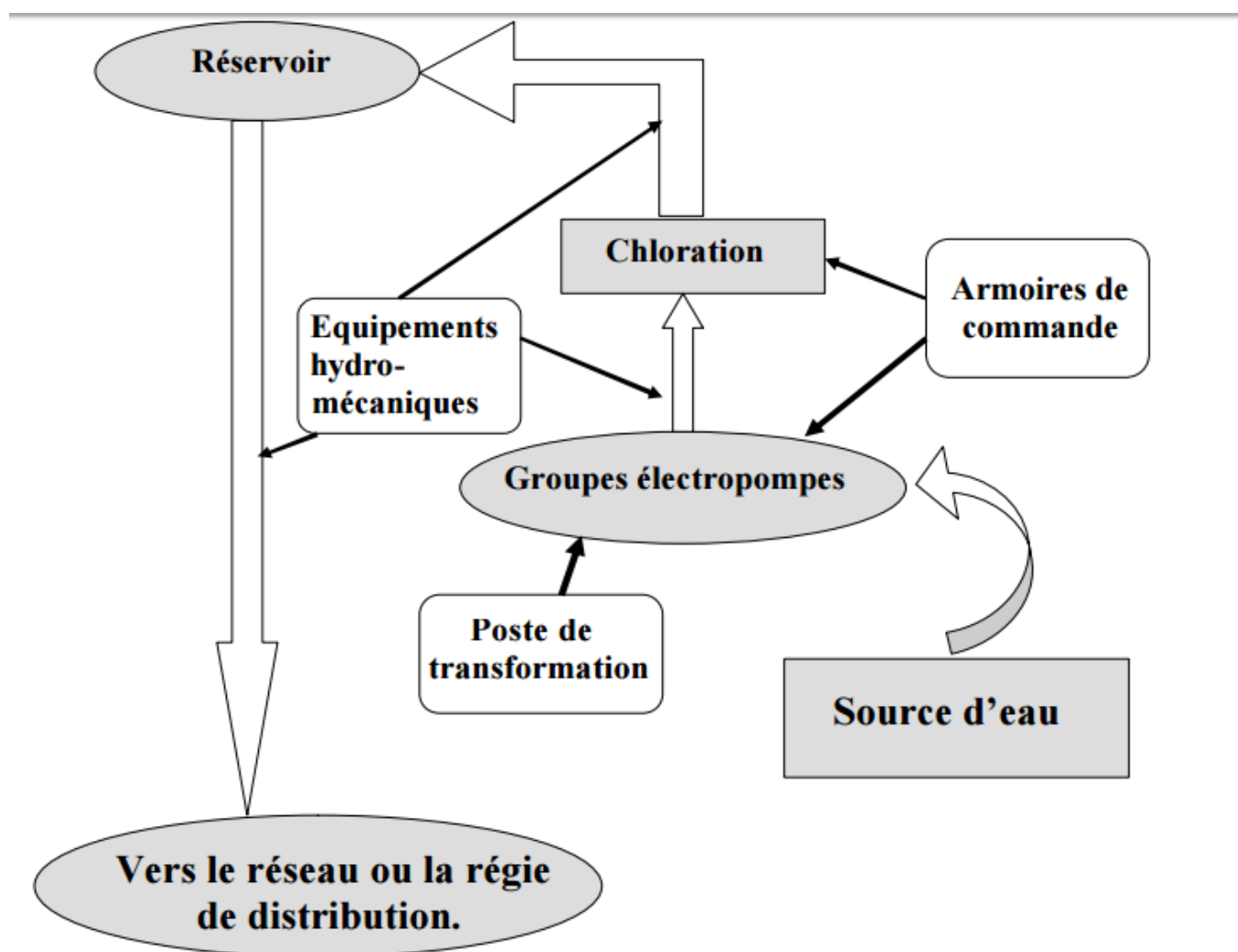
La station est équipée de 3 groupes électropompes (250 l/s, 210m de HMT ) dont 1 est de secours. Cette station refoule 500 l/s d'eau potable vers le réservoir 2\*5000 m<sup>3</sup> de la RADEEF via une conduite de diamètre 1400 mm.

## **Chapitre 2 : Descriptif des équipements au complexe de production Sebou.**

## Introduction :

Le complexe de production de l'eau à partir de l'Oued Sebou comprend des stations de pompage et de traitement de l'eau. Ces stations de pompes constituent la partie essentielle de l'ONEE-branche eau car elles représentent le départ de la production de l'eau. Le synoptique suivant (figure 11) donne une idée générale sur la constitution d'une station de pompage :

**figure 11 : synoptique d'une station de pompage**



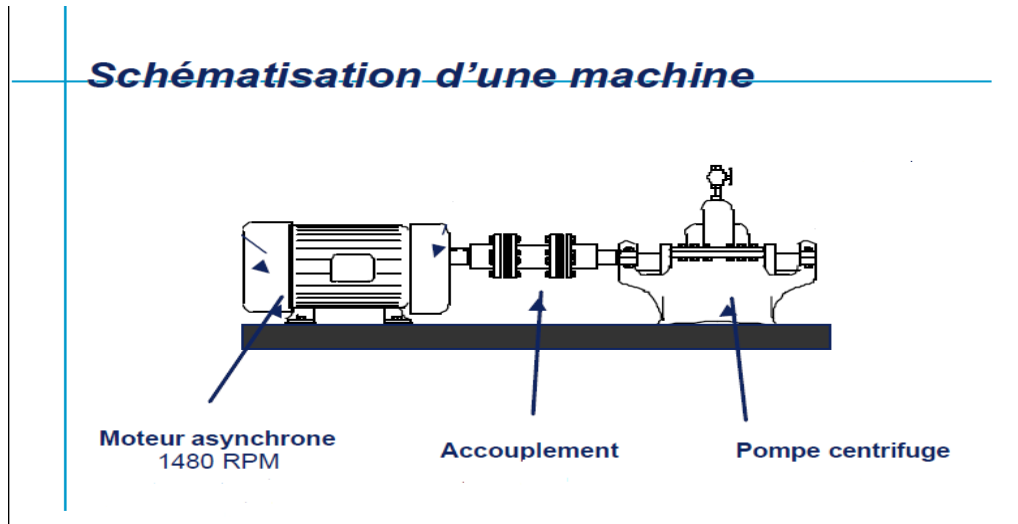
### *1- Généralités sur les groupes électropompes :*

Les groupes électropompes sont constitués de deux parties :

- Le moteur : permet un mouvement de rotation pour faire tourner la pompe.

- La pompe : c'est la partie entraînée par le moteur pour aspirer l'eau et faire le refoulement.

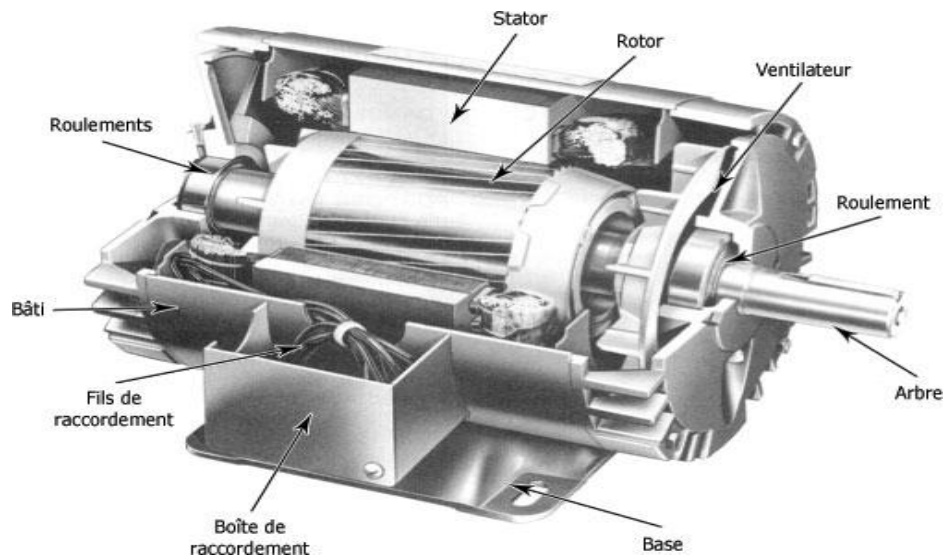
Les deux sont liés par un accouplement rigide à manchon élastique qui diminue les frottements dus au choc de démarrage. (Voir figure 12).



**Figure 12 : schématisation d'un groupe électropompe.**

### 1-1- Moteurs

La plupart des moteurs au complexe de production sont **des moteurs asynchrones triphasés**.



**Figure 13 : Vue en coupe d'un moteur asynchrone triphasé**

**Descriptif du moteur d'un point de vue mécanique :**

- Le stator : **partie fixe** de la machine.

- Le rotor : partie de la machine qui est **en mouvement de rotation**, à l'intérieur du stator et lié à un arbre de transmission.
- L'entrefer : **espace** situé entre le rotor et le stator.

La figure 13 ci-dessus montre une vue en coupe d'un moteur asynchrone triphasé et identifie ses principaux composants.

