

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES**



*Faculté de Technologie*  
*Département Génie Mécanique*

## **Mémoire de Master**

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :

**Filière** : Electromécanique

**Spécialité** : Electromécanique

### **THEME :**

**DIAGNOSTIC PAR LA METHODE VIBRATOIRE ET DE LA  
POMPE D'ALIMENTATION D'EAU DE MER (WE).**

Présenté par :

- ❖ KRAMDI Ahmed
- ❖ ALLALOU Hamza

Promoteur :

Pr. AKNOUCHE Hamid

Encadreur :

Mr.KLAI Samir

**Promotion 2021- 2022**

## Remerciements

# Remerciements :

En guise de reconnaissance, je tiens à témoigner mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribués de près ou de loin au bon déroulement de mon mémoire de fin d'étude et à l'élaboration de ce modeste travail.

Mes sincères gratitudees à **Pr AKNOUCHE HAMID** enseignant chercheur UMBB. Directeur de (ISTA) pour la qualité de son orientations, ses conseils et son merveilleux traitements avec les étudiants.

Je tiens à remercier notre encadreur **Mr KLAI SAMIR** ; l'ensemble du personnel de **RAS-DJINET** pour leur patience, leurs conseils pleins de sens et pour le suivi et l'intérêt qu'ils ont portaient à mes travaux.

Dans l'impossibilité de citer tous les noms, nos sincères remerciements vont à tous ceux et celles, qui de près ou de loin, ont permis par leurs conseils et leurs compétences la réalisation de ce mémoire

Enfin, Notre grand respect à nos professeurs, transmetteurs du savoir, qui nous ont aidé à soutenir notre volonté de réaliser ce mémoire, ne serait-ce, que par un encouragement, nous leurs disons mille merci.

*ALLALOU HAMZA*

*KRAMDI AHMED*

## Dédicaces

# Dédicaces :

*Je dédie ce travail :*

*A ma douce et bien aimée Mère ; Quoi que je fasse ou que je dise,  
je ne saurai point te remercier comme il se doit ; Mon cher père  
qui a su toujours me encouragé ; mon frère et mes sœurs. Tout  
mes collègues de l'(MEM20) et mes amis ; Et, à tous ceux qui ont  
contribué de près ou de loin pour que ce projet soit réalisable ;*

*Je vous exprime mes vifs remerciements.*

*Merci*

*AHMED...*

## Dédicaces

Nous prions dieu que cette soutenance, feras signe de persévérance, et que nous serions enchantés Par notre travail honoré

***‘Je dédie cette thèse à ...’***

***A ma très chère mère ;***

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

***A mon très chère frère Mohamed et sa petite famille***

***A mes très chères sœurs***

***A ma grande famille***

***A tous mes amis***

***HAMZA...***



# ***Sommaire***

# Sommaire

## SOMMAIRE

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCTION GENERALE .....                                        | 1  |
| PRESENTATION DE LA CENTRALE : .....                                | 4  |
| THEORIE SUR LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE.....                     | 9  |
| INTRODUCTION.....                                                  | 9  |
| DEFINITION DE LA MAINTENANCE.....                                  | 9  |
| OBJECTIFS DE LA MAINTENANCE .....                                  | 9  |
| DIFFERENTES FORMES DE MAINTENANCE .....                            | 10 |
| CONCLUSION .....                                                   | 14 |
| THEORIE SUR LES POMPES ET DESCRIPTION DE LA POMPE A EAU DE MER.... | 16 |
| PARIE 1 : GENERALITES LES POMPES .....                             | 16 |
| INTRODUCTION.....                                                  | 16 |
| CLASSIFICATION DES POMPES .....                                    | 16 |
| PARTIE 02 : THEORIE SUR LA POMPE D’EAU DE MER WE.....              | 19 |
| DEFINITION LA POMPE (EAU DE MER WE) : .....                        | 19 |
| PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE : .....                     | 19 |
| CARACTERISTIQUE TECHNIQUE DE LA POMPE WE : .....                   | 24 |
| LA CHAINE CINEMATIQUE .....                                        | 25 |
| LES COMPOSANTS DE LA POMPE : .....                                 | 26 |
| MOTEUR D’ENTRAINEMENT DE LA POMPE .....                            | 29 |
| LA SITUATION DE LA POMPE WE : .....                                | 32 |
| CONCLUSION .....                                                   | 33 |
| DIAGNOSTIC PAR LA METHODE D’ANALYSE VIBRATOIRE .....               | 35 |
| INTRODUCTION.....                                                  | 35 |
| DEFINITION THEORIQUE D’UNE VIBRATION .....                         | 35 |

# Sommaire

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| LES DIFFERENTES FORMES DES VIBRATIONS .....                  | 35 |
| LES MODES DE DETECTIONS .....                                | 37 |
| LA RELATION ENTRE LES DIFFERENTES MODES DE DETECTION : ..... | 38 |
| LES GRANDEURS DE MESURE .....                                | 38 |
| PRINCIPALES ACTIVITES DE L'ANALYSE VIBRATOIRE : .....        | 39 |
| DEFAUTS FONDAMENTAUX .....                                   | 51 |
| L'ANALYSE VIBRATOIRE DE LA POMPE WE A RAS_DJINET : .....     | 57 |
| CONCLUSION .....                                             | 63 |
| CHAPITRE 5 : PARTIE PRATIQUE .....                           | 65 |
| BUT DE TRAVAIL.....                                          | 65 |
| ETUDE DES CAS D'ETAT DE LA POMPE WE.....                     | 72 |
| CONCLUSION GENERALE .....                                    | 79 |
| LISTE DES EQUATIONS.....                                     | 80 |
| BIBLIOGRAPHIE .....                                          | 81 |

# ***Liste Des Tableaux Et Figures***



# Liste des tableaux

## Liste des tableaux

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>TABLEAU 1 : NOMENCLATURE DE SCHEMA&lt;&lt; ASPIRATION-REFOULEMENT &gt;&gt; .....</b> | <b>20</b> |
| <b>TABLEAU 2 : NOMENCLATURE DE LA POMPE .....</b>                                       | <b>24</b> |
| <b>TABLEAU 3 : CARACTERISTIQUE TECHNIQUE DE LA POMPE .....</b>                          | <b>25</b> |
| <b>TABLEAU 4 : NOMENCLATEUR DU MOTEUR .....</b>                                         | <b>30</b> |
| <b>TABLEAU 5: COMMANDE DU MOTEUR .....</b>                                              | <b>31</b> |
| <b>TABLEAU 6 : CARACTERISTIQUE TECHNIQUE DU MOTEUR.....</b>                             | <b>31</b> |
| <b>TABLEAU 7 :LES GRANDEURS DE MESURES ET CES UNITES .....</b>                          | <b>38</b> |
| <b>TABLEAU 8 : MODES DE FIXATION LES PLUS REPANDUS DES CAPTEURS .....</b>               | <b>46</b> |
| <b>TABLEAU 9 : LES DEFAUTS QUI APPARAISSENT LE PLUS SOUVENT SUR LES MACHINES .....</b>  | <b>51</b> |
| <b>TABLEAU 10 : DEFAUTS DES ROULEMENTS .....</b>                                        | <b>56</b> |
| <b>TABLEAU 11: FREQUENCE ET CARACTERISTIQUES DES PHENOMENES VIBRATOIRES.....</b>        | <b>62</b> |

# Liste des figures

## Liste des figures

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURE 1 : SCHEMA SYNOPTIQUE D'UNE TRANCHE THERMIQUE.....                     | 6  |
| FIGURE 2:SCHEMA DE FONCTIONNEMENT.....                                        | 6  |
| FIGURE 3 : TYPES DE MAINTENANCE .....                                         | 10 |
| FIGURE 4:CLASSIFICATION DES POMPES.....                                       | 16 |
| FIGURE 5: SCHEMA DE PRINCIPE ASPIRATION REFOULEMENT .....                     | 20 |
| FIGURE 7 : LA COUPE DE LA POMPE WE .....                                      | 21 |
| FIGURE 8 : LA CHAINE CINEMATIQUE .....                                        | 25 |
| FIGURE 9 : IMPULSEUR OU ROUE.....                                             | 26 |
| FIGURE 10 : ARBRE.....                                                        | 26 |
| FIGURE 11 : PALIER LISSES .....                                               | 27 |
| FIGURE 12 : ACCOUPLEMENT .....                                                | 27 |
| FIGURE 13 : BAGUES D'USURE.....                                               | 28 |
| FIGURE 14 : CHEMISE DE L'ARBRE .....                                          | 28 |
| FIGURE 15 : SCHEMA DE MOTEUR.....                                             | 29 |
| FIGURE 16 : SCHEMA DE STATION DE POMPAGE.....                                 | 32 |
| FIGURE 17 : VIBRATION HARMONIQUE .....                                        | 35 |
| FIGURE 18 : VIBRATION PERIODIQUE .....                                        | 36 |
| FIGURE 19 : VIBRATION APERIODIQUE.....                                        | 37 |
| FIGURE 20 : MODES DE DETECTION USUELS.....                                    | 37 |
| FIGURE 21 : CHOIX DE LA GRANDEUR DE MESURE EN FONCTION DE LA GAMME . .....    | 39 |
| FIGURE 22 : PRINCIPALEMENT ACTIVITES DE L'ANALYSE VIBRATOIRE. ....            | 40 |
| FIGURE 23 : EVOLUTION DU FACTEUR DE CRETE FC EN FONCTION DU TEMPS.....        | 41 |
| FIGURE 24 : VARIATION DU FACTEUR K EN FONCTION DU TEMPS.....                  | 42 |
| FIGURE 25 : EXEMPLE DE SPECTRE.....                                           | 43 |
| FIGURE 26 : SCHEMA DE PRINCIPE D'UN CAPTEUR DE VIBRATION. ....                | 44 |
| FIGURE 27: CAPTEUR DE DEPLACEMENT (COURANTS DE FOUCAULT). ....                | 47 |
| FIGURE 28: CAPTEUR DE VITESSE (VELOCIMETRIE, VS 80).....                      | 48 |
| FIGURE 29 : FONCTIONNEMENT DE LA VELOCIMETRIE. ....                           | 48 |
| FIGURE 30 : ACCELEROMETRE FONCTIONNANT SUR LE PRINCIPE PIEZO-ELECTRIQUE. .... | 50 |
| FIGURE 31: TYPE DE FIXATION DES ACCELEROMETRES .....                          | 50 |

# Liste des figures

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURE 32 : LES DEFERENTS DEFAUTS FONDAMENTAUX.....                               | 51 |
| FIGURE 33 : SPECTRE THEORIQUE D’UN DEFAUT DE BALOURD. ....                        | 52 |
| FIGURE 34 : DIFFERENTS TYPES DE BALOURD.....                                      | 53 |
| FIGURE 35 : IMAGE D’UN DEFAUT D’ALIGNEMENT.....                                   | 54 |
| FIGURE 36 : PALIER LISSE ENDOMMAGER.....                                          | 55 |
| FIGURE 37 : LES CONTRAINTES SUR UN PALIER LISSE.....                              | 55 |
| FIGURE 38:ELEMENTS COMPOSANT UN ROULEMENT A BILLES .....                          | 56 |
| FIGURE 39: EXEMPLE DE DEFAUT DE ROULEMENT.....                                    | 56 |
| FIGURE 40 : IMAGE DE L’APPAREIL ONEPROD. ....                                     | 57 |
| FIGURE 41: ACCELEROMETRE AS-065.....                                              | 58 |
| FIGURE 42 : IMAGE DE L’INTERFACE DU PROGRAMME.....                                | 59 |
| FIGURE 43 : LES POSITIONS DES CAPTEURS. ....                                      | 60 |
| FIGURE 44 : SEUILS DE JUGEMENT .....                                              | 61 |
| FIGURE 45 :SELECTION DE LA MACHIE SUR L'APPAREIL .....                            | 65 |
| FIGURE 46 : EXEMPLE D'UN POINT DE MESURE.....                                     | 66 |
| FIGURE 47 : POSITIONS DE MESURES 1ER PALIER.....                                  | 66 |
| FIGURE 48 : POSITIONS DE MESURES 2EME PALIER .....                                | 67 |
| FIGURE 49 : POSITIONS DE MESURES 3EME PALIER .....                                | 68 |
| FIGURE 50 : POSITIONS DE MESURES 4EME PALIER .....                                | 68 |
| FIGURE 51 : EXEMPLE D’AFFICHAGE DE L'APPAREIL AU COURS DES MESURES .....          | 69 |
| FIGURE 52: RACCORDEMENT DE L'APPAREIL .....                                       | 70 |
| FIGURE 53 : LES ETAPES D'ACQUISITION DES DONNEES COLLECTEES DANS LE LOGICIEL .... | 70 |
| FIGURE 54: INTERFACE DE LOGICIEL .....                                            | 71 |
| FIGURE 55: INTERCACE CAS DE BON ETAT .....                                        | 72 |
| FIGURE 56: INTERFACE CAS D'ALARME .....                                           | 73 |

# *Introduction Générale*

# Introduction générale

## INTRODUCTION GENERALE :

La maintenance des machines depuis longtemps a été une source de préoccupation pour les fabricants et les utilisateurs, mais ce n'est que depuis quelques années que l'on s'est efforcé d'appréhender véritablement l'avenir d'une machine.

Prévenir les pannes d'orage, réduire la durée des immobilisations pour maintenance, optimiser la durée de fonctionnement de chaque organe en décidant d'intervenir juste à temps sont autant d'impératifs pour les installations industrielles modernes.

Pour faire un diagnostic, fiez-vous au fait qu'une machine émet plusieurs signaux externes qui sont révélateurs de son fonctionnement, comme la chaleur, la puissance, le bruit, les vibrations, etc. ....

Les vibrations, parmi ces signaux, présentant des avantages dus à la richesse des informations qu'elles véhiculent. Leur transmission quasi instantanée et leur relation directe avec les mouvements de la machine.

Toutes les machines vibrent, et le niveau de vibration augmente lorsque l'état de la machine se détériore (par exemple, un arbre déséquilibré, une panne de roulement ou une réduction de vitesse) .La mesure et le suivi du niveau de vibration produit par une machine est un indicateur idéal de son état .L' augmentation des vibrations de la machine permet de détecter un défaut, et l'analyse des caractéristiques vibratoires de la machine permet d'identifier la cause .Il est possible de prolonger le délai avant qu'il ne devienne critique.

C'est pourquoi la majorité des méthodes de maintenance des machines contemporaines reposent sur l'analyse des vibrations

Notre étude porte sur le comportement vibratoire des machines tournantes, avec une application à une pompe à eau de mer de la centrale électrique de RAS-DJINET.

L'étude de cette thématique nous a amené à partager Ce mémoire en 5 chapitres.

Le premier, est une présentation succincte de la centrale électrique de RAS-DJINET, suivi d'une description de la production d'électricité.

# Introduction générale

Le deuxième chapitre, est un état de l'art sur la maintenance en générale et de la maintenance conditionnel en particulier

Le chapitre trois, est dédié la théorie des pompes utilisées dans les différentes industries. Dans ce chapitre, une description détaillée des pompes alimentaires objet de notre expertise est donnée.

Les différentes accessoires d'acquisition de conditionnements des signatures vibratoires sont explicités dans le chapitre quatre.

La partie expérimentale sur le diagnostic par la méthode vibratoire ainsi que les différentes discussions sont largement présent dans le cinquième chapitre.

Ce mémoire commence par une introduction générale et fini par une conclusion générale ainsi que quelques perspectives.

# ***Chapitre I***

Présentation De La Centrale Et  
Introduction Sur La Production  
D'électricité

# Chapitre I : Présentation de la centrale

## PRESENTATION DE LA CENTRALE ET INTRODUCTION SUR LA PRODUCTION D'ELECTRICITE

### Présentation de la centrale :

#### Situation géographique :

La centrale thermoélectrique de RAS-DJINET est située à l'Est d'Alger dans la wilaya de Boumerdes. Elle occupe une superficie de 35 hectares, elle est construite par une société allemande (Siemens) en 1985.

Le choix du site a été réalisé à partir d'une étude qui a montré que :

- La proximité des consommateurs importants situés notamment dans la zone industrielle REGHAIA-ROUIBA.
- La centrale est située en bord de la mer (facilitant l'utilisation de grandes quantités d'eau de refroidissement).
- Condition de sous-sol favorable, ne nécessitant pas de fondation profonde.

La centrale de RAS-DJINET se compose de 4 tranches de type thermique-vapeur d'une puissance unitaire de 176 MW pour un régime de 100% (pleine charge) à la borne d'alternateur, la puissance totale délivrée par les 4 tranches est de 704 MW. [1]

La consommation totale des auxiliaires est environ 32 MW, ce qui fait que la puissance nette fournie au réseau national est de 672 MW.

Chaque tranche se compose de plusieurs installations importantes qui influent directement sur le rendement de la tranche et de la centrale.

Ces installations sont :|

- La turbine.
- La chaudière.
- Le condenseur.
- Les pompes.
- Réchauffeurs..... etc.



# Chapitre I : Présentation de la centrale

La centrale thermoélectrique de RAS-DJINET, dont la construction a été décidée en vue de renforcer l'alimentation en énergie électrique du pays, est composée de quatre groupes mono bloque d'une puissance unitaire de 168 Méga Watts (borne alternateur) totalisant une capacité installée de 672 Méga Watts (borne usine). Les quatre groupes alternateurs sont alimentés par quatre chaudières à haute pression d'environ 160 Bars et de 530 m<sup>3</sup> /h de débit.

[1]

## Caractéristiques techniques

### Générateur à vapeur :

- Consommation gaz naturel.....40m<sup>3</sup> /h.
- Consommation gas-oil (fuel)..... 42 m<sup>3</sup> /h.
- Capacité de vaporisation..... . 530t /h.
- Pression de service.....160bars.
- Température eau d'alimentation.....24 6°C.

### Turbine à vapeur :

- Longueur..... 16, 125 m.
- Largeur.....13m.
- Poids.....500t.
- Puissance.....176MW.
- Vitesse de rotation.....3000tr /min.

### Alternateur :

- Tension nominale.....15.5KV.
- Puissance apparente.....220MVA.
- Puissance active.....176MW.

### Transformateur d'évacuation d'énergie :

- Tension primaire.....15,5KV.
- Tension secondaire.....220KV.
- Puissance nominale HT et BT.....220KVA.

### Dessalement eau de mer :

- Capacité de production..... (04) unités produisant 500 m<sup>3</sup>/j chacune.
- Procédé de distillation.....Multi flashes

# Chapitre I : Présentation de la centrale

## Poste d'eau :

- Eau de refroidissement.....(02) pompe refroidie 12000 m<sup>3</sup> /h chacune.
- Eau d'extraction.....414 m<sup>3</sup> /h.
- Eau d'alimentation.....(03) pompe alimenter 261, 6 m<sup>3</sup> /h chacune. [1]

## Schéma synoptique :

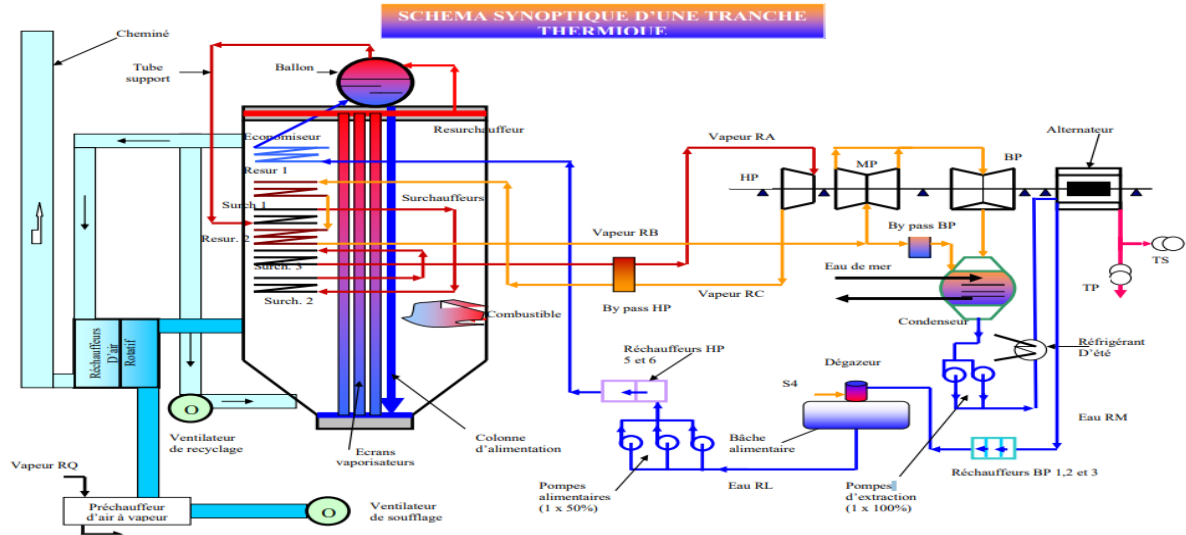


Figure 1 : Schéma synoptique d'une tranche thermique

## Principe de fonctionnement :

Dans une centrale thermique à vapeur la production de l'énergie électrique comporte trois Phases

1 : La transformation de l'énergie chimique du combustible en énergie calorifique de la vapeur dans la chaudière.

2 : la transformation de l'énergie calorifique en énergie mécanique par la turbine.

3 : transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique par l'alternateur.

