

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Blida 1
Faculté De Technologie
Département de Génie Mécanique



Mémoire

En vu de l'obtention de diplôme master en génie mécanique

Option: conception mécanique

Thème :

**Influence de Débit sur le comportement
vibratoire de la pompe d'expédition 50-P004 B**

Soutenu le : 19/06/2016

Par : Mr. HAOUAM YOUCEF

Devant les membres du Jury :

Mr. Meghatria M'hamed

President

Mr. Temmar Mustapha

Encadreur

Mr. Ezzraimi Majid

Examineur

Mr. Melbous Abdelkader

Examineur

REMERCIEMENTS

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

Mes sincères gratitudee à mon promoteur Mr. TEMMAR MUSTAPHA pour la qualité de son enseignement, ses conseils et son intérêt incontestable qu'il porte à tous les étudiants.

Je tiens à remercier l'ensemble du personnel de la SONATRACH HASSI R'MEL pour leur patience, leurs conseils pleins de sens et pour le suivi et l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail. Citer Mr. KILALI BOUZIANE Mr. KEBBAR NOUR ELDINE Mr. LAMIN ZAOUI

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

Enfin, je n'oserais oublier de remercier tout le corps professoral du département de génie mécanique, pour le travail énorme qu'il effectue pour nous créer les conditions les plus favorables pour le déroulement de nos études.

Sans oublier bien sûr ma famille qui m'a soutenu et qui était le grand support.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes parents qui m'ont toujours soutenu.

A mes chers frères et sœurs qui ont toujours cru à mes capacités.

A mes neveux et nièces qui m'ont encouragé

A mon promoteur Mr. Temmar qui m'a beaucoup aidé

A mes collègues et amis

A l'équipe Sonatrach, spécialement section vibration et équilibrage dont Adlen, Halim, mouloud

A Mr. Kilali Bouziane pour son grand soutien

A tout ceux qui ont collaboré de prêt ou de loin à la réalisation de ce projet

Table de matière

	Page
Introduction générale	01

Chapitre I : Présentation de l'usine

I-1 Historique	02
I-2 Développement du champ de Hassi R'mel	03
I-3 Les installations gazières à Hassi R'mel	04
I-4 Description des différentes unités à Hassi R'mel	05
I-5 Organisation de la Société	07
I-6 Traitement du Gaz naturel	09
I-6-1 Description procédés de PRICHARD	10
I-6-2 Description du procédé de HUDSON	12

Chapitre II : Principe de la surveillance

II-1 Généralités	14
II-2 Introduction de la fonction maintenance	14
II-3 Définition de la maintenance	15
II-4 Rôle de la maintenance	16
II-4-1 Objectifs de la maintenance dans l'entreprise	16
II-5 Différentes types de maintenance	17
II-5-1 Maintenance préventive	17
II-5-2 Maintenance corrective	17
II-6 Liaisons du service de la maintenance	18
II-7 Importance de la maintenance dans une entreprise	18
II-8 Maintenance corrective.....	19
II-9 Maintenance préventive	20
II-10 les cinq niveaux de maintenance	23
II-11 Politique de maintenance de la société SONATRACH (HASSI R'MEL).....	24

II-11-1 Système On Line	24
II-11-2 Système Off Line	25
Chapitre III : Généralité sur les pompes	
III-1 Généralités.....	26
III-2 Définition des turbopompes	26
III-2-1 Définition des pompes centrifuges	27
III-2-2 Les éléments d'une pompe centrifuge	28
III-2-3 Environnement d'une pompe centrifuge en unité	29
III-3 Les caractéristiques des pompes centrifuges	29
III-4 Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge	30
III-5 Terminologie de Base	31
Chapitre IV : Généralité sur l'analyse vibratoire	
IV-1 Introduction	33
IV-2 Les Caractéristiques de la vibration	33
IV-3 Les Différent Types Des Vibration	34
IV-4 Grandeurs associées d'une vibration	36
IV-5 Diagnostique des défauts	37
IV-6 Appareillages et équipement de mesure de vibration	38
IV-6-1 Collecteur	38
IV-6-2 Calculateur	39
IV-6-3 Capteur	40
IV-6-3 -1 Capteur de déplacement	40
IV-6-3 -2 Capteur de vitesse.....	41
IV-6-3-3 Capteur d'accélération.....	42
IV-6-3-3-a Le Principe de fonctionnement d'un accéléromètre.....	43

IV-6-3-3-b- Avantage des accéléromètres	43
IV-7 L'utilisation des équipements.....	44
IV-8 Choix de l'emplacement des capteurs	45
IV-9 Seuil de jugement de l'intensité vibratoire	47
IV-9-1 Intensité vibratoire	47
IV-9-2 Seuils de jugement	48
IV-10 Stratégies de surveillance vibratoire	49
IV-10-1 Mesure vibratoire en niveau global	49
IV-10-2 Analyse temporelle	49
IV-10-3 Analyse spectrale	50
IV-11 Image des défauts avec l'analyse spectrale	50
IV-11-1 Défaut de balourd	50
IV-11-2 Défaut de Désalignement	51
IV-11-3 Défaut de courroie	51
IV-11-4 Défaut D'accouplement avec denture (engrenage)	52
IV-11-5 Défaut d'origine hydraulique	52

Chapitre IV : Analyse expérimental

V-1 Introduction	55
V-2 Situation de la pompe P004	56
V-3 Caractéristique de la pompe P004	57
V-4 Problématique	58
V-5 Méthode d'Analyse	59
V-5-1 Analyse Vibratoire	59
V-6 Solutions	65
V-6-1 Loi de similitude dans les pompes	65
V-6-2 Lois de similitude applicables aux pompes centrifuges	65
V-7 Rognage des roues des pompes centrifuges	68

V-8Rognage de l'impulseur de la pompe (P004)	71
--	----

Chapitre VI : Conclusion

Conclusion	74
------------------	----

Liste des figures

	Page
Figure I.1 : Situation Géographique de Hassi R'mel.....	02
Figure I.2 : Les installations gazières à Hassi R'mel.....	04
Figure I.3 : Organigramme hiérarchique de la sonatrach hassi r'mel.	07
Figure I.4 : Schéma représente procédé de PRICHARD.....	11
Figure I.5 : Schéma représente procédé de HUDSON.....	13
Figure II.1 : Différents types de maintenance	18
Figure II.2 : Maintenance corrective.....	19

Figure II.3 : Maintenance préventive	21
Figure II.4 : Schéma de l'installation On Line.....	24
Figure II.5 : Schéma de l'installation Off Line	25
Figure III.1 : Exemple d'une Pompe centrifuge monocellulaire.....	27
Figure III.2 : principales éléments d'une pompe avec différents conception d'impulsers. 28	
Figure III.3 : Environnement d'une pompe centrifuge en unité.....	29
Figure III.4: Courbe caractéristique présente le Point de fonctionnement.....	32
pour une pompe centrifuge	
Figure IV.1 : Les Caractéristiques de la vibration.....	34
Figure IV.2 : Vibration harmonique.....	34
Figure IV.3 : Vibration périodique.....	35
Figure IV.4 : Vibration aléatoire.....	35
Figure IV.5 : vibration transitoire.....	36
Figure IV.6 : Grandeurs associées à une vibration.....	36
Figure IV.7 : vibroport 41.....	39
Figure IV.8 : Vibrotest 60.....	39
Figure IV.9 : capteur de déplacement (proxémètre)	40
Figure IV.10: Schéma de fonctionnement de capteur de déplacement.....	41
Figure IV.11 : Capteur de vitesse (vélocimètres)	41
Figure IV.12 : Schéma de fonctionnement de capteur de vitesse.....	42
Figure IV.13 : Capteur d'accélération (accéléromètre).	42
Figure IV.14 : Schéma de fonctionnement de l'accéléromètre.....	43
Figure IV.15 : Chargement et déchargement des données.....	44
Figure IV.16 : Choix directionnel pour la prise de mesure.....	45
Figure IV.17 : Choix de l'emplacement du capteur.....	46
Figure IV.18 : Les surfaces de contact avec le capteur doivent être lisses et planes.....	46
Figure IV.19 : Seuils de jugement par rapport l'intensité vibratoire	49
Figure IV.20 : Image spectrale d'un Balourd.....	50
Figure IV.21 : Image spectrale d'un Désalignement.....	51
Figure IV.22 : Image spectrale d'un défaut de transmission par courroie.....	51
Figure IV.23 : Vibrations d'une pompe en fonction de son débit.....	53

<u>Figure V.1</u> La pompe d'expédition 50-P004-B.....	55
<u>Figure V.2</u> Situation de la pompe P004.	56
<u>Figure V.3</u> Schéma montrant les point de mesure	59
<u>Figure V.4</u> Tendance du point P2 verticale	60
<u>Figure V.5</u> Tendance du point P2 horizontale	61
<u>Figure V.6</u> : Spectre du point P2 verticale	62
<u>Figure V.7</u> Spectre du point P2 horizontale	63
<u>Figure V.8</u> Triangle des vitesses pour deux roues de pompes	66
<u>Figure V.9</u> Transformation d'un triangle des vitesses	69
<u>Figure V.10</u> Déplacement d'un point de la courbe caractéristique d'une pompe centrifuge par rognage de la roue	70
<u>Figure V.11</u> L'impulseur de la pompe centrifuge P004	71
<u>Figure V.12</u> : Changement de diamètre de la roue après le rognage.....	72

Liste des Tableaux

	Page
Tableau 1:Défauts et fréquences correspondantes.....	54
Tableau2 : variation des amplitudes de vibration en fonction de débit.....	63

Nomenclature et Unité

F_r : fréquence de rotation de rotor	[Hz]
N_R : nombre d'aube de l'impulser	
$X(t)$: Déplacement	[m m]
$V(t)$: Vitesse	[m /s]
Υ : Accélération	[m.s ⁻¹]
ω : Pulsation de mouvement	[Rad/s]
Θ : L'angle de déphasage	[Rad]
Q : Débit volumique	[m ³ /h]
Hmt : Hauteur manométrique totale	[m]
f_a : Fréquence défaut hydraulique	[Hz]
F_{eng} : fréquence d'engrènement	[Hz]
Z : nombre de dent	
D : Diamètre	[m]
U : Vitesse tangentielle	[m/s]
C : Vitesse absolu	[m/s]
W : Vitesse relative d'écoulement	[m/s]
C_r : composent vitesse radial	[m/s]
b : Largeur de la roue	[m]
α, β : angle	[°]
μ : coefficient manométrique	
C_u : Composent circonférentielle de vitesse absolu	[m/s]

Introduction Générale

Le champ de Hassi R'mel est le plus grand gisement de gaz naturel d'Algérie et du continent africain. Il se trouve à 550 Km au sud d'Alger, découvert en 1956 dans une formation Triasique. Le gisement de Hassi R'Mel a été mis en production en 1961 et il s'essouffle considérablement car plus de la moitié de ses réserves initiales (estimées à 2400 milliards de mètres cubes) seraient épuisées.

Le gaz naturel de Hassi R'mel riche en produits pétroliers au départ, a vu sa richesse en condensats et GPL dégringoler vertigineusement en 12 ans, où la composition molaire et la propriété physicochimique de son gaz est passée de 120 Gr/m³ à 60 Gr/m³ pour le condensat et 35 Gr/m³ à 22 Gr/m³ pour le GPL en 2011, entraînant un manque à produire de plus de 25000 Tonnes/an de GPL !

L'examen du tableau des analyses de la qualité du gaz produit selon le bilan de Production de Sonatrach en 2010, confirme bien le déclin croissant des richesses en Condensats et GPL de tous les gisements gaziers en exploitation.

Il est à signaler que ce manque à produire en gaz naturel estimé à plus de 3 milliards Sm³ pour Hassi R'Mel enregistré en 2010, a causé la chute du débit de condensat et GPL expédiés et l'a diminué au bas niveau, chose qui a fait subir aux équipements de pompage des problèmes différents.

Mon stage pratique au sein de l'entreprise SONATRACH, a été consacré à l'étude et l'analyse vibratoire des équipements de pompage (cas de la pompe Centrifuge P004), qui ont subi la conséquence de la chute de la pression de débit en présentant des vibrations. Ce stage, nous a permis d'avoir une vision claire sur le rôle de l'analyse vibratoire dans le cadre de la maintenance de ce genre de pompes, tout en proposant une solution de remède pour diminuer ces vibrations.

Vu que la Sonatrach n'a pas pu refaire tout son parc des pompes centrifuges de capacité 1100m³/h, pour qu'elles soient adaptées à la nouvelle baisse de débit et afin de maintenir toujours une production stable de condensat de 450 m³/h, il a fallu opter pour une solution de maintenance préventive chaque mois. Cette maintenance consiste à mesurer les taux de vibration et à intervenir pour les diminuer à chaque fois, selon la cause.

Le premier chapitre est consacré sur la présentation de l'usine et le deuxième chapitre sur le principe de la surveillance et le troisième chapitre c'est une généralité sur les pompes. Le quatrième chapitre des généralités sur l'analyse vibratoire en fin le cinquième chapitre une analyse expérimentale sur la pompe d'expédition (50-P004 B).

Chapitre I

Présentation de l'usine

I-1 Historique :

Hassi R'mel est relativement une région plate du Sahara, son altitude moyenne est d'environ de 750m, au-dessus du niveau de la mer et s'étend sur une superficie de 3500km².

Le climat est caractérisé par une pluviométrie faible (140 mm/an) et une humidité moyenne de 19% en été et 34% en hiver, les amplitudes thermique sont importantes varient de 0°C en hiver à 45°C en été, les vents dominants sont de direction Nord-Ouest.

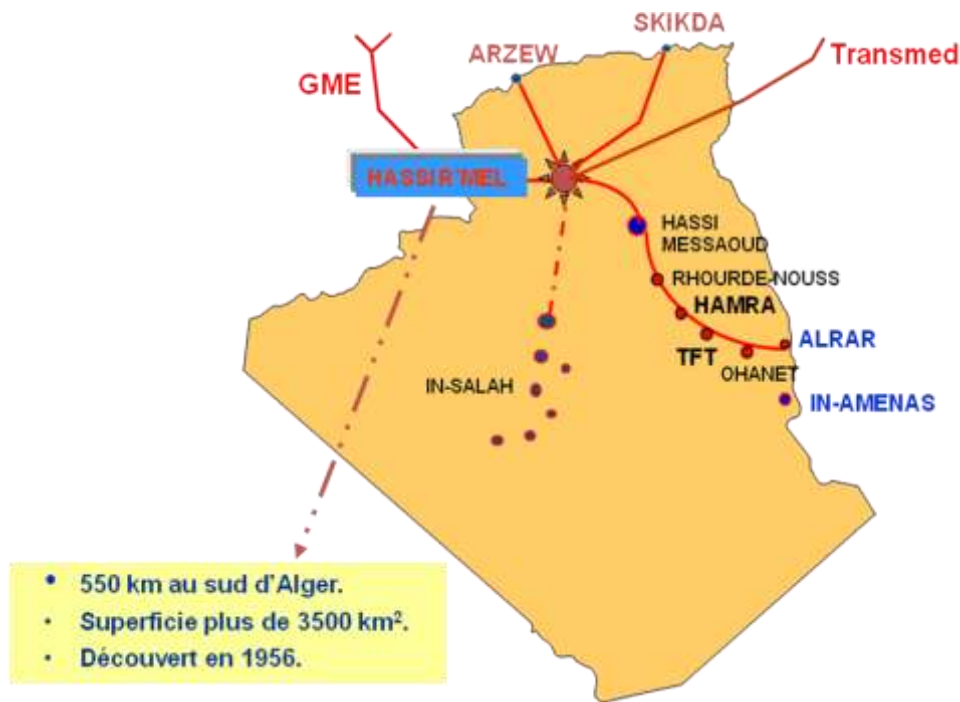


Figure I.1 : Situation Géographique de Hassi R'mel [1]

Hassi R'Mel est l'un des plus grands gisements de gaz à l'échelle mondiale. Il a une forme d'ellipse s'étale sur plus de 3500 km², 70km x 150 km de direction Sud-ouest, Nord-Est et il se situe à une profondeur de 2132 m, la capacité de récupération du gisement est de l'ordre de :

- 2600 milliards mètre cubes de gaz sec.
- 448 millions de tonnes de condensât.
- 120 millions de tonnes GPL (gaz pétroliers liquéfier).
- 20 millions de tonnes d'huile.

I-2 Développement du champ de Hassi R'mel :

Le développement du gisement de Hassi R'Mel a été réalisé en plusieurs étapes, répondant à l'évolution économique du pays et au développement technologique du marché du gaz naturel.

Dans le champ de Hassi R'Mel le premier puit (HR1) a été foré en 1956, ce puits a mis en évidence la présence de gaz riche en condensât à une pression de 310 bars et à une température de 90 C °.

De 1957 à 1960 sept puits (HR2, HR3, HR4, HR5, HR6, HR7 et HR8) ont été forés, et en 1961 Le gisement de Hassi R'Mel a commencé à produire.

1961- 1969 : Mise en exploitation de 06 unités de traitement de gaz d'une capacité de 04 Milliards de m³ par an.

1972-1974 : Mise en exploitation de 06 unités supplémentaires pour atteindre une capacité de 14 milliards m³ par an.

1975-1980 : Mise en œuvre et réalisation de :

- Quatre modules -usine- de traitement de gaz- dont la capacité nominale unitaire est de 20 milliards m³ de par an gaz sec (modules 1, 2, 3 et 4).
- Deux stations de réinjections de gaz dont la capacité nominale unitaire est de 30 milliards m³ par an de gaz sec (station nord et sud).
- Un centre de stockage et de transfert de condensât et de GPL. (CSTF).

Pour augmenter la capacité de traitement de 14 à 94 milliards m³ par an et maximiser la récupération des hydrocarbures liquides tels que le condensât et le GPL.

Octobre 1981 : construction et mise en exploitation de centre de traitement d'huile (CTH1) à cause de la découverte de l'anneau d'huile -pétrole brut- qui entoure le gisement de gaz en 1980.

1985 : Réalisation et mise en service d'une unité (la phase B) pour la récupération des gaz torchés et la production du GPL des modules 0 et 1.

Juin 1987 : Démarrage du centre de traitement de gaz CTG/Djebel-Bissa d'une capacité de 1,4 milliards m³ par an.

Novembre 1989 : mise en service de Centre de Traitement d'huile N°2 (CTH2).

Octobre 1992 : mise service de Centre de Traitement d'huile N°3 (CTH3).

Juillet 1993 : mise en service de Centre de Traitement d'huile N°4 (CTH4).

1995 – 1999 : Mise en service des unités de déshydratation de gaz de SBAA (ADRAR) et IN SALAH.

Avril 1999 : Démarrage de la Station de récupération des gaz associés (SRGA) d'une capacité de 1,2 milliards m³ par an.

Janvier 2000 : Démarrage du centre de traitement de gaz CTG/HR-Sud d'une capacité de 2,4 milliards m³ par an.

2004 : Réalisation et mise en service du projet BOOSTING qui est sensé d'augmenter la pression d'entrée des modules. Actuellement la Capacité totale de traitement est de 98 milliards m³ par an.
[1]

I-3 Les installations gazières à Hassi R'mel :

Le plan d'ensemble des installations gazières implantées sur le champ de Hassi R'Mel est élaboré de façon à avoir une exploitation rationnelle du gisement et pouvoir récupérer le maximum de liquide. Les cinq modules de traitement de gaz (0, 1, 2, 3, et 4) sont disposés d'une manière alternée par rapport aux deux stations de compression (station nord et sud), pour la raison d'un meilleur balayage du gisement. [1]

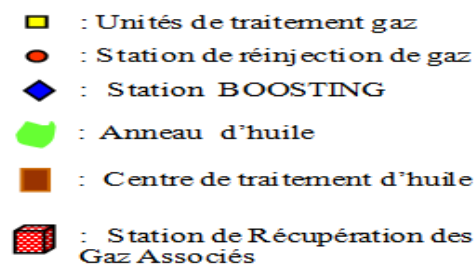
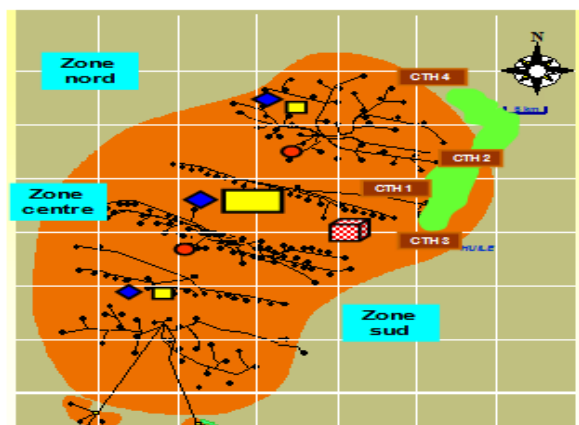


Figure
I.2 : Les

installations gazières à Hassi R'mel

I-4 Description des différentes unités à Hassi R'mel :

Sur le champ de Hassi R'mel, on trouve 8 unités à savoir :

- **Centre de traitement d'huile (CTH) :**

C'est une usine constituée d'un ensemble d'équipements permettant de séparer tous les constituants indésirables du pétrole brut avant son expédition vers les réseaux de transport.

