

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES**



**Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département Génie Mécanique**

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme MASTER en :

FILIERE : Electromécanique

OPTION : Maintenance Industrielle

THEME

**Diagnostic et amélioration de la maintenabilité
des pompes : de circulation et d'eau de mer**

Réalisé par :

Mr. MOULOUJ Younes

Mr. BOUAR Lamine

Promoteur:

Mr. AKNOUCHE Hamid

Encadreur:

Mr. MEDDAHI Said

Remerciements

Nous voulons exprimer par ces quelques lignes de remerciement notre gratitude envers tous ceux en qui par leur présence .leur soutien. Leur disponibilité et leurs conseils. Nous avons eu courage d'accomplir ce projet.

*Nous commençons par remercier Monsieur **Aknouche Hamid** qui nous a fait l'honneur d'être notre promoteur.*

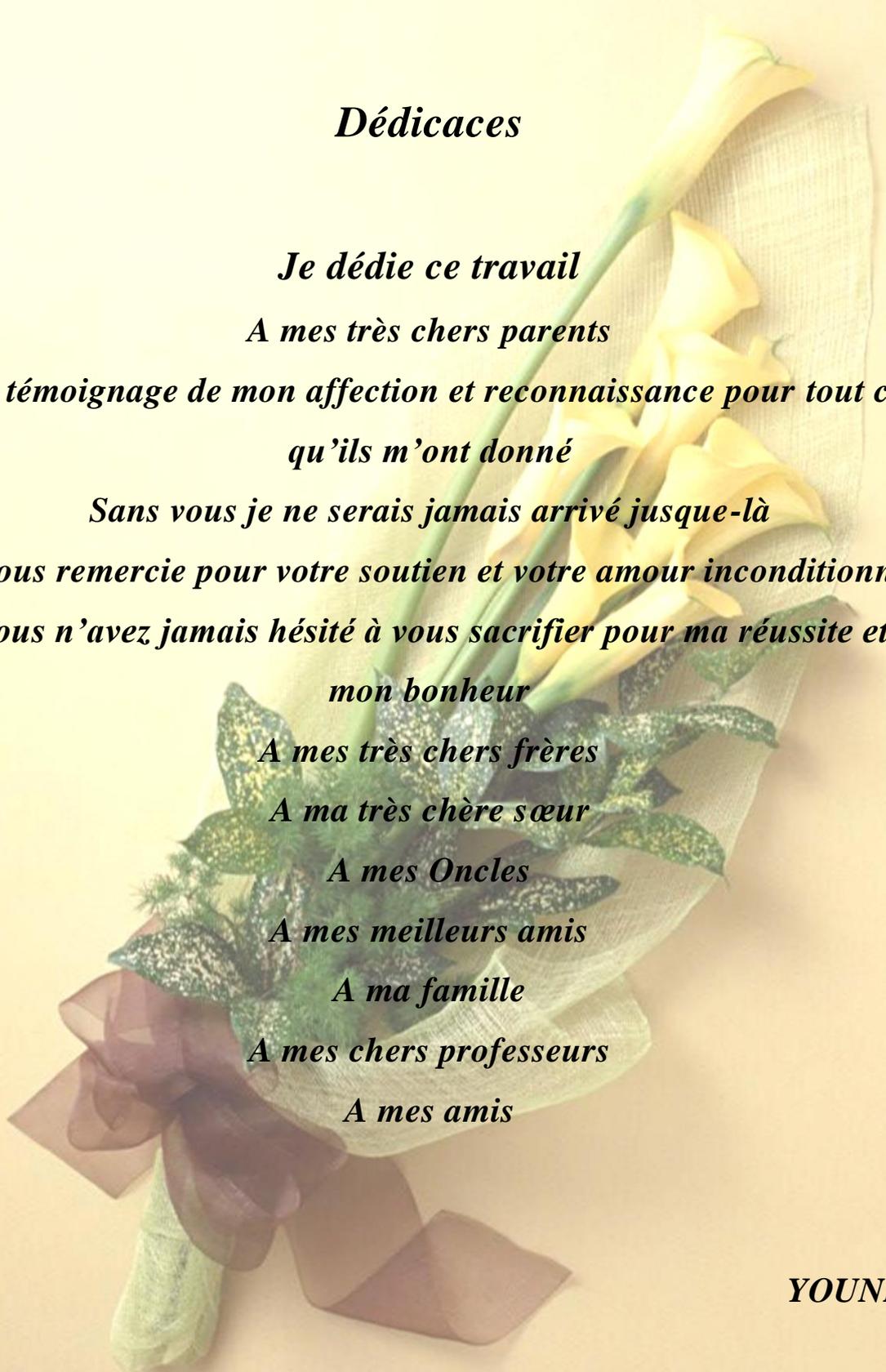
Nous le remercions profondément pour son encouragement continue et aussi d'être toujours là pour nous écouter, nous aider et nous guider a retrouver le bon chemin par sa sagesse et ses précieux conseils.

Ainsi que son soutien moral et sa preuve de compréhension, ce qui nous a donné la force et le courage d'accomplir ce projet.

*Nous tenons à remercier tous le département génie mécanique, et plus particulièrement. Le chef de département monsieur **Chelil Ahmed**.*

Nous tenons d'autre part à remercier les respectables membres du jury pour bien vouloir nous accorder de leur temps précieux pour commenter , discuter et juger notre travail .

En fin, nous ne pouvons achever ce mémoire sans exprimer notre gratitude à tous les professeurs de faculté des sciences de l'ingénieur pour leur dévouement et leur assistance tout au long de nos études universitaires



Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes très chers parents

*En témoignage de mon affection et reconnaissance pour tout ce
qu'ils m'ont donné*

Sans vous je ne serais jamais arrivé jusque-là

Je vous remercie pour votre soutien et votre amour inconditionnel

*Vous n'avez jamais hésité à vous sacrifier pour ma réussite et
mon bonheur*

A mes très chers frères

A ma très chère sœur

A mes Oncles

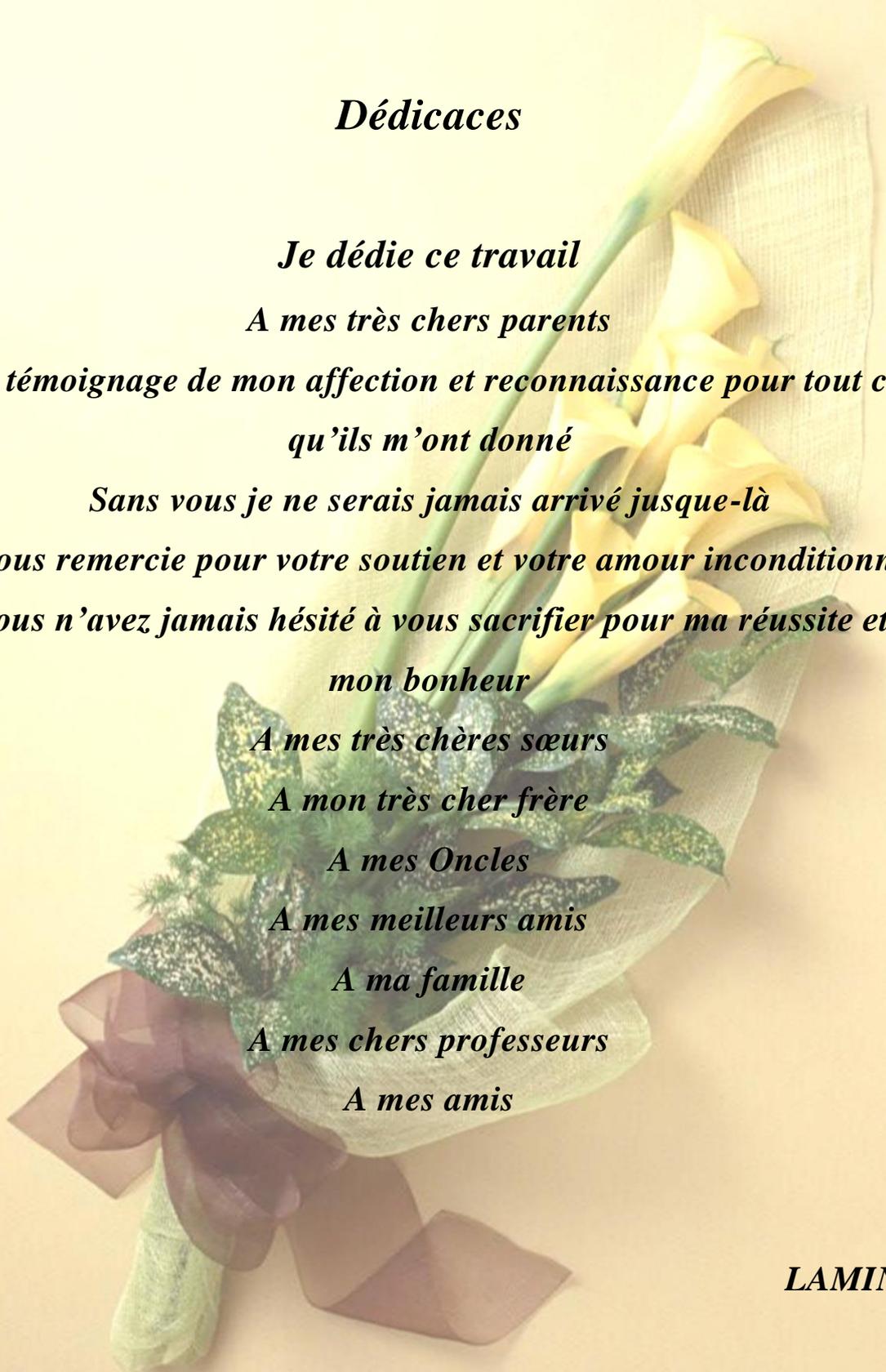
A mes meilleurs amis

A ma famille

A mes chers professeurs

A mes amis

YOUNES



Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes très chers parents

*En témoignage de mon affection et reconnaissance pour tout ce
qu'ils m'ont donné*

Sans vous je ne serais jamais arrivé jusque-là

Je vous remercie pour votre soutien et votre amour inconditionnel

*Vous n'avez jamais hésité à vous sacrifier pour ma réussite et
mon bonheur*

A mes très chères sœurs

A mon très cher frère

A mes Oncles

A mes meilleurs amis

A ma famille

A mes chers professeurs

A mes amis

LAMINE

Résumé

Résumé

Dans le cadre d'une politique de maintenance préventive efficace une variété de technologie a donné lieu à la surveillance et le suivi de l'état de santé des machines. Surtout en ce qui concerne les machines critiques. Tel que la pompe d'eau de mer et la pompe de circulation d'eau de mer dans les centrales thermiques.

L'analyse vibratoire est le pilier dans une stratégie de maintenance : la maintenance préventive conditionnelle. En outre la surveillance par analyse vibratoire n'est pas suffisante pour fournir les informations utiles à la mise en œuvre d'un programme de maintenance préventive. Dans ce contexte l'intégration d'autres techniques est nécessaire pour mieux diagnostiquer les équipements et lui assure un niveau requis de fiabilité telle que l'analyse par thermographie infrarouge et les analyses d'huile.

Les mots clés : Diagnostic, Pompes, Analyse vibratoire, Analyse par Thermographie Infrarouge, Analyse d'huile.

ملخص

في إطار سياسة الصيانة الوقائية الفعالة تتدخل مجموعة متنوعة من التكنولوجيا لمراقبة ومتابعة الآلات الصناعية وخاصة فيما يتعلق بالآلات الاستراتيجية منها. مثل مضخة مياه البحر ومضخة دوران مياه البحر في محطات الطاقة الحرارية. المراقبة باستعمال الاهتزازات تعد الدعامة الأساسية في استراتيجية الصيانة: الصيانة الوقائية المشروطة بالإضافة إلى ذلك، لا يعتبر الرصد بتحليل الاهتزاز كافيًا لتوفير معلومات مفيدة لتنفيذ برنامج الصيانة الوقائية. في هذا السياق يعد أمرًا ضروريًا أن نضيف وسائل وتقنيات أخرى لتشخيص أفضل للآلات وضمان المستوى المطلوب من الموثوقية مثل تحاليل التصوير بالإشعاعات تحت الحمراء وتحاليل زيت التشحيم.

الكلمات المفتاحية : التشخيص, المضخات, تحليل الاهتزاز, تحاليل التصوير بالإشعاعات تحت الحمراء, تحاليل زيت التشحيم.

Abstract

A variety of technologies should be used as part of a comprehensive preventive maintenance program. Because mechanical systems or machines (sea water pump and sea water circulation pump) accounts for critical equipment in the thermal power plant Vibration monitoring is generally the key component of most preventive maintenance programs. However, vibration monitoring .cannot provides all of the information required for a successful preventive maintenance program. Therefore, a comprehensive preventive maintenance must include other monitoring and diagnostic techniques; such as analysis by infrared thermography and oil analyses.

Key words: Diagnostic, Pumps, Vibration Analysis, analysis by infrared thermography, oil analyses.

Introduction générale

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

Chapitre I : Présentation de la centrale thermique de Cap-Djinet

Introduction	2
I.2 Historique.....	2
I.3 Implantation de la centrale	2
I.4 Les équipements d'une tranche de la centrale.....	3
I.4.1 Générateur de vapeur	3
I.4.2 La turbine	4
I.4.3 Le condenseur	4
I.4.4 Les pompes.....	5
I.4.4.1 Pompe d'extraction	5
I.4.4.2 Pompe d'alimentation	6
I.4.5 Bâche alimentaire	7
I.4.6 Réchauffeurs.....	8
I.5 Les différents circuits auxiliaires de la centrale.....	8
I.6 Principe de fonctionnement.....	9
I.7 Conclusion.....	12

Chapitre II : Généralités sur les pompes

Introduction	13
II.2 La classification des pompes.....	13
II.2.1 Les pompes volumétriques.....	14
II.2.1.1 Pompes volumétriques rotative	14
II.2.1.2 Pompes volumétriques alternatives.....	14
II.2.2 Les turbopompes	14
II.2.2.1 La classification des turbopompes	15
II.2.2.2 La classification des turbopompes par vitesse spécifique.....	16
II.2.2.3 Les composants des turbopompes	16
II.2.2.4 Les caractéristiques des turbopompes	17
II.3 La pompe de circulation d'eau de mer VC	18
II.3.1 Caractéristiques de la pompe de circulation d'eau de mer.....	18
II.3.2 Les composants principaux de la pompe.....	19
II.3.3 Le système de lubrification	20
II.3.3.1 Lubrification de palier supérieur de guide-boute à huile	20
II.3.3.2 Lubrification de palier de guide inférieur à l'eau de mer.....	20
II.3.4 La vanne papillon	20
II.4 La pompe d'eau de mer WE.....	22
II.4.1 Caractéristiques techniques	22
II.4.2 Principe de fonctionnement.....	23
II.4.3 Les composants de la pompe.....	23
II.4.4 Le système de lubrification	24
II.5 Conclusion.....	26

Chapitre III : Maintenance et les outils de la maintenance préventive conditionnelle

Introduction	27
III.2 Maintenance	27
III.2.1 Définition	27
III.2.2 Objectifs de la maintenance	27
III.3 Les différents types de la maintenance	27
III.4 Principe de la maintenance conditionnelle.....	29

Sommaire

III.5 Les outils de maintenance conditionnelle	30
III.5.1 Analyse vibratoire	30
III.5.1.1 Introduction	30
III.5.1.2 Définition d'une vibration	30
III.5.1.3 Caractéristiques d'une vibration.....	30
III.5.1.4 Type de signaux vibratoire	31
III.5.1.5 Nature des vibrations selon les variations de l'amplitude.....	33
III.5.1.6 Principales activités de l'analyse vibratoire	33
III.5.1.7 Méthodes de mesure	34
III.5.2 Analyse par thermographie et infrarouge.....	39
III.5.2.1 Introduction	39
III.5.2.2 Définition	39
III.5.2.3 Principe.....	39
III.5.2.4 Les appareils utilisés	40
III.5.2.5 Les systèmes de mesure des caméras infrarouges.....	41
III.5.2.6 L'application de la thermographie infrarouge.....	42
III.5.3 Analyse de lubrifiant	42
III.5.3.1 Introduction	42
III.5.3.2 La dégradation.....	43
III.5.3.3 Contamination des lubrifiants	43
III.6 La surveillance	45
III.7 Le diagnostic	46
III.8 Conclusion.....	46
Chapitre IV : Partie expérimentale	
Introduction	48
IV.2 Matériels utilisés	48
IV.2.1 OneProd.....	48
IV.2.2 Camera AGEMA 570.....	50
IV.2.3 L'analyseur de contamination CM20	51
IV.3 Etude de cas.....	53
IV.3.1 Pompe d'eau de mer	53
IV.3.1.1 Analyse vibratoire	53
IV.3.2 Pompe de circulation d'eau de mer	60
IV.3.2.1 Analyse vibratoire	60
IV.3.2.2 Thermographie infrarouge.....	60
IV.3.2.3 Analyse d'huile de lubrification.....	62
IV.4 Conclusion.....	63
Conclusion générale	
Conclusion générale	64
Références et bibliographie	
Annexe	

Liste des figures

Liste des figures :

• Chapitre I : Présentation de la centrale thermique de Cap-Djinet	
Figure I. 1 : Générateur de vapeur.....	3
Figure I. 2: Condenseur.....	5
Figure I. 3: Pompe d'extraction.....	6
Figure I. 4 : Pompe d'alimentation.....	7
Figure I. 5 : Bâche alimentaire.....	7
Figure I. 6: Schéma synoptique d'une tranche de production.....	11
• Chapitre II : Généralités sur les pompes	
Figure. II. 1: La classification des pompes.....	15
Figure. II. 2: Pompe centrifuge.....	17
Figure. II. 3 : Pompe hélice.....	17
Figure. II. 4: Pompe hélicocentrifuge.....	18
Figure. II. 5: Schéma de la pompe de circulation d'eau de mer VC.....	23
Figure. II. 6: Schéma de la pompe de circulation d'eau de mer.....	27
• Chapitre III : Maintenance et les outils de la maintenance préventive conditionnelle	
Figure. III. 1: Les types de maintenance [12].....	31
Figure. III. 2: Principe de la maintenance conditionnelle [11].....	32
Figure. III. 3: Signaux vibratoire harmonique.....	34
Figure. III. 4: Signaux vibratoire périodique.....	35
Figure. III. 5 : Signaux vibratoire apériodique.....	35
Figure. III. 6: principe de fonctionnement d'un accéléromètre.....	37
Figure. III. 7: schéma de principe d'un Vélodimetre.....	38
Figure. III. 8: Principe du capteur inductif à courants de Foucault.....	39
Figure. III. 9: Point de mesure.....	40
Figure. III. 10: principe de la caméra infrarouge [19].....	44
Figure. III. 11: La caméra à monodétecteur.....	44
Figure. III. 12: La caméra à plan focal [18].....	45
• Chapitre IV : Partie expérimentale	
Figure. IV. 1 : Accéléromètre ASH201-A.....	52
Figure. IV. 2 : Analyseur- MVP-200.....	53
Figure. IV. 3 : Caméra infrarouge AGEMA 570.....	54

Liste des figures

Figure. IV. 4: L'analyseur de contamination CM20	55
Figure. IV. 5 : Rapport de test.....	56
Figure. IV. 6: Les points de mesure.	57
Figure. IV. 7: Analyse temporelle	58
Figure. IV. 8: Analyse fréquentielle.....	59
Figure. IV. 9: Analyse fréquentielle.....	60
Figure. IV. 10: Analyse temporelle	61
Figure. IV. 11: Analyse fréquentielle.....	62
Figure. IV. 12: Analyse fréquentielle.....	63
Figure. IV. 13: Analyse temporelle	64
Figure. IV. 14: Palier supérieur	65
Figure. IV. 15: Moteur de la pompe.....	65
Figure. IV. 16: Rapport de test.....	66

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

- **Chapitre II : Généralités sur les pompes**

Tableau II. 1: Les caractéristiques de la pompe de circulation d'eau de mer. 20

Tableau II. 2 : Les caractéristiques de la pompe d'eau de mer WE 24

- **Chapitre III : Maintenance et les outils de la maintenance préventive conditionnelle**

Tableau III. 1: Nature des vibrations selon les variations de l'amplitude..... 36

Tableau III. 2: Reconnaissance principales défauts 41

- **Chapitre IV : Partie expérimentale**

Tableau IV. 1 : Mesure globale 57

Tableau IV. 2: Mesure globale 60

Tableau IV. 3 : Mesure globale 61

Tableau IV. 4 : Mesure globale 63

Tableau IV. 5 : Mesure globale 64

Liste des abréviations :

MW : Méga Watt

N_s : La vitesse spécifique.

I_{pc} : Intervention préventive conditionnelle

C_{Ipc} : Cout intervention préventive conditionnelle

C_{ic} : Cout intervention corrective

H_{mT} : Hauteur manométrique totale

H_g : Hauteur géométrique

mCL : La différence de pression en mètres de colonne de liquide

CPM : Cycle par minute

RPM : Rotation par minute

A_c : Amplitude crête

A_{cc} : Amplitude crête à crête

A_{eff} : L'amplitude efficace

FR : Fréquence de rotation.

FE : Fréquence d'engrènement.

FP : Fréquence de passage de la courroie.

ISO : International standaring organisation

AFNOR : Association française de la normalisation

Introduction générale

Introduction générale

La centrale de CAP-DJINET est une centrale thermique à vapeur qui produit de l'énergie électrique à partir de la vapeur d'eau de mer dans un circuit fermé. Chaque tranche de production se compose . La station de pompage assure l'alimentation de la centrale par l'eau de mer, par les pompes de circulation d'eau de mer VC pour alimenter le condenseur, et par les pompes d'eau de mer WE pour alimenter le circuit eau-vapeur.