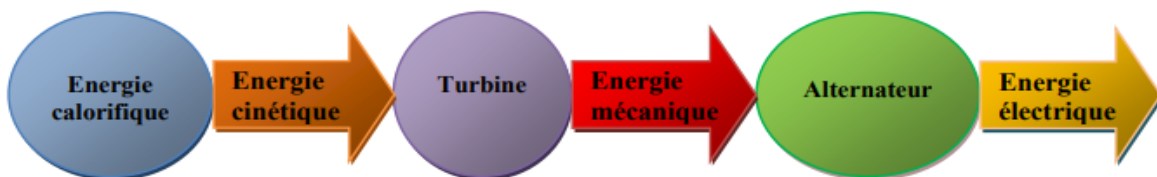


Figure 2:Schéma de fonctionnement

# Chapitre I : Présentation de la centrale

Le condensât est extrait par la pompe d'extraction pour l'acheminer vers la bache alimentaire en passant par les réfrigérants d'été, les couches d'hydrogène de l'alternateur et par les réchauffeurs BP. [1]

L'eau d'alimentation de la bache alimentaire sera refoulée par la pompe alimentaire vers la partie inférieure du ballon chaudière en passant par les réchauffeurs HP 5 et 6 pour la réchauffer à une température de 246,3°C sous une pression de 164,3 bars avant d'être introduire dans l'économiseur de 284,7°C et une pression de 160 bars.

Ce mélange (eau - vapeur) sera vaporisé en descendant dans des colonnes d'alimentation qui traversent les huit brûleurs qui fonctionnent en présence d'oxygène fournis par le ventilateur de soufflage, la vapeur prend une température de 540°C et une pression de 170 bars.

La vapeur est canalisée dans les écrans vaporisateurs jusqu'à la partie supérieure du ballon chaudière et s'achemine vers le corps HP de la turbine en passant par les trois surchauffeurs.

Vapeur RC se rend au corps BP de la turbine après le passage par des resurchauffeurs 1 et 2 où elle est portée à 540°C et 48 bars puis vers le corps MP. A la sortie de corps MP la vapeur à une pression de 30 bars.

L'effet de la vapeur dans les trois corps de la turbine est de fournir l'énergie mécanique à l'alternateur qui produit l'énergie électrique. Toutes ses auxiliaires sont alimentées à travers le transformateur de soutirage. [1]

## Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté la centrale thermique RAS-DJINET, ainsi que les différentes installations et équipements de production, ainsi que son principe de production d'électricité.

# ***Chapitre II***

Théorie Sur La Maintenance  
Conditionnelle

# THEORIE SUR LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE

## Introduction

L'objectif de la fonction maintenance est d'assurer la plus grande disponibilité possible des équipements de production et de leurs accessoires tout en minimisant les temps d'arrêt. Longtemps mal comprise comme une fonction secondaire entraînant d'inévitables pertes financières, la fonction de maintenance est aujourd'hui largement assimilée à la fonction de dépannage et de réparation des équipements vétustes. Le véritable périmètre de la fonction maintenance est bien plus large : il doit s'agir d'une recherche permanente d'un équilibre entre technologie et économie. Il reste encore beaucoup à faire pour que sa fonction productive soit pleinement réalisée. La maintenance nécessite des moyens humains et matériels importants pour remplir efficacement son rôle. Elle ne peut pas devenir un paradis pour les fabricants inexpérimentés et elle a besoin d'un budget pour fonctionner qui lui permette de jouer un rôle qui va au-delà de celui d'une entreprise de réparation. Pour être gérées, les activités de maintenance nécessitent une organisation, une planification et des mesures méthodiques.

## Définition de la maintenance

D'après la norme AFNOR X 60-10, la maintenance est définie comme l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un État bien spécifié où en mesure d'assurer un service déterminé avec un coût optimal.[2]

## Objectifs de la maintenance

Les principaux objectifs de la maintenance sont :

- ♦ De maintenir l'équipement dans un bon état de marche, dans les meilleures conditions de qualité, de délai et de prix de revient.
- ♦ De remplacer l'équipement à des périodes prédéterminées.
- ♦ d'assurer à l'équipement des performances de haute qualité.
- ♦ D'améliorer la sécurité du travail.
- ♦ De former le personnel dans les spécialités spécifiques à la maintenance.
- ♦ De conseiller la direction d'usine et la fabrication.
- ♦ De maintenir l'installation dans un état de propreté absolue.

La fonction maintenance a donc un caractère productif tout comme la fonction

## Chapitre II: Théorie sur la maintenance conditionnelle

fabrication. On parle souvent de la maintenance productive, et il convient de lui attacher une importance aussi grande que la fonction fabrication. Les deux ont la tâche d'assurer une conduite et une qualité constante de la production. [2]

### Différentes formes de maintenance

Il existe deux types principaux de maintenance qui peuvent être schématisés par la figure suivante :

→ La maintenance préventive

→ La maintenance corrective

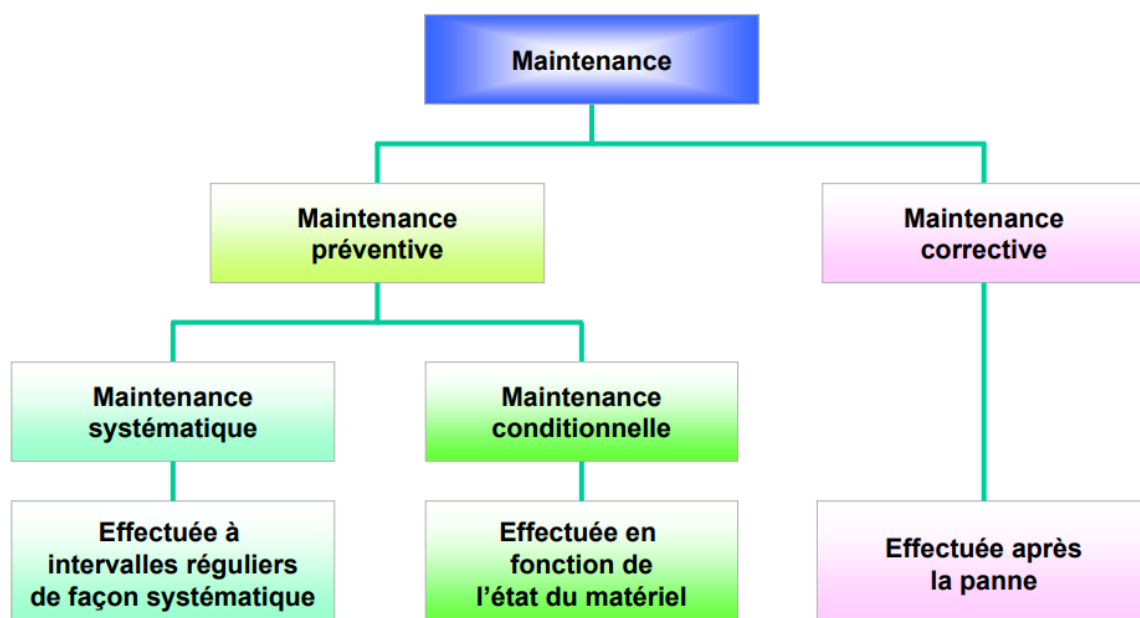


Figure 3 : Types de maintenance

### Maintenance conditionnelle

#### Définition :

Selon la norme AFNOR X60-010, "les activités de maintenance conditionnelle sont déclenchées en réponse à des indicateurs significatifs prédéterminés de l'état de dégradation du bien ou du service". Les remplacements ou reconditionnements de pièces, ainsi que les remplacements ou repositionnements de fluides, s'effectuent après un examen approfondi de leur état de dégradation. La décision d'effectuer les remplacements ou les retours à l'état de l'art est alors prise sur la base du volontariat. [2]

## Chapitre II: Théorie sur la maintenance conditionnelle

### Objectifs

- Eviter les démonstrations systémiques inutiles qui pourraient conduire à des échecs.
- Augmenter la sécurité des biens et des personnes.
- Éviter les interventions d'urgence en suivant l'évolution des anomalies au fur et à mesure de leur apparition afin d'intervenir dans les meilleures conditions possibles. [3].

### Condition d'applications

La maintenance conditionnelle préventive se définit par l'identification des points faibles du cas considéré. Il est préférable de les mettre sous observation pour décider d'intervenir ou non lorsqu'un certain seuil est atteint, mais les contrôles doivent être systématiques et s'inscrire dans des méthodes de contrôle non destructif.

### Choix du type de suivi

En pratique, on dispose deux méthodes d'acquisition de données :

#### 1. Périodique « off line »

Les mesures sont effectuées à intervalles de temps réguliers, et l'évolution des résultats des mesures dans le temps permet de mieux comprendre le comportement de la machine, ainsi que d'identifier les symptômes d'un dysfonctionnement et leurs causes ainsi que les composants endommagés. [3]

#### 2. Continue ou permanente « on line »

Dans ce cas, les capteurs sont fixés en permanence à l'équipement de surveillance et sont reliés à un système d'acquisition, permettant une mesure quasi continue. [3]

### La périodicité des mesures

#### 1) Avec un collecteur de données portable (maintenance "OFF LINE ")

Ils seront différents d'une machine à l'autre et passeront par trois étapes :

- **Phase 1** : Lors du rodage d'une nouvelle machine, des mesures périodiques sont effectuées (par exemple, tous les 2 ou 3 jours) jusqu'à ce que les niveaux se stabilisent.
- **Phase 2** : En fonctionnement typique, la périodicité peut aller d'une semaine à plusieurs mois.
- **Phase 3** : Lorsque le niveau commence à monter régulièrement, la Périodicité est réduite, et le processus peut être répété en quelques heures si la situation change rapidement. [3]

## **Chapitre II:Théorie sur la maintenance conditionnelle**

### **2) Avec un système d'acquisition à poste fixe (maintenance "ON LINE ")**

Dans ce cas, les capteurs sont fixes et la période de mesure correspond à la vitesse maximale de l'unité d'acquisition.

### **Pratique de la maintenance conditionnelle**

Un remplacement coûte beaucoup d'argent en termes de temps et de perte de rendement lors du démontage. La pratique de la maintenance conditionnelle consiste à ne changer un élément que lorsqu'il présente des signes de vieillissement ou d'usure entraînant une dégradation de ses performances dans le temps. La maintenance conditionnelle (appelée aussi maintien en état de fonctionnement) se décompose en trois étapes :

- Détection d'un problème en développement.
- L'établissement d'un diagnostic.
- L'analyse de la tendance. [3]

#### **1. La détection du défaut qui se développe**

Les principales caractéristiques de base de chaque équipement sont enregistrées lors de l'installation, y compris les signaux de vibration (s'il y en a) et d'autres paramètres de fonctionnement (température, performances, etc.).

Des caractéristiques ou des signes serviront de point de référence pour comparer l'évolution d'éventuels défauts futurs.

#### **2. L'établissement d'un diagnostic**

Lorsqu'une anomalie est détectée par les outils que nous verrons ensuite, le responsable de la maintenance est chargé de déterminer, dans la mesure du possible, la cause et la gravité du problème.

#### **3. Analyse de la tendance**

L'établissement du diagnostic permet à l'ingénieur de préjuger du temps dont il dispose la panne, pour laisser l'appareil fonctionner sous surveillance renforcée et prévoir la réparation. [3]



## **Chapitre II:Théorie sur la maintenance conditionnelle**

### **Avantages et limites de la maintenance conditionnelle**

Les avantages et les inconvénients de la maintenance conditionnelle, ainsi que certaines limites, sont énumérés ci-dessous :

#### **1. Avantages de la maintenance conditionnelle**

- Une augmentation de la longévité de l'équipement.
- Un contrôle matériel plus efficace.
- Un coût de réparation abordable.
- Une augmentation de la productivité.
- Les stocks sont réduits des pièces de rechange.
- La mise en valeur de L'amélioration de la sécurité. [3]

#### **2. Inconvénients et limites de la maintenance conditionnelle**

- Un investissement capital important avec un retour sur investissement long et incertain
- La mise en place d'une nouvelle organisation
- Ces méthodes ne s'appliquent pas à tous les systèmes.
- Il ne détecte pas tous les problèmes. [3]

### **Outils de maintenance conditionnelle**

L'intégration de plusieurs méthodes de maintenance préventive conduit à une augmentation de la disponibilité des équipements :

- Analyse vibratoire pour détecter les problèmes mécaniques des équipements tournants.
- Analyse d'huile sur site ou avec l'aide d'un laboratoire extérieur.
- Thermographie infrarouge pour l'inspection périodique des installations électriques et mécaniques.

Le principe d'analyse vibratoire repose sur l'idée que les structures de machines excitables dynamiquement produisent des signaux vibratoires dont la fréquence est identique à celle des

## **Chapitre II:Théorie sur la maintenance conditionnelle**

efforts excitables dynamiquement qui les ont provoqués et que le nombre total de réponses vibratoires de la structure aux différents efforts excitables est le total nombre de ces réponses.

L'analyse des huiles permet de détecter la contamination (interne ou externe), l'usure de l'équipement (normale ou anormale) et la capacité du lubrifiant à remplir sa fonction.

La thermographie infrarouge peut être utilisée pour vérifier les connexions électriques, les désalignements, la surchauffe mécanique et les défauts des composants internes. [3].

### **Conclusion**

La maintenance industrielle est le cœur battant de la majorité des entreprises multinationales et des usines qui contribuent au bon fonctionnement des machines industrielles, ainsi qu'à leur nettoyage et à l'expansion de la production.

Par ailleurs, il faut noter que la majorité des actions de la structure de maintenance industrielle réduisent le nombre de défauts, de problèmes industriels, et assurent la sécurité industrielle.

# ***Chapitre III***

Théorie sur les pompes et  
description de la pompe à eau  
de mer

## Chapitre III : Théorie sur les pompes

### Théorie sur les pompes et description de la pompe à eau de mer

#### Parie 1 : Généralités les pompes

##### Introduction

Les pompes sont des appareils hydrauliques qui servent à déplacer un liquide d'un endroit à un autre. L'énergie mécanique du moteur d'entraînement de la pompe est convertie en énergie hydraulique.

##### Classification des pompes

- les pompes sont divisées en deux classes principales :

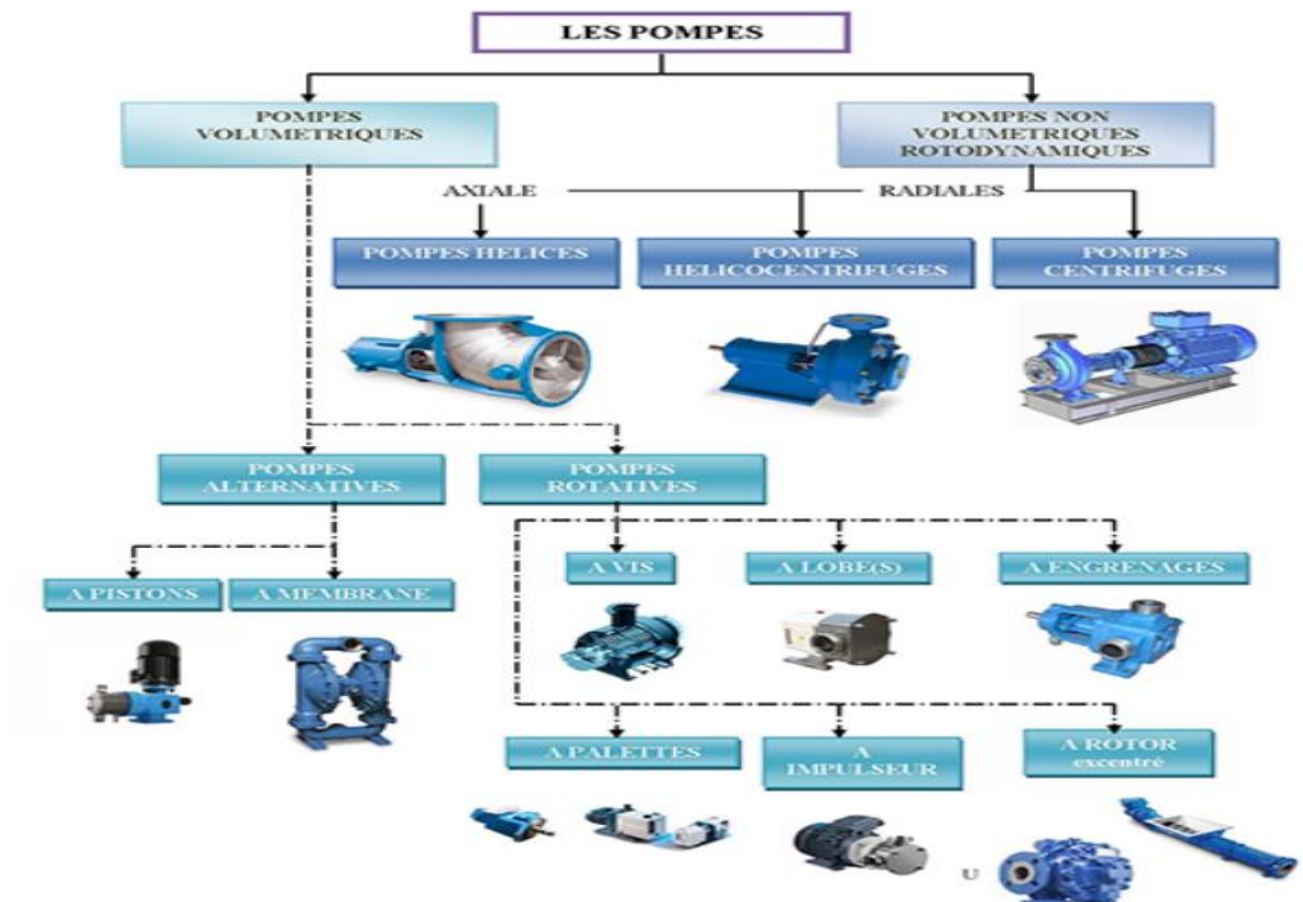


Figure 4: Classification des pompes

## Chapitre III : Théorie sur les pompes

### **Pompes volumétriques :**

Elles utilisent la variation de volume pour déplacer le fluide. Le rendement volumétrique est le rapport entre le volume engendré. [5]

### **Pompe volumétriques rotatives :**

Les pompes volumétriques à engrainage sont munies de deux roues dentées. L'une des roues, Entraînées par le moteur de command, transmet le mouvement à l'autre : l'écoulement est intermittent dans les pompes à vis ou à engrainages hélicoïdaux, l'écoulement est plus régulier. [5]

### **Pompes volumétriques à piston :**

Elles utilisent un piston qui effectue un mouvement rectiligne dans un cylindre muni de Valves, qui régulent le débit du liquide dans le cylindre. Ces pompes sont à simple ou à double effet. [5]

### **Turbo pompes :**

Elle existe trois classes de turbo pompes :

- Les pompes centrifuges à écoulement radiale.
- Les pompes axiales à écoulement axial.
- les pompes hélico centrifuge, à écoulement mixte [6]

### **Pompes hélico-centrifuge :**

La roue composée plusieurs aubes à double courbure dont les deux extrémités sont inclinées par rapport à l'axe de rotation.[6]

### **Pompes centrifuges :**

La principale caractéristique d'une centrifuge est qu'elle convertit l'énergie d'une source mobile (le moteur) d'abord en vitesse, puis en énergie cinétique (pression).

Le rôle d'une pompe est de fournir de l'énergie à un liquide pompé en fonction du cahier des charges du constructeur et des spécificités de l'installation.

Le fonctionnement est simple : ces pompes utilisent la force centrifuge pour déplacer le liquide et augmenter la pression à l'intérieur d'une chambre hermétique avec entrée et sortie (volute), ou elles font tourner un palier (roue), le véritable parcours de la pompe, convertissant l'énergie cinétique en pression dans la volute. [6]

## Chapitre III : Théorie sur les pompes

Les pompes centrifuges présentent de nombreux avantages sur les pompes volumétriques :

- prix de revient inférieur.
- couplage direct avec le moteur, moins de vibration.
- les turbos pompes sont souvent utilisées pour injecter de l'eau dans une chaudière à vapeur. [7]

### **Avantages de la pompe centrifuge :**

- Faible encombrement.
- Régularité du débit.
- Simplicité de construction.
- Aptitude de refouler à des grandes hauteurs.
- Moins de bruits.

### **Inconvénients de la pompe centrifuge :**

- A faible débit, ou une grande hauteur de refoulement, le rendement diminue.
- Apparition du phénomène de cavitation en cas de pression insuffisante à l'aspiration.
- Diminution de la hauteur de refoulement en cas de fuite. [6]

## **Chapitre III : Théorie sur les pompes**

### **Partie 02 : théorie sur la pompe d'eau de mer WE**

#### **Définition la pompe (eau de mer WE) :**

La rangée de pompe se compose d'une extrémité de pompe multi-étage verticalement sur une butée. Suivant les longueurs nécessaires de 9 m, ils se trouvent plusieurs tubes de raccord montés entre la butée et l'extrémité de pompe, y inclus l'arbre de transmission. La pompe de type WE est une pompe submersible verticale (pompe axial) avec un arbre de transmission long, répondant à la profondeur d'entrée. L'entrée de pompe se trouve au sol et la sortie de pompe à la tête de refoulement au-dessous de la butée. L'arbre de transmission est lubrifié par le liquide refoulé. La pompe est équipée d'un impulsor de gavage spécial, dit Indicer qui se trouve dans une cloche d'aspiration d'une construction spéciale.

Cet impulsor de gavage est toujours employé si l'on demande des valeurs D'aspirations extraordinairement faibles. [1]

#### **Principe de fonctionnement de la pompe :**

Le moteur électrique asynchrone provoque un mouvement rotatif et à l'aide de l'accouplement mécanique ce mouvement est transmis vers les composant mobiles de l'arbre de la pompe (palier, impulsor...) tournant au même temps avec l'arbre de moteur les paliers assurent une bonne rotation et bon guidage de l'arbre et les autres organes.

Le mouvement de rotation est transmis par l'arbre aux cellules d'aspiration qui sont montées en étages pour impulser le fluide vers le refoulement.

#### **Aspiration :**

La pompe est placée en immersion directe dans le puits d'eau de mer et l'aspiration se fait à travers la crépine et la cloche d'aspiration de la partie hydraulique.

#### **Refoulement :**

La pompe refoule sur un corps de refoulement à partir duquel l'eau est transportée par une conduite d'alimentation DN 250mm -PN 3,6 Bar.