- **Centre de traitement de Gaz (CTG) :**

Ce centre est constitué d'un ensemble d'équipements permettant la séparation et la production du gaz naturel déshydraté et d'un mélange d'hydrocarbures liquides constitué de condensât et de GPL.

- **Central de Stockage et Transfert des fluides (CSTF) :**

C'est un centre de stockage et de transfert des hydrocarbures liquides, il est constitué de bacs (réservoirs cylindriques) pour le stockage de condensât, de réservoirs sphériques pour le stockage de GPL, d'un système de jaugeage des bacs, d'un système de comptage des quantités de condensât et de GPL expédiés pour la commercialisation et d'un ensemble de pompes pour expédier les produits.

- **Station de Récupération des Gaz Associés (SRGA) :**

Cette station a été conçue pour récupérer les gaz associés provenant des CTH suit au traitement et à la stabilisation du pétrole brut, elle est constituée essentiellement de turbocompresseurs permettant d'élever la pression des gaz associés et de les expédier vers le module 4 pour y être traités avec le gaz brut.

- **Le Module :**

C'est le diminutif de « module processing plant » (MPP) qui désigne une unité de traitement constituée d'un ensemble d'équipements conçus et réalisés pour permettre un traitement spécifique du gaz brut, pour produire du gaz naturel, du condensât et du GPL, conformément à un procédé approprié et répondant aux spécifications commerciales. Le schéma d'exploitation du champ de Hassi R'mel en modules est présenté comme suit :

- **Zone centrale :**

Elle comporte 3 modules (usines de traitement de gaz) 0, 1,4 et les communs et les communs (phase B), plus un centre de stockage et transfert des liquides (CSTF), Ces modules sont alimentés par les puits de centre.

Le module « 0 » comporte deux trains identiques et indépendants d'une capacité de production globale de traitement :

- 30 million m³/j de gaz sec.
- 1300 tonnes/j de GPL.
- 6100 tonnes/j de condensât.

Le module « 1 » comporte trois trains identiques d'une capacité de traitement de :

- 60 million m³/j de gaz sec.
- 2300 tonnes/j de GPL.
- 6700 tonnes/j de condensât.

Le module « 4 » à trois trains identiques et d'une capacité de production globale :

- 60 million m³/j de gaz sec.
- 2300 tonnes/j de GPL.
- 6700 tonnes/j de condensât.

➤ **Zone du Nord:**

Le module « 3 », alimenté par les puits du nord, comporte 3 trains identiques que ceux du module « 4 » et d'une capacité de :

- 60 million m³/j de gaz sec.
- 2700 tonnes/j de GPL.
- 6100 tonnes/j de condensât.
- La station de compression et de réinjection a une capacité de 90 million m³/j de gaz sec.

➤

➤ **Zone du Sud:**

On trouve :

Le module « 2 » identique aux modules « 3 » et « 4 », il est alimenté par les puits du sud.

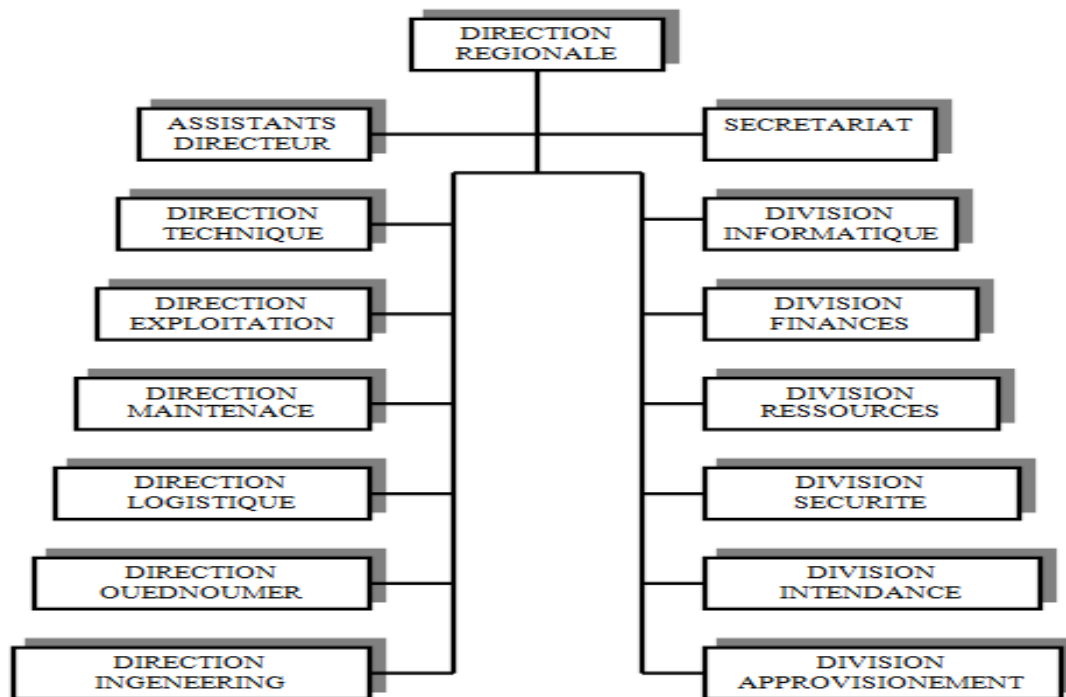
1. La station de compression et réinjection sud est identique à celle du Nord.
2. Le centre de traitement de gaz (TG/DJEBEL-BISSA) d'une capacité de traitement de 4 million cm³/j.
3. Le centre de traitement de gaz HR-Sud.

• **Le Boosting :**

La pression d'entrée du gaz brut aux modules décroît avec le temps, ce qui influe sur la quantité et la qualité des produits de chaque catégorie, et sur les unités de traitement de gaz car ils sont conçus pour fonctionner à une pression minimale de 100 Bars à l'entrée. Le rôle des stations Boosting est la compression de ces gaz brut issus des puits afin d'avoir une détente importante, donc une meilleure séparation.

I-5 Organisation de la Société :

L'organigramme de la société Sonatrach est représenté ci-dessous :



**Figure
L3 :**

Organigramme hiérarchique de la sonatrach hassi r'mel.

Direction régionale :

Elle a pour objectif l'établissement, la réalisation et le suivi des programmes détaillés de production et d'exploitation, dans le cadre des préventions de principes établis par le département petroleum engineering et développement.

Son organisation est représentée ci-dessous.

➤ **Direction Engineering et Production :**

Elle a pour objectif l'organisation et la mise en œuvre des services techniques, opérationnels et d'intervention sur toutes les installations de puits et les CTH (centre de traitement d'huile) à l'exception des unités de traitement.

➤ **Direction d'exploitation :**

Elle a pour objectif la réalisation de programme de production, de traitement, d'exploitation et d'injection des hydrocarbures établis pour la région.

➤ **Direction de maintenance :**

Elle a pour objectif la planification, le développement, l'organisation et la mise en œuvre des services de maintenance pétrolière liée aux besoins actuels et futurs de la région dans les différentes activités : mécanique, électromécanique, électricité, instrumentation et télécom.

➤ **Direction logistique :**

Elle a pour objectif la réalisation des travaux non pétroliers et de Génie civile, l'entretien de tous les locaux et logements : électricité, bâtiment, plomberie et climatisation ainsi que le transport.

➤ **Direction technique :**

Elle a pour objectif l'élaboration des charges et des contrats, l'évaluation des soumissions, la recommandation du choix du contractant, le suivi, la réalisation et supervision des travaux depuis le début jusqu'à la passation de l'ouvrage à l'utilisateur.

➤ **Division de sécurité :**

Elle a pour objectif le contrôle, l'organisation et la maintenance d'un haut niveau de sécurité des hommes et des installations industrielles, ainsi que le développement de la prévention.

➤ **Division informatique :**

Elle a pour objectif la gestion et le développement et la maintenance de l'outil informatique.

➤ **Division d'intendance :**

Elle a pour objectif la prestation des services de restauration et d'hébergement et la gestion des patrimoines mis à disposition.

➤ **Division des finances :**

Elle a pour objectif la prestation des services de trésorerie, de comptabilité générale, de comptabilité de gestion et de contentieux au niveau de la région.

➤ **Division d'approvisionnement :**

Elle recouvre les activités d'achat et de gestion de stock et reste lié intimement à la logistique.

➤ **Division de ressources humaines :**

Elle a pour objectif l'organisation et le contrôle des activités de la région en matière de recrutement, formation, gestion du personnel, prestations sociales, activités culturelles et administration générale.

I-6 Traitement du Gaz naturel :

Le gaz subit différent traitement pour extraire ses composants utiles les adaptées aux normes de vente. Les procédés de traitement sont basés sur les principes de la thermodynamique c'est-à-dire sur les échanges thermiques suivant une détente et cela pour liquéfier le gaz.

A l'état liquide, la séparation des différentes compositions se fait suivant leurs densités. Généralement la qualité d'un gaz dépend de son pouvoir calorifique donc du nombre d'atomes de carbone dans la molécule de ses composants alors il en résulte que les fractions lourdes qui le composent représentent son facteur de qualité.

Dans la pratique, l'utilisation des procédés dépend généralement :

- Des coûts de l'investissement.
- Du taux de récupération des hydrocarbures liquides.
- Des paramètres et composition du gaz brute.

Les procédés utilisés dans la région de HR sont :

➤ **PROCEDES DE PRICHARD** : Il est basé sur l'utilisation de la boucle propane pour la liquéfaction du gaz. Avec ce procédé on peut atteindre la température de -23°C [1]

➤ **PROCEDES DE HUDSON** : Ce procédé est caractérisé par le turbo-expander dans lequel le gaz subit une détente isentropique après son passage par une série de refroidissement et détente à travers différents échangeurs. Avec ce procédé on peut atteindre la température de -40°C [1]

Par la comparaison de ces deux procédés, on voit que le procédé de HUDSON est le plus efficace pour la récupération maximale du liquide.

Comme il est indiqué ci-dessus, ce procédé dépend fortement des paramètres du gaz en provenance du puits c'est-à-dire la température, la pression et la densité.

D'un autre côté, ces paramètres changent d'une manière sensible « diminution de pression et de densité » au cours des années d'exploitation. Pour cette raison, il a été décidé d'installer une station de réinjection et de compression.

I-6-1 Description procédés de PRICHARD :

Le gaz brut venant de boosting arrivant au module à une température qui peut atteindre 65°C et une pression de 140 kg/cm^2 où il sera réparti sur les trois trains à l'aide de séparateur d'admission V201. Une fois le gaz arrivé au train ou l'emmagasine dans le séparateur de condensat V203 à une

I-6-2 Description du procédé de HUDSON :

Le gaz brut en provenance des puits (avec 60°C et 120 bars) est réparti en trois lignes de même capacité 20 millions m³/jours à l'aide d'un diffuseur D001. Le gaz est refroidi par des aëroréfrigérants E101 jusqu'à 40°C, puis se dirige vers le premier séparateur D101, où les hydrocarbures et l'eau sont séparés. Le gaz passe à travers des échangeurs de chaleurs gaz/gaz E102/E103 où il est refroidi jusqu'à -6°C, il passe ensuite à travers une vanne où il sera décomposé jusqu'à 100 bars et à -16°C, avant d'arriver au séparateur D102. Le gaz sort du séparateur pour s'introduire dans le turbo-expander où ils subissent une détente isentropique jusqu'à 64 bars et -37°C, puis il passe par le côté calandre E102 et sera expédié après une compression jusqu'à 72 bars et 40°C par le compresseur du turbo-expander.

Les hydrocarbures liquides condensés du D101 se dirigent vers un ballon à une pression de 32 bars où ils subissent un flash, le condensât alimente le dééthaniseur C101, les condensât du D102 et D103 se rejoignent et passent dans le séparateur D104. Les hydrocarbures liquides du D104 alimentent la partie supérieure du C101.

Les gaz moyenne pression du D104 et D107 se mélangent et passent leurs frigories au gaz brut dans l'échangeur gaz / gaz E103. Ces gaz et ceux du ballon D105 sont décomprimés au niveau du compresseur K002 à 74 bars et rejoignent la ligne de gaz sec.

Les liquides alimentent le 5^{ème} plateau du C101 passant à travers l'échangeur de reflux E106, quant à ceux provenant du D107 ils sont préchauffés dans l'échangeur d'alimentation E104. Le gaz de tête du C101 est partiellement condensé dans l'E106.

Le chauffage des liquides du fond du C101 s'effectue à l'aide du rebouilleur H101 Le condensât se dirige ensuite vers le débutaniseur C102 où il y a récupération de G.P.L, une partie de celui-ci est utilisé comme reflux, l'autre partie est envoyée vers l'expédition, du fond du débutaniseur est soutiré le condensât "on sec" puis envoyé vers la section de stockage (bacs) après être refroidi dans l'échangeur E104 et les aëroréfrigérants E107.

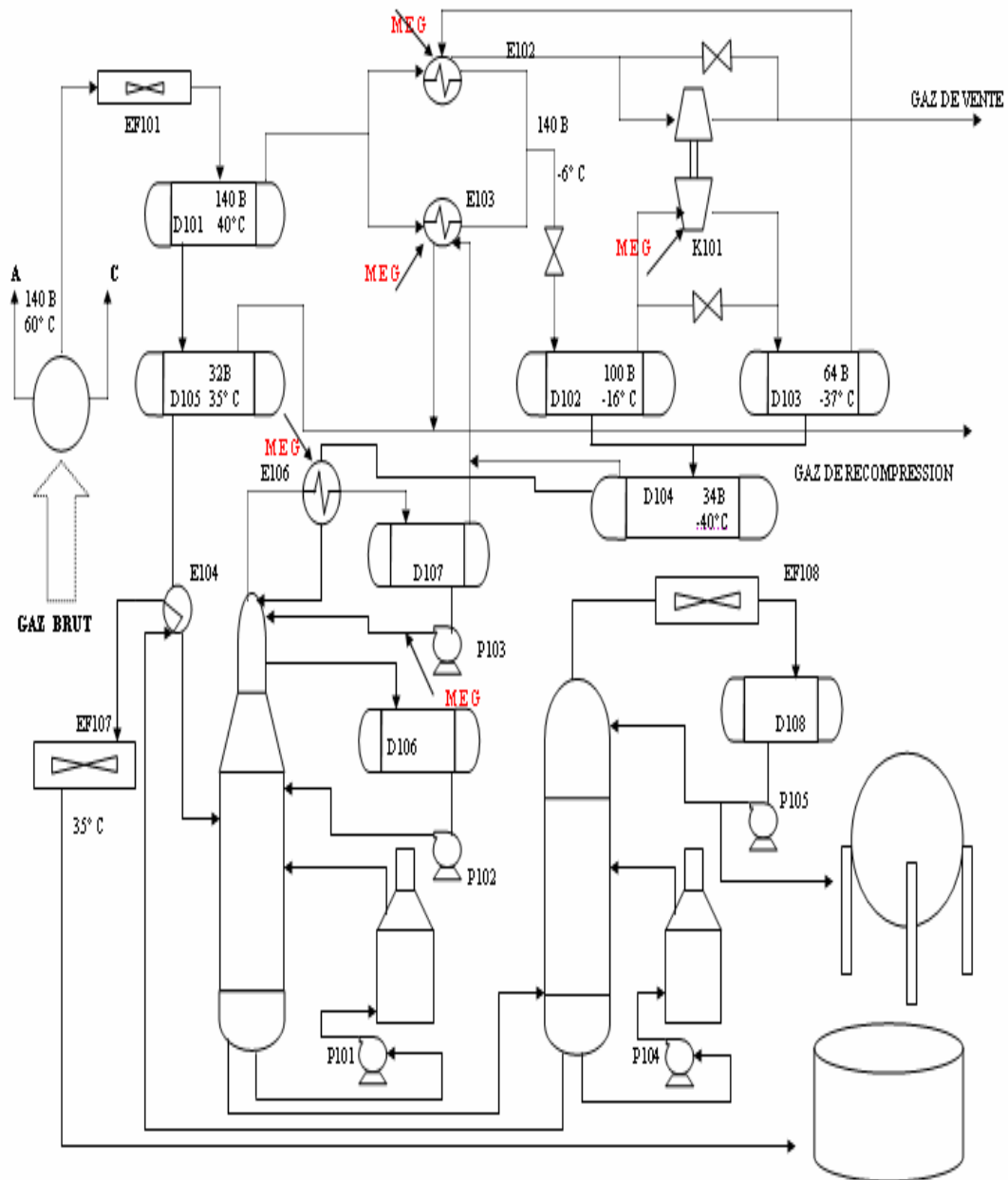


Figure I.4 : Schéma représente procédé de HUDSON

Chapitre II

Principe de la surveillance

II-1 Généralités :

A la fin des années 70, l'entretien était souvent le parent pauvre des services de l'entreprise. Les dirigeants le considéraient uniquement comme un poste de dépenses et ne pensaient qu'à réduire ses coûts.

L'entretien se contentait d'intervenir sur un système défaillant pour relancer la production et effectuait les opérations courantes préconisées par le constructeur. Il n'y avait donc pas de prise en compte des caractéristiques spécifiques et des conditions de fonctionnement (cadence, ancienneté, température ambiante, etc.) des matériels. On pouvait donc être conduit à effectuer (sans évaluation à priori ou à posteriori) trop ou pas assez d'entretien.

Les choses ont évolué : la part du coût machine dans le coût de production ne cesse d'augmenter aux dépens de celui de la main-d'œuvre. Ceci est dû à l'automatisation presque systématique des procédés, et à leurs coûts croissants.

➔ Ainsi les arrêts inopinés coûtent cher.

Dans ces conditions, la fonction maintenance est devenue stratégique

Entretenir, c'est subir alors que maintenir, c'est prévoir et anticiper

II-2 Introduction de la fonction maintenance :

La fonction maintenance est l'affaire de tous et doit être omniprésente dans les entreprises et les services. Après avoir démontré la rentabilité de son action dans les diverses entreprises, elle occupe maintenant sa place dans le monde industriel sans cesse en évolution.

Ceux qui assurent la fonction maintenance ont pour mission, quelle que soit l'entreprise, d'accomplir toutes les tâches nécessaires pour que l'équipement soit maintenu ou rétabli en état et ceci afin de :

- Permettre une exécution normale des opérations dans les meilleures conditions de coût, de sécurité et de qualité (c'est le cas de la production),
- Obtenir un service dans les meilleures conditions de confort et de coût.

Pour remplir cette mission, il faut :

- Dépanner les machines, les systèmes pluriethniques et les matériels dans les meilleurs délais et au meilleur coût,
- Réparer, réviser, rénover, maintenir en état les machines, les systèmes pluriethniques et les matériels,

C'est la maintenance de fabrication ou la maintenance de production

- Réparer et maintenir en état les bâtiments, les engins de transport, le téléphone, les réseaux, les jardins et pelouses, les parkings, la climatisation, etc...
- Contrôler et surveiller les différentes énergies utilisées pour assurer les activités de l'entreprise (électricité, air, eau, gaz, vapeur),

C'est la maintenance générale

- Négocier les contrats d'assistance technique et (ou) de maintenance,
- Veiller au respect de ces contrats,

C'est la maintenance sous-traitée

II-3 Définition de la maintenance :

- D'après Larousse : Ensemble de tout ce qui permet de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.
- D'après l'extrait de norme NF X 60-010 (1994) : Ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. [2]
- D'après l'extrait de norme NF EN 13 306 X 60-319 (octobre 2010) : 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. [3]

Maintenir : c'est donc effectuer des opérations (dépannage, graissage, visite, réparation, amélioration, etc ,...) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût global optimum.

II-4 Rôle de la maintenance :

La maintenance doit assurer la rentabilité des investissements matériels de l'entreprise en maintenant le potentiel d'activité et en tenant compte de la politique définie par l'entreprise. La fonction maintenance sera donc amenée à considérer alors les :

- Prévisions à long terme,
- Prévisions à moyen terme,
- Prévisions à court terme.

II-4-1 Objectifs de la maintenance dans l'entreprise :

Il existe deux tendances quant au positionnement de la maintenance dans l'entreprise :

- La centralisation ou toute la maintenance est assurée par un service,
- La décentralisation ou le service de maintenance est dépossédé de certaines responsabilités. C'est généralement la maintenance de fabrication qui passe sous le contrôle des services de production et de fabrication. L'objet de cette décentralisation est de mieux cerner les frais réels de maintenance par postes de travail. Son inconvénient est de conduire à l'application de plusieurs politiques de maintenance éventuellement contradictoires.

II-5 Différentes types de maintenance :

II-5-1 Maintenance préventive :

C'est une maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien.

On distingue deux types maintenance préventive :

- a) Maintenance préventive systématique

Elle est effectuée selon un échéancier établi suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage,

b) Maintenance préventive conditionnelle

C'est une maintenance préventive subordonnée à un type d'évènement prédéterminé (mesure d'une usure, information d'un capteur, autodiagnostic, etc...)

II-5-2 Maintenance corrective :

C'est la maintenance exécutée après une défaillance et elle est destinée à remettre la disposition dans un état tel qu'il puisse assurer la fonction requise. Elle englobe les opérations suivantes : dépannage, réparation, test, détection, diagnostique et essais.

