

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MHAMED BOUGARA DE BOUMERDÉS



Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

Diagnostic des défauts d'une pompe eau de mer (pompe axiale) par analyse vibratoire

Présentée par :

 GAHAR ABDELGHANI
 NEGGAD HOCINE

Promoteur TOUFIK DJEDID

Encadreur SAMIR BOUSSALEM

Année universitaire : 2022/2023

Résumé

Le diagnostic des défauts mécaniques de la machine tournante par l'analyse des vibrations a considérablement évolué ces dernières années grâce aux techniques avancées de traitement du signal. Ces techniques permettent maintenant de détecter à un stade précoce l'existence d'un défaut, d'identifier sa nature, de déterminer sa gravité et de suivre son évolution. Ce travail s'inscrit dans la thématique de la surveillance et diagnostic des défauts mécaniques. Ce travail présente les résultats d'une étude expérimentale sur l'application des mesures vibratoires d'une pompe eau de mer par analyse spectrale. L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence des paramètres suscités sur la sensibilité des indicateurs scalaires, qui sont des outils d'aide au diagnostic des défauts sur la pompe

Mots clés : diagnostic, vibration, analyse vibratoire, pompe eau de mer (CWP), indicateurs, défaut des machines tournantes.

Abstract

The diagnosis of mechanical faults in rotating machinery by vibration analysis has evolved considerably in recent years thanks to advanced signal processing techniques. These techniques now make it possible to detect at an early stage the existence of a defect, to identify its nature, to determine its severity and to monitor its evolution. This work is part of the theme of monitoring and diagnosis of mechanical faults. This work presents the results of an experimental study on the application of vibration measurements of a seawater pump by spectral analysis. The objective of this work is to study the influence of the parameters raised on the sensitivity of the scalar indicators, which are tools to help diagnose faults on the pump.

Keywords: diagnosis, vibration, vibration analysis, seawater pump (CWP), indicators, rotating machine faults

ملخص

تطور تشخيص الأعطال الميكانيكية في الآلات الدوارة عن طريق تحليل الاهتزاز بشكل كبير في السنوات الأخيرة بفضل تقنيات معالجة الإشارات المتقدمة. تتيح هذه التقنيات الآن الكشف في مرحلة مبكرة عن وجود خلل ما، وتحديد طبيعته، وتحديد شدته ومراقبة تطوره. هذا العمل جزء من موضوع مراقبة وتشخيص الأعطال الميكانيكية.

يعرض هذا العمل نتائج دراسة تجريبية لتطبيق قياسات اهتزاز مضخة مياه البحر بطريقة التحليل الطيفي.

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير المعلومات المسجلة على حساسية المؤشرات العددية، وهي أدوات تساعد في تشخيص الأعطال المسجلة على المضخة.

الكلمات المفتاحية: التشخيص، الاهتزاز، تحليل الاهتزازات، مضخة مياه البحر، المؤشرات، أعطال الآلة الدوارة.

Remerciement

Le grand remerciement revient à Dieu qui nous a donné la force et le courage à réaliser et terminer ce modeste travail, on tient à remercier vivement notre promoteur Mr Djedid Toufik pour toute l'aide qui nous a apportée, pour sa patience et nous encouragement à finir ce mémoire et encadreur Mr. Bousalem Samir pour nous avoir encadré, encouragé et conseillé durant la période du mémoire. on remercie tout le personnel Enseignant du département génie mécanique, Par la même occasion, on remercie vivement toute la famille pour leur soutien tout au long de notre parcours universitaire et nos amie sans exception, ainsi que tous les personnes qui de près ou de loi, ont contribué à la réalisation de ce travail. Nous tenons aussi à remercier L'ensemble du personnel de la centrale de Ras Djinat de Boumerdes et particulièrement les membres du département diagnostic vibratoire

DEDICACE

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire

A mes amis pour leur appui et leur encouragement

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien,

Merci d'être toujours là pour moi.

NEGGAD HOCINE

DEDICACE

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

A mes amis pour leur appui et leur encouragement

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien,

Merci d'être toujours là pour moi.

GAHAR ABDELGHANI

Sommaire

Résumé	
Remerciement	
DEDICACE	
Introduction générale.....	12
I. CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA CENTRALE A CYCLE COMBINE	
RAS-DJINET	14
I.1 Introduction.....	14
I.2 Historique	16
I.3 Principaux équipements mécaniques de la centrale électrique	19
I.3.1 TURBINE À GAZ :	19
I.3.2 Générateur de vapeur à récupération de chaleur HRSG :	20
I.3.3 TURBINE À VAPEUR (ST) :	21
I.3.4 Pompe d'alimentation en eau de la chaudière :	22
I.3.5 Pompe d'extraction de condensat :	22
I.3.6 Condenseur (50MAG10AC001) :	22
I.3.7 Éjecteur d'air à jet de vapeur	23
I.3.8 Chaudière auxiliaire.....	23
I.3.9 Réservoirs de stockage de mazout.....	23
I.3.10 Station de pompage.....	23
I.3.11 Station d'électro-chloration	24
I.3.12 Station de dessalement	24
I.3.13 Station de déminéralisation.....	24
I.3.14 Station d'hydrogène	24
I.4 Principaux équipements électriques de la centrale électrique :.....	24
I.4.1 Générateur	24
I.4.2 Disjoncteur du générateur.....	25
I.4.3 Générateur gazoil à démarrage à froid (BSDG)	27
I.4.4 Fonctionnement du circuit de localisation dans la centrale	27
I.4.5 Salle de commande :	28
I.5 Conclusion :	29
II. CHAPITRE II : ETUDE TECHNOLOGIE D'UNE POMPE EAU DE MER	
(POMPE AXIALE)	31
II.1 Introduction :	31
II.1.1 Définition :	31
II.1.2 Description générale :	32

II.2	Construction :	32
II.2.1	Pièces du corps de la pompe :	33
II.2.2	Pièces rotatives :	36
II.2.3	Autres pièces :	37
II.3	Fonctionnement de la pompe CWP :	42
II.4	Caractéristiques techniques de la pompe d'eau de mer (CWP) :	43
II.4.1	La plaque signalétique de la pompe :	43
II.5	Les avantages et les inconvénients	44
II.5.1	Les avantages	44
II.5.2	Les inconvénients	44
II.6	Conclusion :	44
III.	CHAPITRE III : VIBRATIONS DES MACHINES TOURNANTES	46
III.1	Généralités sur la vibration :	46
III.1.1	Introduction :	46
III.1.2	Définition d'une vibration :	46
III.2	Caractéristiques des vibrations :	47
III.2.1	Fréquence :	47
III.2.2	Amplitude :	47
III.2.3	Nature d'une vibration :	48
III.3	Les grandeurs de mesure :	50
III.3.1	Déplacement :	50
III.3.2	Vitesse :	50
III.3.3	Accélération :	50
III.4	Analyse vibratoire :	50
III.4.1	Analyse vibratoire :	50
III.4.2	Capteur des vibrations :	52
III.4.3	Les points de mesure :	53
III.4.4	Stratégie de mesure :	54
III.5	Défauts des machines tournantes :	56
III.5.1	Balourd :	56
III.5.2	Les roulements :	59
III.5.3	Le désalignement :	63
III.5.4	Des engrenages : [11]	64
III.5.5	Jeux-usure :	65
III.5.6	Défauts électriques :	66
III.6	Conclusion :	67

IV. CHAPITRE IV : PARTIE EXPERIMENTALE.....	69
IV.1 Représentation de l'appareil (VIBROTEST 60) :.....	70
IV.2 Avantage du VIBROTEST 60 :.....	71
IV.3 Diagnostique vibratoire de la pompe :	72
IV.3.1 Niveau globale :	72
IV.4 Analyse spectrale :.....	75
IV.4.1 Les spectres :.....	75
IV.5 Conclusion.....	80
Counclusion générale.....	81

Table des figures

Chapitre 1 :

Figure I.1 : Présentation de la centrale Ras Djinet 2 sur site	13
Figure I.2 : Vue en section d'un cycle combiné	13
Figure I.3 : Localisation de la centrale électrique de Ras Djinet 2	15
Figure I.4 : Schéma synoptique de la centrale électrique à cycle combiné (cap Djanet) [2]..	16
Figure I.5 : Turbine à gaz (Siemens modèle SGT5-4000F).....	18
Figure I.6 : Générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG).....	19
Figure I.7 : Turbine à vapeur (modèle Siemens SST5-3000)	20
Figure I.8 : schéma des équipements du générateur	23
Figure I.9 : Transformateur principal.....	24
Figure I.10 : Salle de commande dans la centrale électrique à cycle combiné Ras Djinet 2..	28

Chapitre 2:

Figure II.1: pompe CWP.....	29
Figure II.2 : Schéma de la pompe CWP	30
Figure II.3 : Cloche d'aspiration	31
Figure II.4 : Cuvette d'évacuation.....	32
Figure II.5 : Colonnes de refoulement.....	32
Figure II.6 : Colonne de support.....	33
Figure II.7 : Tête d'évacuation	33
Figure II.8 : Tête d'évacuation	34
Figure II.9 : Arbre.....	34
Figure II.10: Manchon cylindrique.....	35
Figure II.11: Palier de butée	36
Figure II.12 : Joint de dilatation	36
Figure II.13 : Presse-étoupe	37
Figure II.14 : Indicateur de pression (IP).....	38
Figure II.15 : disjoncteur de la pompe.....	39
Figure II.16 : Tableau de paramètre de la pompe	41

Chapitre 3:

Figure III.1 : Mouvement d'une masse suspendue à un ressort	45
Figure III.2 : Vibration harmonique	46
Figure III.3 : Vibration périodique	47

Figure III.4 : Vibration apériodique	47
Figure III.5 : Exemple de diagnostic [8]	49
Figure III.6 : Instrumentations pour l'analyse vibratoire [8].....	51
Figure III.7 : Points de mesure [11].....	52
Figure III.8 : mesurage on-line.....	53
Figure III.9 : mesurage off-line	53
Figure III.10 : États de la machine en fonction de la vitesse de vibration	54
Figure III.11 : Défaut de balourd.....	55
Figure III.12 : Image vibratoire d'un défaut de balourd.....	55
Figure III.13 : Différents types de balourd	57
Figure III.14: Spectre de défaut du balourd.....	58
Figure III.15 : Éléments composant un roulement à billes.....	59
Figure III.16 : Schéma d'un roulement	60
Figure III.17 : spectre de défaut de la bague extérieur	61
Figure III.18 : spectre de défaut de la bague intérieur.....	61
Figure III.19 : spectre de défaut d'éléments roulant.....	62
Figure III.20 : Défauts désalignement	62
Figure III.21 : Spectre de défaut de désalignement [14]	63
Figure III.22 : Spectre de défauts d'engrenage	64

Chapitre 4:

Figure IV.1 : VIBROTEST 60.....	70
Figure IV.2 : La fenêtre principale du logiciel.	71
Figure IV.3 : Schématisation d'une VIBROTEST 60.	72
Figure IV.4 : Niveau globale en RMS	73
Figure IV.5 : Niveau global en RMS pointu sur 05/04/2022.....	73
Figure IV.6 : Niveau global en RMS pointu sur 26/06/2022.....	74
Figure IV.7 : Niveau global en RMS pointu sur 06/02/2023.....	74
Figure IV.8 Spectre 1 Palier AV-moteur (H-V-A)	75
Figure IV.9 Spectre 2 Palier AV-moteur (H-V-A)	76
Figure IV.10 Spectre 3 Palier AV-moteur (H-V-A)	76
Figure IV.11 Spectre 1 Palier AR- moteur (A-H-V).....	77
Figure IV.12 Spectre 2 Palier AR- moteur (A-H-V).....	77
Figure IV.13 Spectre 3 Palier AR- moteur (A-H-V).....	78

Figure IV.14 Spectre 1 Palier AV-pompe (H-V-A)	78
Figure IV.15 Spectre 2 Palier AV-pompe (H-V-A)	79
Figure IV.16 Spectre 3 Palier AV-pompe (H-V-A)	79

Abréviations

CCPP : Combined cycle power plant (central électrique à cycle combiné).

HRSG : Générateur de vapeur a récupération de chaleur.

GT : Turbine a gaze.

ST : Turbine à vapeur.

UAT : Unit auxiliaire transformé (unité de transformation auxiliaire).

GIS : Gaz insulte switcher (appareillage isolé au gaz).

NGSS : Net génération science standards (norme scientifique de nouvelle génération).

NG : Gaz naturel.

GTG : Turbogénérateur à gaz.

STG : turbo générateur à vapeur.

IP : Pression intermédiaire.

HP : Haute pression.

LP : Basse pression.

BT : Base tension

AC : Amplitude crête

A_{cc} : Amplitude crête à crête

A_{eff} : L'amplitude efficace

RMS : Root Mean Squar

Introduction Générale

Les machines tournantes sont des appareils essentiels dans les systèmes industriels et la production d'énergie. La disponibilité et la fiabilité des machines sont cruciales pour garantir une alimentation et une transmission de puissance fiables. Une défaillance prématurée peut entraîner des pertes économiques substantielles.

Dans ce contexte, la surveillance et la diagnostic des machines tournantes sont devenus un outil efficace pour détecter de façon précoce les défauts et en suivre l'évolution dans le temps

La maintenance des machines nécessite une bonne compréhension des phénomènes liés à l'apparition et au développement des défauts. Détecter l'apparition d'un défaut à un stade précoce et suivre son évolution présente un grand intérêt industriel

L'analyse vibratoire est très importante dans le domaine de la surveillance et du diagnostic des organes mécaniques dans les machines tournantes. Elle extrait des informations concernant l'état de fonctionnement de ces dernières en utilisant des méthodes du traitement du signal

Notre travail est réparti en 4 chapitres, dont le premier décrit d'une manière générale la centrale électrique à cycle combiné de Ras Djinet et le deuxième chapitre consiste à l'étude technologique de pompe eau de mer, le chapitre trois est consacré aux vibrations et défauts des machines tournantes, ensuite le quatrième chapitre présente la partie expérimentale de la pompe, enfin notre travail se termine par une conclusion générale

Chapitre I

Présentation de la centrale à cycle combiné

I. Chapitre I Présentation de la centrale à cycle combiné Ras-Djinet

I.1 Introduction

La Société Algérienne de production de l'électricité « MAÎTRE D'OUVRAGE » a construit une centrale électrique de capacité de 1131,1 MW à cycle combiné alimentée par le gaz naturel, adjacente à la centrale électrique existante de 4x176 MW à Ras Djinet, située à environ de 3 km au sud du village de Ras-Djanet et à 77 km par route à l'est d'Alger, en Algérie.

La centrale est située entre le rivage de la mer Méditerranée et le carrefour entre l'autoroute Bordj-Ménaïl (CW123) et la route côtière (RN24).

DAEWOO E&C « CONSTRUCTEUR » a été nommé prestataire, ayant la meilleure offre suite à l'évaluation des appels d'offres par la Société Algérienne de Production de l'électricité, des services de l'ingénierie, d'achat et de construction (EPC) pour la construction et la mise en service de la centrale à cycle combiné d'une capacité de 1131,1 MW à Ras Djinet. La centrale électrique à cycle combiné RAS-DJINET de puissance de 1131,1 MW se compose principalement de trois modules de centrale électrique à cycle combiné à arbre- simple (CCPP) Chaque module de la CCPP comporte :

- Une turbine à gaz de modèle : SIEMENS SGT5-4000F.
- Un générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG).
- Une turbine à vapeur de modèle : SIEMENS SST5-3000 H-IL.
- Un Condenseur par surface à refroidissement par eau.
- Un Générateur commun refroidi par de l'hydrogène de modèle : SIEMENS SGEN 5-2000 H).

Les turbines à gaz sont conçues pour brûler le gaz naturel comme le combustible de base et le carburant diesel comme le combustible de secours.



Figure I.1 Présentation de la centrale Ras Djinet 2 sur site

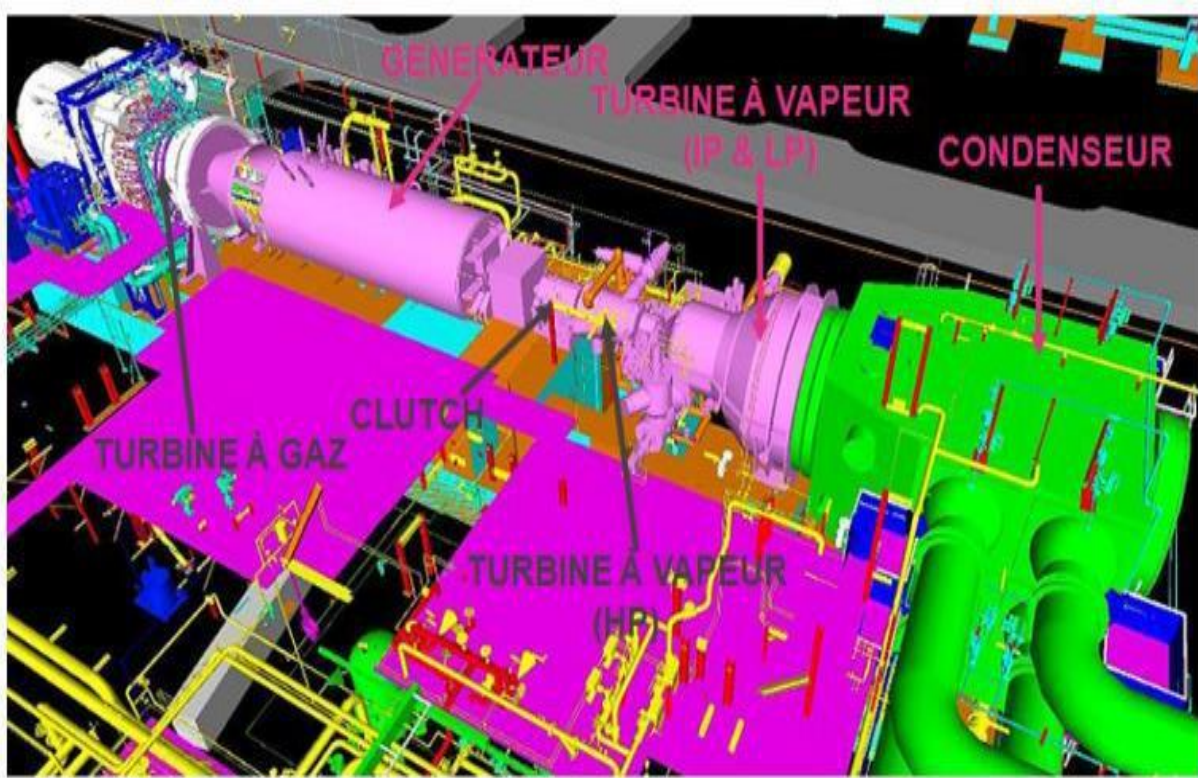


Figure I.2 Vue en section d'un cycle combiné

I.2 Historique

Pour faire face à une demande croissante en matière d'énergie électrique en Algérie, SPE a lancé en 2012 un MEGA-PROJET consistant à la réalisation d'une centrale électrique à cycle combiné, totalisant une puissance installée de 4000 MW, réparties sur le territoire national, dont la centrale électrique de RAS DJINET2 d'une puissance de 1131,1 MW, implantée au bord de la mer, à l'est d'Alger, près de la ville de RAS-DJINET, dans la wilaya de BOUMERDES [01].

La centrale à cycle combiné de RAS DJINET 2 est d'une technologie nouvelle, trois Tranche (TG + TV + Alternateur) SINGLE SHAFT répondant, aux normes récentes, en matière d'efficacité énergétique et du respect de l'environnement, ce qui a permis de :

- Réduire la consommation du gaz et du fuel ;
- Réduire les émissions de gaz à effet de serre (CO2 et NOX).

La mise en service de groupe s'est effectuée comme suit :

- Groupe 1, couplage en cycle combiné sur réseau le 12/09/2018
- Groupe 2, couplage en cycle combiné sur réseau le 13/12/2018
- Groupe 3, couplage en cycle combiné sur réseau le 11/05/2019

La mise en réception pour SPE (sonal-gaz) :

- Groupe1, le 01/07/2019,
- Groupe2, le 11/07/2019,
- Groupe3, le 20/08/2019

Fiche technique de la centrale Ras Djinet :

Projet	Centrale de production d'électricité CC
Puissance	1131,1 MW. (Condition site)
Configuration	3 Tranches en Cycle Combiné 3 X (TG + TV + Alternateur)
Combustible	Gaz Naturel/Fuel
Surface	18 Hectares
Constructeur	Constructeur DAEWOO E&C (Corée du Sud)
Travaux de G. Civil	INERGA S.p.a
Travaux de Montage	ETTERKIB S.p.a
Lieu du site	29 km de l'Est chef-lieu wilaya de Boumerdes

Position du site

La centrale implantée sur une surface de 35 hectares spécialement sélectionnée sur le littoral de Ras Djinet (25 km à l'est de Boumerdes) pour sa conformité avec les critères nécessités par ce genre d'installation, dont la proximité avec les RN 24 et 12, ainsi que la voie ferrée



Figure I.3 Localisation de la centrale électrique de Ras Djinet 2.



FigureI.4 Schéma synoptique de la centrale électrique à cycle combiné (Ras Djinet) [2]

1. Salle des machines
2. Chaudières de récupération HRSG
3. Cheminée
4. Transformateur UAT
5. Bâtiment électrique et de commande des auxiliaires communs
6. Local diesel de secours
7. Poste d'évacuation d'énergie (GIS)
8. Poste gaz (NGSS)
9. Stockage de l'eau anti incendie
10. Local des pompes d'incendie
11. Station de déminéralisation et station de traitement des eaux de rejet
12. Stockage de l'eau déminéralisée
13. Local des compresseurs
14. Stockage de l'eau dessalée

15. Station de dessalement et station de chaudière auxiliaire
16. Stockage de fuel (gasoil)
17. Local des pompes de fuel (gasoil)
18. Station d'électro chloration
19. Station de pompage
20. Station de production d'hydrogène
21. Local de stockage des bouteilles de gaz
22. Local de stockage des matières dangereuses
23. Stockage des fûts d'huile
24. Bâtiment administratif
25. Stockage des fûts d'huile
26. Magasin
27. Ateliers

I.3 Principaux équipements mécaniques de la centrale électrique

I.3.1 TURBINE À GAZ

Chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP) est fourni avec une turbine à gaz (Siemens modèle SGT5-4000F) ainsi que tous les accessoires nécessaires.

Les turbines à gaz à chambre de combustion annulaire Siemens AG sont des turbines à arbre unique. Il s'agit d'une turbine à gaz mono-arbre avec un rotor commun utilisé par le compresseur et la turbine. Le rotor est supporté par deux paliers qui se trouvent à l'extérieur de la zone sous pression.