Cette conduite comprend :

- A la sortie du corps de refoulement :

## Chapitre III : Théorie sur les pompes

- 1) Un clapet de désaérage
- 2) Un clapet anti-retour.
- 3) Une vanne motorisée de refoulement.
- 4) Un indicateur de pression d'eau.
- 5) Un filtre autonettoyant.

• A l'entrée de l'unité de dessalement :

- 1) Un régulateur de débit eau de mer.
- 2) Une vanne de réglage débit.
- 3) Un clapet de rejet.
- 4) Deux indicateurs de pression d'eau. [1]

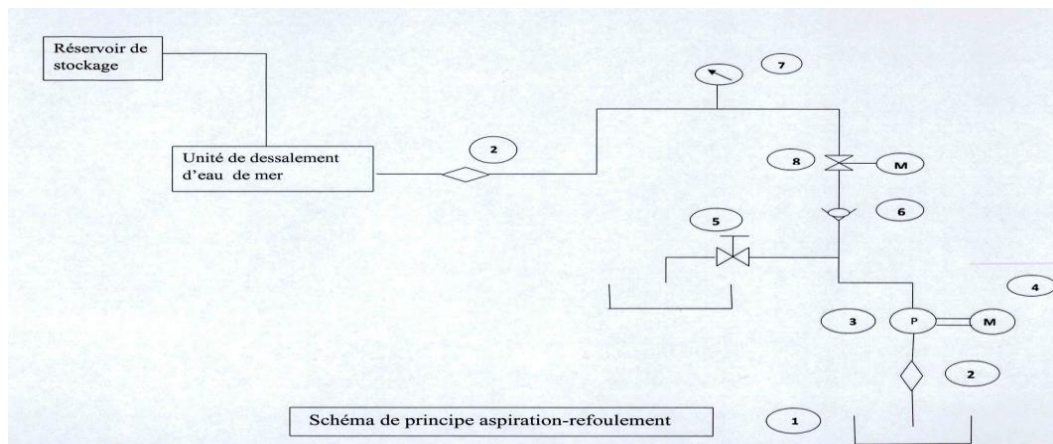


Figure 5: Schéma de principe aspiration et refoulement

| Repère | Nombre | Désignation                       |
|--------|--------|-----------------------------------|
| 1      | 3      | Réservoir                         |
| 2      | 2      | Filtre                            |
| 3      | 1      | Pompe d'eau de mer de dessalement |
| 4      | 1      | Moteur électrique                 |
| 5      | 1      | Vanne                             |
| 6      | 1      | Clapet de non-retour              |
| 7      | 2      | Mesure de débit                   |
| 8      | 1      | Régulateur de débit               |

Tableau 1 : Nomenclature du schéma<< aspiration-refoulement >>



## Chapitre III : Théorie sur les pompes

### La coupe de la pompe WE :

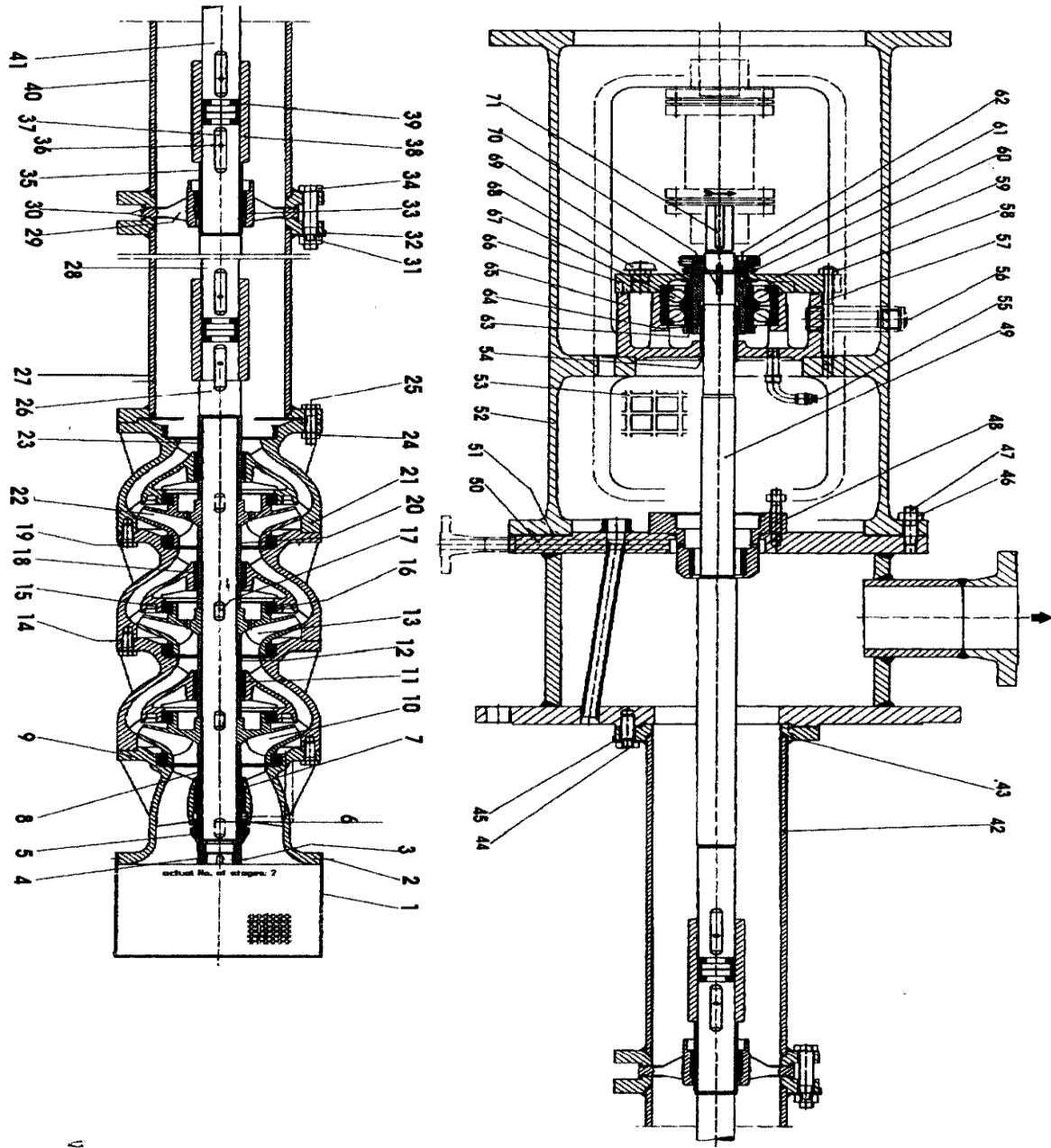


Figure 6 : La coupe de la pompe WE

## Chapitre III : Théorie sur les pompes

| Repère | Nombre | Désignation                   |
|--------|--------|-------------------------------|
| 1      | 1      | Crépine (filtre)              |
| 2      | 6      | Vis à six pans                |
| 3      | 1      | Vis sans tête                 |
| 4      | 1      | Ecrou d'impulseur             |
| 5      | 1      | Douille d'écartement          |
| 6      | 3      | Clavette                      |
| 7      | 2      | Douille de palier             |
| 8      | 1      | Chemise d'arbre               |
| 9      | 1      | Corps d'aspiration            |
| 10     | 1      | Impulser, premier étage       |
| 11     | 1      | Douille de palier             |
| 12     | 1      | Chemise d'arbre               |
| 13     | 1      | Impulser                      |
| 14     | 3      | Joint plan                    |
| 15     | 4      | Bague d'usure                 |
| 16     | 3      | Bague d'usure                 |
| 17     | 3      | Clavette                      |
| 18     | 2      | Douille de palier             |
| 19     | 24     | Vis à six pans                |
| 20     | 1      | Chemise d'arbre               |
| 21     | 2      | Corps redresseur              |
| 22     | 1      | Impulser                      |
| 23     | 1      | Chemise d'arbre               |
| 24     | 12     | Ecrou à six pans              |
| 25     | 12     | Vis à six pans                |
| 26     | 1      | Arbre d'impulser              |
| 27     | 1      | Tuyau de colonne              |
| 28     | 5      | Arbre d'entraînement          |
| 29     | 5      | Logement de palier de colonne |
| 30     | 11     | Joint torique                 |

### Chapitre III : Théorie sur les pompes

|    |    |                              |
|----|----|------------------------------|
| 31 | 60 | Ecrou à six pans             |
| 32 | 72 | Plaque de blocage            |
| 33 | 5  | Douille de palier            |
| 34 | 60 | Vis à six pans               |
| 35 | 5  | Chemise d'arbre              |
| 36 | 12 | Vis de blocage               |
| 37 | 12 | Clavette                     |
| 38 | 6  | Accouplement d'arbre         |
| 39 | 12 | Demi-coquille d'arbre        |
| 40 | 4  | Tuyau de colonne             |
| 41 | 5  | Arbre d'entraînement         |
| 42 | 1  | Tuyau de colonne             |
| 43 | 11 | Joint torique                |
| 44 | 12 | Vis à six pans               |
| 45 | 72 | Plaque de blocage            |
| 46 | 8  | Ecrou à six pans             |
| 47 | 8  | Goujon                       |
| 48 | 1  | Boîte à garniture            |
| 49 | 1  | Arbre de pompe               |
| 50 | 1  | Tête de refoulement          |
| 51 | 1  | Joint plant                  |
| 52 | 2  | Support de palier            |
| 53 | 2  | Protège accouplement         |
| 54 | 1  | Anneau en V                  |
| 55 | 1  | Bouchon                      |
| 56 | 4  | Indicateur de niveau d'huile |
| 57 | 4  | Goujon                       |
| 58 | 4  | Anneau en V à six pans       |
| 59 | 1  | Couvercle de palier          |
| 60 | 1  | Anneau en V                  |
| 61 | 1  | Ecrou d'arbre                |

## Chapitre III : Théorie sur les pompes

|    |   |                                          |
|----|---|------------------------------------------|
| 62 | 2 | Vis à six pans creux                     |
| 63 | 1 | Ecrou de blocage                         |
| 64 | 1 | Plaque de blocage                        |
| 65 | 1 | Corps de palier-butée                    |
| 66 | 1 | Joint torique                            |
| 67 | 2 | Roulement à billes à disposition oblique |
| 68 | 1 | Event                                    |
| 69 | 1 | Chemise de palier                        |
| 70 | 1 | Clavette                                 |
| 71 | 1 | Clavette                                 |

**Tableau 2 : Nomenclature de la pompe**

### Caractéristique technique de la pompe WE :

#### Débit de la pompe :

Le débit réel diffère du théorique à cause des fuites.

$$Q_R = Q_t - Q_R \quad (1)$$

$Q_t$  : débite théorique.

$Q_R$  : débite de fuite.

#### Puissance de la pompe :

C'est la puissance appliquée à l'arbre du rotor est égale :

$$P = C \times \omega = P. G (H_r + \Delta H) (Q_r + q_r) + \Delta H \text{ méca} \quad (2)$$

$\Delta H$  : les pertes aérodynamiques (décharge).

$q_r$  : pertes de fuite.

$\omega$  : vitesse angulaire.

$C$  : couple de torsion.

## Chapitre III : Théorie sur les pompes

### Rendement de la pompe :

Le rendement global caractérise l'ensemble des points ayant lors de la transformation d'énergie électrique au moteur d'entraînement.  $\eta_g = \eta_h \cdot \eta_v$  méca

|                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| Type                    | 19WEJ2                  |
| Nombre impulseur        | 02                      |
| Liquide                 | Eau de mer              |
| Débit                   | 289 m <sup>3</sup> /h   |
| Débit minimal           | 51,9 m <sup>3</sup> /h  |
| NPSH pompe installation | 3,7 m                   |
| Vitesse de rotation     | 1450 t/ min             |
| Rendement               | 70 %                    |
| Hauteur de refoulement  | 39 m                    |
| Puissance nécessaire    | 44,8 Kw                 |
| Densité de liquide      | 1,26 kg/dm <sup>3</sup> |
| Poids                   | 1200 Kg                 |
| Température de liquide  | 27 <sup>0</sup> C       |

Tableau 3 : Caractéristiques techniques de la pompe

### La chaine cinématique

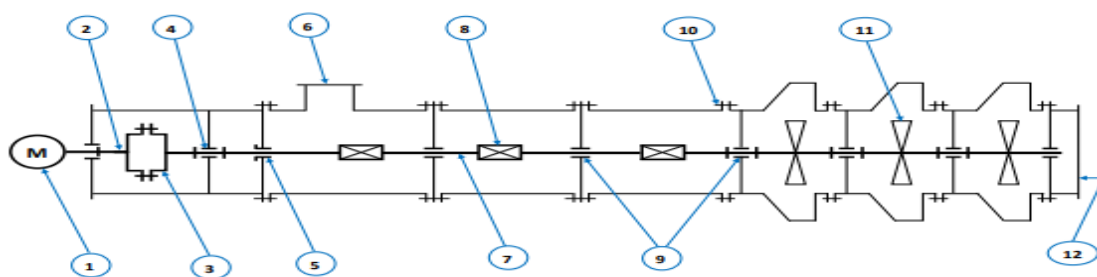


Figure 7 : La chaine cinématique

#### Nomenclature de la chaine cinématique :

- |                      |                          |
|----------------------|--------------------------|
| 1: Moteur.           | 9 : Palier.              |
| 2 : Arbre du moteur. | 10 : Vis.                |
| 3 : Accouplement.    | 11 : Impulseur           |
| 4 : Roulement.       | 12 : Corps d'aspiration. |

## Chapitre III : Théorie sur les pompes

5 : Boîte à garniture avec chemise d'arbre.

6 : Tête de refoulement.

7 : Arbre de pompe.

8 : Accouplement avec clavette.

### Les composants de la pompe :

#### Impulseur ou roue :

Assure la mise en vitesse de liquide et elle est munie de deux parois latérales appelées flasques. L'un des flasques porte les moyeux de la roue clavetés sur l'arbre. Les ailettes aux aubes sont disposées entre les flasques et délimitent les canaux de la roue. Elle transforme l'énergie mécanique en énergie dynamique. [1]



Figure 8 : Impulseur ou roue

#### Arbre :

En raison des spécificités de notre pompe relativement à l'importance de la longueur de l'arbre qui est de 9m et les problèmes de flexions qui peuvent être engendrés, d'où leur influence sur le fonctionnement de la pompe, le constructeur a fabriqué l'arbre en deux parties (partie supérieure, partie inférieure) [1]



Figure 9 : Arbre

## Chapitre III : Théorie sur les pompes

### Paliers lisses :

En exploitation, les poussées générées sont transmises aux paliers des pompes, ces derniers doivent avoir la capacité à supporter ces sollicitations de type axial, radial ou combiné. [1]



Figure 10 : Palier lisses

### Accouplement :

Le choix des accouplements est notamment dicté d'une part, par le caractère vibratoire de l'ensemble système machine (équipement, fondation et tubulures de connexion), qui impose des accouplements flexibles et d'autre part par l'importance des efforts qu'exercent les machine entraînées imposant des accouplements rigides. [1]



Figure 11 : Accouplement



## Chapitre III : Théorie sur les pompes

### Bagues d'usure de l'impulseur :

Leurs rôles est de protéger le contact entre l'impulseur et la volute suite à une usure éventuelle et sont installées par presse et bloquées par des vis sur le diffuseur. [1]



Figure 12 : Bagues d'usure

### Chemise de l'arbre :

Son rôle est protéger le contact de l'arbre avec le palier. Elle est montée sur l'arbre au moyen d'une clavette. [1]



Figure 13 : Chemise de l'arbre



## Chapitre III : Théorie sur les pompes

### Moteur d'entraînement de la pompe

#### Définition :

C'est un moteur asynchrone triphasé avec une cage pour basse tension dans une carcasse ventilée. Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie en raison de sa simplicité de conception, ce qui en fait un équipement très fiable et nécessitant peu d'entretien. Il est composé d'un élément fixe, le stator, qui contient le bobinage, et d'une partie tournante, le rotor, qui est bobiné dans une cage de sécurité. Pour éviter la circulation du courant de Foucault, les circuits magnétiques du rotor et du stator sont constitués d'un empilage de tôles fines. [6]

#### Principes de fonctionnement :

Les courants du rotor créent un champ magnétique qui tourne à l'intérieur du stator. La fréquence de rotation (vitesse) est proportionnelle à la fréquence d'alimentation électrique. La vitesse de ce champ tournant est appelée "vitesse de synchronisation". Le rotor est encerclé par un courant continu, lui donnant l'apparence d'un aimant. Il pourrait également être constitué d'aimants permanents, auquel cas le rotor ne nécessiterait aucune alimentation. Le champ magnétique du rotor crée cherche en permanence à s'aligner sur celui du stator. C'est le principe de la boussole (qui se voit par rapport à un champ magnétique fixe). Cette machine est dite "synchrone" car les champs rotoriques et statoriques doivent tourner à la même vitesse. [6]

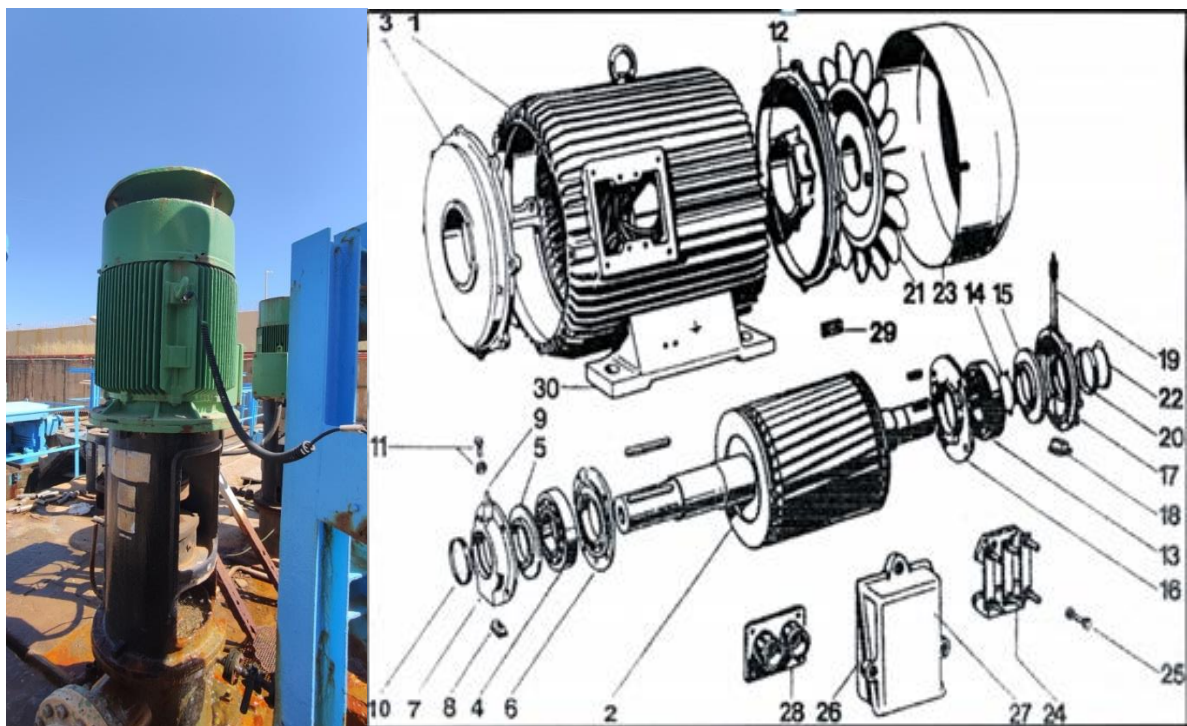


Figure 14 : Schéma du moteur

## Chapitre III : Théorie sur les pompes

| Repère | DISIGNATION                        |
|--------|------------------------------------|
| 1      | Stator                             |
| 2      | Rotor                              |
| 3      | Flasque palier AS                  |
| 4      | Roulement AS                       |
| 5      | Défecteur AS                       |
| 6      | Chapeau du palier Int AS           |
| 7      | Chapeau du palier Ext AS           |
| 8      | Capsule de 12 graisse usée AS      |
| 9      | Graisse AS                         |
| 10     | Bague en V AS                      |
| 11     | Plaquette d'arrêt de transport     |
| 12     | Flasque palier BS                  |
| 13     | Roulement BS                       |
| 14     | Ci clips BS                        |
| 15     | Défecteur BS                       |
| 16     | Chapeau du palier Int BS           |
| 17     | Chapeau du palier Ext BS           |
| 18     | Capsule de graisse usée BS         |
| 19     | Graisser BS                        |
| 20     | Bague en BS                        |
| 21     | Ventilateur                        |
| 22     | Plaquette d'arrêt pour ventilateur |
| 23     | Flasque guide air                  |
| 24     | Plaque à bornes                    |
| 25     | Connexion de la file de garde      |
| 26     | Base de la boîte à bornes          |
| 27     | Couvercle de la boîte à bornes     |
| 28     | Entrée de conducteur               |
| 29     | Prise de terre                     |
| 30     | Pied                               |

**Tableau 4 : Nomenclature du moteur**

## Chapitre III : Théorie sur les pompes

### Commande :

| Désignation                                 | Diamètre nominal | Pression nominal |
|---------------------------------------------|------------------|------------------|
| Robinet de désaérage                        | 1 / 2            | 10               |
| Clapet anti-retour                          | 200              | 10               |
| Vanne de refoulement motorisé               | 200              | 10               |
| Démètre électromagnétique                   | 65               | 16               |
| Vanne de réglage motorisée débit eau de mer | 65               | 10               |
| Clapet de rejet eau de mer motorisé         | 150              | 16               |
| Indicateur de pression (0-10 bars)          | ...              | ...              |