Défaillance : altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

On rencontre deux formes de défaillance : la défaillance partielle et la défaillance complète.

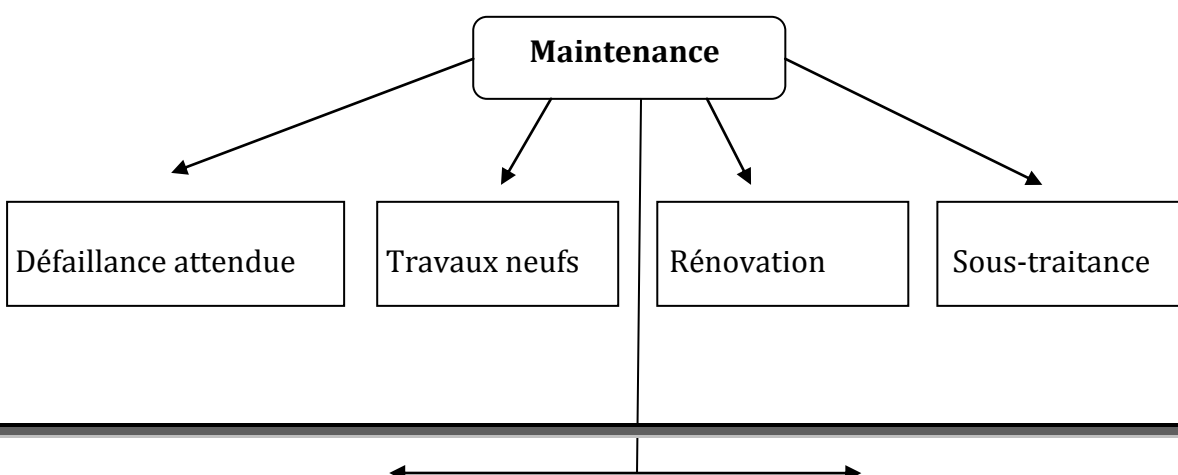
Défaillance partielle : altération de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

Défaillance complète : cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

II-6 Liaisons du service de la maintenance :

Le service de maintenance est une interface entre toutes les entités qui composent l'entreprise.

Cette relation doit se faire de la manière suivante :



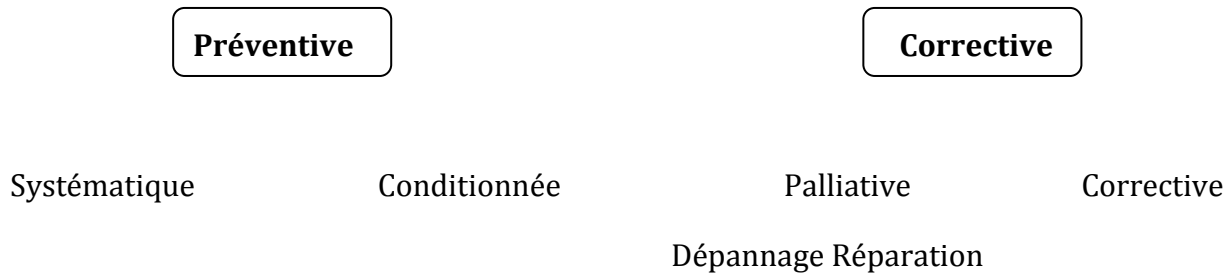


Figure II.1 : Différents types de maintenance.

II-7 Importance de la maintenance dans une entreprise :

L'évolution et la complexité des systèmes de production ainsi que le besoin de produire vite et bien ont obligé les industriels à structurer et à organiser les ateliers d'entretien. Ils ont surtout créé de nouveaux concepts et de nouvelle manière d'intervenir sur des structures de production concernant les produits manufacturés.

Aujourd'hui, dans les secteurs d'activités industrielles, l'entretien a laissé place à la maintenance. Ce changement ne réside pas uniquement dans un changement de dénomination, mais aussi dans un bouleversement complet de la manière de faire et de concevoir ce qui s'appelait entretien et que l'on appelle aujourd'hui maintenance.

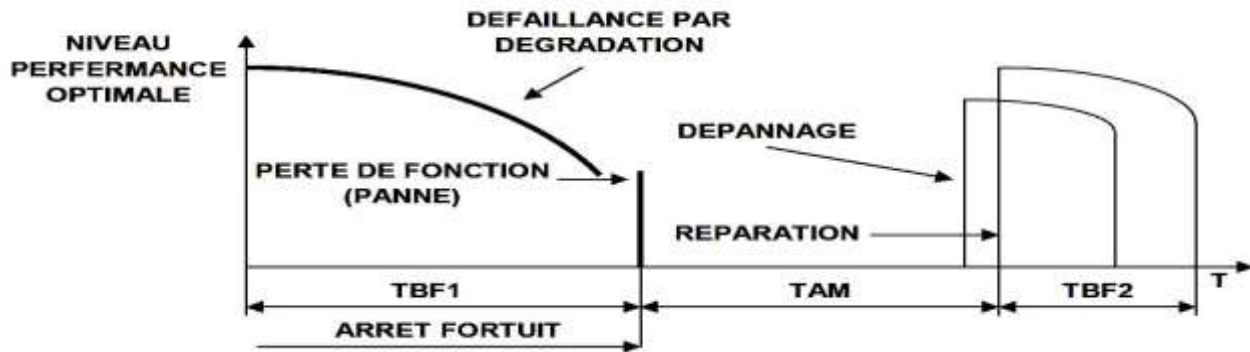
Il y a quelques années, les ateliers de production ne disposaient d'aucune structure de maintenance, l'entretien des machines ou des unités de production se faisait par des personnes, spécialisées ou non, sans logistique établie et surtout non définie. La production en série, la complexité des systèmes et surtout la rentabilité, ont poussé les industriels à créer un domaine dans l'entreprise appelé Service Maintenance qui doit s'entourer d'hommes de terrain, où le spectre des compétences est très large.

L'importance de la maintenance peut être fort différente d'un secteur d'activité à un autre, la préoccupation permanente de la recherche de la meilleure disponibilité suppose que tout devra être mis en œuvre afin d'éviter la défaillance. La maintenance sera donc inévitable et lourde surtout dans les secteurs où la sécurité est capitale, à l'inverse, des secteurs de production manufacturière, à faible valeur ajoutée, pourront se satisfaire d'un entretien traditionnel et limité.

La position de la maintenance dans l'entreprise permet un meilleur suivi des équipements afin d'optimiser leur durée de vie.

II-8 Maintenance corrective:

La maintenance corrective est le type de maintenance qui s'apparentant le plus à l'entretien traditionnel dans la mesure où, comme son nom l'indique, intervient sur le système après l'apparition d'une défaillance.



On peut distinguer deux types de maintenance corrective : la maintenance curative et la maintenance palliative.

✓ **Maintenance curative :**

Ce type de maintenance permet de remettre définitivement en état le système après l'apparition d'une défaillance. Cette remise en état du système est une réparation durable.

Les équipements réparés doivent assurer les fonctions pour lesquelles ils ont été conçus.

Une réparation est une opération définitive de la maintenance curative qui peut être décidée soit immédiatement à la suite d'une défaillance, soit après un dépannage. Elle provoque donc une indisponibilité du système.

✓ **Maintenance palliative :**

La maintenance palliative revêt un caractère temporaire et provisoire. Elle est principalement constituée d'opérations qui devront toutefois être suivies d'opérations curatives (réparations). Le dépannage est une opération de maintenance palliative qui est destinée à remettre le système en état provisoire de fonctionnement, de manière à ce qu'il puisse assurer une partie des fonctions requises. Les opérations de dépannage sont souvent de courte durée et peuvent être nombreuses, parce qu'elles ont lieu souvent, et elles sont également très coûteuses.

II-9 Maintenance préventive :

C'est principalement le développement de ces types de maintenance qui a entraîné la mutation des services entr

etiens traditionnels car préventive sous-entend prévenir. L'objectif de ces formes de maintenance est de prévenir la panne avant qu'elle ne survienne. Il en résulte principalement une économie sur les pertes de production mais aussi une diminution de la dégradation des systèmes.

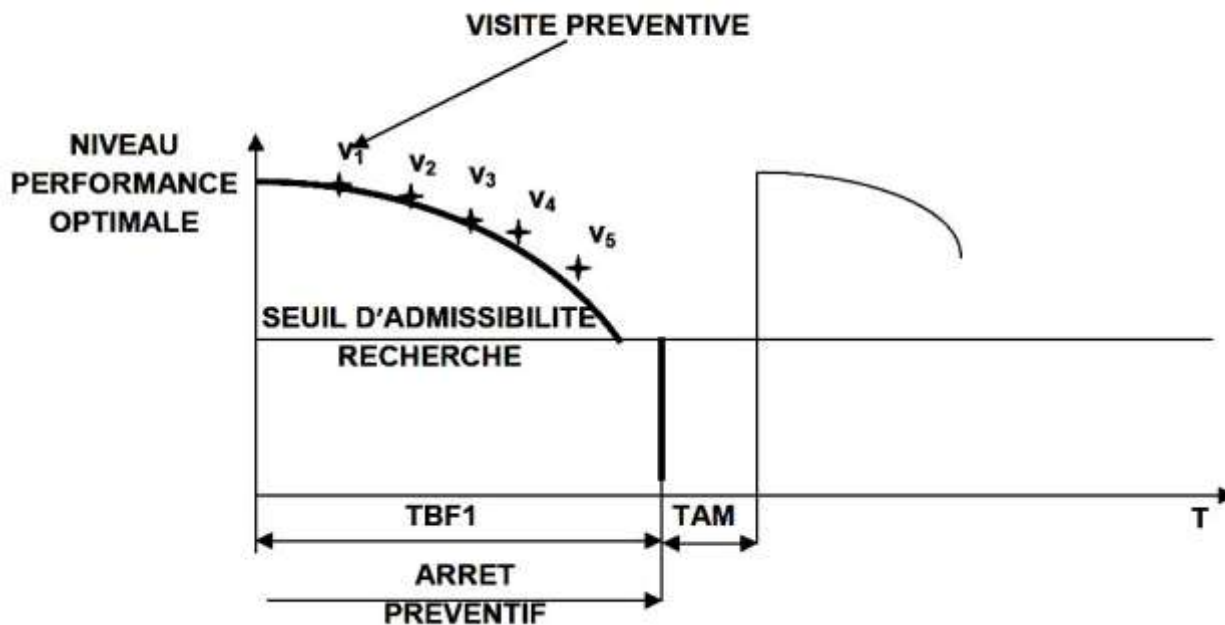


Figure II.3 : Maintenance préventive

Il existe deux formes principales de maintenance préventive. La maintenance préventive systématique et la maintenance préventive conditionnelle. On peut ajouter une autre, la maintenance préventive prévisionnelle qui est assimilable à une maintenance conditionnelle.

✓ **Maintenance préventive systématique :**

La maintenance préventive systématique est une forme de maintenance organisée autour d'un échéancier correspondant au temps (ex : réglage de la tension des courroies toutes les 10 semaines) ou au nombre d'unités d'usage (ex : vidange tous les 20 000 Km), Il s'agit donc d'une maintenance programmée. La périodicité des opérations de maintenance est déterminée à partir de la mise en service et elle est essentiellement basée sur des données de fiabilité. Cette forme de maintenance nécessite de connaître le comportement du matériel et les modes de dégradation.

La maintenance préventive systématique assure le remplacement périodique des équipements dont certaines pièces sont anormalement usées. Elle permet également de remplacer les équipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves ou les équipements ayant un coût de défaillance élevé. Cette méthode systématique coûte assez cher mais elle assure une grande sécurité en fixant une périodicité de visite qui diminue le risque d'avoir une défaillance avant l'intervention.

✓ **Maintenance préventive conditionnelle :**

Dans le cas de la maintenance préventive conditionnelle il n'y a plus d'échéancier mais c'est un événement, une condition, le franchissement d'un seuil, qui provoque l'intervention.

Le signal peut être donné par un capteur décelant une dérive de comportement (élévation de température, modification du niveau vibratoire, fuite, usure, etc.) ou à la suite d'une inspection ou d'un contrôle. La maintenance préventive conditionnelle peut s'appliquer à tout type de systèmes pour lesquels un capteur sait détecter une anomalie, et c'est d'ailleurs grâce au développement de la technologie de ces derniers que cette forme de maintenance a pu faire beaucoup de progrès ces dernières années.

La maintenance préventive est relativement coûteuse par la technologie qu'elle déploie, elle présente néanmoins l'extrême avantage de pouvoir être appliquée à des matériels dont le comportement est peu ou pas connu. Elle offre, malgré tout, l'intérêt de pouvoir éviter un aléa tout en exploitant les composants au maximum de leur durée de vie.

✓ **Maintenance prévisionnelle**

La maintenance prévisionnelle, également appelée maintenance proactive, est également réalisée à la suite d'une analyse de l'évolution surveillée des paramètres précurseurs de panne qui permettent de qualifier l'état de fonctionnement du système. La maintenance proactive est une forme de maintenance prédictive qui consiste à déterminer les causes à l'origine des défaillances et des usures précoces des équipements du système.

La maintenance prévisionnelle permet d'anticiper et de prévoir au mieux le moment où l'opération de maintenance devra être réalisée.

Cette forme de maintenance permet de réduire le nombre de défaillances imprévues, et donc l'indisponibilité du système. Elle permet de planifier les opérations de maintenance de manière à utiliser les équipements au maximum de leurs possibilités. En surveillant les équipements, il est possible de corriger des erreurs de conduite ou des anomalies qui peuvent générer des défaillances plus graves par la suite et d'améliorer la sécurité en évitant des accidents critiques. Par contre, cette forme de maintenance nécessite de mettre en place des techniques de surveillance et de mesure qui peuvent être très coûteuses.

II-10 les cinq niveaux de maintenance :

Il existe cinq niveaux de maintenance :

1^{er} niveau : réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement, ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité.

2^{ème} niveau : dépannages par échange-standard d'éléments prévus à cet effet, ou d'opérations mineures de maintenance préventive (rondes).

3^{ème} niveau : identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.

4^{ème} niveau : travaux importants de maintenance corrective ou préventive.

5^{ème} niveau : travaux de rénovation, de reconstruction, ou réparations importantes confiées à un atelier central.

II-11 Politique de maintenance de la société SONATRACH (HASSI R'MEL) :

II-11-2 Système Off Line :

C'est le deuxième mode de la maintenance prédictive, il est conçu pour faire des contrôles assisté par des appareils portables.

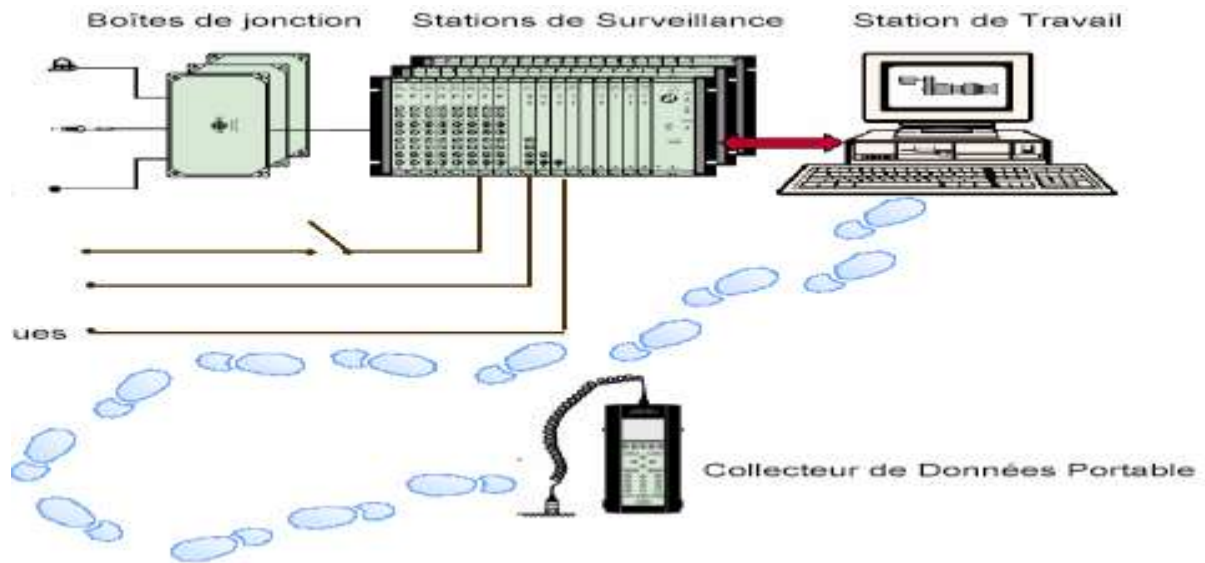


Figure II.5 : Schéma de l'installation Off Line

Chapitre III

Généralité sur les pompes

III-1 Généralités:

On entend par pompe ou machine hydraulique réceptrice un appareil transformateur d'énergie mécanique fournis en énergie cinétique ou de pression.

Les pompes se subdivisent en deux catégories qui se composent de deux types de pompes chacune :

➤ **Les Turbopompes :**

- Les pompes centrifuges.
- Les pompes axiales.

➤ **Les Pompes volumétriques :**

- Les pompes à pistons.
- Les pompes rotatives.

On appelle turbopompe toute machine dans laquelle une ou plusieurs roues ou impulseurs munies d'aubes ou d'ailettes tournants autour d'un axe échange d'énergie avec un fluide. Les aubes ménagent entre elle des canons par lesquelles le fluide s'écoule.

La rotation de la roue permet aux aubes de transformer l'énergie mécanique en énergie cinétique et de pression communiquée aux particules du fluide au moyen de la force centrifuge.

On appelle pompe volumétrique, une pompe à l'intérieur de laquelle une transformation d'énergie mécanique en énergie de pression s'effectue au cours du processus de refoulement sous l'action d'éléments de refoulement tel que piston, vis, engrenage et palettes.

III-2 Définition des turbopompes :

Dans les turbopompes, une roue munie d'aubes ou d'ailettes animée d'un mouvement de rotation fournit aux liquides de l'énergie cinétique dont une partie est transformée en énergie de pression par réduction de vitesse sans un organe appelé le récupérateur.

Dans les turbopompes, suivant le type du rotor et mode d'action, on distingue :

- Les pompes centrifuges (à écoulement radial).
- Les pompes axiales ou à hélices (à écoulement axial).
- Les pompes hélico-centrifuges (à écoulement diagonal).

III-2-1 Définition des pompes centrifuges :

Une pompe centrifuge est une machine hydraulique simple appartenant à la famille des turbopompes. Elle est conçue pour transporter un liquide d'un point à un autre.

Son principe de fonctionnement consiste dans le déplacement de liquide de l'aspiration vers le refoulement au moyen d'élément actif qu'on appelle la roue à aubes ou rotor. Ainsi au contact de liquide avec les aubes à lieu la transformation de l'énergie mécanique en énergie hydraulique et cette transformation de l'énergie consiste essentiellement en une augmentation du moment cinétique.