La maintenance des installations est essentielle à leur sûreté de fonctionnement et à la sécurité des personnes, compte tenu de son coût, la maintenabilité permet de réduire la durée des pannes et leur coût, la fiabilité permet de réduire la fréquence de ces pannes. Ces deux indicateurs de la bonne gestion de la maintenance sont conditionnés par une politique de la maintenance appropriée, qui aura un impact sur la disponibilité des équipements, les couts réduits et la disponibilité des pièces de rechange.

Les activités de maintenance conditionnelle des installations industrielles fait appel à des techniques de diagnostic de plus en plus évoluées. Plusieurs techniques de détection des défaillances sont aujourd'hui à la disposition des ingénieurs de maintenance. Parmi celle-ci, on peut citer l'analyse vibratoire, la thermographie infrarouge, l'analyse d'huile et la détection par ultrason.

Parmi ces techniques on souligne trois qui font l'objet de notre étude qui sont : L'analyse vibratoire, thermographie infrarouge et l'analyse d'huile d'où on essaye d'intégrer ces trois techniques de surveillance sur la pompe d'eau de mer WE et la pompe de circulation d'eau de mer VC pour surveiller et diagnostiquer l'état de ces machine.

Cette étude, se scinde ne quatre chapitre qui sont :

Chapitre I : dans ce chapitre, nous avant présenté la centrale et ses différents équipements, ainsi que le principe de fonctionnement.

Chapitre II : ce chapitre, présente les différents types de pompes et nous avons fait une étude technologie de la pompe d'eau de mer WE et la pompe de circulation VC.

Chapitre III : ce chapitre est dédié à des généralités sur la maintenance et la définition des types de maintenance. Ce chapitre finis par la présentation de quelques outils de la maintenance préventive conditionnelle.

Chapitre IV : on a traité dans chapitre le volet expérimentation, réalisé en appliquant les outils de maintenance préventive conditionnelle l'analyse vibratoire, la thermographie infrarouge et l'analyse d'huile, et on a traité les résultats.

Chapitre I :

Présentation de la centrale thermique de Cap-Djinet

Introduction

La centrale thermoélectrique de CAP-DJINET est une source importante d'énergie électrique en ALGERIE, elle a été construite dans le but de produire cette énergie électrique à partir de la vapeur d'eau dans un circuit fermé.

La centrale de CAP-DJINET se compose de 4 tranches de type thermique-vapeur d'une puissance de 704 MW (176 MW pour chaque tranche) La consommation totale des auxiliaires est environ 32 MW, ce qui fait que la puissance nette fournie au réseau national est de 672 MW [1].

I.2 Historique

Les principaux contrats ont été signés en 1980, les travaux de terrassement ont démarré en Mars 1981, et le début de montage c'est effectué en Mars 1984.

La centrale a été construite par un consortium Austro - Allemand (Siemens - Kraftwerk union AG KWU - SGP) qui avaient la responsabilité des études, de la supervision, du montage et du contrôle de l'ouvrage, ainsi que par l'entreprise Espagnole (Dragados) à laquelle a été confiée la réalisation de la prise d'eau de mer. Des entreprises algériennes ont aussi participé à la réalisation de la centrale, telles que ENCC, ETTERKIB, BATIMETAL, GENISIDER, INERGA, SNLB, PROSIDER, ENATUB, SNIC, GTP, SONATRAM, SOGEP et d'autres.

La mise en service des groupes s'est effectuée comme suit :

- Groupe 10 : couplage sur réseau le 17/06/86.
- Groupe 20 : couplage sur réseau le 17/09/86.
- Groupe 30 : couplage sur réseau le 29/11/86.
- Groupe 40 : couplage sur réseau le 21/02/87 [1].

I.3 Implantation de la centrale

La centrale thermoélectrique de CAP-DJINET est située à l'Est d'Alger dans la wilaya de Boumerdes. Elle occupe une superficie de 35 hectares,

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 REGAIA-ROUIBA.
- La centrale est située au bord de la mer (facilitant l'utilisation de grandes quantités d'eau de refroidissement).

- Condition de sous-sol favorable, ne nécessitent pas de fondations profondes [1].

I.4 Les équipements d'une tranche de la centrale

I.4.1 Générateur de vapeur

La chaudière utilisée est de type à circulation naturelle. Le rôle du générateur de vapeur est de faire passer l'eau d'alimentation de l'état liquide à l'état vapeur surchauffée à haute pression afin d'alimenter la turbine [1].



Figure I. 1 : Générateur de vapeur.

Caractéristiques du générateur de vapeur :

- Capacité de vaporisation : 540 t/h.
- Température de l'eau alimentation : 246°C.
- Pression de service : 160 bars.
- Débit vapeur : 523 t/h.
- Température de sortie de la fumée : 118°C.
- Température dans le foyer : 900°C.

Constitution :

- Chambre de combustion formée par les tubes écrans.
- Un Ballon (réservoir) et un Economiseur.
- (03) Surchauffeurs et (02) resurchauffeurs.
- (03) Désurchauffeurs par injection d'eau pour la régulation T° vapeur.
- (04) Colonnes de descentes.

- (08) Brûleurs de combustion mixte gaz/fuel.
- (02) Ventilateurs de recyclage, ont pour rôle de recycler, en fonction de la charge, une partie des fumées issues de la combustion afin de régler la T° à la sortie du resurchauffeur.
- (02) Ventilateurs de soufflage, ont pour rôle de fournir l'air de combustion nécessaire au générateur de vapeur.
- (02) préchauffeurs d'air à vapeur, servent à l'augmentation de la T° de l'air de combustion avant le réchauffeur rotatif.
- (01) Réchauffeur rotatif d'air de combustion, sert à réchauffer l'air de combustion par récupération de chaleur des fumées.

I.4.2 La turbine

C'est l'élément le plus essentiel dans la centrale, elle transforme l'énergie thermique contenue dans la vapeur provenant de la chaudière en un mouvement de rotation de l'arbre, le travail mécanique obtenu sert à entraîner l'alternateur [1].

Cette turbine est une machine à une ligne d'arbres

Constitution

- Corps HP (Haute Pression)
- Corps MP (Moyenne Pression)
- Corps BP (Basse Pression) séparés

Caractéristiques de la turbine :

- Longueur : 16,125 m.
- Largeur : 13 m.
- Poids : 500.103 kg.
- Vitesse de rotation : 3000 tr/min.
- Puissance : 176 MW (pleine charge).

I.4.3 Le condenseur

Est un échangeur, son fonction principale est d'assurer la condensation de la vapeur d'eau évacué du corps (BP) de la turbine [1].

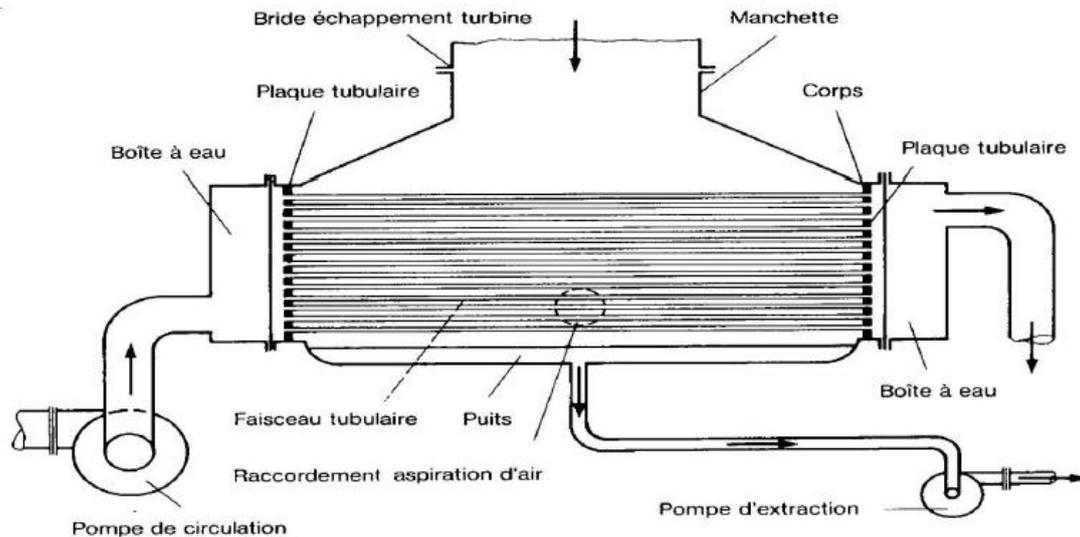


Figure I. 2: Condenseur.

Caractéristiques du condenseur :

- Pression dans le condenseur : 0,07 bar absolue.
- Capacité du puits entrée/sortie : eau de mer 6° à 8°C.
- Vitesse de l'eau dans les tubes : 1,8 m/s.
- Nombre de tubes : 14850.
- Longueur des tubes : 11490 mm
- La température de sortie : 32,9°C.
- La pression de sortie : 0,05 bars.

I.4.4 Les pompes

Dans notre entreprise il existe 03 types de pompes :

- (02) pompes d'extraction
- (03) pompes d'alimentation
- (02) pompes de circulation.

I.4.4.1 Pompe d'extraction

Les pompes d'eau d'extraction a pour rôle d'acheminer le condensat principal à la sortie du condenseur jusqu'à la bache alimentaire [1].

Caractéristiques de pompe d'extraction:

- Type de pompe : Centrifuge à 3 étages.
- Température d'entrée : 32,9°c
- Pression de service (hauteur totale) : 16,8 bars.
- Pression (hauteur à débit nul) : 19,7 bars.
- Température de sortie : 33°c.
- Débit nominale : 414 m³ /h.



Figure I. 3: Pompe d'extraction

I.4.4.2 Pompe d'alimentation

Les pompes alimentaires servent à alimenter le générateur de vapeur (chaudière) avec de l'eau nécessaire en passant par les réchauffeurs haut pression (HP) du poste d'eau et l'économiseur du générateur de vapeur.

Les pompes alimentaires doivent fournir la quantité d'eau nécessaire pour maintenir le niveau de l'eau dans le réservoir de la chaudière entre deux limites bien définies.

Caractéristiques des pompes d'alimentation :

- Type : pompe centrifuge
- Température de l'eau : 151,4°c
- Débit nominale : 261,6 m³/h.
- Pression aspiration : 5,6 bars.
- Pression refoulement : 177 bars. [1]



Figure I. 4 : Pompe d'alimentation.

I.4.5 Bâche alimentaire

La bâche alimentaire est un réservoir cylindrique combiné avec un dégazeur, elle a un rôle de réchauffeur et conditionne la pression à l'aspiration de la pompe d'alimentation.

L'eau se réchauffe jusqu'à la température de saturation correspondant à la pression du soutirage.

Le dégazeur a pour rôle d'éliminer les gaz des eaux. Il contient une chambre de mélange pour les condensats à dégazer, une plaque de dégazeur et un collecteur horizontal, zone de collecte et d'évacuation des incondensables.

Le dégazeur et la bâche alimentaire sont protégés par des soupapes de sécurité installées sur la tuyauterie [1].



Figure I. 5 : Bâche alimentaire.

I.4.6 Réchauffeurs

- Réchauffeurs à Basse Pression :

Il y a trois réchauffeurs à basse pression BP son rôle est de réchauffer le condensât lors de son transfert dans la bêche alimentaire. Ils sont alimentés par les soutirages qui viennent du corps BP de la turbine. Le débit dans les réchauffeurs : 114,415 kg/s.

- Réchauffeurs à Haute Pression :

Il y a deux réchauffeurs à haute pression HP son rôle est de réchauffer l'eau d'alimentation lors de son transfert dans la chaudière. Ils sont alimentés par des soutirages provenant: l'un du corps MP et l'autre du corps HP [1].

I.5 Les différents circuits auxiliaires de la centrale

❖ Station de l'eau de mer

L'exploitation d'une Centrale Thermique de grande puissance demande pour réduire la chaleur résiduelle, d'importantes quantités d'eau de refroidissement. Les besoins de la Centrale de Cap-Djinet s'élèvent à 30 m³/s.

❖ Station de pompage et de filtration d'eau de mer

La position de la station de pompage et de filtration d'eau de mer est basse sur une profondeur de 7 m environ de profondeur dans la mer méditerranée, la prise d'eau est située à 900 mètres de la côte, L'arrivée de l'eau à la station de pompage se fait par trois tubes en béton d'un diamètre de 2,70 m.

❖ Système traitement des eaux

- Station électro-chloration :

La chloration de l'eau de mer permet de protéger le circuit d'eau de mer contre tout encrassement pouvant être causé par les micro-organismes marins. Elle se fait par injection d'hypochlorite de sodium.

L'installation est prévue pour produire (2x150 Kg/h) de chlore avec deux unités. En condition de chloration continue, 104000 m³/h d'eau de circulation sont continuellement chlorés.

- Station de dessalement de l'eau de mer :

La station de dessalement a pour rôle la production d'eau dessalée à partir de l'eau de mer.

Quatre unités de dessalement produisant 500 m³/jour chacune

Type de l'installation : Multi-flash

Trois produits chimiques sont injectés pour le traitement de l'eau qui est les suivants :

Le belgard EVN

La belite (M33)

Le bissulfite de sodium (NA₂SO₃)

- Station de déminéralisation :

Deux chaînes de déminéralisation de 40 m³/h chacune, parachèvent le traitement de l'eau avant son utilisation dans le cycle eau vapeur. Les lits mélangés sont un mélange de résines cationique et anionique

Le stockage d'eau déminéralisée se fait dans deux (02) réservoirs de 1500 m³ chacun.

❖ **Commande et contrôle**

La centrale de Cap-Djinet se caractérise par un degré élevé d'automatisme et de centralisation, on dispose d'une quarantaine de chaînes de régulation par groupe de production qui permet un pilotage automatique du groupe.

❖ **Système de surveillance, d'alarme et d'analyse**

Pour permettre une bonne conduite du groupe de production des paramètres d'exploitation (température, pression, niveau d'eau, vibrations..), des différents équipements du groupe, sont indiqués, enregistrés en permanence en salle de commande et signalés en cas de dépassement de seuil.

❖ **Salle de commande centralisée**

Chaque paire de tranches est contrôlée et réglée depuis la salle de commande. La salle de commande comprend pour chaque tranche

Deux (02) pupitres de conduits.

Deux (02) tableaux verticaux où sont rassemblés les organes de commande et les appareils d'enregistrement de la plus grande partie des paramètres.

Un (01) tableau Synoptique schématisant les auxiliaires électriques [1].

I.6 Principe de fonctionnement

Les pompes d'eau de mer aspirent l'eau de mer et refoulent à la station de dessalement pour obtenir l'eau dessalée par type multi-flash, l'eau sort vers 2 bâches de (2 x 2700 m³).

À la station déminéralisation l'eau passe par un traitement cationique anionique et stocker dans 2 réservoirs de 1500 m³ pour alimenter le cycle eau-vapeur.

Les pompes d'extraction aspirent le condensât à partir de condenseur à une pression de 0,05 bar et une température de 33°C. Elles refoulent l'eau vers les trois réchauffeurs BP.

L'eau est prise à la bêche alimentaire où se passe le dégazage, sa température est de 151°C et sa pression est de 170 bars.

Les pompes alimentaires aspirent l'eau de bêche alimentaire et l'envoyant vers les deux réchauffeurs HP5 et 6 pour augmenter la température.

L'eau d'alimentation sortant des réchauffeurs HP va évacuer dans la chaudière est particulièrement dans l'économiseur, l'eau entre au ballon à l'état liquide et descend vers les écrans de vaporisateur.

Au contact de la flamme des brûleurs l'eau devient vapeur et monte naturellement jusqu'au ballon du fait de la différence de densité de l'eau et de la vapeur.

La vapeur sortie de ballon par les tubes support vers les trois surchauffeurs, à la sortie de surchauffeur la vapeur est acheminé vers le corps HP de la turbine.

La vapeur surchauffée arrive au corps HP où elle se détend jusqu'à 40 bars et sa température diminue jusqu'à 357°C. Elle retourne vers les resurchauffeurs qui se trouvent dans la chaudière où elle se réchauffe pour atteindre les 540°C. Ensuite elle entre dans le corps MP de la turbine et continue jusqu'au corps BP, la vapeur détendue est conduite au condenseur.

L'eau de mer est refoulée par les pompes de circulation qui se trouvent dans la station de pompage, la vapeur condensée est récupérée dans le puits de condenseur et le cycle eau-vapeur.

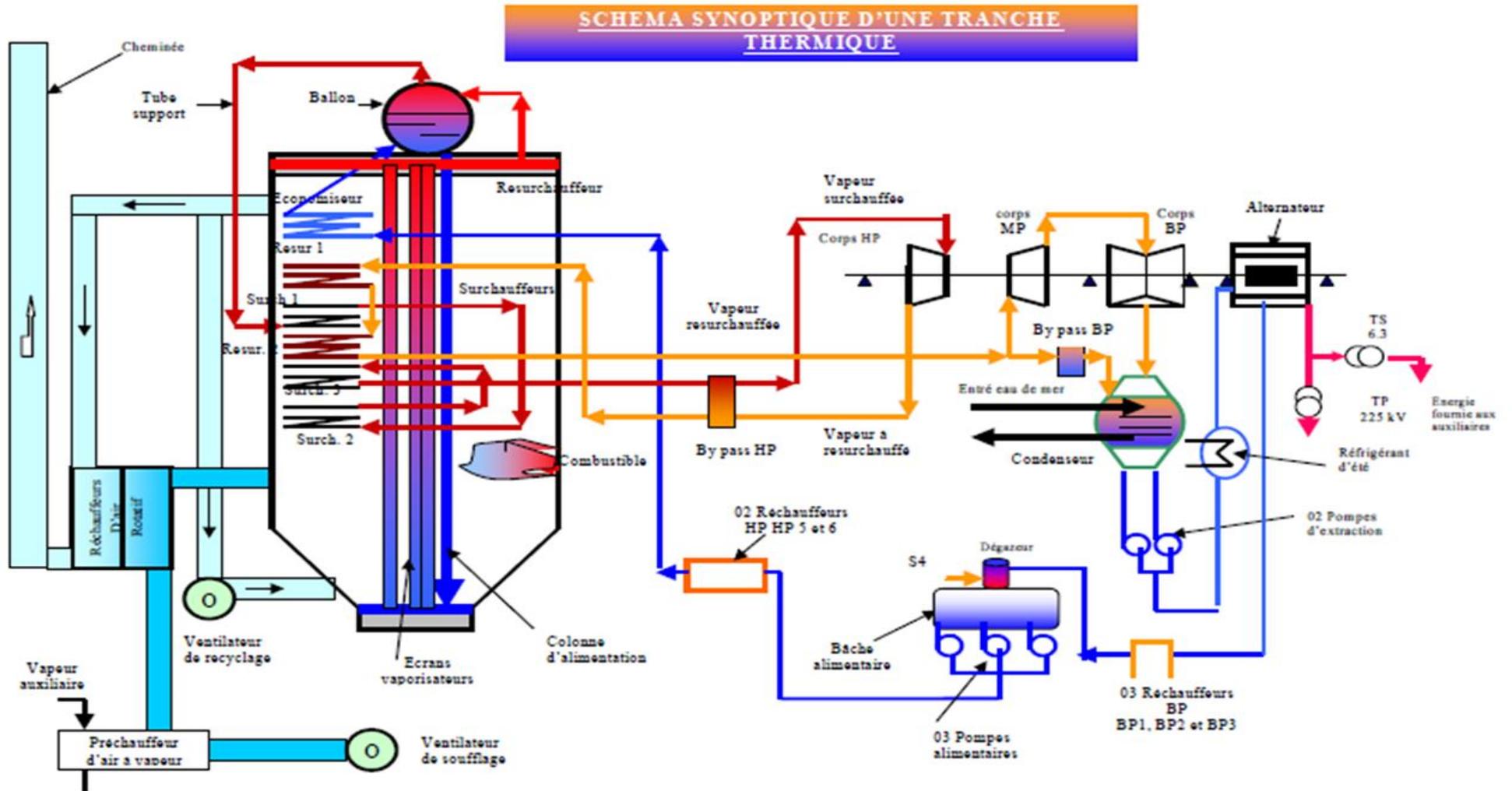


Figure I. 6: Schéma synoptique d'une tranche de production

I.7 Conclusion

Cette étude nous a permis d'apprécier l'environnement industriel et d'enrichir nos connaissances théoriques et pratiques.

Cette étude sur la présentation de la centrale a été d'un apport appréciable quant à la maîtrise du processus de fabrication de l'électricité en utilisant le gaz comme combustible de base.

Dans ce chapitre on a présenté les équipements d'une tranche de production d'électricité et les parties auxiliaires de la centrale thermique de Cap-Djinat.

Le chapitre suivant, est une étude sur les généralités d'un équipement très utilisé dans ce processus, qui sont les pompes.

Chapitre II : Généralités

sur les pompes

Introduction

Les pompes sont des machines qui transfèrent l'énergie d'une source externe à un fluide pour le transporter d'un endroit à un autre.

Le fonctionnement d'une pompe consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration et la région de refoulement au moyen de l'organe actif (piston, roue,...etc.) de la pompe.

La pompe de circulation d'eau de mer VC transporte l'eau de mer vers le condenseur pour assurer le refroidissement de vapeur.