**Tableau 5: Commande du moteur**

### Caractéristiques techniques du moteur :

| DESIGNATION                  |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| Producteur                   | Siemens               |
| Type de moteur               | 1LA6253-4AA74-Z       |
| Puissance nominale           | 55KW                  |
| Tension d'alimentation       | 380V                  |
| Fréquence                    | 50Hz                  |
| Moment d'inertie             | 0.79Kg m <sup>2</sup> |
| Vitesse                      | 1450 t/min            |
| Poids                        | 435Kg                 |
| Rendement                    | 93.5%                 |
| Courant nominale à v         | 102A                  |
| Couple nominale              | 365Nm                 |
| Température ambiante         | 50 <sup>0</sup> C     |
| Courant de démarrage (Id/In) | 6.71N                 |
| Couple de démarrage (Cm/Cn)  | 2.7Nm                 |
| Couple maximale (Cm/Cn)      | 2.5Nm                 |
| Protection                   | IP 55                 |
| Forme de construction        | V1                    |
| Facteur de puissance         | 81 %(44.8/55KW=0.81)  |

**Tableau 6 : Caractéristiques technique du moteur**

## Chapitre III : Théorie sur les pompes

### La situation de la pompe WE :

#### La station de pompage :

La prise d'eau se situe en mer à 900 m de la station et de filtration. L'eau arrive par trois (3) conduites d'amenée d'eau de mer, en béton de diamètre intérieur / extérieur = 2,70 m / 3,00 m. [1]

#### Description de la station de pompage :

Les besoins journaliers en eau dessalée de la centrale thermique de ras-djinet sont de l'ord de  $100 \text{ m}^3$

L'installation comprend quatre (4) unités fonctionnant selon le principe de la distillation par détente successives (MSF) à 18 étages. Chaque unité produit par jour  $500 \text{ m}^3$  d'eau dessalée qui est stockée dans deux réservoirs de  $2700 \text{ m}^3$

Chaque unité fonctionne indépendamment des autres. En marche normale trois unités sont en service, mais exceptionnellement il est possible d'utiliser les quatre unités en même temps [1]

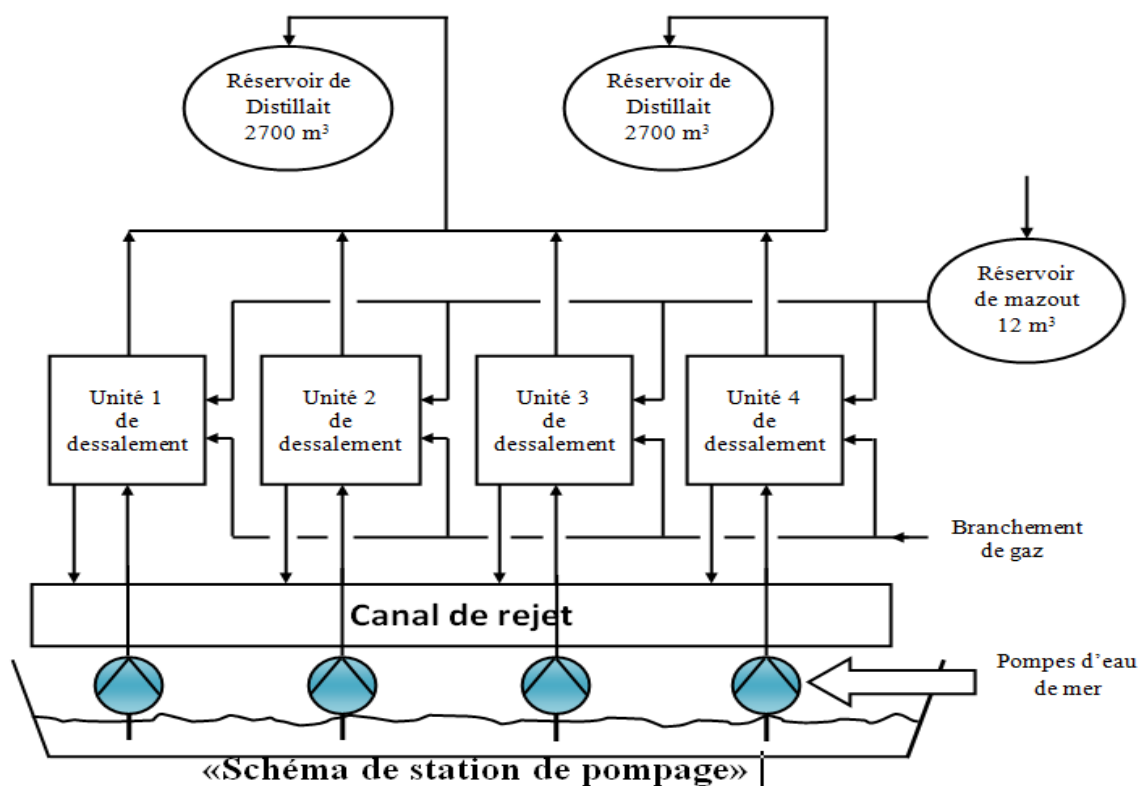


Figure 15 : Schéma de la station de pompage

## **Chapitre III : Théorie sur les pompes**

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons fait un état de l'art sur les types de pompes, telles que les pompes centrifuges et les pompes volumétriques. Nous avons également vu le fonctionnement d'une pompe d'eau de mer et ses nombreux composants et ses caractéristiques techniques.

# ***Chapitre IV***

Diagnostic par la méthode  
d'analyse vibratoire

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

### Diagnostic par la méthode d'analyse vibratoire

#### Introduction

Dans ce chapitre, nous verrons quelques systèmes de diagnostic actuellement utilisés à la station thermique de RAS-DJINET. Ces systèmes jouent un rôle vital dans l'organisation, permettant la prévention des risques et des problèmes. Vous trouverez ci-dessous un aperçu de ces systèmes.

#### Définition théorique d'une vibration

On désigne par vibration la variation dans le temps d'une grandeur quelconque. Il existe de nombreux exemples, qu'ils soient artificiels ou naturels, pour lesquels on observe un tel phénomène de va-et-vient autour d'une position de repos. [8]

#### Les différentes formes des vibrations

On classe généralement les vibrations d'après l'évolution de la variable considérée dans le temps (périodicité). On distingue ainsi les vibrations :

- harmoniques
- périodiques
- apériodiques

#### Vibrations harmoniques

Une vibration harmonique est une vibration dont le diagramme amplitude-temps est représenté par une sinusoïde. Le meilleur exemple d'une vibration harmonique est celle qui est générée par le balourd d'un rotor en mouvement. [8]

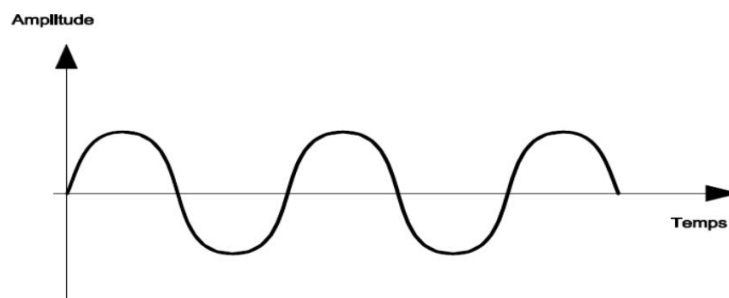


Figure 16 : Vibration harmonique

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

Elle est décrite par l'équation :

$$x(t) = X \cdot \sin(\omega t + \phi) \quad (3)$$

avec :

$\omega$  = vitesse angulaire ou pulsation du mouvement ( $2\pi f$ )

$f$  = fréquence du mouvement

$\phi$  = phase du mouvement par rapport à un repère dans le temps

### Vibrations périodiques

Une vibration périodique est telle qu'elle se reproduit exactement après un certain temps appelé période (figure 4). Une telle vibration est créée par une excitation elle-même périodique. C'est le cas le plus fréquent rencontré sur les machines. Une vibration périodique est la composée de plusieurs vibrations harmoniques [8]

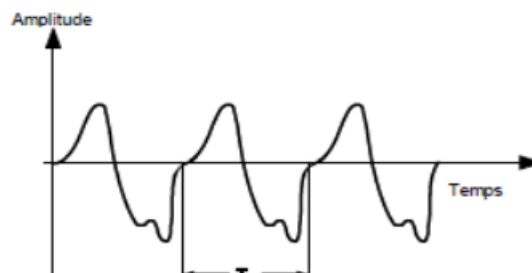


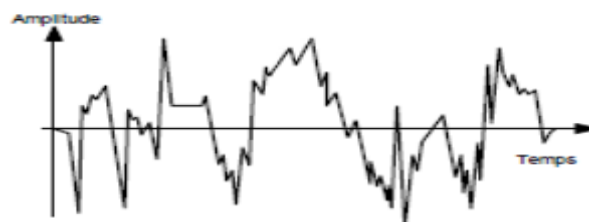
Figure 17 : Vibrations périodiques

Elle est décrite par l'équation :

$$X(t) = \sum_{i=1}^n [X_i \sin(\omega_i t + \varphi_i)] \quad (4)$$

### Vibrations apériodiques

Une vibration apériodique est telle que son comportement temporel est quelconque, c'est-à-dire que l'on n'observe jamais de reproductibilité dans le temps (figure 19). C'est le cas des chocs que l'on enregistre sur un broyeur. [8]





## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

Figure 18 : vibrations apériodiques

Elle est décrite par l'équation :

$$X(t) = \sum_{i=1}^{\infty} [X_i \sin(\omega_i t + \varphi_i)] \quad (5)$$

### Les modes de détections

En mesure vibratoire, on utilise couramment trois modes de détection (figure 7) :

- valeur efficace
- valeur crête
- valeur crête à crête [8]

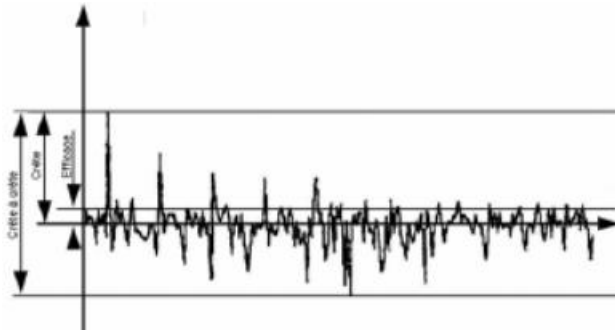


Figure 19 : Modes de détection usuels

### Valeur efficace $X_{eff}$

Pour une vibration périodique, la valeur efficace est la moyenne quadratique des valeurs efficaces de chacune des vibrations harmoniques la constituant :

$$X = \sqrt{(X_{1eff}^2 + X_{2eff}^2 + \dots + X_{neff}^2)} \text{ OU } X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (6)$$

### Valeur crête $X_c$ :

La valeur crête d'une vibration est la valeur maximale prise par la variable  $x(t)$  dans l'un des sens positif ou négatif.

### Valeur crête à crête $X_{cc}$ :

La valeur crête à crête d'une vibration est la somme des deux valeurs crêtes pour les sens positif et négatif

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

### La relation entre les différentes modes de détection :

Pour une vibration harmonique à l'exclusion de toute autre vibration périodique ; [8]

Les relations suivantes sont vérifiées :

$$\bullet \quad X_{\text{eff}} = \frac{X_c}{\sqrt{2}} = \frac{X_{cc}}{2\sqrt{2}} \quad X_c = x_{\text{eff}}\sqrt{2} = \frac{X_{cc}}{2} \quad X_{cc} = x_{\text{eff}} 2\sqrt{2} = 2X_c$$

### Les grandeurs de mesure

Une vibration peut être mesurée selon les trois grandeurs suivantes :

| Grandeurs de mesure | L'équation                                                                      | Les unités couramment utilisées                              |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Le déplacement      | $X(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$                                             | le micromètre [ $\mu\text{m}$ ] et le millième d'inch [mil], |
| La vitesse          | $V(t) = \frac{dx}{dt} \implies V(t) = A \omega \cos(\omega t + \varphi)$        | [mm/s] ou l'inch par seconde [IPS]                           |
| L'accélération      | $a(t) = \frac{d^2x}{dt^2} \implies a(t) = -A \omega^2 \sin(\omega t + \varphi)$ | [m/s <sup>2</sup> ] ou le [g]                                |

Tableau 7 : Les grandeurs de mesures et ces unités

Avec :

- 1 mil = 25,4  $\mu\text{m}$ .
- 1 IPS = 25,4 mm/s.      ○ 1g = 9,807 m/s<sup>2</sup>.

Le passage d'une grandeur à une autre s'obtient soit par intégration soit par dérivation.

Dans le cas des vibrations périodiques purement sinusoïdale, la vitesse est déphasée de 90° du déplacement, l'accélération est déphasée du déplacement de 180°.

### La relation entre X ; V et a

$$|X| = \frac{|V|}{\omega} = \frac{|a|}{\omega^2} \quad |V| = |X| \cdot \omega = \frac{|a|}{\omega} \quad |a| = |V| \cdot \omega = |X| \cdot \omega^2$$

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

L'équation montre que l'on choisira préférentiellement :

- La grandeur déplacement pour détecter des phénomènes à basse fréquence ( $\omega=2\pi f$  petit).
- La grandeur vitesse pour détecter des phénomènes se situant dans une large gamme de fréquence ( $\omega=2\pi f$  moyen).
- La grandeur accélération pour détecter des phénomènes à haute fréquence ( $\omega=2\pi f$  grand). [9]

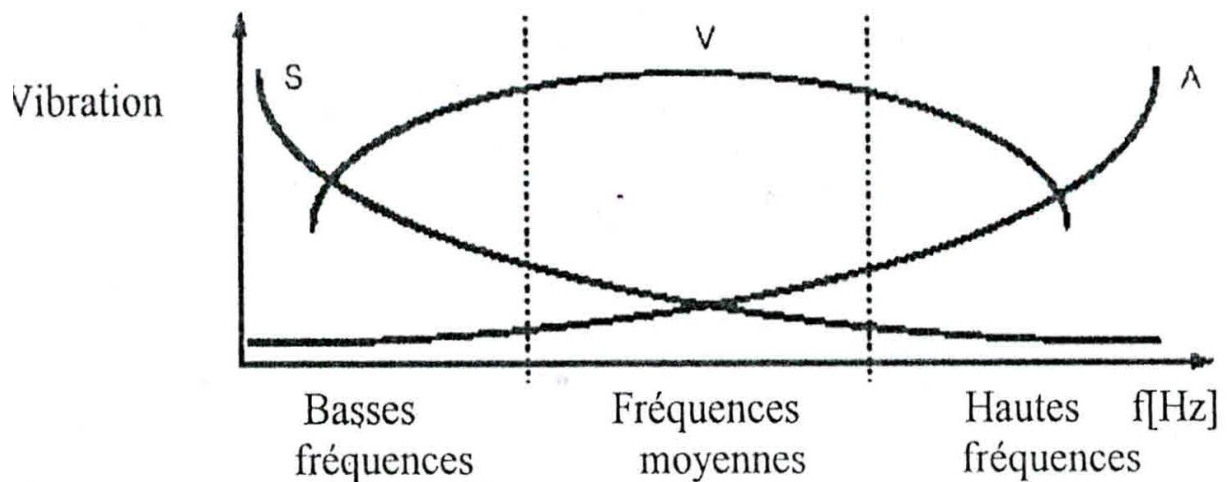


Figure 20 : Choix de la grandeur de mesure en fonction de la gamme de fréquence.

### Principales activités de l'analyse vibratoire :

#### La surveillance :

Le but est de suivre l'évolution d'une machine par comparaison des relevés successifs de ces vibrations.

Une tendance à la hausse de certains indicateurs par rapport à des valeurs de référence constituant la signature alerte généralement le technicien sur un dysfonctionnement probable.

[9]

#### Le diagnostic :

Il met en œuvre des outils mathématiquement plus élaborés ; il permet de désigner l'élément de la machine défectueux suite à une évolution anormale des vibrations constatée

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

lors de la surveillance. Le diagnostic n'est réalisé que lorsque la surveillance a permis de détecter une anomalie ou une évolution dangereuse du signal vibratoire. [9]

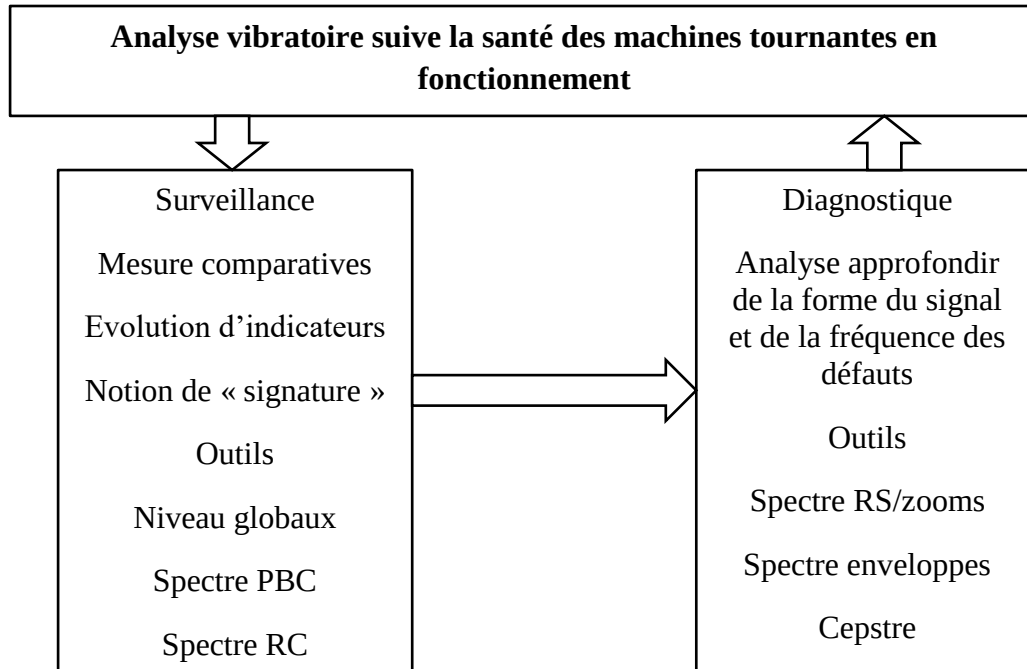


Figure 21 : Principalement Activités de l'analyse vibratoire.

### Outils de surveillance :

#### Niveaux globaux (NG) :

Les niveaux globaux sont des indicateurs scalaires plus ou moins sensibles à un nombre important de phénomènes.

La surveillance par niveaux globaux ne peut donc convenir que dans le cadre d'une politique de sécurité. Elle permet de détecter un fonctionnement anormal et de déclencher un arrêt avant la panne des installations ; on résume trois indicateurs :

#### Indicateurs basse fréquence (signal de grande énergie)

- **Déplacement crête-crête entre 10 et 1 000 Hz :** C'est l'indicateur préconisé par l'API (American Petroleum Institute). Il est utilisé par tout industriel intervenant dans la pétrochimie et est sensible aux phénomènes dits « basse fréquences » ; le niveau acceptable maximal est donné, quelle que soit la machine, par la formule suivante :

$$D_{cc_{\max}} = 25.4 \sqrt{\frac{12000}{N}} \quad (7)$$

$$\text{Avec } \begin{cases} N: \text{vitesse de rotation (tr/min)} \\ D_{cc} \text{ déplacement crête - crête } (\mu\text{m}) \end{cases}$$

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

- **Vitesse efficace entre 10 et 1000 Hz en (mm/s) :** Cet indicateur est, lui aussi, révélateur des phénomènes dit « basse fréquence ».

Une augmentation du balourd, un défaut de langage, se traduiront par une augmentation anormale de cet indicateur.

### Indicateur hautes fréquence (signal de faible énergie) :

- **Accélération efficace entre 1 et 10 KHz : [1 000 – 10 000 Hz] en (g ou mg) :** C'est un indicateur révélateur des phénomènes dits « haute fréquence » (HF) tels que les défauts de roulement, de denture ..... etc. [11]

### Indicateur spécifique aux roulements :

- **Facteur de crête entre 1 et 10 KHz : FC [1 000 – 10 000 Hz] sans unité**

$$FC = \frac{A_{cc\ crête}}{A_{ceff}} \quad (8)$$

Le défaut majeur de cet indicateur est de présenter environ les mêmes valeurs dans les deux cas extrêmes (état neuf et fin de vie du roulement. Voir la figure (23))

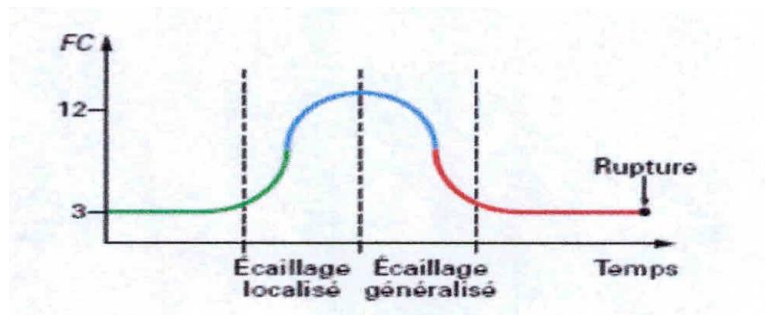


Figure 22 : Evolution du facteur de crête FC en fonction du temps

- **Facteur K entre 1 et 10 KHz [1 000 -10 000 Hz] en (g<sup>2</sup> ou mg<sup>2</sup>)**

$$K = A_{CC\ crête} \times A_{CCeff} \quad (9)$$

Le facteur K est plus sûr pour effectuer une analyse « spot » des roulements. Sa valeur est directement liée à l'état du ou des roulements. Voir (figure24).

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

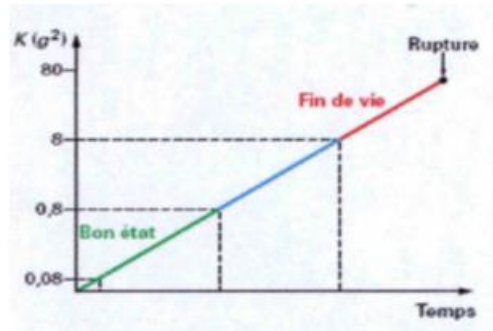


Figure 23 : Variation du facteur K en fonction du temps.