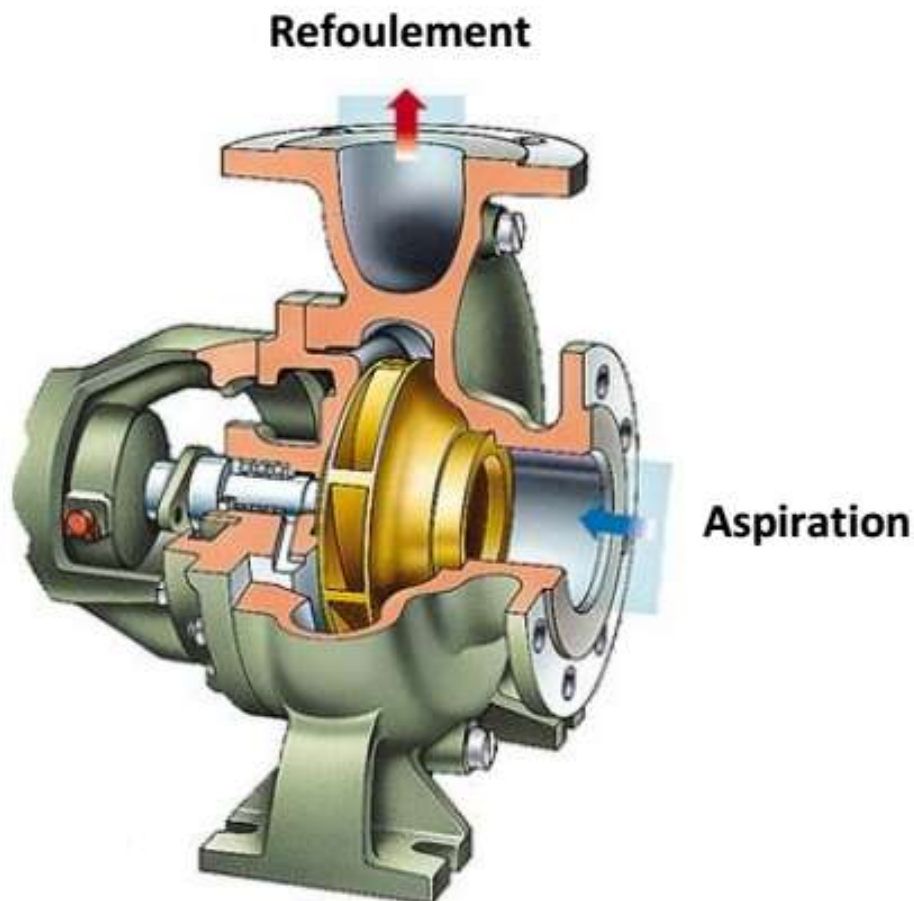
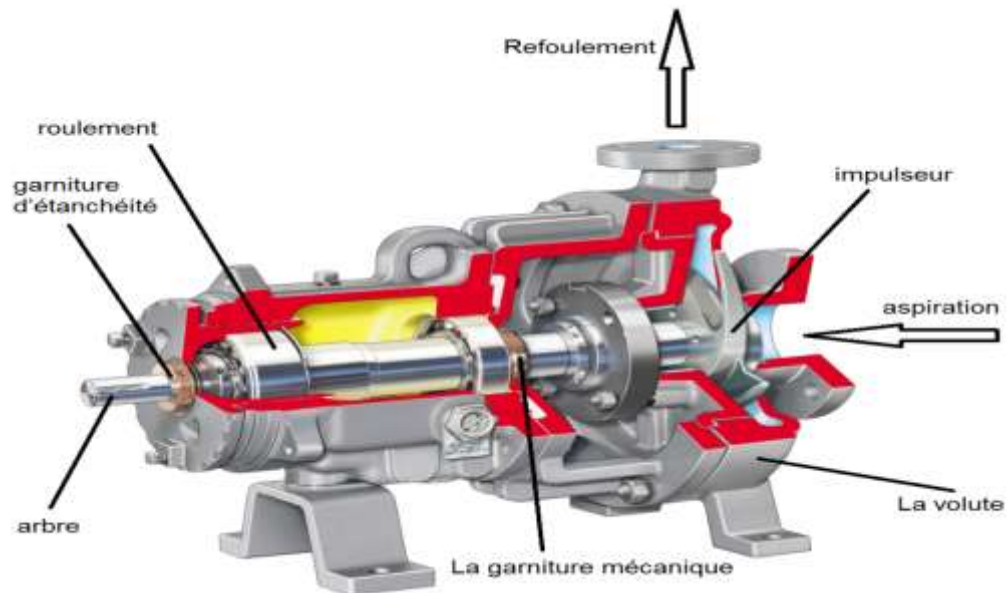


Figure III.1 : Exemple d'une Pompe centrifuge monocellulaire

III-2-2 Les éléments d'une pompe centrifuge :

- La volute : partie du corps de pompe prolonge l'effet hydraulique de la roue.
- Un impulseur (ou roue) : est l'élément qui transforme l'énergie reçue par l'arbre en énergie hydraulique.

- L'arbre qui supporte l'impulseur et lui communique l'énergie doit être guidé en rotation par un ou plusieurs paliers (le plus souvent à roulements).
- Un accouplement permettant la liaison avec la machine d'entraînement.
- Les roulements ou paliers lisses.
- La garniture mécanique.
- La garniture d'étanchéité.



Impulser ouvert



Impulser semi ouvert



Impulser fermé **Figure**

III.2 : principales éléments d'une pompe avec différents conception d'impulsers

III-2-3 Environnement d'une pompe centrifuge en unité :

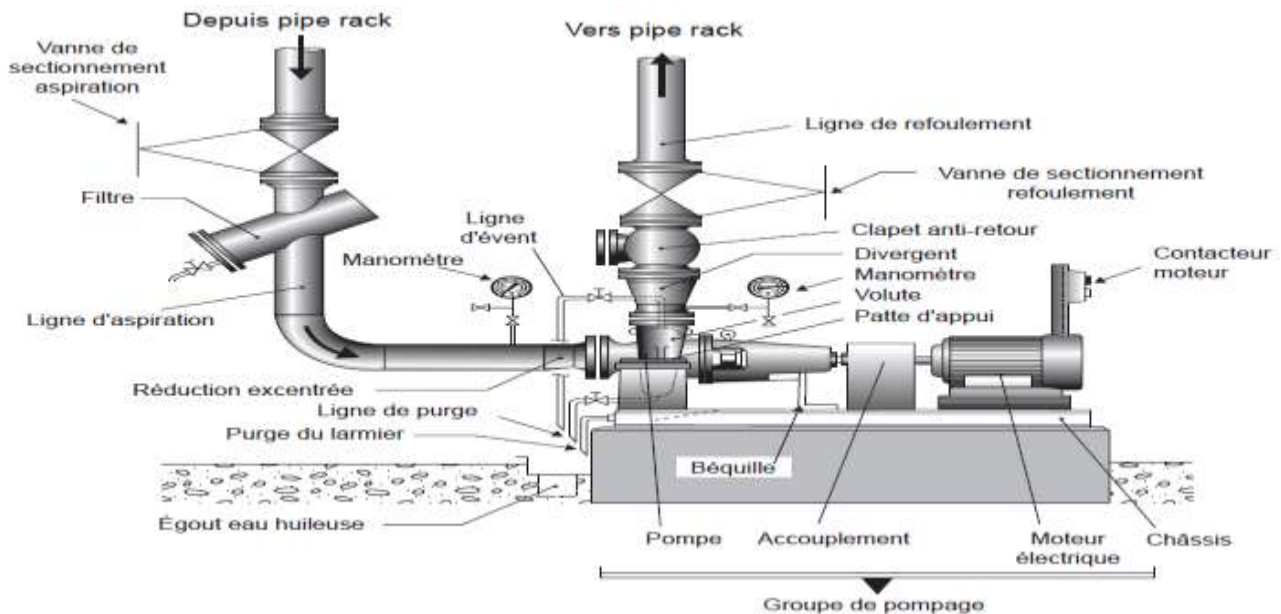


Figure III.3 : Environnement d'une pompe centrifuge en unité.

III-3 Les caractéristiques des pompes centrifuges :

➤ **Le Débit volumique Q :**

Le débit refoulé Q, est le volume utile débité au refoulement de la pompe par unité de temps, en m³/s (unités également utilisées : l/s et m³/h). Il est proportionnel à la vitesse de rotation de la pompe.

➤ **Hauteur manométrique ou hauteur d'élévation d'une pompe (HMT) :**

La Hauteur manométrique est la hauteur de liquide qui pourra être obtenue dans la tuyauterie de refoulement par rapport au niveau du liquide à l'aspiration. La HMT de la pompe est de manière simplifiée définie par :

$$HMT = (p_r - p_a) / \rho g \text{ [m]}$$

Avec : p_a : pression d'aspiration [Pa]

p_r : pression de refoulement [Pa]

➤ **Puissance de la pompe :**

➤ **Puissance absorbée (Pa) :**

Fournie sur l'axe de la pompe (moteur asynchrone, par exemple)

$$P_a = C \cdot \omega = C \cdot n \cdot 2 \cdot \pi / 60 \text{ [W]}$$

Avec C : couple moteur [N.m]

ω : vitesse de rotation [rad/s]

n : vitesse de rotation [tr/min]

➤ **Puissance utile (P_u) :**

Travail réalisé par la pompe : $P_u = \rho \cdot g \cdot Q \cdot HMT$ [W]

Avec ρ : la masse volumique de fluide [Kg/m³].

g : la gravité [m/s² ou N/Kg]

Q : débit volumique [m³/s]

HMT : hauteur manométrique d'une pompe [m]

➤ **Rendement global (η_g) :**

Rendement globale de la pompe η_g : $\eta_g = P_u / P_a$

III-4 Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge :

Une pompe centrifuge dans sa forme la plus simple est constituée d'une roue munie d'ailettes radiales et tournantes à l'intérieur d'une enveloppe corps de pompe. Son principe de fonctionnement est d'utiliser la force centrifuge créée par la rotation de la roue pour transmettre au liquide pompé l'énergie. Le liquide à l'aspiration de la pompe se dirige vers le centre de l'impulseur (rotor) en rotation d'où il sera propulsé radicalement vers l'extérieur par la force centrifuge. Cette vitesse est ensuite convertie en pression au niveau de diffuseur.

Le rôle du diffuseur est donc d'augmenter la pression statique en faisant tomber la vitesse d'un liquide.

Pour les pompes à plusieurs étages (multicellulaires), la pression double d'un étage à un autre.

III-5 Terminologie de Base :

Cavitation

Formation de bulles de vapeur qui pénètrent au niveau de l'orifice d'entrée de l'impulseur. La cavitation peut endommager la pompe lorsque ces bulles de vapeur atteignent une zone haute pression et éclatent. Une NPSH appropriée au niveau du circuit d'aspiration de la pompe permet d'éviter cet effet de cavitation. [4]

NPSH (Net Positive Suction Head – Hauteur Nette d'Aspiration)

Hauteur d'aspiration totale absolue, exprimée en mètres de liquide, déterminée au niveau de tubulure d'aspiration et par rapport à une dénivellation de référence, moins la pression de vapeur du liquide, en mètre absolu.

Débit stable minimum

Débit minimum auquel la pompe peut fonctionner sans dépasser les limites de vibrations imposées par les spécifications.

Pression

Force exercée sur une surface donnée (bar, Kg/cm²)

Pression de vapeur

Pression à laquelle le liquide entre en ébullition, à une température donnée.

Poussée

Forces hydrauliques agissant sur l'impulseur et créées par les pressions générées dans / autour de l'impulseur et par le changement de sens du flux de liquide au sein de celui-ci.

Echauffement

Les pertes de puissance d'une pompe centrifuge sont converties en chaleur, ce qui augmente la température du liquide circulant dans la pompe. Lorsque le débit est faible, la chaleur s'accumule dans la pompe et une panne grave peut se produire. [4]

Pression d'aspiration

Pression au niveau du raccord d'aspiration de la pompe.

➤ **Vitesse**

Vitesse de rotation. Nombre de tours réalisés par l'arbre pour une unité de temps donnée. Valeur exprimée en tours par minute (tr/min).

Densité relative

Rapport entre la densité du liquide et celle d'un liquide standard (eau) à 15°C, au niveau de la mer.

Courbes caractéristiques :

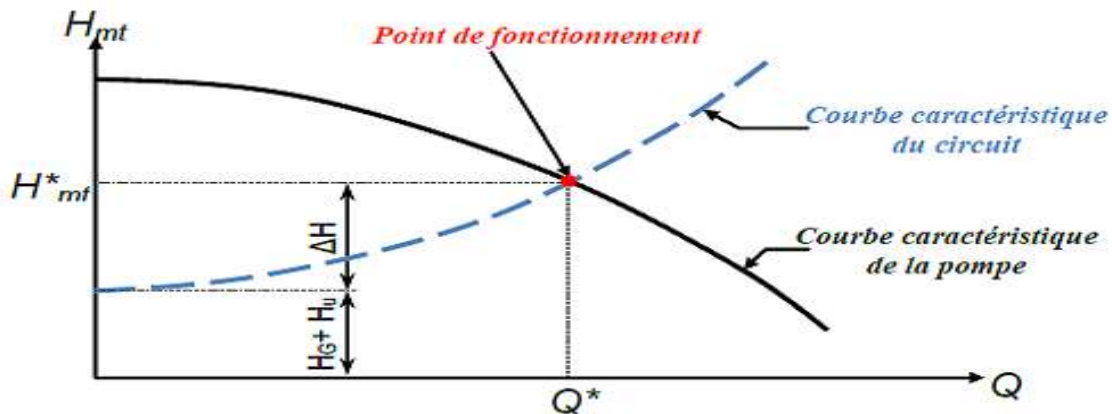


Figure III.4: Courbe caractéristique présente le Point de fonctionnement pour une pompe centrifuge

Interprétation : Si le débit souhaité est inférieur à celui qui est déterminé, on peut choisir un diamètre de conduite plus petit ou une pompe moins puissante ou bien on utilise une vanne de réglage de débit (augmenter les pertes de charge dans le circuit). Si le débit souhaité est supérieur à celui qui est déterminé, on doit choisir un diamètre de conduite plus grand pour diminuer les pertes de charge ou une pompe plus puissante.

Généralité sur l'analyse vibratoire

IV-1 Introduction :

L'intérêt industriel et économique que présente la maintenance des machines tournant a permet de mettre au point, pondant ces dernier années des méthodes élaborée de diagnostic de l'état de fonctionnement de ces machines ainsi, toutes les méthodes de surveillance de l'état de fonctionnement d'une machines sont basées sur l'étude des modulations d'un certain nombre des paramètres caractéristiques du fonctionnement de la machine.

Parmi ces paramètres, les vibrations engendrées par l'effort dynamiques ou l'analyse de ces vibrations sont effectuées dans le but de surveiller l'état mécanique de ces machines car les défauts traduisent par un changement de la signature vibratoire.

IV-2 Les Caractéristiques de la vibration :

Une vibration est le mouvement oscillatoire d'une particule ou d'un corps entour de sa position d'équilibre ou elle est caractérisée principalement par sa fréquence, et amplitude.

✚ Fréquence :

Elle présente le nombre d'oscillation ou de cycle par un seconde, c'est aussi l'inverse de la période « $f = 1/T$ » elle est exprimée en hertz.

$$1 \text{ hertz} = 1 \text{ cycle / seconde}$$

✚ Amplitude :

C'est la valeur des écarts par rapport au point d'équilibre ou le déplacement maximal qui subit en mouvement, elle peut être définie par l'une des valeurs suivante :

✓ **Valeur maximale :** C'est la valeur instantanée définie par le pointe le plus éloigner de la position d'équilibre.

✓ **La valeur crête à crête:** C'est la grandeur d'une extrémité positive à d'une extrémité négative, cette valeur sera égale à deux fois la valeur maximale.

✓ **valeur efficace:** Cette valeur constante sera souvent utilisée car il existe une relation directe entre le signal $X(t)$ et la valeur efficace.

$$A_{eff} = A_c \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \quad [5]$$

$$A_{cc} = A_{eff} \cdot \sqrt{2}$$

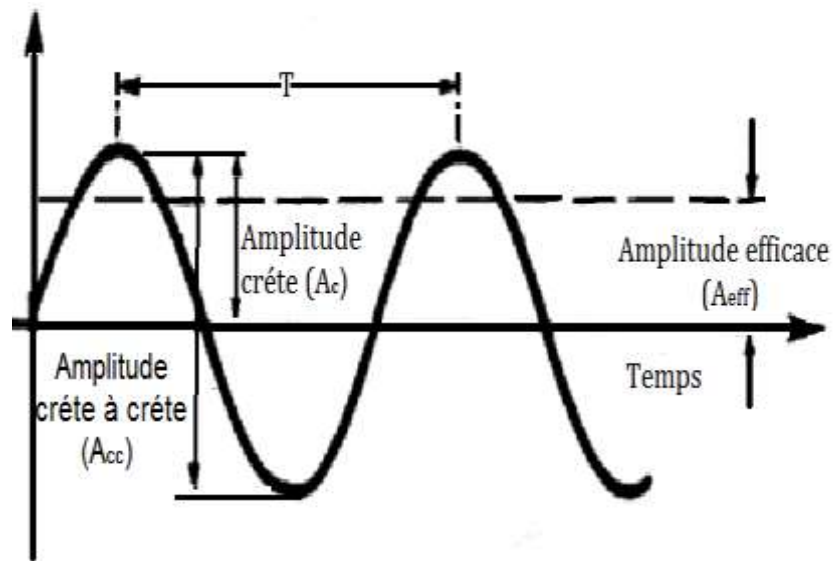


Figure IV.1 : Les Caractéristiques de la vibration.

IV-3 Les Différent Types Des Vibration :

Il existe plusieurs sortes des vibrations dont les principales sont les suivantes :

+ Vibration harmonique :

C'est le mouvement oscillatoire qui se répète de la même façon à des intervalles de temps régulier, ce mouvement peut être exprimé par l'équation mathématique :

$$X(t) = A_m \sin(\omega t + \theta)$$

A_m Amplitude maximal. ω : Pulsation de mouvement. θ : L'angle de déphasage.

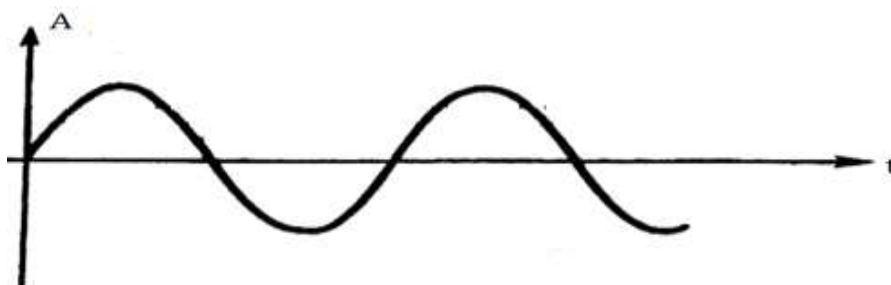


Figure IV.2 : Vibration harmonique.

✚ Vibration périodique :

C'est la superposition de deux ou plusieurs vibrations harmoniques :

$$X(t) = X_1(t) + X_2(t) + \dots + X_n(t) \text{ avec } X_n(t) = A_n \sin(\omega t + \theta) \quad [5]$$

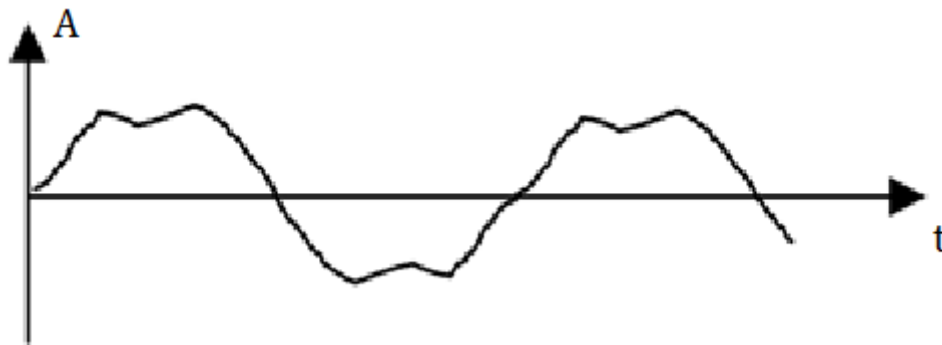


Figure IV.3 : Vibration périodique.

✚ Vibration aléatoire :

C'est une vibration continue pour laquelle il est impossible de la déterminer. Sa fonction mathématique est représentée par la transformation de Fourier.



Figure IV.4 : Vibration aléatoire.

✚ Vibration transitoire :

Une vibration transitoire est une vibration temporaire. Elle apparaît par un choc, existant avant l'instauration d'une vibration permanente.

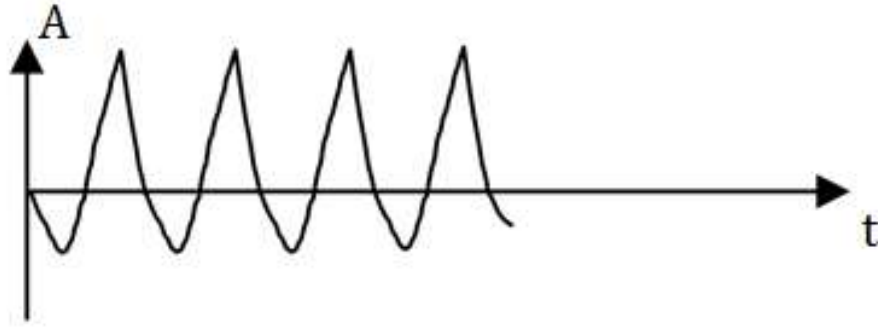


Figure IV.5 : vibration transitoire.

IV-4 Grandeurs associées d'une vibration :

Une vibration peut se répéter sous diverses formes : si l'on observe un système mécanique simple, elle est constituée d'une masse suspendue à un ressort. On constate que le mouvement de la masse se traduit par :

- ✓ Déplacement.
- ✓ Vitesse.
- ✓ Accélération.

Leur relation est la suivante :

$$\begin{aligned}
 X(t) &= A \sin(\omega t + \theta) \\
 V(t) &= \frac{dX(t)}{dt} = A \omega \cos(\omega t + \theta) \\
 \gamma(t) &= \frac{d^2 X(t)}{dt^2} = -A \omega^2 \sin(\omega t + \theta)
 \end{aligned}
 \quad [5]$$

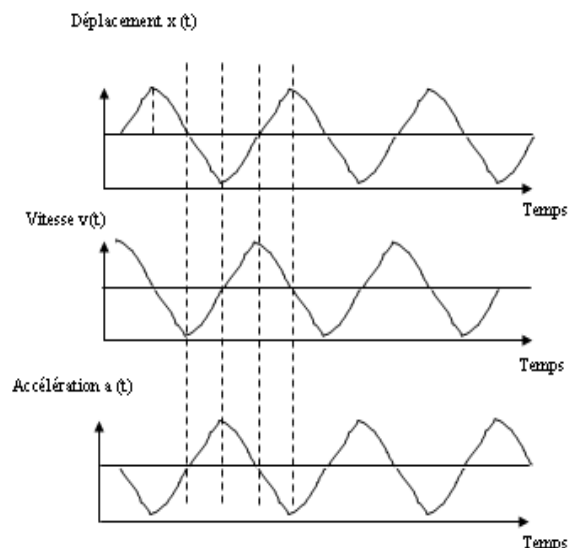
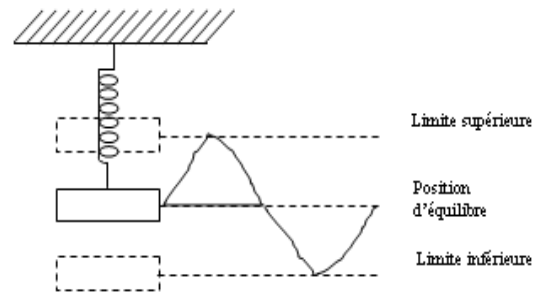


Figure IV.6 : Grandeurs associées à une vibration.