Les moteurs asynchrones triphasés cumulent de multiples avantages : ils sont **simples, robustes et faciles d'entretien**. Toutes ces raisons expliquent leur popularité en milieu industriel. Leur puissance varie d'une fraction de kW à plusieurs centaines de kW.

### **Modes de démarrage des moteurs :**

Le démarrage des moteurs parfois peut être différent du démarrage direct afin de limiter l'appel du courant électrique au démarrage pour ne pas provoquer des chutes de tension importantes dans une installation électrique et pour optimiser le choix des appareils à utiliser dans les circuits de puissance.

Il existe plusieurs modes de démarrage outre que le démarrage direct :

- **Le démarrage étoile/triangle** : le moteur démarre en deux temps. Au 1<sup>er</sup> temps le moteur reçoit la tension en commençant par le couplage étoile pour une durée d'environ 3 secondes, ensuite au 2<sup>ème</sup> temps passe à l'état triangle pour fonctionner normalement.
- **Le démarrage par résistances** : il consiste à lier 3 résistances en série avec les trois phases, pour une durée de 3 ou 4 secondes, puis lier le moteur sans résistances.
- **Le démarrage par self** : Lorsque la vitesse augmente, la tension aux bornes du moteur augmente à cause du retour du courant d'utilisation et de la répartition vectorielle de tension. Le couple moteur augmente alors également. Après la phase d'accélération les bobines de self sont court-circuitées.

- **Le démarrage électronique** : Il permet un démarrage progressif des moteurs, la tension du réseau d'alimentation est appliquée progressivement au stator du moteur.

Actuellement l'ONEE-branche eau opte pour le démarrage électronique pour toutes les stations de pompage

## 2-2 - Pompes

### *a- Définition :*

La pompe est une machine tournante qui permet de fournir de l'énergie à un liquide pour le faire arriver d'un point bas à un point haut à travers un circuit hydraulique ( conduite, vanne, ventouse...)

### *b- Les types de pompes :*

Les différentes pompes utilisées au sein du complexe Sebou de l'ONEE sont essentiellement de types :

- . Pompe à axe horizontal.
- . Pompe à axe vertical.
- . Pompe immergée.

Le choix d'utilisation entre ces trois types dépend d'abord de la hauteur d'aspiration  $H_a$  (hauteur entre l'axe du moteur et le niveau d'eau) :

\* Si  $H_a < 8$  mètres on utilise la pompe à axe horizontal grâce à son meilleur rendement et un entretien plus facile.

\* Si  $H_a > 8$  mètres on a le choix entre la pompe à axe vertical et la pompe immergée.

## 2- Equipements hydromécaniques.

Les principaux équipements utilisés à l'ONEE et notamment au niveau du complexe Sebou sont les suivants :

- ❖ Vanne : elle est généralement montée dans un circuit hydraulique. Elle permet d'isoler ou de réguler l'écoulement de l'eau.
- ❖ Vanne motorisé : c'est une vanne équipée d'un moteur qui assure l'ouverture et la fermeture de la vanne, en respectant les conditions de sécurité suivantes :



- Arrêt en position et fermeture sur contact fin course.
- Limiteur d'effort en sécurité, qui sert à arrêter le moteur s'il existe des obstacles à l'intérieur de la vanne, comme le sable.
- ❖ Vanne altimétrique : c'est une vanne commandée par le niveau d'eau dans le réservoir.
- ❖ Ventouse : Appareil situé aux points hauts et destiné à purger l'air qui s'installe à l'intérieur des conduites et qui gêne la circulation de l'eau et peut parfois provoquer des coups de bélier importants.
- ❖ Manomètre : mesure la pression à l'aspiration et au refoulement.
- ❖ Clapet anti-retour : permet l'écoulement dans un seul sens.
- ❖ Anti-bélier : sert à éviter les coups de bélier dû à la variation de la vitesse d'écoulement et de pression, à l'intérieur de la conduite.
- ❖ Vidange : Equipement permettant de purger une conduite en évacuant l'eau vers un puisard.
  
- ❖ **Cône** : Elément de conduite de forme conique permettant de réduire ou d'augmenter le diamètre de la conduite.
  
- ❖ **Coude** : Elément de conduite permettant raccorder deux tronçons hydrauliques qui ne sont pas situés dans le même plan horizontal ou vertical.
  
- ❖ Compteur d'eau ou débitmètres.

**Chapitre 3 : Généralités sur la maintenance  
par analyse vibratoire et analyse acoustique.**

## **Introduction**

La maintenance industrielle est devenue un enjeu clef pour la durabilité des machines ainsi que pour l'accroissement de la productivité des unités de production. En réalité les surcharges d'utilisation des équipements industriels peuvent entraîner des défaillances. C'est pourquoi pour les systèmes mécaniques où la sécurité est de grande importance, la maintenance conditionnelle doit être appliquée afin d'intervenir dès qu'un indicateur atteint un seuil prédéfini au préalable

### **1- Stratégie de maintenance.**

#### **1-1- Définition de la maintenance**

Selon la norme NF-X60-010 : la maintenance est définie comme étant un ensemble d'activités destinées à maintenir ou rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement pour accomplir une fonction requise.

#### **1-2- Différents types de maintenance.**

Les activités de maintenance permettent une diminution des coûts de production et l'amélioration de la qualité des produits.

Selon la politique de la maintenance, on distingue quatre types de maintenance :

- **maintenance corrective** : consiste à effectuer une action de maintenance après la panne.
- **maintenance préventive systématique** : consiste à effectuer les actions de maintenance selon un échéancier fixe sur la base du minimum de durée de vie des composants mécaniques d'une machine,
- **maintenance préventive conditionnelle** : l'action de maintenance n'est déclenchée qu'à la suite d'un type d'événement prédéterminé (indicateur vibratoire, de température etc...),
- **maintenance prédictive** : consiste à prédire la date à laquelle une action de maintenance doit s'effectuer selon un modèle de dégradation théorique des composants mécaniques de la machine.

Les paramètres dont il faut tenir compte pour adopter telle ou telle politique de maintenance sont principalement d'ordre **économique** et **humain**. Avec l'objectif de trouver une politique capable de réduire les coûts de maintenance.

### **2- Maintenance conditionnelle et techniques de surveillance.**

Pour les machines tournantes, un indicateur de type vibratoire permet de détecter la plupart des défauts. On établit une courbe d'évolution de l'indicateur au cours du temps. Sur cette courbe, on définit différents seuils correspondant à un niveau d'alerte, à une alarme, à un niveau de défaillance. Ces niveaux sont établis soit par expérience soit en appliquant une norme.

Parmi les techniques de maintenance conditionnelle pour surveiller les machines tournantes on trouve :

- **L'analyse vibratoire** : est la plus connue et la plus largement utilisée car adaptée aux composants mécaniques et aux machines industrielles en fonctionnement. Elle permet de détecter la majorité des défauts susceptibles d'apparaître dans les machines tournantes à l'aide des accéléromètres. Cette analyse permet la détection de défauts à un stade précoce et donne la possibilité de réaliser un diagnostic approfondi.
- **L'analyse acoustique** : permet de détecter tout bruit anormal à l'aide de microphones placés à distance de l'équipement.

### **3- Analyse vibratoire.**

#### **3-1- Définition d'une vibration.**

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

#### **3-2- Objectifs.**

L'analyse vibratoire a deux objectifs :

- la détection des défauts.
- l'analyse des défauts.

#### **3-3- 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. 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.

La norme [ISO10816] fixe des 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.

### 3-4- Diagnostic.

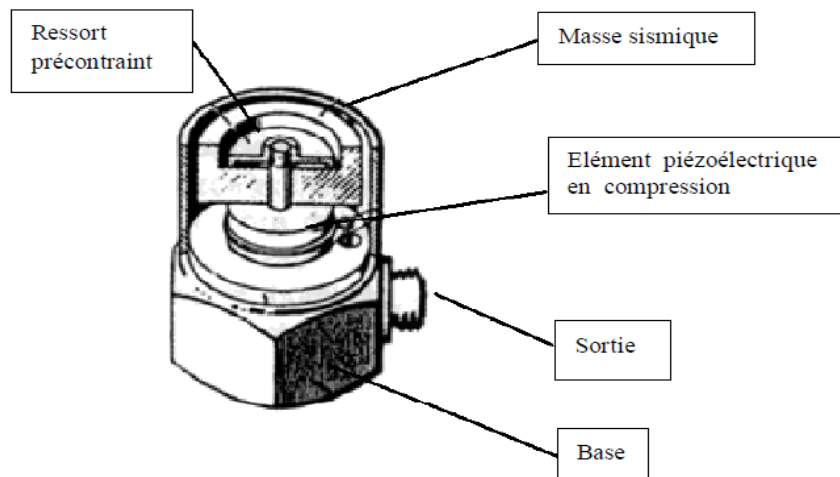
Pour établir un diagnostic vibratoire, il est souvent nécessaire de faire appel à des outils mathématiques relativement élaborés. Ces outils doivent assister l'opérateur et lui permettre de remonter aux origines du ou des défauts. En outre, il faut connaître les caractéristiques de ses composants ainsi que leurs différents modes de dégradation.