### Spectre PBC (pourcentage de bande constant)

C'est une technique fiable et rapide. Elle constitue un bon crible.

- **Largeur de bande** : (vert) une largeur de bande relative de 6% apporte une solution optimale à tous les problèmes courants sur les machines simples.
  - **Niveaux de référence** : représente la signature de la machine. Cette signature est établie lors des premières campagnes de mesure.
  - **Niveaux d'alerte** (jaune) est déduit du niveau de référence de la façon suivante :  
Alerte = Référence + X dB
  - **Niveau de danger** : (rouge) est déduit du niveau de la façon suivante :  
Danger = Référence + Y dB
- X et Y sont définis soit par logiciel utilisé (il existe des « standards » tels que X = 6 dB et Y = 20 dB soit par l'analyse si celui-ci a suffisamment d'expérience. [9]

### Outils de diagnostic

#### Spectre RC (Résolution Constante) ou FFT (Fast Fourier Transformé) et le zoom

C'est une représentation de l'amplitude vibratoire en accélération sur un axe linéaire des fréquences. Avec la technologie actuelle ; sa résolution est généralement de 400 lignes. Le spectre obtenu sera donc une courbe passant par 400 points régulièrement espacée en fréquence.

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

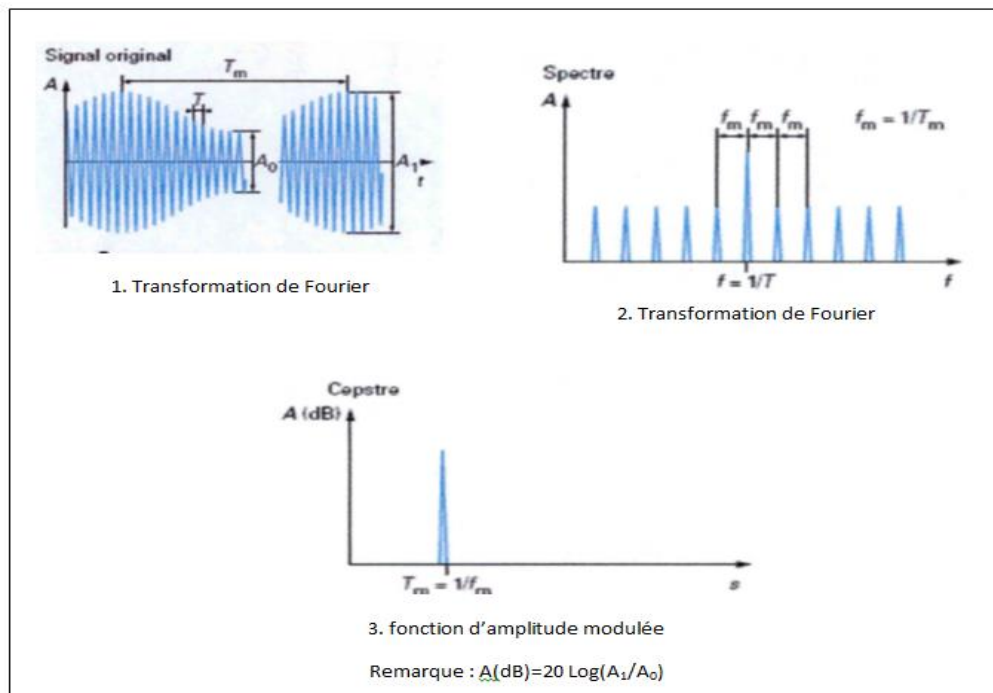


Figure 24 : Exemple de spectre.

### Analyse d'enveloppe

Cette technique est très utilisée pour la détection des défauts se manifestant dans les hautes fréquences. Ces défauts sont forcément de faible énergie.

Un spectre enveloppe (SF) doit se paramétrer de façon précise sur deux gammes de fréquences différentes :

- 1) La gamme HF c'est la gamme de fréquence excitée par les défauts sur laquelle réagit la structure. Elle est généralement comprise entre 1 et 10 KHz. C'est la gamme dont les valeurs croissent en forme de « cloche » ou de « bosse de chameau » sur spectre PBC ou RC HF.
- 2) La gamme de fréquence des défauts « excitation possible ». Ces défauts sont ceux des roulements. L'élément fautif peut être :
  - La piste interne (sur l'arbre)
  - La piste externe (sur l'alésage)
  - Une bille ou un rouleau [9]

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

### Mesure de vibration

#### Chaîne de mesure

Une chaîne de mesure doit remplir les fonctions suivantes :

- Transformer la vibration mécanique en signal électrique.

C'est le rôle du capteur qui sera éventuellement amplifié pour le rendre exploitable.

- Transmettre le signal ou le mettre mémoire.

C'est le rôle des appareils d'enregistrement ou des appareils de numérisation du signal

#### Les capteurs de vibrations :

Le but des capteurs de vibrations est de convertir les vibrations mécaniques en signaux électriques. Il existe plusieurs types de capteurs basés sur l'alimentation en énergie, tels que les capteurs actifs et passifs.

Les capteurs actifs ne nécessitent pas d'alimentation, mais les capteurs passifs ne fonctionneraient pas sans une alimentation de secours en énergie.

Selon la gamme de fréquences étudiée, un capteur doit mesurer soit un mouvement (courbes de Foucault), soit une vitesse (électrodynamique), soit une accélération (piézo-électrique). [9]



Figure 25 : Schéma de principe d'un capteur de vibration.



## **Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire**

### **Point de mesure**

Le point de mesure peut être quelconque. Aucune précaution particulière n'est requise tant que les fréquences à mesurer restent basses (quelques centaines de Hz). Les hautes fréquences ne pourront être appréhendées que si la fixation du capteur est particulièrement soignée. La norme AFNOR E 90-152 indique les moyens de fixation couramment utilisés, leurs avantages, leurs inconvénients.

Le tableau ci-dessous présente, à titre d'exemple, l'influence des modes de fixation les plus répandus (vissage ou collage) sur un capteur dont la fréquence de résonance se situe à 35 kHz et dont la plage de linéarité s'étend jusqu'à 10 kHz. [9]

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

| Mode de fixation                                        | Vissage                                                                              | Aimant                                                            | Pointe de touche                          |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Fréquence de résonance de l'ensemble monté [kHz]</b> | 35                                                                                   | 7                                                                 | 2                                         |
| <b>Domaine de linéarité [kHz]</b>                       | 10                                                                                   | 2                                                                 | 0.6                                       |
| <b>Précautions à prendre</b>                            | S'assurer que la face d'appui du capteur est bien en contact avec le point de mesure | Surface propre et plane (usinée)                                  | Eviter les résonances de contact          |
| <b>Avantages</b>                                        | Mesure juste et précise                                                              | Compromis souvent acceptable                                      | Simplicité de la prise de mesure          |
| <b>Inconvénients</b>                                    | Installation parfois coûteuse                                                        | Support ferromagnétique<br>Mode de fixation limité en température | Incertitude importante liée à l'opérateur |

**Tableau 8 : Modes de fixations les plus répandus des capteurs**

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

### Capteur de déplacement

Il existe des détecteurs de mouvement :

- **Inductifs :**

La structure dont le mouvement est à mesurer est liée mécaniquement à la l'armateur d'un circuit magnétique entraînant la variation du flux dans un enroulement de mesure. [9]

- **Capacitifs :**

Ces capteurs sont basés sur la variation de capacité d'un condensateur dont l'une des deux armatures liées à structure dont on veut mesurer le déplacement change de position. [9]

- **Courant de Foucault (prosimètres) :**

Utilisé sans contact avec l'élément de la structure vibrante, il est constitué d'une bobine autour d'un noyau central, la distance entre le capteur et la cible qui présente un entre fer dans le circuit génère un champ magnétique qui influe sur la tension aux bornes de la bobine, donc on obtient une tension proportionnelle à l'entrefer dans la distance sonde/cible, plage de fréquence allant de 0 à 1000 Hz. [9]

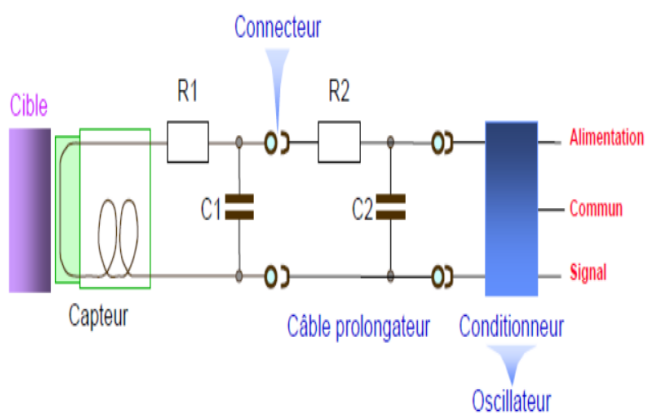


Figure 26: Capteur de déplacement (courants de Foucault).

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

### Capteur de vitesse (Vélocimétrie)



Figure 27: Capteur de vitesse (Vélocimétrie, VS 80).

Il s'agit d'un capteur électrodynamique qui génère une tension proportionnelle à la vitesse de déplacement de la bobine. Le mouvement de la pièce métallique dans les spires provoque une fluctuation de flux, et donc une induction de courant dans la bobine.[10]

#### **Principe électrodynamique :**

Une induction magnétique constante est générée par un désir persistant (1). (B). Les lignes du champ sont visées par le boîtier (3). Une bobine (4) suspendue par des membranes (5) et (6) peut se déplacer dans le sens des lignes de champ. Le résultat est une force électromotrice d'induction (e), qui est le produit de la vitesse de vibration (v), de l'induction (B) et de la longueur d'enroulement (L). [10]

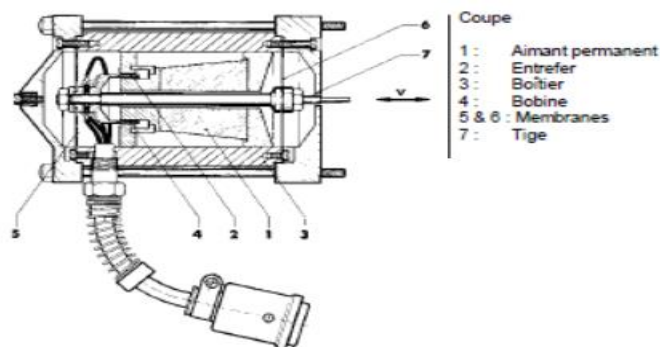


Figure 28 : Fonctionnement de la vélocimétrie.

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

### L'accéléromètre piézo-électrique :

Les éléments actifs de ce type de capteur sont des disques piézo-électriques en cristal (souvent une céramique ferroélectrique polarisée artificiellement ).Présentant la capacité de convertir les sollicitations mécaniques (pression ou cisaillement) en charges électriques .Ces disques sont maintenus entre deux masses assez importantes par un ressort à haute résistance .Lorsque le capteur est mis en vibration, les masses exercent une pression alternée sur les disques, entraînant une fluctuation de charge électrique proportionnelle à la force appliquée , et donc une accélération de la masse .En général, la plage de linéarité typique est de 0 à 13000 Hz. [9]

- Paramètres de l'effet piézoélectrique dans les équations :

$$✓ \quad Q = k. p \quad (10)$$

$$✓ \quad P = F / s \quad Q = K. a \quad (11)$$

$$✓ \quad F = M. a \quad (12)$$

Avec :

**Q** : charge électrique générée par l'effet piézo-électrique [pC]

**P** : pression exercée sur la céramique [N/m<sup>2</sup>]

**F** : force exercée sur la céramique [N]

**S** : surface de contact entre la masse sismique et la céramique [m<sup>2</sup>]

**M** : masse sismique [kg]

**a** : accélération du capteur [m/s<sup>2</sup>]

**K** : constante [pC/N/m<sup>2</sup>] ; **K** : facteur de transmission [pC/m/s<sup>2</sup>].

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

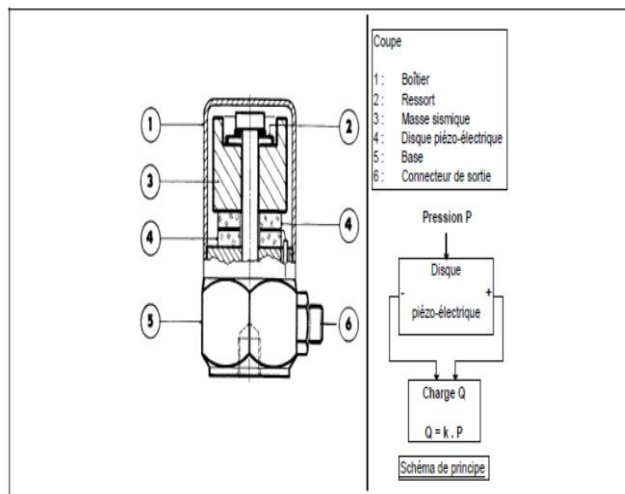


Figure 29 : Accéléromètre fonctionnant sur le principe piézo-électrique.

Connaître l'état vibratoire de la machine permet d'évaluer sa fluidité de mouvement et l'état de ses nombreux organes constitutifs, et il vous faudra pour cela une bonne jauge.[9]

### ▪ Fixation des accéléromètres

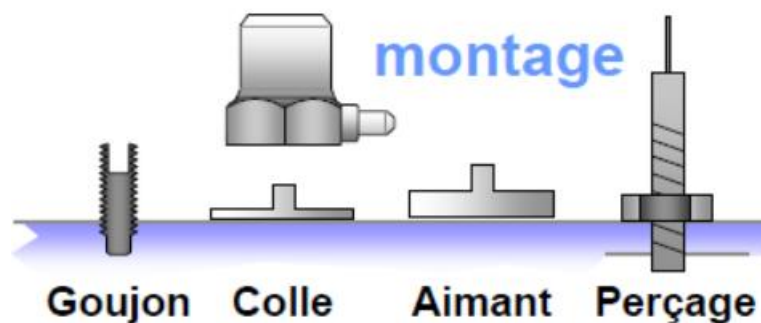


Figure 30: type de Fixation des accéléromètres

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

### Défauts fondamentaux

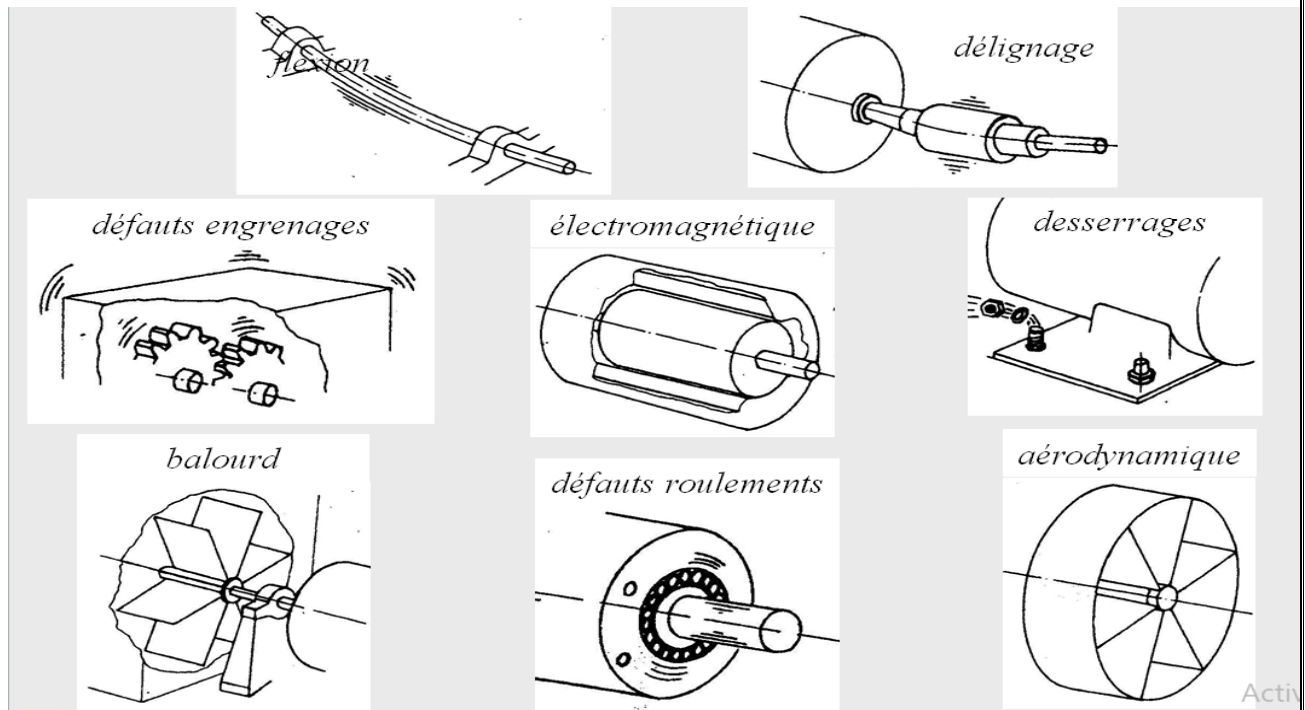


Figure 31 : les différents défauts fondamentaux

| Type de défaut         | Fréquence d'apparition | Indicateur                                      |
|------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|
| Balourd                | 25 %                   | $f_0$ , $\phi$ , radial                         |
| Défaut de lignage      | 25 %                   | $f_0$ , $2f_0$ , $\phi$ , axial & radial        |
| Défauts de roulement   | 30%                    | BCU, HF, enveloppe, facteur de crête, facteur K |
| Défaut d'engrènement   | 10 %                   | Zoom, <i>spectre</i>                            |
| Défaut électrique      |                        | Zoom + pince ampérométrique                     |
| Résonance de structure |                        | Choc, 3D, ODS (déformée en charge)              |

Tableau 9 : Les défauts qui apparaissent le plus souvent sur les machines industrielles, ainsi que les indicateurs essentiellement vibratoires qui leur sont associés.

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

### Un balourd :

Un balourd est un déséquilibre de masse par rapport à l'axe de rotation .Parce qu'il est impossible d'obtenir un centrage parfait de tous les éléments du rotor dans la pratique. Il y a toujours un déséquilibre dû à :

- Défaut d'usinage
- Défaut d'assemblage : décalage d'une pale de turbine, dissymétrie d'un pôle de rotor d'alternateur
- Altérations mécaniques
- Dissymétrie d'un pôle de rotor d'alternateur, défaut de montage : disparition d'une pale de turbine

Les changements mécaniques comprennent la perte d'une ailette, l'érosion et l'incrustation.

Du fait de la force centrifuge, ce balourd va provoquer des vibrations. [9]

$$F = m_b \omega^2 r_b \text{ [N]} \quad (13)$$

- Avec  $m_b$  masse théorique du balourd [Kg]
- $r_b$  rayon théorique du balourd [m]
- $\omega$  pulsation ou vitesse angulaire [rad /s].

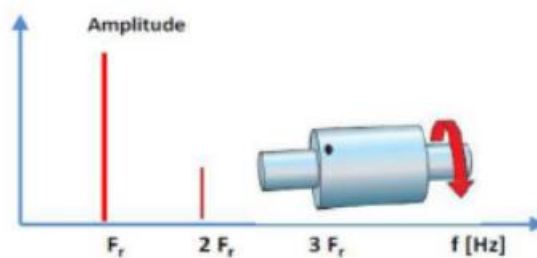


Figure 32 : Spectre théorique d'un défaut de balourd.



## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

### Différentes formes de balourd

#### Balourd statique

Dans le cas d'un balourd statique, les deux paliers qui supportent le rotor monteront en même temps ; effort de centrifugation en haut de l'échelle d'équilibrage

En conséquence, il n'y aura pas de disparité entre les mesures prises en même temps, sur deux palettes différentes [9]

#### Paire de Balourd

Le rotor tangué et les deux paliers qui supportent le rotor subissent les effets de la vitesse nominale.

Du fait du couplage radial exercé par les deux balourds, les efforts de centrifugation alternent opposés .Une différence de  $180^\circ$  a été observée entre les mesures prises en même temps.

Les angles des deux paliers dévoilent un balourd couple

En raison de l'équilibre statique, la position angulaire du rotor peut être tout ce qu'il veut être. [9]

#### Balourd Dynamique

Le type de balourd le plus courant est une combinaison d'un balourd statique et d'une paire de balourd. [9]

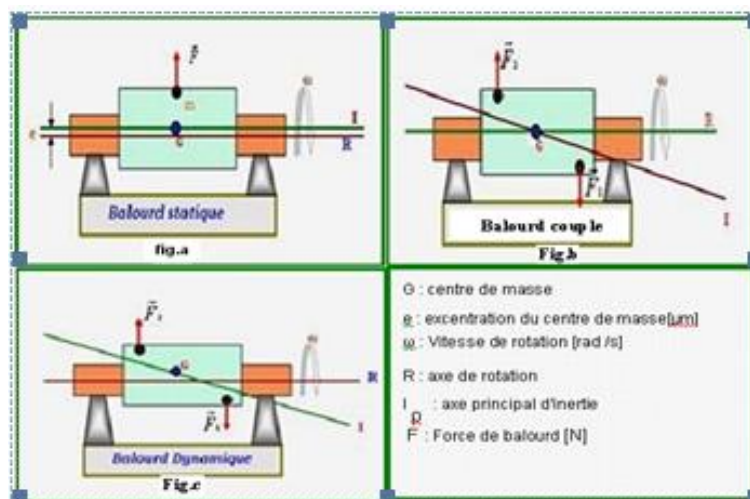


Figure 33 : Différents types de balourd.