La pompe d'eau de mer WE transporte l'eau de mer vers l'unité de dessalement pour l'alimentation de cycle eau-vapeur.

II.2 La classification des pompes

La classification des pompes est basée sur différents critères, cette classification peut être basée sur l'application, la structure interne et le mécanisme de transfert d'énergie entre les pompes et le fluide. Le moyen le plus commun de classification est le mécanisme de transfert d'énergie.

Les pompes sont divisées en deux grandes catégories :

- Les turbopompes dans lequel le transfert d'énergie est continu.
- Les pompes volumétriques dans lequel le transfert d'énergie est discontinu ou périodique [2].

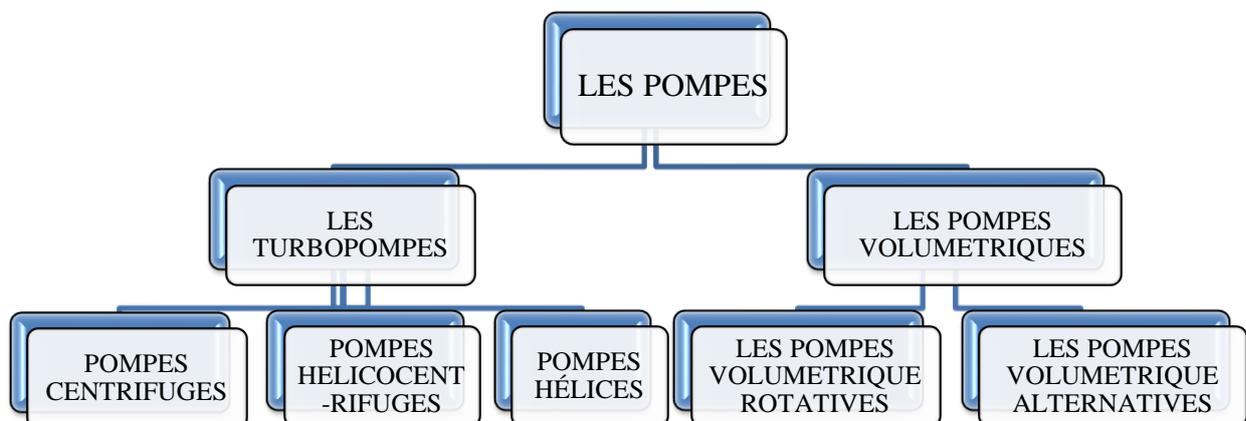


Figure. II. 1: La classification des pompes.

II.2.1 Les pompes volumétriques

Les pompes volumétriques ou à capacité variable se composent d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté. Le déplacement du fluide est dû au transport d'un volume V_0 à chaque rotation.

On distingue deux grands types de pompes volumétriques :

- Les pompes volumétriques alternatives.
- Les pompes volumétriques rotatives [3].

II.2.1.1 Pompes volumétriques rotative

Le fluide se trouve enfermé dans un volume clos, mais mobile, qui va le transférer d'un état de pression 1 à un état de pression 2, avec modification du volume circulant entre le circuit d'aller et celui de retour. Les modes de réalisation sont très variés : pompes à engrenages, pompes à engrenages hélicoïdaux intérieurs, pompes à lobes, pompes péristaltiques, pompes à palettes, pompes à vis hélicoïdales, etc. [4].

II.2.1.2 Pompes volumétriques alternatives

Elles fonctionnent selon des mécanismes semblables à ceux des pompes rotatives, et qui sont bien connus.

Elles conviennent particulièrement bien pour des pressions élevées, et des débits faibles. Les modes de réalisation sont : pompe à membrane et pompe à piston [4].

II.2.2 Les turbopompes

Les turbopompes sont des turbomachines, cette catégorie des pompes se composent d'une partie mobile (le rotor) et une autre fixe (le corps de la pompe).

- Le rotor qui communique au liquide un mouvement de rotation par l'intermédiaire d'aubes ou d'ailettes et qui est fixé sur un arbre supporté par des paliers et couplé au moteur au moyen d'un dispositif rigide ou flexible.
- Le corps de pompe dont le rôle est de diriger le liquide en lui donnant un accroissement de pression, comprenant des orifices d'aspiration et de refoulement et il supporte des paliers et sert d'habitacle pour l'équipage mobile.

Cette catégorie peut-être caractérisée par le fait que la pression y est générée soit par l'action des forces centrifuges, soit par la conversion en pression de l'énergie cinétique communiquée au fluide.

II.2.2.1 La classification des turbopompes

- **Les pompes centrifuges** : l'écoulement de fluide est radiale, elles sont les plus utilisées, ces pompes peuvent atteindre des hauteurs manométriques et des pressions très élevées.

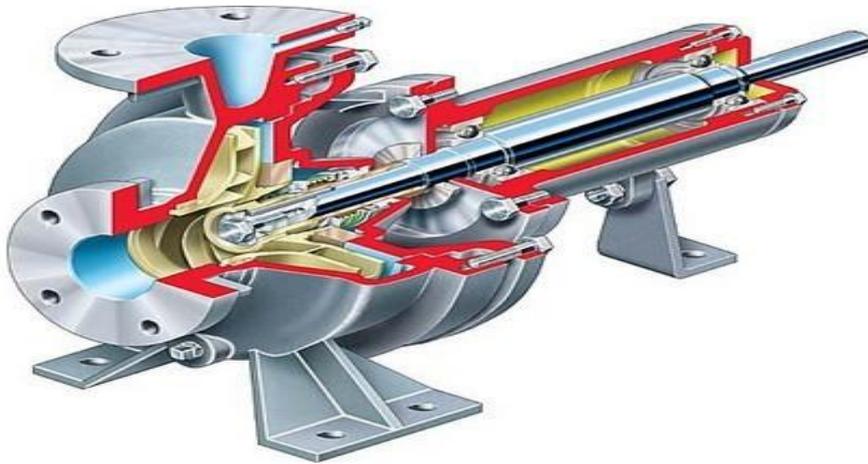


Figure. II. 2: Pompe centrifuge.

- **Les pompes hélices** : l'écoulement de fluide est axial. Ces pompes sont destinées à générer un fort débit et une faible variation de pression et une hauteur d'élévation faible.

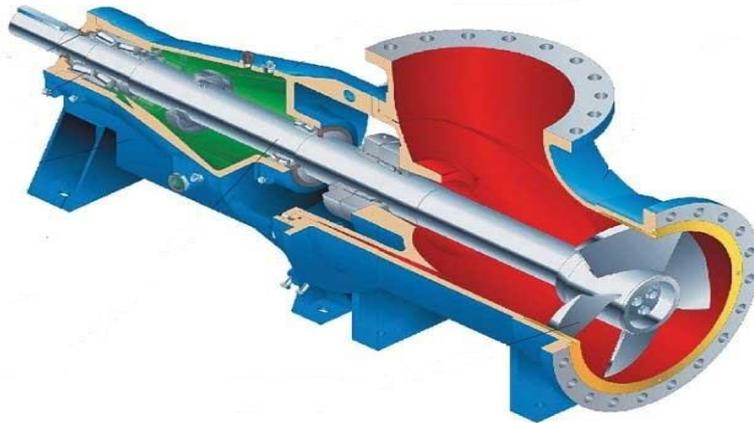


Figure. II. 3 : Pompe hélice.

- **Les pompes hélicocentrifuges** : l'écoulement de fluide est mixte. Comme son nom l'indique, la pompe hélicocentrifuge est à la fois en partie pompe hélice et pompe centrifuge.

Elle constitue un bon compromis permettant d'éviter le désavantage de la hauteur de refoulement faible d'une pompe hélice, et en même temps avoir des rendements et de débits supérieurs à ceux d'une pompe centrifuge [5].

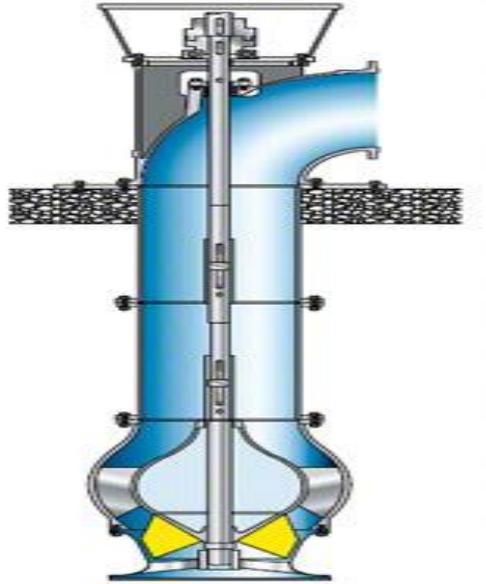


Figure. II. 4: Pompe hélicentrifuge.

Il existe un certain nombre d'autres classifications des turbopompes, reposant sur les critères suivants :

- Disposition de l'axe (horizontal, vertical, incliné),
- Nombre de rotors (monocellulaire, multicellulaire),
- Importance de la pression produite (basse, moyenne, haute),
- Utilisation (irrigation, eaux chargées, forages). [5]

II.2.2.2 La classification des turbopompes par vitesse spécifique

L'équation de la vitesse spécifique exprime par :

$$N_s = N \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \quad \text{II. 1}$$

- Les pompes hélices correspondent au domaine $N_s > 135$.
 - Les pompes centrifuges correspondent au domaine $N_s < 60$.
 - Les pompes hélicentrifuges correspondent au domaine intermédiaire $60 \leq N_s \leq 135$.
- [6]

II.2.2.3 Les composants des turbopompes

➤ Composants hydrauliques :

- **Le conduit d'amenée** du fluide vers l'impulser de la pompe, dans le cas général où l'aspiration est axiale, un simple cône ayant son axe confondu avec l'axe de la machine. Le fluide ne subit dans ce conduit ni apport, ni prélèvement d'énergie.

- **La roue de la pompe (L'impulseur)** est l'élément essentiel de la machine. La totalité de l'énergie est apportée au fluide par l'impulseur sous deux formes sous la forme d'un accroissement de pression statique et sous la forme d'un accroissement d'énergie cinétique.
- **La volute** a le rôle de recueillir le fluide sortant à grande vitesse de l'impulseur, de le canaliser, puis de le ralentir, transformant ainsi en pression une part importante de son énergie cinétique.
- **Des dispositifs d'étanchéité internes** sont destinés à limiter le retour vers l'aspiration des débits de fuite prélevés sur le débit principal ayant traversé l'impulseur.
 - **Composants mécaniques :**
- **L'arbre** a pour fonction de porter l'impulseur, d'assurer son centrage dynamique et la transmettre la puissance.
- **La pivoterie** a un rôle double
 - Fonction palier radiale pour assurer le centrage de l'arbre.
 - Fonction butée pour l'équilibre les efforts axiaux qui s'exercent sur l'équilibrage mobile.
- **Un système d'étanchéité externe** a pour fonction d'empêcher une fuite externe, l'étanchéité externe peut être assurée par un système de tresses avec presse-étoupe ou par une garniture mécanique.
- **Les composants du stator** : Les composants du stator ont un rôle soit exclusivement mécanique, soit partagé. On note, par exemple, que la volute a une fonction hydraulique et mécanique. [4]

II.2.2.4 Les caractéristiques des turbopompes

➤ Hauteur manométrique totale d'élévation

La « HmT » d'une pompe est la différence de pression en mètres de colonne de liquide «mCL» entre les orifices d'aspiration et de refoulement.

$$H_{mT} = H_g + J_{asp} + J_{ref} \quad \text{II. 2}$$

(J_{asp} et J_{ref}) : les pertes de charge dans les conduites d'aspiration et de refoulement.

➤ **Le rendement** : est le rapport entre la puissance hydraulique (reçoit par le liquide) et la puissance mécanique fournie à la pompe, ce rendement varie en fonction de débit.

$$\eta = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{P} \quad \text{II. 3}$$

- **Le débit Q** fourni par une pompe est le volume refoulé pendant l'unité de temps. Il s'exprime en mètres cubes par seconde (m³/s) ou plus pratiquement en mètres cubes par heure (m³/h).
- **La puissance** : La puissance utile est la puissance transférée par la pompe au liquide [7].

$$P_Q = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad \text{II. 4}$$

II.3 La pompe de circulation d'eau de mer VC

II.3.1 Caractéristiques de la pompe de circulation d'eau de mer

Tableau II. 1: Les caractéristiques de la pompe de circulation d'eau de mer [8].

Fabricant	RIVA CAZONI
Type	semi-axiale.
Débit	3.6 m ³ /sec
Hauteur	13.8 m
Vitesse de rotation	423 r. p. m
Pression de service	3,2 kg/cm ²
Puissance	576.6 kW
Poids	10000 kg

- La classification de la pompe de circulation d'eau de mer par la vitesse spécifique NS :

$$N_s = 423 \frac{3.6^{\frac{1}{2}}}{13.8^{\frac{3}{4}}}$$

$$N_s = 112,093$$

La pompe de circulation d'eau de mer est une pompe helicocentrifuge $60 \leq N_s \leq 135$.

Les pompes de circulation de l'eau de mer VC sont des turbopompes à axe vertical de type semi-axiales (helicocentrifuge) à aubes réglables, les pompes sont immergées en eau de mer. La fonction de ces pompes est la circulation de l'eau de mer pour le refroidissement des condenseurs.

II.3.2 Les composants principaux de la pompe

Corps de la pompe : se compose en deux parties

- La partie supérieure du corps extérieur
- La partie inférieure du corps extérieur de la pompe

Corps de redresseur : se compose en deux parties

- Le corps supérieur
- Le corps inférieur

Siège de couronne : est fondu en une seule pièce en acier

Couronne : se compose de plusieurs parties en acier inox.

- Les aubes de la couronne
- Le moyeu de la couronne fondu en une seule pièce.
- Ecrou de blocage des aubes
- Clavette d'embranchement
- L'ogive.

Arbre de la pompe : est en acier inox forgé en une seule pièce

Joint d'accouplement et contre-arbre, se compose de :

- Demi-joint coté pompe
- Contre arbre
- Bague de correction
- Boulon d'accouplement
- Demi-joint coté moteur
- Isolement du contre arbre

Palier de guide inférieur : est revêtu à l'intérieur en caoutchouc et est monté et fixé sur le corps du redresseur. Et lubrifié à eau de mer.

Palier supérieur de guide-boute : se compose de :

- Corps de support
- Couvercle
- Bague fixe
- Patins
- Crapaudine mobile
- Bague e correction en deux moitiés
- Protection en deux moitiés

II.3.3 Le système de lubrification

II.3.3.1 Lubrification de palier supérieur de guide-boute à huile

Le poste de de graissage de palier de guide-boute il compose d'un réservoir a huile de capacité 300 L, Deux pompes de types en engrenage (un secoure, et l'autre en service) et

La soupape qui protégé les pompes contre l'augmentation de pression.

L'huile refoulée par les pompes traversées et filtrées par le filtre puis il est refroidi par le réfrigérant (Echangeur de chaleur), avant d'arriver au palier supérieur de la pompe, après traverse le régulateur de débit d'huile en suit cette huile retourne vers le réservoir d'huile, cette tuyauterie il a étant installé un voient de circulation d'huile, qui non permet de sa surie qu'il y a une circulation de huile.

II.3.3.2 Lubrification de palier de guide inferieur a l'eau de mer

Le système de lubrification est compose de deux pompes électrique, des filtres, des soupapes de retenue, et des soupapes de contrôle, le système est monte entre deux groupes principaux et est fixe à la paroi avec des supports.

Un groupe de pompage est en service, pendant que l'autre est en réserve, le groupe en service pompe l'eau de mer sous pression à travers la soupape retenue jusqu'au filtre inséré d'où elles dûment filtrées, passe à travers la soupape retenue, en fin lubrifier le support des pompes

En cas de besoin, en ouvrant, il est possible de lubrifier le palier avec l'eau de mer non filtré.

II.3.4 La vanne papillon

La vanne papillon à axe horizontal est l'organe de retenue du flux pour la protection de la pompe, sa manœuvre est obtenue moyennant un cylindre sous pression d'huile pour ouverture et un contrepoids a gravité pour la fermeture.

Le poste oléodynamique de la vanne papillon est pourvu d'une armoire de commande et des appareillages nécessaire pour la mise en service et le contrôle de la pression de l'huile dans les circuits de service et de la position du papillon de retenue [8].

La figure suivante est un schéma descriptif de la pompe de circulation d'eau de mer, sa nomenclature est en annexe 1.

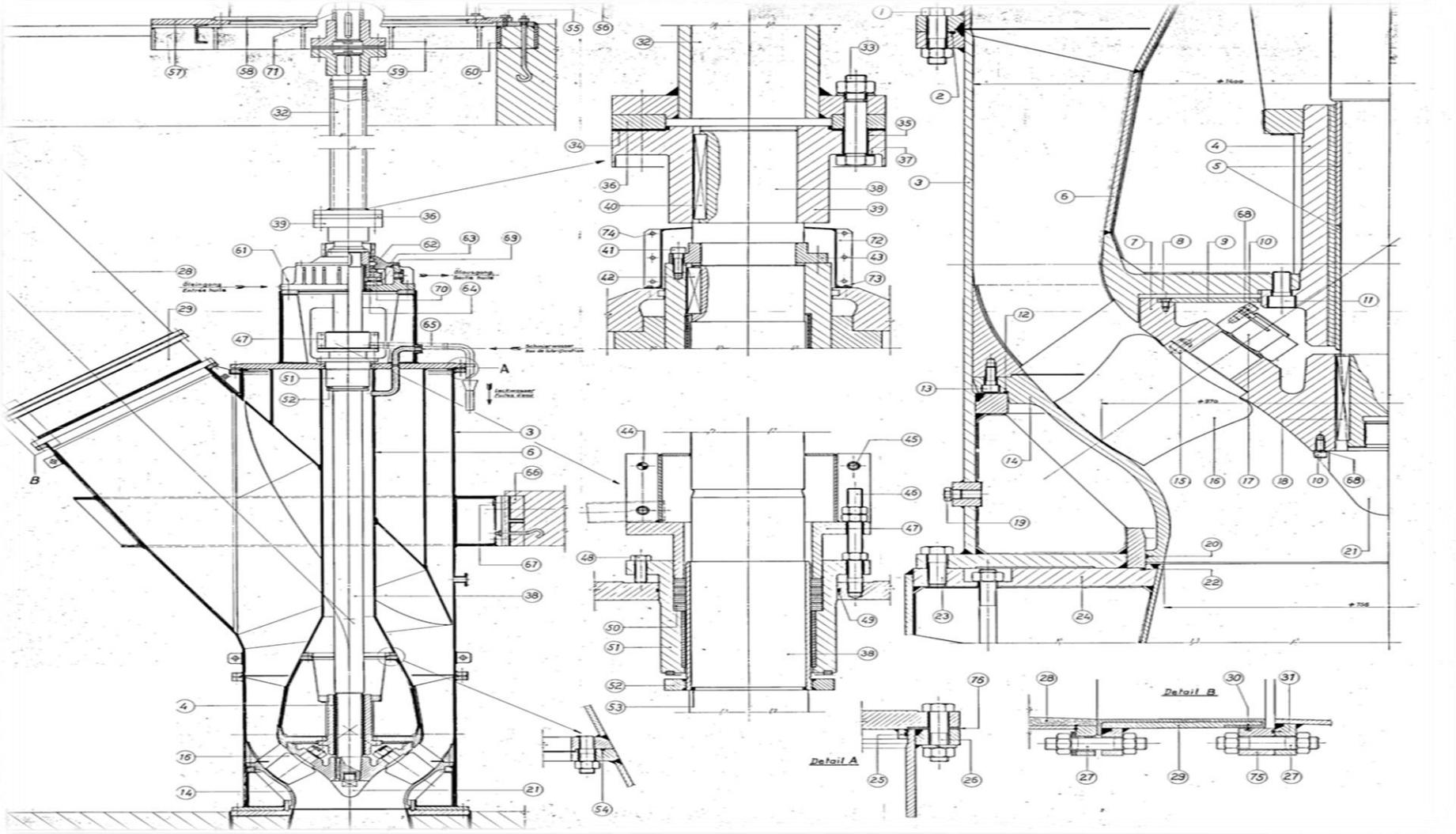


Figure. II. 5: Schéma de la pompe de circulation d'eau de mer.

II.4 La pompe d'eau de mer WE

II.4.1 Caractéristiques techniques

Tableau II. 2 : Les caractéristiques de la pompe d'eau de mer WE [9].

Type	19WUJ-2
Nombre d'impulseurs	02
Liquide	Eau de mer
Débit	289 m ³ /h
Débit minimale	51.9 m ³ /h
NPSH pompe installation	3.7 m
Vitesse de rotation	1450 tr/min
Rendement	70%
Puissance nécessaire	44.8 kW
Hauteur de refoulement	39 m
Densité de liquide	1.26 kg/dm ³
Poids	1200 kg
Température du liquide	27°C

La classification de la pompe d'eau de mer WE par la vitesse spécifique NS :

$$N_s = 1450 \frac{(289/3600)^{1/2}}{39^{3/4}}$$

$$N_s = 26,324$$

Donc la pompe d'eau de mer WE est une pompe centrifuge $N_s \leq 60$.

La pompe d'eau de mer WE c'est une pompe centrifuge multi étagée suspendue des tête de commande comprenant le palier de butée et le corps de refoulement par une colonne de longueur convenant à l'installation l'entraînement se faisant par un arbre de transmission vertical

Le rôle de cette pompe est de transporter l'eau de mer à la station de dessalement. La longueur nécessaire de la pompe est de 9 m.