IV-5 Diagnostique des défauts :

L'analyse vibratoire est un des moyens utilisés pour suivre la santé des machines tournantes en fonctionnement. Cela s'inscrit dans le cadre d'une politique de maintenance prévisionnelle de l'outil de production industrielle.

Les objectifs d'une telle démarche sont de :

- réduire le nombre d'arrêts sur casse ;
- fiabiliser l'outil de production ;
- augmenter son taux de disponibilité ;
- mieux gérer le stock de pièces détachées, etc.

A partir des vibrations régulièrement recueillies sur une machine tournante, l'analyse vibratoire consiste à détecter d'éventuels dysfonctionnements et à suivre leur évolution dans le but de planifier ou reporter une intervention mécanique.

Il existe deux technologies permettant de réaliser une surveillance vibratoire :

- **Par mesure directe du déplacement des parties tournantes** (arbres de machines). Réalisée à l'aide de capteurs à courants de Foucault, ces mesures, leur interprétation et leurs applications ne sont pas traitées ici. La technologie mise en œuvre est lourde. Une application courante est la surveillance des machines à paliers hydrauliques (à coin d'huile). Cette surveillance est presque toujours réalisée **on line** c'est-à-dire en temps réel. Les capteurs mesurent en permanence les déplacements des arbres et autorisent ainsi le déclenchement immédiat d'alarmes en cas de dysfonctionnement.
- **Par mesure de l'accélération subie par les parties fixes de la machine** (carters). Les moyens mis en œuvre sont, dans ce cas, beaucoup plus accessibles aux petites structures. À l'aide d'un accéléromètre relié à un collecteur de données, le technicien recueille les vibrations subies par les carters des machines. Cette technique se prête aussi bien à la surveillance on line qu'à la surveillance périodique effectuée lors de rondes selon un calendrier préétabli.

IV-6 Appareillages et équipement de mesure de vibration :

Les appareils de mesurage de l'intensité vibratoire sont des appareils portables qui permettent la mesure, le contrôle, la comparaison et la réception pour :

- Moteur électrique et générateur.
- Turbine et compresseur.
- Pompes.
- Machines outils etc.....

Cet appareil est équipé de trois éléments principaux :

- ✓ Collecteur.
- ✓ Calculateur.
- ✓ Capteur.

IV-6-1 Collecteur :

C'est un appareil numérique pour collecter toutes les informations de mesure de valeurs vibratoires programmées par des routes et les stokes :

+ Vibromètre 20 :

Qui permet la mesure des vibrations entre 10 et 1000 Hz

+ Vibroport 30 :

Qui permet la mesure, le jugement et l'analyse des vibrations sur des machines avec une bande qui varie entre 1 et 10000 Hz.

+ Vibroport 41 :

Le Vibrostore 41 est un appareil de mesure portable, bi - voies, fonctionnant avec batterie, pour le diagnostic et la maintenance Conditionnelle des machines. Une utilisation simplifiée et fiable est obtenue grâce aux points suivants :

- ✓ Technique moderne à microprocesseur.
- ✓ Programme de processeur accessible par menus.
- ✓ Configuration accessible par menue « absence de commutateur ».
- ✓ Possibilité graphique sur un écran à cristaux liquides.



Figure IV.7 : vibroport 41.

Vibroport 41 C'est un collecteur qui doit être relié avec un programme « **CM 400** » pour l'analyse des données.

+ Vibrotest 60 :

Il est constitué des composantes suivantes :

- ✓ **Ecran** : afficheur l'analyse des vibrations.
- ✓ **Clavier** : pour la modification.
- ✓ **Module carte pc** : c'est une carte pour le stockage



Figure IV.8 : Vibrotest 60.

IV-6-2 Calculateur :

Est un logiciel tournant sur Plateforme WINDOWS conçu pour traiter les données de vibration recueillies sur les machines tournantes ou les structures. Il permet la comparaison des spectres ainsi qu'une meilleure visualisation des signaux dynamiques.

Plusieurs analyseurs mono et multivoies sont supportés par VIBREXPRT.

Il existe deux types de programme :

CM 400 pour le vibroport41. CM 460 pour le Vibrotest 60

IV-6-3 Capteur :

Le capteur qui fournit une tension électrique proportionnelle au mouvement vibratoire.

On distingue trois types de capteur :

- ✚ Capteur de déplacement
- ✚ Capteur de vitesse
- ✚ Capteur d'accélération

IV-6-3 -1 Capteur de déplacement :

Les capteurs de déplacement ou proxémètre (ou encore capteurs de proximités) mesure la distance entre la surface surveillée (généralement celle d'un arbre tournant) et l'élément détecteur du capteur.



Figure IV.9 : capteur de déplacement (proxémètre)

Aujourd'hui, le proxémètre le plus utilisés pour la surveillance de machines tournantes est le capteur inductif à courant de Foucault. Ce capteur, représenté en figure ci-dessous, est relié à un émetteur-démodulateur-conditionneur.

Il est constitué d'une bobine parcourue par un courant électrique (hautes fréquences). Le champ magnétique ainsi crée induit, à la surface de l'arbre, des courants appelés courants de Foucault qui modifient l'impédance ce la bobine.

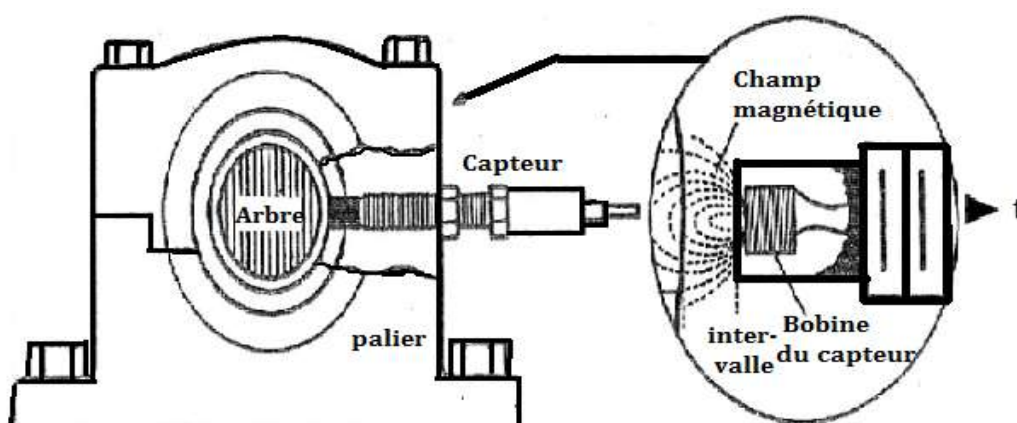


Figure IV.10: Schéma de fonctionnement de capteur de déplacement

IV-6-3 -2 Capteur de vitesse:

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



Figure IV.11 : Capteur de vitesse (vélocimètres)

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. Le mouvement de la bobine, induit par la vibration du palier sur lequel est fixé le capteur, génère une tension proportionnelle à la vitesse du mouvement de la bobine.

Ce type de capteur présente l'avantage de ne nécessiter ni source d'alimentation ni préamplificateur. L'amplitude du signal délivré est directement proportionnelle à la vitesse de la vibration absolue du palier au point de mesure.

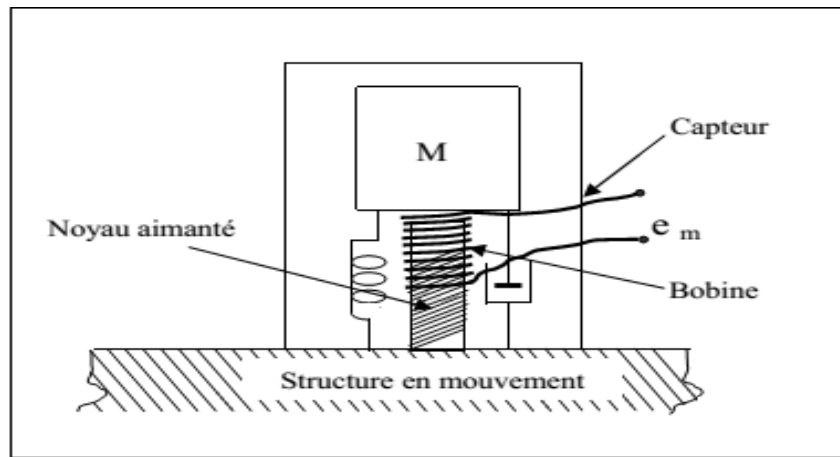


Figure IV.12 : Schéma de fonctionnement de capteur de vitesse.

IV-6-3-3 Capteur d'accélération:

Les accéléromètres piézo-électrique tendent à devenir les capteurs de vibration absolue les plus utilisés pour la surveillance des machines tournantes.



Figure IV.13 : Capteur d'accélération (accéléromètre).

IV-6-3-3-a Le Principe de fonctionnement d'un accéléromètre:

Les éléments actifs de ce type de capteur sont des disques de cristal piézoélectrique présentant la propriété de transformer une sollicitation mécanique (pression ou cisaillement) en charge électrique. Ces disques sont pris entre deux masses relativement importantes par l'intermédiaire d'un ressort de tarage élevé. Lorsque le capteur est soumis à une vibration, les masses exercent une pression

alternative sur les disques qui, grâce à leur effet piézo-électrique , créent une variation de charge électrique proportionnelle à la force appliquée et donc à l'accélération des masses.

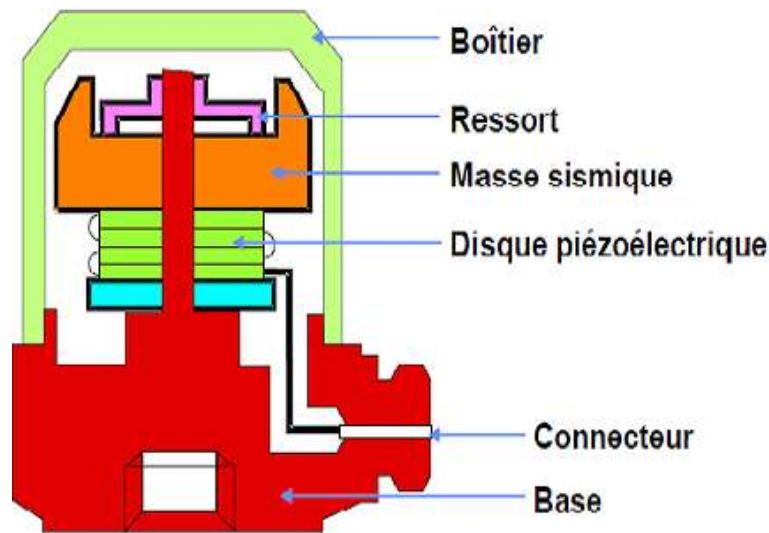


Figure IV.14 : Schéma de fonctionnement de l'accéléromètre.

IV-6-3-3-b- Avantage des accéléromètres :

Ils présentent plusieurs avantages par met eux :

- ✓ utilisation dans de larges plages de fréquences
- ✓ excellente linéarité sur une vaste gamme dynamique.
- ✓ possibilité d'intégrer le signal d'accélération pour donner l'information en mode vitesse ou en mode déplacement.

IV-7 L'utilisation des équipements:

1 / Chargement des routes :

- ✓ Connecter le **Vibrotest 60** au calculateur.
- ✓ Le calculateur transfère dans le collecteur, les données concernant les routes avec les points de mesure.
- ✓ Toute ancien routes encore stockée dans **Vibrotest 60** sera effacé.

2/Collecter les données :

- ✓ Connecter le capteur.
- ✓ Collecter les mesure et les variable significative du procéder fabrication suivant la route prévue.
- ✓ S'assure avant chaque mesure que le capteur canneté correspond au type de mesure effectué.
- ✓ Il faut terminer la mesure du point par la validation des commentaires.

3/ Déchargement des routes :

Connecter le **Vibrotest 60** au ordinateur.

Les données collectées « mesure, spectre.. » sont transmises au ordinateur est restant stoker dans le **Vibrotest 60** jusqu'au chargement d'une nouvelle route.



Figure IV.15 : Chargement et déchargement des données

IV-8 Choix de l'emplacement des capteurs :

1/Emplacement :

Dans le cas des machines tournantes, les principales mesures seront effectuées le plus souvent au droit des paliers qui sont les parties fixes les plus directement en relation avec les efforts appliqués à la partie mobile.

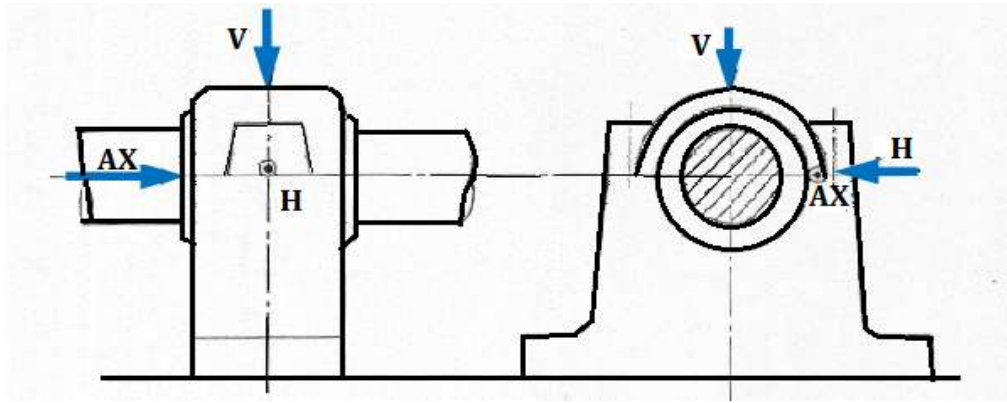


Figure IV.16 : Choix directionnel pour la prise de mesure

Remarques

- Bien que l'effort soit constant dans toutes les directions du plan radial, une mesure dans la direction radiale horizontale donne une valeur d'amplitude plus forte.
- La lecture des valeurs d'amplitude doit tenir compte du temps nécessaire à la prise d'une mesure correcte et de l'estimation des fluctuations de niveaux éventuelles.
- Toute remarque au cours de cette évaluation peut être importante et significative d'un défaut.

2/Consignes pour la fixation des capteurs :

- Les capteurs doivent être placés en liaison aussi directe que possible avec les paliers, en limitant au strict minimum le nombre de pièces assurant l'interface entre l'élément mobile et le capteur [Figure IV.15_].

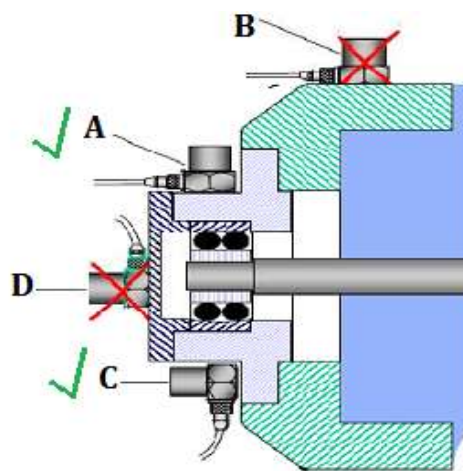


Figure IV.17 : Choix de l'emplacement du capteur

- L'emplacement des points de mesure doit être propre (pas de traces de graisse ou de peinture) et les surfaces de contact avec les capteurs lisses, planes et perpendiculaires à la direction de mesure [Figure IV.16]
- Les mesures sont effectuées toujours au même endroit sur la machine. Les points de mesure sont repérés, soit par la peinture, soit place de goujons.

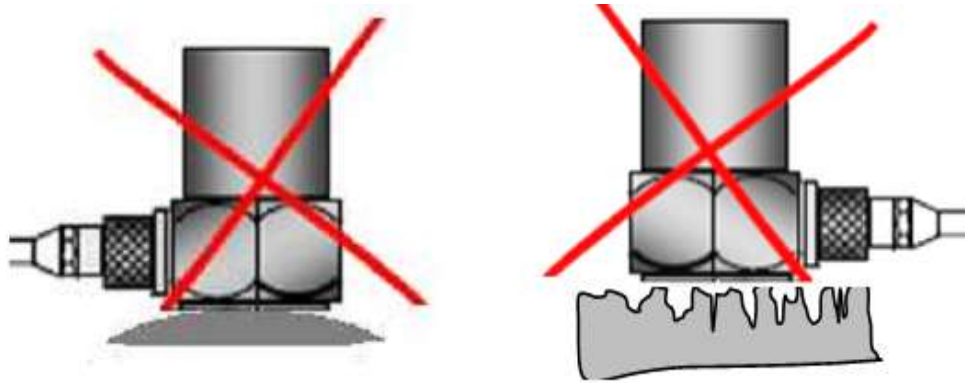


Figure IV.18 : Les surfaces de contact avec le capteur doivent être lisses et planes

IV-9 Seuil de jugement de l'intensité vibratoire :

IV-9-1 Intensité vibratoire :

Selon la norme AFNOR E 90-300: « L'intensité vibratoire est une grandeur caractérisant, de façon simple et globale, l'état vibratoire d'une machine. »

Dans le domaine de la vibration, l'intensité vibratoire a pour synonymes : sévérité vibratoire, mesure globale, tranquillité de marche. Tout cela montre que cette mesure permet de porter un jugement simple mais grossier sur l'état d'une machine, sans préjuger de l'origine des éventuels défauts. La mesure la plus facile de l'intensité vibratoire d'une machine consiste à poser la main sur un palier pour en apprécier le comportement. Cette norme distingue six groupes de machines. Les critères de distinction sont la puissance, les fondations et la présence d'effets de masse alternatifs non compensables [6]

Ces groupes sont définis comme suit :

❖ **GROUPE I**

Éléments de moteurs ou de machines qui, dans leurs conditions normales de fonctionnement, sont intimement solidaires de l'ensemble d'une machine (par exemple moteurs électriques produits en série, puissance jusqu'à 15 kW).

❖ **GROUPE II**

Machines de taille moyenne (en particulier moteurs électriques de puissance comprise entre 15 et 75 kW) sans fondations spéciales. Moteurs montés de façon rigide ou machines (puissance jusqu'à 300 kW) sur fondations spéciales.

❖ **GROUPE III**

Moteurs de grandes dimensions et autres grosses machines ayant leurs masses tournantes montées sur des fondations lourdes et relativement rigides dans la direction des vibrations.

❖ **GROUPE IV**

Moteurs de grandes dimensions et autres grosses machines ayant leurs masses tournantes montées sur des fondations relativement souples dans la direction des vibrations (par exemple groupes turbogénérateurs, particulièrement ceux qui sont installés sur des fondations légères).

❖ **GROUPE V**

Machines et dispositifs mécaniques d'entraînement avec effets d'inertie non équilibrés (dus au mouvement alternatif des pièces), montés sur des fondations relativement rigides dans la direction des vibrations.

❖ **GROUPE VI**

Machines et dispositifs mécaniques d'entraînement avec effets d'inertie non équilibrés (dus au mouvement alternatif des pièces), montés sur des fondations relativement souples dans la direction des vibrations. Machines avec masses tournantes accouplées souplement (par exemple arbres de broyeurs). Machines telles que centrifugeuses avec déséquilibres variables, capables de fonctionner isolément, sans l'aide d'éléments de liaison. Cribles, machines à tester la fatigue dynamique et générateurs de vibrations pour les industries de transformation.

IV-9-2 Seuils de jugement :

La norme propose pour chacun des quatre premiers groupes des seuils de jugement qui déterminent les domaines suivants **[FIGURE IV.17]:**

- Bon
- Admissible
- Encore admissible
- Inadmissible

Ces seuils ne sont qu'une proposition basée sur une statistique regroupant de très nombreuses machines de types très différents. Il est de la responsabilité de l'utilisateur d'affiner ces seuils machine par machine, en fonction de leur historique. Ces seuils pourront ainsi être modifiés à la baisse ou à la hausse.

