

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



UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT MECANIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master
Filière : Génie Mécanique
Option : Construction Mécanique

THEME

Etude de la Maintenance d'une Pompe Centrifuge Verticale par la méthode AMDEC

Encadreur :
Mr MOHELLEBI.M
Co-promoteur:
Mr DAHNOUNE.M

Réalisé par :
Mr OUAZANI Yacine
Mr SMAIL Yacine

Promotion 2016-2017

REMERCIEMENT

Toute notre reconnaissance et remerciement à Dieu, le tout puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce modeste travail.

*C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que nous remercions notre promoteur Monsieur **MOHELLEBI.M** ainsi que notre Co promoteur Monsieur **DAHNOUNE.M** pour la sollicitude avec laquelle ils ont suivi et guidé ce travail.*

Il nous est agréable de pouvoir exprimer nos sentiments de reconnaissance aux enseignants et personnel de la bibliothèque du département de Génie Mécanique ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

Enfin nos sincères remerciements et notre profonde gratitude s'adressent également aux membres du jury qui nous feront l'honneur de juger notre projet.

Merci

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à:

Mes très chers parents que DIEU me les garde ;

*Mes très chères frères et sœurs : Nassima, Amina, Meriem,
Walid ;*

Mon beau-frère : Hamid ;

Ma belle-sœur : Fatima ;

Mon cher neveu : Anès ;

Mes chères nièces : Myra et Lyna ;

À toute la famille ;

À tous mes amis sans exception ;

À mes camarades de la promotion ;

*À tous ceux qui m'ont aidé et soutenu de près ou de loin pour la
réalisation de ce travail ;*

Yacine

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à:

Mes très chers parents que DIEU me les garde,

Mes très chers frères : Billel et Nourddine,

*Mes cousins et cousines: Lounes, Rabie, Makhlouf, Farés,
Karim, Hmidouche, Amirouche, Idir, Mohamed, Faroudja,*

Ouiza, Karima, Taoues, Tinhinane, Sihem,

À toute la famille SMAIL, FRIHA,

À tous mes ami(e)s sans exception,

À mes camarades de la promotion.

*À tous ceux qui m'ont aidé et soutenu de près ou de loin pour la
réalisation de ce travail*

Yacine

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION GENERALE ----- 9

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES POMPES

PARTIE I : GENERALITES SUR LES POMPES

I.1.1. Introduction : ----- 11

I.1.2. Définition d'une pompe : ----- 11

I.1.3. Différents types de pompes et leurs caractéristiques : ----- 12

I.1.3.1. Pompes volumétriques : ----- 14

I.3.2. Pompes centrifuges :----- 19

I.3.2.1. Définition :----- 19

I.3.2.2. Principe de fonctionnement : ----- 20

I.3.2. 3. Classification des turbopompes ----- 20

PARTIE II : DESCRIPTION DE LA POMPE P105

I.2.1. Introduction : ----- 23

I.2.2. Rôle de la P105 : ----- 24

I.2.3. Situation géographique de la pompe :----- 24

I.2.4. Caractéristiques de la pompe P105 ----- 25

I.2.5. Organes constitutifs de la pompe P105: ----- 26

I.2.5.1. Organes ayant une fonction hydraulique :----- 26

I.2.5.2. Organes ayant une fonction mécanique : ----- 27

I.2.5.3. Organes ayant une fonction d'étanchéité : ----- 30

I.2.5.4. Autres organes constitutifs de la pompe : ----- 32

I.2.6. Dessin de coupe et liste des pièces de la pompe P105 : ----- 33

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LA MAINTENANCE

PARTIE I Généralités sur la maintenance :

II.1.1. Introduction : ----- 37

II.1.2. Définition de la maintenance :----- 37

II.1.4. Types de la maintenance : ----- 39

II.1.4.1. Maintenance corrective : ----- 39

II.1.4.2. Maintenance préventive : ----- 39

II.1.5. Niveaux maintenance: -----	40
PARTIE II	
II.2. Maintenance appliquée à la P105 : -----	42
II.2.1. La Surveillance : -----	42
II.2.2. Maintenance prédictive : -----	42
II.2.3. Maintenance préventive systématique : -----	42
II.3. Plan de maintenance de la pompe P105 -----	43
II.3.1. Inspection préventive -----	43
II.3.2. Maintenance niveau 1 -----	44
II.3.3. Maintenance niveau 2 -----	45
II.4. Relevé des jeux -----	47
II.4.1. Relevé de l'excentricité d'arbre -----	48
II.4.2. Relevé de la déflexion des roues -----	49
II.5. Conclusion -----	53
CHAPITRE III: ANALYSE AMDEC APPLIQUEE A LA P105	
III.1. Introduction : -----	55
III.2. Historique de la méthode AMDEC : -----	55
III.3. Objectif de la méthode AMDEC: -----	55
III.4. Types de la méthode AMDEC : -----	56
III.5. AMDEC machine : -----	56
III.5.1. Démarche pratique de l'AMDEC machine : -----	57
III.5.1.1. Initialisation de l'étude: -----	57
III.5.1.2. Description fonctionnelle de la machine: -----	57
III.5.1.3. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur Criticité : -----	57
III.5.1.4. Synthèse de l'étude/décisions : -----	61
IV.5.1.5. Criticité - Indices finaux -----	62
III.5.1.6. Suivi -----	62
III.6. Feuille AMDEC de la pompe P105 : -----	62
III.7. Actions et recommandations entreprises : -----	65
III.7.1. Pour la cavitation : -----	65
III.7.2. Pour la vanne d'aspiration : -----	65
III.7.3. Pour le bruit et les vibrations : -----	66
Conclusion Générale -----	70
RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE	



LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.2.1 : Liste des pièces de P105 -----	35
Tableau II.1 : Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance -----	40
Tableau II.2 : Les étapes de démontage et remontage de la garniture mécanique -----	43
Tableau II.3 : La procédure de la maintenance niveau 1 -----	44
Tableau II.4 : La procédure de la maintenance niveau 2 -----	45
Tableau II.5 : Dimensions de l'arbre -----	46
Tableau II.6 : Relevé de l'excentricité -----	47
Tableau II.7 : Relevé de la déflexion des roues -----	49
Tableau II.8 : Jeu déposé par le constructeur -----	50
Tableau II.9 : Relevé des jeux -----	51
Tableau III.1 : Grille de cotation de la probabilité d'occurrence -----	59
Tableau III.2 : Grille de cotation de la gravite -----	60

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Domaine d'utilisation des deux grandes catégories de pompes -----	12
Figure I-2 : Classification des pompes-----	13
Figure I-3 : Fonctionnement pompes volumétriques rotatives-----	14
Figure I-4 : Vue écorchée d'une pompe à engrenages.-----	15
Figure I-5 : Pompes à vis (cas à 2 vis). -----	16
Figure I-6 : Pompe à palettes. -----	16
Figure I-7 : Vue intérieure d'une pompe à lobes. -----	17
Figure I-8 : Principe pompe à piston. -----	18
Figure I-9 : Pompe à membranes. -----	18
Figure I-10: Présentation extérieure d'une pompe centrifuge horizontale. -----	19
Figure I-11: Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux. -----	20
Figure I-12 : Les types des roues.-----	21
Figure I-13: Vue ouverte d'une pompe centrifuge multi-étage. -----	21
Figure I-14: Vue écorchée et extérieure d'une pompe verticale. -----	22
Figure I-15: Montage d'une pompe en aspiration et en charge.-----	22
Figure I-16 : Vue extérieure de la P105.-----	23
Figure I-17 : Vue intérieure de la P105. -----	23
Figure I-18 : Rôle et situation de P105.-----	24
Figure I-19 : Impulseur. -----	26
Figure I-20 : Volute. -----	26
Figure I-21 : Inducteur.-----	27
Figure I-22 : Ensemble rotor monté dans une volute.-----	27
Figure I-23 : Arbre. -----	28
Figure I-24 : Coussinet d'étranglement. -----	28
Figure I-25 : coussinets. -----	28
Figure I-26 : Bague d'usure.-----	29
Figure I-27 : Ensemble coussinet et bague d'usure monté dans leur support-----	29
Figure I-28 : Chemise d'arbre-----	30
Figure I-29 : Accouplement de la P105-----	30
Figure I-30 : Garniture mécanique de P105 -----	31
Figure I-31 : Garniture mécanique montée sur l'arbre-----	32
Figure I-32: Tubulures d'aspiration et de refoulement.-----	32
Figure I-33 : Dessin de coupe de la P 105 -----	33

Figure II.1 : Contenu de la fonction maintenance (Retour et al. [9]) -----	38
Figure II.2 : Différents types de maintenance-----	38
Figure II.3 : Arbre de la P105 -----	Erreur ! Signet non défini.47
Figure II.4 : Point de mesure de l'excentricité -----	48
Figure II.5 : Mesure de la déflexion-----	49
Figure II.6 : Point de mesure de la déflexion-----	49
Figure II.7 : Mesure de jeu-----	51
Figure III.1 : Érosion par cavitation d'une roue de pompe centrifuge (doc. EDF-DER)-----	65
Figure III.2: 02 Vannes à l'aspiration -----	66
Figure III.3: Usure de coussinet-----	67
Figure III.4 : Etat de surface d'un coussinet usé -----	68

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION

Dans un contexte de concurrence de commerce mondial, de plus en plus difficile, l'efficacité de l'entreprise dépend de sa capacité à optimiser, réduire les pannes de l'outil de production et assurer la fiabilité, la disponibilité et la sécurité de ses installations. Nous avons effectué notre stage au sein de la **Société Nationale de Transport et Commercialisation des Hydrocarbures SONATRACH** Hassi R'Mel.