II.4.2 Principe de fonctionnement

➤ **Aspiration :**

Le corps d'aspiration de pompe est placée en immersion direct dans l'eau de mer et l'aspiration se fait à travers la crépine et la cloche d'aspiration.

➤ **Refolement :**

Dans la pompe il y'a un corps de refolement transportée l'eau de mer par une conduite d'alimentation.

II.4.3 Les composants de la pompe

➤ **Coté mécanique :**

- **Arbre de commande** : les éléments de l'arbre de transmission sont reliés entre eux par des accouplements, comprenant les pièces suivantes :
 - Une bague d'arrêt en deux pièces transmettant la poussée axiale
 - Deux clavettes transmettant le couple
 - Un manchon maintenant l'ensemble en place
 - Deux goupilles filetées positionnant le manchon
 - Au droit des paliers l'arbre est protégé par des chemises
- **Les paliers** : les paliers de guidage sont serrés entre les brides des éléments de colonne
- **Butée** : en raison de la vitesse d'utilisation de ces pompes Le palier de butée est toujours compose de roulements a contact oblique
- **Garniture mécanique** : le logement de la garniture peut recevoir suivant les condition de service une garniture a tresse ou mécanique simple double en tandem ou double dos à dos
- **L'étanchéité externe** : L'étanchéité entre le corps de refolement et le cuvelage se fait par un joint plat

➤ **Coté hydraulique :**

- **Les impulseurs** : sont équipés de bagues d'étanchéité pour équilibrer la poussée hydraulique axiale alors que la poussée radiale est équilibrée grâce aux diffuseurs à aubes multiples. Les douilles de paliers dans la cloche d'aspiration et dans les étages intermédiaires servant à guider l'arbre sont en graphite en PTFE ou en bronze
- **La volute** : C'est le corps de la pompe qui entoure la roue cette pièce à la fonction suivante :
 - Elle assure la transformation de l'énergie cinétique transmise au liquide par la roue en énergie potentielle. (Énergie de pression)

- Opérer le raccordement avec la tubulure de refoulement.

- **Tête de refoulement :**

Elle ne comporte que la tubulure de refoulement la tête de refoulement est munie d'un orifice de purge de gaz l'ensemble de la colonne et de la pompe est suspendu à cette tête.

- **Un système d'étanchéité interne :**

L'étanchéité entre les brides des éléments de colonne est assurée par des joints toriques.

II.4.4 Le système de lubrification

La butée étant soumise à des efforts importants, il convient de vérifier régulièrement la température de l'huile et son niveau [9].

Si la pompe est mise en service longtemps avant remplir le réservoir de la butée il faut nettoyer avec une huile légère ou avec l'essence minérale en faisant tourner à la main la pompe.

Les paliers lisses de l'arbre de transmission et de la pompe étant lubrifiés par le liquide pompé ne demande pas d'entretien pendant le fonctionnement de la pompe, à condition de ne jamais les laisser marcher à sec pour plus de 5 à 10 secondes, sous peine de les user très rapidement.

La figure suivante est un schéma descriptif de la pompe d'eau de mer, sa nomenclature est en annexe 2.

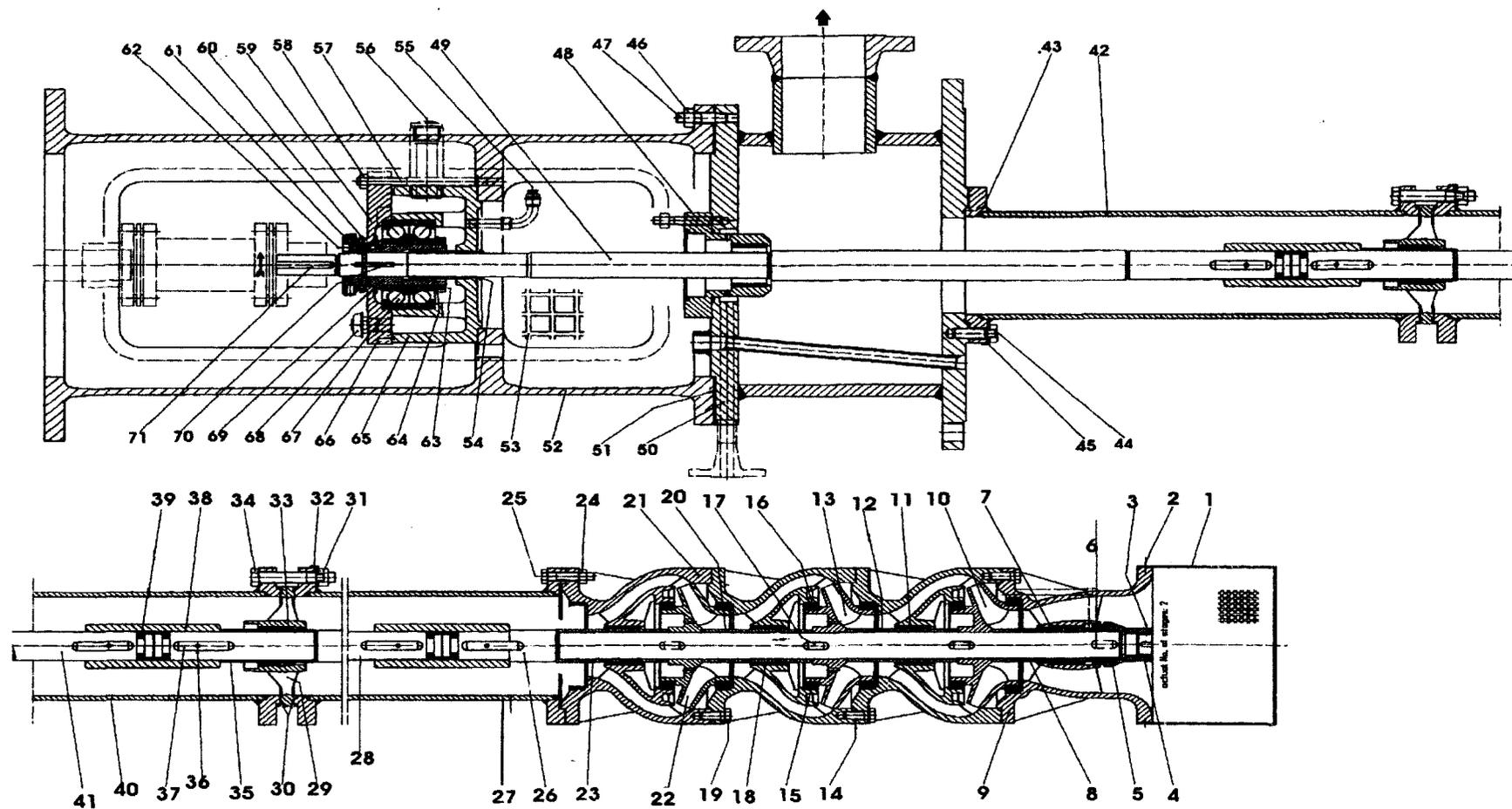


Figure. II. 6: Schéma de la pompe d'eau de mer.

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté une recherche bibliographique sur les pompes et une description de la pompe d'eau de mer WE et la pompe de circulation d'eau de mer VC.

D'après la description qu'on a faite sur les deux pompes, on a constaté que la pompe d'eau de mer WE est un équipement important et la pompe de circulation d'eau de mer VC est une machine vitale, pour le processus de production de l'électricité, car elle se propose de refroidir le condenseur permettant l'abaissement de la température du condensat. Ce qui est très important pour le processus.

Le chapitre III, prend en charge une étude bibliographique de la maintenance en générale et de la maintenance conditionnelle en particulier, qui est l'axe central de notre étude.

Chapitre III : Maintenance et les outils de la maintenance préventive conditionnelle

Introduction

La maintenance est devenue une des fonctions stratégiques de l'entreprise, et au cours du développement technologique des outils de production, la maintenance aussi évolue et développe des méthodes de gestion et des techniques de mesure et du contrôle de fonctionnement des systèmes.

III.2 Maintenance

III.2.1 Définition

Selon la norme *NF EN 13306 X 60-319*, la maintenance est définie comme « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise » [10].

III.2.2 Objectifs de la maintenance

Ces objectifs peuvent comprendre :

- Au plan technique :
 - Accroître la durée de vie des équipements,
 - Améliorer leur disponibilité et leurs performances.
- Au plan économique :
 - Réduire les coûts de défaillance, donc améliorer la productivité et les prix de revient,
 - Réduire le coût global de possession de chaque équipement sensible.
- Au plan social :
 - Réduire le nombre des événements « fortuits », car moins d'interventions en urgence réduit le risque d'accidents,
 - Revaloriser la nature du travail : équipe, polyvalence, qualité, initiatives, anticipation [11].

III.3 Les différents types de la maintenance

Les stratégies de maintenance peuvent être répertoriées en deux grandes catégories:

- La maintenance corrective.
- La maintenance préventive.

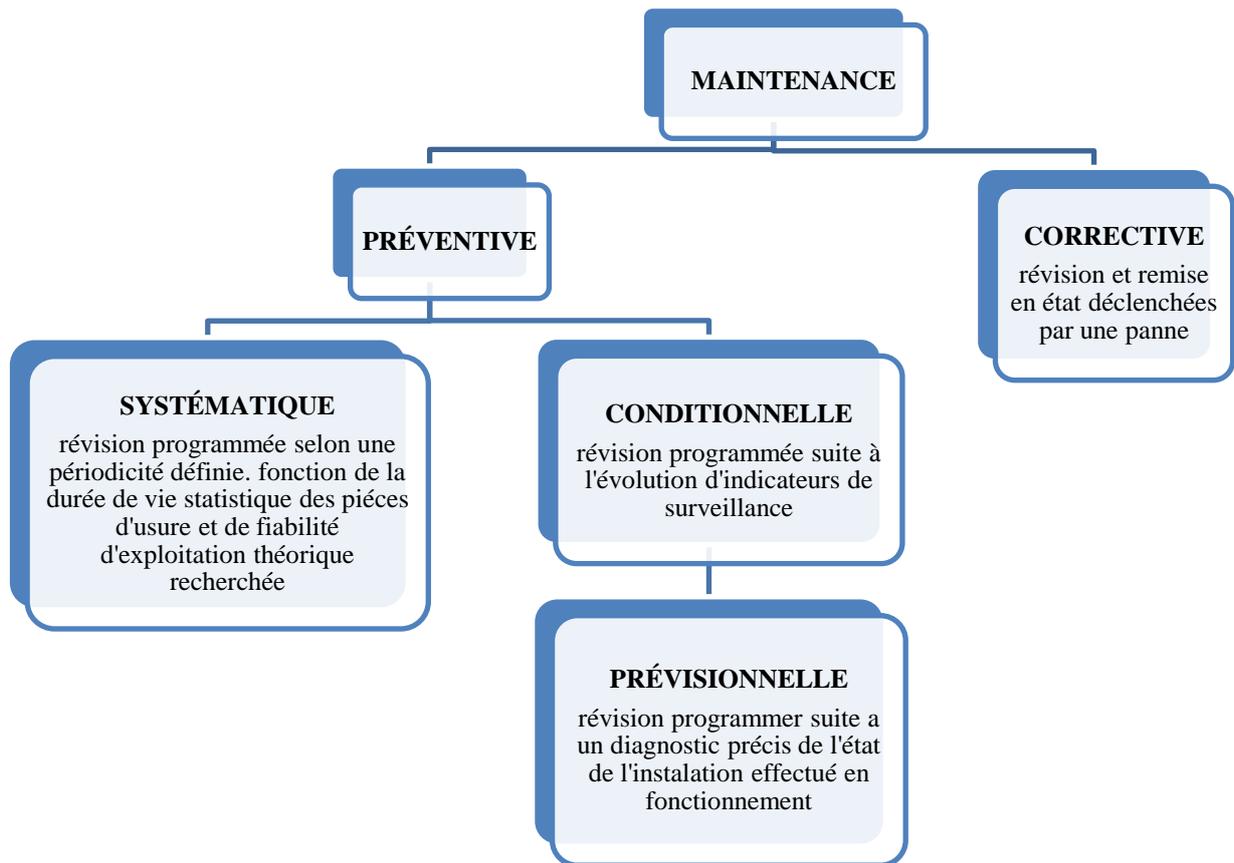


Figure. III. 1: Les types de maintenance [12].

- **Maintenance corrective**

« Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ».

- **Maintenance préventive**

« Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien ».

- **Maintenance préventive systématique**

« Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien ».

- **Maintenance prévisionnelle**

« Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ».

- **Maintenance conditionnelle**

« Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. » [10]

III.4 Principe de la maintenance conditionnelle

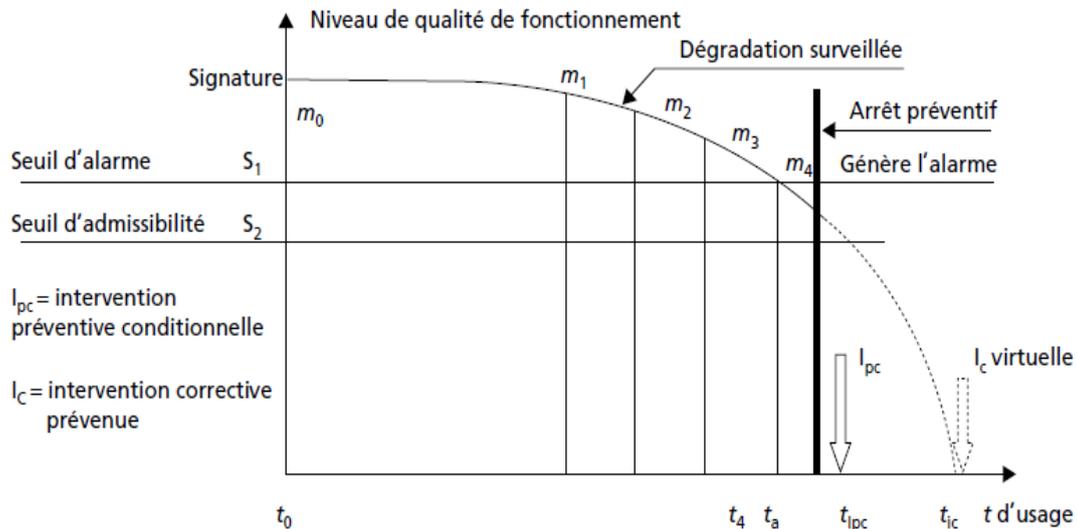


Figure. III. 2: Principe de la maintenance conditionnelle [11].

- La « signature » est une prise de référence de l'état de « bon fonctionnement » à l'origine.
- Les mesures (cas le plus fréquent) peuvent être de simples observations visuelles (état constaté), des images (spectres, radios, etc.). Elles peuvent être remplacées par des alarmes pré-réglées (led, fusible, etc.), ou des inspections préventives insitu. Les mesures peuvent être continues ou périodiques, espacées de Δt de telle manière que la dégradation à prévenir ne puisse échapper à la surveillance :

$$\Delta t < t_{\text{admissibilité}} - t_{\text{alarme}}$$

Les mesures peuvent ne pas commencer à t_0 (sauf signature) si l'on connaît la loi de dégradation. Les mesures peuvent être collectées par rondes ou « monitorées » au central de surveillance.

- L'arrêt sera généré automatiquement par l'alarme (cas d'un fusible), ou différé par décision volontaire jusqu'à l' I_{pc} programmée et organisée.
- L'intervention I_{pc} sera programmée à partir de l'alarme, suivant un temps de « réaction » du service maintenance à prédéterminer. Son coût direct C_{Ipc} sera par nature (choix de la dégradation à prévenir) très inférieur au coût (direct+ indirect) de la défaillance évitée :

$$C_{Ipc} \ll C_{ic} \text{ [11].}$$

III.5 Les outils de maintenance conditionnelle

III.5.1 Analyse vibratoire

III.5.1.1 Introduction

Le fonctionnement des machines engendre des efforts qui seront souvent la cause des défaillances ultérieures

Les efforts à leur tour causes de vibrations qui vont endommager les structures et les composants des machines

L'analyse de ces vibrations va permettre d'identifier les efforts dès qu'ils n'aient causés de dommage irréversible. Elle permettra aussi après l'analyse d'en déduire l'origine et d'estimer les risques de défaillance.

III.5.1.2 Définition d'une vibration

La variation avec le temps de la valeur d'une grandeur caractéristique du mouvement ou la position d'un système mécanique, lorsque la grandeur est alternativement plus grande est plus petite qu'une certaine valeur moyenne ou de référence (*norme AFNOR E 90 0001*)

Un système est dit en vibration lorsqu'il est animé d'un mouvement de va-et-vient autour d'une position moyenne, dite position d'équilibre. Si l'on observe le mouvement d'une suspendue à un ressort on constate qu'il se traduit par :

- Un déplacement : la position de la masse varie de part et d'autre du point d'équilibre
- Une vitesse de déplacement : variation du déplacement par rapport au temps
- Une accélération : variation de la vitesse par rapport au temps

La vibration d'une machine soumise à une force périodique peut être décrite en termes de déplacement, de vitesse ou d'accélération. La vitesse de mouvement de vibratoire correspond à la variation de son déplacement pour une unité de temps. L'accélération représente une variation de la vitesse par unité de temps. [13]

III.5.1.3 Caractéristiques d'une vibration

- **Fréquence**

La fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène se répète en un temps donné. Lorsque l'unité de temps choisie est la seconde, la fréquence s'exprime en hertz (Hz).

1 hertz = cycle/seconde.

La fréquence f est l'inverse de la période T :

$$f = 1/T$$

II. 5

Si l'unité normalisée de la fréquence est [Hz], il y'a parfois des valeurs sont exprimées en CPM (cycle par minute) ou RPM (rotation par minute) donc :

$$1[\text{Hz}] = 1\text{CPM}/60 = 1\text{RPM}/60$$

- **Amplitude**

On appelle amplitude d'une onde vibratoire la valeur de ses écarts par rapport au point d'équilibre et on peut définir :

- L'amplitude maximale par rapport au point d'équilibre (A_c) ou niveau crête
- L'amplitude double, (A_{cc}) ou niveau crête-crête
- L'amplitude (A_{eff}), aussi appelée RMS ou niveau efficace. [14]

III.5.1.4 Type de signaux vibratoire

Un système mécanique est dit en vibration lorsqu'il est animé d'un mouvement de va-et-vient rapide autour d'une position moyenne appelée « position d'équilibre ».

On peut classer les signaux de la façon suivante :

➤ **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.

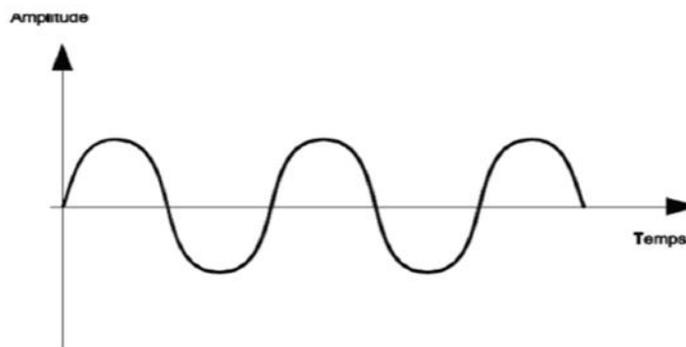


Figure. III. 3: Signaux vibratoire harmonique.

L'équation est :

$$X(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

II. 6

➤ **Vibrations périodiques :**

Une vibration périodique est telle qu'elle se reproduit exactement après un certain temps appelé période. Une telle vibration est créée par une excitation elle-même périodique. C'est le cas le plus fréquent rencontré sur les machines

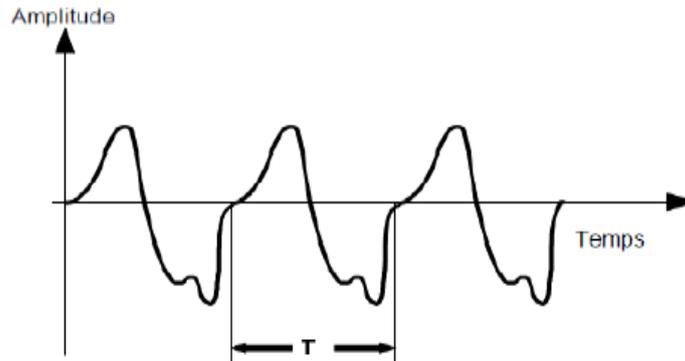


Figure. III. 4: Signaux vibratoire périodique.

L'équation est :

$$X(t) = \sum_{i=1}^n [x_i \sin(\omega_i t + \varphi_i)] \quad \text{II. 7}$$

➤ **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

C'est le cas des chocs que l'on enregistre sur un broyeur [15].

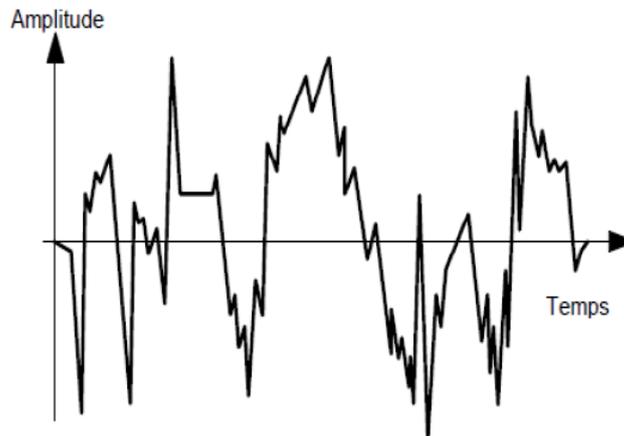


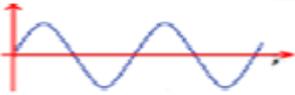
Figure. III. 5 : Signaux vibratoire apériodique.