La turbine à gaz est conçue pour un double allumage. Le gaz naturel (NG) doit être utilisé comme combustible primaire et le mazout doit être utilisé comme combustible de secours [3]

Paramètres pour charge de base

	Gaz	Mazout
Sortie nominale aux bornes du générateur :	249.2 MW	210.5 MW
Efficacité nominale aux bornes du générateur :	38.4%	36.9%
Consommation de combustible :	14.3 kg/s	13.2 kg/s

- 1) Carter de palier de compresseur
- 2) Compresseur
- 3) Ensemble d aube directrice de compresseur
- 4) Enveloppe extérieure de la chambre de combustion
- 5) Bruleur
- 6) Chambre de combustion
- 7) Rotor
- 8) Carter de turbine
- 9) Aube turbine
- 10) Carter de palier de turbine

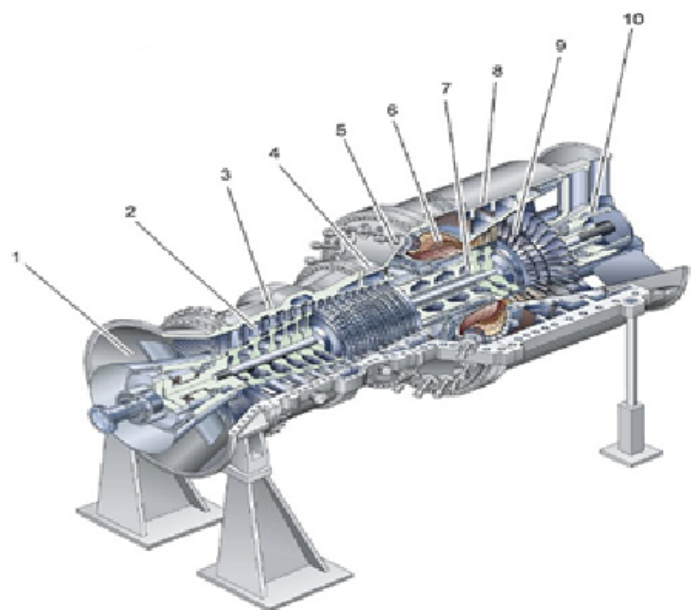


Figure I.5 Turbine à gaz (Siemens modèle SGT5-4000F)

I.3.2 Générateur de vapeur à récupération de chaleur HRSG

La principale fonction du générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG) est de générer la quantité et la qualité de vapeur requises en utilisant la chaleur perdue des gaz d'échappement du turbogénérateur à gaz (GTG). Chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP) est fourni avec un générateur de vapeur à récupération de chaleur (HSRG) ainsi que tout l'accessoire nécessaire. La vapeur générée par le HRSG sera fournie à la turbine à vapeur [3]

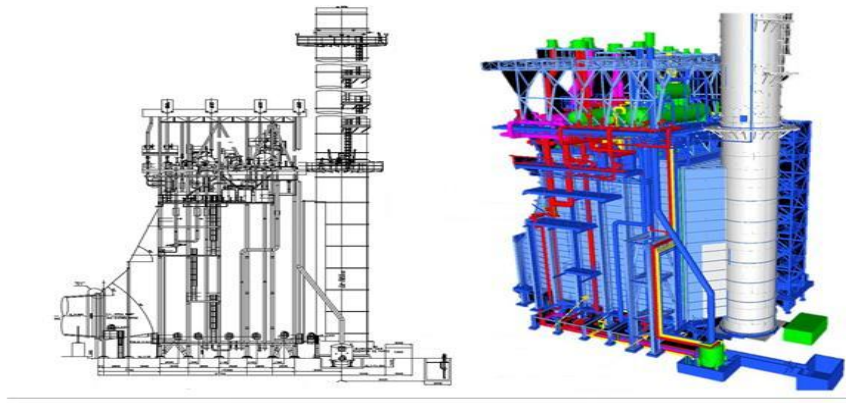


Figure I.6 Générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG)

Les principaux composants du générateur de vapeur à récupération de chaleur

(HRSG) sont :

- Ballon vapeur haute pression (HP)
- Ballon vapeur pression intermédiaire (IP)
- Ballon vapeur basse pression (LP)
- Sections économiseur (pour chaque niveau de pression)
- Sections évaporateur (pour chaque niveau de pression)
- Sections surchauffeur (pour chaque niveau de pression)
- Section réchauffeur (pour la section IP)
- Dégazeur Intégral Ballon LP
- Cheminée HSRG avec Silencieux

I.3.3 TURBINE À VAPEUR (ST)

Chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP) est fourni avec une turbine à vapeur (modèle Siemens SST5-3000) ainsi que tous les accessoires nécessaires.

La turbine à vapeur se compose d'un cylindre HP de type cylindrique et d'un cylindre IP/LP à écoulement direct. La vapeur d'échappement sortant de la turbine à vapeur sera condensée dans le condenseur refroidi à eau.

La turbine HP est de construction à simple flux et à double paroi avec un porte-lame fixe et un carter externe. Elle est munie d'une vanne d'arrêt et de contrôle de vapeur principale, soudée, soutenue par des supports supplémentaires. Le carter extérieure est de type cylindrique.

Le carter extérieur IP/LP est divisé en deux sections, la section du carter d'entrée moulé et la section du carter d'échappement soudé. Les deux sections sont divisées horizontalement. Les demi-carter sont boulonnés ensemble par des boulons d'assemblage. [3]

Les sections d'entrée et d'échappement sont également boulonnées ensemble

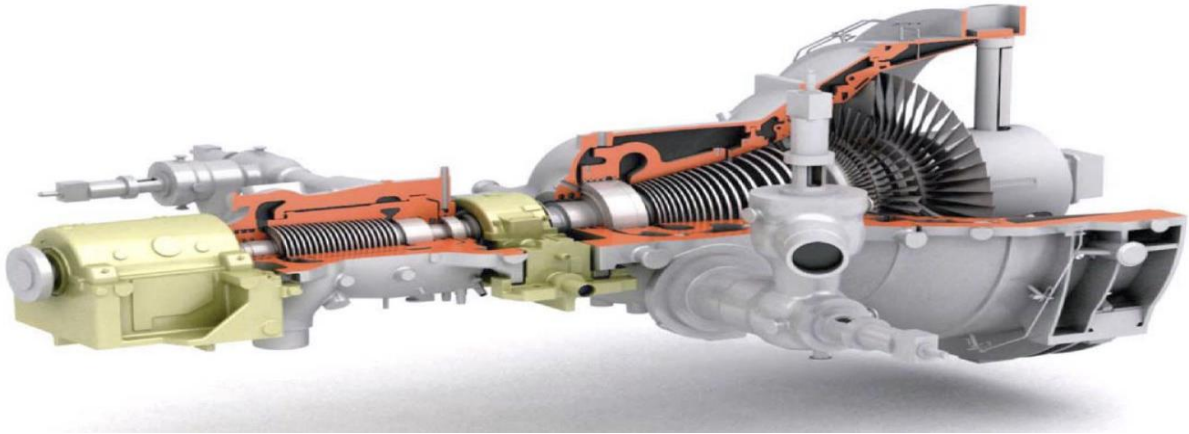


Figure I.7 Turbine à vapeur (modèle Siemens SST5-3000)

I.3.4 Pompe d'alimentation en eau de la chaudière

La fonction des pompes d'alimentation en eau de la chaudière est de fournir de l'eau du Ballon LP, à la section économiseur haute pression (HP) du générateur de vapeur à récupération de chaleur, et par un étage intermédiaire, à la section économiseur pression intermédiaire (IP) du générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG). Les pompes d'alimentation en eau de la chaudière fournissent également de l'eau de pulvérisation désurchauffeur pour le système de by-pass HP et de l'eau de pulvérisation désurchauffeur pour la surchauffeur HP. [4]

I.3.5 Pompe d'extraction de condensat

La fonction des pompes d'extraction de condensat est d'effectuer ce qui suit :

- Maintenir le niveau du puits du condenseur à son niveau normal en extrayant les condensats du puits du condenseur.
- Fournir de l'eau de condensation au dégazeur en passant par l'économiseur LP
- Fournir de l'eau pulvérisée désurchauffeur pour le système de bypass IP, le système de bypass de vapeur LP, la station auxiliaire de réduction de pression de vapeur et de désurchauffe (PRDS) et d'autres auxiliaires de la turbine à vapeur. [4]
- Fournir de l'eau d'étanchéité aux vannes pour empêcher l'entrée d'air dans le système.

I.3.6 Condenseur (50MAG10AC001)

Le condenseur axial refroidi à l'eau remplit la fonction de condenser la vapeur d'échappement de la turbine à vapeur et / ou du système de bypass de vapeur haute pression (HP), pression

intermédiaire (IP) et basse pression (LP). Le condenseur reçoit la vapeur d'échappement de la turbine dans le sens horizontal.

Le condenseur est équipé d'une soupape de dépression, de transmetteurs de pression, de transmetteurs de température et de transmetteurs de niveau pour la protection du condenseur et de la turbine. [4]

I.3.7 Éjecteur d'air à jet de vapeur

- Éjecteur d'air à jet de vapeur (''HOGGING'')

La fonction de l'éjecteur est d'évacuer l'air et les autres gaz non condensables dans le condenseur lors de la mise en marche.

- Éjecteur d'air à jet de vapeur (''HOLDING'')

La fonction de l'éjecteur d'air à jet de vapeur est d'évacuer l'air et les autres gaz non condensables dans le condenseur en fonctionnement normal [4]

I.3.8 Chaudière auxiliaire

La fonction de la chaudière auxiliaire est de fournir les besoins en vapeur auxiliaire lors du démarrage et le fonctionnement à faible charge de l'installation. La chaudière auxiliaire doit fournir de la vapeur pour l'étanchéité à la turbine du presse-étoupe ainsi que pour l'usine de dessalement. [4]

Nombre de chaudières : Deux (2)

Carburant : Gaz naturel et fioul

I.3.9 Réservoirs de stockage de mazout

La fonction du réservoir de stockage de mazout est de stocker du mazout pour (Turbine à gaz). Le mazout est utilisé comme carburant alternatif pour les turbines à gaz. [4]

I.3.10 Station de pompage

La station de pompage joue un rôle important car elle assure la quantité d'eau nécessaire au bon fonctionnement de la centrale.

L'eau pompée est divisée en deux parties, une partie est utilisée pour le refroidissement du condenseur et l'autre partie sera refoulée vers la station de dessalement.

I.3.11 Station d'électro-chloration

Dans cette station on produit du HCL qui sert au nettoyage et la protection des conduites d'eau de mer contre tout encrassement pouvant être causé par les micro-organismes marins.

I.3.12 Station de dessalement

Le rôle de cette station est la production de l'eau dessalé par un procédé thermique et qui sera stocké dans deux bâches de 2700m³ chacune

I.3.13 Station de déminéralisation

Deux chaines de déminéralisation de 40m³/h chacune, terminent le traitement de l'eau avant son utilisation dans le cycle eau vapeur.

Le stockage de l'eau déminé se fait dans deux réservoirs de capacité de 1500m³ chacun.

I.3.14 Station d'hydrogène

Cette station produit l'hydrogène nécessaire au refroidissement des 3 alternateurs de la centrale

I.4 Principaux équipements électriques de la centrale électrique**I.4.1 Générateur**

Le générateur est l'équipement électrique le plus important de toute la centrale électrique. Le générateur est capable d'évacuer le courant de la sortie de la turbine à gaz (turbine à gaz + turbine à vapeur) à laquelle il est connecté sans dépasser la limite de température admissible stipulée par la norme pertinente sur l'ensemble de la plage de température ambiante du site.[5]

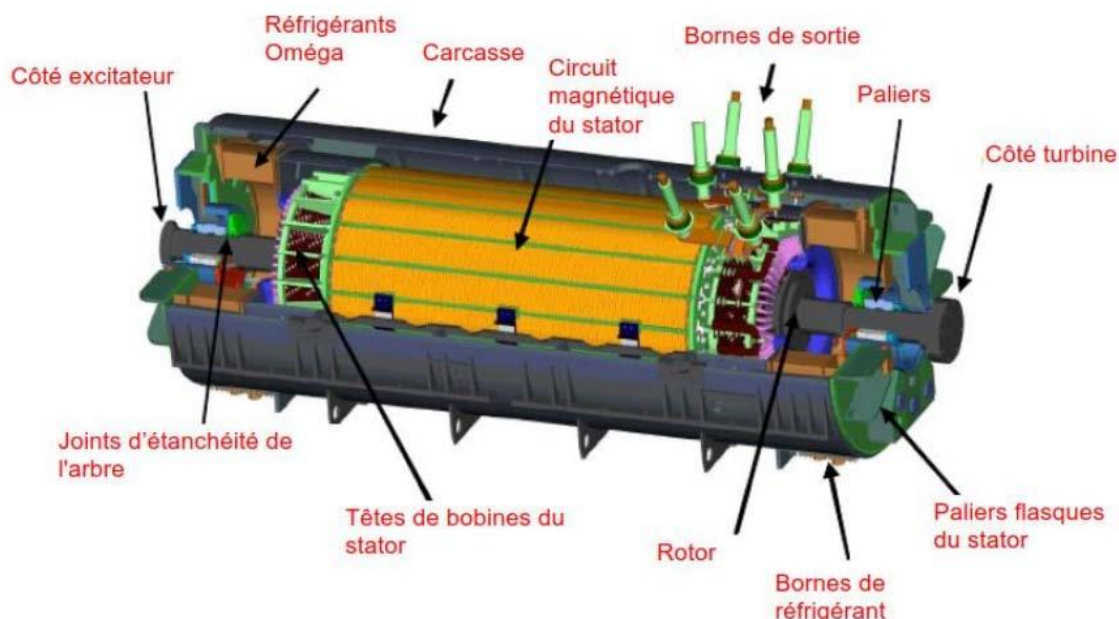


Figure I.8 schéma des équipements du générateur

Tableau I.1 Paramètres nominaux

Puissance apparente	431 MVA à 35 °C
Courant d'induit nominal	11 310 A
Tension d'induit nominale	22,00 kV \pm 5 %
Vitesse	3 000 tr/min
Facteur de puissance	0,9 (inductif)
Excitation	statique
Type de refroidissement	refroidi à l'hydrogène

I.4.2 Disjoncteur du générateur

Le disjoncteur du générateur est destiné à isoler le générateur du secteur pendant l'arrêt normal ou en cas de panne de la turbine à gaz ou du générateur [5]

Tableau I.2 Paramètres nominaux

Tension nominal	22 kV
Type de disjoncteur	SF6
Courant nominal	14 000 A
Courant d'ouverture	110 kA pendant 1 s
Courant de fermeture	305 kA
Transformateur principal	(GSUT)

Le transformateur principal (GSUT) est connecté entre le générateur et le poste d'évacuation d'énergie principal de 400 kV à isolation gazeuse.

La puissance générée par le générateur est élevée par le GSUT pour l'évacuation à 400 kV

Cette même puissance est doit être utilisée pour l'alimentation des charges auxiliaire de la centrale provenant du réseau de 400 kV pendant le démarrage [5]

Tableau I. 3 Paramètres de base

Puissance nominale	306/408/510 MVA
Rapport de transformation	420/22 kV
Température type	20 °C
Méthode de refroidissement	ONAN/ONAF/OFA



Figure I.9 : Transformateur principal

I.4.3 .Générateur gasoil à démarrage à froid (BSDG)

Un générateur gasoil à démarrage à froid est fourni pour la prise en charge des charges suivantes :

- Les charges de secours du STG et du GTG
- Les exigences de Charge de démarrage de l'unité (400 V auxiliaire, charges d'excitation, pompes CW, pompes à condensat, pompes à eau d'alimentation HP et compresseurs)
- Deux (2) générateurs diesel sont envisagés pour trois (3) unités de production. [5]

Tableau I.4 Paramètres nominaux

Puissance nominale	2 x 7 MVA
Tension nominale	6 kV
Facteur de puissance	0,8

I.4.4 Fonctionnement du circuit de localisation dans la centrale

La production d'électricité se fait par 2 procédés :

- Le procédé thermique au niveau de la station de dessalement
- Le procédé chimique au niveau de la station de déminéralisation

Et par 3 transformations d'énergie :

- Énergie calorifique au niveau de la chaudière
- Énergie mécanique au niveau de la turbine
- Énergie électrique au niveau de l'alternateur

I.4.5 Salle de commande

La centrale est gérée par deux systèmes de contrôle depuis une salle de commande conçue pour les trois tranches de production et leurs auxiliaires communs : DSC OVATION pour les BOP et auxiliaires ; TCS SIMENS pour les groupes turbo-alternateurs.

La salle de commande permet de

- Contrôler et commander de tous les systèmes de la centrale.
- D'avoir les données et les paramètres de fonctionnement des systèmes en temps réel

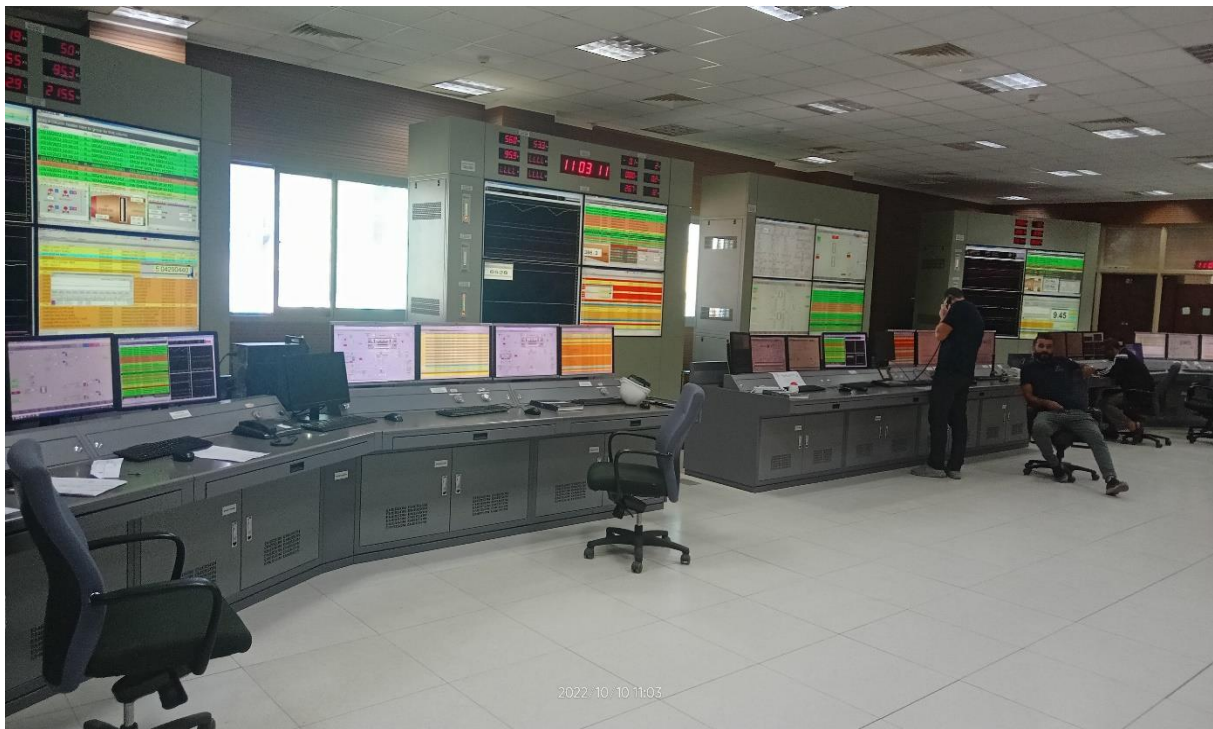


Figure I.10 Salle de commande dans la centrale électrique à cycle combiné Ras Djinet 2.

I.5 Conclusion

Dans cette partie, nous avons décrit l'historique, le fonctionnement général et les constituants de la centrale électrique à cycle combiné de production d'énergie électrique de Ras Djinet.

Cette description nous a permis de bien comprendre le fonctionnement des unités de production et leur inter-connectivité, le prochain chapitre sera consacré à l'étude de la station de pompage.

Chapitre II

Etude technologique d'une
pompe eau de mer (pompe
axiale)

II. Chapitre II Etude technologique d'une pompe eau de mer (pompe axiale)

II.1 Introduction

Les pompes sont des machines hydrauliques qui servent à déplacer le liquide, d'une vue physique, la pompe transforme l'énergie mécanique de son moteur d'entraînement en énergie hydraulique.

Dans ce chapitre on va parler de la pompe CWP et ces différentes parties.



Figure II.1 Pompe CWP

II.1.1 Définition

La rangée de pompe se compose d'une extrémité de pompe multi-étage verticalement sur une butée suivant les longueurs nécessaires de 9 m, ils se trouvent plusieurs tubes de raccord monté entre la butée et l'extrémité de la pompe, y inclus l'arbre de transmission. La pompe de type CWP est une pompe submersible verticale (pompe axiale) avec un arbre de transmission long, répandant à la profondeur d'entrée. L'entrée de pompe se trouve au sol et la sortie de pompe à la tête de refoulement au-dessous de la butée. L'arbre de transmission est lubrifié par le liquide refoulé. La pompe est équipée d'un impulsor de gavage spécial dit Indicer qui se trouve dans une cloche d'aspiration d'une construction spéciale. Cet impulsor de gavage est toujours employé si l'on demande des valeurs d'aspiration extraordinairement faibles.

II.1.2 Description générale

Les pompes de circulation d'eau (CWP) permettent principalement la circulation de l'eau de mer à travers le condenseur. Cette eau facilite la condensation du carter d'éjection de la turbine basse pression et permet ainsi de maintenir la pompe du condenseur à vide au cours du fonctionnement de l'équipement. Par la suite, l'eau chaude est automatiquement renvoyée vers le canal d'évacuation de l'eau de mer afin de dissiper la chaleur rejetée du condenseur.

Les pompes de circulation d'eau permettent aussi l'alimentation en eau de la centrale de lavage et de chloration des écrans mobiles.

La pompe CWP doit être installée à l'extérieur, mais les installations électriques associées doivent se situer à l'intérieur dans un bâtiment ou dans une salle séparée rattachée au système de chloration.