### 3-5- La mesure des vibrations.

Les vibrations d'une machine tournante sont l'image des forces internes à celle-ci. Par exemple pour un moteur électrique ces forces, représentatives du comportement mécanique de la machine, se transmettent du rotor à la structure à travers des paliers. Les vibrations seront donc mesurées au niveau des paliers.

La vibration peut être décrite en termes de **déplacement** (en  $\mu\text{m}$ ), de **vitesse** (en mm/s), ou **d'accélération** (en g)  $g=9.81 \text{ m/s}^2$ .

Les accéléromètres piézo-électriques (figure 14) possèdent une très bonne linéarité et une large bande passante. Un capteur monodirectionnel collé effectuera les mesures. Sa masse est environ 20 g.



**Figure 14 : Accéléromètre piézoélectrique.**

La tendance actuelle est 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.

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.

#### 4- Notions d'acoustique liées au bruit.

##### 4-1- Quelques définitions :

■ **Le bruit** : On entend par « bruit », un ou plusieurs sons donnant une sensation auditive désagréable ou gênante.

Il est gênant lorsque, en raison de la nature de sa fréquence ou de son intensité, il peut causer des troubles excessifs aux personnes, des dangers ou à nuire à la santé.

##### ■ Définition d'une onde acoustique :

Une onde acoustique ou sonore se déplace dans un milieu matériel. Elle est caractérisée par la perturbation du milieu dans lequel elle se déplace.

La perturbation se déplace dans l'air ou l'eau ce qui se traduit dans une variation de la pression locale que nous percevons comme un son.

##### ■ Exposition au bruit : Dose de bruit

Il existe un paramètre important à prendre en compte pour évaluer l'exposition sonore : le niveau de pression auquel un salarié est soumis et son temps d'exposition. On parle alors de dose de bruit. Ce tableau (figure 15) illustre l'équivalence en dose de bruit maximale d'un niveau de pression de 80 dBA auquel un salarié est exposé :

Niveau de pression en dB	Durée		
80dB	8 heures		
83 dB	4 heures		
86 dB	2 heures		
89 dB	1 heure		
92 dB		30 minutes	
95 dB		15 minutes	
98 dB		7 minutes	30 secondes
101 dB		3 minutes	45 secondes
104 dB		1 minute	53 secondes
107 dB			56 secondes
110 dB			28 secondes
113 dB			14 secondes
116 dB			7 secondes
119 dB			3,5 secondes
122 dB			1,7 secondes

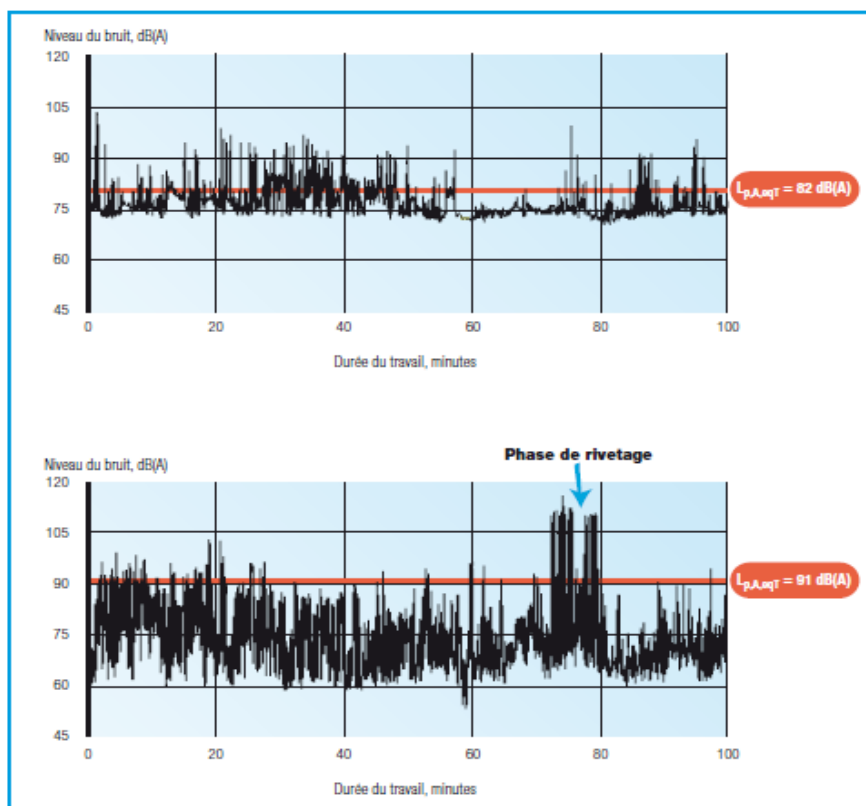
**Figure 15 : l'exposition maximale au bruit .**

- **Le bruit émis par une machine** : est la valeur déclaré par son fabricant, il est mesuré dans un espace ouvert quand la machine effectue un travail fixé, en l'absence de toute autre source de bruit.

#### 4-2- Niveau de pression acoustique continu équivalent $L_{p,A,eq,T}$

Le bruit se caractérise à chaque instant  $t$  par le niveau de pression acoustique instantané,  $L_p(t)$ , exprimé en décibels. Pour prendre en compte les variations de  $L_p(t)$  durant le temps de travail, on définit une durée  $T$  (quelques minutes, une heure ...) et on évalue le niveau du bruit pendant  $T$  selon une moyenne. C'est ce qu'indique le niveau acoustique continu équivalent mesuré durant  $T$ , noté  $L_{p,A,eq,T}$ .

La figure 16 montre 2 exemples très différents de bruit reçu par des opérateurs. Dans le premier cas, il s'agit d'un opérateur (fraiseur) dont le travail se déroule en poste fixe : il est exposé à un bruit qui varie relativement peu durant la période observée. Dans le second cas, il s'agit d'un monteur dont les tâches habituelles sont très variées : le niveau de bruit reçu est très fluctuant ; de plus la phase de travail présentée ici comprend 10 minutes de rivetage, tâche extrêmement bruyante qui apparaît nettement sur le diagramme.

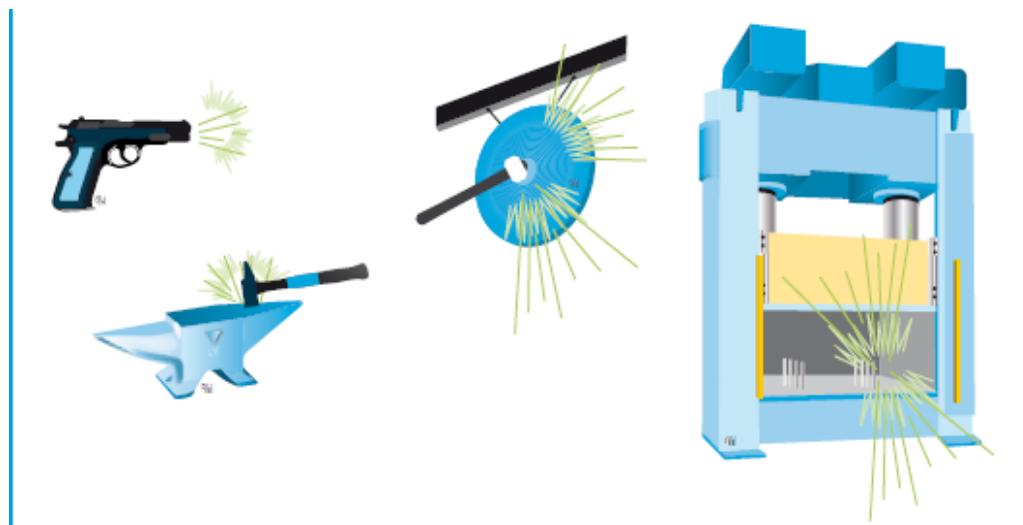


**Figure 16 : exemples de niveaux de bruit reçus par deux travailleurs lors d'une période de travail d'une durée de 100 minutes.**

Le diagramme supérieur concerne le bruit reçu par un fraiseur, exposé à niveau de bruit peu variable. Le diagramme inférieur concerne le bruit reçu par un monteur d'ensembles mécaniques complexes ; il monte une phase d'exposition à un niveau de bruit excédant 105 dBA durant 10 min, liée à une tâche très bruyante, le rivetage.

#### 4-3- Niveau de pression acoustique de crête $L_{p,c,peak}$

Les chocs métalliques intenses et d'autres opérations très bruyantes mais brèves produisent des bruits impulsifs. Ils résultent de sources de bruit telles que celles de la figure 17. Un indicateur d'exposition complémentaire au bruit moyen est alors à prendre en compte : c'est le niveau de pression acoustique de crête, noté  $L_{p,c,peak}$ . Mesuré en dBC, il indique la valeur maximale de la pression acoustique instantanée  $L_p(t)$  observable durant une période de temps représentative de la journée de travail.



**Figure 17 : exemples de sources de bruits impulsifs.**

#### 4-4- Niveau de pression acoustique continue équivalent noté $LC_{eq,t}$

C'est le niveau moyen de pression acoustique au cours d'une durée  $t$ , en dB avec pondération 'C'.