L'équation est :

$$X(t) = \sum_{i=1}^{\infty} [x \sin(\omega_i t + \varphi_i)] \quad \text{II. 8}$$

III.5.1.5 Nature des vibrations selon les variations de l'amplitude

Tableau III. 1: Nature des vibrations selon les variations de l'amplitude [16].

Nature des vibrations	Représentation temporelle des vibrations	Causes
Périodique de type sinusoïdal simple		Balourd, désalignement, déformation
Périodique de type sinusoïdal complexe		Engrènement, rotation de lignes d'arbre
Périodique de type impulsionnel		Ecaillage de roulement, un jeu excessif, défaut des engrenages
Aléatoire de type impulsionnel		Défauts de lubrification sur les roulements, cavitation

III.5.1.6 Principales activités de l'analyse vibratoire

➤ La surveillance :

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

Il existe deux types de surveillance vibratoire :

- On line donc les capteurs sont installés de manière permanente sur la machine.
- Off line dans ce cas la mesure se fait manuellement avec le capteur.

➤ 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 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

III.5.1.7 Méthodes de mesure

L'ensemble complet de mesure et d'analyse comporte :

- Un capteur
- Un collecteur de données
- Un ordinateur ou un micro-ordinateur avec logiciel d'exploitation
- **Les Capteurs des vibrations :**

Le rôle des capteurs est de transformer l'énergie mécanique dépensée par la machine en un signal électrique proportionnel mesurable de manière reproductible. Il existe deux grandes familles de capteurs

- Les absolus (accéléromètres, vélocimétries)
- Les relatifs (proximètre)

- **Accéléromètre:**

Il est constitué principalement d'un matériau piézo-électrique (habituellement une céramique ferroélectrique artificiellement polarisée). Qui joue le rôle d'un ressort sur lequel repose une masse sismique précontrainte. Quand la masse se déplace sous l'effet d'une accélération, elle exerce sur le disque des contraintes, induisant à la surface de ce dernier une charge électrique proportionnelle à la force appliquée. . Le capteur piézo-électrique ou l'accéléromètre sont les plus utilisés en raison de leur large gamme de fréquence d'utilisation.

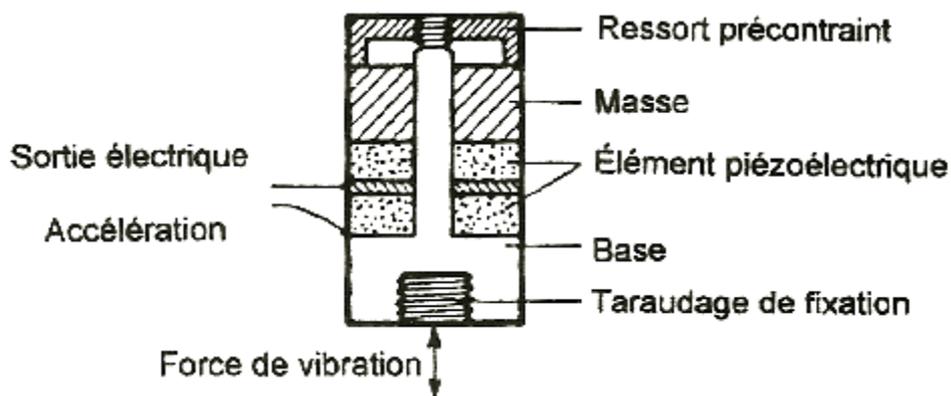


Figure. III. 6: principe de fonctionnement d'un accéléromètre.

- **Vélocimètres :**

Les capteurs de vitesse, ou vélocimètres c'est un capteur électrodynamique, sont constitués d'une sonde à contact dite sonde sismique qui mesure le mouvement absolu de l'organe sur lequel elle est fixée.

Les vélocimètres les plus courants, sont constitués d'une masse sismique reliée au boîtier par un ressort et solidaire d'une bobine qui se déplace dans un champ magnétique permanent créé par un barreau aimanté.

La fréquence de résonance de ce type de capteurs se situe généralement entre 8 et 15 Hz et la gamme dynamique s'étend de 10-20 Hz à 2000 Hz.

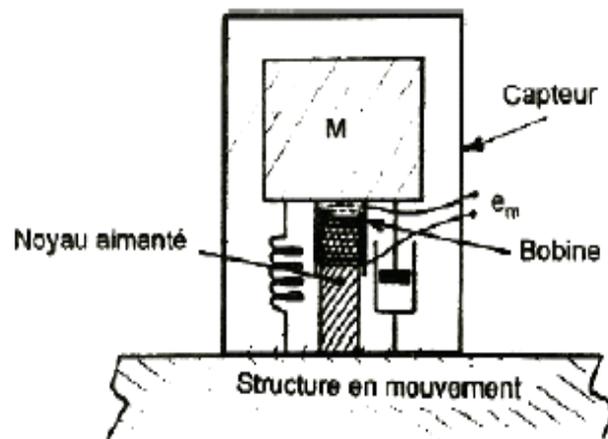


Figure. III. 7: schéma de principe d'un Vélocimètre.

- **proximètre :**

Le proximètre, ou bande de proximité, est un capteur de déplacement sans contact qui produit un signal électrique directement proportionnel au déplacement relatif de vibration d'un arbre ou d'un rotor. Il est monté en permanence à l'intérieur du palier. Les mesures en déplacement ne sont pas quantifiables dans toutes les gammes de fréquence. Ces mesures seront limitées aux basses fréquences (100 Hz)

Le capteur de déplacement est utilisé pour toutes les applications ou la surveillance des jeux entre les arbres et les paliers. A partir des connaissances des jeux radiaux ou des jeux axiaux, il est beaucoup plus facile de déterminer des seuils d'alerte et de danger en termes de déplacement qu'en termes de vitesse ou d'accélération.

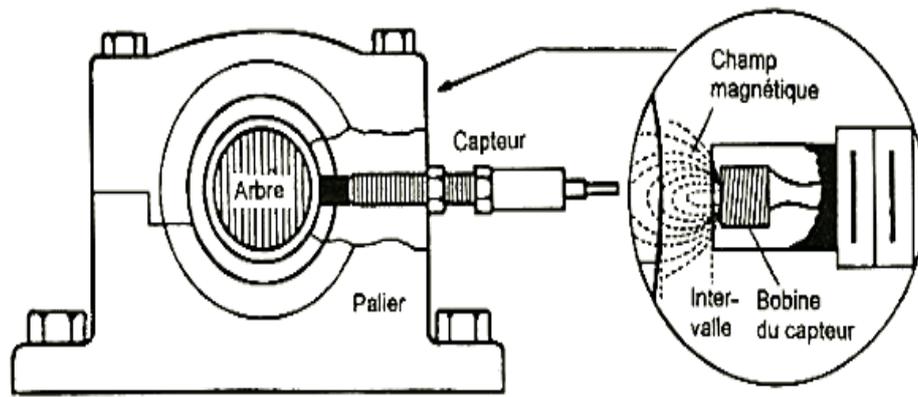


Figure. III. 8: Principe du capteur inductif à courants de Foucault

- **Collecteurs des données portables :**

Ces appareils présentent l'ensemble des mesures : déplacement, vitesse et accélération. Ils contiennent une mémoire interne importante pour stocker les données et permettent une communication facile avec un ordinateur.

Les paramètres des choix sont essentiellement les fonctions de gestion des circuits de mesure, le dialogue avec l'opérateur, l'ergonomie et le poids.

Certains appareils proposent des fonctions correctives supplémentaires comme l'équilibrage sur site ou le lignage d'arbre au laser.

- **Logiciels de traitement :**

Les logiciels associés aux électroniques de mesure assurent le stockage des données, la mise à jour historiques, la configuration des appareils, l'établissement des courbes de tendance, l'élaboration de rapports, la gestion des alarmes et aident aux diagnostics.

Par ailleurs, ils possèdent aussi les fonctions nécessaires à leur intégration dans le système de communication existant [16].

- **Point de mesure :**

L'implantation de l'accéléromètre sur les machines est, elle aussi, très importante. Chaque campagne de mesure doit être effectuée en des points précis et toujours les mêmes. En effet, un phénomène mécanique peut donner des images vibratoires sensiblement différentes en fonction des points de mesure.

On essaiera toujours de rapprocher le plus possible les points des paliers. Cela permet d'obtenir les images les plus fidèles des défauts mécaniques (bande passante de la chaîne d'acquisition maximale, amortissement minimisé). Pour avoir une image complète des vibrations (en trois dimensions), il faut prendre les mesures selon trois directions perpendiculaires sur chaque palier de la machine surveillée : deux directions radiales (horizontale et verticale) et une direction axiale.

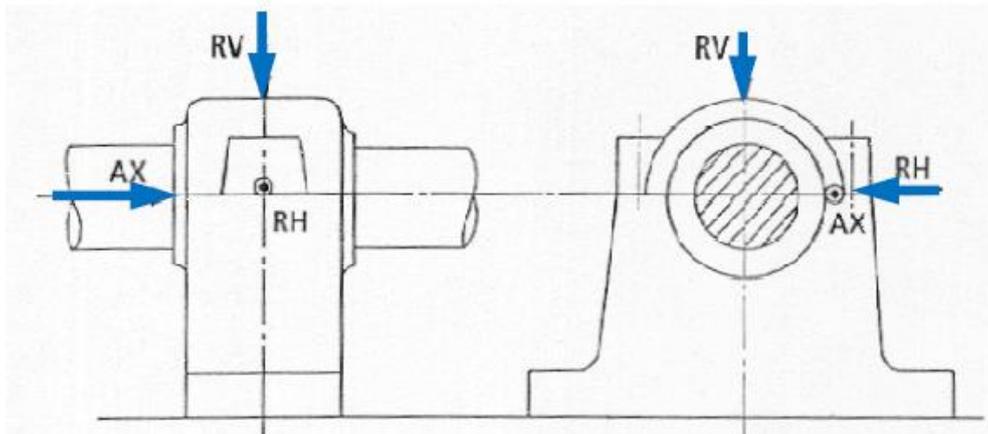


Figure. III. 9: Point de mesure.

- **Mode de fixation du capteur :**

Plusieurs mode de fixation existe : par goujon vissé ou embase collée, par embase magnétique ou par simple pression avec une pointe de touche. Le mode de fixation d'un capteur à une incidence considérable sur la bande passante de ce dernier Figure et surtout sur la répétitivité de la mesure qui est le fondement même de la surveillance. Seules les modes de fixation par goujon vissé ou par embase collée offre une réelle garantie sur la répétitivité de prise de mesures et une bande passante maximale. Cependant avec quelque précaution, la fixation par embase magnétique donne des résultats acceptables tout en réduisant sensiblement le temps de collecte. Par contre l'utilisation de pointe de touche offre une mauvaise répétitivité des mesures et une très mauvaise bande passante. Malgré sa facilité de mis en œuvre, cette technique de prise des mesures doit vivement être déconseillée.

Dans le tableau suivant une synthèse des différentes principales anomalies ainsi certaines remarques affectées à ces dernières.

Tableau III. 2: Reconnaissance principales défauts [16].

Anomalies	Vibrations		Remarques
	Fréquence	Direction	
Tourbillon d'huile	De 0,42 à 0.48 FR	Radiale	Uniquement sur paliers lisses hydrodynamiques à grande vitesse
Balourd	1 * FR	Radiale	Intensité proportionnelle à la vitesse de rotation Déphasage de 90° sur deux mesures orthogonales
Défaut de fixation	1, 2, 3, 4 * FR	Radiale	Aucun déphasage sur deux mesures orthogonales
Défaut d'alignement	2 * FR	Axiale et radiale	vibration axiale en général plus importante si le défaut d'alignement comporte un écart angulaire
Excitation électrique	1, 2, 3, 4 * 50 Hz	Axiale et radiale	Disparaît dès la coupure de l'alimentation
Vitesse critique de rotation	Fréquence critique de rotor	Radiale	Apparaît en régime transitoire et s'atténue ensuite
Courroie en mauvais état	1, 2, 3, 4 * FP	Radiale	
Engrenage endommagé	FE=nombre de dents * FR arbre	Axiale et radiale	Bandes latérales autour de la fréquence d'engrènement
Excitation hydrodynamique	Fréquence de passage des aubes	Axiale et radiale	
Détérioration des roulements	Haute fréquence	Axiale et radiale	Ondes de choc dues aux écaillages
Faux-rond pignon	F ± FR pignon	Axiale et radiale	Bandes latérales autour de la fréquence d'engrènement dues aux faux-ronds

III.5.2 Analyse par thermographie infrarouge

III.5.2.1 Introduction

La température d'un corps est une grandeur physique qui caractérise le niveau énergétique de ce corps : celle-ci s'exprime en (°C) ou en (K).

La thermique est une science aux applications très vastes qui couvre pratiquement tous les secteurs d'activité : comportement thermique, échanges thermiques par conduction, convection et rayonnement. La thermographie est une illustration des échanges par rayonnement.

Deux types de mesures des températures sont utilisés en diagnostic industriel : les mesures de température par contact et sans contact.

La thermographie infrarouge est une technique de mesure de température sans contact 'à l'aide d'un équipement qui permet de visualiser et de quantifier les températures d'une scène thermique.

III.5.2.2 Définition

La thermographie infrarouge est la science de l'acquisition et de l'analyse de d'informations thermique à l'aide de dispositifs d'imagerie thermique à distance. La norme française *NF A09-400* définit la Thermographie Infrarouge comme « Technique permettant d'obtenir au moyen d'un appareillage approprié l'image thermique d'une scène thermique dans un domaine spectral de l'infrarouge ». [17]

III.5.2.3 Principe

Tout corps dont la température est supérieure au degré absolu (0°K - 273°C) émet de l'énergie sous la forme de rayonnements électromagnétiques dont les longueurs d'ondes ont dans la majorité des cas en dehors du spectre visible, Et on est capable de détecter ce rayonnement sous la forme de sensation de chaleur.

La thermographie infrarouge est la technique permettant de mesurer, par l'intermédiaire d'un détecteur, la puissance de rayonnement électromagnétique dans le spectre des infrarouges (2 à 15µm), émis par chaque point d'une scène ou d'un objet observé.

Le détecteur ou caméra infrarouge reçoit ce rayonnement, le convertit en signal électrique et reconstitué sur un écran une image thermique visible de l'objet émetteur. Cette image est le thermogramme.

Le thermogramme est constitué par l'ensemble des points de valeurs de mesures thermiques. Ces valeurs thermiques (en °C) sont obtenues par transcription des valeurs radiométriques données par la caméra infrarouge

Il y a deux concepts totalement différents du contrôle thermographique :

S'il s'agit de reconnaissance de forme, de surveillance ou de localisation de défauts,

L'imagerie infrarouge est suffisante.

S'il s'agit d'usages multiples, la mesure radiométrique transcrite en température vraie est nécessaire.

La mesure peut être perturbée par certains environnements : présence de source chaude, émissivité très basse, état de la charge, condition d'utilisation de l'installation, soleil, vent... Il est indispensable de tenir compte du réglage des paramètres objets.

III.5.2.4 Les appareils utilisés

- **Détecteur**

Un détecteur absorbe et convertit l'énergie du rayonnement incident. La conversion produit soit des électrons dans la détection quantique, soit de la chaleur dans la détection thermique.

Il existe deux types de détecteur :

- **Détecteurs quantiques**

Ce sont des détecteurs photoélectriques fournissant un signal électrique qui suit l'excitation directe de leurs propres particules sous l'action des photons incidents émis par un émetteur (cible thermique examinée), tous les détecteurs quantiques sont composés de matériaux semi-conducteurs dans lesquels la génération de charge (par exemple les électrons) est directement associée à l'absorption d'un photon.

- **Détecteurs thermiques**

Sont basés sur la détection d'une augmentation de température au niveau du détecteur. La variation de température fait varier l'une des propriétés physiques du matériau détecteur (résistance électrique par exemple) et provoque une variation du signal délivré. Ce type de détecteur a un temps de réponse relativement long.

- **Caméra thermique**

Un des plus importants instruments de la thermographie infrarouge est la caméra infrarouge, La caméra infrarouge ne mesure pas les températures, mais les rayonnements, alors que, visualisée par le thermographe, l'image thermique que la caméra fournit pourra être transformée en thermogramme, en images des températures. Le thermographe, aidé de sa caméra, va voir dans l'infrarouge les objets froids et, parmi ces objets, ceux qui sont

anormalement chauds ou anormalement froids. Ayant vu, le thermographe pourra quantifier et fournir une cartographie des températures.

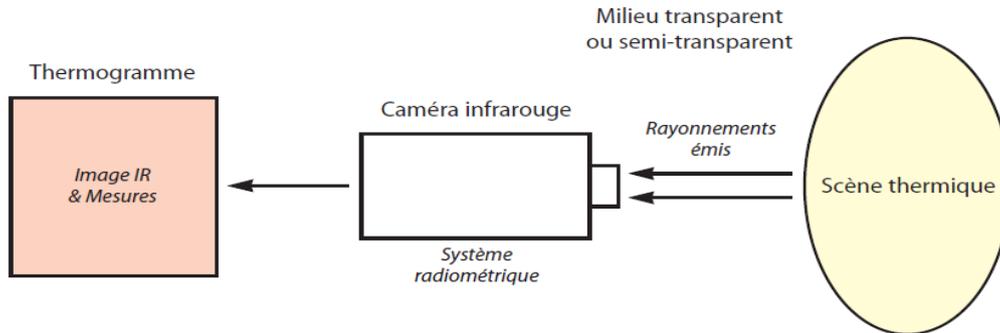


Figure. III. 10: principe de la caméra infrarouge [19]

III.5.2.5 Les systèmes de mesure des caméras infrarouges

Il existe deux systèmes de mesure des flux électromagnétiques ou luminances :

- La caméra à monodétecteur ou système à balayage spatial : comme le nom l'indique, l'appareil est muni d'un détecteur unique couplé à un système optomécanique à balayage horizontal (ligne) et à balayage vertical (trame). L'addition des deux balayages à des fréquences spécifiques autorise l'analyse d'une scène thermique par l'image successive du détecteur ou de la surface élémentaire $\{dS\}$.

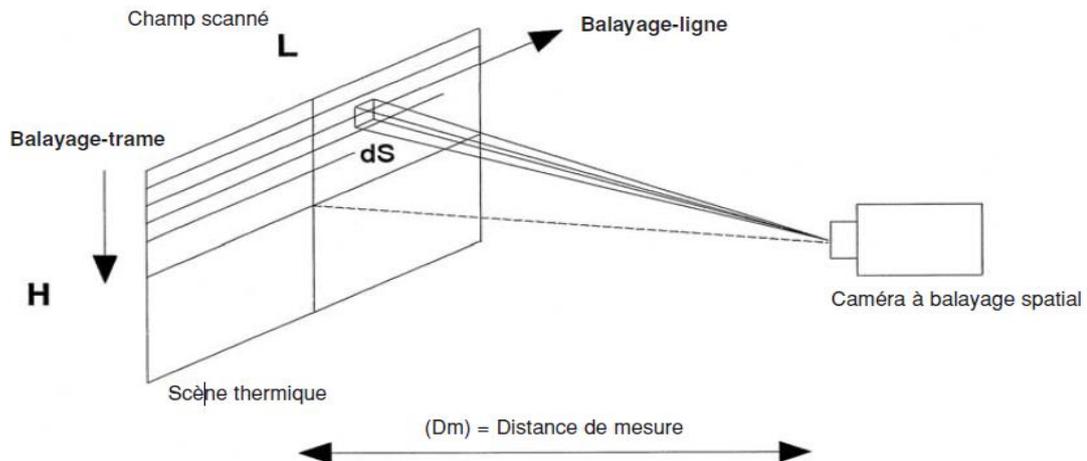


Figure. III. 11: La caméra à monodétecteur

- La caméra à plan focal : celle-ci est équipée d'une matrice de détecteurs. L'image de chaque détecteur couvre de façon permanente une surface élémentaire dans le champ scanné. La scène thermique est ainsi quadrillée et analysée simultanément en tout point par le "détecteur matriciel".

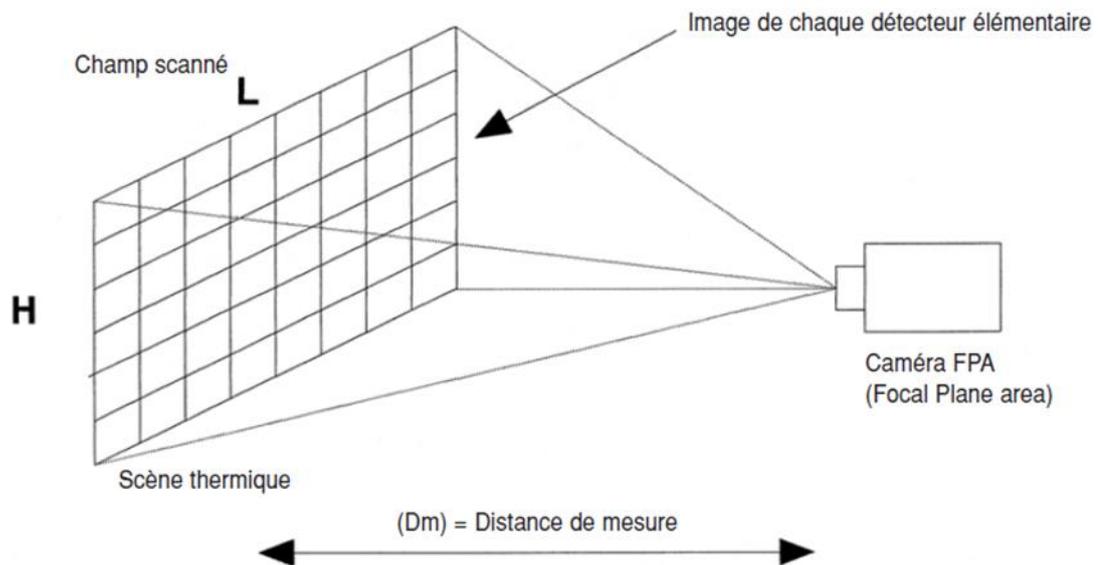


Figure. III. 12: La caméra à plan focal [18].