Le service maintenance a dû se réorganiser en fonction des objectifs de la production pour fiabiliser le fonctionnement des équipements et augmenter la productivité. Il n'est plus considéré comme un centre de coûts mais bien comme un centre de profits, il est devenu un des fournisseurs du service production.

Comme pour tout processus de production, les arrêts constituent un problème majeur auquel des dispositions sont à mettre en place pour les réduire.

La présente étude qui nous a été assignée par le service maintenance de l'unité de production IV Hassi R'Mel est d'analyser les défaillances potentielles de l'un des vecteurs clés et équipements stratégiques de la section basse pression, c'est la pompe de reflux de débutaniseur P105 par l'application de l'une des méthodes de maintenance préventive **Analyse des Modes de Défaillances**, de leurs **Effets**, et de leurs **Criticités** (AMDEC), dans le but de réduire ou d'éliminer les points critiques de cet équipement.

Pour cela, nous avons jugé utile de repartir notre travail en trois chapitres. Dans le 1^{er} chapitre nous avons considéré deux parties, dont la première portera sur quelques généralités sur les pompes, et la deuxième sur la description de la pompe P105. (Sujet de notre étude). Dans le 2^{ème} chapitre, nous allons regrouper des généralités sur la maintenance ainsi que la politique de maintenance appliquée à la pompe P105. Le chapitre III portera sur l'étude des modes de défaillances de la pompe P105 en utilisant la méthode AMDEC. Nous terminerons notre étude par une conclusion générale.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES POMPES

PARTIE 1 : GENERALITES SUR LES POMPES

I.1.1. Introduction:

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. La plus ancienne pompe connue est la pompe à godets inventée en Chine. Les pompes Diesel et électriques, utilisées à nos jours, peuvent avoir des débits de pompage très élevés. Le principe de la pompe est apparu dès que l'homme a pu construire un habitat artificiel pour son confort.

Le besoin en eau nécessaire à sa survie l'oblige à trouver un système de transport de cette eau, du puits ou de la rivière à son habitat. Il utilisa d'abord l'énergie développée par ses muscles pour transporter l'eau à l'aide de récipients naturels ou artificiels. Plus la contenance et la distance étaient grandes, plus l'énergie dépensée a était importante.

Les principes des pompes à piston, des pompes centrifuges et des pompes à vide sont découverts à cette époque. De manière générale, durant la grande époque de la culture gréco-romaine, de nombreux principes de physique et d'hydraulique sont découverts, mais pas forcément développés.

Les Grecs et les Romains furent les premiers à utiliser des systèmes rotatifs pour véhiculer l'eau. On doit aussi à cette époque l'invention des écluses (afin d'éviter les vitesses d'écoulement trop rapide) et les dispositifs anti-béliers sur les conduites fermées, afin d'éviter l'éclatement des conduites. [1]

I.1.2. Définition d'une pompe :

On appelle pompe, (de l'italien 'pompa'), tout appareil qui aspire un fluide d'un milieu à basse pression pour le refouler vers un milieu à plus grande pression. Ainsi d'après cette définition on peut dire que le rôle de la pompe consiste à augmenter la pression du fluide liquide. L'augmentation de la pression du fluide véhiculé par la pompe a lieu à la suite de la transformation de l'énergie mécanique fournie par un moteur entraînant cette pompe, en une augmentation de l'énergie hydraulique qui est acquise par le liquide entre l'entrée et la sortie de la pompe. [2]

I.1.3. Les différents types de pompes et leurs caractéristiques :

Les pompes en général se classent en deux grandes familles :

- Les pompes volumétriques.
- Les turbopompes (pompes centrifuges).

L'utilisation d'un type de pompes ou d'un autre dépend des conditions d'écoulement du fluide. De manière générale, si on veut augmenter la pression d'un fluide on utilisera plutôt les pompes volumétriques, tandis que si on veut augmenter le débit on utilisera plutôt les pompes centrifuges. [3]

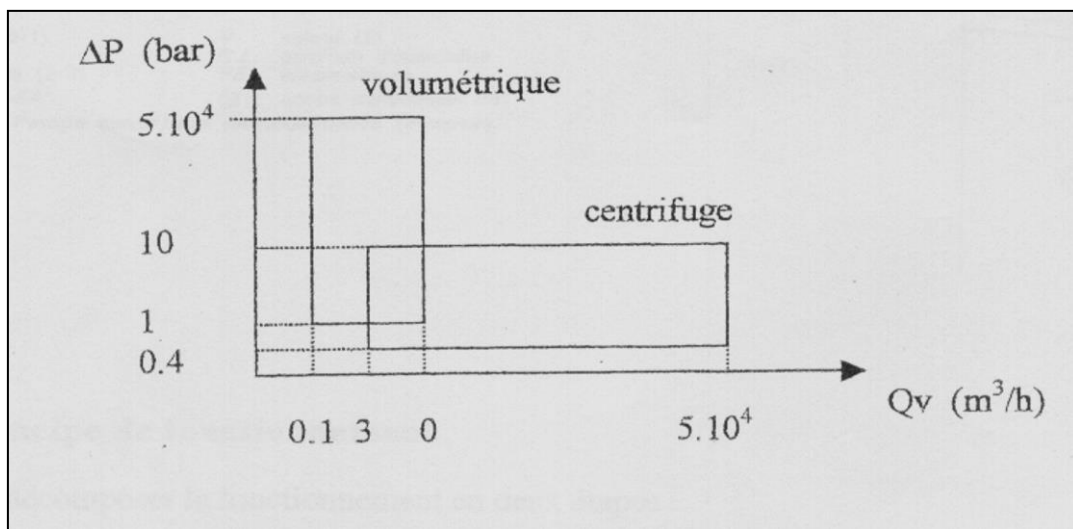


Figure I-1 : Domaine d'utilisation des deux grandes catégories de pompes

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

Dans les pompes volumétriques, l'énergie est fournie par les variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement (grand encombrement).

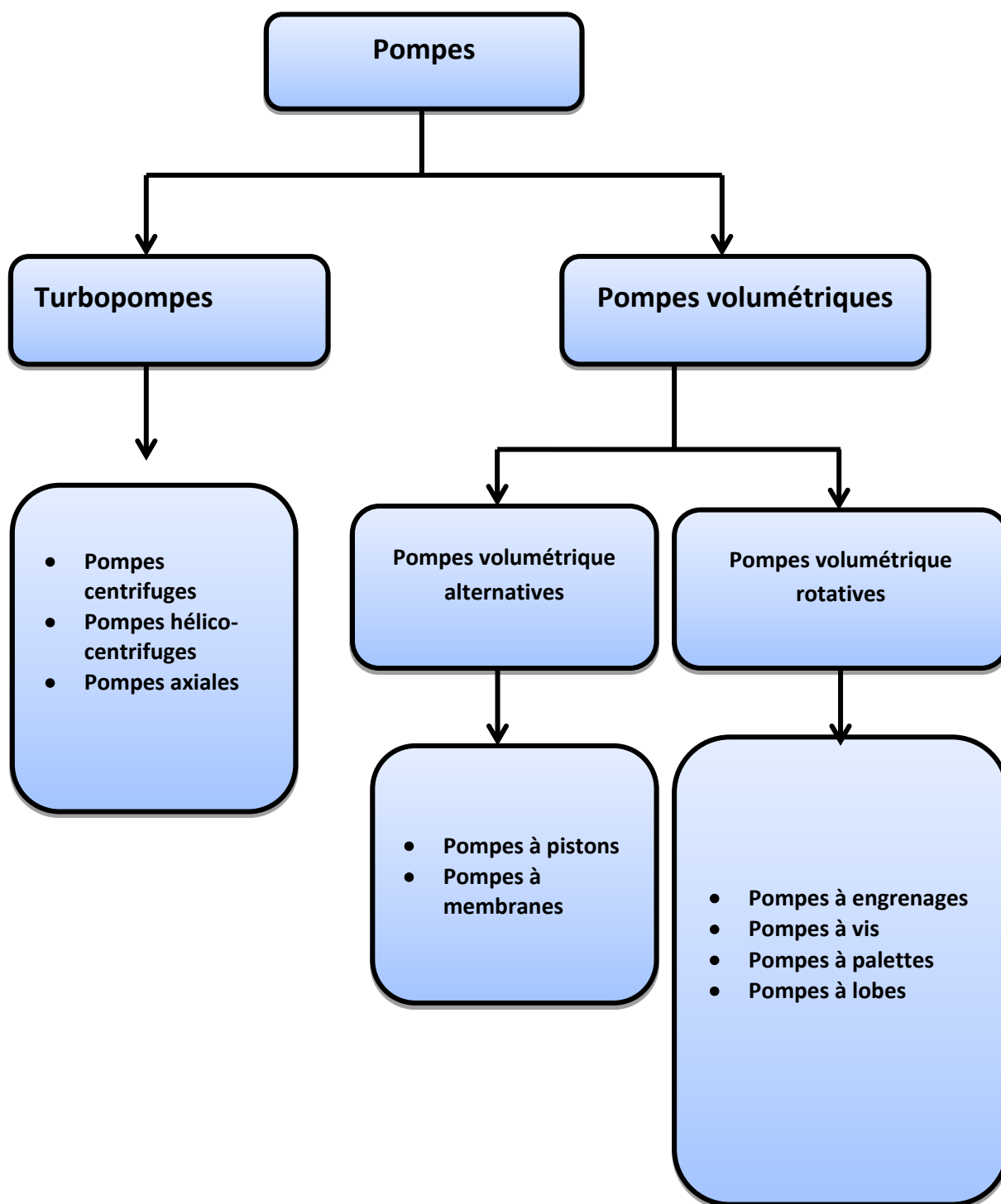


Figure I-2 : Classification des pompes.