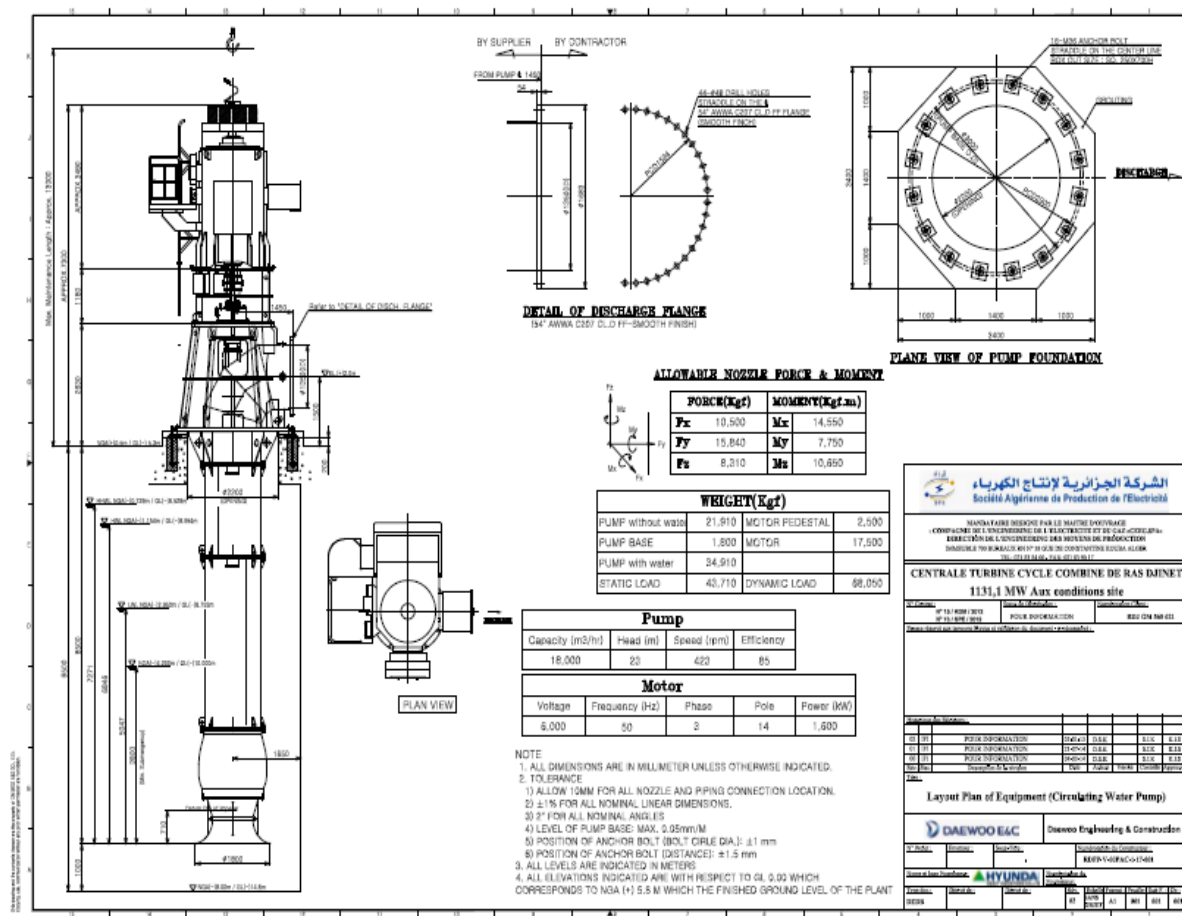


Figure II.2 Schéma de la pompe CWP

II.2 Construction

Cet assemblage de pompe (CWP) est constitué du corps de pompe, de pièces rotatives, du socle de pompe, du socle de moteur et d'autres pièces.

II.2.1 Pièces du corps de la pompe

Le corps de pompe est constitué de la cuvette d'évacuation, des colonnes de refoulement, de la colonne de support et de la tête d'évacuation, qui sont des éléments à pression. Tandis que la cloche d'aspiration et le socle de moteur qui soutiennent le moteur mais n'est pas un élément à pression, peuvent également être considérés comme corps de la pompe.

2.1 a-Cloche d'aspiration

La cloche d'aspiration est coulée avec de l'ASTM 890 CD4MCuN (Duplex S.S) et située au-dessous de la pompe.

Elle est conçue pour orienter le flux à l'entrée du rotor, afin d'obtenir un schéma optimal de flux régulier.

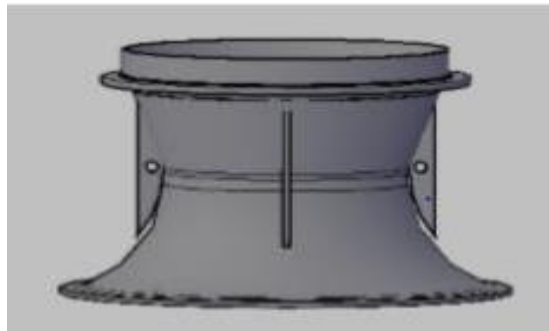


Figure II.3 Cloche d'aspiration

2.1 b-Cuvette d'évacuation

La cuvette d'évacuation est coulée avec de l'ASTM A890 CD4MCuN (Duplex S.S) et située entre la cloche d'aspiration et la colonne de refoulement inférieure.

Elle comporte les installations de palier pour le palier à douille/carter de pompe et les anneaux de carter.

La cuvette d'évacuation est conçue pour une conversion efficace de la pression et pour modifier le sens du flux d'eau évacuée par le rotor.

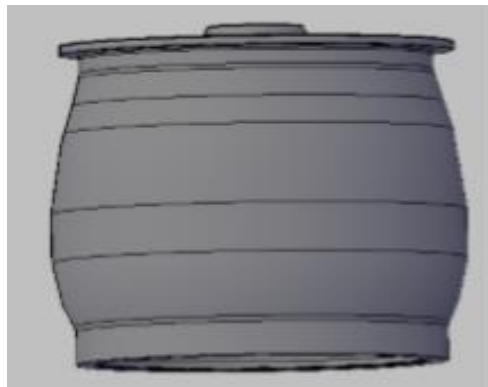


Figure II.4 Cuvette d'évacuation

2.1 c-Colonnes de refoulement

Les colonnes de refoulement sont fabriquées avec de l'ASTM A240 S31803 (Duplex S.S) et situées entre la cuvette d'évacuation et la colonne de support (ou tête d'évacuation).

Il existe deux types de colonnes de refoulement ; à savoir les colonnes inférieures et les colonnes supérieures.

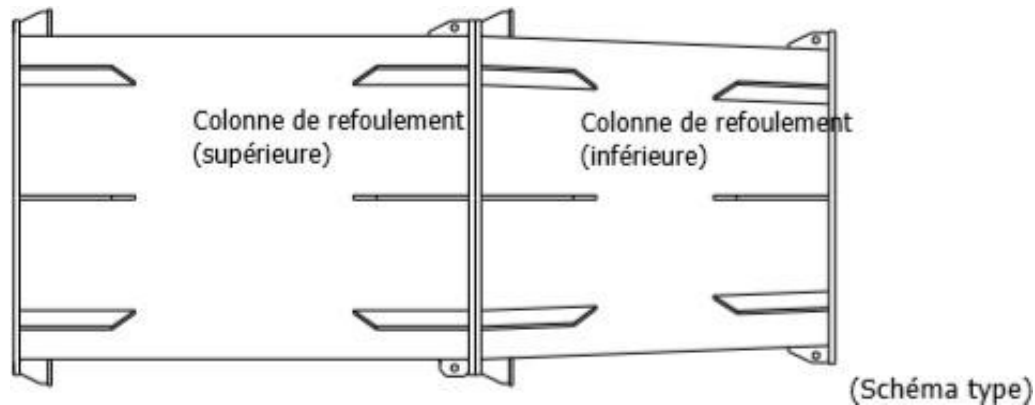


Figure II.5 Colonnes de refoulement

2.1 d-Colonne de support (non applicable)

La colonne de support est fabriquée avec de l'ASTM A240 S31803 (Duplex S.S) et située entre la colonne de refoulement et la tête d'évacuation).

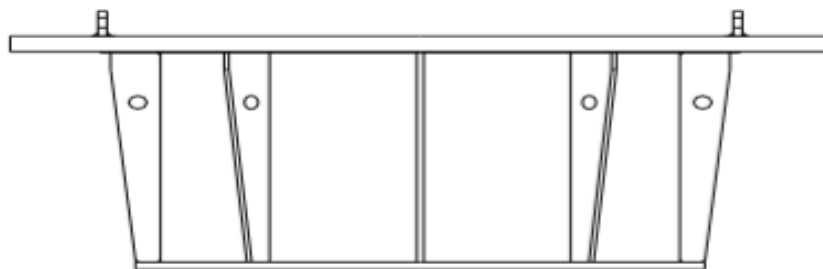


Figure II.6 Colonne de support

2.1 e- Tête d'évacuation

La tête d'évacuation est fabriquée suivant la spécification ASTM A240 S31803 (Duplex S.S) et ASTM A36 pour ce qui est des nervures. Elle est située sur le socle de pompe et la colonne de support (ou la colonne de refoulement).

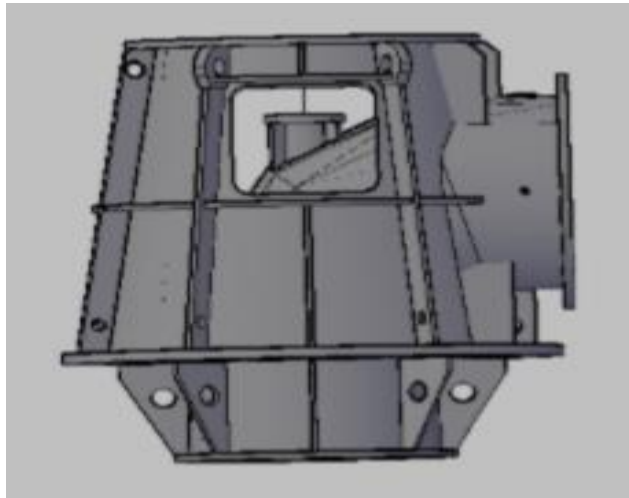


Figure II.7 Tête d'évacuation

La tête d'évacuation est conçue sous forme de segment courbe destiné à évacuer l'eau dans le sens indiqué. La tuyère d'éjection est conçue sous forme de bride pour le raccordement avec la tuyauterie du système, et ces brides sont scellées par un anneau en caoutchouc. Le presse-étoupe est monté sur la tête d'évacuation tandis que la garniture de presse-étoupe est insérée au presse-étoupe pour éviter les fuites de l'eau contenue dans la pompe.

2.1f-Socle de moteur

Le socle de moteur est une structure rigide en acier soudé, fournissant une rigidité suffisante et une solide interface entre la pompe et le moteur. Le socle de moteur est conçu pour faciliter l'accès aux pièces importantes, notamment le manchon compensateur, le palier de butée, sans démonter le rotor.

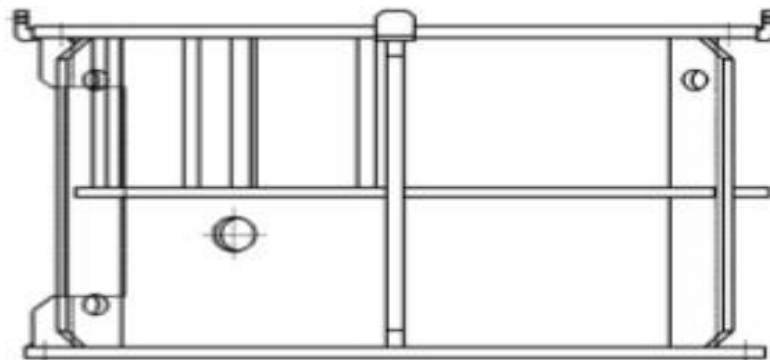


Figure II.8 Socle de moteur

II.2.2 Pièces rotatives

2.2 a-Arbre

Les arbres sont conçus suivant la norme ASTM A270 S31803 (Duplex S.S) et utilisés pour transmettre la force motrice du moteur au rotor de la pompe. Les arbres sont situés au centre de la pompe, et sont soutenus par les paliers à douille inférieurs et supérieurs, montés dans la cuvette d'évacuation, les colonnes de refoulement, la colonne de support et la tête d'évacuation. Le palier de butée à patins oscillants soutient également l'arbre supérieur dans le sens radial et axial.



Figure II.9 Arbre

2.2 b-Compresseur de centrifuge

Le rotor à aspiration unique est coulé conformément à la spécification ASTM A890 CD4MCuN (Duplex S.S) et monté à l'aide d'anneaux de rotor. Le rotor est fixé à l'arbre inférieur à l'aide d'une clavette et maintenu en position sur l'arbre par le bouchon du rotor. Le rotor est de type ouvert, fabriqué d'une seule pièce et équilibré dynamiquement.

2.2 c-Manchon cylindrique

Pour raccorder deux arbres sur cette pompe, le manchon cylindrique est utilisé avec les bagues d'appui. Ce type d'accouplement a l'avantage de faciliter l'entretien

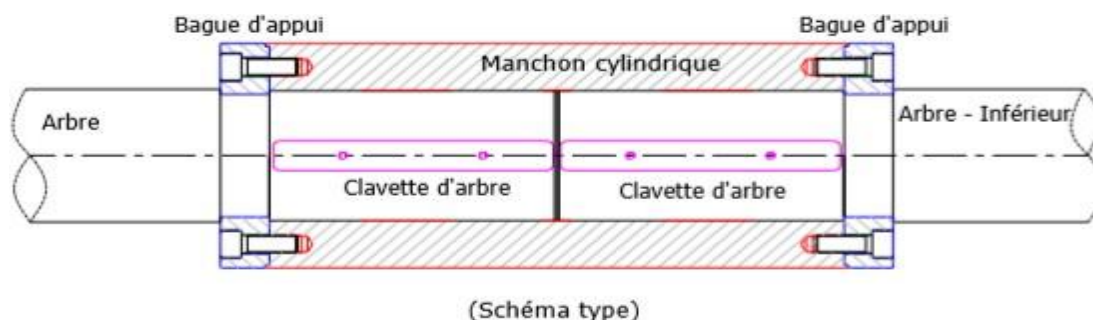


Figure II.10 Manchon cylindrique

2.2 d-Manchon compensateur à engrenage :

L'arbre du moteur est raccordé à l'arbre supérieur grâce au manchon compensateur à engrenage. Cette pompe est entraînée par le moteur à partir de cet accouplement. La poussée hydraulique de la pompe, y compris le poids des éléments rotatifs, est supportée par le palier de butée, qui est installé sur la pompe

II.2.3 Autres pièces

2.3 a-Palier à douille

Les rainures se trouvant à l'intérieur de ce palier favorisent la lubrification et prévient l'obstruction. Elles sont installées, ainsi que les logements de palier, au niveau de la cuvette d'évacuation, des colonnes de refoulement, de la colonne de support et du presse-étoupe.

Les paliers à douille sont renouvelables et lubrifiés par le liquide pompé et conformes à la spécification ACM L7/G.

2.3 b-Manchon d'arbre

Les manchons d'arbre sont remplaçables et maintenus en position sur l'arbre de la pompe à l'aide des clavettes de manchon et de vis de fixation.

2.3 c-Palier de butée

Les patins oscillants pour ce qui est de la butée (support axial) et les patins oscillants pour ce qui est du guide (support radial) sont utilisés pour le palier de butée de ce projet. En d'autres termes, nous pouvons également l'appeler "palier vertical combiné à patins oscillants". L'eau évacuée de la pompe est utilisée comme agent de refroidissement du palier de butée.

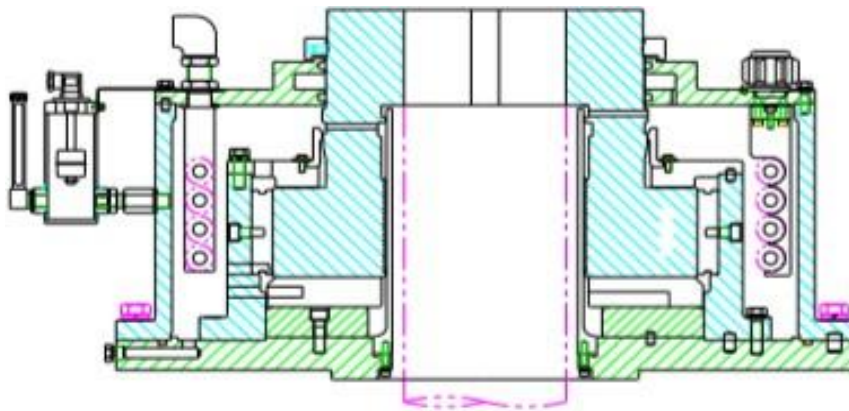


Figure II.11 Palier de butée

2.3 d-Valve d'évacuation d'air

La valve d'évacuation d'air est située au-dessus du coude dans la tête d'évacuation, afin d'évacuer l'air de la pompe lors du démarrage et remplir le système de tuyauterie d'air à vide lorsque la pompe est mise hors service pour certaines raisons.

2.3 e-Joint de dilatation (le cas échéant)

Il s'agit d'un joint de dilatation à souffler unique et un ensemble de joints de dilatation sera installé entre la bride d'évacuation de l'eau de refroidissement de la pompe et la conduite d'usine. C'est un joint de dilatation sous vide total, comportant une bride à faceplane.

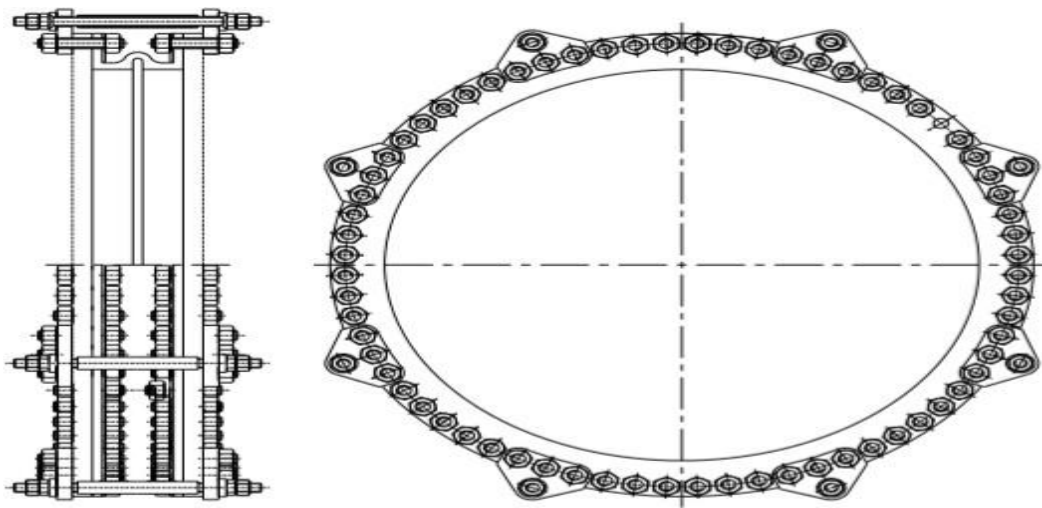


Figure II.12 Joint de dilatation

2.3 f-Pressé-étoupe

Le presse-étoupe comporte les garnitures de presse-étoupe (fibre carbonisée) et un palier d'arbre (ACM L7/G) et est coffré suivant la spécification ASTM A890 CD4MCuN. Par ailleurs, le presse-étoupe possède un bassin de collecte destiné à recueillir les écoulements provenant de la garniture, qui sont ensuite éliminés dans le puisard.

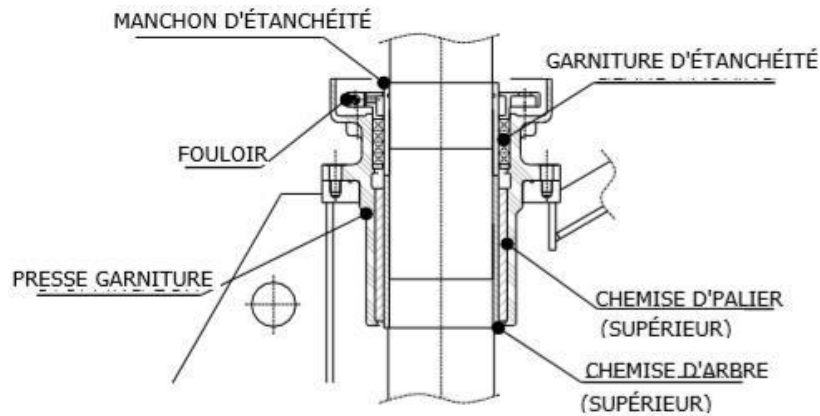


Figure II.13 Presse-étoupe

2.3 g-Indicateur de pression (IP) (le cas échéant)

L'indicateur de pression (IP) se trouve sur la bride d'évacuation de la pompe et permet de contrôler la pression d'évacuation de la pompe au démarrage et lors du fonctionnement de cette dernière.

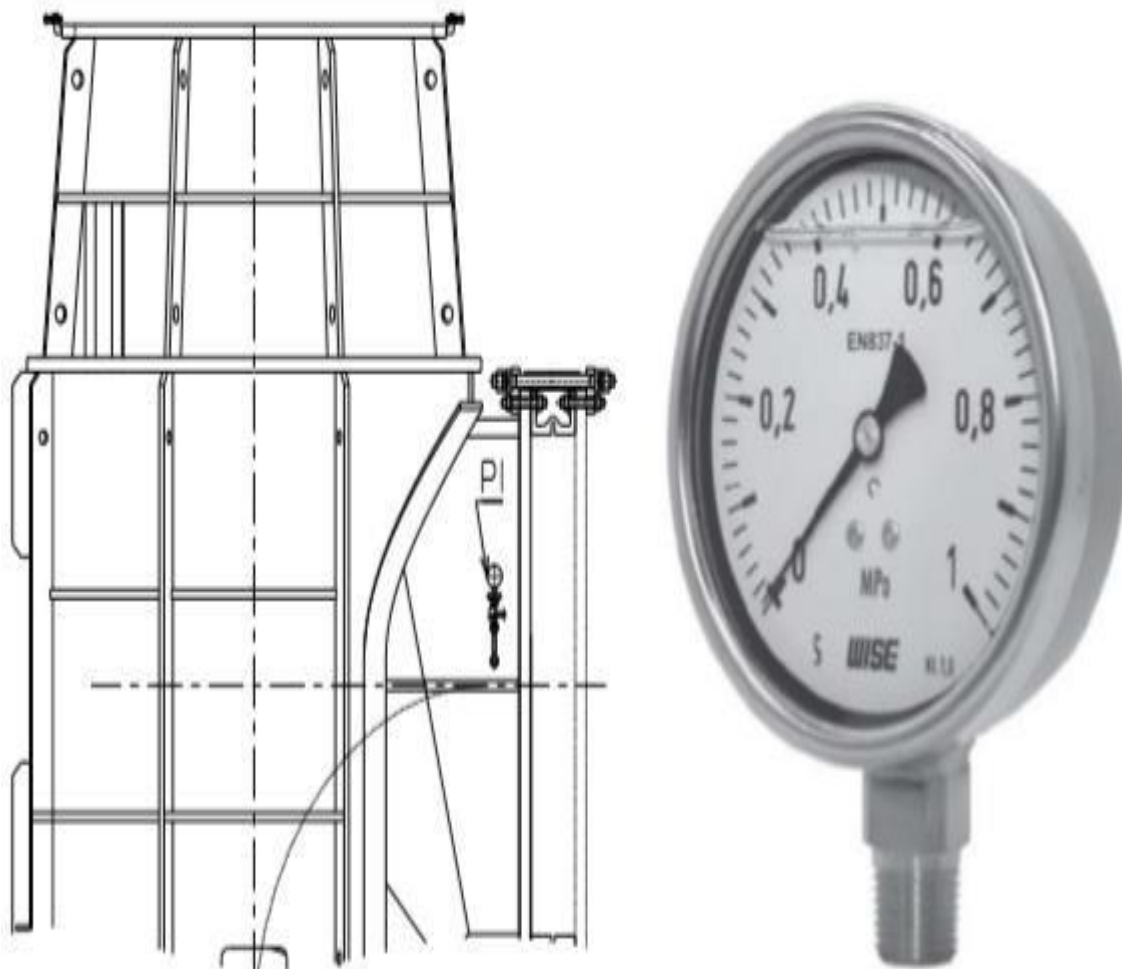


Figure II.14 Indicateur de pression (IP)

2.4 h-Le disjoncteur de la pompe



FigureII.15 Disjoncteur de la pompe

Définition

Un appareil mécanique de connexion capable d'interrompre des courants dans les conditions normales ou anormales des circuits pendant une durée spécifiée. Un disjoncteur doit être capable de couper en un temps très court (quelques millièmes de secondes) une intensité valant quatre à cinq fois l'intensité nominale.