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

### Erreur d'alignement :

Un désalignement peut se produire lorsqu'un arbre doit éduquer un autre arbre, ce qui se fait fréquemment grâce à l'utilisation d'un accouplement. Il existe deux sortes de désalignements :

- Les axes sont parallèles mais non concentriquement alignés dans le décalage d'axe.
- Un désalignement angulaire se produit lorsque les axes ne sont pas parallèles.

En réalité, les problèmes d'alignement sont une combinaison de désalignement d'axe et de désalignement angulaire. [9]

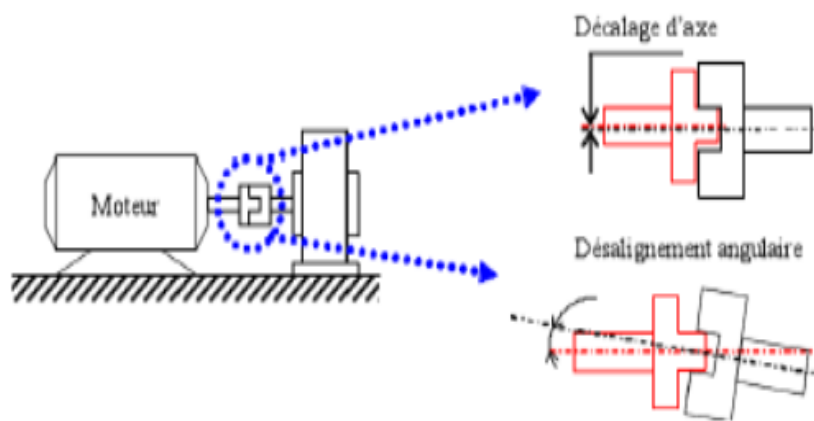


Figure 34 : Image d'un défaut d'alignement.

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

### Défauts de paliers lisses :



Figure 35 : Palier lisse endommagé

L'arbre est soutenu par un revêtement d'huile pressée dans une palette hydrodynamique. Sous l'influence de la rotation, l'axe de l'arbre adopte une posture équilibrée. Cet emplacement est défini, en partie, par la distance entre les axes (de l'arbre et du palier), et, en partie, par l'angle d'attitude (angle formé par la droite qui relie les centres et la direction de la charge).

La position d'équilibre est donnée par :

- Le poids du rotor.
- La charge de la machine.
- La vitesse de rotation.
- La force liée à la pression et des caractéristiques de l'huile. [9]

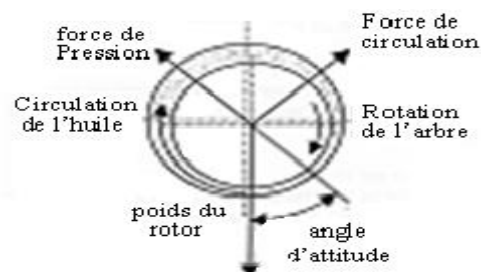


Figure 36 : Les contraintes sur un palier lisse.

## Chapitre IV : La diagnostique par l'analyse vibratoire

### Défauts des roulements :

Les roulements sont une des parties les plus sollicitées des machines et une cause de panne fréquente. Les défauts que l'on peut y rencontrer sont les suivants : écaillage, grippage, usure, corrosion (qui entraîne l'écaillage). Le tableau suivant représente les défauts des roulements [9]

| Les causes                        | Les conséquences        |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Défauts de lubrification          | Usure adhésive grippage |
| Chocs et sur charges              | Déformations rupture    |
| Phénomènes de corrosion           | Corrosion de contact    |
| Pénétrations des particules dures | Abrasion                |

Tableau 10 : défauts des roulements

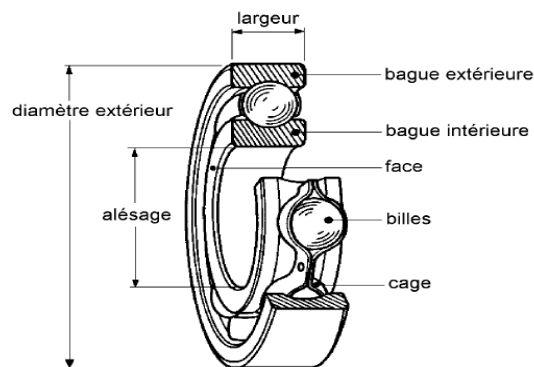


Figure 37:Eléments composant un roulement à billes

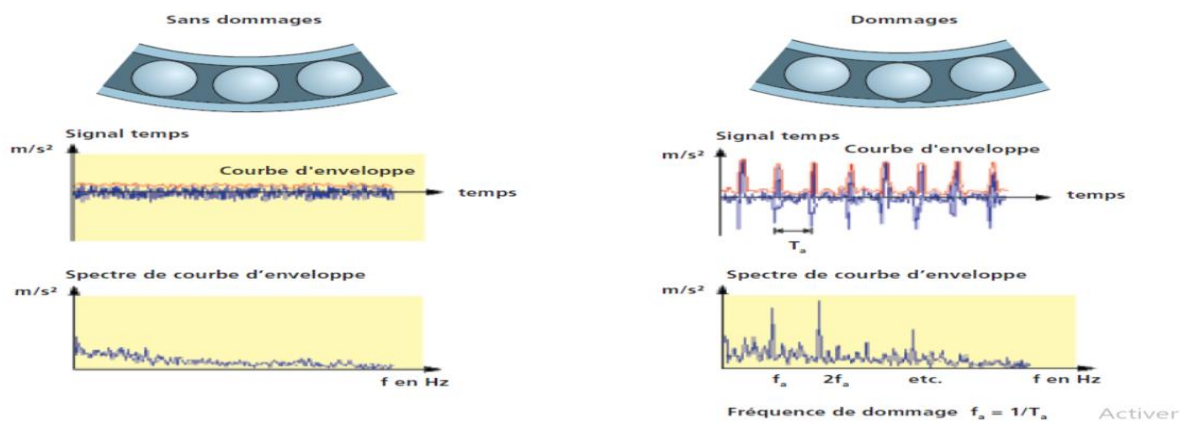


Figure 38: exemple de défaut de roulement

## Chapitre IV: L'analyse vibratoire de la pompe WE à RAS\_DJINET

### L'analyse vibratoire de la pompe WE à RAS\_DJINET :

#### Matériel utilisé

##### OneproDMVP-2C

Est un appareil portable de mesure des vibrations qui comprend tous les outils nécessaires pour surveiller et diagnostiquer les machines tournantes. De par sa modularité, vous pouvez adapter ses fonctions aux besoins de votre application : Collecteur de données, analyseur, enregistreur, équilibreur, analyse de commande Chaque module peut être utilisé avec une (01) ou deux (2) voies de mesure. [1]



Figure 39 : Image de l'appareil Oneprod.

##### Caractéristiques techniques

- **Marque** : Oneprod
- **Type** : MVP-2C
- **Mémoire** : 128 MO
- **Modes de fonctionnement** :



## Chapitre IV: L'analyse vibratoire de la pompe WE à RAS\_DJINET

Mode Analyseur de spectre \_ Fonction enregistreur (Temps) \_ Mode collecteur de données.

- **Communication** : RS232 et USB.
- **Température de fonctionnement** : -10°C à 50°C.
- **Humidité** : 90 % sans condensation. [1]

### Capteur des vibrations utilisé :

C'est un accéléromètre AS-065 de type piézoélectrique raccordé au collecteur analyseur One proD MVP-2C On utilise ce capteur pour mesurer l'accélération vibratoire.



Figure 40: Accéléromètre AS-065.

#### Caractéristiques techniques :

- **Marque** : One PROD.
- **Type** : AS-065.
- **Principe** : Piézoélectrique avec amplificateur de charge intégré.
- **Mode de fixation** : Vissage, Aimant ou Point de touche.
- **Facteur de transmission** : 100 mV/g ou 10.2mV/m/s<sup>2</sup>.
- **Plage de fréquence** : 3... 10 000 Hz (± 0.5 dB) - 1...15 000 Hz (± 3 dB).
- **Fréquence propre** : 35 kHz.
- **Plage de température** : -50 ... +120 °C.

Logiciel Oneprod XPR-300 :

## Chapitre IV: L'analyse vibratoire de la pompe WE à RAS\_DJINET

Le Oneprod XPR-300 est un système d'information de maintenance multi-technologies qui permet l'acquisition de mesures vibratoires, process, huile et thermographiques afin d'identifier ou de prédire l'apparition de problèmes sur une large gamme de machines industrielles tournantes. Les objectifs de ces logiciels sont de :

- éviter les pannes d'équipement non planifiées ;
- planifier les arrêts.
- Réduire les coûts d'entretien et de réparation

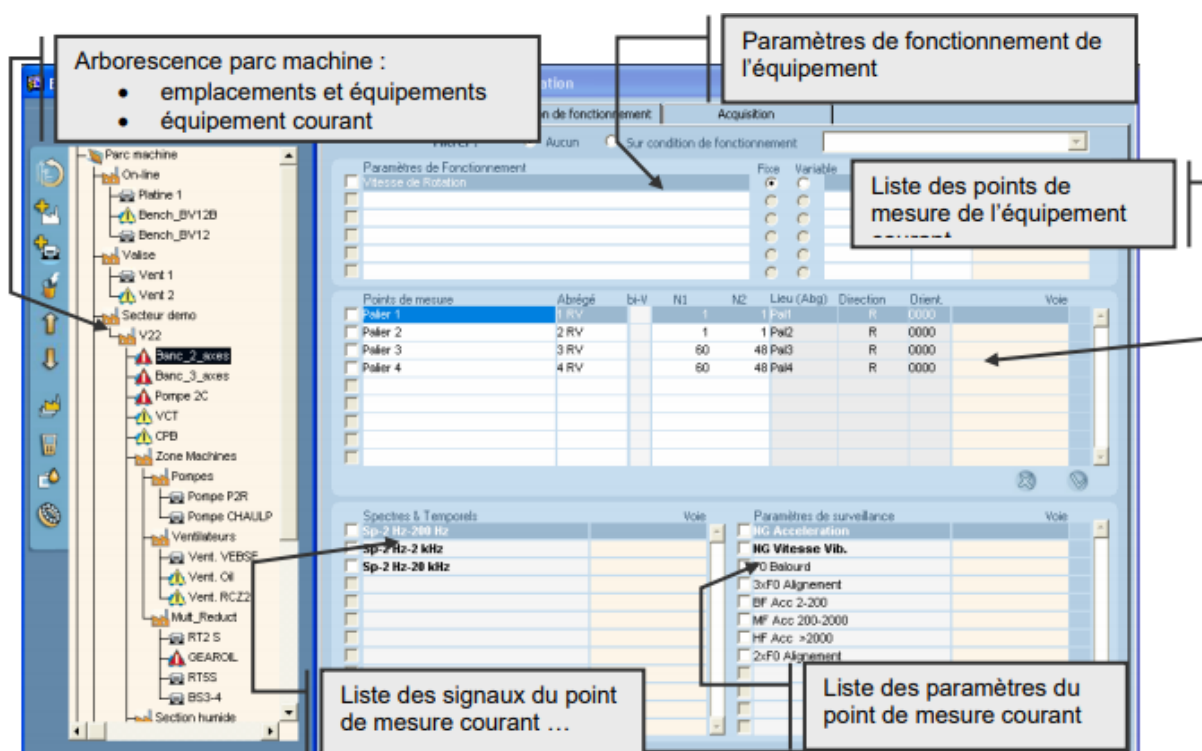


Figure 41 : Image de l'interface du programme.

Le Oneprod XPR-300 est un système de maintenance de pointe. Il dispose d'un module d'autodiagnostic basé sur la création d'alarmes (OK, ALARME, DANGER) après la création de plusieurs paramètres. Lors de chaque contrôle, chaque paramètre renseignant sur l'état de santé de l'équipement donne un diagnostic global de l'équipement, qui aide l'opérateur dans son diagnostic final. [1]

L'état d'alarme courant de chaque équipement est affiché dans l'arborescence à l'aide du code suivant :

## Chapitre IV: L'analyse vibratoire de la pompe WE à RAS\_DJINET

-  **DANGER** L'équipement contient au moins un paramètre en DANGER.
-  **ALARME** L'équipement contient au moins un paramètre en ALARME.
-  **PRÉ-ALARME** L'équipement contient au moins un paramètre en PRÉ-ALARME.
-  **OK** Tous les paramètres de l'équipement sont OK.
-  **INCONNUE** Aucun paramètre n'a été mesuré ou calculé

Cet état d'alerte est constamment mis à jour en fonction des mesures les plus récentes de l'équipement.

Le OneproD XPR-300 est conçu pour permettre la mise en place de modes de surveillance Off line (périodique) et On line (continu) de paramètres d'état ou de comportement mécaniques, mesurés à l'aide des techniques de contrôle non destructif les plus courantes actuellement utilisées dans l'industrie et la maintenance : vibrations, huiles, essais, températures, etc., sur un parc industriel de machines tournantes. [1]

### Emplacement de point de mesure :

L'importance d'installer un accéléromètre sur les machines ne peut être surestimée. Chaque mesure doit être faite en des points précis et cohérents, car un phénomène mécanique peut produire des images vibratoires sensiblement différentes selon les sites de mesure. Deux échelles ont été utilisées et les mesures ont été prises dans deux directions (horizontale et axiale). [1]

### Les positions de capteur dans le système « OFF LINE »

Pour le système « OFF LINE » Les mesures de vibration sont effectuées sur chaque point dans les trois directions axiale, horizontale et verticale.

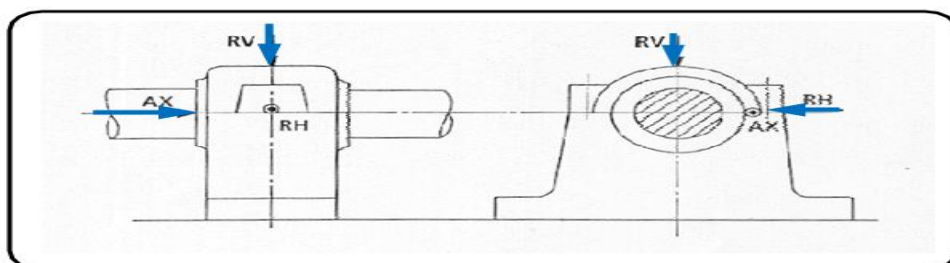


Figure 42 : Les positions des capteurs.

AX→ axiales

RH→ horizontale

RV→ verticales



## Chapitre IV: L'analyse vibratoire de la pompe WE à RAS\_DJINET

### Seuil de jugement :

- **Groupe 1** : Eléments de moteurs ou de machines qui, dans ses conditions normales de fonctionnement, sont intimement solidaires de l'ensemble d'une machine. (Les moteurs électriques produits en série, de puissance allant jusqu'à 15 kW, sont des exemples typiques de machines de ce groupe)
- **Groupe 2** : machines de taille moyenne, (en particulier moteurs électriques de puissance comprise entre 15 et 75 kW) sans fondations spéciales. Moteurs montés de façon rigide ou machines (puissances jusqu'à 300 kW) sur fondations spéciales.
- **Groupe 3** : Moteurs de grandes dimensions et autres grosses machines ayant leurs masses tournantes montées sur des fondations rigides et lourdes, relativement rigides dans le sens de la vibration.
- **Groupe 4** : Moteurs de grandes dimensions et autres grosses machines ayant leurs masses tournantes montées sur des fondations relativement souples dans le sens de la vibration (exemple : groupe turbogénérateurs, particulièrement ceux qui sont installés sur des fondations légères). [1]

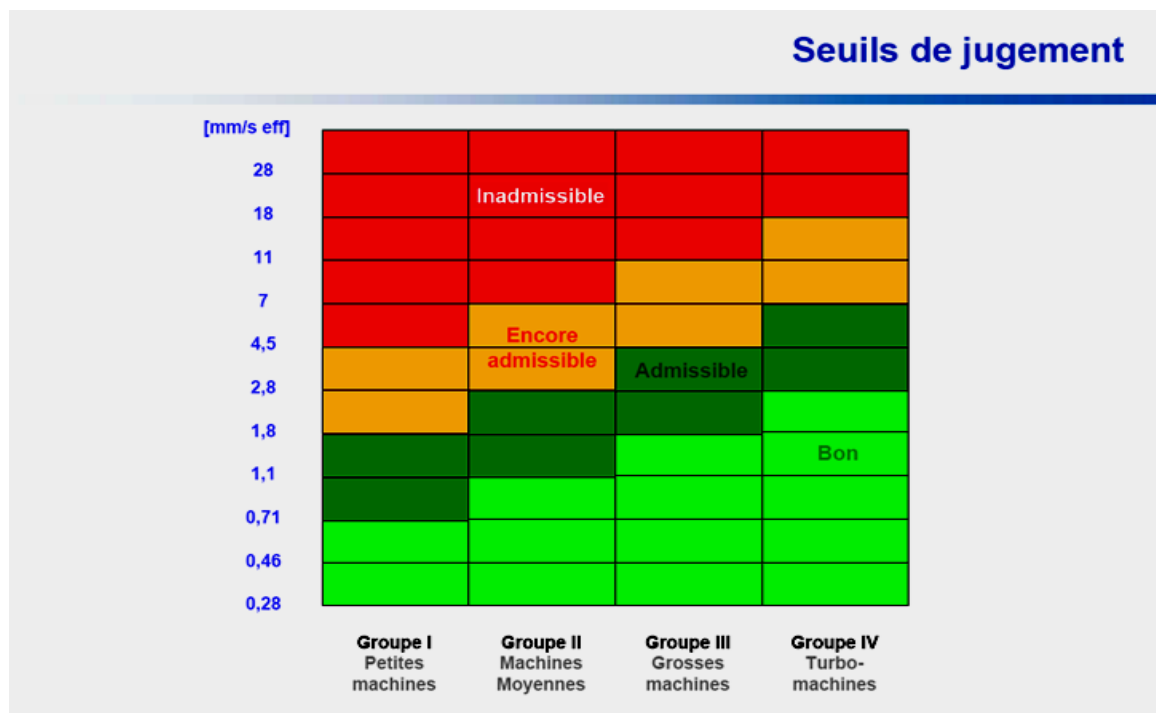


Figure 43 : Seuils de jugement

## Chapitre IV: L'analyse vibratoire de la pompe WE à RAS\_DJINET

### Tableau de fréquences caractéristiques des phénomènes vibratoire :

- Le tableau ci-dessous représente les différents défauts et leurs identifications

| CAUSE                                                                | FREQUENCE F                                 | NOTES                                                                               | SOLUTION                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Balourd d'un rotor</b>                                            | F rotor                                     | Cause fréquente de vibration sur machines                                           | Equilibrer                                                                          |
| <b>Montage défectueux (mauvais alignement, accouplement, coincé,</b> | 2F rotor<br>3F rotor<br>4F rotor            | Les mesures axiales doivent être effectuées sur le palier-butée de la ligne d'arbre | Aligner les parties tournantes, contrôler au comparateur le voile et l'excentration |
| <b>Roulement Défectueux</b>                                          | F bag int<br>F bag ext<br>F bille<br>F cage | Amplitude maximale à proximité du roulement défectueux                              | Graisser, changer le roulement                                                      |
| <b>Défauts d'engrènement</b>                                         | —                                           | Les fréquences élevées des vibrations les rendent audibles                          | Vérifier la denture des pignons et l'état des arbres                                |
| <b>Défauts électriques ou magnétiques</b>                            | 2F synchrone                                | Ne se manifestent que sous tension                                                  | Elimination très souvent impossible sur le site                                     |

**Tableau 11: Fréquence et caractéristiques des phénomènes vibratoires.**

## **Chapitre IV: L'analyse vibratoire de la pompe WE à RAS\_DJINET**

### **Conclusion**

Nous avons vu quelques systèmes de diagnostic cruciaux dans ce chapitre qui nous aident à comprendre ce qui ne va pas et comment y remédier .Nous avons également découvert que les pompes à eau de mer n'acceptent qu'un seul système de diagnostic (analyse des vibrations)

# ***Chapitre V***

**Partie Expérimentale**

## CHAPITRE V : PARTIE EXPERIMENTALE

### CHAPITRE 5 : PARTIE PRATIQUE

#### But de travail

L'objectif de ce travail est d'effectuer une analyse des vibrations afin de détecter tout problème potentiel dans la pompe d'eau de mer WE de la centrale thermique RAS-DJINET.

Dans notre cas , nous avons une méthode off line non permanente d'acquisition des indicateurs d'état les plus significatifs à l'aide d'un collecteur de données portable .