I.1.3.1. Les pompes volumétriques :

I.1.3.1.1. Définition et principe de fonctionnement :

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté. Leur fonctionnement repose sur le principe suivant:

- exécution d'un mouvement cyclique.
- pendant un cycle, un volume déterminé de liquide pénètre dans un compartiment avant d'être refoulé.

Ce mouvement permet le déplacement du liquide entre l'orifice d'aspiration et l'orifice de refoulement. Autrement dit, L'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide. [3]

Nous distinguons généralement:

I.1.3.1.1.1 : Les pompes volumétriques rotatives : Ces pompes sont constituées par une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe, qui tourne dans le corps de pompe et crée le mouvement du liquide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement. [3]

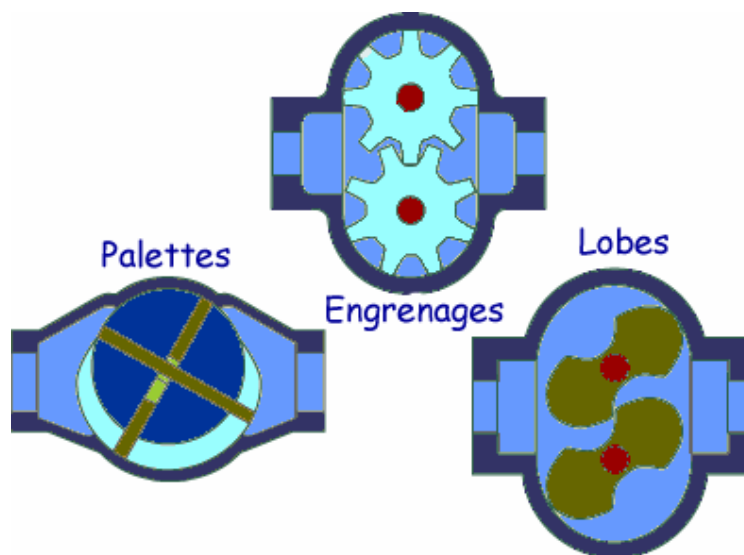


Figure I-3 : Fonctionnement des pompes volumétriques rotatives.

Les principaux types de pompes volumétriques rotatives sont les suivants :

- **Pompes à engrenages** : Dans un corps de pompe de profil approprié et portant des orifices d'aspiration (Asp.) et de refoulement (Ref.) tournent deux engrenages dont les dents entraînent le liquide entre creux de dents et corps de pompe. [3]

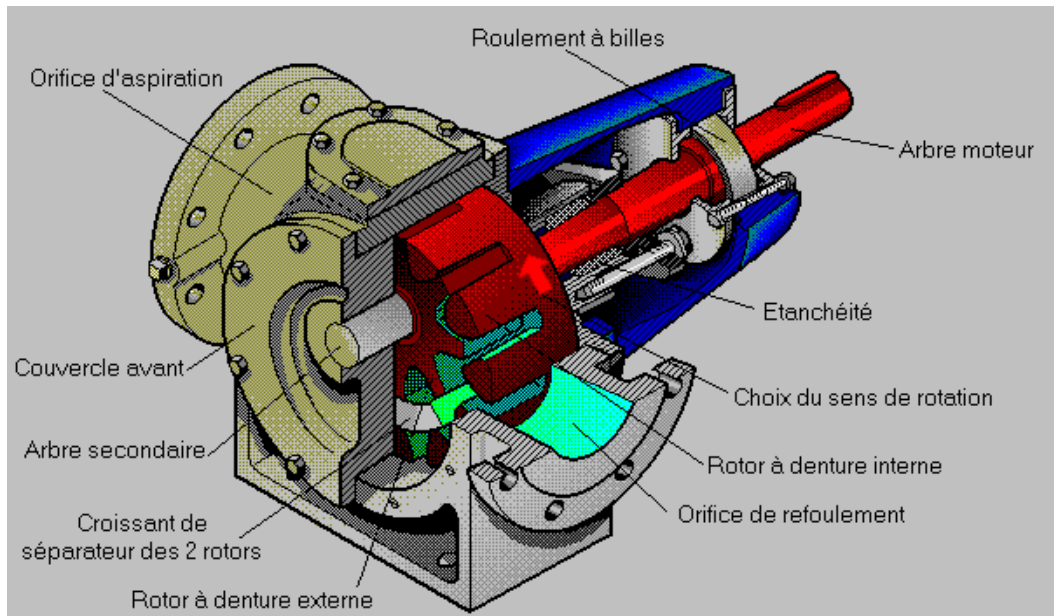


Figure I-4 : Vue écorchée d'une pompe à engrenages.

- **Pompes à vis** : Elles sont formées de deux ou trois vis suivant les modèles. Dans le cas d'une pompe à trois vis, la vis centrale seule est motrice, les deux autres sont entraînées par la première. Dans le cas d'une pompe à deux vis, celles-ci sont souvent toutes deux entraînées par un jeu de pignons extérieurs (figure I-5). Ces pompes peuvent tourner vite de pignons extérieurs. Ces pompes peuvent tourner vite (3 000 tr/min). Elles sont silencieuses et permettent d'atteindre des pressions assez élevées (100 bar). Par contre, elles n'admettent pas de particules solides. [3]

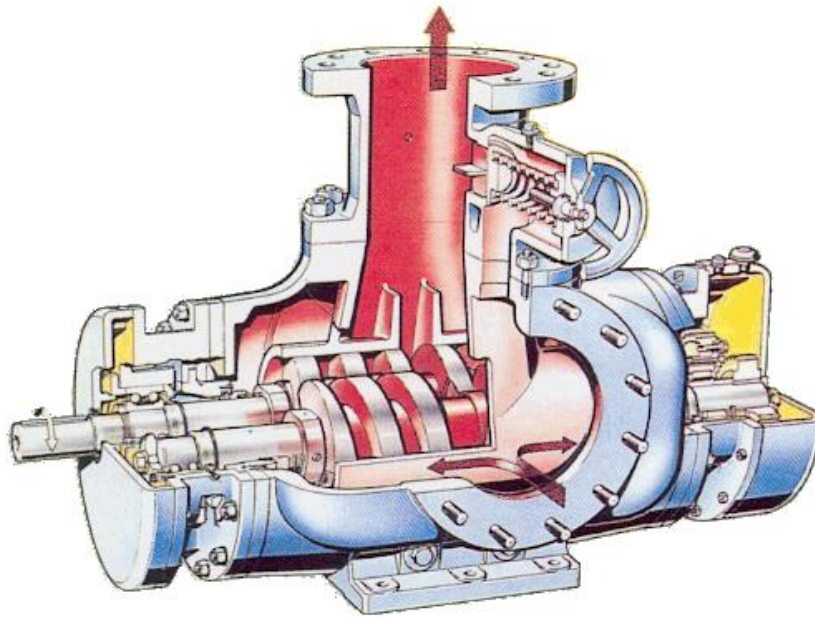


Figure I-5 : Pompes à vis (cas à 2 vis).

- **Pompe à palettes :** Dans un corps de pompe circulaire ayant deux ouvertures (aspiration et refoulement) tourne un rotor dont le diamètre est tangentiel au corps de pompe et situé au milieu des deux lumières. Ce rotor porte des palettes encastrées dans des rainures (nombre variable suivant type de pompe) sur lesquelles elles se déplacent pour piéger le produit à pomper.

Sous l'action combinée de la force centrifuge, de ressorts éventuels et de l'excentration rotor corps de pompe, les palettes frottent sur le corps de pompe provoquant des variations de volume qui engendrent l'aspiration et le refoulement. [3]

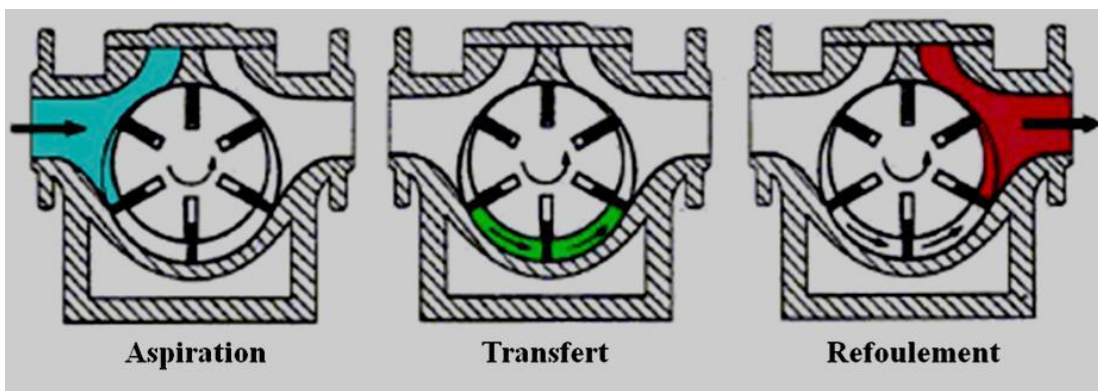


Figure I-6 : Pompe à palettes.