Rôle et caractéristiques :

Le disjoncteur assure :

- La protection contre les surintensités.
- La commande des circuits en aval.
- La protection des personnes contre les dangers du courant électrique.
- Le sectionnement.

II.3 Fonctionnement de la pompe CWP

La fonction de la pompe d'extraction de condensat est d'effectuer ce qui suit :

- Maintenir le niveau de la bache du condenseur à son niveau normal en extrayant les condensats de la bache du condenseur.
- Fournir de l'eau de condensation au dégazeur intégré après avoir traversé l'économiseur LP.
- Fournir de l'eau pulvérisée de désurchauffe pour le système de dérivation de vapeur chaude de réchauffage (HRH), le système de dérivation de vapeur LP, la station auxiliaire de réduction de pression de vapeur et de désurchauffe (PRDS) et d'autres auxiliaires de turbine à vapeur.
- Fournir de l'eau d'étanchéité aux soupapes pour empêcher l'entrée d'air dans le système.




Les pompes sont conçues de telle sorte qu'une pompe couvre toutes les conditions de fonctionnement, y compris le boîtier de commande de dérivation. En fonctionnement normal, une pompe doit fonctionner, tandis que l'autre pompe est en mode veille. La pompe d'appoint doit démarrer automatiquement lorsque la pression de l'eau d'alimentation tombe en dessous d'un certain niveau prédéterminé ou de la défaillance électrique de la pompe en fonctionnement.

Deux pompes d'extraction de condensat (c.à.d. 2X100%) sont fournies pour chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP).

II.4 Caractéristiques techniques de la pompe d'eau de mer (CWP)

II.4.1 La plaque signalétique de la pompe

Tableau II .1 Paramètres de la pompe

CENTRALE ELECTRIQUE EN CYCLE COMBINE A RAS DJINET			
NOM DE L'EQUIPEMENT		POMPES D'EAU DE CIRCULATION CIRCULATING WATER PUMP	
FLUIDE DE SERVICE	L'EAU DE MER SEA WATER	CAPACITE	18,000 m³/hr
MODELE	1350VK	HAUTEUR TOTALE	23 m
TYPE POMPE	VERTICAL VERTICAL	VITESSE	423 rpm
EQUIPEMENT NO.	# SE REFERER A LA NOTE # Refer to Note	PUISSANCE	1600 kW
NO. SERIE	# SE REFERER A LA NOTE # Refer to Note	FLUX MINIMUM	12,500 m³/hr
LIQUIDE SP. GR.	1.03	FLUX MAXIMUM	25,200 m³/hr
POIDS DE POMPE	43,710 kg	DATE DE FABRICATION	2014. 07
EXIGENCES DU CODE		ASTM, JIS, ASME, ISO, HIS	
MAÎTRE D'OUVRAGE			
 الشركة الجزائرية لإنتاج الكهرباء Société Algérienne de Production de l'Electricité			
CONSTRUCTEUR			
 DAEWOO E&C			
FABRICANT			
 HUYNDAI HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.			

4-ø4 DRILL HOLES

NOTE

- MATERIAL : STAINLESS STEEL 316
- THICKNESS : 2.0 (mm)
- EQUIPMENT NO. MANUFACTURER SERIAL NO.
 50PAC11AP001 KA1521-CWP-1
 50PAC12AP001 KA1521-CWP-2
 60PAC11AP001 KA1521-CWP-3
 60PAC12AP001 KA1521-CWP-4
 70PAC11AP001 KA1521-CWP-5
 70PAC12AP001 KA1521-CWP-6

NOTE

- MATÉRIEL : ACIER INOXYDABLE 316
- EPAISSEUR : 2.0 (mm)
- EQUIPEMENT NO. NUMÉROS DE SÉRIE DE FABRICANT.
 50PAC11AP001 KA1521-CWP-1
 50PAC12AP001 KA1521-CWP-2
 60PAC11AP001 KA1521-CWP-3
 60PAC12AP001 KA1521-CWP-4
 70PAC11AP001 KA1521-CWP-5
 70PAC12AP001 KA1521-CWP-6

Tel QUE CONSTRUIT

شركة الجوزانية لإنتاج الكهرباء
Société Algérienne de Production de l'Electricité

MANUFACTURE DÉSIGNÉE PAR LE MAÎTRE D'OUVRAGE
+ CONSTRUCTION DES TUBES PRINCIPAUX ET DES GAZ-AUTOPHASA
DIMENSIONNELLES DE L'ÉGALISATION DES VARIATIONS DE PRODUCTION
DANS LES TOUS TYPES DE MACHINES À VAPEUR ALGER
TEL: 021 81 81 81 - FAX: 021 81 81 81


CENTRALE TURBINE CYCLE COMBINÉ DE RAS DJINET
1131,1 MW Aux conditions site

N° Projecte: N° 13 / 0001 / 2012 N° 13 / 0001 / 2012	Date de Construction: TEL QUE CONSTRUIT	Contraintes Locales: RES CH MAR SEN
--	--	--

Tous droits réservés à la reproduction sans autorisation écrite de la Direction Générale des Travaux Publics et du Génie Civil

Nom/Fonction	Date	Sigle	Vérifié	Décoré	Approuvé
F.T.D.C.	TEL QUE CONSTRUIT	Général	O.K.	O.K.	O.K.
A.G.P.	POLYMERIZATION	Général	O.K.	O.K.	O.K.
R.S.B.	Qualification & Validation	RES	O.K.	O.K.	O.K.

NAME PLATE DRAWING FOR CWP
Dessin plaque signalétique pour CWP



HYUNDAI
HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.

Daewoo Engineering & Construction

Project Name:	Drawing No.:	Scale:
Revision History:		
No.	Description	Date
1	Initial Issue	2014-07-15

II.5 Les avantages et les inconvénients

II.5.1 Les avantages

- C'est une machine, qui a une construction simple,
- Son utilisation est facile et ne demande pas beaucoup d'entretien,
- En conséquence, leur prix d'achat est modéré et leur coût de maintenance est faible, à caractéristiques égales, les pompes centrifuges sont plus compactes et donc moins encombrantes que les pompes volumétriques.
- Pour des valeurs adéquates du débit, les pompes centrifuges ont de bons rendements, de l'ordre de 70 à 80%,
- Pouvant être construites à partir de nombreux matériaux- métaux, matières plastiques, caoutchouc...,
- Elles sont adaptées à toutes sortes de liquide –clairs, chargés, corrosifs,
- Le débit est continu - ou régulier – par opposition au débit pulsé des pompes alternatives par exemple, le fonctionnement est silencieux.

II.5.2 Les inconvénients

- Impossibilité de pomper des liquides trop visqueux : la roue tourne dans le fluide sans l'entraîner.
- Production d'une pression différentielle peu élevée, dont la valeur maximale est généralement comprise entre 0.5 et 10 bars, bien qu'elle puisse atteindre 30 bars sur certains modèles branchés en série ; mais leur prix croît plus vite que le nombre de cellules.
- En l'absence de liquide, la roue tourne dans l'air sans produire d'aspiration, donc de refoulement. Les pompes hydrodynamiques ne "s'amorcent " pas d'elles-mêmes, Si la pompe est située au-dessus du liquide à pomper.

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la technologie globale de la pompe, le principe de fonctionnement en détails, les différents paramètres et les caractéristiques techniques de la pompe d'eau de mer (CWP)sd

Chapitre III

Vibrations des machines tournantes

III. Chapitre III : Vibrations des machines tournantes

III.1 Généralités sur la vibration

III.1.1 Introduction

Toutes les machines en fonctionnement produisent des vibrations, images des efforts dynamiques engendrés par les pièces en mouvement. Ainsi, une machine neuve en excellent état de fonctionnement produit très peu de vibrations. La détérioration du fonctionnement conduit le plus souvent à un accroissement du niveau des vibrations. En observant l'évolution de ce niveau, il est par conséquent possible d'obtenir des informations très utiles sur l'état de la machine. Ces vibrations occupent une place privilégiée parmi les paramètres à prendre en considération pour effectuer un diagnostic. La modification de la vibration d'une machine constitue souvent la première manifestation physique d'une anomalie, cause potentielle de dégradations, voire de pannes.

Ces caractéristiques font de la surveillance par analyse des vibrations, un outil indispensable pour une maintenance moderne, puisqu'elle permet, par un dépistage ou un diagnostic approprié des défauts, d'éviter la casse et de n'intervenir sur une machine qu'au bon moment et pendant des arrêts programmés de production [6]

III.1.2 Définition d'une vibration

Un système mécanique 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 masse suspendue à un ressort [figure 2.1], 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

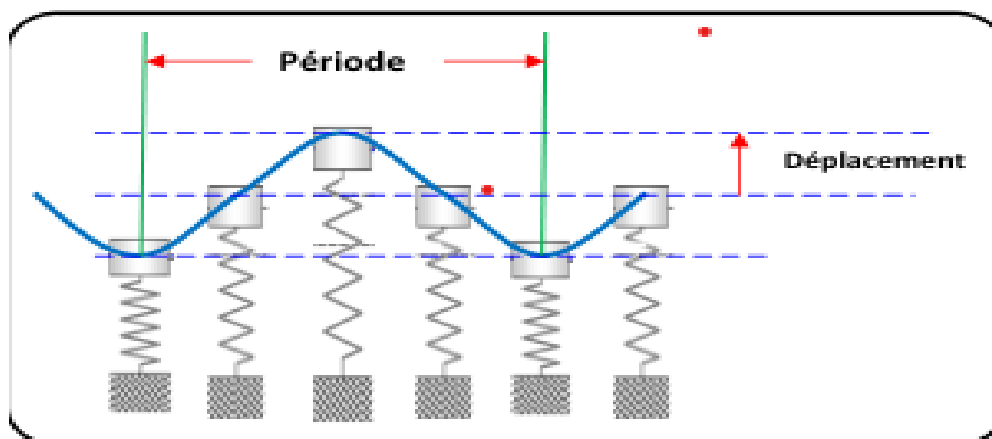


Figure III.1 Mouvement d'une masse suspendue à un ressort

La vibration d'une machine soumise à une force périodique peut être décrite en termes de déplacement, de vitesse ou d'accélération. La vitesse du mouvement

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. [6]

III.2 Caractéristiques des vibrations

Une vibration se caractérise principalement par sa fréquence, son amplitude et sa nature.

III.2.1 Fréquence

Définition

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 = 1 cycle/seconde. Une vibration qui se produira 20 fois par seconde aura donc une fréquence f de 20 hertz. Si la fréquence f d'un phénomène est de 50 hertz, c'est-à-dire 50 cycles par seconde, la durée d'un cycle (ou période T) est de 1/50ème de seconde. La fréquence f est l'inverse de la période T : $f = 1/T$

III.2.2 Amplitude

Définition

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

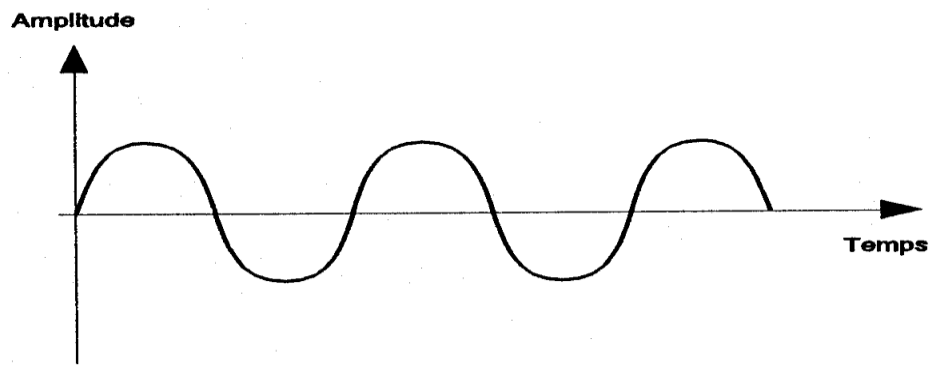
- l'amplitude maximale par rapport au point d'équilibre appelée amplitude crête (AC) ou niveau crête ;
- l'amplitude double, aussi appelée l'amplitude crête à crête (ACC) ou niveau crête-crête
- l'amplitude efficace (A_{eff}), aussi appelée RMS ou niveau efficace [6]

III.2.3 Nature d'une vibration :

On distingue trois formes de vibrations qui sont classées suivant leur périodicité

a-Vibration harmonique :

Une vibration harmonique est une vibration qui est représentée par une sinusoïde dans un diagramme amplitude-temps [7]



FigureIII.2 : Vibration harmonique

Elle est décrite par l'équation :

$$X(t) = X_i. \sin (\omega t + \varphi) \quad (\text{III.1})$$

Avec :

ω : vitesse angulaire ou pulsation de mouvement ($2\pi f$)

f : fréquence du mouvement.

φ : Phase de mouvement par rapport à un repère dans le temps

b-Vibration périodique :

Une vibration périodique peut correspondre à un mouvement sinusoïdal pur ou à un mouvement complexe périodique que l'on peut décomposer en une somme de mouvements sinusoïdaux élémentaires, plus facile à analyser [7]

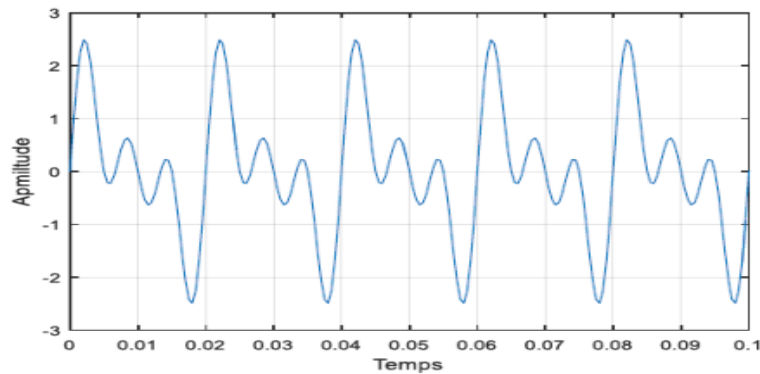


Figure III .3 : Vibration périodique

Elle est d'écrit par l'équation :

$$X(t) = \sum_{i=1}^n [x_i \sin(\omega_i t + Q_i)] \quad (\text{III.2})$$

c-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 qu'enregistre sur quelques systèmes. [7]

Elle est décrite par l'équation :

$$X(t) = \sum_{i=0}^n [x_i \sin(\omega_i t + Q)] \quad (\text{III.3})$$

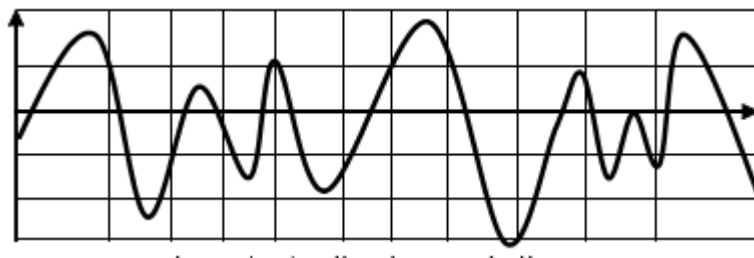


Figure. III.4 Vibration apériodique

III.3 Les grandeurs de mesure

Une vibration mécanique peut être mesurée selon les trois grandeurs suivantes [8]

- Déplacement.
- Vitesse.
- Accélération

III.3.1 Déplacement $\vec{OM}(t)$

Grandeur vectorielle qui définit le changement de position d'un corps ou point matériel par rapport à un système référence.

III.3.2 Vitesse

Vecteur qui représente la dérivée de déplacement par rapport au temps.

$$V(t) = d\vec{OM}(t)/dt \quad (\text{III.4})$$

III.3.3 Accélération

Dérivée de la vitesse par rapport au temps.

$$A(t) = dV(t)/dt = d^2\vec{OM}(t)/dt^2 \quad (\text{III.5})$$

Les relations entre ces grandeurs dans le cas d'une vibration harmonique sont :

$$s(t) = s \cdot \sin(\omega t)$$

$$s' = v(t) = s \cdot \omega \cos(\omega t) = s \cdot \omega \sin(\omega t + \pi/2)$$

$$s'' = a(t) = -s\omega^2 \sin(\omega t) = s\omega^2 \sin(\omega t + \pi)$$

III.4 Analyse vibratoire

III.4.1 Analyse vibratoire

L'analyse vibratoire est l'un des moyens de surveiller l'état des machines tournantes en cours de fonctionnement. Cela s'inscrit dans la politique de maintenance prédictive des outils de production industrielle.

Les objectifs d'une telle approche sont :

- Faites moins de pauses.

- Augmentez la fiabilité de vos outils de production.
- Augmenter son taux de disponibilité.
- Amélioration de la gestion des stocks de pièces de rechange, etc.

A partir des vibrations régulièrement collectées dans les machines tournantes, l'analyse vibratoire consiste à détecter d'éventuels dysfonctionnements et à suivre leur évolution afin de planifier ou reporter des interventions mécaniques. [9]

Les vibrations ressenties ou mesurée sur une machine ne sont en fait que la réponse de la structure à la somme des excitations internes ou externes

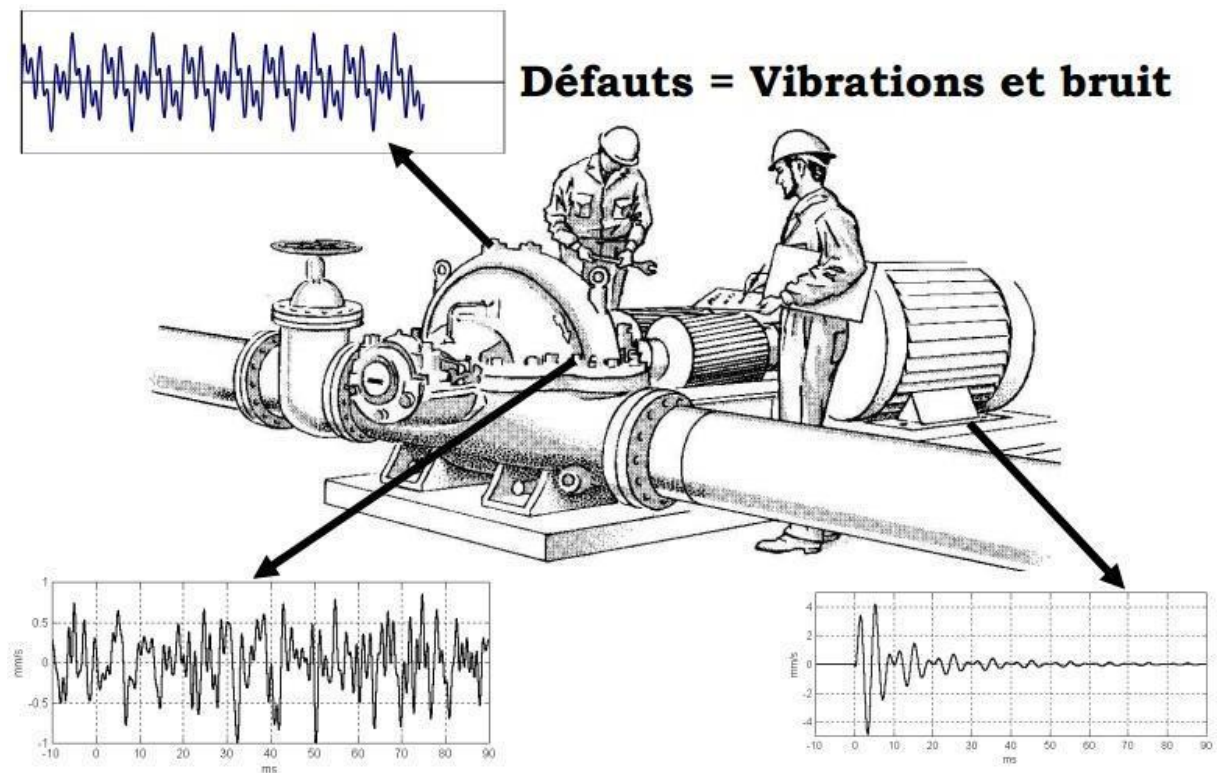


Figure III.5 Exemple de diagnostic [8]

III.4.2 Capteur des vibrations

On peut utiliser différents types de capteurs pour mesurer les vibrations. Verser mesurer des déplacements, on peut par exemple utiliser des capteurs électromagnétiques qui ont l'avantage d'être sans contact. Les mesures de la vitesse est effectuée en fonction de la tension induite dans une bobine se conduisant dans un champ magnétique.