#### 4-5- Notion de pondération

Vos oreilles sont plus sensibles aux fréquences entre 500Hz et 6kHz et moins sensibles aux fréquences au-dessus ou au-dessous de celles-ci. Pour permettre au sonomètre ou au dosimètre de mesurer et rapporter les niveaux sonores que nous entendons, on utilise les pondérations fréquentielles. Ce sont des filtres électroniques



situés dans l'instrument et qui sont utilisés pour ajuster la manière dont l'instrument mesure le bruit

Le filtre de pondération 'A' couvre la gamme entière des fréquences de 20 Hz à 20 kHz, mais sa façon de percevoir le son se rapproche de la sensibilité de fréquence de l'oreille humaine. Ainsi, la valeur pondérée 'A' d'une source sonore est une approximation de la façon dont l'oreille humaine perçoit le bruit.

La pondération 'C' est la pondération standard des fréquences audibles généralement utilisée pour la mesure du niveau de crête.

#### **4-6- Mesurage de bruit :**

- **dosimètre**

Par rapport au mesurage **de l'exposition au bruit**, on utilise le **dosimètre** (figure 18) puisqu'il donne le niveau sonore équivalent. Il est porté en permanence par le travailleur exposé au bruit durant une période déterminée. Il est livré avec un logiciel permettant de visualiser et d'analyser toute la série chronologique du bruit mesuré.

Le logiciel permet de traiter efficacement les données acquises en conformité avec les normes et réglementations en vigueur.



**Figure 18 : le dosimètre acoustique WED**

- **Sonomètre**

Pour mesurer le **bruit émis par une machine**, on utilise le **sonomètre** (figure 19). Ce dernier se compose d'un microphone, de circuits électroniques et d'un affichage. Après avoir été captées par le microphone, les petites variantes de pression d'air produites par le son sont transformées en signaux électriques, qui sont alors traités

dans la circuiterie électronique de l'instrument et qui s'affichent en décibels de niveau sonore.



**Figure 19 : le sonomètre**

## **5- Principaux défauts qui causent le bruit et la vibration :**

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

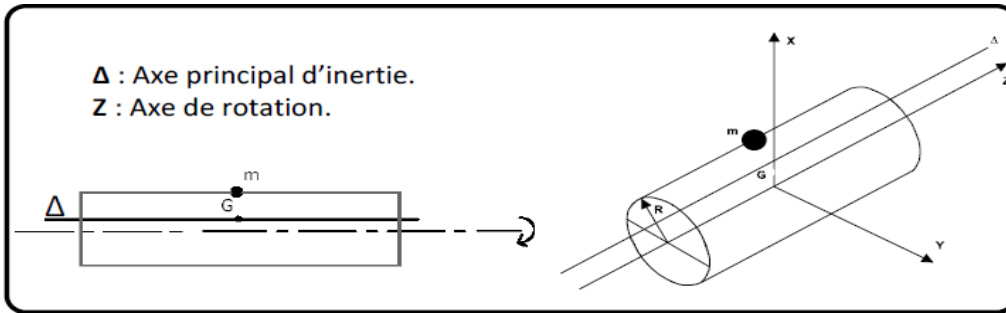
- Forces périodiques (balourd)
- Forces transitoires (variation de charge)
- Forces impulsionnelles (chocs)
- Forces aléatoires (frottements)

### **5-1- Le balourd :**

#### **a- Définition :**

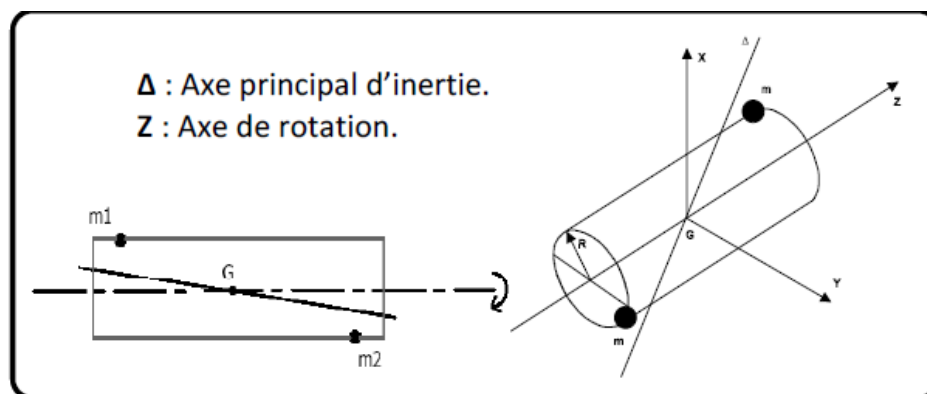
Le phénomène de balourd est lié à une répartition non homogène de la masse autour de l'axe de rotation : l'axe d'inertie de l'arbre n'est pas confondu avec l'axe de rotation. Il peut être défini comme un déséquilibre massique qui provient généralement du défaut d'usinage, d'assemblage et de l'échauffement dissymétrique du rotor lors du fonctionnement. Différents types de balourd peuvent être identifiés :

- Balourd statique : l'axe d'inertie de l'arbre est parallèle à l'axe de rotation.



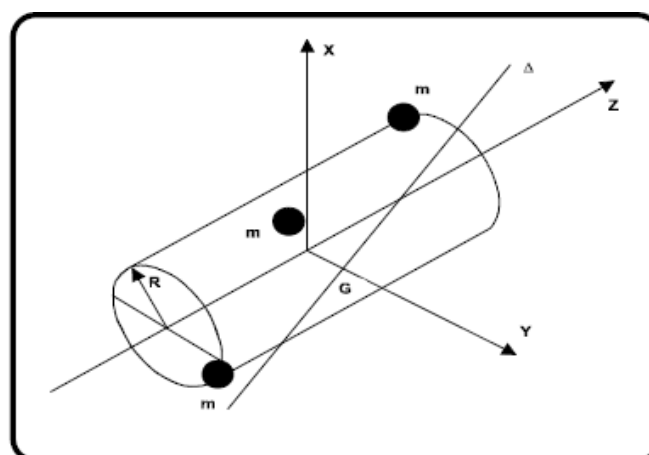
**Figure 20 : Balourd statique**

- Balourd de couple : l'axe d'inertie n'est pas colinéaire à l'axe de rotation, les deux axes forment un angle.



**Figure 21 : Balourd de couple**

- Balourd dynamique : C'est une combinaison des deux balourds ci-dessus. Le centre de gravité n'est pas sur l'axe de rotation et cet axe n'est pas parallèle à l'axe principal d'inertie.



**Figure 22 : Balourd dynamique**

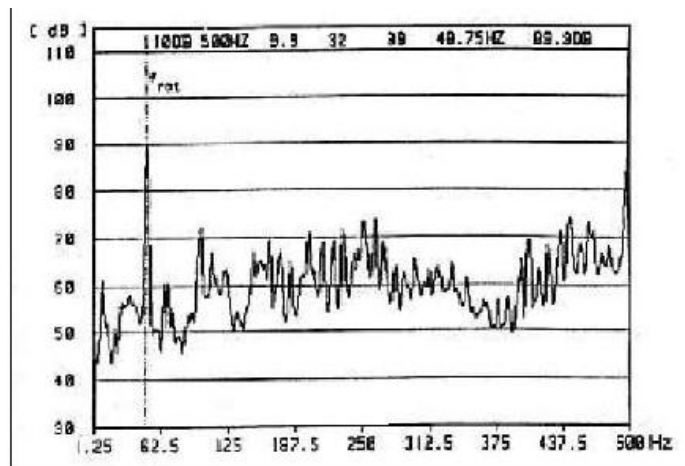
### b- Typologie du balourd :

Le balourd se manifeste par une énergie vibratoire localisée :

- A la fréquence de rotation  $F_0$ .
- Aux fréquences des harmoniques  $2F_0, 3F_0, \dots$

La figure ci-dessous, montre le spectre réel de l'amplitude de l'accélération (exprimée en dB) mesurée sur un moteur tournant à 2925 tr/min (correspond à 48,75 Hz)

On observe sur le spectre un pic à la fréquence de 48,75 Hz traduisant donc la présence d'un balourd.