#### 1 er étape :

Sélectionne sur notre appareil de mesure le type de la machine mesurant (pompe WE 41) :



Figure 44 :Sélection de la machie sur l'appareil

## CHAPITRE V : PARTIE EXPERIMENTALE

### 2eme étape :

Les données des machines (nombre de palier, les points de mesure de chaque palier) sont intégrés précédemment dans l'appareil (les données des équipements mesurant sont charger dans l'appareil a partir de logiciel XPR-300) :

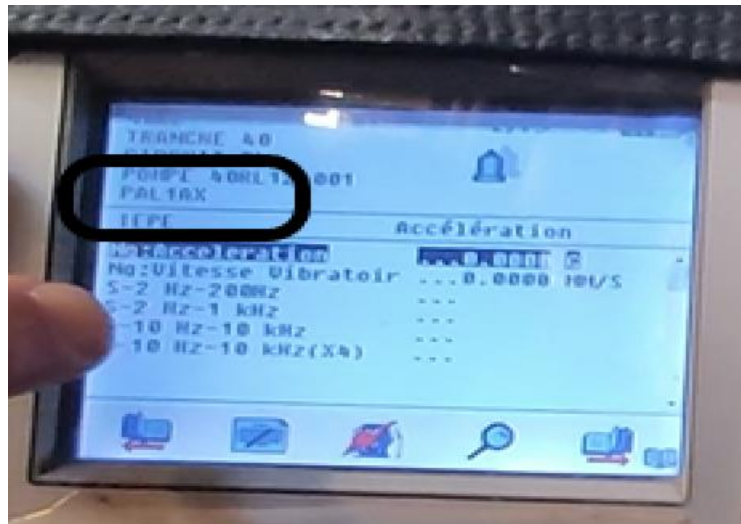


Figure 45 : Exemple d'un point de mesure

### 3eme étape :

#### Acquisition des mesure de vibration :

Dans notre pompes WE on à 4 paliers à mesurer :

1. Le premier palier a 2 positions de mesure (horizontale + verticale). l'angle entre les deux points de mesure est de 90°, pour but de mesurer vibration de moteur (rotor, stator, roulements) :



Figure 46 : Positions de mesures 1er palier



## CHAPITRE V : PARTIE EXPERIMENTALE

2. Le deuxième palier a 3 positions de mesure ( horizontale + verticale ) l'angle entre les deux point de mesure et de  $90^\circ$  , pour but de mesurer les vibration de ( rotor , stator , roulements ) :



Figure 47 : Positions de mesures 2eme palier

## CHAPITRE V : PARTIE EXPERIMENTALE

3. Le troisième palier a 2 position de mesure (horizontale + axiale) l'angle entre les deux point de mesure et de  $90^\circ$ , pour but de mesurer les vibration au niveau de couplement :



Figure 48 : Positions de mesures 3eme palier

4. Le quatrième palier a 2 positions de mesure (horizontale + axiale) l'angle entre les deux points de mesure et de  $90^\circ$ , pour but de mesurer les vibrations centrifugeuse (arbre, palier lisse les roues ...) :



Figure 49 : Positions de mesures 4eme palier



## CHAPITRE V : PARTIE EXPERIMENTALE

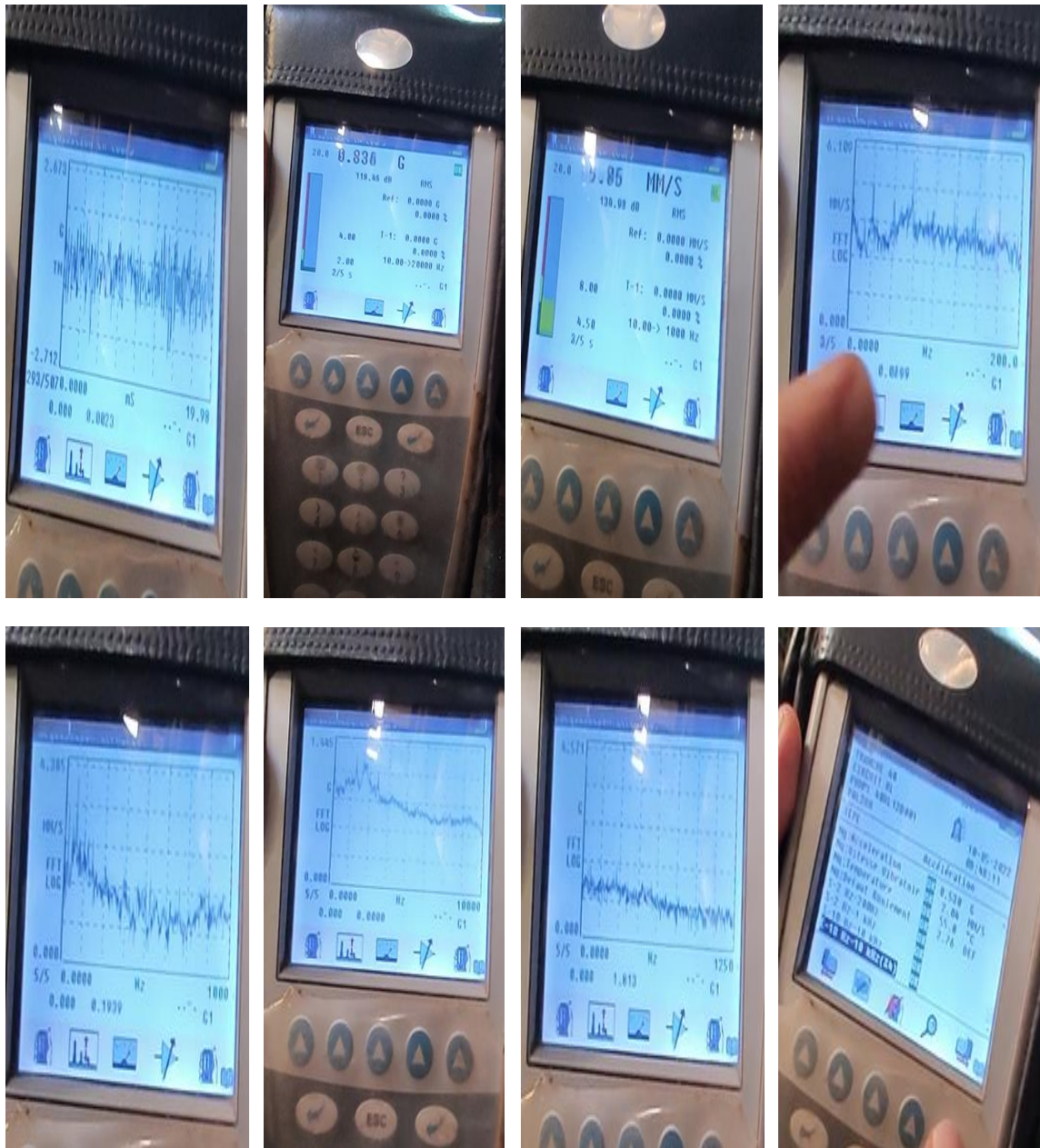


Figure 50 : Exemple d'affichage de l'appareil au cours des mesures ( les pique temporelle , accélération, vitesse de vibration , les piques en différents fréquences , les résultat finale de la mesure)

## CHAPITRE V : PARTIE EXPERIMENTALE

### 4eme étape :

#### Chargement les données collecter dans l'appareil vers le micron ordinateur ( logiciel Oneprod XPR-300 )

- 1) Raccordé l'appareil avec le pc avec un câble VGA :



Figure 51: Raccordement de l'appareil

- 2) Aller sur l'icône de connexion avec le pc dans notre appareil. Ensuite, on vas vers le logiciel et on acquise les données collecté offline.

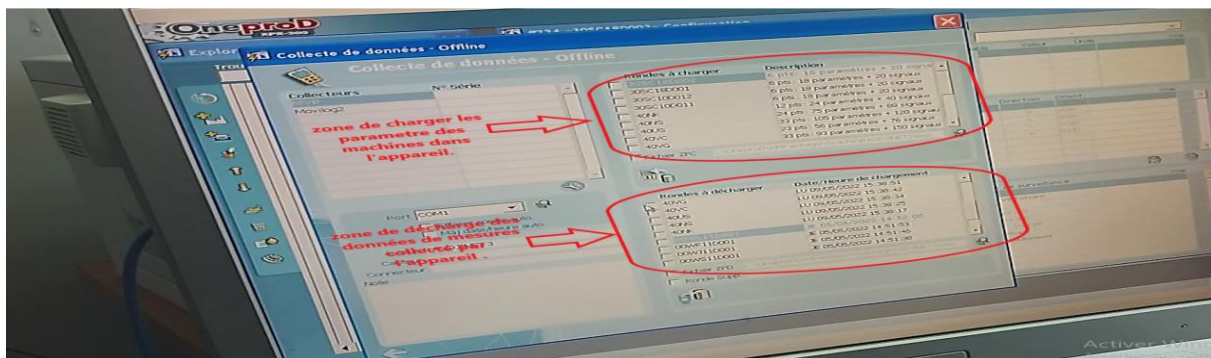
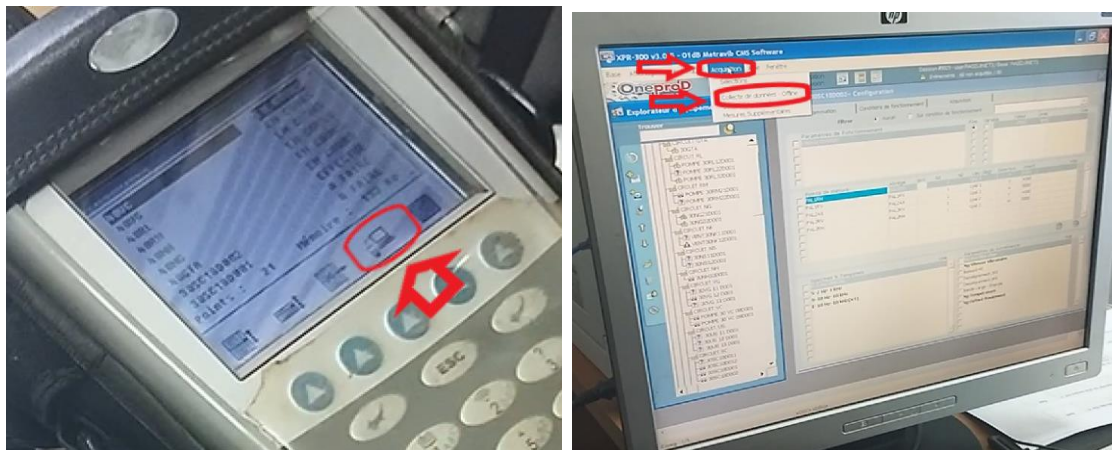


Figure 52 : Les étapes d'acquisition des données collectées dans le logiciel

## CHAPITRE V : PARTIE EXPERIMENTALE

### Affichages et traitement des résultats sur le logiciel

Après l'acquisition des données on va voir les résultats sur notre logiciel :

- 1) Zone de choix d'équipement
- 2) Zone de choix des dates des pris de mesure
- 3) Zone des points de mesure
- 4) Zone d'affichage des résultats de la mesure
- 5) Zone pour afficher les spectres des piques en rapport de fréquence

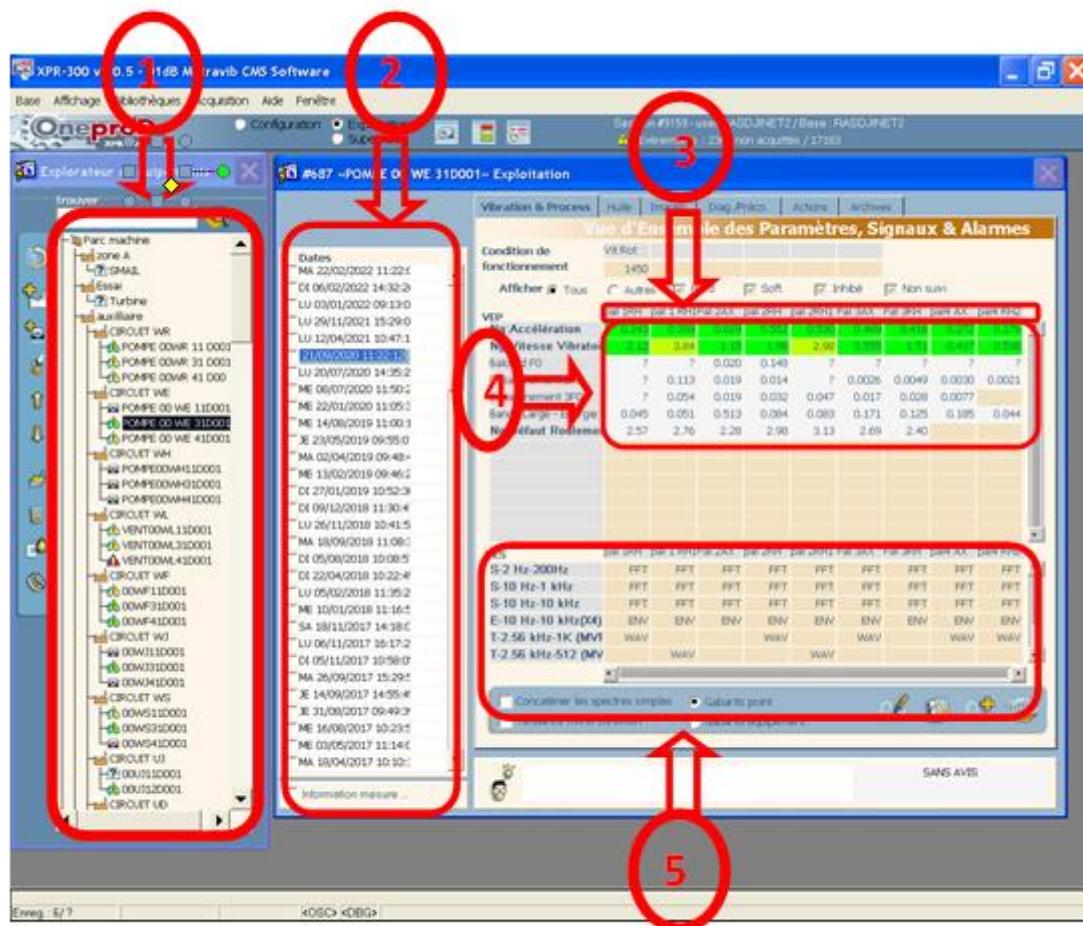


Figure 53: Interface de logiciel



## CHAPITRE V : PARTIE EXPERIMENTALE

### Etude des cas d'état de la pompe WE

#### Cas de bon état :

Date de mesure (22/01/2020)

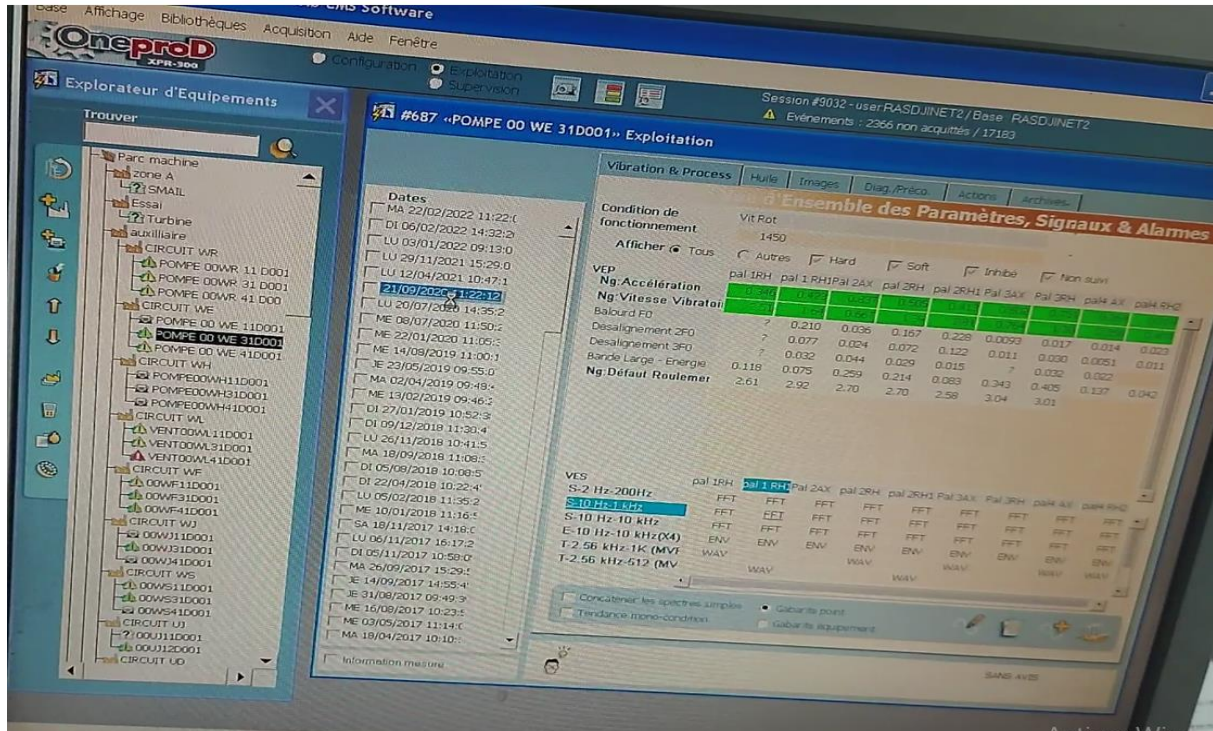


Figure 54: intercase cas de bon état

Dans ce cas les résultats sont affichés dans la zone avec la couleur verte signifiant qu'ils sont dans l'énorme de bon fonctionnement d'après ce qui est indiqué dans le tableau de seuil de jugement. Tous les paramètres de l'équipement est en bon état.

# CHAPITRE V : PARTIE EXPERIMENTALE

## Cas d'alarme :

Date de mesure (21/09/2020)

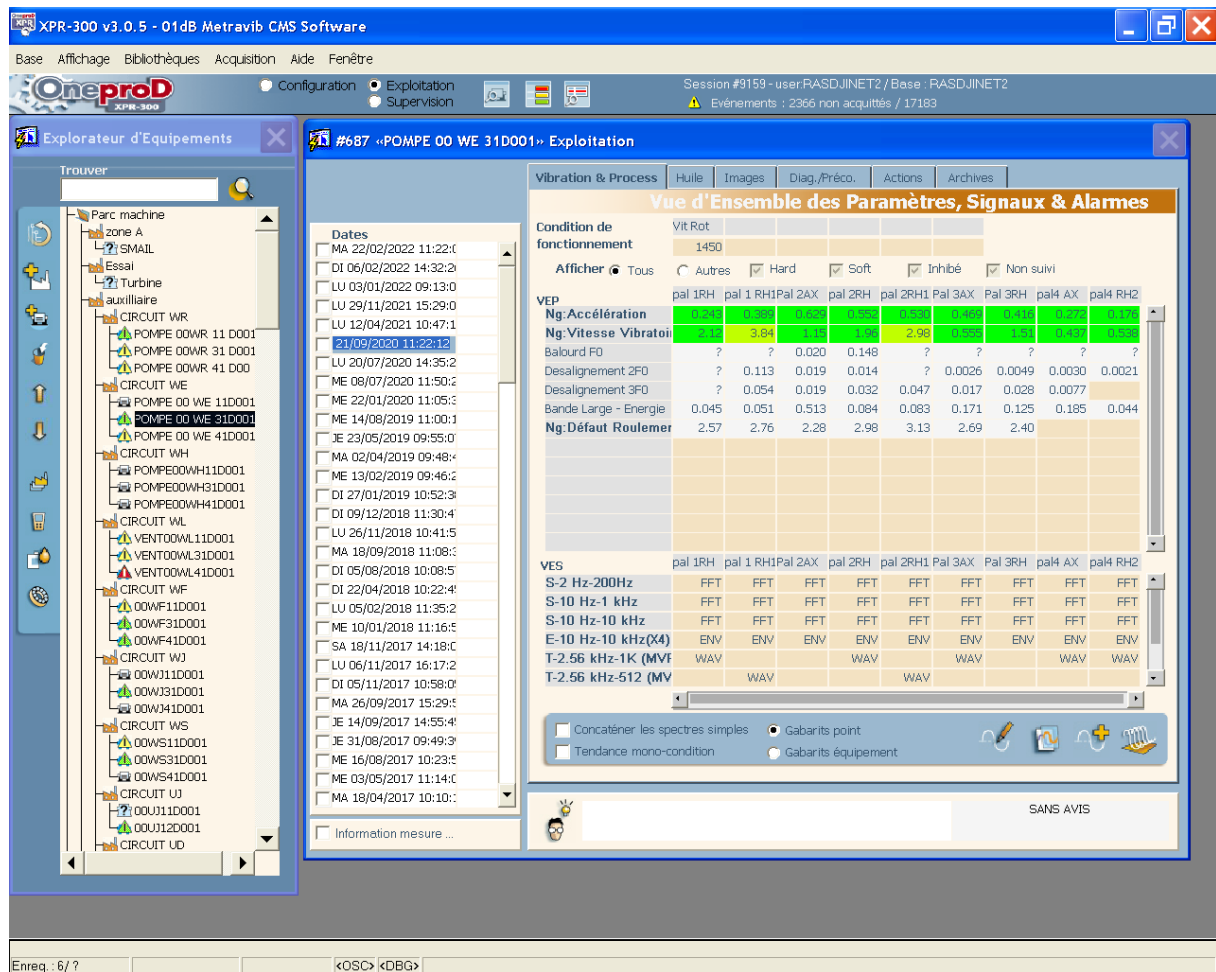
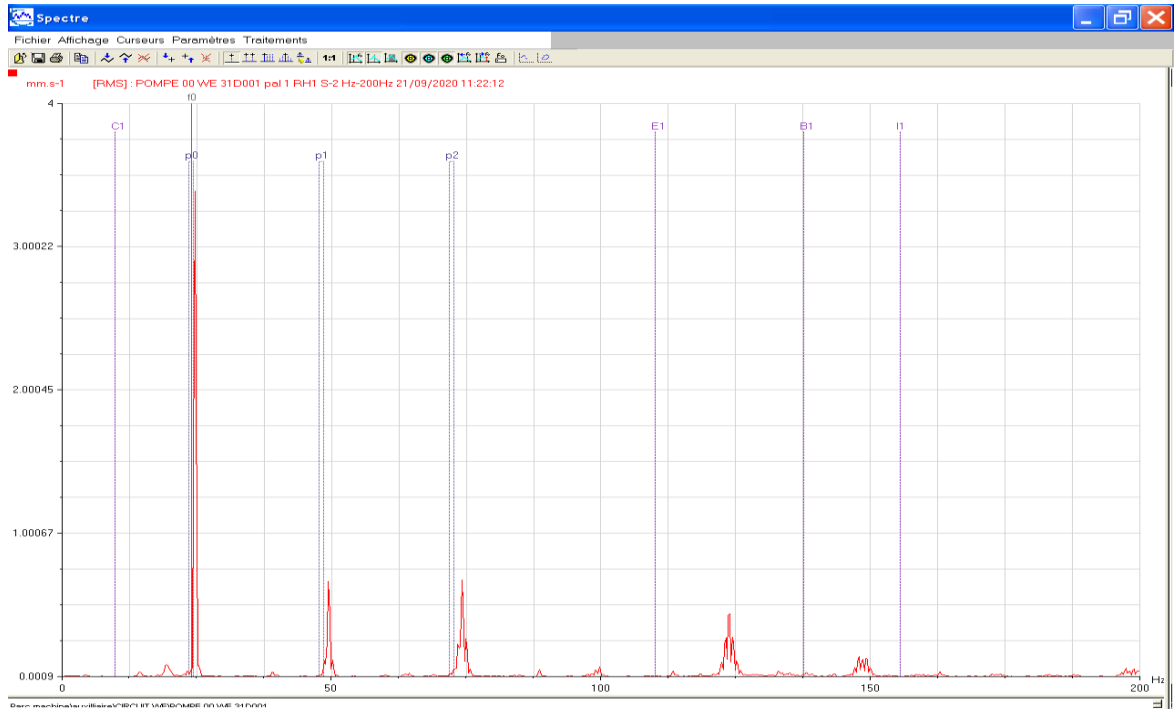