- **Pompe à lobes :** Le principe reste le même que celui d'une pompe à engrenages sauf que les dents ont une forme bien spécifique et qu'il n'y a que deux ou trois dents (lobes) par engrenage (figure I-7). Les rotors ne sont jamais en contact et, pour ce faire, sont entraînés par des engrenages externes. De ce fait, le pouvoir d'aspiration reste faible. Ce type de pompe se nettoie facilement, c'est pourquoi il est très utilisé dans l'industrie alimentaire. Le débit peut atteindre 400 m³/h pour les plus gros modèles, la pression au refoulement est de l'ordre de 12 bars et la viscosité quelques dizaines de milliers de [cSt]. [3]

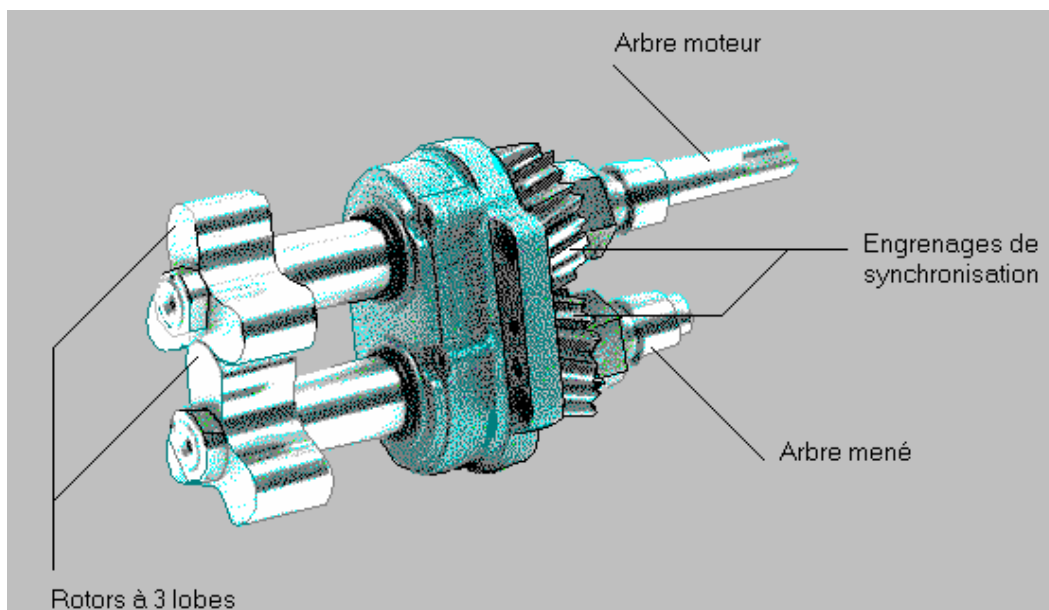


Figure I-7 : Vue intérieure d'une pompe à lobes.

I.13.1.1.2. Les pompes volumétriques alternatives: Ces pompes sont caractérisées par le fait que la pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif. Les principaux types de ces pompes sont les suivants :

- **Pompes à piston :** Son principe est d'utiliser les variations de volume occasionné par le déplacement d'un piston dans un cylindre. Ces déplacements alternativement dans un sens ou dans l'autre produisent des phases d'aspiration et de refoulement. Quand le piston se déplace dans un sens le liquide est comprimé: il y a fermeture du clapet d'admission et ouverture du clapet de refoulement. Le fonctionnement est inverse lors de l'aspiration du liquide dans la pompe (figure I-8).

Ces pompes sont utilisées sur les moyens de l'ordre de $80 \text{ m}^3/\text{h}$ et la pression au refoulement peut aller jusqu'à 25 bars. [3]

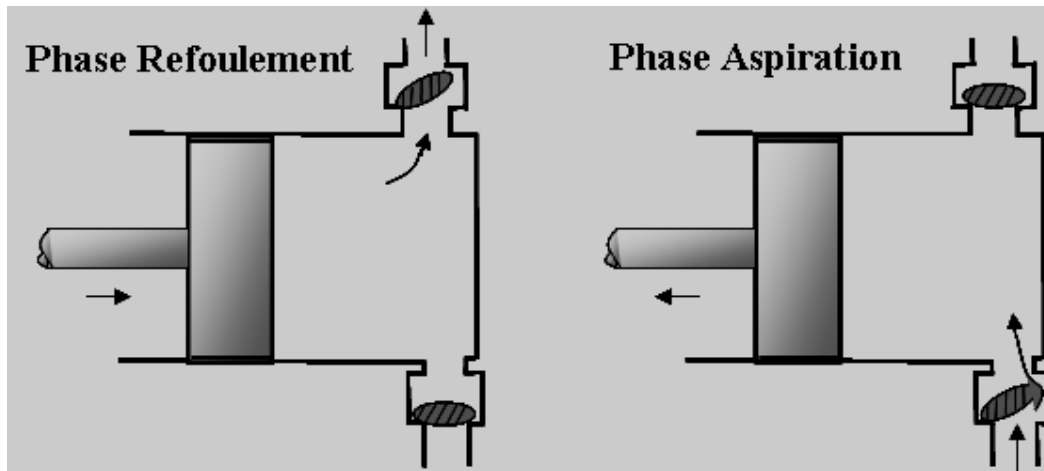


Figure I-8 : Principe pompe à piston.

- Pompes à membranes :** Le déplacement du piston est remplacé par les déformations alternatives d'une membrane en matériau élastique (caoutchouc, élastomère, Néoprène, etc.). Ces déformations produisent les phases d'aspiration et de refoulement que l'on retrouve dans toute pompe alternative (figure I-9). Ces pompes sont utilisées sur les débits moyens de l'ordre de $80 \text{ m}^3/\text{h}$, pour des températures inférieures à 150 °C et des viscosités faibles. [3]

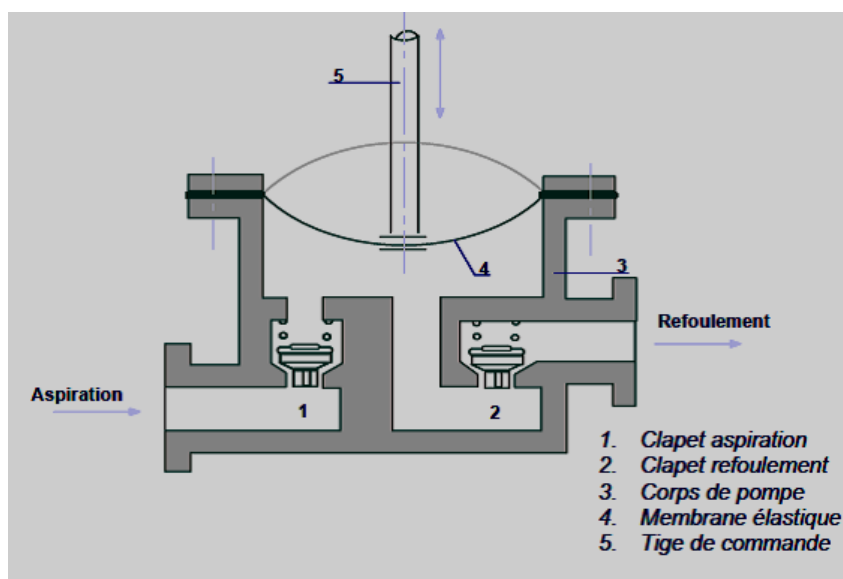


Figure I-9 : Pompe à membranes.

I.3.2. Les pompes centrifuges :

I.3.2.1. Définition:

Les pompes centrifuges sont le type de pompe le plus répandu en industrie pétrolière. Leur fonction est d'assurer le débit de liquide souhaité par l'exploitant mais dans des conditions de pression imposées par les procédés et les applications, avec des contraintes particulières à l'installation, l'environnement, la fiabilité, la sûreté, etc.