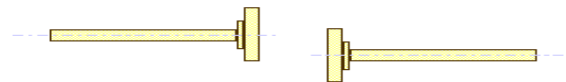
**Figure 23 : spectre d'un moteur tournant à 2925 tr/min**

### 5-2- Le délignage ou mauvais alignement :

Le défaut de lignage est dû à la non coïncidence des axes de rotation de deux machines accouplées (ex : le moteur et la pompe). Selon les positions géométriques des deux axes, on distingue 3 types de délignage :

#### Désalignement

- Décalage d'axe :



- Désalignement angulaire :

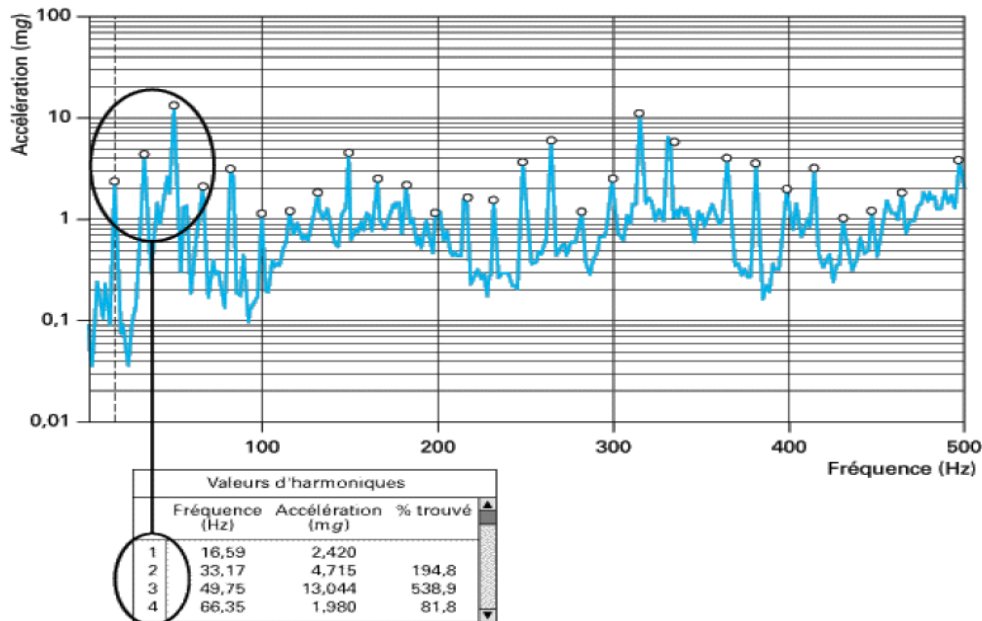


- Combinaison des deux :



**Les conséquences du délignage :**

Le défaut de délignage crée des contraintes internes au niveau des arbres et des paliers des machines accouplées. La contrainte exercée au niveau du palier génère une non-linéarité de raideur de ce dernier. Le déplacement occasionné par la force excitatrice s'en trouve écarté, entraînant l'apparition de composantes harmoniques de la fréquence de rotation. Il se manifeste par une énergie vibratoire localisée à  $2.F_0$ ,  $3.F_0$  ou  $4.F_0$  (voir figure 24).



**Figure 24 : exemple d'un spectre du défaut de délignage**

### 5-3- Défauts de courroies :

Les courroies sont utilisées pour transmettre la puissance entre deux arbres dont la distance n'est pas trop importante. Une courroie, constituée par une bande sans fin passant sur deux poulies, transmet l'énergie grâce à son adhérence sur les poulies.

#### a- Origine :

- Le glissement mécanique de la courroie sur la poulie est de l'ordre de 2% à 5%. Si le glissement est plus important, une usure prématurée peut survenir.
- D'autres défauts de courroie sont engendrés par la conséquence d'une mauvaise pose, d'une usure ou par le défaut d'alignement des deux poulies.

#### b- Manifestation :

Un effort ou un choc particulier à la fréquence de passage  $f_C$  de ce défaut définie par :

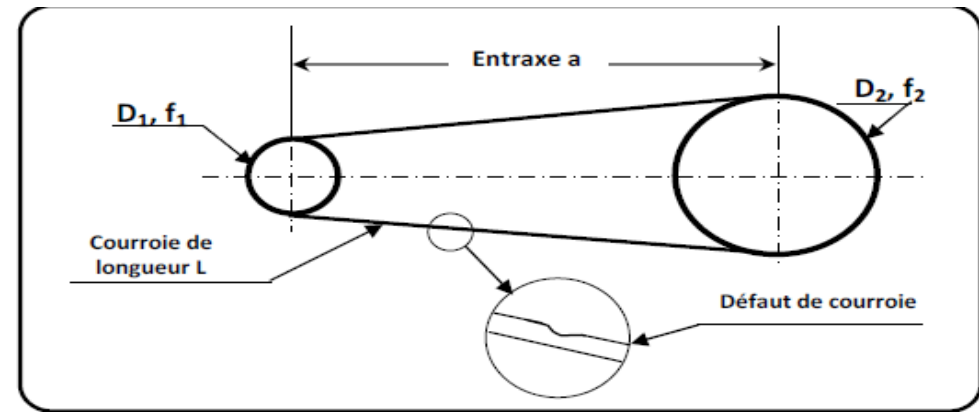
$$f_c = \frac{\pi D_1}{L} f_1 = \frac{\pi D_2}{L} f_2 \quad \text{avec :}$$

$f_c$  : fréquence de passage de la courroie.

$D_1$  et  $D_2$  : diamètres des poulies 1 et 2.

$f_1$  et  $f_2$  : fréquences de rotation des poulies 1 et 2.

$L$  : la longueur de la courroie.

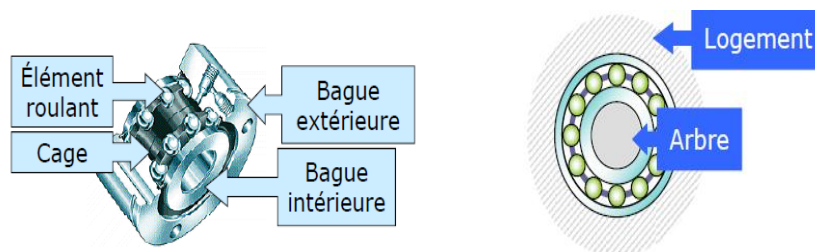


**Figure 25 : Défaut de courroie**

#### 5-4- Défauts des roulements :

Le roulement joue un rôle fondamental en tant que composant **situé entre parties fixe et tournante** d'un ensemble mécanique.

##### a- Constitution :



**Figure 26 : constitution d'un roulement**

La bague extérieure est insérée dans une cavité appelée logement on a une liaison fixe entre la bague extérieure et le logement. L'arbre vient s'insérer dans la bague intérieure. On a donc également une liaison fixe entre la bague intérieure et l'arbre.

##### b- Défaillances :

De nombreux facteurs peuvent limiter la durée de vie du roulement. On distingue 4 classes d'origine des avaries prématurées :

- Conception et/ou montage
- Conditions de fonctionnement : Charge, vitesse, vibrations
- Environnement : Température, pollution, humidité
- Lubrification

Les contraintes cycliques appliquées au roulement entraînent une fatigue du métal qui limite sa durée de vie. Lorsqu'il est utilisé dans des conditions normales, le roulement se détruit par :

- ❖ **Défaut de graissage.**
- ❖ **Agents extérieurs....**
- ❖ **Écaillage par fatigue normale :**

L'écaillage par fatigue normale est un dommage qui apparaît lorsque le roulement a atteint sa limite de durée. (Figure 27)

- **Évolution :**
  - Fissure en sous-couche localisée.
  - Développement vers la surface.
  - Arrachement de matière localisé suite au passage répété des éléments roulants.
  - Extension de l'écaillage à l'ensemble des chemins.



**Figure 27 : Écaillage sévère sur une bague extérieure de roulement.**

- **Symptômes :**
  - Bruit – Vibrations.
  - Augmentation température.
  - Jeu

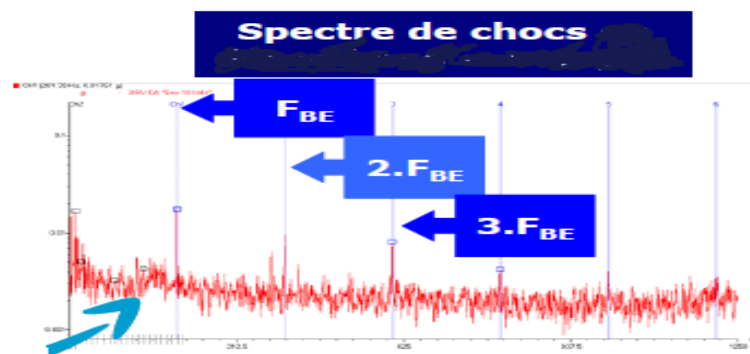
**c- Manifestation du défaut :**

Un défaut localisé sur un des éléments se manifeste par un choc dur à la fréquence de contact de la détérioration :

- Défaut sur bague externe → choc à  $F_{BE}$  ( fréquence de la bague externe )
- Défaut sur bague interne → choc à  $F_{BI}$  ( fréquence de la bague interne )
- Défaut sur élément roulant → choc à  $2.F_B$  ( fréquence des éléments roulants )

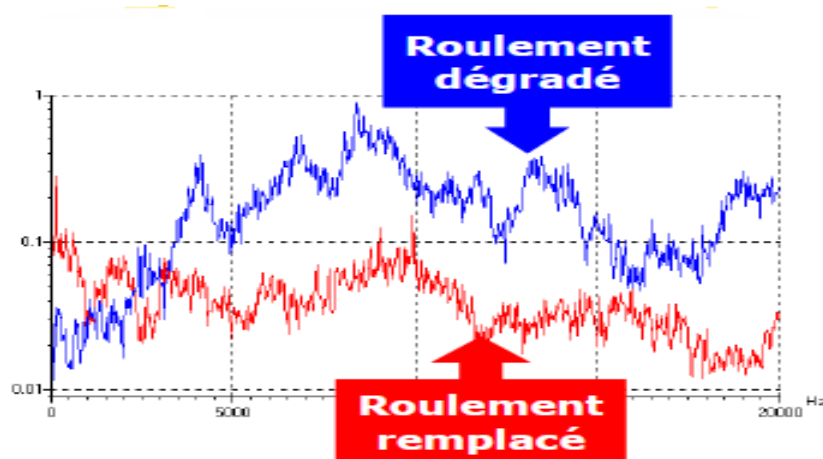
Voir annexe 1

Le spectre associé est un spectre de raies à la fréquence du choc (figure 28).