La norme ne propose aucun seuil de jugement pour les machines des groupes V et VI, car ils comprennent les machines alternatives, présentant des comportements très variables en fonction du nombre de cylindres, de l'angle entre ces cylindres et du calage des manetons. Ces groupes comprennent également des machines à balourd variable ou des machines construites spécialement pour vibrer. Les seuils de jugement pour les machines des groupes V et VI ne pourront donc être déterminés que par le constructeur ou l'utilisateur. [6]

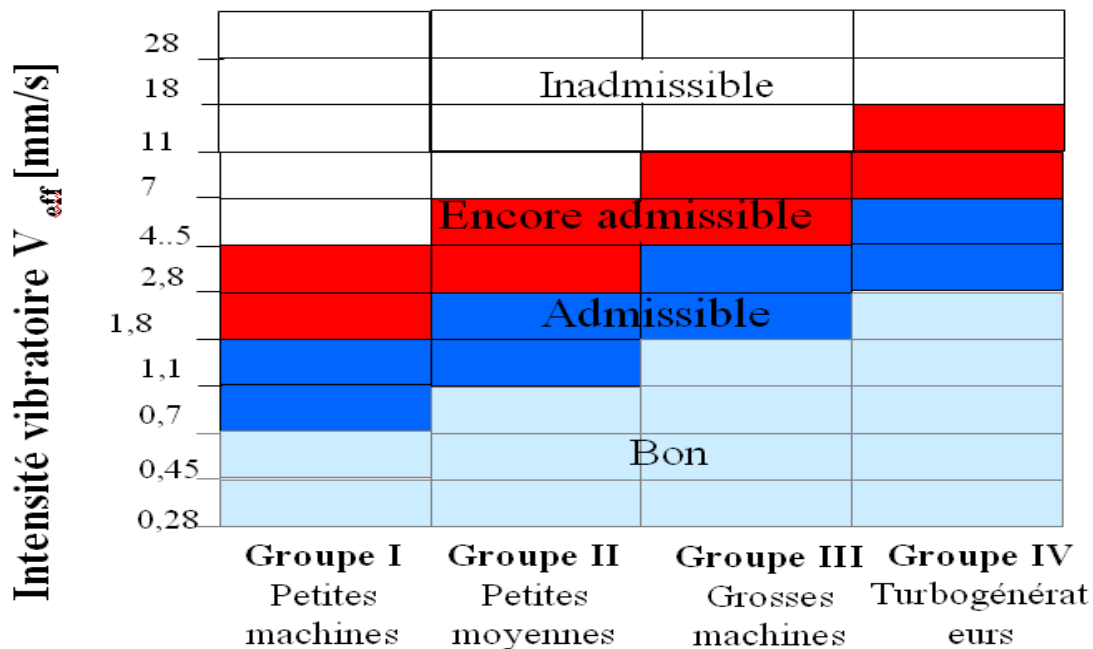


Figure IV.19 : Seuils de jugement par rapport l'intensité vibratoire

IV-10 Stratégies de surveillance vibratoire :

IV-10-1 Mesure vibratoire en niveau global :

Cette stratégie de surveillance consiste à mesurer, à l'aide de capteurs, le niveau global d'un ou de plusieurs indicateurs (déplacement, vitesse ou accélération), à suivre son évolution dans le temps et à le comparer à des normes ou des mesures précédentes. Certes, toute évolution est due à une dégradation de la machine. Cela permet de mettre en évidence l'existence d'une anomalie à un stade précoce et de faire une première idée des types de défauts qui affectent la machine, mais ne permet pas d'établir un diagnostic précis.

IV-10-2 Analyse temporelle :

Cette stratégie consiste à suivre, au cours du temps, le comportement vibratoire d'une machine en fonction de ces paramètres de fonctionnement (étude de la vibration d'une machine tournante lors de son accélération ou sa décélération). Ce type de suivi est simple à exploiter lorsque le signal est simple mais il devient inexploitable lorsque le signal a pour origine des sollicitations multiples.

IV-10-3 Analyse spectrale :

L'analyse spectrale consiste à relever le signal vibratoire mesuré sur la machine et de procéder à une analyse systématique pour rechercher la présence d'images vibratoires de l'ensemble des défauts susceptibles d'affecter l'installation considérée. Cela permet d'accéder au diagnostic, c'est à dire, d'identifier avec précision la nature de l'anomalie.

IV-11 Image des défauts avec l'analyse spectrale :

L'analyse spectrale est un moyen puissant d'aborder la connaissance dynamique des machines. Il est d'une grande importance de connaître la signification du spectre pour faire une interprétation.

Les vibrations des machines tournantes sont principalement causées par :

IV-11-1 Défaut de balourd :

La vibration la plus fréquente dans une machine tournante est celle d'un déséquilibre d'un arbre produisant à la vitesse de rotation appel balourd. Ce défaut est causé par une mauvaise répartition de masse ou une non homogénéité du matériau le centre de gravité de la pièce ne se trouve pas sur l'axe de rotation de la pièce en mouvement. un arbre qui tourne à une fréquence de rotation f_r présente un balourd à la même fréquence de rotation f_r mais avec une amplitude plus élevée.

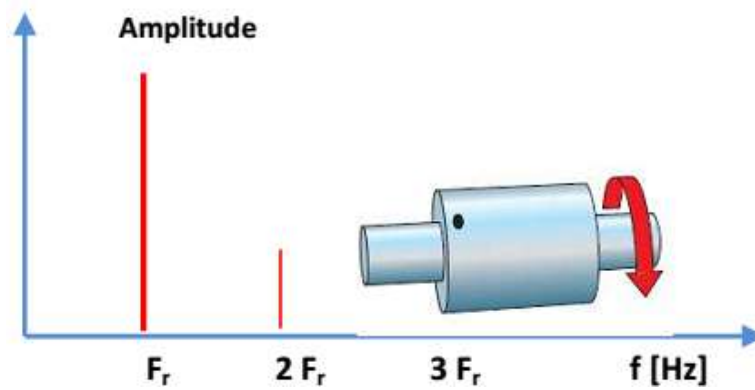


Figure IV.20 : Image spectrale d'un Balourd

IV-11-2 Défaut de Désalignement :

Il se produit à des fréquences multiples de la fréquence de rotation f_r , pour mieux surveiller le désalignement il faudra placer un capteur suivant la direction axiale.

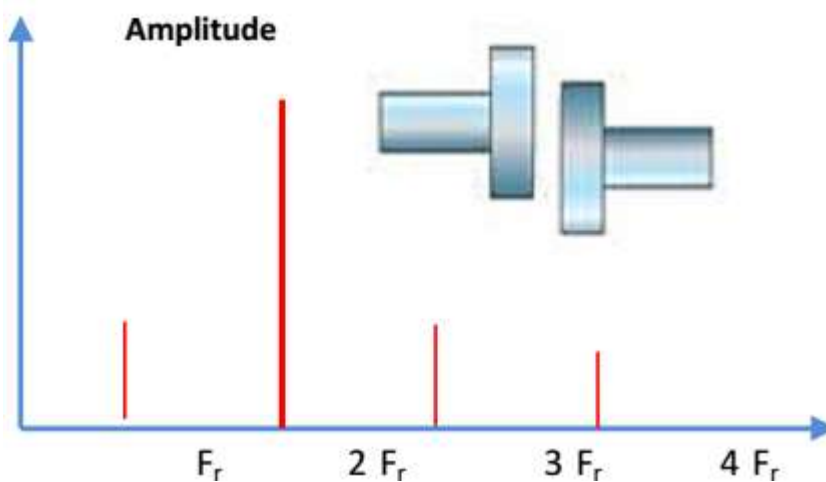


Figure IV.21 : Image spectrale d'un Désalignement

IV-11-3 Défaut de courroie :

Le principal défaut rencontré sur ce type de transmission est lié à une détérioration localisée d'une courroie : partie arrachée, défaut de jointure, impliquant un effort ou un choc particulier à la fréquence de passage.

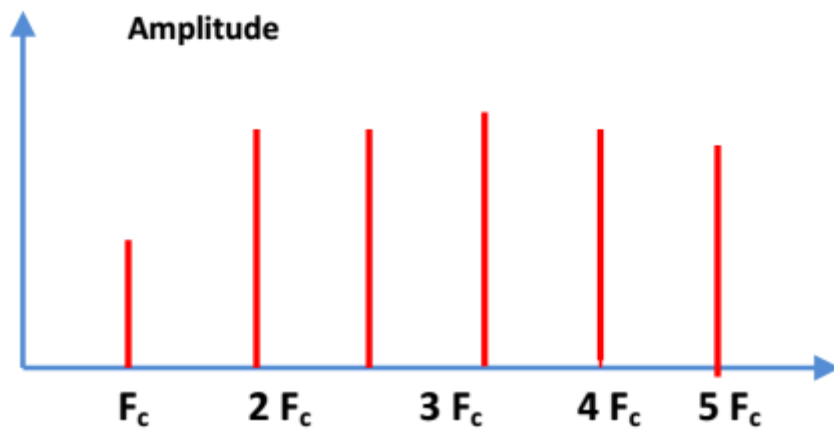


Figure IV.22 : Image spectrale d'un défaut de transmission par courroie

IV-11-4 Défaut D'accouplement avec denture (engrenage) :

- **Identification des défauts d'engrenage.**

L'amplitude de la vibration à la fréquence d'engrènement ne suffit pas à caractériser un problème.

- Pour qu'un défaut soit significatif, il faut une augmentation de l'amplitude à la fréquence d'engrènement, mais aussi, la génération d'autres fréquences (harmoniques et modulation de la fréquence d'engrènement)

- **Sources de vibrations des engrenages :**

- ❖ Flexion des dents due à la charge.
- ❖ Usure régulière, uniforme de la denture.
- ❖ Phénomènes locaux (dent fissurée...).

- **Fréquence d'engrènement**

$$F_{eng} = Z * f_r [7]$$

IV-11-5 Défaut d'origine hydraulique :

Ces vibrations sont liées à la circulation des fluides dans la machine (roue, diffuseur, tuyauteries et composants associés).

- **Balourd hydraulique :**

En plus du balourd d'origine mécanique, on peut rencontrer dans les pompes, une force tournante engendrée par les dissymétries de pression sur la roue.

En effet, lors de la fabrication des aubes, il subsiste des différences géométriques dans le profil des roues qui sont cause de légères dissymétries de pression. L'intégrale de ces dissymétries de pression sur la surface de la roue crée le balourd hydraulique.

Ce balourd hydraulique d'une pompe varie avec les conditions de fonctionnement.

- **Défaut hydraulique associé à la rotation des aubes**

Le passage d'une aube mobile devant un point fixe crée une fluctuation de pression dont la fréquence est :

$$f_a = N_R \times f_r \text{ [7]}$$

Avec N_R nombre d'aubes du rotor, f_r fréquence de rotation du rotor.

Cette fluctuation de pression varie avec les conditions de fonctionnement. Elle augmente fortement pour des débits partiels à partir de 0,65 fois le débit nominal environ [Figure IV.21]. À débits très partiels (inférieurs à 0,3 fois le débit nominal), on peut voir apparaître des champs tournant à des fréquences sous harmoniques de la vitesse de rotation .

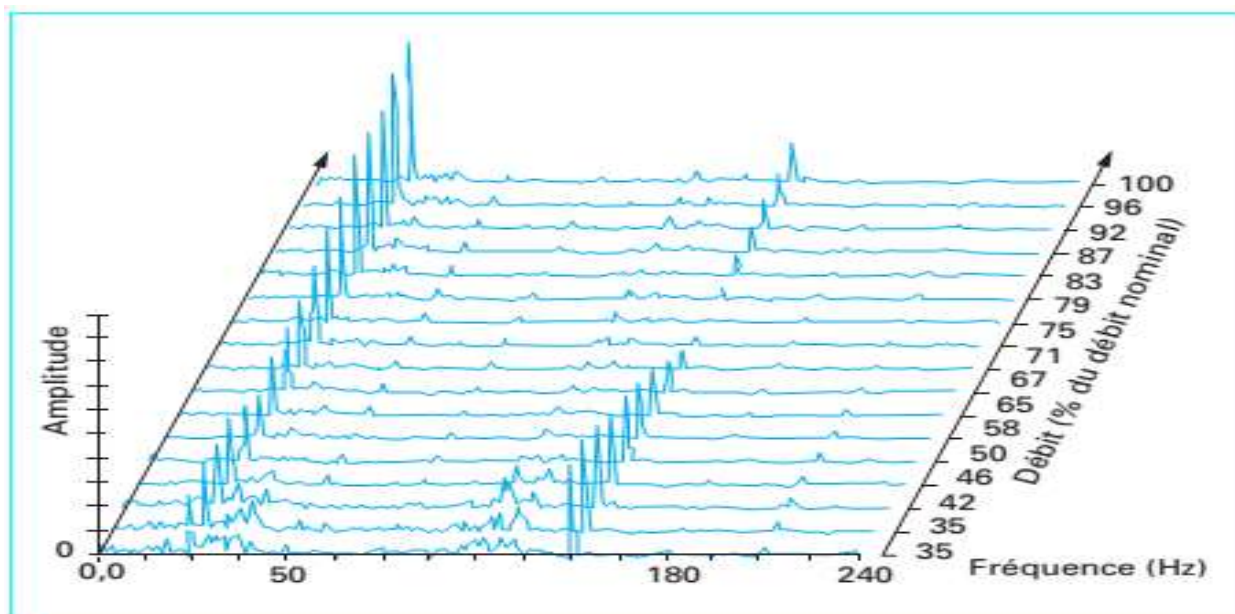


Figure IV.23 : Vibrations d'une pompe en fonction de son débit

On a proposé un tableau qui nous aide à connaître les défauts. [7]

Type d'anomalie	Vibration		Remarques
	Fréquence	Direction	
Tourbillon d'huile	De 0,42 à 0,48 x f_{rot}	Radiale	Uniquement sur paliers lisses hydrodynamique à grande vitesse
Balourd	1 x f_{rot}	Radiale	Amplitude proportionnelle à la vitesse de rotation. Déphasage de 90° sur 2 mesures orthogonales
Défaut de fixation	1, 2, 3, 4 x f_{rot}	Radiale	Aucun déphasage sur 2 mesures orthogonales
Défaut d'alignement	2 x f_{rot}	Axiale et radiale	Vibration axiale est en général plus important si le défaut d'alignement comporte un écart angulaire
Excitation électrique	1, 2, 3, 4 x 50Hz	Axiale et radiale	Vibration disparaît dès coupure de l'alimentation
Vitesse critique de rotation	Fréquence critique de rotor	Radiale	Vibration apparaît en régime transitoire et s'atténue en suite
Courroie en mauvais état	1, 2, 3, 4 x f_{pc}	Radiale	
Engrenage endommagé	Fréquence d'engrènement $f_{eng} = z \times f_{rot}$	Axiale et radiale	Bandes latérales autour de la fréquence d'engrènement.
Faux-rond d'un pignon	$f_{eng} \pm f_{rot}$ pignon	Axiale et radiale	Bandes latérales autour de la fréquence d'engrènement dues au faux-rond

Excitation hydrodynamique	Fréquence de passage des aubes	Axiale et radiale	
Détérioration de roulement	Hautes fréquences	Axiale et radiale	Ondes de choc dues aux écaillages. Aide possible par

Tableau 1: Défauts e

Analyse expérimental

V-1 Introduction :

L'importance et la continuité de l'exploitation et de la distribution des hydrocarbures, impliquent une disponibilité totale des machines tournantes, particulièrement les pompes d'expédition qui nécessitent un suivi vibratoire et une maintenance continue.

Mon stage au niveau de la Sonatrach (Hassi R'mel) a consisté de participer à la résolution d'un problème de vibration qui est apparu sur la pompe centrifuge d'expédition du condensât (50-P004 B) au niveau du centre de stockage et de transfert (CSTF). La figure ci-dessous montre la pompe réelle sur laquelle nous avons effectué notre étude et qui présentait des défauts de vibration (effet de sirène).

Avec l'équipe Sonatrach, nous avons fait des visites fréquentes pour analyser ce défaut et définir sa cause réelle puis remédier à cette dernière avec une solution fiable.

Nos visites sur site consistaient à faire des analyses vibratoires dont des mesures



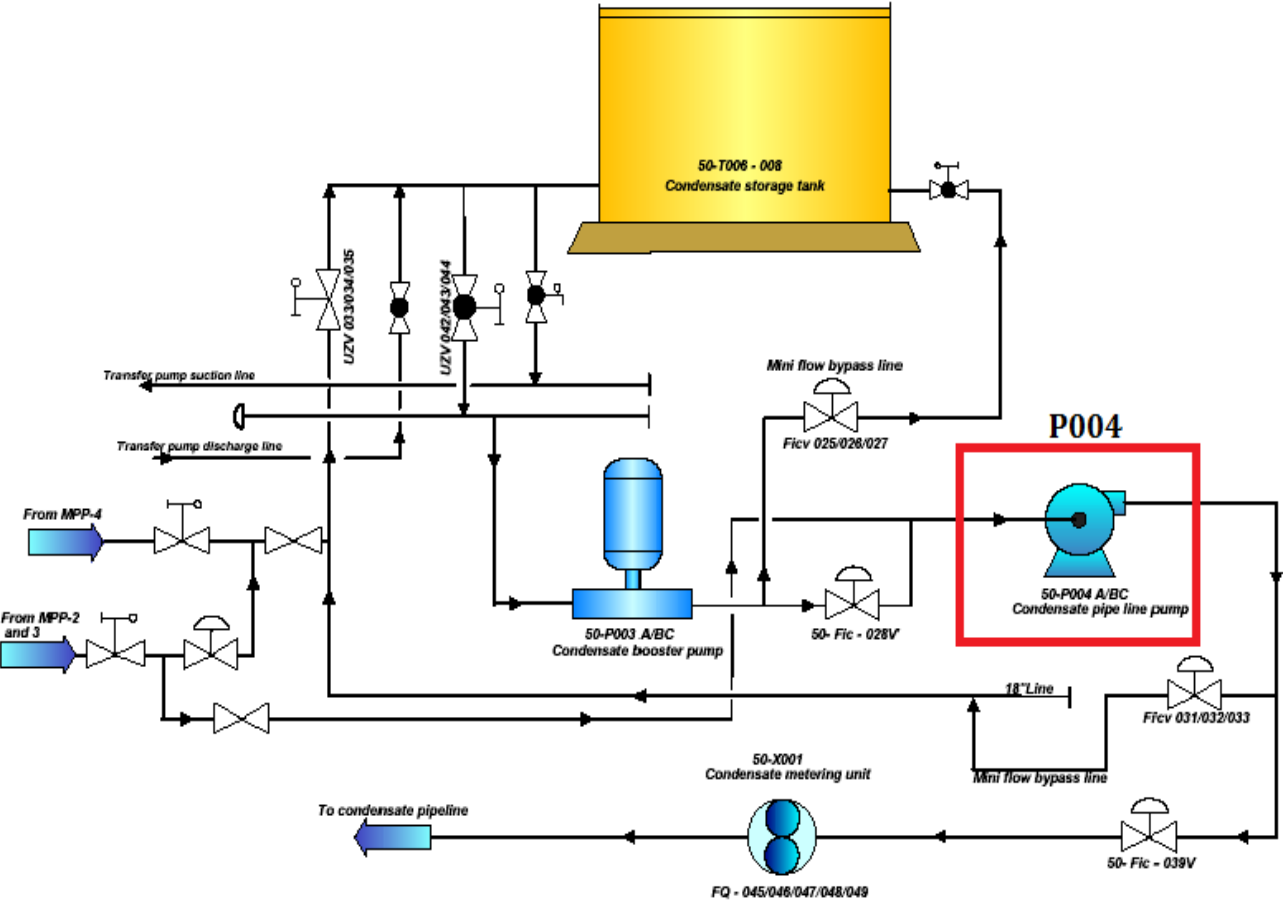
Figure

V.1 La pompe d'expédition 50-P004-B.

V-2 Situation de la pompe P004 :

Au niveau de la région de Hassi r'mel, il existe un nombre important des pompes et notre étude portera spécialement sur la pompe (50-P004 B) qui a un rôle important dans l'expédition du produit condensat qui est stocké dans des bacs est sera envoyé vers d'autres stations à l'aide de deux pompes (P003,P004), une verticale(P003) qui aspire du fond de bac et refoule à la deuxième pompe(P004) avec une pression de 7bar, et la pompe (P004) refoule à une pression de 25.

Figure



V.2 Situation de la pompe P004.

V-3 Caractéristique de la pompe P004 :

Après consultation de la plaque significative de la pompe on à copier les caractéristique suivant : [8]

1/ pompe :

- Type : 10 x 195 – HVC
- Pression d'aspiration: 7 kg/cm²
- Pression de refoulement : 25 kg/cm²
- Palier radial : Manchon
- Buté : 7313DB
- Capacité : 1150 m³/h
- Hauteur : 198 m
- Vitesse : 2980 tr/min
- Date de fabrication : 1977
- Produit refoulé : Condensat
- Masse volumique : 1412 kg/m³

2/Moteur :

- Puissance : 630 kw
- Fréquence de rotation : 50 Hz
- Tension : 380 v
- Courant : 78 A
- Régime : courant continue
- Vitesse : 2980 tr/min

3/ Accouplement :

- Puissance motrice : 170 kw
- Vitesse de rotation : 2980 tr/min
- Diamètre coté moteur : 72 mm
- Diamètre coté pompe : 72 mm
- Admissible torque : 130 kg.m

V-4 Problématique :

La chute de débit de 1000m³/heure à une moyenne de 500m³/heure dans le gisement Hassi R'mel, a provoqué des vibrations dans les équipements de traitement (pompes d'expédition de condensat), achetées en 1978 et qui ont été conçus pour de grandes capacités normalement.