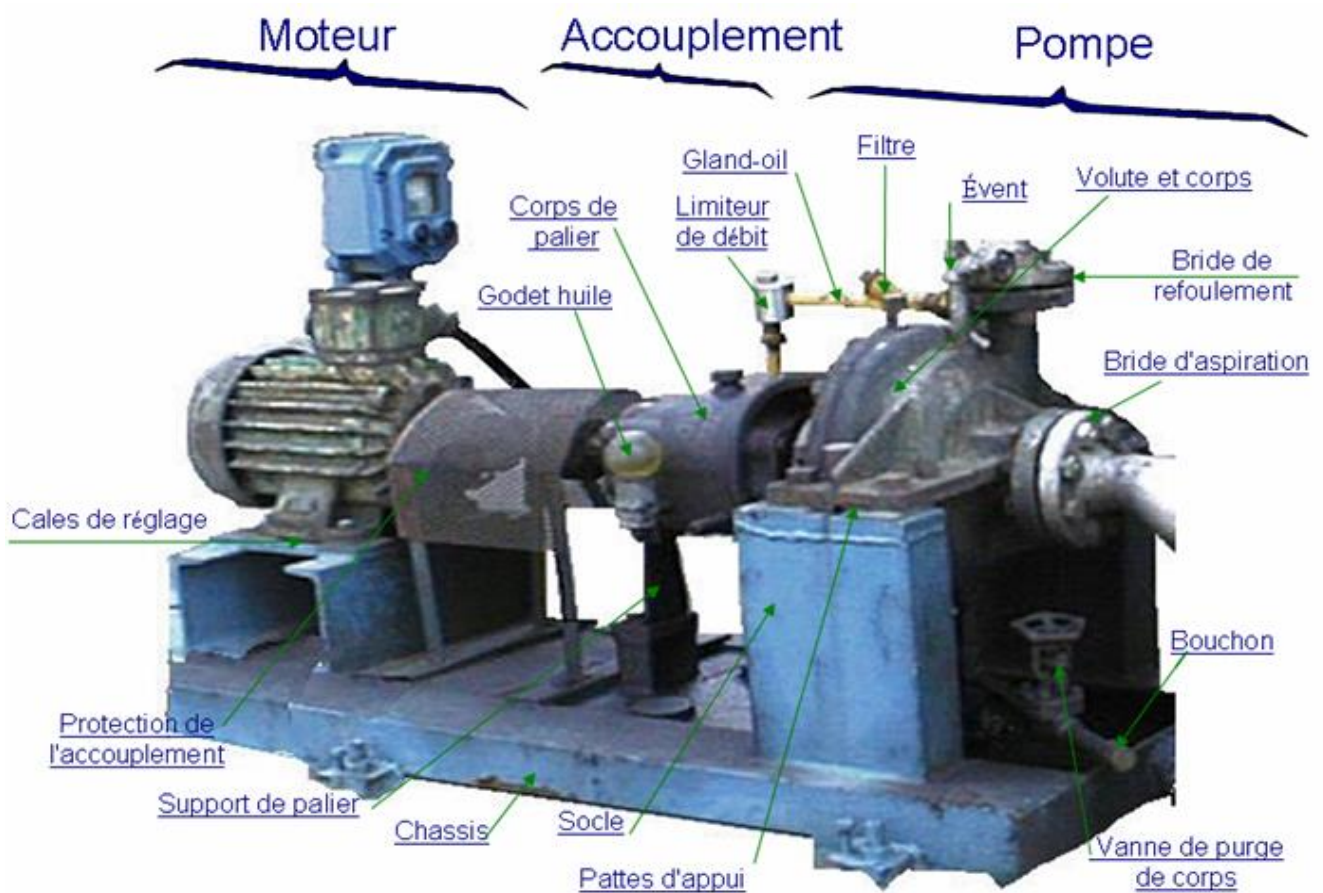


Figure I-10 : Présentation extérieure d'une pompe centrifuge horizontale.

I.3.2.2. Principe de fonctionnement :

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. [4]

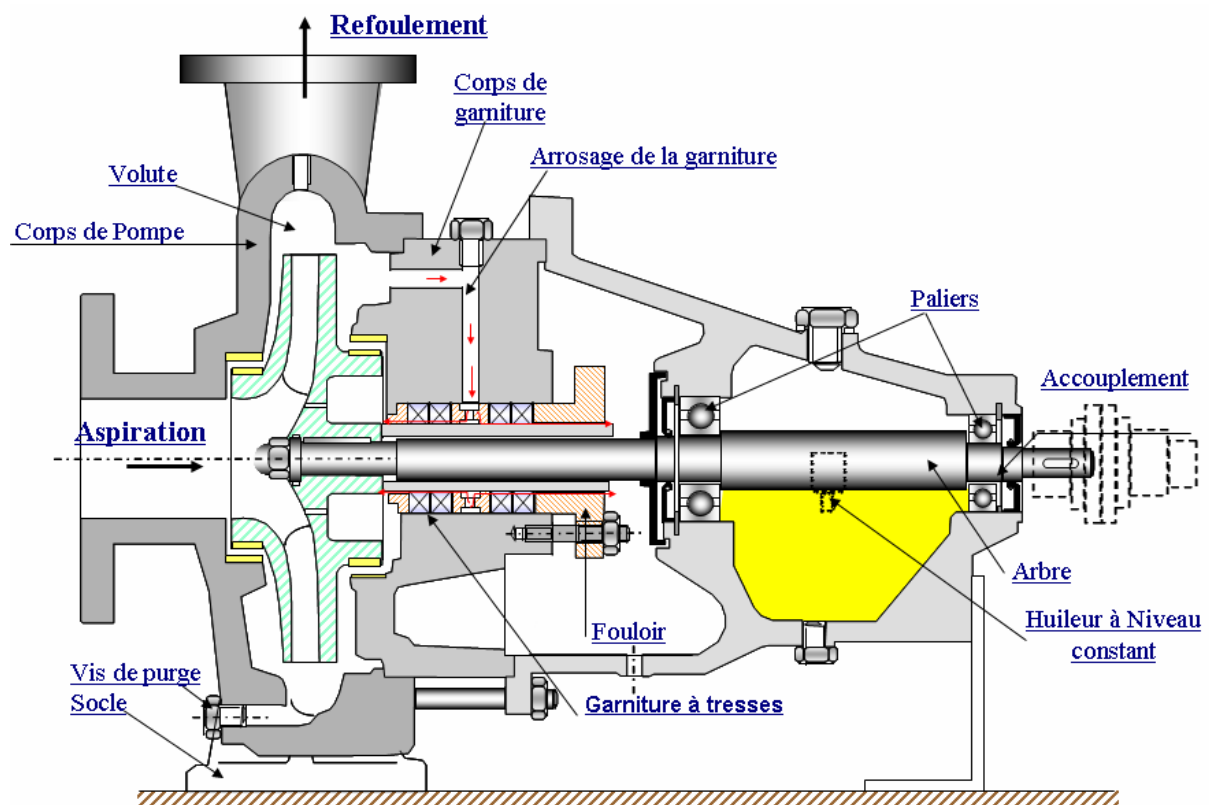


Figure I-11: Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux.

I.3.2. 3. Classification des turbopompes

- Selon la trajectoire du fluide :

Cette classification est basée sur la forme de la trajectoire à l'intérieur du rotor de la pompe (roues radiales, semi-radiales, axiales). Les pompes centrifuges sont utilisées pour des hauteurs d'élévation importantes (Plusieurs dizaines de mètres) :

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

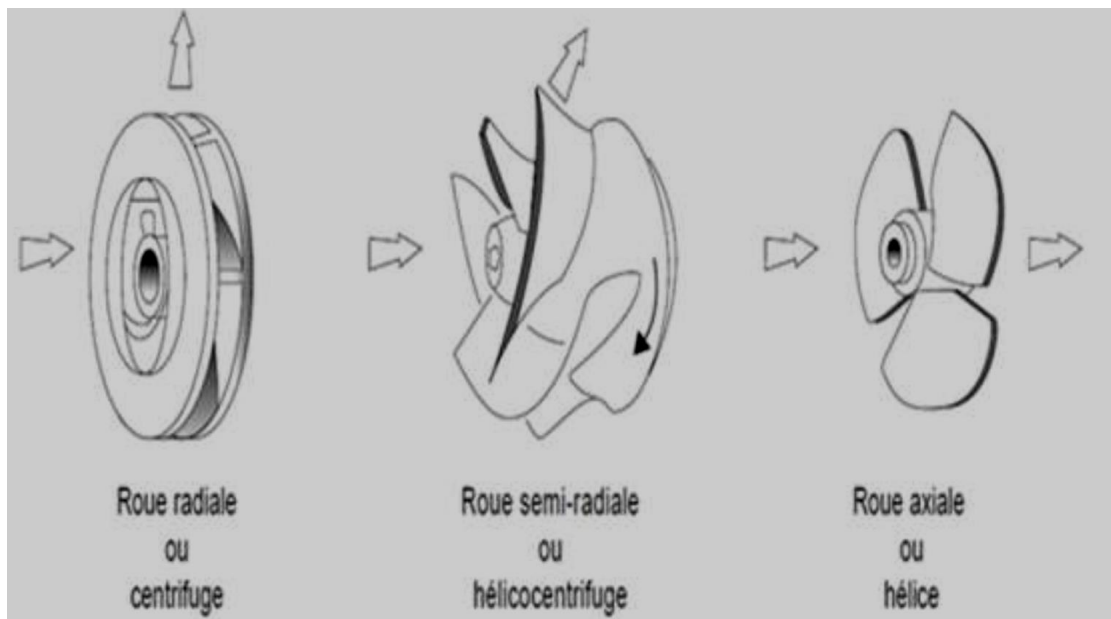


Figure I-12 : Les types des roues.

- Selon le nombre d'étages :
 - a) monocellulaire : avec une seule roue sur l'arbre.
 - b) multicellulaire : avec plusieurs roues sur l'arbre déposées en série.