**Figure 28 : spectre du défaut de la bague externe d'un roulement**

L'écaillage augmente lorsque la dégradation du roulement évolue pour gagner l'ensemble des éléments en contact. Cette évolution anarchique entraîne l'apparition de nombreux chocs durs qui excitent les fréquences de résonances (voir annexe 3) du roulement (figure 29).



**Figure 29 : comparaison entre deux spectres : l'un d'un roulement dégradé et l'autre d'un roulement remplacé**



### **5-5- Phénomène de cavitation :**

La cavitation est provoquée par la vaporisation partielle du liquide véhiculé à l'intérieur de la pompe. Cette vaporisation intervient lorsque la pression statique supportée par le fluide devient inférieure à sa tension de vapeur.

Lors de la vaporisation, des bulles de gaz se forment au sein du liquide et sont transportées avec lui. Sous l'action du gradient de pression, elles implosent dès que la pression locale devient supérieure à sa tension de vapeur

Les ondes de chocs produisent des arrachements de matière, principalement sur les faces en dépression.



**Figure 30 : Pompe centrifuge détruite par la cavitation**

La cavitation produit un bruit caractéristique de « cailloux roulés » et provoque une excitation vibratoire des modes de résonance des pompes et des tuyauteries proches pouvant les endommager (figure 30).

### **5-6- Instabilité des paliers**

Un manque de charge sur l'arbre permet à celui-ci d'effectuer des mouvements non souhaités dans le palier ce qui est traduit par une énergie vibratoire entre  $0,14 \times F_0$  et  $0,48 F_0$  ( $F_0$  = fréquence de rotation )

### **5-7- Résonance structure :**

C'est une amplification vibratoire de la structure, lorsque la fréquence à laquelle est excitée la structure coïncide avec une ou plusieurs fréquences propres ce qui est traduit par un spectre d'excitation composé de raies riches en hautes fréquences (voir annexe 3).

## **Chapitre 4 : Mesurage du bruit et vibration**

### ***des groupes électropompes***

#### ***Cas pratique de l'ONEE***

**Le projet de mesurage** du bruit et vibration consiste en la réalisation de trois (3) missions :

Mission 1 : Mesure, traitement et analyse du bruit et vibration par rapport aux seuils réglementaires et normatifs.

Mission 2 : Elaboration du plan d'action des mesures de prévention et de protection contre le bruit.

Mission 3 : Elaboration d'un dossier de consultation des entreprises.

NB : La durée de mon stage (deux mois : avril et mai 2016) m'a permis de participer uniquement à la réalisation de la mission 1. Les missions 2 et 3 auront lieu au delà du mois mai 2016.

**Inventaire des machines susceptibles de générer du bruit et vibration :**

Débit (m³/h)	HMT (m)	MARQUE POMPE	TYPE POMPE	MARQUE MOTEUR	TYPE MOTEUR	PUISANCE (kW)	POIDS (kg)	MES1
500,00	97,50	GUINARD	Z22/400/30055	ABB	500M	750	3900	01/01/1987
500,00	94,00	GUINARD	Z22307	ABB	500M	750	3900	01/01/1987
500,00	97,50	SCANPUMP	Z22-400/300	ABB	PNBC450LCB3	750	4560	01/01/1995
500,00	97,50	SCANPUMP	Z22-400/300	ABB	PNBC450LCB3	750	4560	01/01/1995
500,00	97,50	SCANPUMP	Z22-400/300	ABB	PNBC450LC4B3	750	4560	01/01/1995
400,00	90,00	GUINARD	LH1050-200	CEM	MBPQ400-LP4	500	3210	01/06/1985
400,00	90,00	GUINARD	LH1050-200	BBC	MBPQ400-LP4	500	3210	01/06/1985
400,00	90,00	GUINARD	LH1050-100	CEM	MBPQ400-LP4	500	3210	01/06/1985
415,00	85,00	Worthington	LH1050-200	ABB	AMH355-4D	500	2150	01/01/1998
415,00	85,00	Worthington	LH1050-200	ABB	AMH355-4D	500	2150	01/01/1998
415,00	85,00	Worthington	LH1050-200	ABB	AMH355-4D	500	2150	01/01/1998

***I. Mesurage de vibration des équipements ONEE Sebou et Bab Louta :***

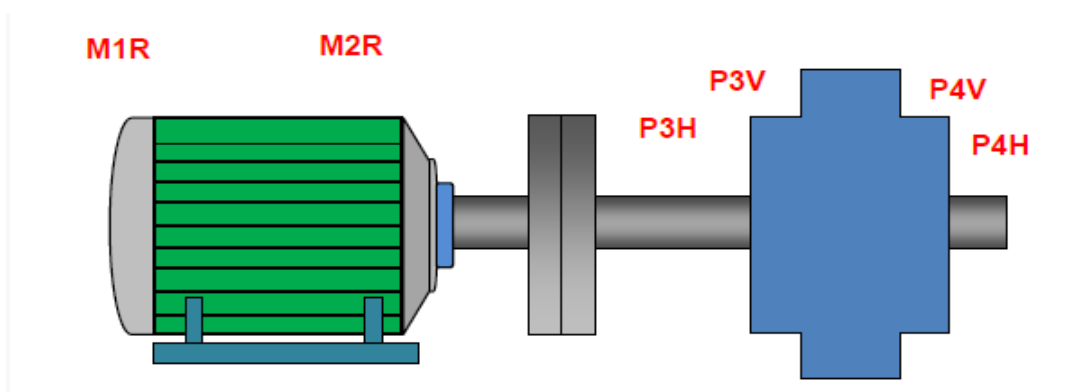
**DESCRIPTIONS DES PRIORITES D'ACTION :**

Priorités	Explications
AD : POUR INFO	<b>comportement satisfaisant</b>
PAL : PRE – ALARME	<b>comportement acceptable pour un comportement long duré</b> Défaut naissant – A suivre à intervalles rapprochés
AL : ALARME-INTERVENTION	<b>comportement non tolérable pour un comportement long duré</b> Défaut confirmé – Intervenir au prochain arrêt
DG : DANGER – URGENCE	<b>Les mesures observées sont normalement considérées comme suffisamment importantes pour endommager l'équipement.</b> Défaut important – Intervenir dès que possible





**Les seuils selon la norme ISO 10816-3** (voir annexe 2) :

- Admissible :  $< 2,3\text{mm/s}$
- Pré-Alarme :  $2,3 < v < 4,5\text{mm/s}$
- Alarme :  $4,5 < v < 7,1\text{mm/s}$
- Danger :  $> 7,1\text{mm/s}$

**La cinématique des groupes :**







1. SP-AIN NOKBI :

Code	Equipement	Etat	Diagnostic
GRP1	Groupe1	DG	<p> <b>Moteur</b></p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :  <b>M1R : 8,8 mm/s</b>  <b>M2R : 7,6 mm/s</b></p> <p>-L'analyse spectrale montre la prépondérance du pic à la fréquence de rotation du moteur 24.75Hz.  <b>→Le niveau vibratoire du moteur est dû probablement à un problème de résonance structure (voir annexe 3) ou bien de fixation du moteur.</b></p> <p> <b>Paliers de la pompe</b></p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :  <b>P3H (palier coté accouplement): 5,7mm/s</b>  <b>P3V (palier coté accouplement): 7,8mm/s</b>  <b>P4H (palier côté opposé accouplement) : 6,3mm/s</b>  <b>P4V (palier côté opposé accouplement) : 11,3mm/s</b></p> <p>-L'analyse spectrale montre que les vibrations sont portées par le pic à la fréquence de rotation du groupe.  <b>→L'état vibratoire des paliers de la pompe est dû au problème au niveau du moteur.</b></p> <p><b>Recommandations :</b>  <b>Vérifier la fixation du moteur et faire un test avancé de réponse en fréquence (voir annexe 4) pour identifier la fréquence de résonance du système afin de l'éviter.</b></p>
GRP2	Groupe2	PAL	<p> <b>Moteur</b></p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :  <b>M1R : 3,9mm/s</b>  <b>M2R : 3,7mm/s</b></p> <p><b>→L'état vibratoire du moteur est admissible</b></p> <p> <b>Paliers de la pompe</b></p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :  <b>P3H (palier coté accouplement): 4,3mm/s</b>  <b>P3V (palier coté accouplement): 4,54mm/s</b>  <b>P4H (palier côté opposé accouplement) : 2,3mm/s</b></p>