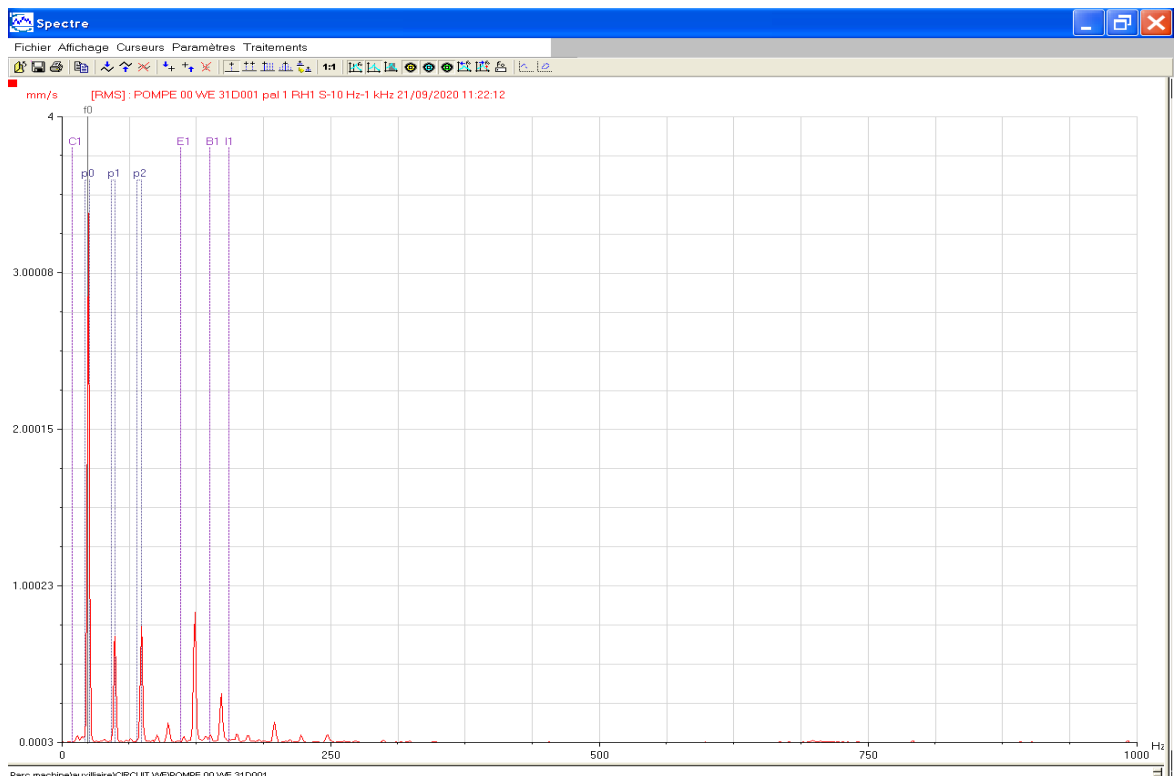
Figure 55: interface cas d'alarme

## CHAPITRE V : PARTIE EXPERIMENTALE

- Spectre affiché pour le palier 1 verticale pour la fréquence entre [2Hz-200Hz]

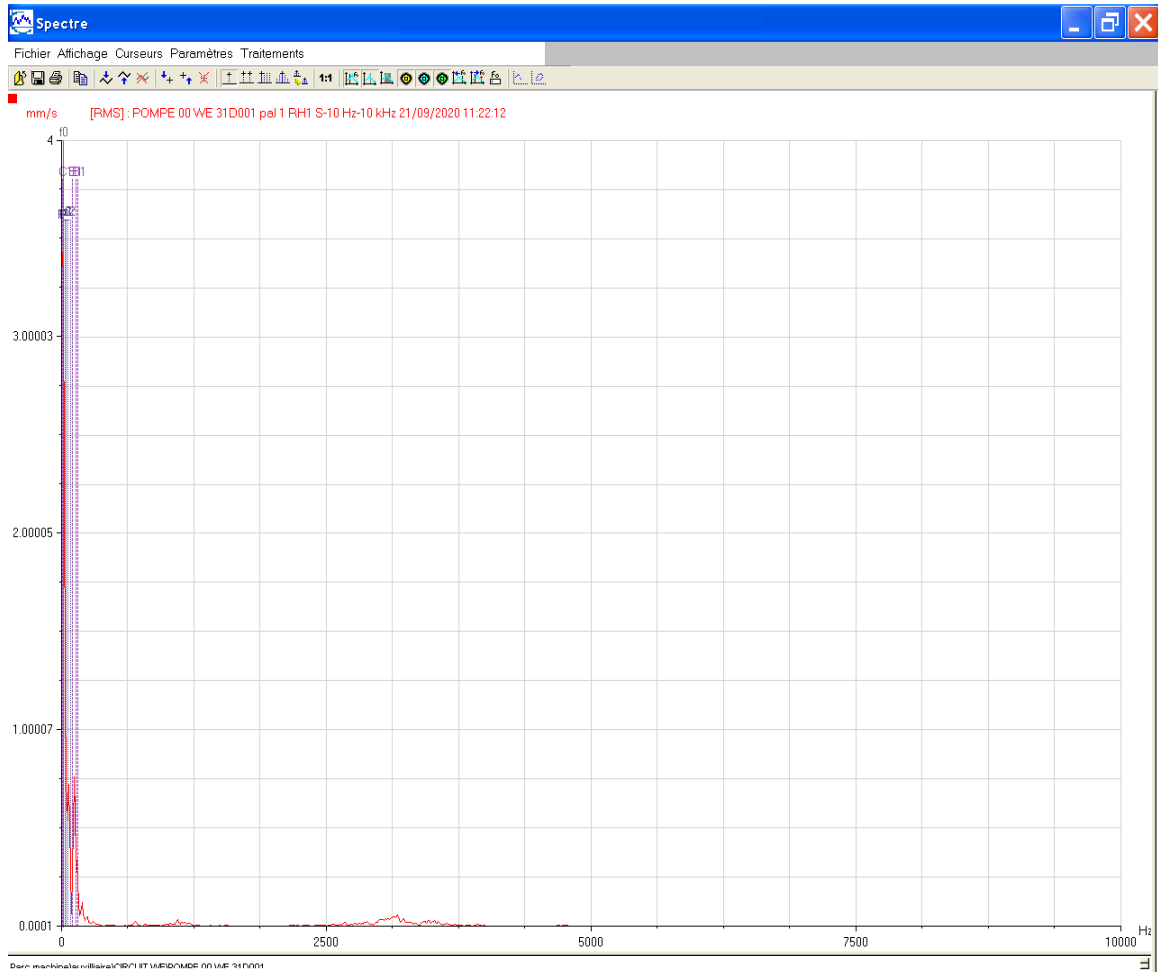


- Spectre affiché pour le palier 1 verticale pour la fréquence entre [10Hz-1000Hz]



## CHAPITRE V : PARTIE EXPERIMENTALE

- Spectre afficher pour le palier 1 verticale pour la fréquence entre [10Hz-10 kHz]



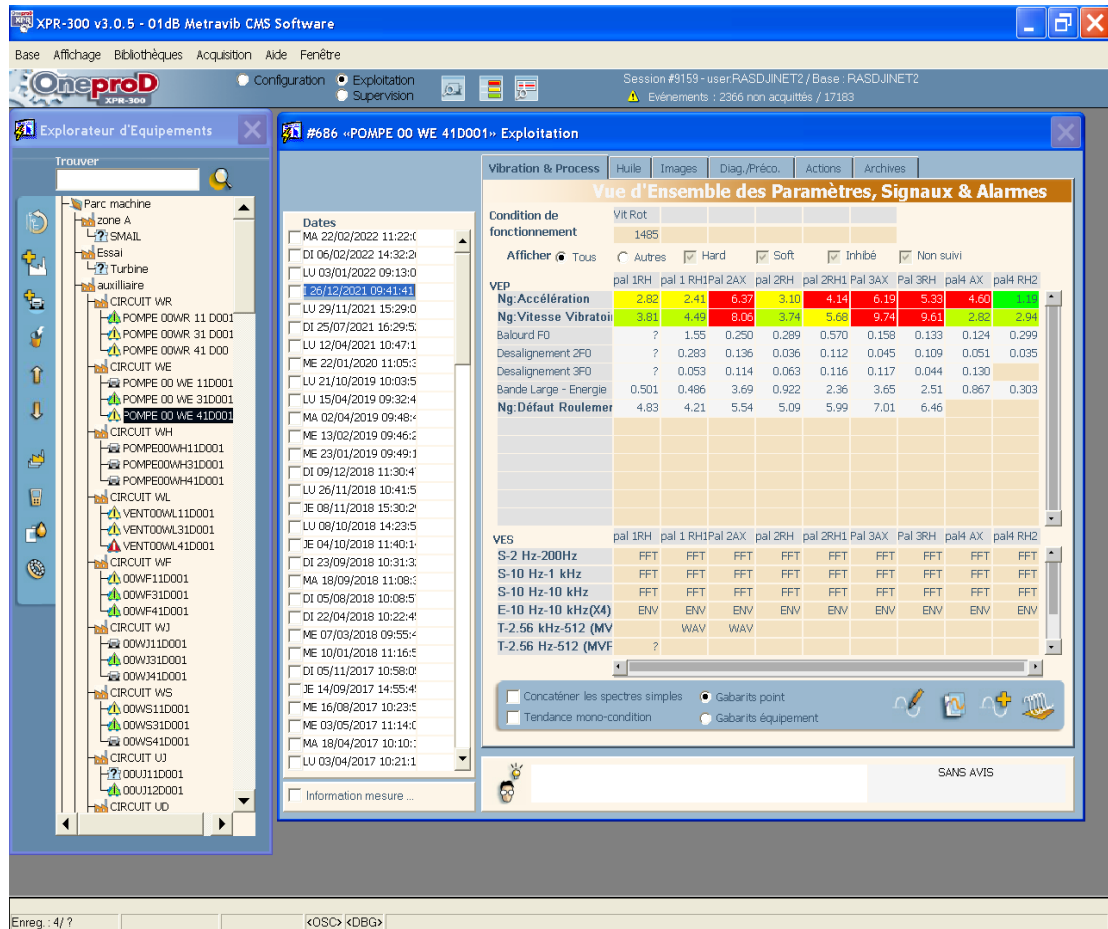
### ➤ REMARQUE :

Les spectres pour le palier 2 verticale sont presque les mêmes, il ne nécessite pas d'intervention immédiate ou l'arrêt de la pompe.

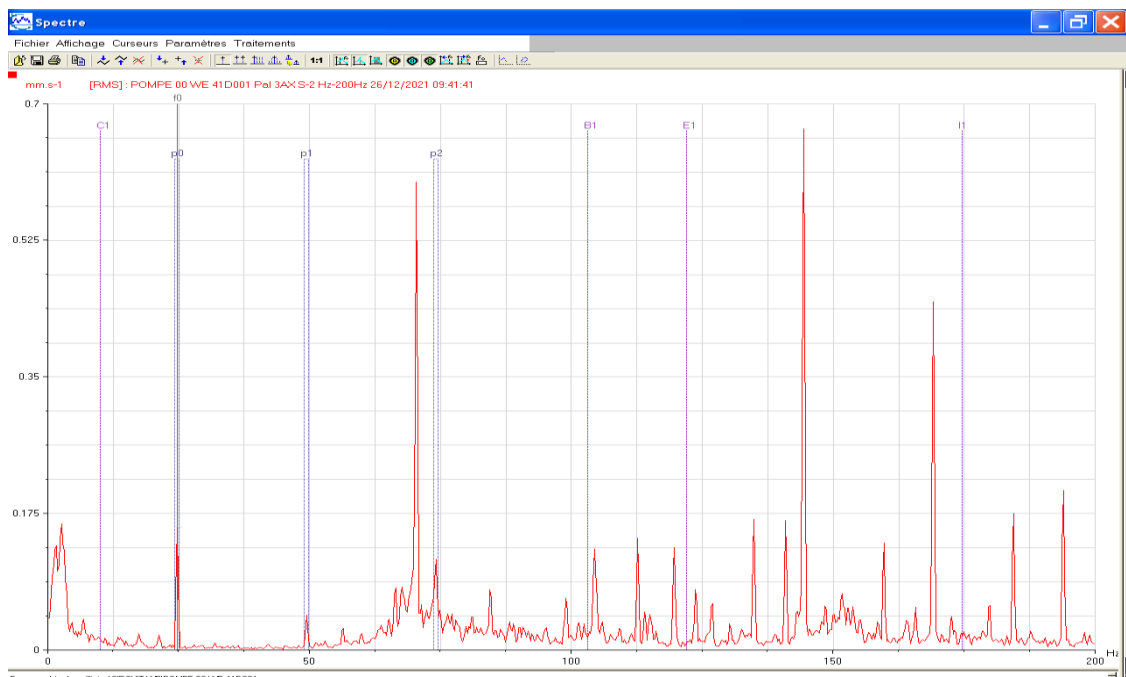
# CHAPITRE V : PARTIE EXPERIMENTALE

## Cas de danger :

Date de mesure (26/12/2021)



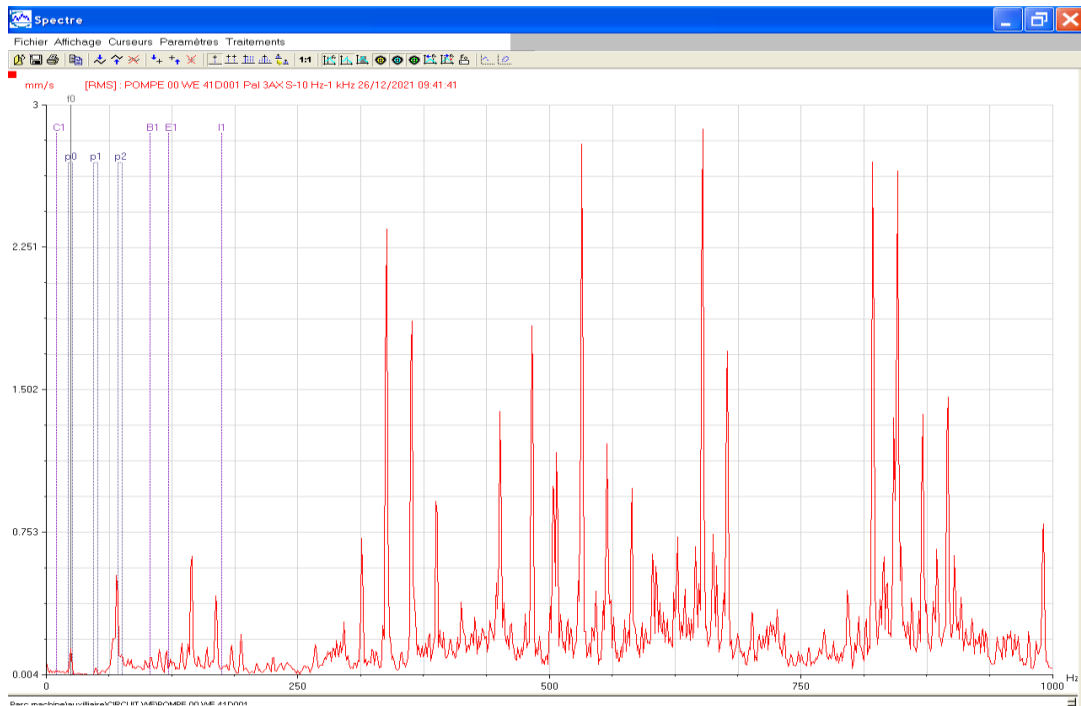
- Spectre afficher pour le palier 3 axiale pour la fréquence entre [2 Hz-200 Hz]



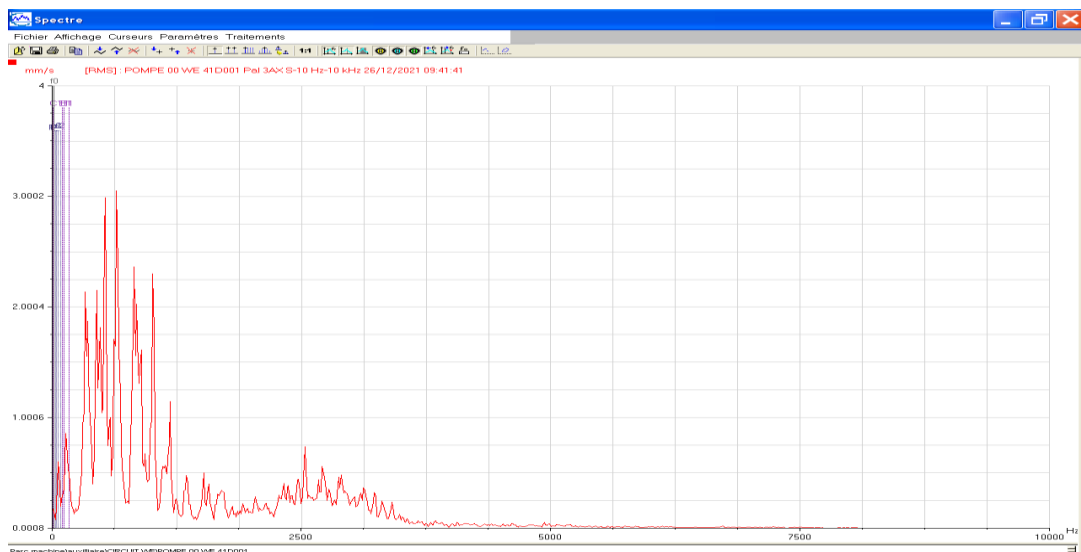


## CHAPITRE V : PARTIE EXPERIMENTALE

- Spectre afficher pour le palier 3 axiale pour la fréquence entre [10 Hz-1000 Hz]



- Spectre afficher pour le palier 3 axiale pour la fréquence entre [10 Hz-10 kHz]



Dans ce cas on a une dégradation de roulement au niveau de cage extérieur qui nécessite un arrêt total de la pompe et une intervention immédiate.

# ***Conclusion Générale***

# Conclusion générale

## Conclusion générale

La formation pratique que nous avons reçue via SONALGAZ nous a permis d'approfondir et d'évaluer nos connaissances théoriques dans le domaine de la pratique.

L'étude nous a permis de comprendre l'importance d'étudier et d'entretenir une pompe à eau de mer, car cet équipement est essentiel au fonctionnement d'une centrale thermique.

Nous avons pu obtenir les informations nécessaires qui nous ont permis de comprendre le fonctionnement et la technologie des différentes composantes de la pompe, ainsi que de déterminer l'origine de la fuite.

D'après le service maintenance de centrale. La cause essentielle de cette usure provient de vibration résiduelle importante due à un mauvais équilibrage. Le respect des spécifications de définitions des pièces et l'équilibrage de l'impulser après changement éventuel devraient diminuer le niveau des vibrations.

Ces recommandations et propositions pourront éventuellement assurer le bon fonctionnement et augmentation de la disponibilité et la fiabilité de la pompe.

Enfin, la mise en place de la maintenance conditionnelle est basée essentiellement sur l'utilisation du matériel et la formation du personnel sur les méthodes de diagnostic et l'interprétation des résultats de mesures.

Ce type de maintenance permet d'augmenter considérablement la disponibilité des équipements de production, leur durée de vie et surtout la sécurité personnelle.

## Liste des équation

### Liste des équations

1. Equation de débit de la pompe
2. Equation de la puissance
3. Equation de déplacement de vibration harmonique
4. Equation de Vibrations périodiques
5. Equation de vibrations apériodiques
6. Equation de valeur efficace
7. Equation de Déplacement crête-crête entre 10 et 1 000 Hz
8. Equation de Facteur de crête entre 1 et 10 KHz
9. Equation de Facteur K entre 1 et 10
10. Equation de charge électrique générée par l'effet piézo-électrique
11. Equation de pression exercée sur la céramique
12. Equation de force exercée sur la céramique
13. Equation d'un balourd

## Bibliographie

[1] Documentation de la centrale de Ras- Djinet.

[2] : livre, DATA ANALYSIS PRODUCTS, maintenance basé sur fiabilité (introduction a l'analyse vibratoire, 1994 Révision en 1997.

[3] : BOULENGER, vers la zéro panne avec la Maintenance Conditionnelle, Afnor, paris 1998.

[4] : Document spécial de formation (Bruel & kjaer vibro), stage de Maintenance Conditionnelle Révision Décembre 2001.

[5] : « pompes volumétrique » ENPSSPM Formation industriel-IFP Training, 25/07/2005.

[6] : BASCAL BIGOT, « cours : les pompes » 2003.

[7] : BERNARD, Technique d'ingénieur (B4320) pompe volumétrique pour liquide, paris.

[8] : Vibration des machines **et** diagnostic de leur état mécanique. Jaque Morel Edition Eyrolles, 1992.

[9] : Document spécial de formation (Brue & Kjaer Vibro). Stage MC GENERALITES Novembre 2002.