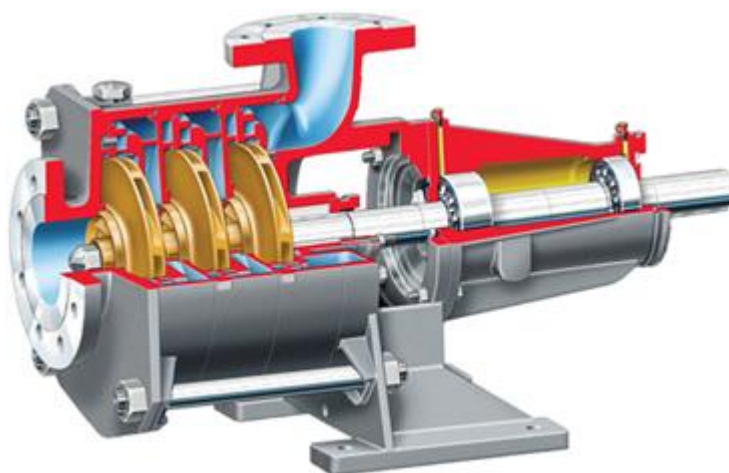


Figure I-13 : Vue ouverte d'une pompe centrifuge multi-étage.

- Selon la disposition de l'axe de la pompe :
 - a) pompe verticale.
 - b) pompe horizontale.

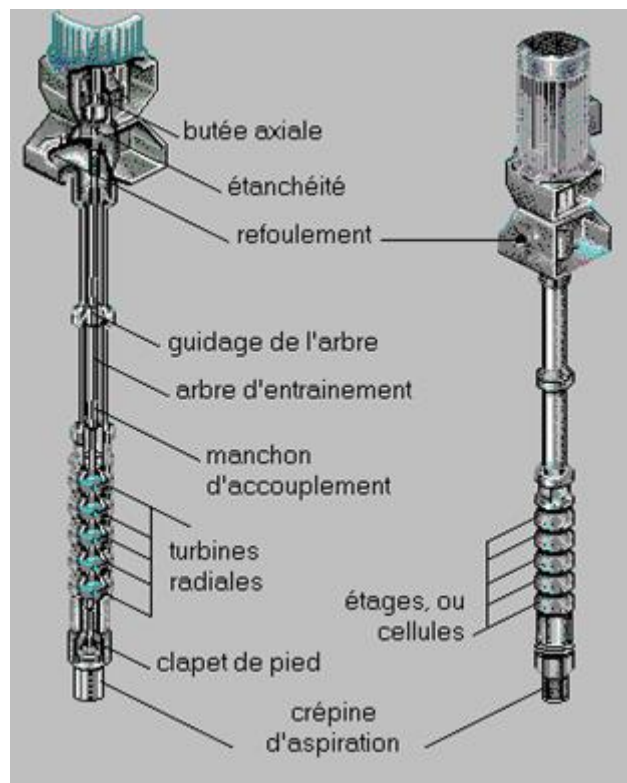


Figure I-14 : Vue écorchée et extérieure d'une pompe verticale.

- Selon les différents montages :

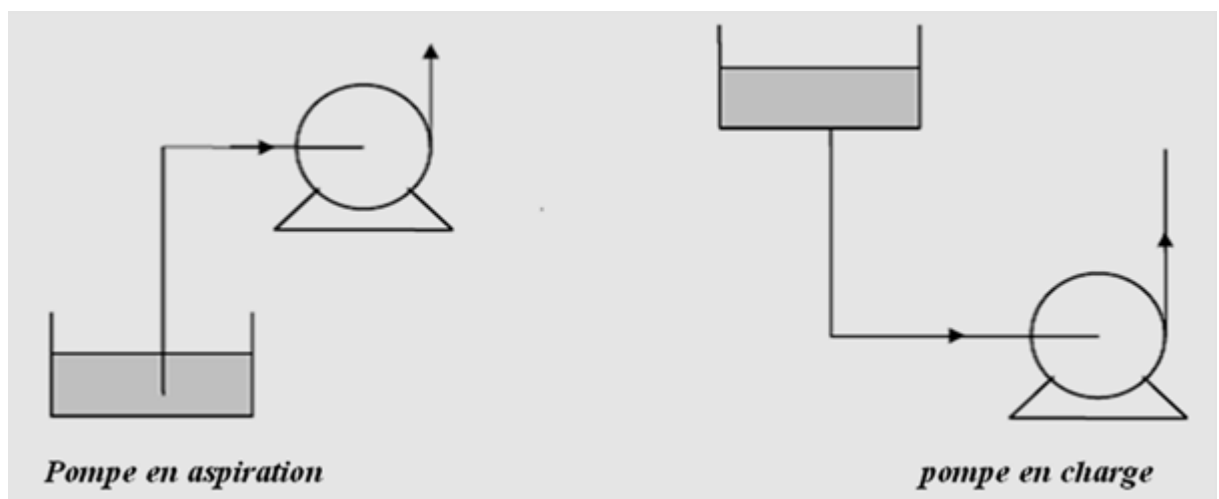


Figure I-15 : Montage d'une pompe en aspiration et en charge.

PARTIE II : DESCRIPTION DE LA POMPE P105**I.2.1. Introduction :**

La **P105** est une pompe centrifuge de type vertical. Elle est stratégique pour le procès de traitement de gaz du module **M.P.P IV** (module processing plant 04) qui englobe six, soit deux par train de production. C'est aussi une pompe qui a soulevé beaucoup d'interrogations depuis sa mise en service, ce qui justifie le grand intérêt qu'on lui porte.



Figure I-16 : Vue extérieure de la P105.



Figure I-17 : Vue intérieure de la P105.

I.2.2. Le rôle de la P105 :

C'est une pompe de reflux du débutaniseur C102. Elle aspire du G.P.L à partir du ballon D108 et elle le refoule vers :

- La tête du débutaniseur C102.
- Le ballon D005 d'aspiration des pompes d'expédition du G.P.L (P004) vers le CSTF (Centre de Stockage et Transfert Fluide).

I.2.3. La situation géographique de la pompe :

Les pompes P105 A/B, existent au niveau de chaque train du module, elles se situent juste au-dessous de la colonne C102 (le débutaniseur voir schéma du procès). Ce sont deux grandes pompes centrifuges entraînées par deux moteurs électriques asynchrones, une en marche et une autre en arrêt, placées verticalement et leur partie inférieure est enterrée.

Les conduites d'aspiration et de refoulement, ainsi que la garniture mécanique et l'accouplement rigide se situent au-dessous de la plaque de base.

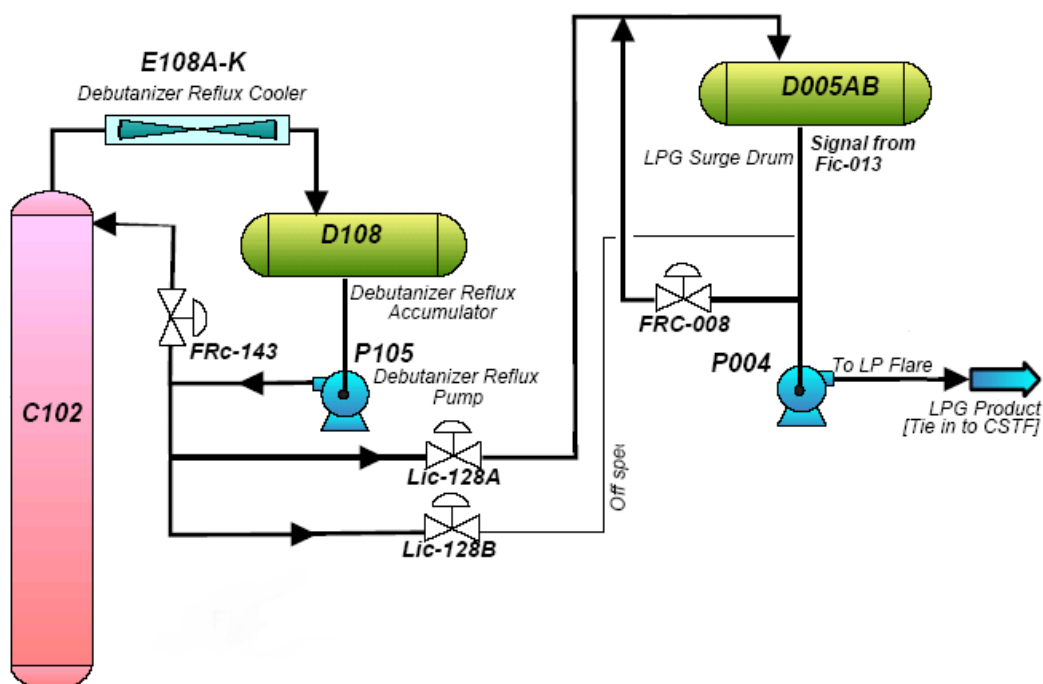


Figure I-18 : Rôle et situation de la P105.