Le tableau III -2 et la figure III -6 donnent les caractéristiques des principaux capteurs utilisables

Capteur	Dynamique	Bande de fréquence	avantage	Inconvénients
Capteur de déplacements électromagnétique	500 :1	0-2000Hz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de frottement mobile ▪ Sans contact ▪ Mesure de très basses fréquences 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Faible dynamique
Capteur de vitesse	1000 :1	> 10 Hz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas d'alimentation ▪ Faible impédance 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limité aux hautes fréquences ▪ Sensible à l'orientation
Accéléromètre Piézoélectrique	(100 : dB)	Grande	Pas d'alimentation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grande impédance de sortie ▪ Limité dans les basses fréquences

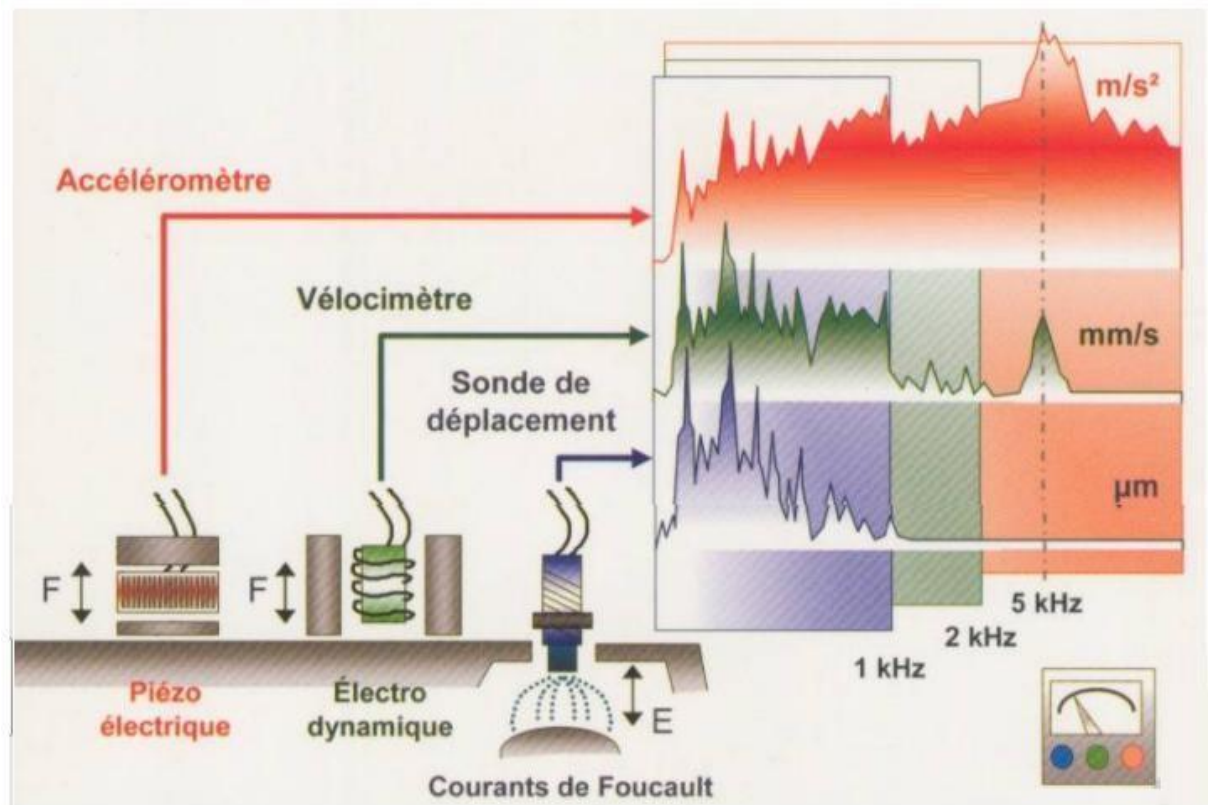


Figure III.6 Instrumentations pour l'analyse vibratoire [8]

III.4.3 Les points de mesure

Les mesures de vibrations sont réalisées au droit des paliers de la machine

Les capteurs utilisés mesurent les vibrations selon une direction, généralement confondue avec leur axe de symétrie.

On distingue différentes directions de mesure pour un même point de mesure physique. Il serait souhaitable de réaliser les mesures de vibrations selon les trois directions possibles. Pour des raisons de temps et de coûts, on se limite généralement à une seule direction de mesure par palier : La direction radiale oblique constitue le plus souvent un bon compromis [11]

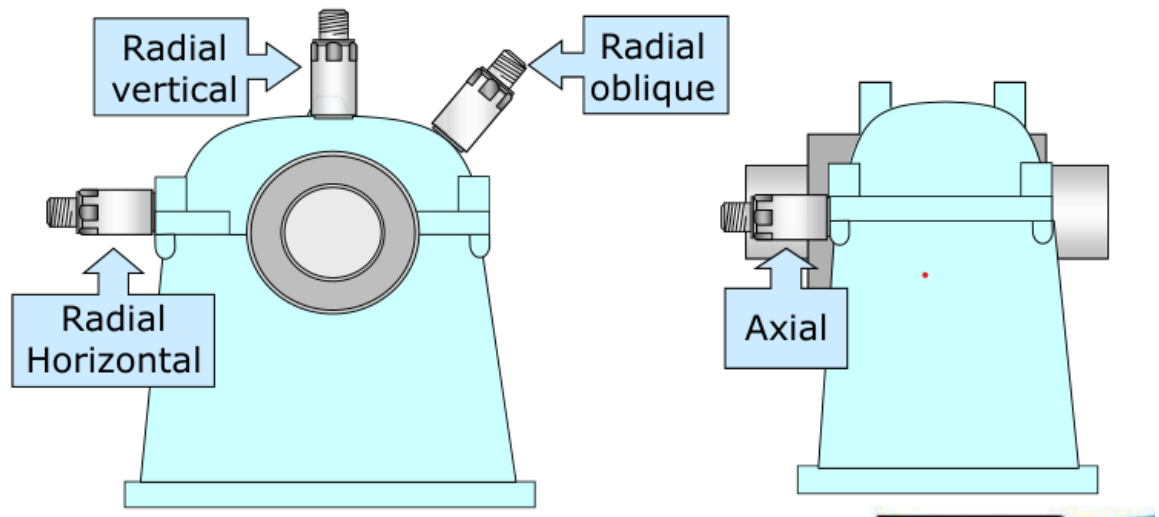
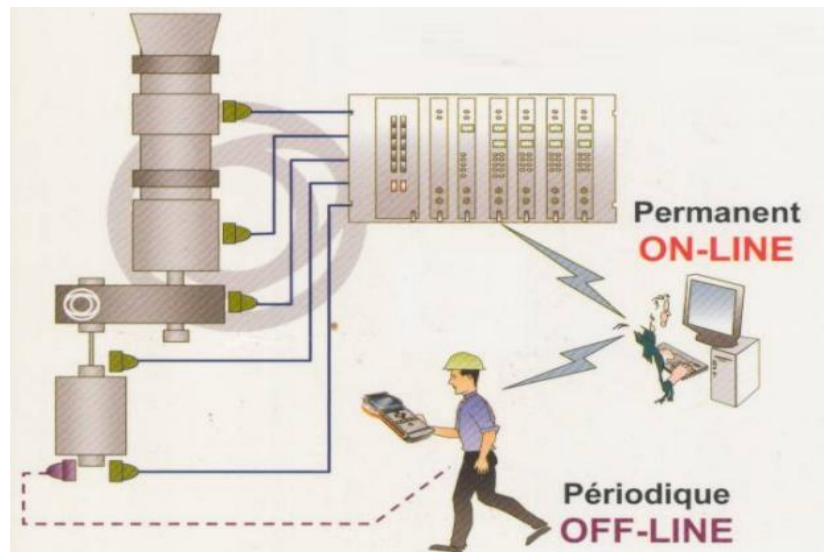


Figure III.7 Points de mesure [11]

III.4.4 Stratège se mesurage

On distingue fondamentalement deux types de surveillance [11]

- Surveillance on-line
- Surveillance off-line



La surveillance on-line

Les capteurs sont installés à demeure sur les machines et connectés à un système de surveillance

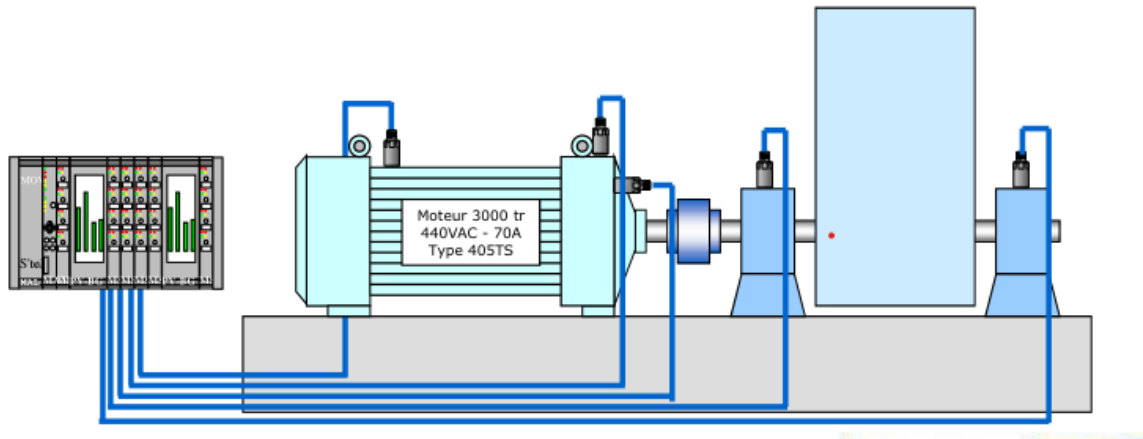


Figure III.8 Mesurage on-line

La surveillance off-line

Les mesures sont relevées à intervalles réguliers par un opérateur équipé d'un collecteur de données

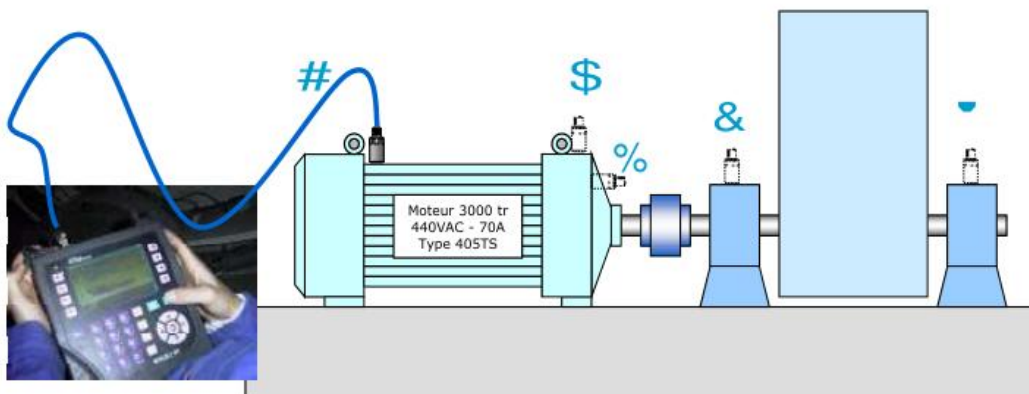


Figure III.9 Mesurage off-line

1) Norme de vibration mécanique

De nombreuses normes couvrent les paramètres vibratoire des machines tournantes (ISO, NF, VDI, API...), selon l'application et le type de machine. Certains paramètres de mesure sont définis et des limites fixées, par exemple de 10 Hz (soit $\geq 600 \text{ tr/min}$) à 1000 Hz pour l'évaluation des vibrations.

Suivre ses directives doit, dans la plupart de cas, assure un fonctionnement satisfaisant [12]

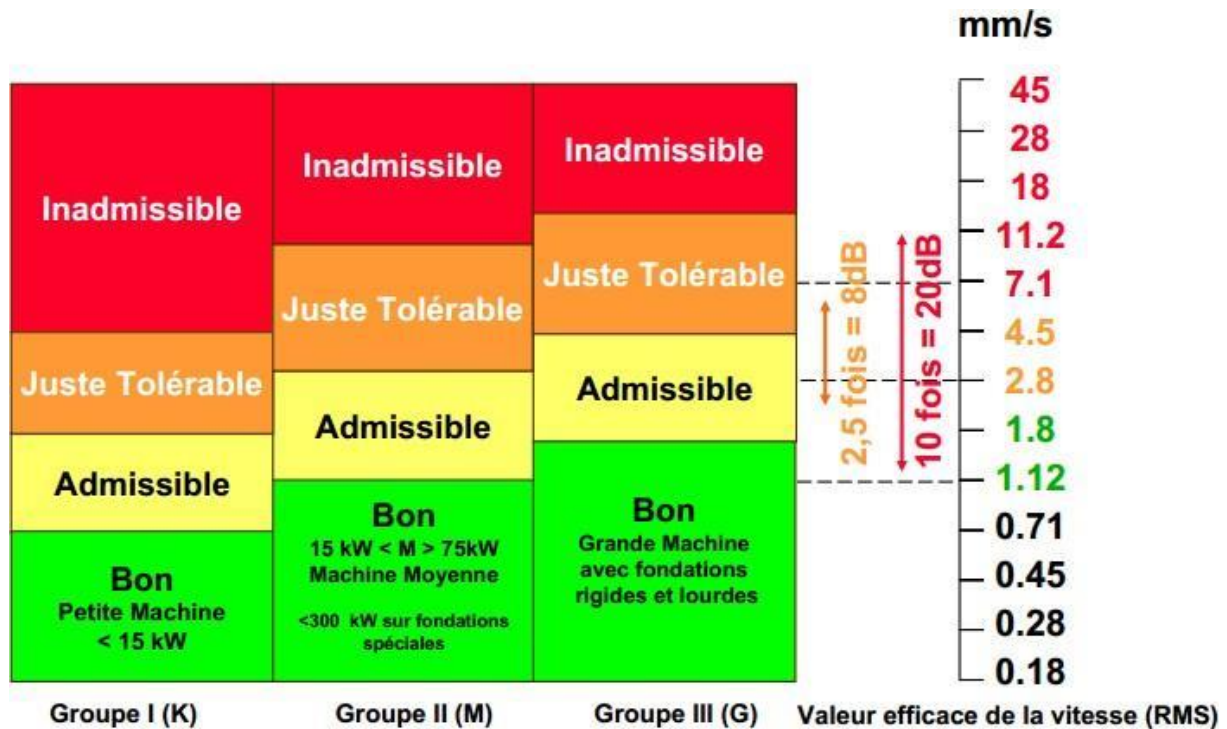


Figure. III.10 Etats de la machine en fonction de la vitesse de vibration

III.5 Défauts des machines tournantes

III.5.1 Balourd

Un balourd est une dissymétrie de masse par rapport à l'axe de rotation. Car en pratique, il est impossible d'obtenir un centrage parfait de tous les éléments d'un rotor. Il existe toujours un déséquilibre provenant de :

-défaut d'usinage

-défaut d'assemblage : décalage d'une pale de turbine, dissymétrie d'un pôle de rotor d'alternateur,

-altérations mécaniques : perte d'un bout d'ailette, érosion, encrassement.

Ce déséquilibre appelé « balourd » va générer une vibration due à la force centrifuge (Figure III.11). [13]

$$F = m_b \omega^2 r_b \quad \text{en [N]} \quad (\text{III.6})$$

Avec m_b : masse théorique du balourd [Kg]

r_b : rayon théorique du balourd [m]

Ω : pulsation ou vitesse angulaire [rad /s]



Figure III.11 : Défaut de balourd

Le balourd engendre en pratique une vibration radiale qui croît fortement avec la vitesse de rotation et qui va se traduire sur le spectre par la présence d'amplitude prépondérante à la fréquence de rotation du rotor et cette vibration ne contient que peu d'harmoniques (Figure3.12).

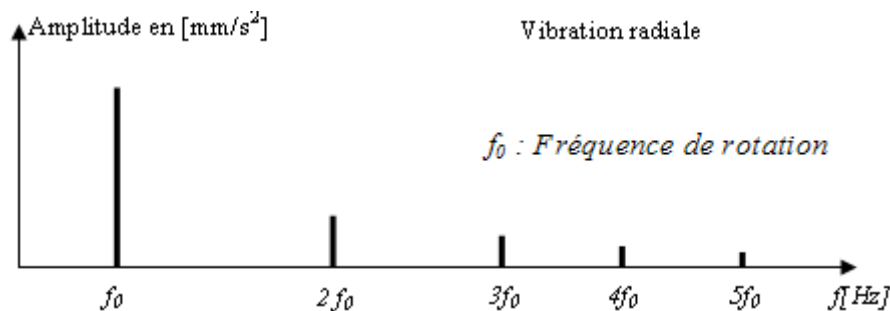


Figure : III.12 Image vibratoire d'un défaut de balourd

III.5.1.1 Différents types de balourd

Il existe trois types de balourd

- **Balourd statique (Fig. a)**

A la vitesse nominale, les deux paliers supportant le rotor vont subir, en même temps l'effort centrifuge. Il n'y a pas donc de déphasage entre les mesures prises aux mêmes angles sur les deux paliers.

Au repos, le rotor aura tendance à se placer dans une position angulaire déterminée par la force de gravitation exercée sur le balourd.

- **Balourd couple (Fig. b)**

A la vitesse nominale, le rotor tangue et les deux paliers supportant le rotor subissent les efforts centrifuges de façon alternée due au couple radial exercé par les deux balourds opposés. Le

déphasage proche de 180° observé entre les mesures effectuées aux mêmes angles sur les deux paliers est révélateur d'un balourd couple.

Au repos, la position angulaire du rotor peut être quelconque, du fait de l'équilibre statique. [13]

- **Balourd dynamique (Fig. c)**

C'est la combinaison d'un balourd statique et d'un balourd couple, la forme la plus courante de balourd.

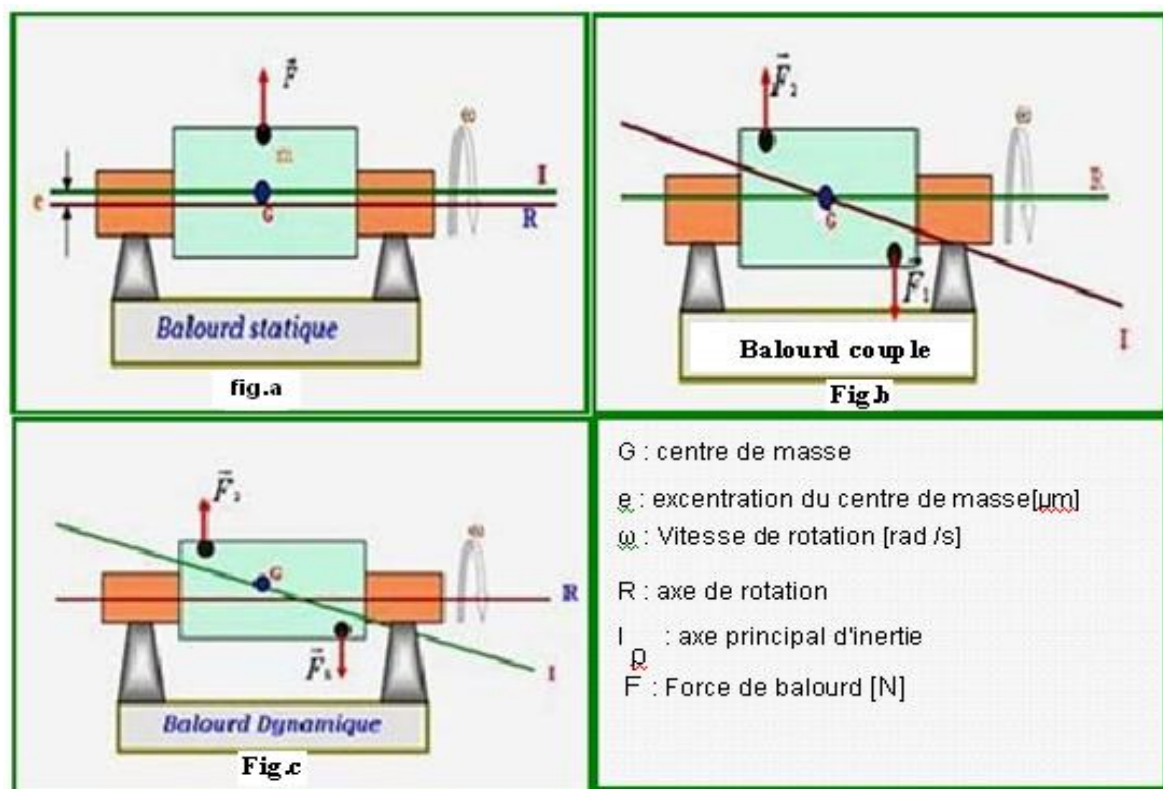


Figure : III 13 Différents types de balourd

III.5.1.2 Les spectres du défaut balourd

Vibrations = radiales

(Fréquence RPM = tr/min : 60)

Le balourd est le défaut le plus commun d'un arbre tournant, on dit qu'un rotor a du balourd lorsque le centre des masses est diffère du centre de rotation, la variation de balourd est principalement radiale à la fréquence de rotation (1xRPM). [14]

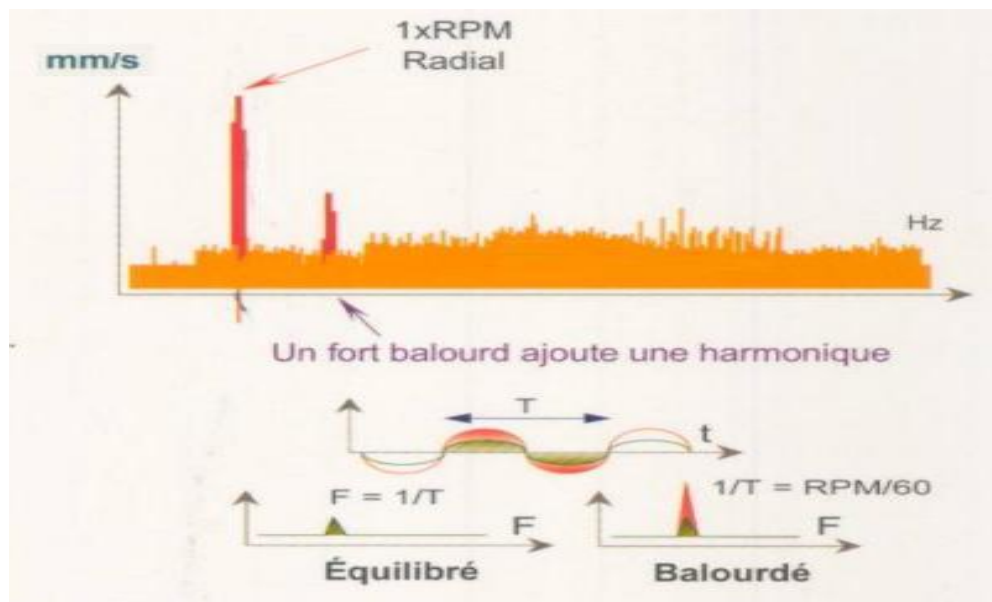


Figure III.14 Spectre de défaut du balourd

III.5.2 Les roulements

Les roulements sont une des parties les plus sollicitées des machines et une cause de panne fréquente. Les défauts que l'on peut y rencontrer sont les suivants : écaillage, grippage, usure, corrosion (qui entraîne l'écaillage). Le tableau suivant représente les défauts des roulements [13]

Tableau.III.1 : Défauts des roulements

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

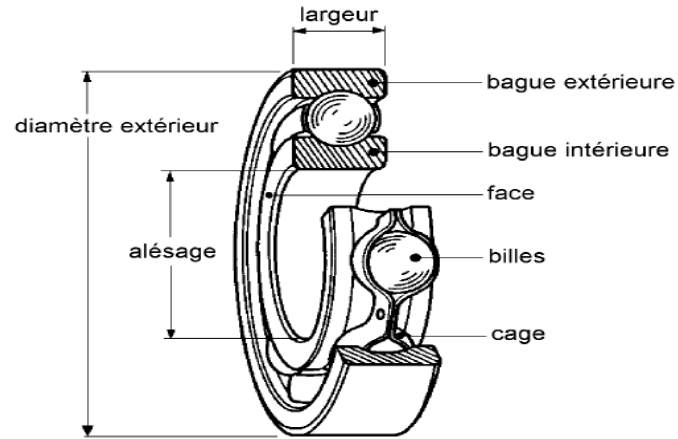


Figure III.15 Eléments composant un roulement à billes

1- Les données géométriques [13]

Fréquences de roulement

- Fréquence d'un défaut localisé sur la bague externe du roulement :

$$f_{be} = \left(\frac{N}{2}\right) f_r \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right) \cos \varphi\right] \quad (\text{III.7})$$

- Fréquence d'un défaut localisé sur la bague intérieure : (III.8)

$$f_{bi} = \left(\frac{N}{2}\right) f_r \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right) \cos \varphi\right]$$

- Fréquence d'un défaut localisé sur un élément roulant : (III.9)

$$f_{bi} = \left(\frac{N}{2}\right) f_r \left[1 + \left(\frac{d}{D}\right) \cos \varphi\right]$$

- Fréquence d'un défaut de cage (III.10)

$$f_b = \left(\frac{D}{d}\right) f_r \left[1 - \left(\left(\frac{d}{D}\right) \cos \varphi\right)^2\right]$$

La géométrie des roulements permet de déterminer leurs fréquences caractéristiques de défauts.