III.5.2.6 L'application de la thermographie infrarouge

- **Inspections**

- Surveillance des installations électriques sous tension
- Inspection des briques réfractaires d'un four
- Inspection des réseaux de chauffage
- Inspection des bâtiments
- Inspection des tuyauteries

- **Contrôle des procédés industriels**

- Contrôle de soudage
- Contrôle de laminage
- Surveillance du four
- Contrôle de sérigraphie. [16]

III.5.3 Analyse de lubrifiant

III.5.3.1 Introduction

Deux paramètres importants conditionnent la lubrification correcte des machines tournantes : l'état de lubrifiant et l'état des surfaces lubrifiées. Les analyses d'échantillons du fluide permettent de déterminer d'une part les caractéristiques physico-chimiques du lubrifiant et d'identifier une usure des éléments mécanique [19].

Deux facteurs prépondérants interviennent pour modifier les caractéristiques d'un lubrifiant :

- La dégradation.
- La contamination.

III.5.3.2 La dégradation

- la mesure de viscosité à 40°C,
- la mesure de viscosité à 100°C,
- l'indice de viscosité,
- le point d'éclair, n
- l'indice d'acidité ou d'alcalinité,
- aspect,

Les évolutions des propriétés moléculaires de l'huile et de ses additifs sont généralement suivies par des analyses spectrographiques notamment dans le domaine infrarouge. [20]

III.5.3.3 Contamination des lubrifiants

Plusieurs méthodes faisant appel à des équipements de complexité très variable peuvent être utilisées pour étudier de manière qualitative ou quantitative l'importance et la nature de la contamination. On distingue plusieurs techniques qui se classent dans trois grandes familles de mesure de contamination : la contamination globale, la contamination par l'eau, la contamination par les particules métalliques.

- **La mesure de pollution gravimétrique :**

La méthode consiste à filtrer sous vide un volume de lubrifiant à l'aide de deux filtres superposés de même porosité nominale de 0,8 µm. Après pesée de chaque filtre on peut ainsi déterminer la teneur en impuretés solides, exprimée en mg/100ml d'échantillon. L'inconvénient de cette méthode est qu'elle nécessite une grande précision dans son utilisation ce qui constitue un obstacle dans le cadre d'une surveillance continue. Néanmoins cette technique offre un moyen simple d'évaluation du niveau de contamination.

- **Filtration sur membranes :**

Cette technique de filtration est simple et ne nécessite pas d'équipements sophistiqués. On prélève une faible quantité de lubrifiant que l'on dépose sur une membrane. En observant la densité de la tâche et en la comparant à des cartes préétablies il est possible de fournir directement une estimation du taux de contamination.

- **La spectrométrie d'émission :**

La spectrométrie d'émission en utilisant par exemple une source à plasma permet d'obtenir rapidement les concentrations exprimées en ppm (parties par million) en masse des différents éléments (métaux et métalloïdes) dans le lubrifiant. Les atomes portés à hautes températures (10000°K) émettent un rayonnement dont la longueur d'onde est caractéristique de la nature de l'élément et avec une intensité proportionnelle à la concentration. Cette méthode est très largement utilisée par sa facilité de mise en œuvre et la fiabilité de la détection. L'inconvénient de la spectrométrie d'émission est d'être relativement imprécis si les particules ont des dimensions inférieures à une dizaine de microns.

- **L'absorption atomique :**

Avec cette méthode, un volume donné du lubrifiant est calciné et les obtenues sont dissoutes dans un solvant approprié. Il est alors possible de déterminer avec une très grande précision les éléments métalliques. Cependant cette méthode interne et coûteuse à utiliser.

- **La ferrographie :**

La ferrographie ne concerne que la détection de particules magnétiques ou ayant acquis un certain magnétisme comme les particules ferromagnétiques (entre 1 mm et 500 mm) et les particules de métaux non ferreux (bronze, aluminium,..) devenues légèrement magnétiques par contact avec les métaux ferreux, les particules organiques provenant par exemple des joints d'étanchéité et les particules diverses venues de l'extérieur et possédant un léger magnétisme. L'avantage de cette méthode est d'éliminer les particules organiques, ce qui permet une observation aisée des particules en suspension dans le lubrifiant.

- **Comptage des particules :**

Les techniques de comptage de particules sont principalement utilisées pour contrôler le niveau de contamination des fluides hydrauliques en service dans des installations à haut niveau de propreté. Les deux techniques de comptage de particules utilisent le microscope optique et les systèmes de comptage automatique utilisant des méthodes de transmission de la lumière. Les particules sont classées par intervalle de taille exprimée en μm en cinq catégories : (5-15, 15-25, 25-50, 50-100, >100). Suivant les normes utilisées il est alors possible de déduire des indices de propreté d'un fluide (normes NAS et ISO).

- **Observation des dépôts fixes :**

En présence d'une usure sévère, le lubrifiant véhicule des particules métalliques d'une taille supérieure à 100 μm . La pose de bouchons magnétiques «auto-obturants» permet par contrôle

visuel de vérifier la présence de ces gros débris annonciateurs en général d'une défaillance très proche de la machine.

III.6 La surveillance

L'évolution technologique faits ces dernières années, dans les domaines de l'informatique industrielle de l'instrumentation numérique d'analyse des systèmes de surveillance des machines tournantes a permis de mettre en place de nouvelles stratégies de surveillance et maintenance des installations et machines complexes. La protection des machines est assurée par le déclenchement d'une alarme ou par un arrêt de la machine et l'amplitude de la vibration atteint des valeurs jugées excessives pour le bon fonctionnement ou l'intégrité de cette dernière. Elle est maintenant devenue le pilier d'une stratégie de maintenance préventive conditionnelle.

La première action pour réussir est donc de déterminer, à partir de l'inventaire du parc à maintenir, la criticité de chacun des équipements. Par défauts, c'est-à-dire par l'importance supposée de la perturbation générée par la défaillance intempestive d'un équipement, suivant un critère de sécurité d'abord, puis économique : il y aura arrêt de production ou non, il faut ensuite (proportionnalité) l'effort de prise en charge (documentation technique y compris) à cet indice de criticité. il appartient ensuite au service de préparer et de réaliser des actions :

En temps réel : surveillance du fonctionnement, traitement d'alarmes.

À court terme : propreté, inspections et actions correctives (dépannages).

À moyen terme : actions préventives révisions, actions externalisées, amélioration et modernisation.

À long terme : grands arrêts, participation aux « nouveau neufs » et à la caractérisation des nouveaux équipements.

On distingue fondamentalement deux types de surveillance :

- Surveillance offline
- Surveillance on-line

« La surveillance peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue ». Donc la question qu'on va se poser est la suivante : l'équipement doit-il être suivi de manière périodique ou continue ?

Pour certain méthode, la question ne se pose pas. En thermographie infrarouge ou en analyse d'huile, par exemple, la surveillance est nécessairement périodique. Mais il n'en est pas de

même pour l'analyse vibratoire. Dans ce cas, c'est à l'industriel d'adapter son mode de surveillance à son besoin et au type de machine qu'il doit suivre. [20]

III.7 Le diagnostic

Le diagnostic, est un outil particulièrement utile dans le cadre de la mise en place d'un concept de maintenance prévisionnelle. La démarche du diagnostic repose sur l'analyse systématique du signal vibratoire, tant sa forme spectrale que temporelle, pour l'identification de la nature des défauts à un stade précoce. Dans la pratique, la présence des défauts aux fréquences caractéristiques n'est pas toujours facile à déceler. Pour les mettre en évidence, on fait appel à des techniques d'investigation généralement plus poussées que le simple suivi d'indicateurs scalaires, commandées par la complexité et la précision du diagnostic demandé en fonction des enjeux économiques liés à la panne redoutée.

Cette fonction se décompose en deux fonctions élémentaires : localisation et identification.

- Localisation

Elle permet de déterminer le sous-ensemble fonctionnel défaillant.

- Identification de la cause

Cette dernière étape consiste à déterminer les causes qui ont mené à une situation anormale. Ces causes peuvent être internes (sous-ensembles défaillants faisant partie de l'équipement), ou bien externes (l'environnement par exemple) à l'équipement. [20]

III.8 Conclusion

Dans ce chapitre on a présente une recherche bibliographique sur la maintenance, les types de maintenance et les outils de la maintenance conditionnelle (analyse vibratoire, thermographie infrarouge et analyse de lubrifiant).

Une maintenance préventive implique moins d'intervention corrective, donc moins d'arrêt intempestif des lignes de production. Cependant, il suppose une organisation adéquate, une planification précise et la connaissance des défaillances possibles des installations.

Les avantages de la maintenance conditionnelle sont :

- Réduction de coût d'environ 30% et de la durée de réparation par rapport à l'entretien préventif;
- L'accroissement de la durée de vie des pièces par rapport à une politique de changement systématique.

- La suppression des défauts de jeunesse lors de remise en route après un entretien systématique.

Le chapitre suivant est dédié à la partie expérimentale, qui se traduit par un certain nombre d'analyses traduisant le type de maintenance adopté par l'entreprise.

Chapitre IV : Partie expérimentale

Introduction

Pour éviter une panne inattendue d'un équipement critique il faut appliquer une surveillance fiable, Dans ce contexte le type de maintenance adopté est la maintenance préventive conditionnelle.

L'application des outils de maintenance conditionnelle nous aide de prévoir l'état des équipements et de diagnostiquer les défaillances.

Dans ce chapitre on va présenter une application d'une surveillance sur la pompe d'eau de mer WE et la pompe de circulation d'eau de mer VC, par les outils de maintenance conditionnelle existe à la centrale thermique de cap djenat (l'analyse vibratoire, thermographie et l'analyse d'huile), et une interprétation des résultats obtenus.

IV.2 Matériels utilisés

IV.2.1 OneProd

C'est un accéléromètre ASH201-A de type piézoélectrique raccordé au collecteur analyseur MVP-200. On utilise ce capteur pour mesurer l'accélération vibratoire.

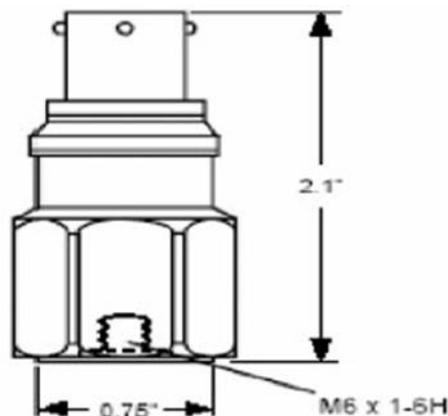


Figure. IV. 1 : Accéléromètre ASH201-A

• Caractéristiques techniques

- Marque : OneproD
- TYPE : ASH201-A
- Principe : Piézo-électrique avec amplificateur de charge intégré
- Mode de fixation : Vissage, Aimant ou Point de touche
- Facteur de transmission : 100 mV/g

- Plage de fréquence : 1 – 9 000 Hz ($\pm 10\%$) - 0.5 – 14 000 Hz (± 3 dB)
- Fréquence propre : 30 kHz
- Plage de température : -50 ... +120 °C

- **Analyseur- MVP-200**

Le MVP-200 est un appareil d'acquisition pratique destiné à faire : des mesures globales de vibrations, de paramètre de procédé, de signaux temporels et des spectres.

Le MVP-200 c'est un collecteur de données portable. Il permet la collecte des données vibratoire qui seront transférés dans un micro-ordinateur par l'intermédiaire d'une carte.



Figure. IV. 2 : Analyseur- MVP-200

- **Caractéristique techniques**

- Marque : OneproD
- Type : MVP-200

- **Modes de fonctionnement**

- Mode analyseur de spectre
- Fonction enregistreur (Temps)
- Mode collecteur de données

- **Logiciel de diagnostic et d'analyse XPR-300**

Le logiciel XPR-300 Logiciel permet d'exploiter les données de mesure de la carte, pour apprécier l'état des machines, faire le diagnostic des défauts et réaliser la maintenance conditionnelle.

- Rapidité de configuration : Modèles, base roulements, copier/coller, modification par lot.
- Multi technique: Vibration, Procès, Huile, Thermographie
- Modules de base: En ligne (OneproD MVX), Hors ligne (OneproD MVP)

IV.2.2 Camera AGEMA 570

La camera AGEMA 570 mesure et transcrit par l'image les rayonnements infrarouges émis par un objet.



Figure. IV. 3 : Caméra infrarouge AGEMA 570

- **Caractéristiques techniques :**
 - Plage de mesure : -20°C à 500°C jusqu'à $+1500$, avec l'option de température élevée.
 - Précision de mesure : $\pm 2\%$ de la plage ou $\pm 2^{\circ}\text{C}$.
 - Sensibilité thermique : $< 0,15^{\circ}\text{C}$
 - Type de détecteur : Focal plane Array (FPA), microbolomètre 320×240 pixels, non refroidis.
 - Gamme spectrale : 7.5 à 13 micromètres, avec filtre atmosphérique intégré.
 - Lecteur de carte PC : carte PC type II ou type III. Cartes flash ou disque durs sont utilisables mais uniquement s'ils sont compatibles avec la norme ATA.
 - Plage de température ambiante :

Fonctionnement -15°C à 50°C

Stockage -40°C à 70°C

- Poids : 1.9 Kg, sans batterie, 2.3, avec batterie
- Dimension : 220×133×140 mm

- **Gestion des résultats**

Logiciel IRWIN OLE est logiciel de traitement des images thermique infrarouge capter par la camera AGEMA 570 et permet de donner la température de chaque point de l'image capte.

IV.2.3 L'analyseur de contamination CM20

Le moniteur de contamination Ucc CM20 est actuellement l'analyseur de contamination de particule solide technologiquement le plus évolué de marche mondiale.



Figure. IV. 4: L'analyseur de contamination CM20

- **Caractéristiques techniques**

- Durée d'essai : 4 minutes.
- Séquence d'essai : toutes les 4 minutes.
- Principe de mesure : par balayage optique et mesure dimensionnelle des particules.
- Tailles de comptage : +5, +15, +25, +50 μm .
- Pression maximum : 420 bar.

- Débit maximum : 400 l/min.
- Poids : 10 Kg.
- **Gestion des résultats**

COMDAD logiciel spécifique permet le transfert des résultats des essais effectués dans le pc pour un suivi efficace.

- **Exemple de rapport de test**

```
Parker LCM20
On Line

Test Number 015

Date           D M Y
                29-03-11
Time           11:03
ISO            20/19/15

Counts/100ml
>2µ           987571
>5µ           320001
>15µ          31928
>25µ          7573
>50µ          742
>100µ         45

Notes
```

Figure. IV. 5 : Rapport de test

987571 particules supérieures à 2µm correspondent à ISO 20 (car 987571 est supérieur à 500 000 mais inférieur à 1 000 000). De la même façon, 320001 particules supérieures à 5 µm correspondent à ISO 19 et 31928 particules supérieures à 15 µm correspondent à ISO 15. Ce fluide serait donc signalé comme 20 / 19 / 15.

IV.3 Etude de cas

IV.3.1 Pompe d'eau de mer

IV.3.1.1 Analyse vibratoire

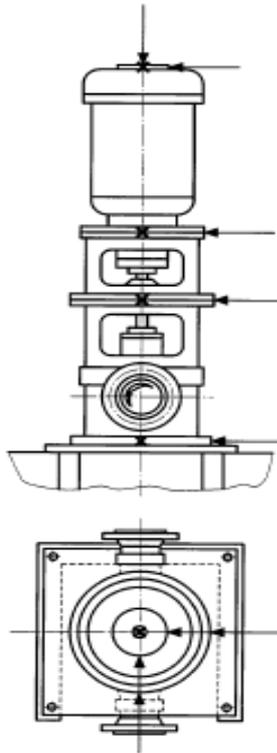


Figure. IV. 6: Les points de mesure.

- **Mesure de niveau globale avant l'intervention**

Tableau IV. 1 : Mesure globale

VEP	pal 1RH	pal 1 RH1	Pal 2AX	pal 2RH	pal 2RH1	Pal 3AX	Pal 3RH	pal4 AX	pal4 RH2
Ng:Accélération	0.187	0.158	0.339	0.273	0.287	0.768	0.606	0.190	0.175
Ng:Vitesse Vibratoi	10.5	8.00	3.77	3.41	6.61	0.987	1.62	1.10	0.840

- **L'analyse temporelle**

le graphe représente les mesures des vibration dans le palier N°1 en direction horizontale de la pompe d'eau de mer WE.

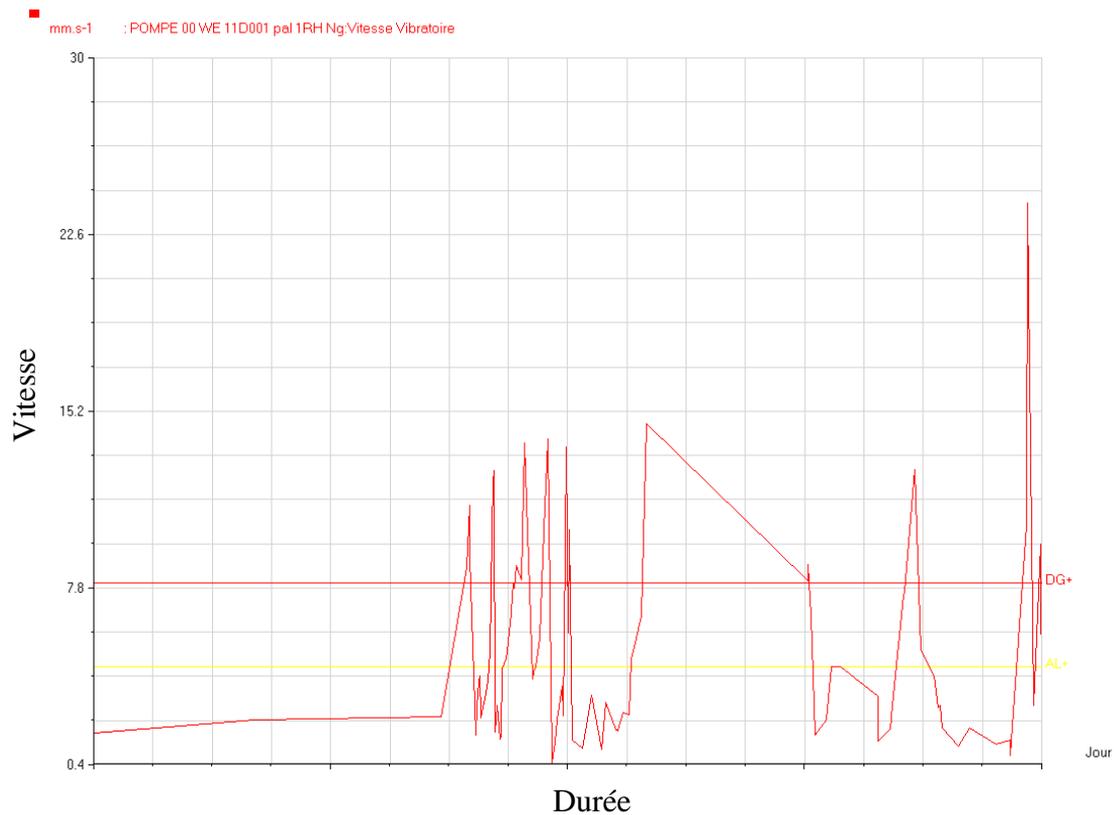


Figure. IV. 7: Analyse temporelle

D'après *la norme ISO10816* (voire l'annexe 03) on remarque qu'on a dans la zone inadmissible

- **Analyse des résultats**

On remarque une augmentation de l'amplitude des vibrations au niveau de palier N°1

Pour déterminer l'origine de ce défaut qui a causé le dépassement la zone inadmissible, On passe à l'analyse fréquentielle pour connaître l'origine de défaut.