I.2.4. Les caractéristiques de la pompe P105

- Marque : EBARA (Japonaise).
- N° de série : R720283-02.
- Type : vertical centrifuge (Immergée).
- Masse : 5100 [Kg].
- Température de pompage T_p : 57.6 °C.
- Viscosité à T_p C_p : 0,1cP.
- Vitesse de rotation : 1490 [tr/min].
- Puissance du moteur : 90 [kW].
- Pression de vapeur à T_p : 14,3 [kg/cm²].
- Pression différentielle : 4,4 [kg/cm²].
- Pression d'aspiration : 13,1 [kg/cm²].
- Pression de refoulement : 17,5 [kg/cm²].
- Diamètre d'aspiration : 0,3556 m.
- Diamètre de refoulement : 0.254m.
- Hauteur différentielle : 33 m.
- Nombre d'étages : 02.
- Produit traité : GPL.
- Densité à T_p : 0,475.
- Type de garniture : garniture mécanique
- Type d'accouplement : Entretoise rigide.
- Type de roue : fermée.
- Graissage : auto lubrifiant.

II.2.5. Les organes constitutifs de la pompe P105:

II.2.5.1. Organes ayant une fonction hydraulique :

- **Impulseur ou roue :**

La rotation de l'arbre entraîne une génération d'énergie cinétique provoquée par la roue solidaire à l'arbre au moyen d'une clavette, et mettant en mouvement le liquide véhiculé. L'énergie cinétique développée est transformée en pression.



Figure I-19 : Impulseur.

- **Volute :**

La volute entoure l'impulseur avec une interposition d'un diffuseur. Elle est un organe transformant une partie de l'énergie cinétique transmise au liquide par la roue en énergie de pression.

Cette pièce a une double fonction :

- 1- Assurer la transformation d'énergie cinétique en énergie potentielle (énergie de pression).
- 2- Opérer le raccordement avec la tubulure de refoulement.



Figure I-20 : Volute.

- **Inducteur (roue de gavage):**

Le rôle de l'inducteur est :

- 1- Activer et faciliter l'aspiration du liquide au premier impulseur.
- 2- Augmenter légèrement la pression afin d'éviter l'apparition de la cavitation.



Figure I-21 : Inducteur.



Figure I-22 : Ensemble rotor monté dans une volute.

I.2.5.2. Organes ayant une fonction mécanique :

- **Arbre :**

L'arbre est l'élément qui assure le mouvement de rotation. Il est souvent fait en acier spécial car, il doit résister aux différentes sollicitations exercées par certaines pièces. (Impulseur, paliers, ... etc.).



Figure I-23 : Arbre.

- **les coussinets :**

En exploitation, les poussées générées sont transmises aux paliers de la pompe, ces derniers doivent avoir la capacité à supporter ces sollicitations de type axial, radial ou combiné, et à guider en rotation l'arbre.



Figure I-24 : Coussinets.



Figure I-25 : Coussinet d'étranglement.

- **Bagues d'usure :**

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



Figure I-26 : Bague d'usure.



Figure I-27 : Bague d'usure monté dans son support

- **Chemise de l'arbre :**

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



Figure I-28 : Chemise d'arbre

- **Accouplement :**

L'accouplement est l'organe de transmission, il permet de transmettre la puissance mécanique en rotation d'arbre moteur vers l'arbre de la pompe.

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



Figure I-29 : Accouplement de la P105

I.2.5.3. Organes ayant une fonction d'étanchéité :

- **Les joints d'étanchéité :**

Un **joint d'étanchéité** est un dispositif assurant l'étanchéité, c'est-à-dire évitant les fuites de fluide entre un milieu intérieur et un milieu extérieur, on le trouve dans plusieurs endroits dans la P105 et avec plusieurs types (torique, plat, à lèvre).

- **Garniture mécanique :**

Une garniture mécanique est principalement composée de deux solides annulaires, l'un d'eux est en rotation. Le fluide environnant sous pression conduit à la formation d'un film lubrifiant entre eux.

Les surfaces des garnitures mécaniques sont généralement rodées et polies et sont donc très lisses et pratiquement planes faces du joint.

La garniture mécanique se compose essentiellement de chemise, joint fixe (bague en carbone graphité), joint rotatif (bague en tungstène), bague à ressorts, joint anti poussière et boîtier de garniture.

C'est entre l'arbre et la garniture que peut s'échapper le liquide, il est donc nécessaire de maintenir ces bagues (Carbone ; Tungstène) en contact permanent au moyen de la bague à ressort.

La garniture mécanique est refroidie et lubrifiée par le liquide lui-même.



Figure I-30 : Garniture mécanique de P105.



Figure I-31 : Garniture mécanique montée sur l'arbre.

I.2.5.4. Autres organes constitutifs de la pompe :

- **Tubulures d'aspiration et de refoulement :**

Les tubulures d'aspiration et de refoulement des liquides sont parties intégrantes de la pompe. Elles permettent le cheminement de liquide de l'aspiration au refoulement.



Figure I-32 : tubulures d'aspiration et de refoulement.

- **Manomètre, vannes, clapets et filtre :**

Sont des accessoires d'indication (pression), de protection, d'isolement et régulation des paramètres de la pompe.

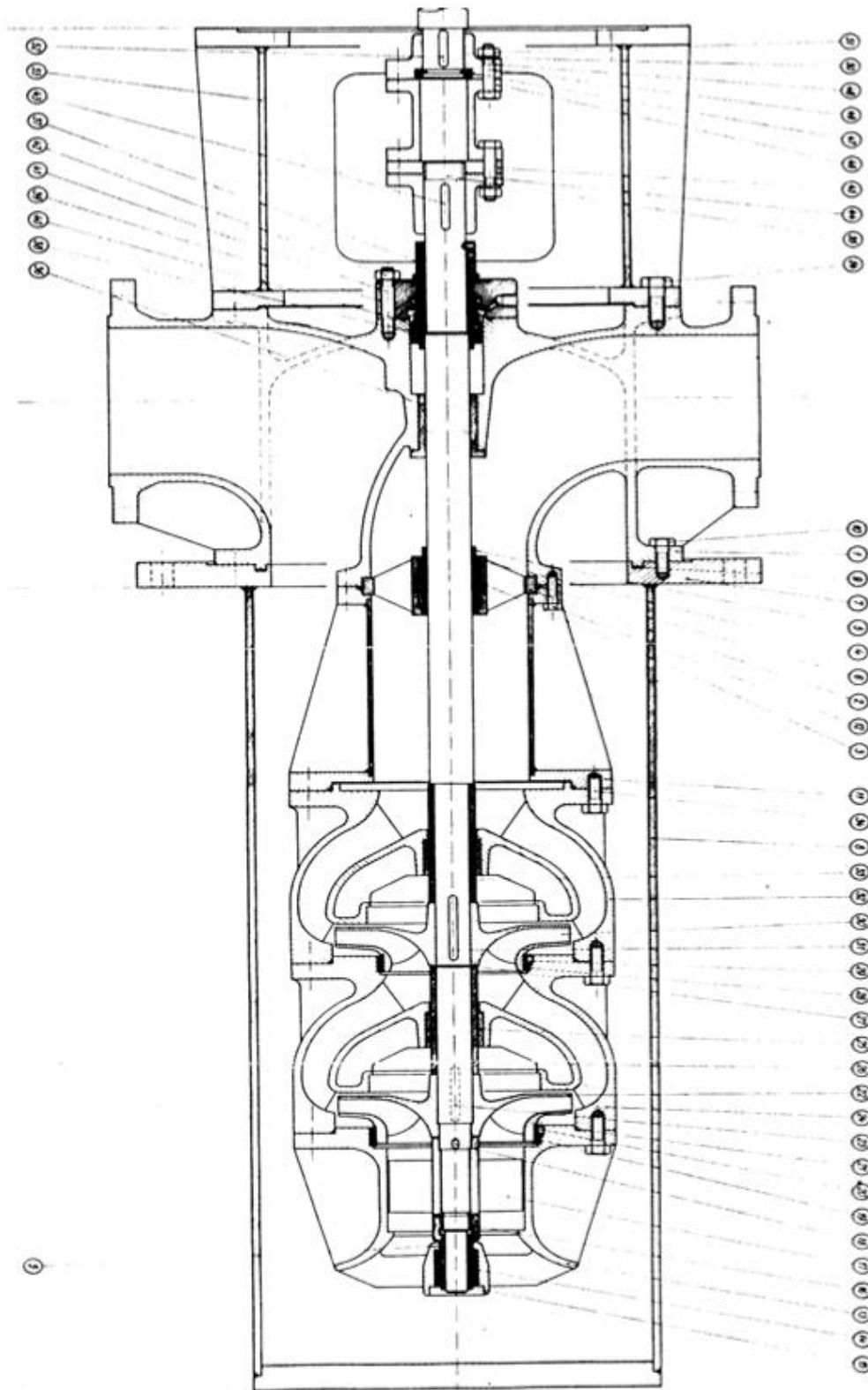
I.2.6. Dessin de coupe et liste des pièces de la pompe P105 :**Figure I-33 : Dessin de coupe de la P 105**

Tableau I.2.1 : Liste des pièces de P105.