Les données géométriques de base sont :

D_m : diamètre moyen, avec $D_m = \frac{D_i + D_e}{2}$

D_i : Diamètre du chemin de roulement de la bague intérieur

D_e : Diamètre du chemin de roulement de la bague extérieur

N : Nombre de billes

φ : Angle de contact

D : diamètre d'une bille

Fr : la fréquence de rotation entre les bagues intérieure et extérieure

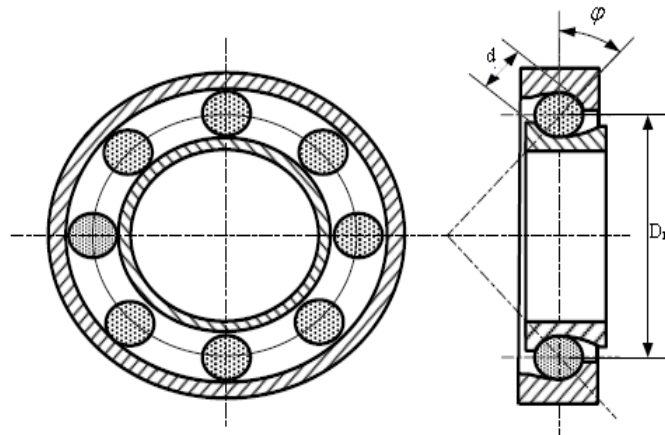


Figure III.16 : Schéma d'un roulement

2- Les spectres du défaut de roulement

Piste externe du roulement

La BPFO est excitée lorsqu'un élément roulant passe sur un défaut de la piste externe (crique, fêlure, amorce, pique...).

Une usure débute souvent par la surface de la cage externe dans la zone où la charge est maximale.

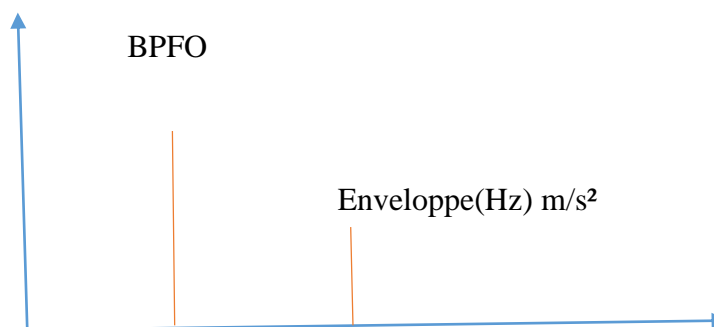


Figure III.17 : Spectre de défaut de la bague extérieure

Piste interne du roulement

La BPFI apparait lorsqu'un élément roulant passe sur un défaut de la piste intérieure. Les défauts de piste intérieure sont soumis à des modulations dues à la vitesse de l'arbre : d'où un grand nombre de bandes latérales

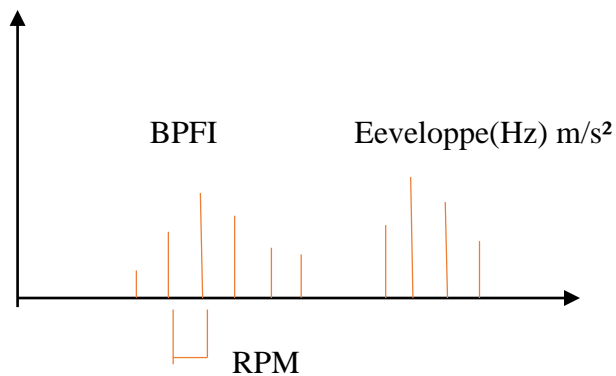


Figure III.18 : Spectre de défaut de la bague intérieure

Éléments roulants

La BSF apparait lorsque le défaut affecte la surface de l'élément(s) roulant.

Les fréquences de défaut des billes ou de rouleaux peuvent intervenir à la BSF (Généralement la BSF est considérée par rapport aux deux piste), avec les harmoniques associées dont l'amplitude est liée au nombre d'éléments touchés.

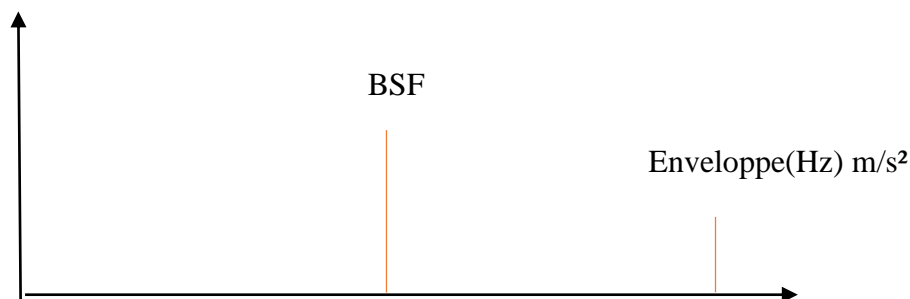


Figure III.19 Spectre de défaut d'éléments roulant

III.5.3 Le désalignement

Le défaut d'alignement est l'une des principales causes de réduction de la durée de vie des équipements, il concerne soit deux arbres liés par un accouplement, soit deux paliers soutenant le même axe. L'arbre moteur et l'arbre récepteur d'une machine ne sont pas parfaitement alignés.

L'objectif du lignage de deux machines est de faire en sorte que les axes des deux lignes d'arbres soient parallèles et confondus. Deux types de défauts de lignage sont donc rencontrés :

1- Désalignement angulaire : il se produit quand l'axe de rotation de deux machines à un angle différent. Le désalignement angulaire se caractérise par une vibration axiale élevée.

2- Désalignement axial : il se produit quand les axes de rotation des deux machines ont le même angle d'orientation. Mais ils sont séparés verticalement, chacun de l'autre.

Le désalignement axial (parallèle) se caractérise par une vibration radiale élevée

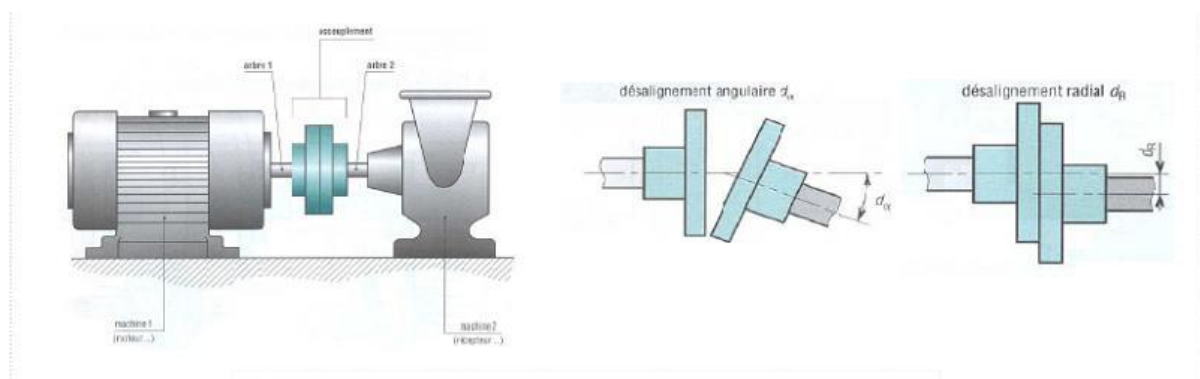


Figure III.20 Défauts désalignement

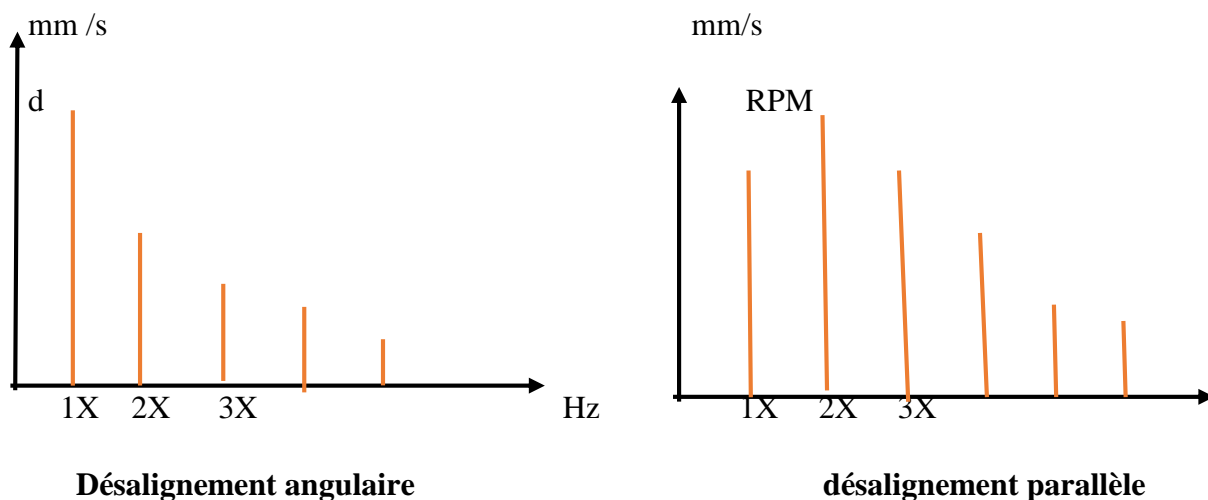


Figure III.21 Spectre de défaut de désalignement [14]

III.5.4 Des engrenages [11]

Les engrenages permettent la transmission d'un couple avec ou sans réduction de vitesse. Le rapport des vitesses des deux arbres est lié au nombre de dents de chacun des pignons en contact :

$$N_1.F_1 = N_2.F_2 \rightarrow F_2/F_1 = N_2/N_1 \quad (\text{III.11})$$

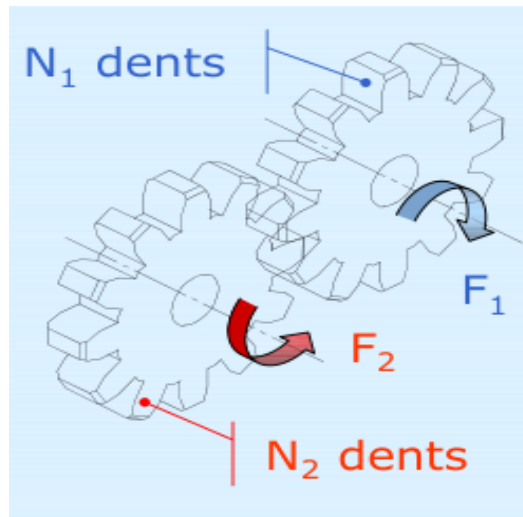


Figure. III.22 défauts d'engrenage

1- Spectre typologique initial [11]

En l'absence de défaut, on retrouve dans le spectre vibratoire la fréquence d'engrènement F_E et ses harmoniques $2.F_E$, $3.F_E$

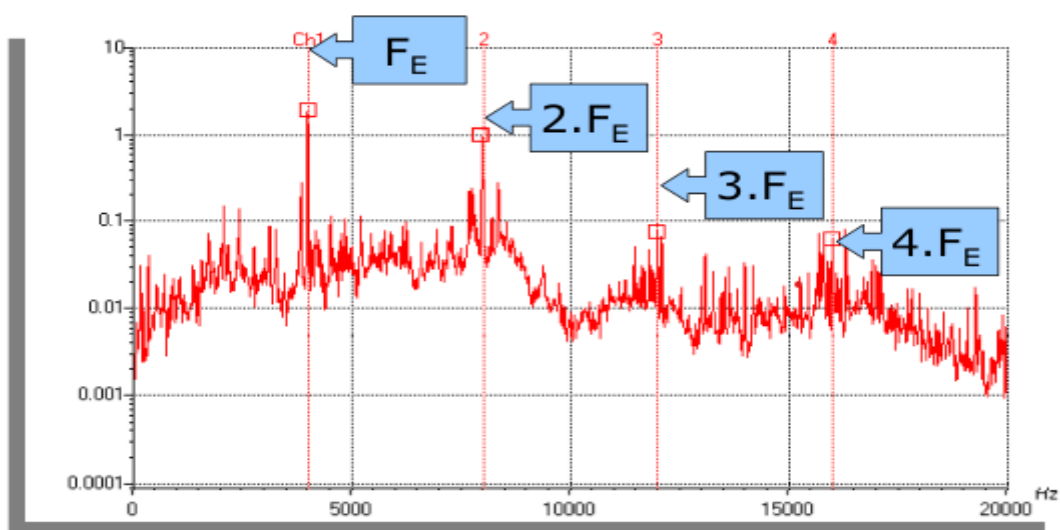


Figure III.23 Spectre de défauts d'engrenage

III.5.5 Jeux-usure

Les jeux mécaniques (mauvaise fixation structurelle, montage, fondations, pieds, usure composant), entraînent des mouvements et chocs tournants, souvent à dominante verticale d'un ou deux cycles par tour d'arbre. Ils produisent une distorsion forte du signal, voire une troncature. [12]

- **Jeu de fondation**
 - Souvent de nombreuses harmoniques
 - Parfois des sous-harmoniques

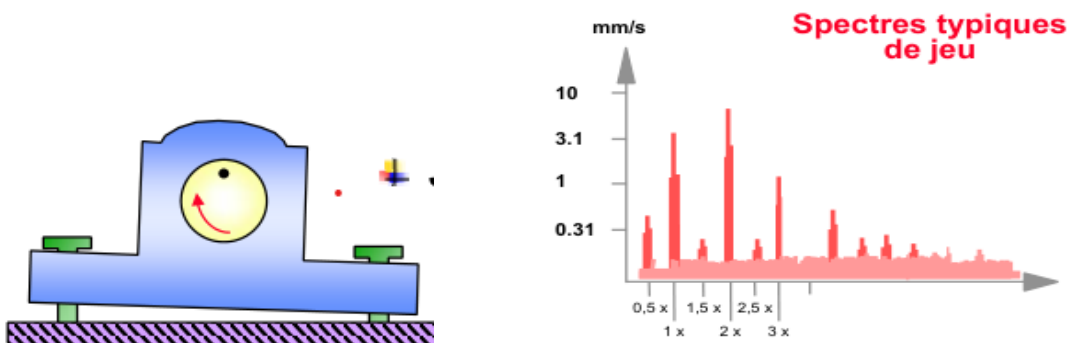


Figure III.24 Jeu de fondation

- En cas de jeu, on aura une augmentation importante de beaucoup d'harmoniques.

Les inter-harmoniques ($1/2$, $1/3$...etc.) proviennent des parties branlantes qui font en quelque sorte des bonds, et sont excitées toutes les 2^{ème} ou 3^{ème} révolution de l'arbre.

- **Jeu d'arbre**
 - Souvent des séries de composantes sous-harmoniques $1/2$, $1/3$... $1/\text{rpm}$ [12]

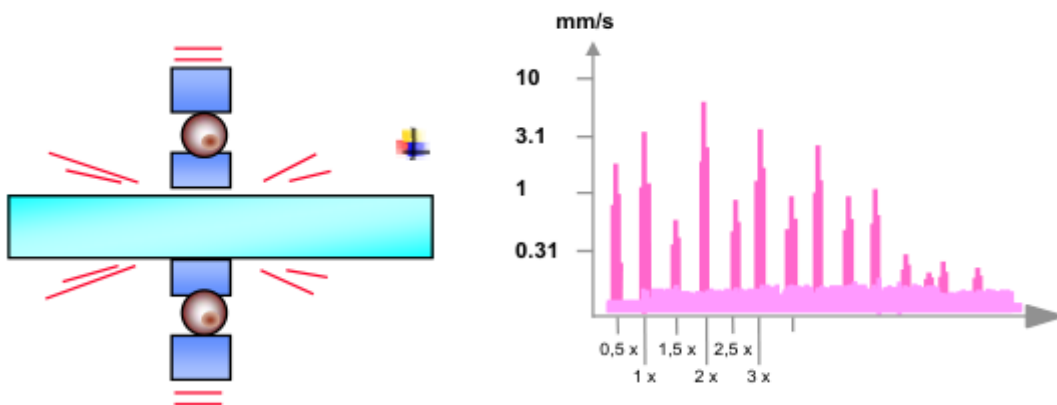
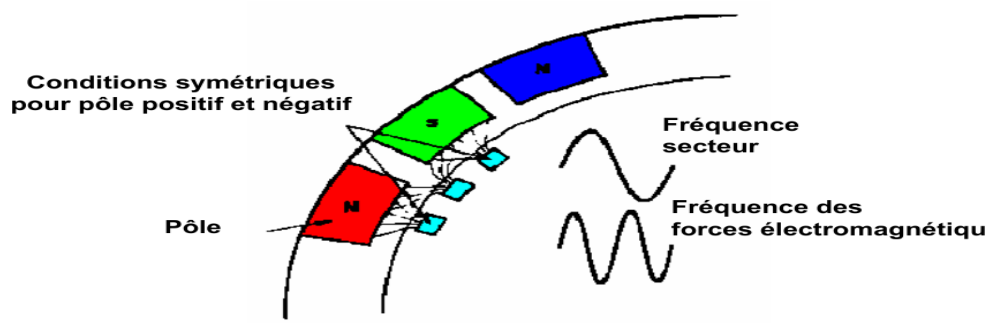


Figure III.25 défauts d'arbre

III.5.6 Défauts électriques

Les conditions étant symétriques pour les pôles nord et sud, les électroaimants d'un moteur électrique se contractent 2 fois par période de la fréquence secteur (en France $F_s=50$ Hz). Ainsi, les défauts d'origines électriques apparaissent dans le spectre vibratoire à la fréquence de ligne, ou passage de pôles, de $2 \times F_s=100$ Hz

- ✓ Les défauts électriques peuvent faire varier le comportement de toute la machine, comme le ferait une variation de charge.



- ✓ Fréquence des forces électromagnétiques = $2 \times$ fréquences secteur
- ✓ Excentricité du Stator Jeu du Support de Stator

• 2ème Harmonique

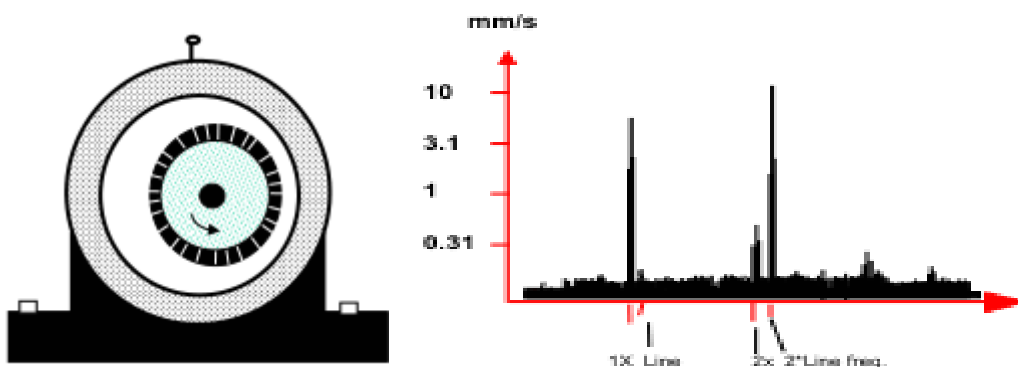


Figure III.26 défauts électrique

- ✓ Excentricité Rotor (Statique)

- $2 \times$ Fréquence secteur et Bandes latérales à la Fréq.Pass. De Pôles autour de $2 \times$ fréquence secteur

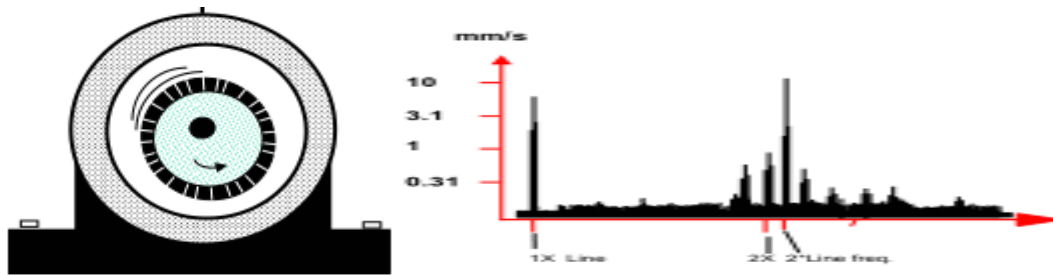


Figure III.27 spectre de défauts

III.6 Conclusion

Le principe de l'analyse vibratoire est basé sur l'idée que les machines tournantes en fonctionnement engendrent des défauts tels qu'un balourd, un désalignement, un défaut de roulement, un écaillage de dents d'engrenage, qui donnent des signaux vibratoires très compliqués.

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu théorique sur les principaux défauts des machines tournantes et leurs méthodes de diagnostic.

Chapitre IV :

Partie expérimentale

IV. Chapitre IV Partie expérimentale

Introduction

L'alimentation par l'eau de mer des unités de dessalement est assurée par quatre pompes verticales de type turbopompe ; le rôle de ces pompes occupe une place stratégique dans le système de production de l'électricité, donc il est essentiel de veiller au bon fonctionnement de ces machines et leur disponibilité aux moments opportuns afin d'assurer une distribution continue en électricité, la chose qui n'est pas facile car elles requièrent, entre autres, des ressources humaines compétentes, des unités de contrôle et de maintenance qui doit disposer d'outils et du matériel nécessaires à des interventions efficaces et précises.

La technique utilisée pour suivre l'état de ces pompes est la signature vibratoire, cette dernière est l'image directe de tous les efforts et les mouvements des organes constituant la machine. Cette signature comporte des effets normaux qui sont le résultat du fonctionnement normal de la machine ainsi que des effets anormaux qui résultent des dysfonctionnements et des défauts qui peuvent toucher ses organes.

L'analyse vibratoire repose sur la prise de mesures à l'aide de capteurs, généralement, des accéléromètres, qu'on fixe sur la machine. La fiabilité de ces mesures est directement liée à l'emplacement des capteurs. En effet, Il n'est pas toujours possible, dans la plupart des cas, de les positionner directement sur les éléments à surveiller pour des raisons d'accessibilité. Il est donc essentiel de choisir des points de mesure les plus proches possibles et de réduire au maximum la distance défauts-capteurs.