La société Sonatrach et après plusieurs analyses a suggéré de remplacer ces pompes à grande capacité par d'autres qui supportent le nouveau débit mais tout de suite, cette solution a été écarté vu le grand nombre des pompes, ce qui a donné à réfléchir à une autre solution moins coûteuse : se limiter à la maintenance de ces pompes tout en apportant des solutions correctives adaptables au nouveau débit pour minimiser les vibrations.

A ce titre, il a été décidé que le service de maintenance (section vibration & équilibrage) établira une maintenance préventive durant l'année pour assurer une continuité de service de ces équipements (pompes).

Notre travail a porté sur une étude qui identifie l'influence du débit sur le comportement vibratoire des pompes d'expédition de condensat, plus précisément le type de Pompe de centrifuge 50-P004 et de donner des solutions correctives par la suite.

Comme premiers remèdes effectués par les ingénieurs Sonatrach et afin d'éviter le phénomène de cavitation en laissant la pompe tourner dans son mode normal avec une capacité acceptable, il a été procédé à minimiser le refoulement de la pompe, chose qui a donné à une forte pression qui a impacté les aubes de l'impulseur.

Notre démarche a consisté à travailler selon le plan suivant :

- Analyse Vibratoire
- Analyse Spectrale
- Analyse des résultats
- Solutions Proposées

V-5 Méthode d'Analyse :

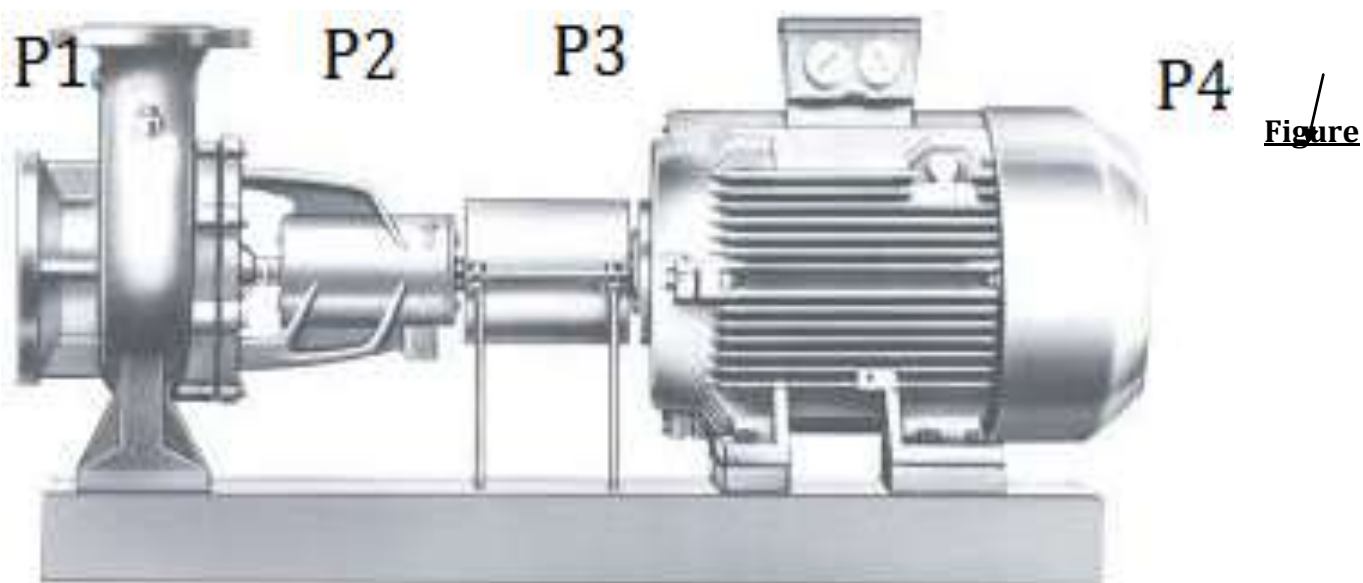
V-5-1 Analyse Vibratoire :

1- Suivi Vibratoire & Points de mesure

Comme première étape, nous avons pris des mesures avec l'appareil Vibrotest 60 relié à un capteur d'accélération, sur les paliers (moteur, accouplement et pompe) dans tous les axes

(vertical, horizontal et axial), dont les points de mesure sont illustrés dans le schéma ci-dessous : P1 – P1 – P3 & P4.

Ces points de mesure ont été choisis selon l'intensité vibratoire qui se présente beaucoup plus sur les paliers.



V.3 Schéma montrant les point de mesure

P1 : Le premier point « coté non entraîné de la pompe »

P2 : Le deuxième point « coté accouplement de la pompe »

P3 : Le troisième point « coté accouplement du moteur »

P4 : Le quatrième point «coté ventilo du moteur »

2/ Chargement des routes (lecture des mesures) :

Le chargement de la route ce fait dans les collecteur « Vibroport 41 ôu Vibrotest 60 »

Chaque point de mesure global en trois (03) positions (horizontal, verticale, axial), lui est dédié une route spécifique sur le vibrotest 60, chose qui facilite la lecture des données.

3/ Déchargement de la route :

Le déchargement des routes se fait au bureau dans le calculateur « CM400 », tout en retirant la carte mémoire du vibrotest 60 et la brancher à un ordinateur contenant le software "CM400"

4/ Analyse vibratoire pour chaque point de mesure :

- Point « P2 » vertical

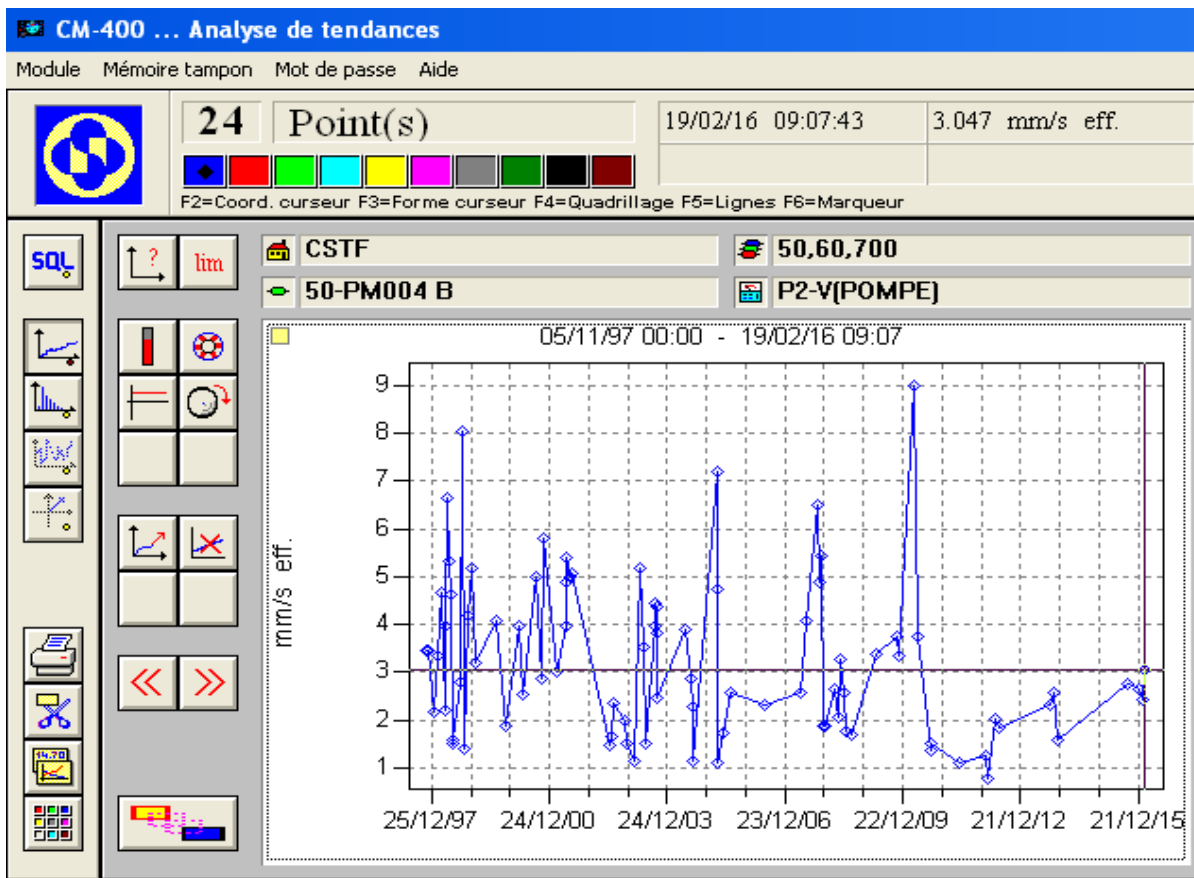


Figure V.4 Tendence du point P2 verticale

Interprétation :

Nous avons choisi le mode tendance pour voir l'évolution de la vibration du même point durant le temps (historique).

L'affichage a donné que l'évolution du niveau vibratoire a dépassé largement le seuil de jugement (voir chapitre II), ce qui demande une analyse spectrale du signale afin de pouvoir détecter la fréquence de défaut.

- Point P2 horizontale :



24 Point(s)

19/02/16 09:05:13

3.485 mm/s eff.



F2=Coord. curseur F3=Forme curseur F4=Quadrillage F5=Lignes F6=Marqueur

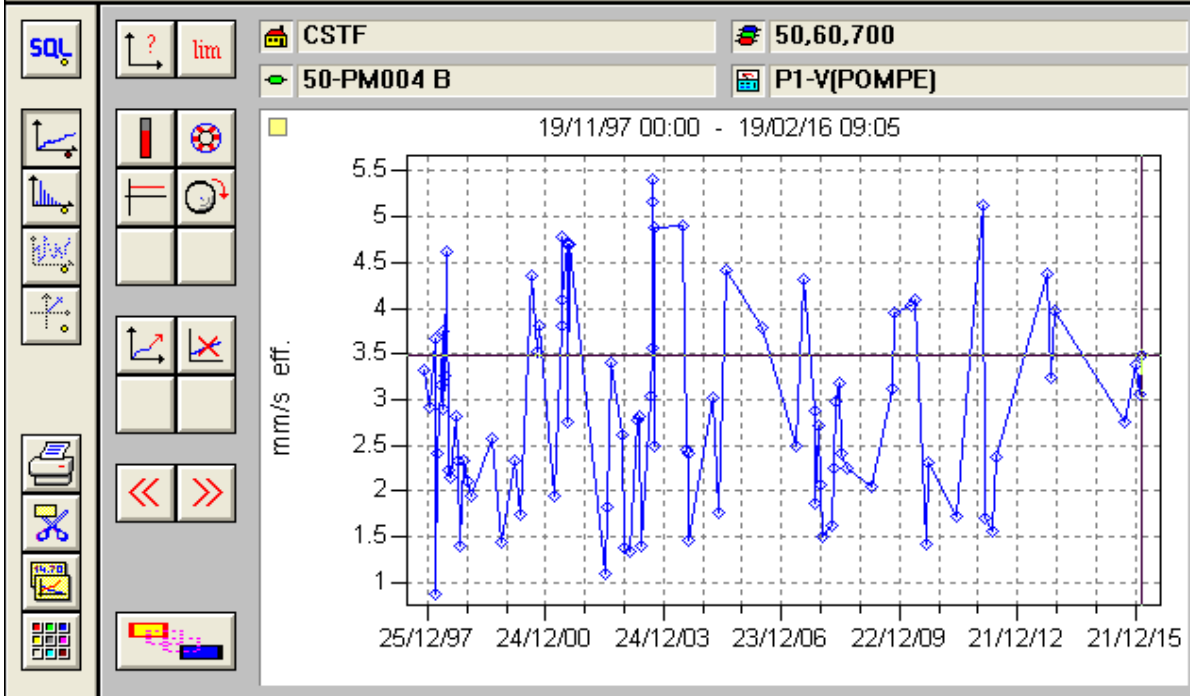


Figure V.5 Tendance du point P2 horizontale

Interprétation :

Nous avons choisi le mode tendance pour voir l'évolution de la vibration du même point durant le temps (historique).

L'affichage a donné que l'évolution du niveau vibratoire a dépassé largement le seuil de jugement (voir chapitre II) qui impose une analyse spectrale.

5/ Analyse spectrale :

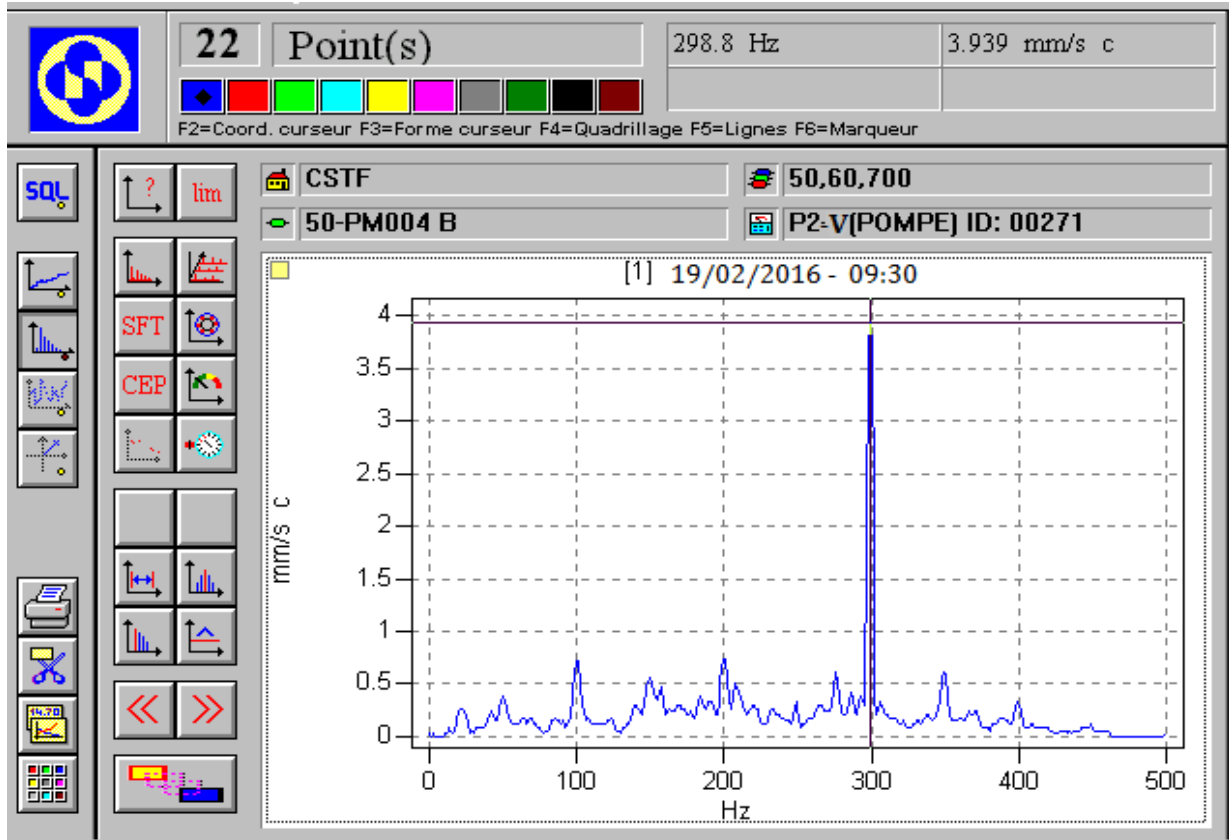


Figure V.6 : Spectre du point P2 verticale

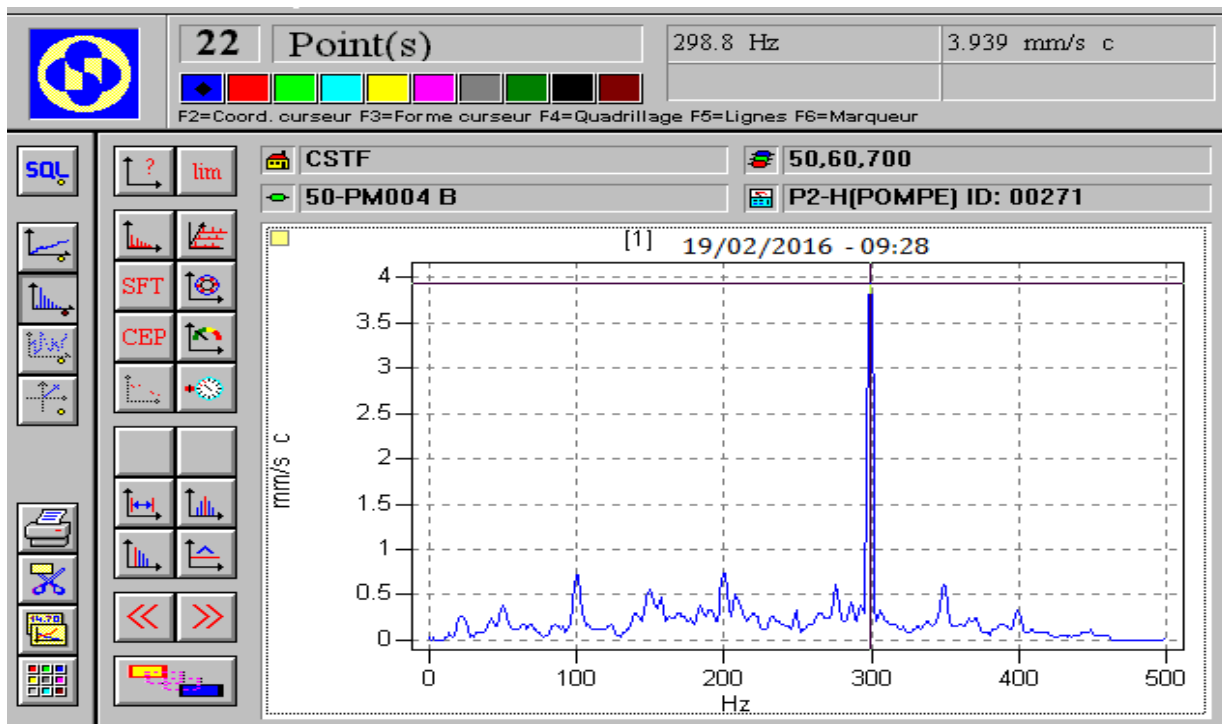


Figure V.7 Spectre du point P2 horizontale

Interprétation :

Nous remarquons pour les deux points qu'il y'a un pic de niveau vibratoire 4.798 mm/s à la fréquence 298,8 Hz. Si en fait une comparaison de la fréquence de défaut avec le tableau « SHENCK » le spectre pris montre un pic à **298,8 Hz** égale à (6 x 49,8) donc 6 fois la fréquence de rotation de la machine.

Ce type de spectre nous indique qu'il s'agit d'un **problème hydraulique** lié à l'écoulement de liquide dans la pompe. Pour vérifier cette défaillance hydraulique nous avons fait vérifier le débit et nous avons pris les amplitudes de signale que nous avons résumés dans le tableau suivant.

DEBIT m ³ /h		POMPE	450	700	900
Vibration mm/s	P2-H	50-P004-B	4	3.118	1.5
	P2-V		3.05	2.391	1.07
	P2-A		1.23	1.095	0.67

Tableau2 : variation des amplitudes de vibration en fonction de débit.

On remarque qu'il y'a une relation inverse entre le débit et l'amplitude de la vibration .on conclue donc, que cette pompe fonctionne en plein charge avec un débit de 1100 m³/h. Mais vu que ce débit n'est pas toujours atteint, car le service de l'exploitation exige un débit de 700 m³/h, ce ci provoque des perturbations vibratoires.

Comme moyens de diminution du débit nominal, il y a 3 moyens suivants:

1. Changement de la vitesse de rotation de la pompe
2. Changement du diamètre extérieur de l'impulseur (rognage de la roue).
3. Changement de l'angle d'aile de l'impulseur.

Dans notre stage pratique on à fait la deuxième solution (changement du diamètre extérieur du l'impulseur c'est une méthode efficace elle garde la pompe marche avec un débit bas avec les même performances.

V-6 Solutions :

Après analyse vibratoire et spectrale, nous avons jugé qu'il sera utile de procéder au rognage de la roue de la pompe tout en se référant à la loi de similitude dans les pompes, qui nous aide à identifier la relation entre le débit et le diamètre de la roue pour adapter le diamètre au débit.

V-6-1 Loi de similitude dans les pompes :

Introduction :

On a recours, dans bien des domaines, aux modèles réduits pour l'étude du comportement des objets réels dans le milieu où ils seront appelés à évoluer. Pour cela, la maquette d'étude est placée dans le même milieu et, pour que son comportement soit identique à celui, futur, de l'objet réel, il faut que ses dimensions obéissent à certaines règles, établies selon la théorie propre à chaque cas particulier examiné.

Pour obtenir les dimensions finales de l'objet, on multiplie les dimensions de la maquette par un facteur K d'homothétie : L'objet est dit semblable à sa maquette.