- **L'analyse fréquentielle**

Le graphe représente l'état vibratoire du la pompe WE au niveau de palier N°1

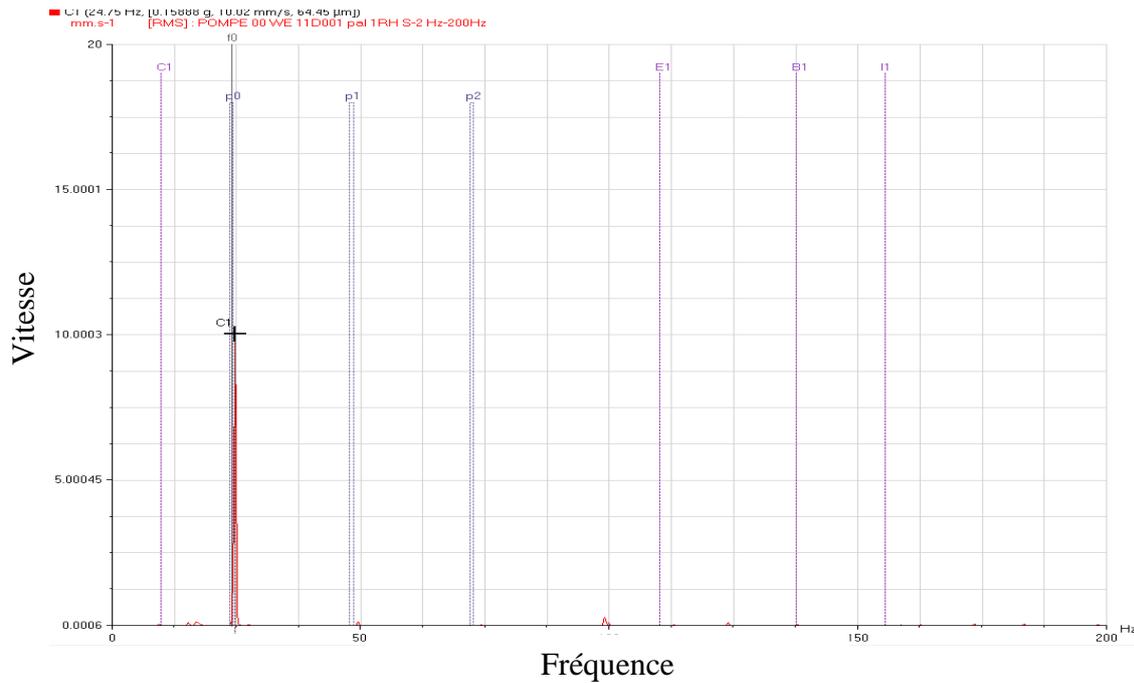


Figure. IV. 8: Analyse fréquentielle

On remarque dans l'analyse fréquentielle la présence d'un pic très important de (10.5 mm/s) à la fréquence de rotation de (24.16 Hz)

- **L'identification de défaut**

la vitesse de rotation (N=1450 tr/min)

$$\omega = 2\pi f_0 \quad \text{IV. 1}$$

$$f_0 = \frac{\omega}{2\pi} \quad \text{IV. 2}$$

On a aussi :

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad \text{IV. 3}$$

$$f_0 = \frac{N}{60} \quad \text{IV. 4}$$

Application :

$$f_0 = \frac{1450}{60} \quad \text{IV. 5}$$

$$f_0 = 24,16 \text{ Hz}$$

La fréquence de palier N°01 de la pompe :

$$f_{\text{palier1}} = 24.16 \text{ Hz}$$

• **Analyse des résultats**

D’après le spectre, on remarque que la fréquence de rotation de la machine égale à la fréquence de palier N°1 :

$$f_0 = f_{palier1}$$

Donc il y a un défaut de balourd.

• **Les causes**

- l’usure des chemises d’arbres
- le déplacement des clavettes

• **Action de maintenance**

Changement des chemises d’arbres et remplacement des clavettes

• **Mesure globale apres l’intervention**

Tableau IV. 2: Mesure globale

VEP	pal 1RH	pal 1 RH1	Pal 2AX	pal 2RH	pal 2RH1	Pal 3AX	Pal 3RH	pal4 AX	pal4 RH2
Ng:Accélération	0.188	0.155	0.458	0.229	0.259	0.454	0.562	0.324	0.415
Ng:Vitesse Vibratoir	2.12	2.55	0.632	1.02	1.36	0.610	0.460	0.495	0.880

• **Analyse fréquentielle apres l’invention**

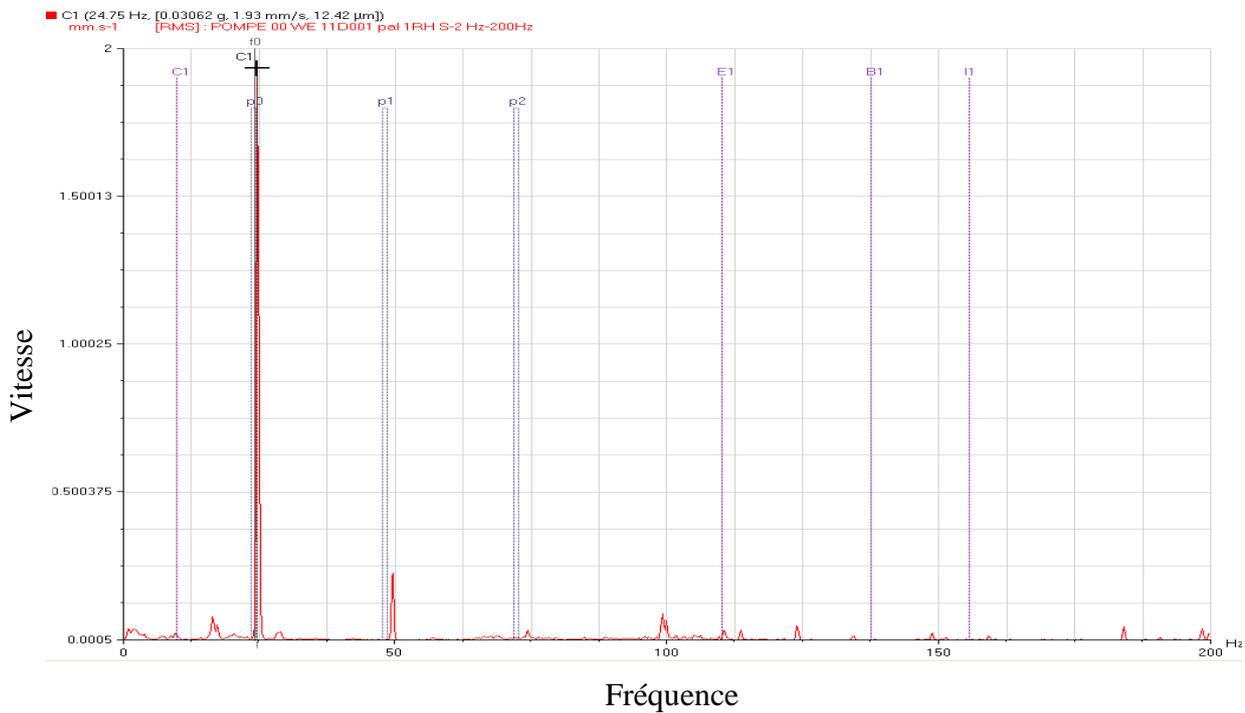


Figure. IV. 9: Analyse fréquentielle

- **Interpretation des résultats**

Nous remarquons que le pic de défaut de balourd de palier N°1 a été réduit de (10.5 mm/s) jusqu'à (1.90 mm/s). ce qui certifie que l'intervention est efficace.

- **Mesure de niveau globale avant l'intervention**

Tableau IV. 3 : Mesure globale

VEP	pal 1RH	pal 1 RH1	Pal 2AX	pal 2RH	pal 2RH1	Pal 3AX	Pal 3RH	pal4 AX	pal4 RH2
Ng: Accélération	0.374	0.273	0.606	0.388	0.465	0.667	0.934	0.436	0.419
Ng: Vitesse Vibratoire	11.9	12.0	3.98	7.62	10.4	2.26	10.3	3.00	11.1

D'après la norme *ISO10816* on remarque que les mesures sont dans la zone inadmissible

- **Analyse temporelle**

Le graphique représente les mesures des vibrations sur le palier 1 de la pompe

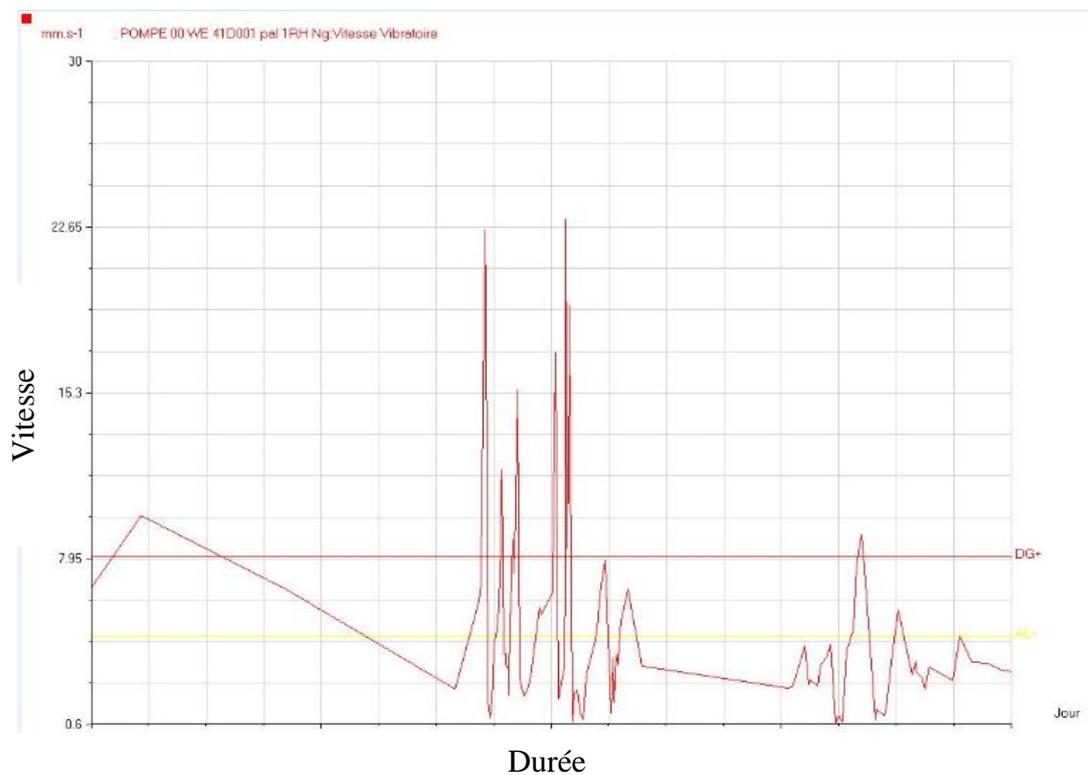


Figure. IV. 10: Analyse temporelle

On remarque une augmentation de l'amplitude des vibrations au niveau de palier N°3. Pour déterminer l'origine de ce défaut qui a causé le dépassement de la zone inadmissible, on passe à l'analyse fréquentielle pour connaître l'origine de défaut.

- **L'analyse fréquentielle**

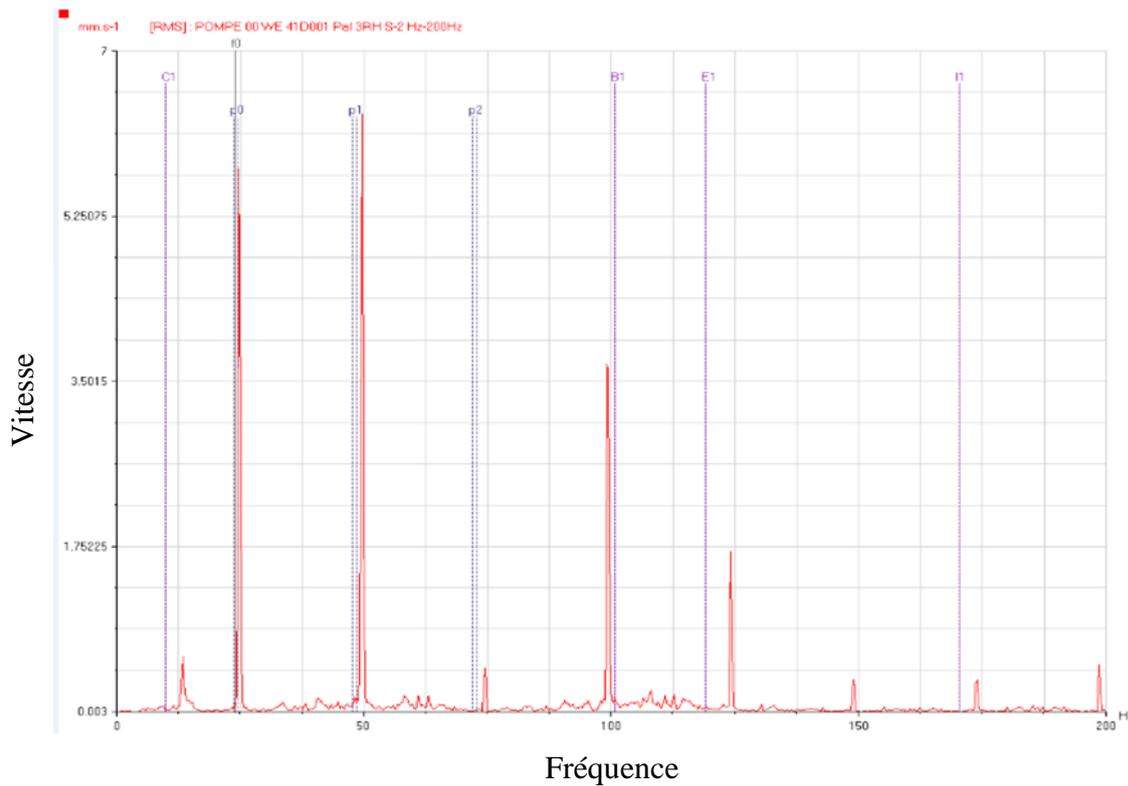


Figure. IV. 11: Analyse fréquentielle

On regarde dans l'analyse spectrale la présence d'un pic très important de (6.35 mm.s-1) à la fréquence de (50 Hz)

- **L'identification de défaut**

La vitesse de rotation ($N=1450$ tr/min)

Fréquence de rotation de la pompe ($f_0=24,16$ Hz)

La fréquence de palier N°03 de la pompe ($f_{\text{palier3}}=50\text{Hz}$)

D'après le spectre, on remarque que la fréquence de rotation de la machine égale à la vitesse de rotation du rotor :

$$f_{\text{palier3}} \approx 2f_0$$

Donc il y a un défaut de désalignement.

- **Les causes**

Réfraction des coussinets.

Usure des chemises d'arbres.

- **Action de maintenance**

Changement des coussinets.

Changement des chemises d'arbres.

- **Mesure globale après l'intervention**

Tableau IV. 4 : Mesure globale

VEP	pal 1RH	pal 1 RH1	Pal 2AX	pal 2RH	pal 2RH1	Pal 3AX	Pal 3RH	pal4 AX	pal4 RH2
Ng: Accélération	0.198	0.193	0.801	0.246	0.248	0.874	0.693	0.342	0.164
Ng: Vitesse Vibratoire	3.75	0.797	0.695	1.88	1.66	0.703	0.979	0.505	0.469

- **L'analyse fréquentielle après l'intervention**

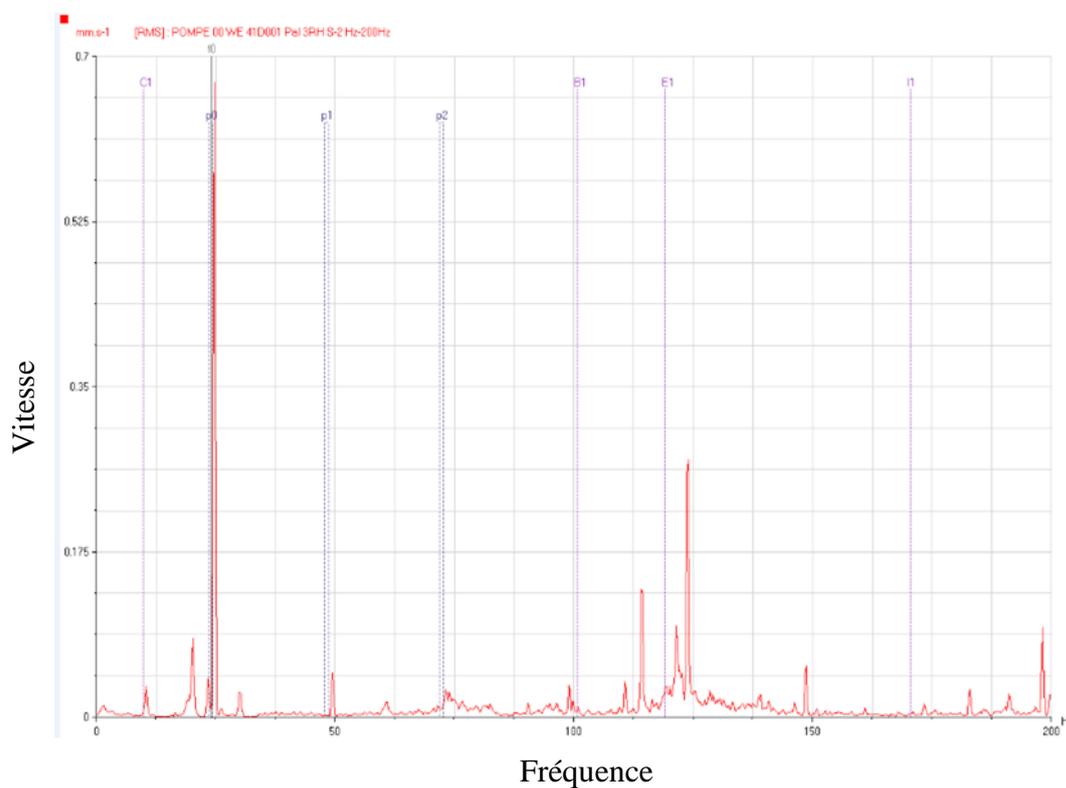


Figure. IV. 12: Analyse fréquentielle

- **Interprétation**

On remarque que le pic de défaut de désalignement de palier 03 a été réduit de (10.3mm/s) jusqu'à (0.7 mm/s), et on remarque aussi la présence d'un signal bon dans tous les pics, ce qui signifie que l'intervention était efficace.

IV.3.2 Pompe de circulation d'eau de mer

IV.3.2.1 Analyse vibratoire

Mesure de niveau globale

Tableau IV. 5 : Mesure globale

VEP	pal 1RH	Pal 2AX	pal 2RH	Pal 3AX	Pal 3RH	Pal3 RH1	pal4 RH1	pal4 RH2
Ng:Accélération	0.222	0.190	0.561	0.158	0.132	0.114	0.145	0.179
Ng:Vitesse Vibratoire	1.55	0.359	0.565	0.934	1.88	2.12	1.23	1.25

D'après la norme *ISO 10816* les résultats obtenus sont dans la zone « bon ».

- Analyse temporelle

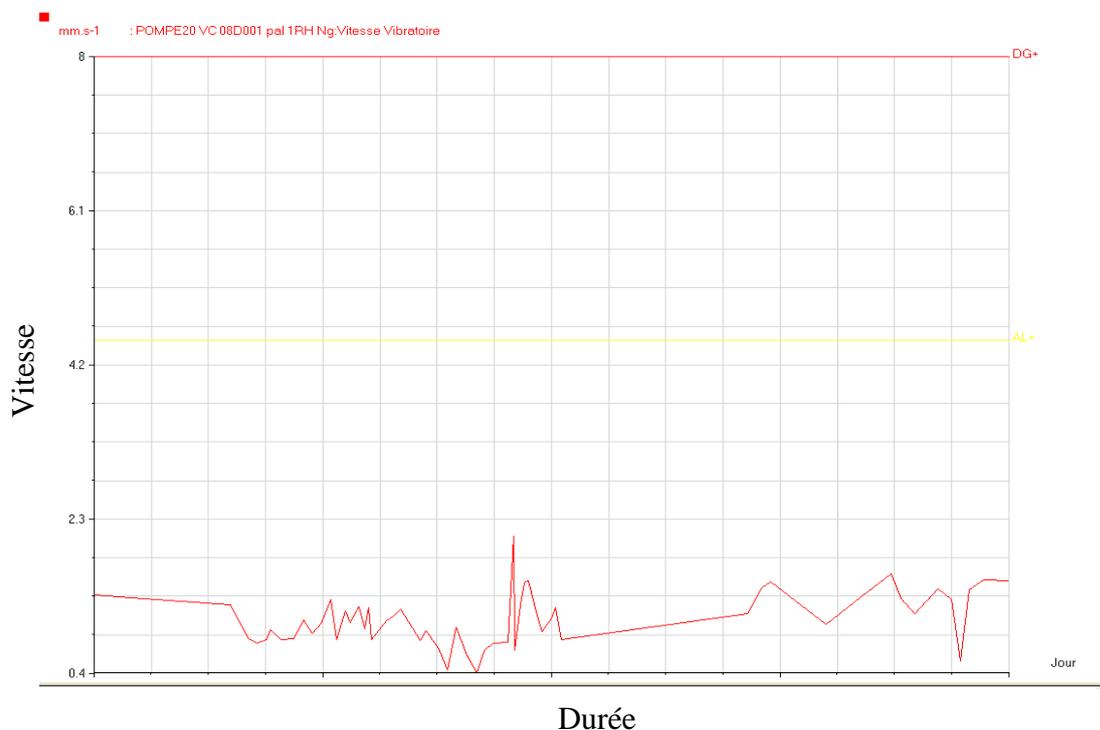


Figure. IV. 13: Analyse temporelle

Le graphe indique que les mesures au niveau de pal 1RH ne dépassent pas le seuil d'alarme et ils sont dans la zone « bon » pendant toute la période de mesure.

IV.3.2.2 Thermographie infrarouge

Dans la pompe de circulation d'eau de mer on applique la technique de la thermographie infrarouge au niveau de palier supérieur de la pompe et au niveau de moteur.

Les mesures de température est mensuel.