Les vibrations recueillies lors des campagnes de mesures sont porteuses de riches informations qui caractérisent l'état de fonctionnement des composants mécaniques constituant la machine à analyser. C'est grâce à l'analyse de ces vibrations qu'il est possible de détecter les composants défectueux et éventuellement de les localiser. Lorsqu'un seuil, soit d'alarme ou de danger (correspond à un niveau de vibration limite), est atteint, il est possible d'estimer la durée de vie résiduelle du composant dans les conditions de fonctionnement données à partir de la connaissance de lois d'endommagement.

Cette méthode de surveillance sera utilisée dans notre étude pour la surveillance de la pompe de type CWP (figure). Ce travail consiste à surveiller la pompe à partir du jour de sa révision jusqu'au signal du seuil de danger. Pour ce faire, nous utilisons un et VIBROTEST 60 le logiciel d'analyse vibratoire 'Xms' qui servira à élaborer les diagnostics.

IV.1 Représentation de l'appareil (VIBROTEST 60)

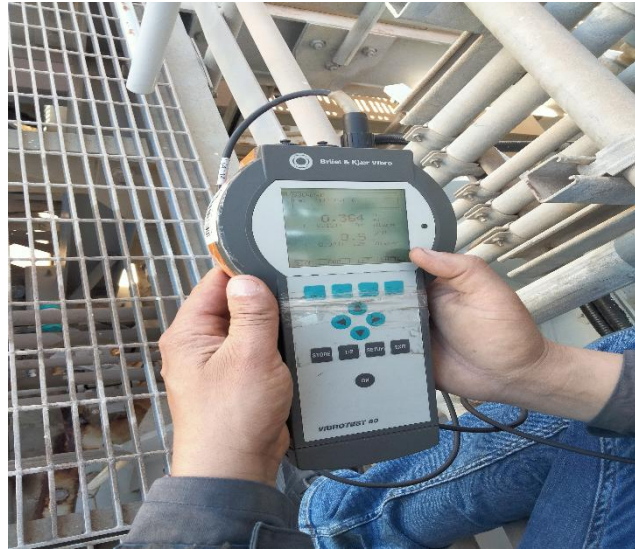


Figure IV.1 VIBROTEST 60

Le VIBROTEST 60 est destiné à faire des mesures globales de vibrations, de paramètres de procédé, de filtre suiveur et des spectres en fréquence.

Logiciel d'analyse de diagnostic vibratoire « XMS - LOGICIEL DE SURVEILLANCE EXTENDED » :

Le progiciel XMS ® PC représente l'élément central d'un système de surveillance et de diagnostic des conditions dans le cadre de la maintenance prédictive des machines et des installations.

Le domaine d'application de Xms est très large, puisqu'il répond aux particularités techniques et technologiques des équipements mécaniques constituant les outils de productions d'industries aussi diverses que la chimie, la pétrochimie, les industries du papier, la production d'énergie, l'agroalimentaire, le transport, etc. Il peut aussi échanger des données avec d'autres logiciels (tableurs, traitements de textes...), d'autres secteurs de l'usine (la production, la gestion...) et d'autres sociétés (laboratoires d'analyses d'huile, télémaintenance et télédiagnostic ...).

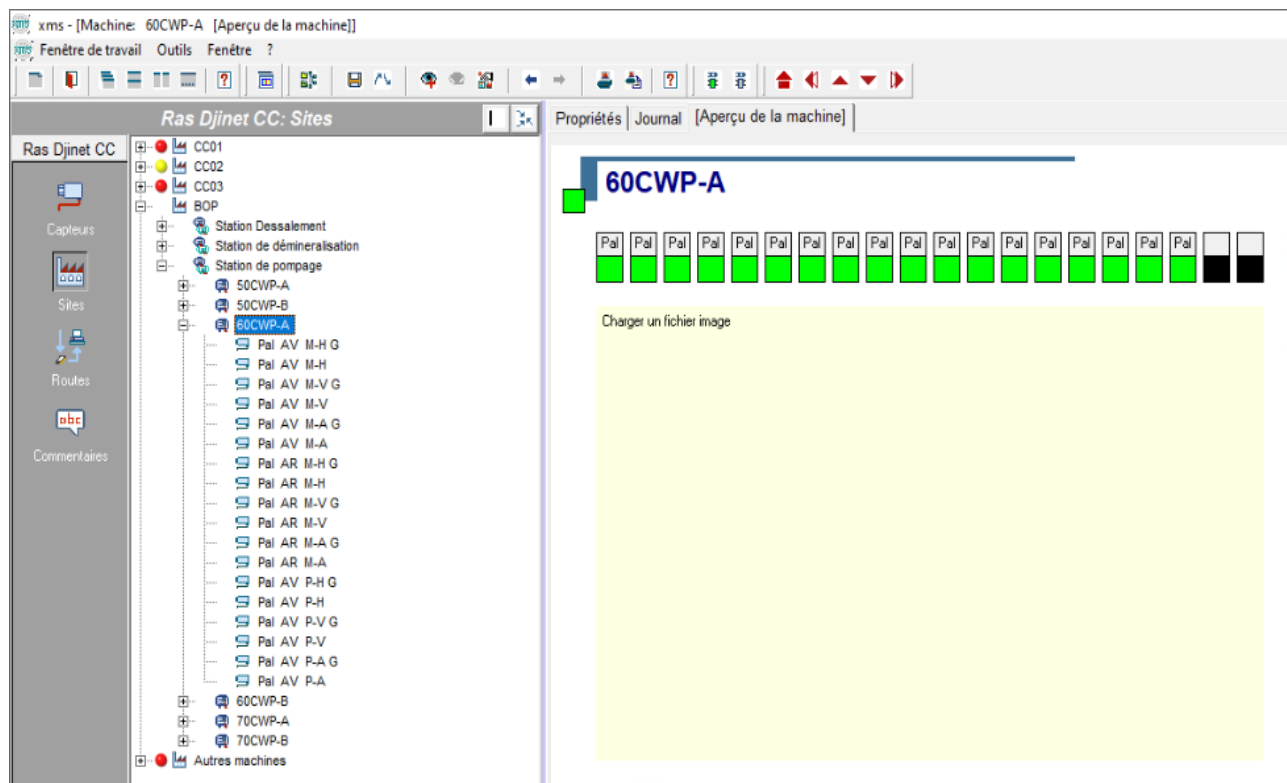


Figure IV.2 La fenêtre principale du logiciel.

IV.2 Avantage du VIBROTEST 60

Cet appareil est très :

- Appareil portable petit et léger (masse : 900g)
- Véritable appareil bi-voie avec mesure de la vitesse de rotation.
- Très bonne résolution pour les spectres en fréquence maximum : 12800 lignes.
- Possibilité de raccorder des capteurs d'accélération, de vitesse, et de déplacement de vibration.
- Sauvegarde des données grâce aux cartes PC
- Rapport prix/prestation, particulièrement compétitif.

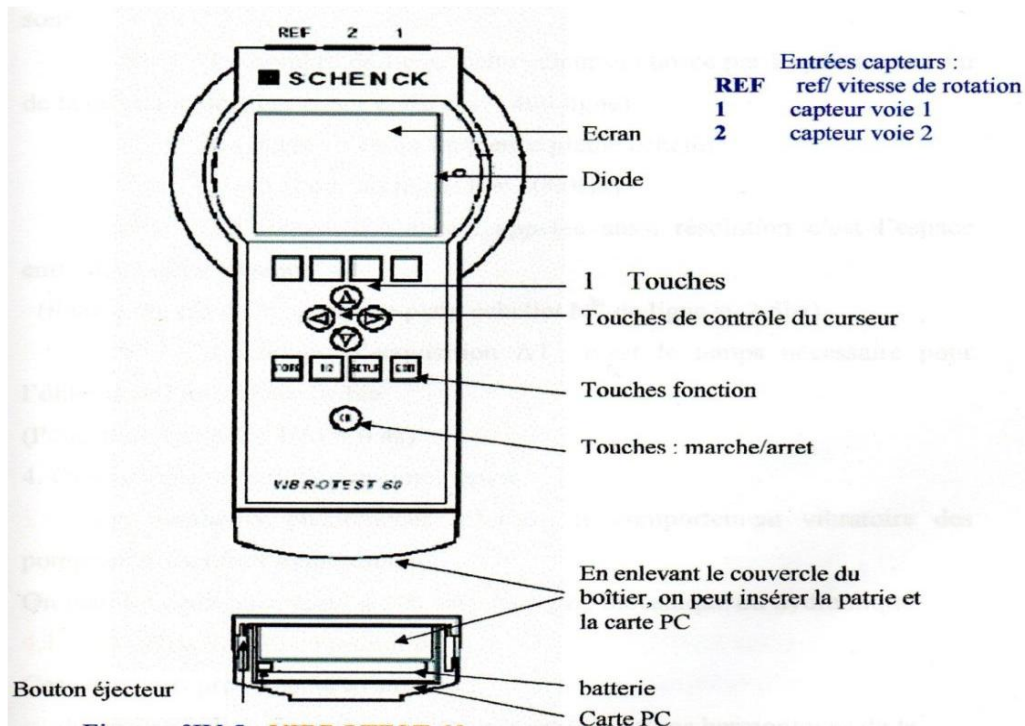


Figure IV. 3 Schématisation d'une VIBROTEST 60.

IV.3 Diagnostic vibratoire de la pompe

IV.3.1 Niveau globale

Le suivi dans le temps de l'évolution du niveau vibratoire nous donne des informations significatives. On peut apercevoir sur les courbes de tendance ci-dessous (figure 4) que l'évolution du niveau global vitesse dans les directions horizontale, étant moyennement constant sur une période, nous pouvons alors dire que c'est une période de « bon fonctionnement ». Le niveau vibratoire commence à s'intensifier à partir de cette dernière date où nous remarquons une brutale augmentation du niveau global sur le **Pal AV MH** (figure 4) dans la direction radiale horizontale, qui donne une première idée sur le changement de fonctionnement de la pompe, le début de l'état de seuil d'alarme, donc une dégradation de l'équipement est fort probable. Ce dépassement de seuil laisse présumer que la machine est affectée de défaut. L'état critique peut alors être déclaré, malgré ceci, le fonctionnement de la pompe a été prolongé pour des raisons de production jusqu'au où celle-ci est appelée en révision.

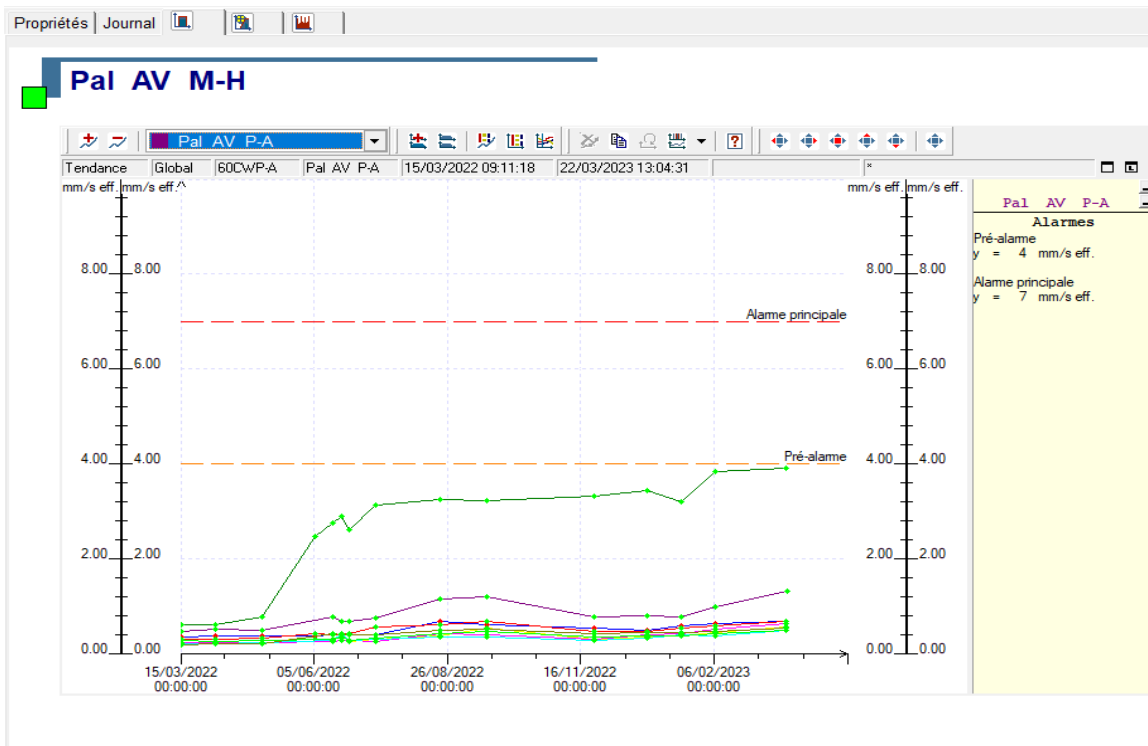


Figure IV.4 Niveau global en RMS

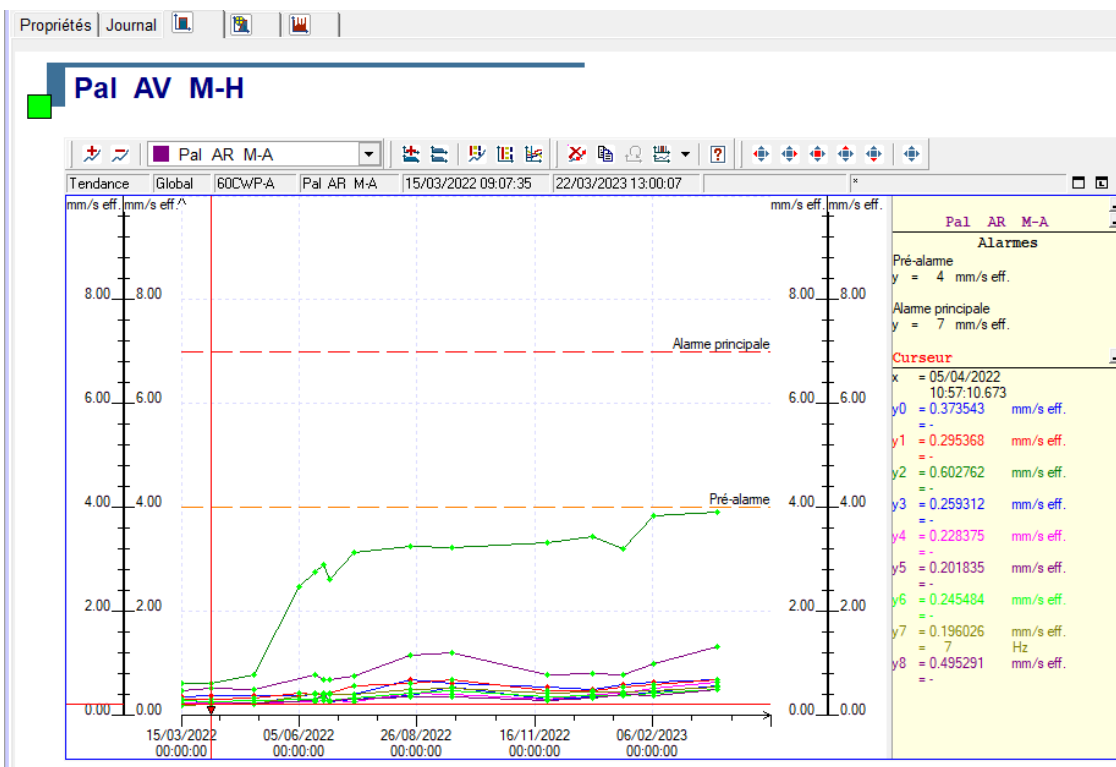


Figure IV.5 Niveau global en RMS pointu sur 05/04/2022

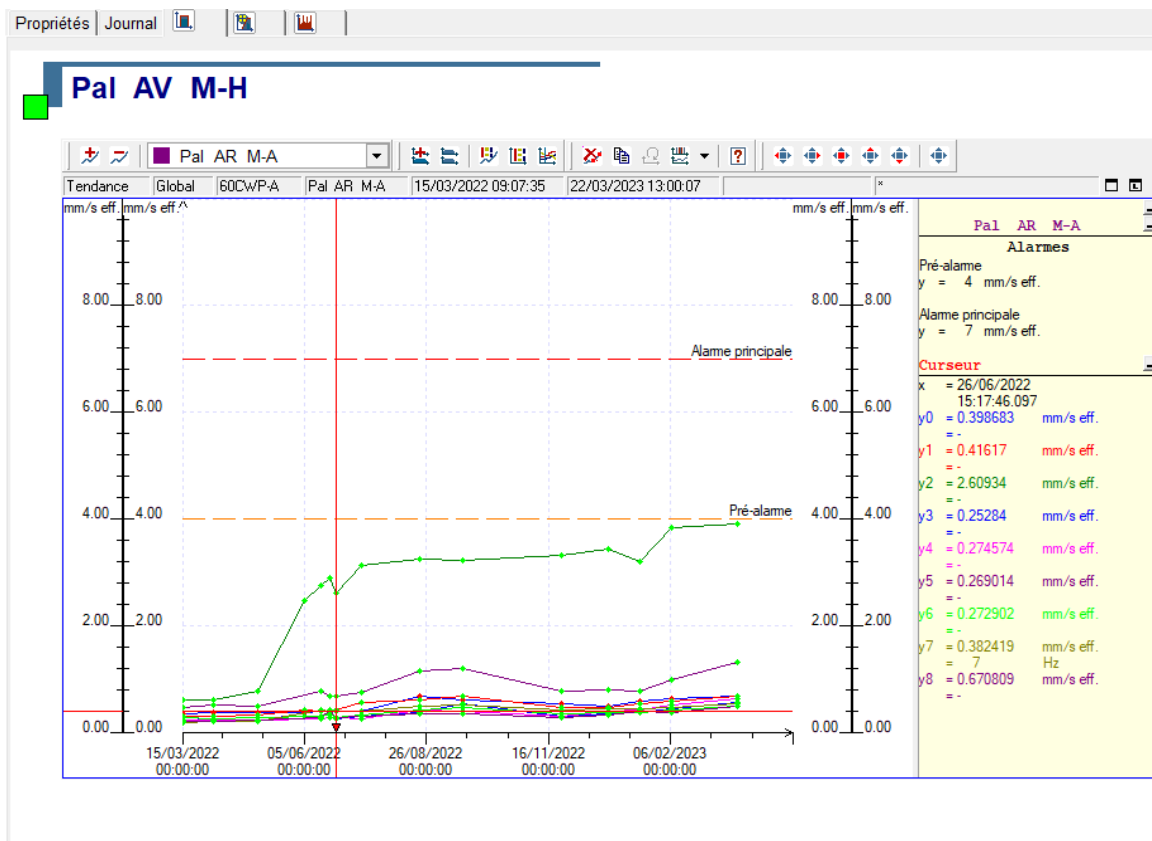


Figure IV.6 Niveau global en RMS pointu sur 26/06/2022

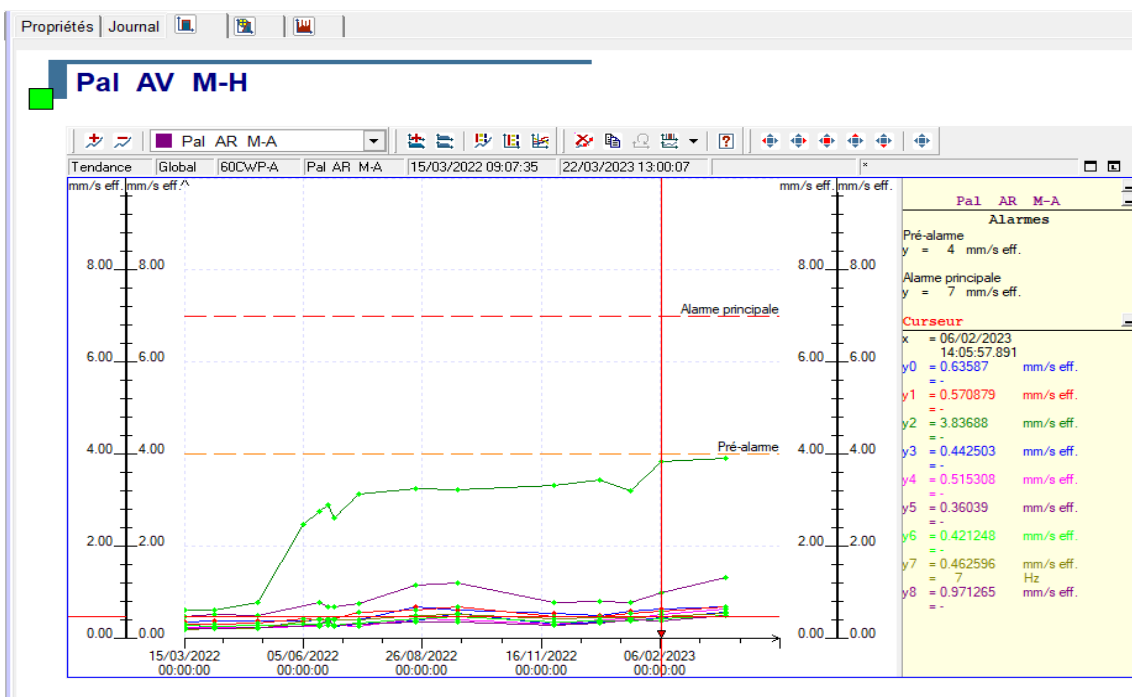


Figure IV.7 Niveau global en RMS pointu sur 22/03/2023

L'analyse du niveau global permet donc de statuer d'une manière générale sur l'état de la machine mais ne peut jamais spécifier avec exactitude qu'un tel défaut à affecter un tel organe. Pour remonter aux défauts qui ont engendré de tels vibration, il faut passer le relais à l'analyse spectrale afin de chercher les fréquences des défauts probables qui peuvent affecter la machine.

IV.4 Analyse spectrale

D'après l'étude des spectres des points **1 et 2 et 3** dans la direction axiale, horizontale et verticale, nous remarquons clairement un pic dont la fréquence correspond à la fréquence de rotation de l'arbre (7 Hz), dont les amplitudes restent dans la limite de bon fonctionnement. Dans cette situation, le défaut est considéré comme acceptable et n'affecte pas le fonctionnement de la pompe.