Ces principes s'appliquent aux pompes centrifuges, dont les dimensions principales :

- Diamètre de la roue,
- Largeur de la roue,

- Diamètres des orifices d'entrée et de sortie de l'eau, présentent entre elles un rapport K constant, les angles α et β étant, par ailleurs, conservés.

Les pompes ainsi obtenues sont dites semblables entre elles [9]

V-6-2 Lois de similitude applicables aux pompes centrifuges :

Considérons:

- Une première pompe, dont la roue, de diamètre extérieur D et de largeur b, tourne à une vitesse n et présente un débit Q pour une hauteur nette hydraulique H,

- Une deuxième pompe, semblable à la première, où les valeurs, correspondantes sont D', b', n', Q', H'

La similitude géométrique des deux pompes permet d'écrire le rapport suivant:

$$\frac{D}{D'} = \frac{b}{b'} \dots\dots\dots(V.1)$$

et

$$(\alpha = \alpha' ; \beta = \beta') \dots\dots\dots(V.2)$$

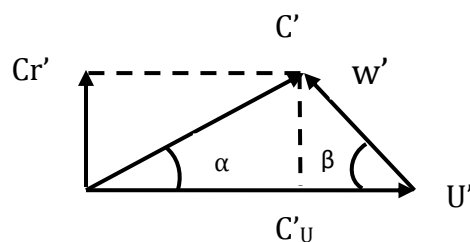
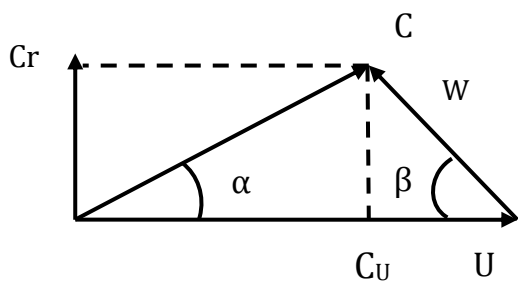
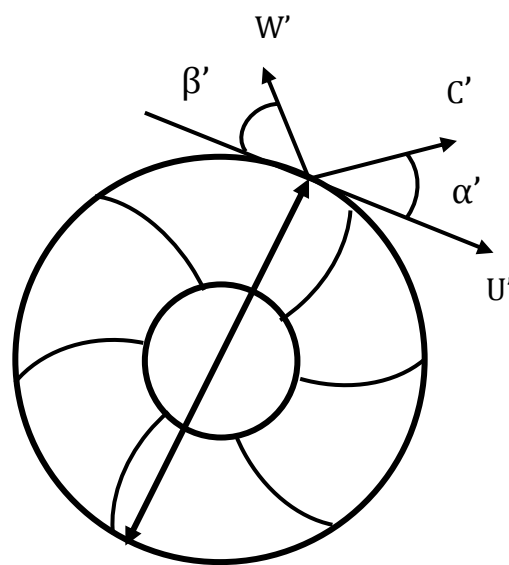
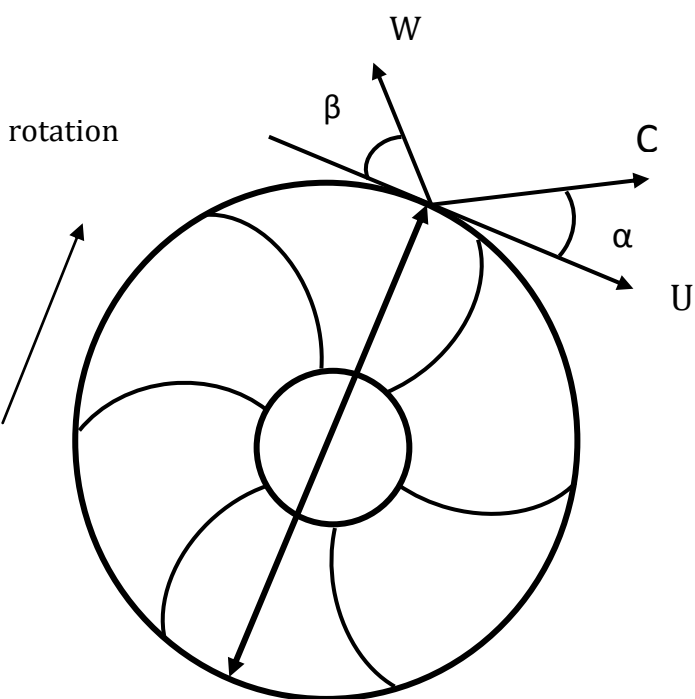


Figure V.8 Triangle des vitesses pour deux roues de pompes

Les vitesses circonférentielles des roues mobiles sont proportionnelles aux produits des vitesses de rotation n par les diamètres D de ces roues.

La condition de similitude cinématique à la sortie des roues peut être écrite sous la forme de proportions suivantes :

$$\frac{U}{U'} = \frac{n.D}{n'.D'} = \frac{C}{C'} = \frac{C_U}{C'_U} = \frac{C_r}{C'_r} = K \dots \dots \dots (V.3)$$

1/ Le débit :

En effet, le débit qui sort de la roue est égal au produit de la section de sortie π, D', b' par la vitesse radiale C_r :

$$Q = \pi.D.b.C_r \dots \dots \dots (V.4) \quad [10]$$

D'après les considérations ci-dessus, le rapport des débits sera :

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{\pi.D.b.C_r}{\pi.D'.b'.C'_r} = \frac{D.b.C_r}{D'.b'.C'_r} \dots \dots \dots (V.5)$$

Mais comme $\frac{D}{D'} = \frac{b}{b'}$ et $\frac{C_r}{C'_r} = \frac{n.D}{n'.D'}$ d'après (V.1) et (V.3) respectivement nous obtenons :

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{n.D^3}{n'.D'^3} \dots \dots \dots (V.6) \quad \text{Soit} \quad Q \simeq n.D^3$$

Remarque :

On voit que, les débits sont proportionnels aux vitesses de rotation et aux cubes de dimensions.

2/ La hauteur manométrique (Hmt) :

Pour une pompe à nombre d'aubes finis, les hauteurs théoriques sont proportionnelles aux produits des vitesses tangentielles et les composantes tangentielles de la vitesse absolue C et le coefficient d'influence, du nombre d'aubes μ . Ce coefficient reste le même pour des roues géométriquement semblables.

D'après le théorème (d'Euler) la hauteur Hmt sera :

$$H_{mt} = \mu \cdot \frac{[U_2 \cdot C_{U2} - U_1 \cdot C_{U1}]}{g} \dots\dots\dots (V.7) \quad [10]$$

Dans la majorité des cas, au point nominal, le terme $(U_1 \cdot C_{U1})$ est négligeable car l'entrée est considéré comme radiale, l'angle $\alpha_1 = \pi/2$ on aura donc :

$$H_{mt} = \mu \cdot \frac{[U_2 \cdot C_{U2}]}{g} \dots\dots\dots (V.8)$$

D'après les considérations en (3), le rapport des hauteurs sera :

$$\frac{H_{mt}}{H_{mt'}} = \frac{U \cdot C_U}{U' \cdot C'_U} = \left(\frac{n \cdot D}{n' \cdot D'} \right)^2 \dots\dots\dots (V.9)$$

Donc d'après (9) : $H_{mt} \simeq (n \cdot D)^2$

Remarque :

Les hauteurs manométriques sont proportionnelles au carré des vitesses de rotation et des dimensions.

Conclusion :

Les expressions précédentes établissent, pour une famille de pompe donnée, est dégagent une relation directe entre, d'une part, la hauteur H et le débit Q demandés et, d'autre part, les grandeurs de dimensionnement que sont le diamètre D et la vitesse n.

V-7 Rognage des roues des pompes centrifuges :

➤ **Introduction :**

Il peut arriver qu'une pompe centrifuge dont on dispose des caractéristiques un peu supérieures à celles qui sont nécessaires. Si l'on désire réduire ces caractéristiques (hauteur, débit), ne serait-ce que pour diminuer la puissance du moteur d'entraînement, il est possible aussi de rogner la roue de la pompe, c'est à dire de réduire son diamètre.

Cette opération, facile à réaliser en atelier, pour ajuster la pompe au voisinage des valeurs demandées, ce que permettrait d'augmenter ses caractéristiques en changeant seulement la roue.

Considérons une roue dont la largeur de sortie est constante dans l'intervalle de coupe et dont l'angle de sortie ne change pas ou change peu avec la coupe. Lorsqu'on coupe une roue, on obtient un triangle des vitesses semblable à celui d'origine.

$$\alpha = \alpha' \quad \text{et} \quad \beta = \beta' \quad \text{et} \quad b = b'$$

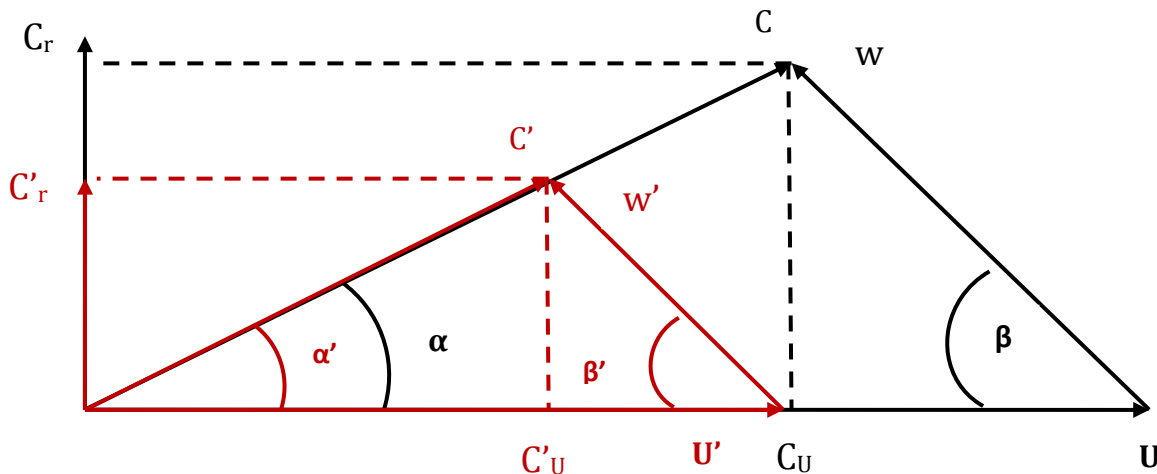


Figure V.9 Transformation de triangle des vitesses

D'après la condition de rognage précédente, les triangles des vitesses de la roue au diamètre D et D' sont semblables. Donc, on peut appliquer les lois de similitude sur les hauteurs et les débits avant et après rognage.

Il en résulte :

a- Pour le rapport des hauteurs :

$$\frac{H_{mt}}{H_{mt'}} = \frac{U \cdot C_U}{U' \cdot C'_U} \dots \dots \dots (V.10)$$

$$\frac{H_{mt}}{H_{mt'}} = \left(\frac{n \cdot D}{n' \cdot D'} \right)^2 = \left(\frac{D}{D'} \right)^2 \dots \dots \dots (V.11)$$

La hauteur varie proportionnellement au carré du rapport des diamètres des roues.

b- Pour le rapport des débits :

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{\pi \cdot D \cdot b \cdot C_r}{\pi \cdot D' \cdot b' \cdot C'_r} \dots \dots \dots (V.12)$$

$$\frac{C_r}{C'_r} = \frac{n.D}{n'.D'} \dots\dots\dots(V.13)$$

b étant la largeur de la roue à la sortie (comptée parallèlement à l'arbre pratiquement constante pour des rognages de 10 à 12 %.

Donc « b'/b=1 »

Par conséquent
$$\frac{Q}{Q'} = \left(\frac{D}{D'}\right)^2 \dots\dots\dots(V.14)$$

Le débit varie également proportionnellement au carré de ce rapport.

Remarque :

Le diamètre **D** désigne les conditions d'origine et le diamètre **D'**, celles après rognage. En combinant les relations (11) et (14) précédentes, nous obtenons :

$$\frac{H_{mt}}{H_{mt}'} = \frac{Q}{Q'} = \left(\frac{D}{D'}\right)^2 \dots\dots\dots(V.15)$$

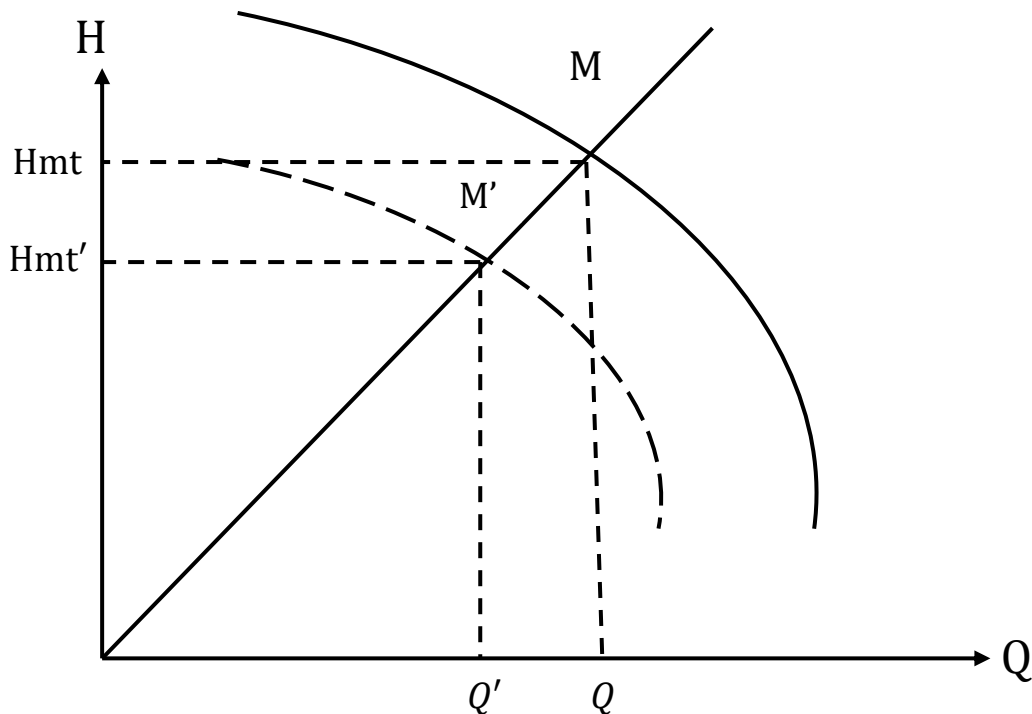


Figure V.10 Déplacement d'un point de la courbe caractéristique d'une pompe centrifuge par rognage de la roue

Pour réduire la courbe caractéristique après rognage d'une courbe de référence procède en multipliant H et Q à chaque point par $(D/D')^2$ Le point d'origine (M) et le point transposé (M') se trouvent sur une même droite passant par l'origine

V-8 Rognage de l'impulseur de la pompe (P004) :

En se basant sur toutes les théories mentionnées en haut, nous avons procédé à faire des calculs sur la roue de la pompe centrifuge P004, montrée dans la figure ci-dessous.



Figure V.11 L'impulseur de la pompe centrifuge P004

D'après la formule (V.15) on peut calculer le nouveau diamètre pour l'impulseur de la pompe P004

$$\frac{H_{mt}}{H_{mt'}} = \frac{Q}{Q'} = \left(\frac{D}{D'}\right)^2$$

Premièrement on va calculer le nouveau diamètre D' par la relation débit - diamètre et puis en extrait la nouvelle hauteur manométrique

1/ détermination de nouveau diamètre D' :

$$\frac{Q}{Q'} = \left(\frac{D}{D'}\right)^2$$

$$\Rightarrow D' = \sqrt{\frac{Q' \cdot D^2}{Q}} = D \sqrt{\frac{Q'}{Q}} \dots\dots(V.16)$$

A.N :

Avec : $Q = 900 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q' = 700 \text{ m}^3/\text{h}$ $D = 439.7 \text{ mm}$

Avec :

$$D' = 439.7 \sqrt{\frac{700}{900}} \Rightarrow D' \simeq 388 \text{ mm}$$

Le rapport de diamètre donne le pourcentage du rognage

$$D'/D = 388/439.7 \simeq 0.88 \Rightarrow 12\%$$

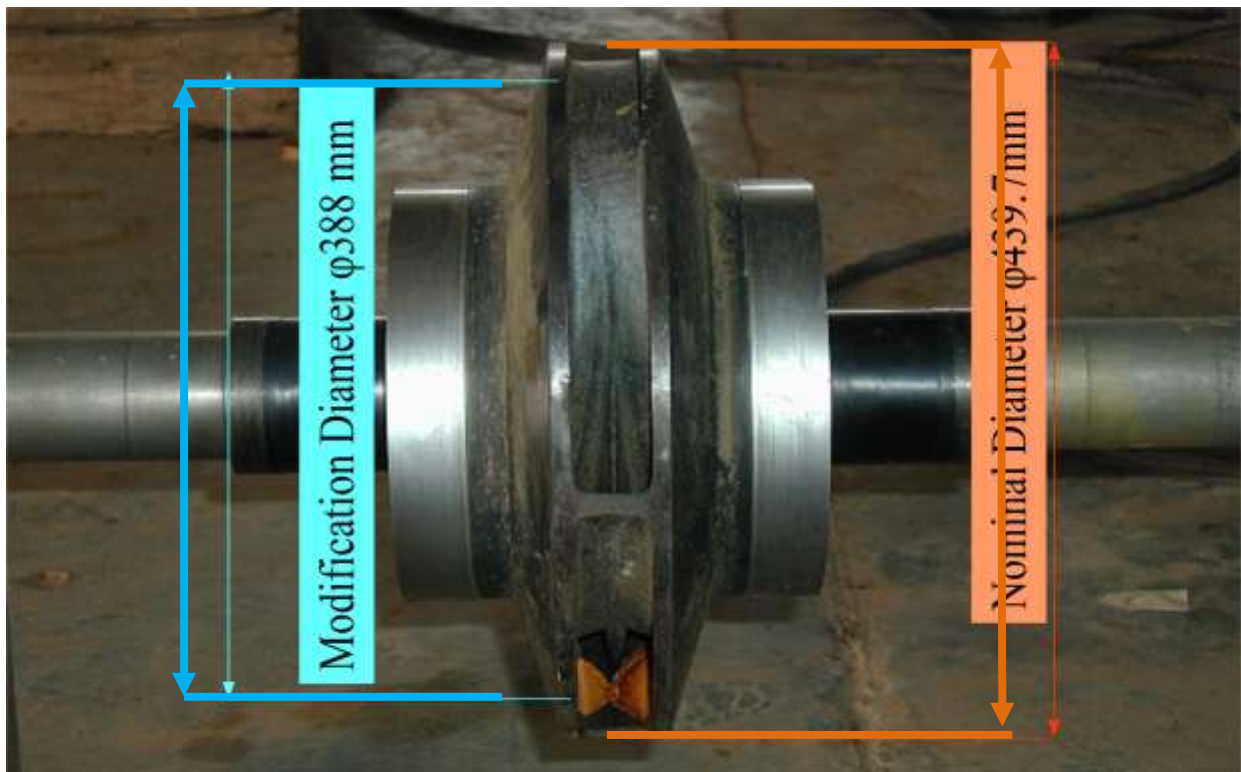


Figure V.12 : Changement de diamètre de la roue après le rognage

1/ détermination de nouvelle hauteur manométrique Hmt' :

Après la détermination du nouveau diamètre de la roue on peut trouver la nouvelle hauteur manométrique qui correspond au débit de 700 m³/h avec la relation hauteur -diamètre qui démontre la formule (V.11) suivante :

$$\frac{H_{mt}}{H_{mt'}} = \frac{Q}{Q'} = \left(\frac{D}{D'}\right)^2$$

A.N :

AVEC :

$$H_{mt} = 198 \text{ m} \quad D = 439.7 \text{ mm} \quad D' = 388 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow H_{mt'} = \frac{H_{mt} \cdot D'^2}{D^2} = \frac{198 \cdot (388)^2}{439.7^2} \simeq 154 \text{ m}$$

Conclusion

Rentabiliser l'achat des machines tournantes, optimiser leur exploitation et diminuer leurs arrêts fréquents, étaient toujours l'objectif des industries qui cherchaient à assurer une production fiable en termes de temps et coût.

La bonne connaissance des causes de vibration ainsi que leur évolution dans le temps est la base d'un bon suivi des machines tournantes. La mesure et le suivi vibratoire s'imposent comme moyens fiables d'analyse pour contrôler les équipements de production et corriger leurs dysfonctionnements tout en donnant des résultats fiables et concrets pour minimiser les coûts de réparation et éviter les dommages importants.

De ce travail, nous avons pu conclure qu'une bonne maintenance préventive en diagnostiquant la vraie source des anomalies, aide à mieux connaître l'état d'usure d'une machine tournante, à réduire le temps d'arrêt, à améliorer ses conditions de vie et à diminuer le budget de sa réparation.

Nous espérons avoir apporté un plus et une valeur ajoutée à ce travail, tout en exposant une méthode d'analyse et une solution fiable pour le problème de la pompe 50-P004-B.

Nous souhaitons que mon travail soit considéré comme référence pour les ingénieurs futurs qui vont développer encore ce sujet et apporter plus de technologie et solutions.