- Les mesures de température
 - Au niveau de palier supérieur

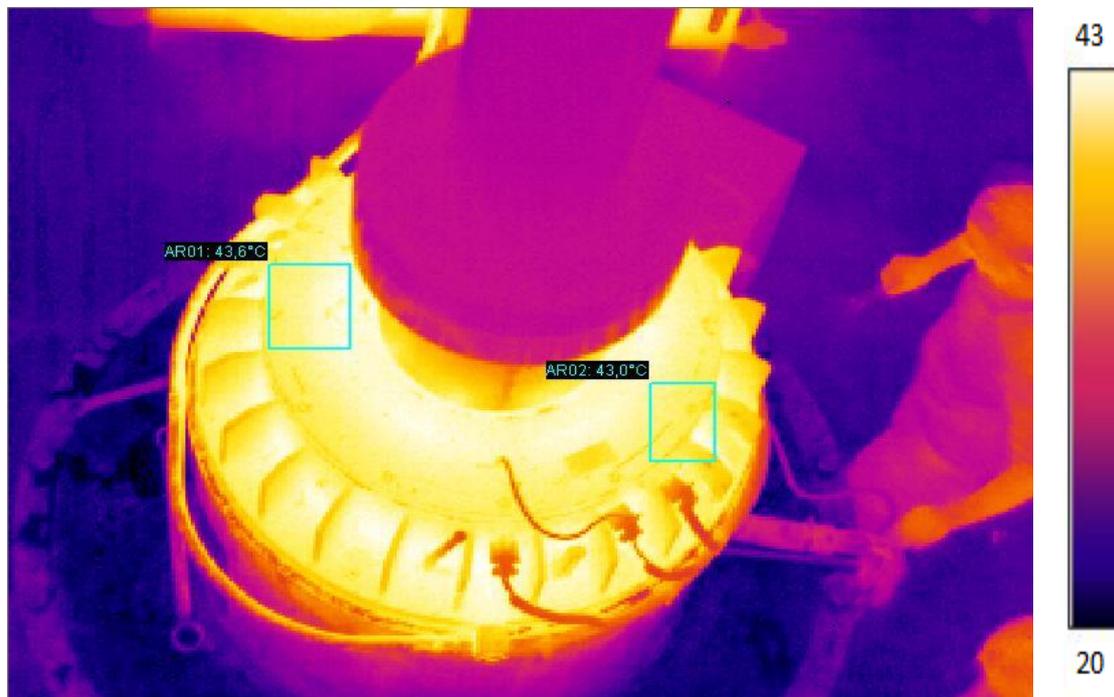


Figure. IV. 14: Palier supérieur

- Au niveau de moteur

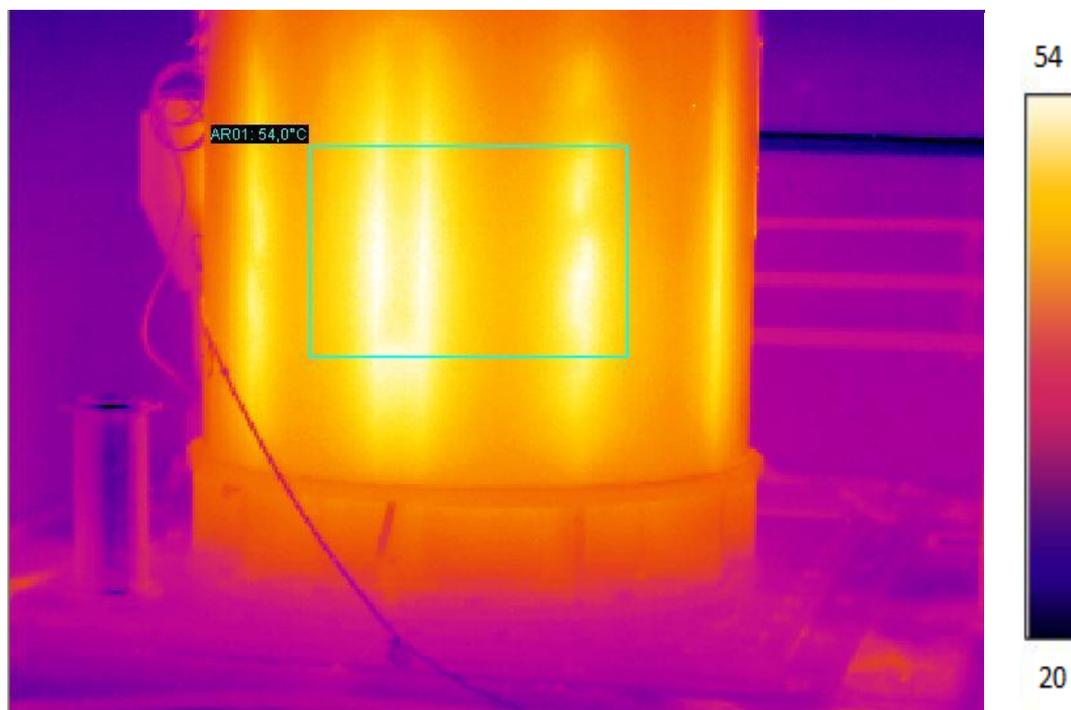


Figure. IV. 15: Moteur de la pompe

La température de palier supérieur est 43.6°C.

La température de moteur est 54°C.

Après l'application de l'analyse thermographie infrarouge par la camera AGEMA 570, les résultats indique que la température de palier supérieur de la pompe de circulation d'eau de mer et le moteur sont normal.

IV.3.2.3 Analyse d'huile de lubrification

Le palier supérieur de la pompe est lubrifié par l'huile TORBA 32, l'analyse d'huile se faite par l'analyseur de contamination CM20, le mode utilisé au centrale thermique est le mode ISO, La norme *ISO 4406* définit le nombre de particules par 100 ml de l'huile.

Les paliers lisses sont classés par ISO 17/15/12.

- Le test de l'huile TORBA 32

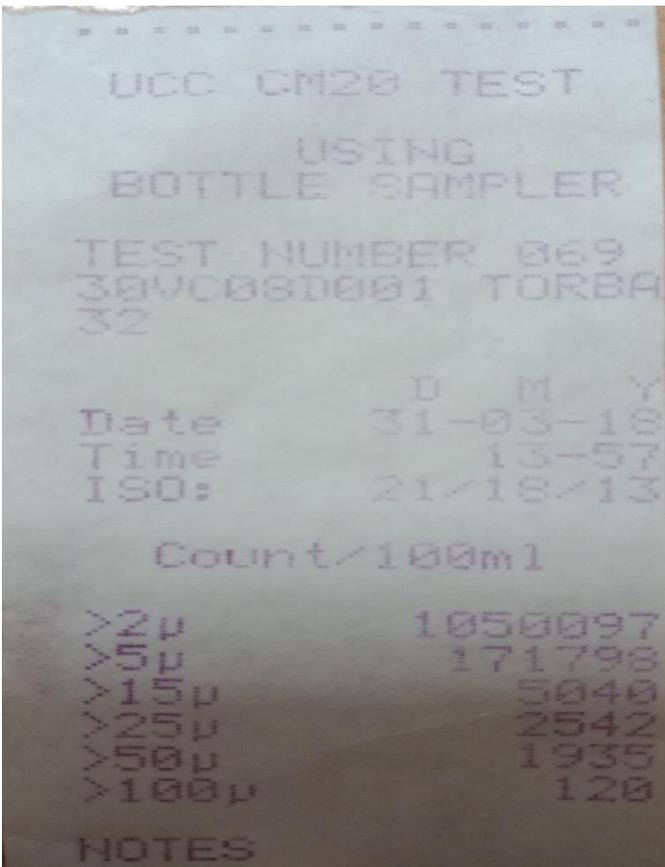
		<p>UCC CM20 TEST USING BOTTLE SAMPLER TEST NUMBER 069 30VC08D001 TORBA32 DATE : 31-03-18 TIME :13-57 ISO :21/18/13</p> <p>Count/100 ml</p>
2µm	1050097	
5µm	171798	
15µm	5040	
25µm	2542	
50µm	1935	
100µm	120	

Figure. IV. 16: Rapport de test

- **Interprétation des résultats**

Le rapport de test nous montre que le nombre de particules supérieures à 2 μ m est de 1050097 particules correspondent à ISO 21 et le nombre de particules supérieures à 5 μ m est de 171798 particules correspondent à ISO 18 et 5040 particules supérieures à 15 μ m correspondent à ISO 13.

D'après la classification des paliers lisses par ISO 17/15/12, On observe qu'il y a une augmentation des particules au niveau de toutes les tailles (2 μ m, 5 μ m, 15 μ m).

- **Les causes de contamination de lubrifiant**

- Corrosion importante au niveau du palier supérieur.
- Trace d'usure sur le coussinet et présence de corrosion.

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté le matériel utilisé pour faire les analyses de maintenance conditionnelle. On a utilisée OneProd pour l'analyse vibratoire, AGEMA570 pour la thermographie infrarouge et CM20 pour l'analyse des huiles.

D'après les résultats obtenus à partir l'application des outils de maintenance conditionnelle (analyse vibratoire, thermographie infrarouge et l'analyse d'huile), on peut conclure que la pompe d'eau de mer WE génère des vibrations élevées suite à certains défauts qui se résumant :

- Défaut de balourd
- Défaut de désalignement

Dans le cas de l'expertise de la pompe de circulation d'eau de mer VC, aucune anomalie n'est détectée.

Les résultats de l'analyse par thermographie infrarouge n'indiquent pas une élévation de la température au niveau de palier supérieur et coté moteur.

L'huile de lubrification de la pompe de circulation d'eau de mer VC a un problème d'augmentation des particules solide probablement causée par un degré d'usure élevé dans les pièces de la pompe donc il y a un problème dans le système de lubrification.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le stage pratique effectué au niveau de la centrale thermique de Cap-Djinet, il nous a permis d'acquérir et d'approfondir nos connaissances théoriques afin de les mettre en pratique.

La pompe de d'eau de mer WE et la pompe de circulation d'eau de mer VC sont des équipements importants pour le processus de production de l'énergie électrique au niveau de centrale thermique de Cap-Djinet, tout arrêt de ces pompes influe sur la production, et pour éviter les arrêts inattendu il faut appliquer une surveillance pour suivi l'état de ces pompes.

La maintenance préventive conditionnelle a pour principe la surveillance de fonctionnement du bien. Cette surveillance des équipements nous a permet de suivre la dégradation et d'appréhender tout dysfonctionnement lors de sa fonction. On peut donc diminuer les coûts, si toutefois le coût de la surveillance reste limité, la surveillance des équipements est assurée par des techniques d'investigation telle que l'analyse vibratoire, la thermographie infrarouge et l'analyse des huiles. Le diagnostic est un outil pour localiser et identifier le défaut d'après des symptômes.

Dans ce travail, on a utilisé trois appareils de mesures, un accéléromètre OneProd, une caméra thermographie infrarouge AGEMA 575 et un analyseur de contamination CM20, les résultats obtenus nous a permet de connaître l'état des pompes et identifier les défauts.

Il en ressort de part cette expertise par des méthodes modernes et fiables, la bonne santé de nos équipements même si certains dysfonctionnements sont notés mais vite réglés.

L'application de la maintenance conditionnelle dans cette industrie de base est plus que souhaitable, même si le cout de cette maintenance est élevé, l'augmentation de la disponibilité des machines, qui influe directement sur le rendement ce qui nous laisse conclure que les gains couvrent largement les dépenses de la maintenance.

Néanmoins, afin de rester dans la dynamique de la bonne politique de la gestion de la maintenance, il est souhaitable d'améliorer les différentes techniques d'analyses et en les modernisant en introduisant des appareillages de bonnes qualités afin de fiabiliser les résultats.

On peut résumer nos recommandations en 03 parties

- faire une étude d'optimisation en utilisant les théories de Bayes ou logique floue afin de mutualiser les moyens de l'entreprise,
- étude sur l'installation d'un atelier dédié à la révision des équipements de l'entreprise (banc d'essais sur le tarage des pompes, équilibrage des arbres, étalonnage des différents appareillages de mesures, équipements de réalisation de certaines pièces, équipements de traitement thermochimique des matériaux...),
- étude sur la possibilité d'améliorer la gestion financière du service maintenance, afin d'asseoir ou de changer la politique de maintenance adoptée par l'entreprise.

Références bibliographiques

Références bibliographiques:

- [1] Document de l'entreprise [présentation ca-j]
 - [2] Ahmad Nourbakhsh, André B Jaumotte, Springer_2008 Turbopumps and Pumping Systems, 183 pages.
 - [3] Pompe volumétrique, ENPSSPM formation industriel_IEP Training 25/07/2005.
 - [4] Jean POULAIN, Technique de l'ingénieur_B4 300, Pompe roto dynamique Présentation description.
 - [5] les pompes et les stations de pompage société grenobloise d'étude et d'application hydraulique saugreah novembre 1978
 - [6] Jean POULAIN, Technique de l'ingénieur_B4 304, Pompe roto dynamique Projet d'une pompe.
 - [7] Les pompe, totale manuel de formation EXP-PR-EQ 070 révision 0.1, dernière révision 13/04/2007.
 - [8] Pompe de circulation principale montage démontage remontage «document de entreprise».
 - [9] Instruction par la mise en route et l'entretien WUJ et WUC «document de entreprise».
 - [10] Norme européenne, norme française, NF EN 13306, juin 2001
 - [11] François Monchy, DUNOD_ 2010, Maintenance méthodes et organisations, 3e édition, 340 pages
 - [12] Alain Boulenger, Christian Pachaud, Dunod_ 1998, Diagnostic vibratoire en maintenance préventive, 320 pages.
 - [13] Foued LANDOLSI, Cours de techniques de surveillance, Surveillance des machines par analyse vibratoire.
 - [14] Alain Boulenger, Christian Pachaud, Dunod_2009 Aide-mémoire Surveillance des machines par analyse des vibrations, 319 pages.
 - [15] Formation de Bruel & kjar « vibration générale ».
 - [16] Jean Héng, DUNOD _ 2002, Pratique de la maintenance préventive, 385 pages.
 - [17] Dominique PAJANI, Luc AUDAIRE, Techniques de l'Ingénieur_ R2 741, Thermographie Technologies et applications.
 - [18] La thermographie infrarouge en maintenance prédictive, cas du Centre hospitalier Saint-Joseph-Espérance.
 - [19] Gilles Zwingelstein, 1995, Diagnostic des défaillances. Théorie et pratique pour les systèmes industriels, 601 pages.
-

Références bibliographiques

[20] Refazine Karima, Fadoul Z'hira, 2013, maintenance d'une pompe de transfert d'eau de mer étude de cas de l'arbre de la pompe de la centrale thermique de Ras Djenat par analyse vibratoire, thèse Master, Université M'Hamed Bouguera- Boumerdes.



Annexes

Annexe 01

Nomenclature de pompe de circulation d'eau de mer VC

1	Boulon	39	Demi-joint rigide
2	Garniture	40	Languette
3	Corps extérieur en 2 pièces	41	Vis
4	Palier de guide on caoutchouc	42	Languette
5	Douille d'usure	43	Anneau de correction en 2 pièces
6	Corps redresseur en 2 pièces	44	Boulon étalonné
7	Moyeu de la roue	45	Vis
8	Vis	46	Goujon ave écrous
9	Fond	47	Presse garniture en 2 pièces
10	Vis	48	Vis
11	Vis	49	Garniture
12	Garniture	50	garniture étanchéité
13	Vis	51	
14	Siège roue	52	Douille d'usure
15	Goupille	53	Garniture
16	Pale pour roue	54	Garniture
17	Ecrou de blocage des pales	55	Vis
18	Languette	56	Vis
19	Bouchon	57	Plaque soutien du moteur
20	Garniture	58	Moteur
21	Ogive	59	Joint
22	Garniture	60	Plaque de fondation
23	Vis	61	Vis
24	Anneau de la fondation inferieur	62	Palier de guide
25	Garniture	63	Patin
26	Boulon	64	Grain mobile
27	Tige	65	Tube souple
28	Conduite	66	Plaque
29	Joint de dilatation	67	Vis
30	Garniture	68	Rondelle

31	Garniture	69	Ressort a tresse
32	Contre-arbre	70	Anneau fixe
33	Boulon étalonné	71	Entretoise
34	Rondelle	72	Protection
35	Douille	73	Vis
36	Anneau de correction en 2 pièces	74	Boulon
37	Rondelle	75	Anneau de montage
38	Arbre	76	Anneau de correction

Annexe 02

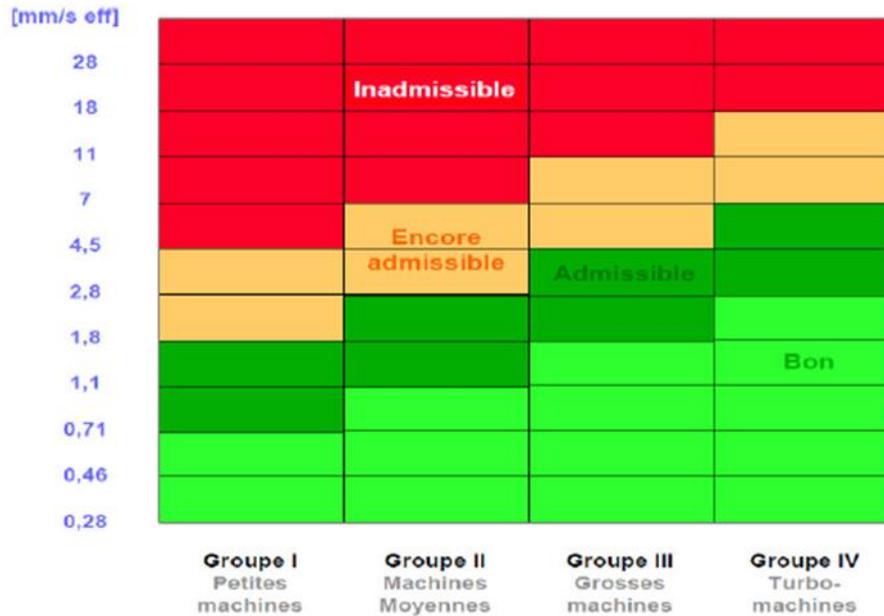
Nomenclature de pompe d'eau de mer WE

repère	nombre	Désignation	Repère	nombre	désignation
1	1	Crépine (filtre)	37	12	Clavette
2	6	Vis à six pans	38	6	Accouplement d'arbre
3	1	Vis sans tête	39	12	Demi-coquille d'accoupe
4	1	Ecrou d'impulseur	40	4	Tuyau de colonne
5	1	Douille d'écartement	41	5	Arbre d'entraînement
6	3	Clavette	42	1	Tuyau de colonne
7	2	Douille de palier	43	11	Joint torique
8	1	Chemise d'arbre	44	12	Vis à six pans
9	1	Corps d'aspiration	45	72	Plaque de blocage
10	1	Impulser, premier étage	46	8	Ecrou a six pans
11	1	Douille de palier	47	8	Goujon
12	1	Chemise d'arbre	48	1	Boite à garniture
13	1	Impulser	49	1	Arbre de pompe
14	3	Joint plan	50	1	Tête de refoulement
15	4	Bague d'usure	51	1	Joint plans
16	3	Bague d'usure	52	2	Support de palier
17	3	Clavette	53	2	protège accouplement
18	2	Douille de palier	54	1	Anneau en V
19	24	Vis a six pans	55	1	Bouchon
20	1	Chemise d'arbre	56	4	Indicateur de niveau d'huile
21	2	Corps redresseur	57	4	Goujon
22	1	Impulser	58	4	Anneau en V a six pans
23	1	Chemise d'arbre	59	1	Couvercle de palier
24	12	Ecrou a six pans	60	1	Anneau en V
25	12	Vis à six pans	61	1	Ecrou d'arbre
26	1	Arbre d'impulser	62	2	Vis à six pans creux
27	1	Tuyau de colonne	63	1	Ecrou de blocage
28	5	Arbre d'entraînement	64	1	Plaque de blocage
29	5	Logement de palier de	65	1	Corps de palier-butée

		colonne			
30	11	Joint torique	66	1	Joint torique
31	60	Ecrou a six pans	67	2	Roulement a billes a disposition oblique
32	72	Plaque de blocage	68	1	Event
33	5	Douille de palier	69	1	Chemise de palier
34	60	Vis à six pans	70	1	Clavette
35	5	Chemise d'arbre	71	1	Clavette
36	12	Vis de blocage			

Annexe 03

La norme ISO 10816



Groupe	Description
A	Les vibrations des machines nouvellement mises en service se situent normalement dans cette zone
B	Les machines dont les vibrations se situent dans cette zone sont normalement considérées comme acceptables pour un service de longue durée sans restriction
C	Les machines dont les vibrations se situent dans cette zone normalement considérées comme ne convenant pas pour un service de longue durée en continu. En générale, la machine peut fonctionner dans ces conditions pendant une durée limitée jusqu'à ce que l'occasion se présente pour prendre les mesures correctrices qui s'imposent
D	Les valeurs de vibrations qui entrent dans cette zone sont considérées comme suffisamment importantes pour endommager la machine

Annexe 04

Valeur de contamination ISO

Nombre de tranche	Nombre de particules par 100 ml	
	Supérieur a	Jusqu'à et y compris
1	1	2
2	2	4
3	4	8
4	8	16
5	16	64
6	64	130
7	130	250
8	250	500
9	500	1×10^3
10	1×10^3	2×10^3
11	2×10^3	4×10^3
12	4×10^3	6×10^3
13	6×10^3	8×10^3
14	8×10^3	16×10^3
15	16×10^3	32×10^3
16	32×10^3	64×10^3
17	64×10^3	130×10^3
18	130×10^3	250×10^3
19	250×10^3	500×10^3
20	500×10^3	1×10^6
21	1×10^6	2×10^6
22	2×10^6	4×10^6
23	4×10^6	8×10^6
24	8×10^6	16×10^6