IV.4.1 Les spectres

La pompe est divisée en trois paliers (AV-M / AR-M / AV-P) ou nous avons mesuré en trois axes (A-H-V) et il nous a choisis trois dates dans chaque palier :

- 05/04/2022
- 26/06/2022
- 06/02/2023

PALIER AV- MOTEUR (H-V-A) :



Figure IV .8 Spectre 1 de palier AV-moteur (H-V-A)



Figure IV.9 Spectre 2 de palier AV-moteur (H-V-A)

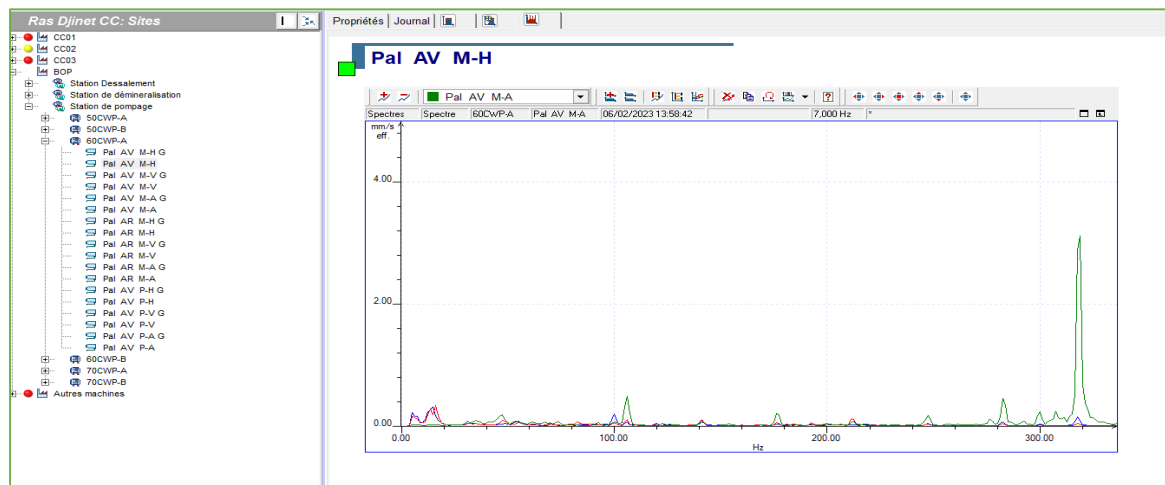


Figure IV.10 Spectre 3 de palier AV-moteur (H-V-A)

La vitesse de rotation de la pompe : 423 rpm

La fréquence de rotation : $F_r = N/60 \longrightarrow F_r = 423/60 = 7,05 \text{ Hz}$

- D'après les trois spectres dans les position axial, horizontal et vertical suinat, on remarque qu'il existe un pices augmente dans chaque mesure qui atteint sa limite dans l'axe-A a un vitesse de 3,6 tr/min, et le pices que vous voyons dans les spectre il est dans le $4x F_r$ donc sont clisement identi que défaut de roulement qui n'a pas atteint pré-alarme qui est égal à 4

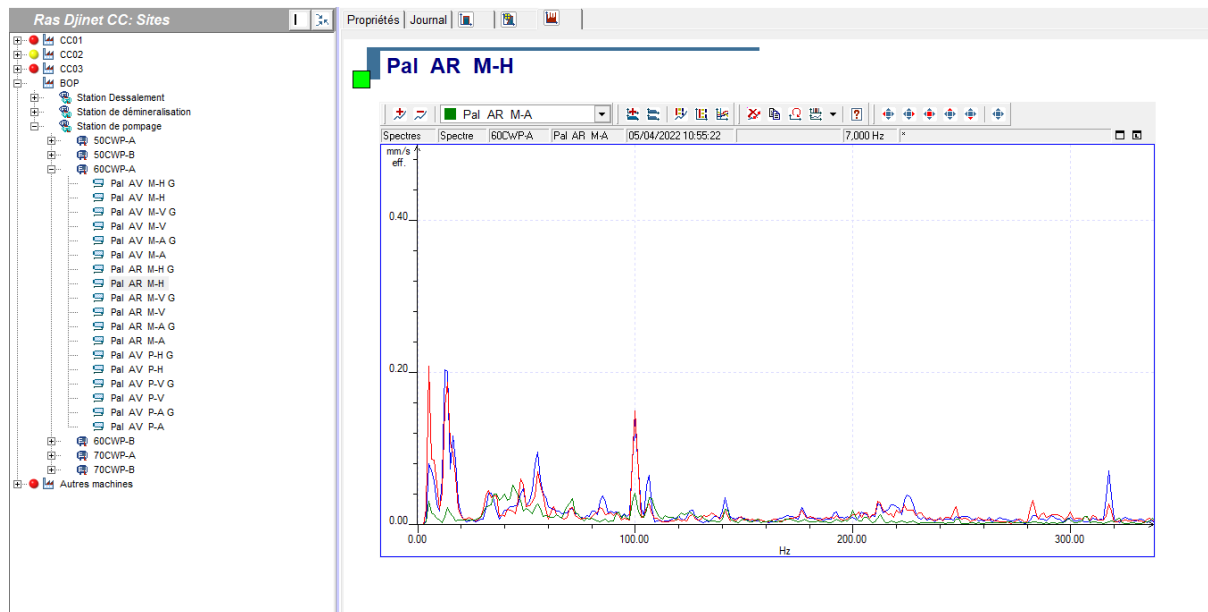
Palier AR- moteur (A-H-V) :

Figure IV.11 Spectre 1 Palier AR- moteur (A-H-V)

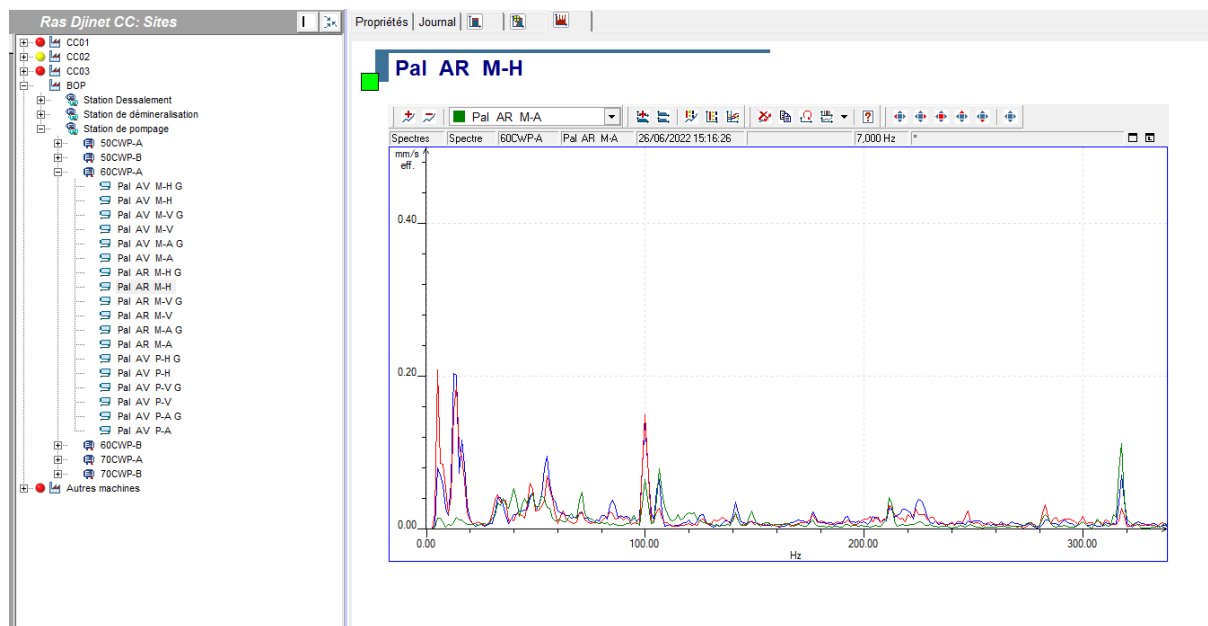


Figure IV.12 Spectre 2 Palier AR- moteur (A-H-V)

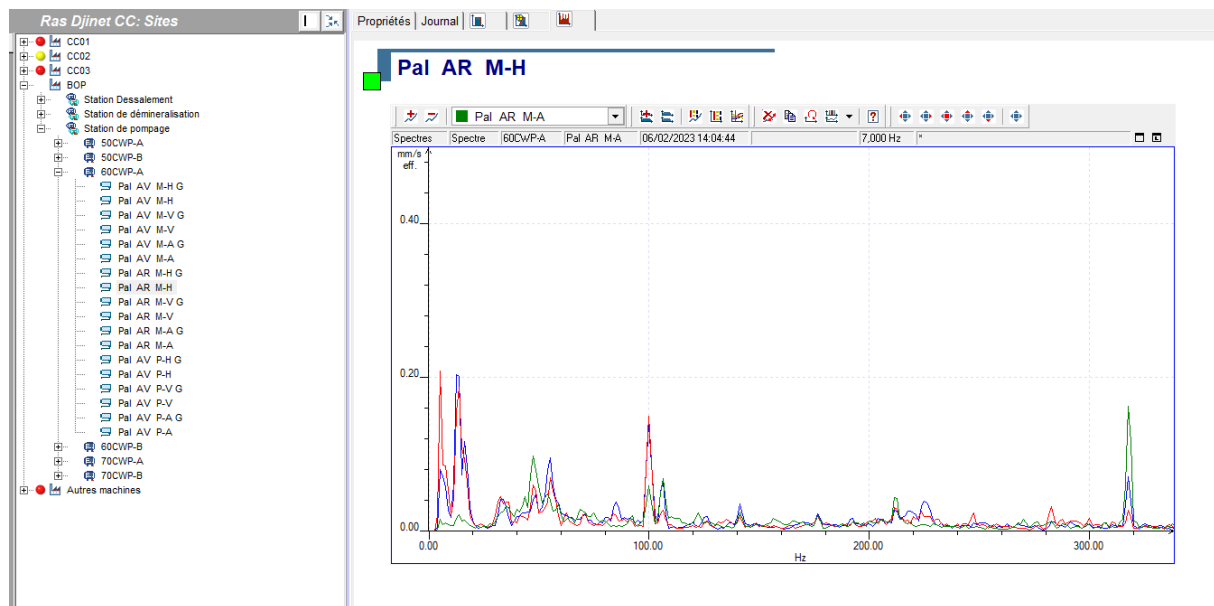


Figure IV.13 Spectre 3 Palier AR- moteur (A-H-V)

- D'après les résultats des spectres suivants dans les trois positions, on remarque qu'il existe des pics importants dans $2xFr$ et $4xFr$ dans l'axe axial et vertical, et ça nous montre qu'il y a un défaut de balourd correspondant au pic dans l'axe vertical à une fréquence $1xFr$

Palier AV-POMPE (H-V-A)

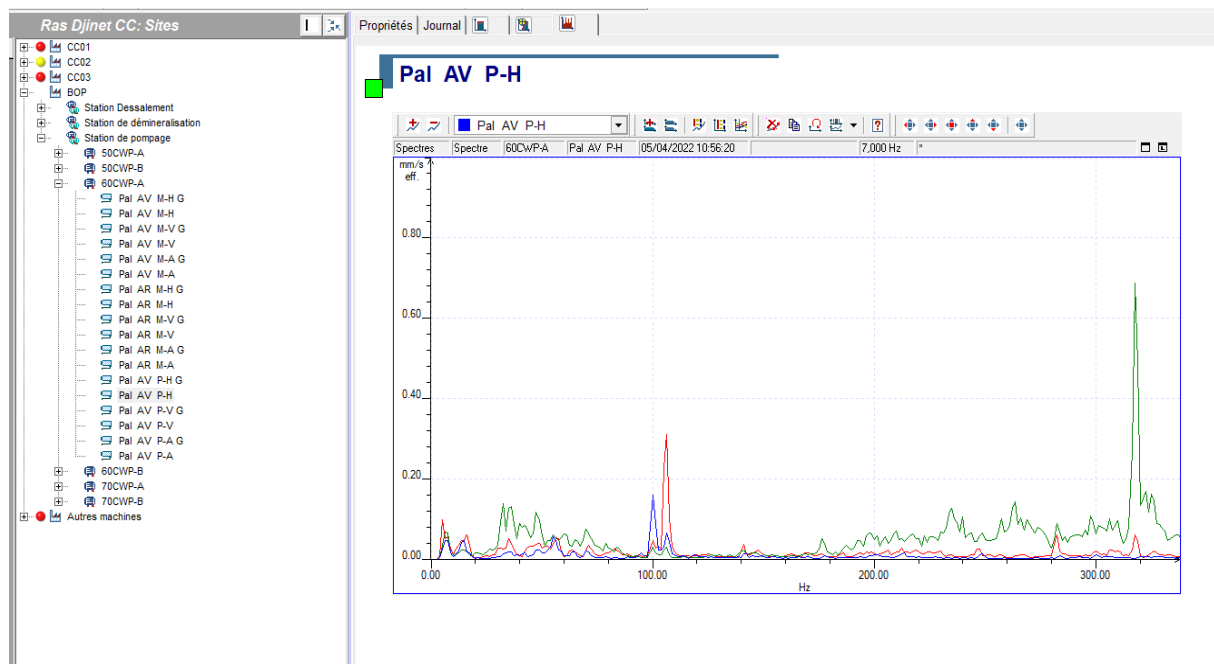


Figure IV.14 Spectre 1 Palier AV-POMPE (H-V-A)

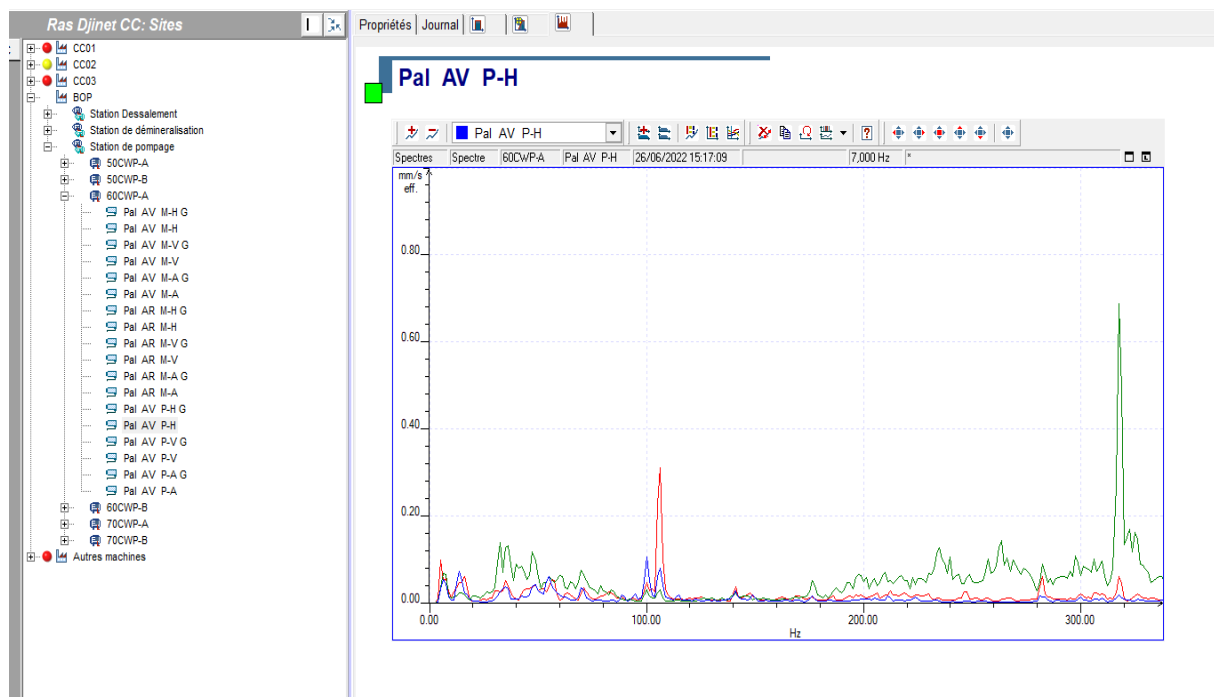


Figure IV.15 Spectre 2 Palier AV-POMPE (H-V-A)

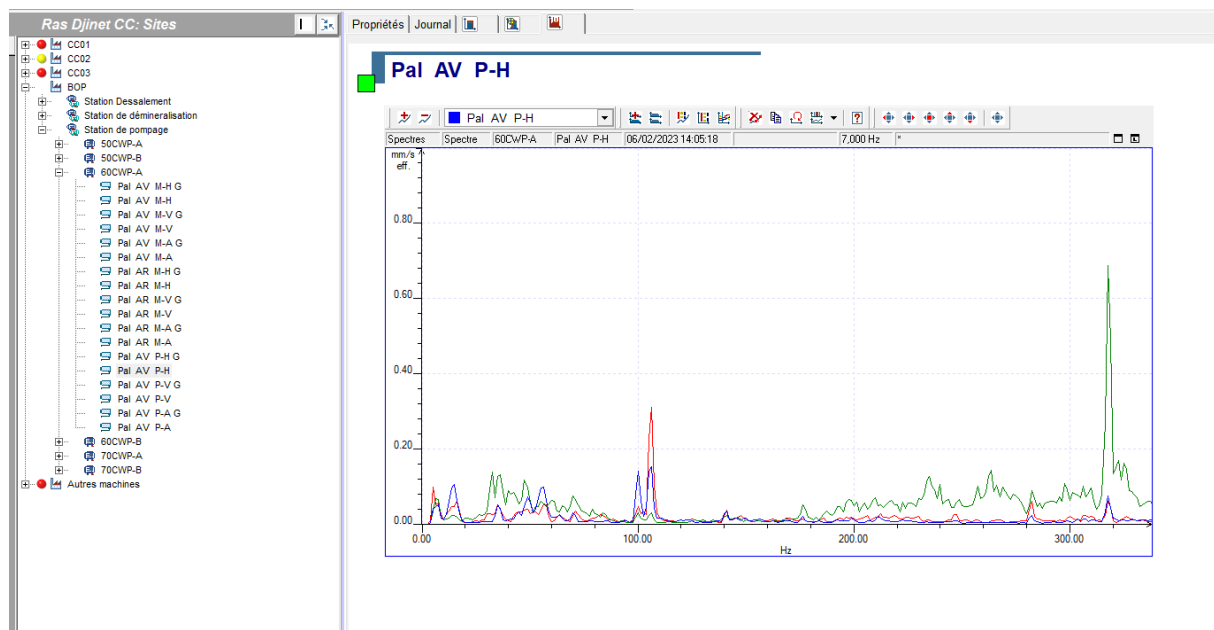


Figure IV.16 Spectre 3 Palier AV-POMPE (H-V-A)

- D'après l'analyse des spectres dans le palier AV-P, il y a des pics qui augmentent et qui sont importants dans l'axe axial et vertical, où l'on peut dire qu'il y a un défaut de désalignement correspondant à une fréquence de $2x_{Fr}$ et $4x_{Fr}$.

IV.5 Conclusion

La mesure en niveau global permet, en se rapportant à des références connues (normes, spécifications du constructeur, des mesures antérieures, etc.), de quantifier un état général d'une machine et de juger si le niveau de vibration est acceptable. Dans le cas contraire, il est important d'en définir la raison et chercher le phénomène excitateur. Cette mesure permet de détecter la présence d'un défaut, mais ne permet pas de l'identifier. Par contre l'analyse spectrale permet de déterminer non seulement la nature du défaut mais aussi son évolution dans le temps

Conclusion générale :

Les travaux réalisés dans ce travail étudient à la surveillance des conditions de fonctionnement des machines tournantes, tirant avantage des possibilités souffertes par les techniques de l'intelligence artificielle, pour l'exploitation des avancées réalisées en matière de traitement du signal et la construction d'outils de diagnostic.

La surveillance d'états de fonctionnement des machine tournante comme les motopompes présente donc un intérêt indéniable, afin d'atteindre les objectifs visés.

L'application de cette méthode (analyse vibratoire) nous permettre un bon diagnostic technique et de localiser rapidement le ou les éléments défaillants et la ou les causes de défaillances, et de réduire le temps d'arrêt des machines.

Suite à notre étude, on propose des solutions pour diminuer les défauts dûs au phénomène de vibration, parmi les solutions pour minimiser les défauts dûs aux problèmes de vibration des machines.

- D'assurer un bon alignement d'arbre de la machine motrice avec l'arbre de machine réceptrice de mouvement selon les spécifications données par le fabricant lors de montage.
- De contrôler le niveau de la plateforme avant de déposer la machine.
- D'assurer une bonne étanchéité des raccords pour éviter l'écoulement bulle d'air dans le circuit hydrauliques (évitemment du phénomène de cavitation).
- D'assurer le changement des roulements selon la période donnée par le fabricant etc...

Parmi les autres méthodes de diagnostic des défauts et les plus utiliser après l'analyse de vibration c'est l'analyse d'huile et l'analyse par la thermographie.

Références bibliographiques :

- [1] Razika7 MOUSSOUNI, Kocaeli MOULOUDJ {Dimensionnement d'une station de production d'énergie électrique à base d'une pile à combustible} master 2, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, promotion 2021- 2022
- [2] : Document Ras Djinet (BASIC – 1 DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA CENTRALE ÉLECTRIQUE).
- [3] ZERROUKI IDIR, KOUFI FOUAD {Suivi du Comportement Vibratoire des Pompes de l'eau de Mer D'une Centrale à Cycle Combine}, master 2, université de boumerdes promotion 2020- 2021
- [4] : Document Ras djinet (BASIC - 06 ASPECTS GÉNÉRAUX DE LA CENTRALE ÉLECTRIQUE -COMPOSANTS MÉCANIQUES MAJEURS).
- [5] : SAIBI Abdenour, RAMDANI Anis {Automatisation et Supervision de la Station de Pompage de la Centrale à Cycle Combiné de Ras Djinet}, master2, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, Promotion 2021
- [6] Document central Ras djinet, < cours de techniques de surveillance> PARTIE I SURVEILLANCE DES MACHINES PAR ANALYSE VIBRATOIRE
- [7] Document université M'Hamed bougara, {cours diagnostic vibratoire}, chapitre 2 : méthodes de surveillance et diagnostic
- [8] Nadji Ihab Mohamed Anes, Riguet Islam, {Diagnostic des défauts du moteur asynchrone dans le domaine temporel}, master2, Université Mohamed Khider de Biskra Faculté des Sciences et de la Technologie Département de génie électrique, promotion 2019-2020
- [9] Techniques-ingenieur.fr a été indexé pour la première fois par Google il y a plus de 10 ans
<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/mecanique-des-elements-tournants-42185210/analyse-vibratoire-des-machines-tournantes-bm5145/>
- [10] Dynamique des structures, Ellipses, janvier 2001, C-Soize, Soize C., Dynamique des structures, Ellipses 2001.
https://www.researchgate.net/publication/280849511_Mesures_de_vibrations
- [11] Document de central Ras-djinet, DTCT.A.04.01/SFO/001/Rev.A - 05/01/04 Chapitre2, Analyse vibratoire des machines tournante

[12] Document de central Ras Djinet, Bruel & Kjaer Vibro, analyse des vibrations maintenance conditionnelle des machines tournantes, www.bkvibro.com, copyright 2005

[13] Document de central Ras Djinet, cours analyse des défauts

[14] FAHSSI OMAR, LABCHEK ADNAN, Détection, étude et analyse de défauts d'une machine industrielle - Cas pratique, MASTER2, UNIVERSITE DE BLIDA 1, promotion 2015/2016.