			<p><b>P4V (palier côté opposé accouplement) : 3,8mm/s</b></p> <p>→L'état vibratoire des paliers de la pompe est toujours admissible</p> <p><b>Recommandations :</b></p> <p>Suivre l'état vibratoire du groupe à intervalles rapprochés.</p>
GRP5	Groupe5	DG	<p><b>+</b> Moteur</p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :</p> <p><b>M1R : 1,1mm/s</b></p> <p><b>M2R : 1,5mm/s</b></p> <p>→L'état vibratoire du moteur est BON.</p> <p><b>+</b> Paliers de la pompe</p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :</p> <p><b>P3H (palier coté accouplement): 5,7mm/s</b></p> <p><b>P3V (palier coté accouplement): 7,8mm/s</b></p> <p><b>P4H (palier côté opposé accouplement) : 6,3mm/s</b></p> <p><b>P4V (palier côté opposé accouplement) : 11,3mm/s</b></p> <p>-L'analyse spectrale montre que les vibrations sont portées par le pic à la fréquence de rotation du groupe.</p> <p>→L'état vibratoire des paliers de la pompe est dû au problème au niveau du moteur</p> <p><b>Recommandations :</b></p> <p>Vérifier la fixation du moteur et faire un test avancé de réponse en fréquence pour identifier la fréquence de résonance du système afin de l'éviter.</p>
GRP6	Groupe 6	AD	<p><b>+</b> Moteur :</p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :</p> <p><b>M1R : 1,1mm/s</b></p> <p><b>M2R : 1,5mm/s</b></p> <p>→L'état vibratoire du moteur est BON.</p> <p><b>+</b> Paliers de la pompe</p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :</p> <p><b>P3H (palier coté accouplement): 3,5mm/s</b></p> <p><b>P3V (palier coté accouplement): 1,8mm/s</b></p> <p><b>P4H (palier côté opposé accouplement) : 2,5mm/s</b></p> <p><b>P4V (palier côté opposé accouplement) : 2,2mm/s</b></p> <p>→L'état vibratoire des paliers de la pompe est BON</p>




			<b>Recommandations :</b> Suivre l'état vibratoire du groupe à intervalles normales
GRP4	Groupe 4	AR	

## 2. SP-SEBOU :

Code	Equipement	Etat	Diagnostic
GRP1	Groupe1	AR	
GRP2	Groupe2	DG	<p> <b>Moteur</b></p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :  <b>M1R : 16,4 mm/s</b>  <b>M2R : 11,2 mm/s</b></p> <p>-L'analyse spectrale montre la prépondérance du pic à la fréquence de rotation du moteur 25Hz.  <b>→Le niveau vibratoire du moteur est dû probablement à un problème de résonance structure ou bien de fixation du moteur.</b></p> <p> <b>Paliers de la pompe</b></p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :  <b>P3H (palier coté accouplement): 1,6mm/s</b>  <b>P3V (palier coté accouplement): 2,5mm/s</b>  <b>P4H (palier côté opposé accouplement) : 1,1mm/s</b>  <b>P4V (palier côté opposé accouplement) : 1,2mm/s</b></p> <p><b>→L'état vibratoire des paliers de la pompe est BON</b></p> <p><b>Recommandations :</b>  <b>Vérifier la fixation du moteur et faire un test avancé de réponse en fréquence pour identifier la fréquence de résonance du moteur.</b></p>
		AD	<p> <b>Moteur</b></p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :  <b>M1R : 1,5mm/s</b>  <b>M2R : 3,4mm/s</b></p> <p><input type="checkbox"/> L'état vibratoire du moteur est BON.</p> <p> <b>Paliers de la pompe</b></p>

GRP4	Groupe4		<p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :</p> <p><b>P3H (palier coté accouplement): 2,8mm/s</b></p> <p><b>P3V (palier coté accouplement): 3,4mm/s</b></p> <p><b>P4H (palier côté opposé accouplement) : 2mm/s</b></p> <p><b>P4V (palier côté opposé accouplement) : 1,9mm/s</b></p> <p>→L'état vibratoire des paliers de la pompe est <b>BON</b></p> <p><b>Recommandations :</b></p> <p><b>Suivre l'état vibratoire du groupe à intervalles normales</b></p>
------	---------	--	---

### 3. SP1-BAB LOUTA :

GRP1	Groupe1	DG	<p> <b>Moteur</b></p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :</p> <p><b>M1R : 4,7 mm/s</b></p> <p><b>M2R : 7,6 mm/s</b></p> <p>-L'analyse spectrale montre la prépondérance du pic à deux fois la fréquence de rotation du moteur <math>2xF_0</math> : 49.75Hz.</p> <p>→Le niveau vibratoire du moteur est dû à un problème de désalignement au niveau de l'accouplement</p> <p> <b>Paliers de la pompe</b></p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :</p> <p><b>P3H (palier coté accouplement): 6,5mm/s</b></p> <p><b>P3V (palier coté accouplement): 6,2mm/s</b></p> <p><b>P4H (palier côté opposé accouplement) : 3,6mm/s</b></p> <p><b>P4V (palier côté opposé accouplement) : 7,6mm/s</b></p> <p>-L'analyse spectrale montre toujours la prépondérance du pic à deux fois la fréquence de rotation du moteur <math>2xF_0</math> : 49.75Hz.</p> <p>→L'état vibratoire des paliers de la pompe est à un problème de désalignement au niveau de l'accouplement</p> <p><b>Recommandations :</b></p> <p><b>Refaire l'alignement de l'accouplement.</b></p>
			<p> <b>Moteur</b></p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :</p>



GRP3	Groupe3	<b>DG</b>	<p><b>M1R : 2,5mm/s</b></p> <p><b>M2R : 2,8mm/s</b></p> <p><input type="checkbox"/> Le niveau vibratoire du moteur est BON.</p> <p><b>Paliers de la pompe</b></p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :</p> <p><b>P3H (palier coté accouplement): 2,2mm/s</b></p> <p><b>P3V (palier coté accouplement): 4,1mm/s</b></p> <p><b>P4H (palier côté opposé accouplement) : 1,6mm/s</b></p> <p><b>P4V (palier côté opposé accouplement) : 7,9mm/s</b></p> <p>-L'analyse spectrale montrent une peigne de raies à la fréquence de rotation causés par des chocs à la fréquence de rotation.</p> <p><input type="checkbox"/> L'état vibratoire des paliers de la pompe est alarmant et dû à un problème de chocs à la fréquence de rotation au niveau du palier P4</p> <p><b>Recommandations :</b></p> <p><b>Inspecter le palier P4 pour voir la cause des chocs, et s'il y a un obstacle au niveau du palier.</b></p>
------	---------	-----------	---

#### 4. SP3-BAB LOUTA :

Code	Equipement	Etat	Diagnostic
GRP1	Groupe 1	PAL	<p><b>⚡ Moteur :</b></p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :</p> <p><b>M1R : 0,8mm/s</b></p> <p><b>M2R : 1mm/s</b></p> <p>⇒L'état vibratoire du moteur est BON.</p> <p><b>⚡ Paliers de la pompe :</b></p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :</p> <p><b>P3H (palier coté accouplement): 1,1mm/s</b></p> <p><b>P3V (palier coté accouplement): 1,4mm/s</b></p> <p><b>P4H (palier côté opposé accouplement) : 1,2mm/s</b></p> <p><b>P4V (palier côté opposé accouplement) : 1,9mm/s</b></p> <p>-Le niveau globale accélération vibratoire ainsi que le facteur défaut roulement dépassent le seuil d'alarme au palier P3( voir annexe 5) , l'analyse spectrale montre des</p>

			<p>pics à la fréquence 78Hz qui est la fréquence de la bague externe du roulement.</p> <p>⇒ L'état vibratoire des paliers de la pompe est dû à un problème de roulement au palier P3 .</p> <p><b>Recommandations :</b></p> <p><b>Vérifier le graissage du roulement installé sur le palier P3 et prévoir un changement si nécessaire.</b></p>
GRP 3	Groupe 3	PAL	<p>⚡ Moteur</p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :</p> <p><b>M1R : 4,6mm/s</b></p> <p><b>M2R : 2,7mm/s</b></p> <p>-L'analyse spectrale montre la prépondérance du pic à la fréquence de rotation du moteur 24.75Hz et ses harmoniques.</p> <p>⇒L'état vibratoire du moteur est admissible et dû à un problème de balourd ou de fixation du moteur</p> <p>⚡ Paliers de la pompe</p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :</p> <p><b>P3H (palier coté accouplement): 3,4mm/s</b></p> <p><b>P3V (palier coté accouplement): 4mm/s</b></p> <p><b>P4H (palier côté opposé accouplement) : 1,4mm/s</b></p> <p><b>P4V (palier côté opposé accouplement) : 1,7mm/s</b></p> <p>⇒L'état vibratoire des paliers de la pompe est Admissible</p> <p><b>Recommandations :</b></p> <p>Suivre l'état vibratoire du groupe à intervalles rapprochés.</p>
GRP4	Groupe 4	AL	<p>⚡ Moteur</p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :</p> <p><b>M1R : 0,8mm/s</b></p> <p><b>M2R : 1,6mm/s</b></p> <p>⇒L'état vibratoire du moteur est BON.</p> <p>⚡ Paliers de la pompe</p> <p>-Le niveau global vitesse vibratoire est de :</p> <p><b>P3H (palier coté accouplement): 2,9mm/s</b></p> <p><b>P3V (palier coté accouplement): 7,2mm/s</b></p>

	<p><b>P4H (palier côté opposé accouplement) : 1,9mm/s</b></p> <p><b>P4V (palier côté opposé accouplement) : 2,3mm/s</b></p> <p>-L'analyse spectrale montre une peigne de raies à la fréquence de rotation causés par des chocs à la fréquence de rotation.</p> <p>⇒L'état vibratoire des paliers de la pompe est alarmant et dû à un problème de chocs à la fréquence de rotation au niveau du palier P3</p> <p><b>Recommandations :</b></p> <p><b>Inspecter le palier P3 pour voir la cause des chocs, et s'il y a un obstacle au niveau du palier.</b></p>
--	--

## II. Mesurage du bruit :

### 1- Mesurage de l'exposition au bruit GP1 Sebou :

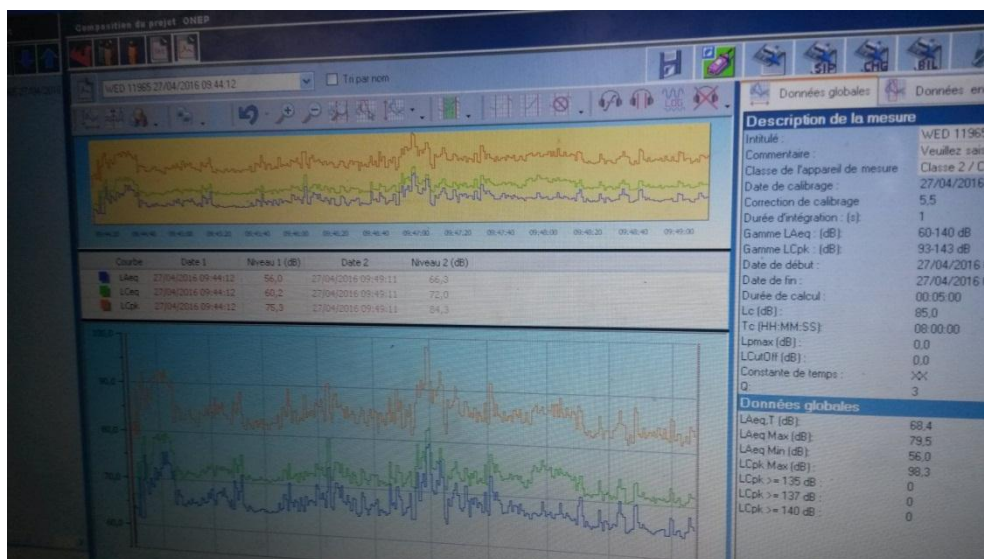
Durée de la mesure	$L_{Aeq}$	$L_{cpeak}$
<b>5 min</b>	<b>68,4 dBA</b>	<b>98,3 dBC</b>

⇒ Les niveaux de bruit ne dépassent pas les seuils réglementaires qui sont :

$L_{Aeq}$  selon le tableau de la figure 13 page 30

$L_{cpeak}$  qui est 135 dB

Le spectre associé :



**Figure 31 : spectre associé au mesurage du bruit GRP1 Sebou**

## 2- Mesurage du bruit émis GRP 1 Sebou:

Grandeur	Durée de mesure	valeur
Laeq	5 min	95.5 dB
Lcpeak	5min	111.9 dB



**Figure 32 : L'emplacement du sonomètre pour mesurer le bruit émis.**

## Conclusion

Ce stage a été enrichissant pour moi car il m'a permis d'étudier un phénomène d'intérêt croissant : le phénomène de bruit et vibration des groupes électropompes. En effet, nous avons pu détecter les causes de ces phénomènes en mesurant le bruit et la vibration et en analysant les résultats. En effet, on a trouvé que ces groupes ont principalement des problèmes au niveau de la résonance structure, de chocs au niveau de quelques paliers, phénomène de balourd et de désalignement au niveau de l'accouplement entre le moteur et la pompe.

La procédure que nous avons suivie a permis de mettre en œuvre la maintenance conditionnelle par analyse vibratoire qui est un concept nécessaire pour la surveillance des vibrations des machines tournantes et qui a pour objectifs le suivi de l'évolution des phénomènes vibratoires et leur diagnostic.

## Bibliographie

- [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) : évaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit .

Auteur : L.Thiéry et P.Canetto

ED 6035 septembre 2009

- Thèse de doctorat Par : Omar DJEBILI Spécialité Génie Mécanique

UNIVERSITE DE REIMS CHAMPAGNE ARDENNE

ECOLE DOCTORALE SCIENCES TECHNOLOGIE SANTE

26 septembre 2013

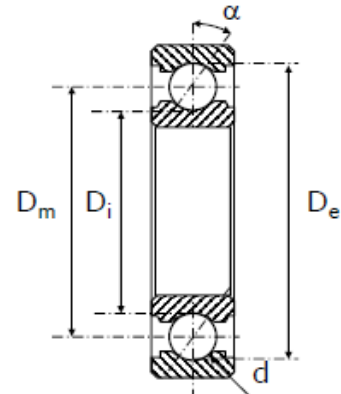
- Formation de trois jours à Casablanca portée sur les problèmes de vibrations animée par le bureau d'étude *Process Automation Consulting*.

- Cours Machines Hydrauliques ; El Hammoumi Fst Fès.

## Annexes

### Annexe 1 : les fréquences caractéristiques du roulement.

$$D_m = \frac{D_e + D_i}{2}$$



- $\alpha$  = angle de contact
- $F_0$  = fréquence de rotation de l'arbre
  - La bague externe est supposée fixe

- Fréquence de rotation de la cage
  - (relative à la bague externe – bague interne tournante)

$$F_{Ce} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{d}{D_m} \cdot \cos \alpha\right) \cdot F_0$$

- Fréquence de rotation de la cage
  - (relative à la bague interne – bague externe tournante)

$$F_{Ci} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{d}{D_m} \cdot \cos \alpha\right) \cdot F_0$$

- Fréquence de défaut bague externe

$$F_{BE} = \frac{Z}{2} \cdot \left(1 - \frac{d}{D_m} \cdot \cos \alpha\right) \cdot F_0$$

- Fréquence de rotation des éléments roulants

$$F_B = \frac{1}{2} \cdot \frac{D_m}{d} \cdot \left(1 - \frac{d^2}{D_m^2} \cdot \cos^2 \alpha\right) \cdot F_0$$

- Fréquence de défaut bague interne

$$F_{BI} = \frac{Z}{2} \cdot \left(1 + \frac{d}{D_m} \cdot \cos \alpha\right) \cdot F_0$$

### Annexe 2 : la norme ISO 10816

La norme ISO 10816 porte sur les vibrations mécaniques. En particulier la norme ISO 10816-3 est pour les pompes à roue ailettes (centrifuges, hélicoïdes ou axiales, avec entraînement séparé, d'une puissance nominale supérieure à 15 kW.

### **Annexe 3 :**

Le phénomène de résonance est la propriété partagée par un très grand nombre d'objets et de systèmes physiques d'absorber préférentiellement de l'énergie, généralement sous forme mécanique ou électromagnétique, lorsqu'ils sont soumis à des forces variant périodiquement dans le temps.

Lorsque la fréquence de variation d'une telle force devient très proche de la fréquence de résonance propre du système physique, celui-ci se met à effectuer un mouvement en réponse à la force d'excitation. L'exemple le plus simple est probablement celui d'un pendule ou d'une balançoire. Le mouvement de balancement ne peut s'amplifier que si on pousse à intervalles réguliers correspondant à la fréquence de la balançoire. C'est ainsi qu'elle peut absorber de l'énergie.

### **Annexe 4 :**

La réponse en fréquence est la mesure de la réponse de tout système (mécanique, électrique, électronique, optique, etc.) à un signal de fréquence variable (mais d'amplitude constante) à son entrée. La réponse en fréquence est généralement caractérisée par l'amplitude de la réponse du système, mesurée en décibels, et la phase, mesurée en degrés (ou en radians) en fonction de la fréquence.

Les mesures de réponse en fréquence peuvent être utilisées directement pour quantifier les performances et l'étude du contrôle de systèmes.

### **Annexe 5 :**

Le Facteur de Défaut Roulement est un traitement spécifique du signal temporel adapté à la surveillance des roulements :

Pour les machines de 600 à 6000 RPM les niveaux d'alarme recommandés sont :

- Alerte à 6
- Danger à 9

Le Facteur de Défaut Roulement et le défaut de graissage :

- ♦ L'augmentation du niveau du Facteur de Défaut peut être liée à un défaut de graissage du roulement.



- ♦ Aussi, en l'absence d'historique d'évolution, on procédera à un test de graissage du roulement : Le Facteur de Défaut chute généralement de manière importante de façon instantanée.
- ♦ Si le niveau du F.D reste stable à cette valeur dans les heures qui suivent l'opération, il s'agit sans doute d'un problème de graissage.
- ♦ Dans le cas contraire, il s'agit vraisemblablement d'une usure du roulement.