N°	Description	N°	Description	N°	Description
1	Corps de refoulement	19	Bague d'usure	37	Chemise d'arbre
2	support de coussinet	20	Vis de blocage	38	Garniture mécanique
3	Chemise	21	Joint torique	39	Couvercle de garniture
4	Coussinet	22	Impulseur	40	Joint torique
5	Vis de blocage	23	Clavette	41	Goujon
6	Joint torique	24	Diffuseur	42	Ecrou
7	Plaque de base	25	Coussinet	43	Clavette
8	Barrel	26	Chemise intermédiaire	44	Manchon d'accouplement
9	Joint plat	27	Bague fendue	45	Ecrou de réglage
10	Vis à tête hexagonale	28	Bague d'usure	46	Entretoise
11	Lanterne	29	Vis de blocage	47	Bague fendue
12	Vis à tête hexagonale	30	Impulseur	48	Manchon d'accouplement
13	Corps d'aspiration	31	Clavette	49	Boulon
14	Coussinet	32	Diffuseur supérieur	50	Rondelle ressort
15	Chemise	33	Chemise intermédiaire	51	Ecrou
16	Ecrou de blocage	34	Vis à tête hexagonale	52	Clavette
17	Roue de gavage	35	Arbre	53	Lanterne du moteur
18	Clavette	36	Coussinet à collerette	54	Vis à tête hexagonale

CHAPITRE II
GENERALITES SUR LA
MAINTENANCE

PARTIE I

II.1. Généralités sur la maintenance :

II.1.1. Introduction :

La maintenance n'est pas seulement réparer ou dépanner au moindre coût ou remettre en état dans les plus brefs délais. Ce n'est pas non plus maintenir les installations en marche à tout prix ou assurer une sécurité de fonctionnement élevée, coûte que coûte, pour atteindre une disponibilité maximale mais non rentable. La maintenance commence dès la conception du matériel : il faut qu'il soit apte à être entretenu, ensuite à produire, son utilisation doit être aisée et sa sécurité maximale. Pendant toute sa vie de production la maintenance surveille le matériel, suit ses dégradations et le remet à niveau avec un contrôle des performances, une surveillance des coûts et disponibilités en recherchant les solutions les plus simples. En fin de vie, la maintenance propose d'abord une diminution des performances compatible avec les possibilités du matériel et enfin son renouvellement.

II.1.2. Définition de la maintenance :

Les normes NF X 60-010 et 60-011 définissent la maintenance comme l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifique ou d'assurer un service déterminé [5]

Retour et al. [6] présentent la fonction maintenance comme un ensemble d'activités regroupées en deux sous-ensembles : les activités à dominante technique et les activités à dominante gestion (voir figure II.1)

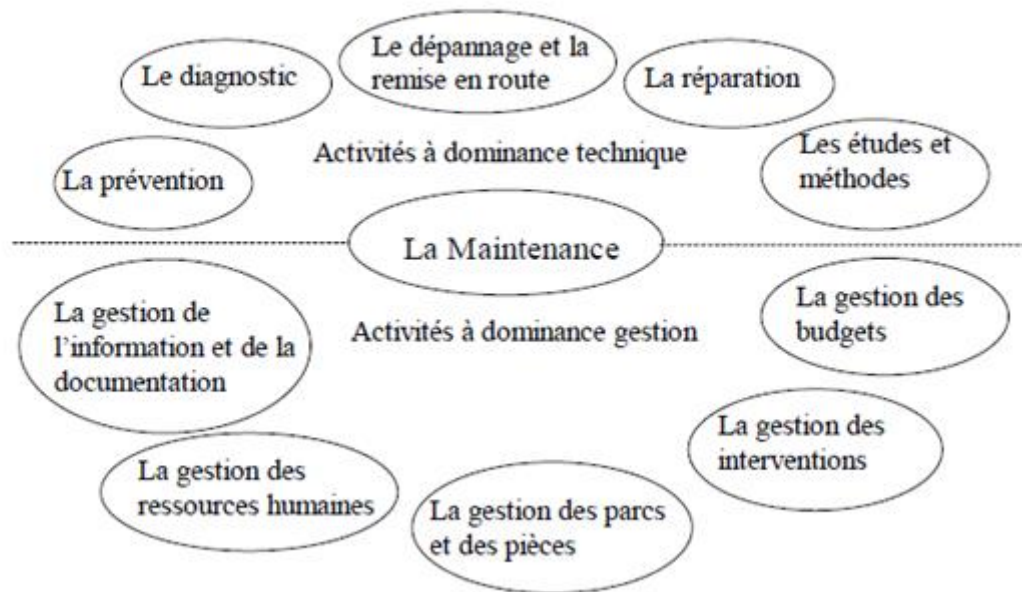


Figure II-1 : Le contenu de la fonction maintenance (Retour et al. [7])

Dans la définition de la maintenance. Nous trouvons deux mots-clés maintenir et rétablir. Le premier fait référence à une action préventive. Le deuxième fait référence à une action corrective (voir figure II.2)

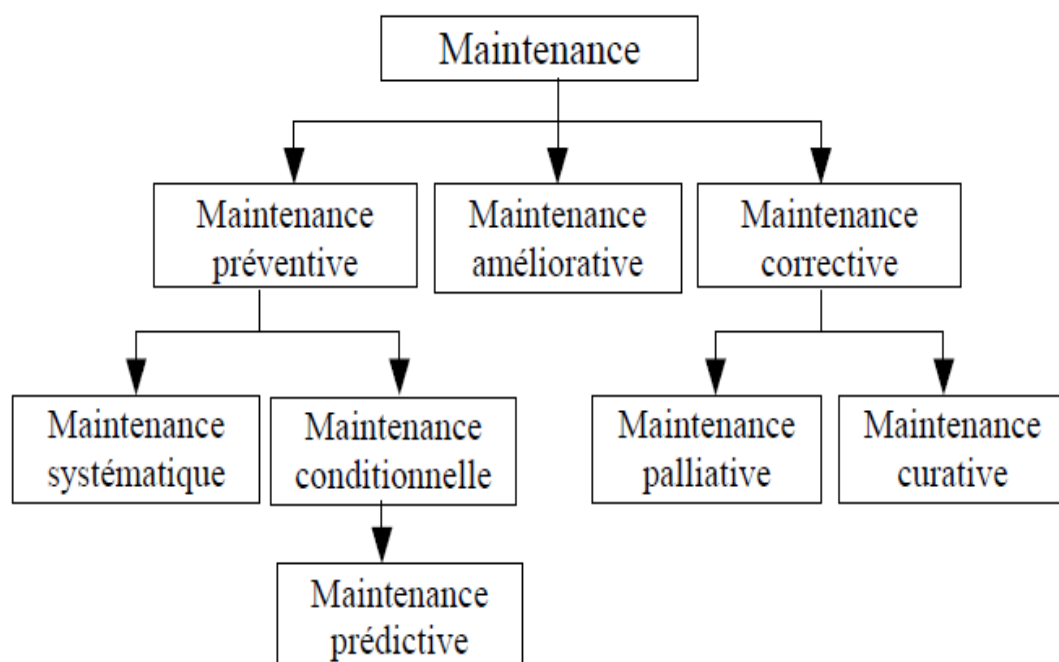


Figure II-2 : Différents types de maintenance

II.1.4. Les types de maintenance :

II.1.4.1. Maintenance corrective :

La maintenance corrective désigne l'élimination d'une avarie ou d'une altération dans le fonctionnement d'un élément matériel (aussi appelé « bien » ou « entité » dans le jargon de la spécialité), par un des divers moyens que sont la réparation, la restauration à l'état antérieur, et le remplacement de l'élément matériel implique

La définition de la norme européenne est la suivante : « Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise [5]

Elle se subdivise en :

- **Maintenance palliative** : Dépannage (provisoire) de l'équipement, permettant à celui-ci d'assurer tout ou une partie d'une fonction requise ; elle doit toutefois être suivie d'une action curative dans les plus brefs délais.

- **Maintenance curative** : réparation (durable) consistant en une remise en l'état initial.

II.1.4.2. Maintenance préventive :

Elle consiste à intervenir sur un équipement avant que celui-ci ne soit défaillant, afin de tenter de prévenir la panne. On interviendra de manière préventive soit pour des raisons de sûreté de fonctionnement (les conséquences d'une défaillance sont inacceptables), soit pour des raisons économiques (cela revient moins cher) ou parfois pratiques (l'équipement n'est pas disponible pour la maintenance qu'à certain moments précis).

La définition donnée par l'AFNOR est la suivante : « Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien » [5]

La maintenance préventive se subdivise à son tour en :

-**Maintenance systématique**, périodique ou programmée : Ces trois termes sont synonymes.

Ils désignent des opérations effectuées systématiquement, soit selon un calendrier (à périodicité temporelle fixe), soit selon une périodicité d'usage (heures de fonctionnement, nombre d'unités produites, nombre de mouvements effectués, etc.)

Définition de la norme européenne : « Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'Etat du bien » [5]

-**Maintenance conditionnelle** : Réalisée à la suite de relevés, de mesures, de contrôles révélateurs de l'état de dégradation de l'équipement ; le matériel fait l'objet d'une surveillance au moyen de techniques comme l'analyse des vibrations ou analyse vibratoire, la tribologie et la thermographie par infrarouges ou thermographie infrarouge, qui permettent de savoir s'il va y avoir une avarie et quand celle-ci se produira. Il ne reste plus qu'à prendre les mesures qui s'imposent pour éviter l'avarie.

Définition de la norme européenne : « Maintenance préventive basée sur la surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent » [5]

II.1.5. Les niveaux de maintenance:

Une autre condition pour réussir un système de maintenance serait de spécifier les niveaux de maintenance dans l'entreprise. Monchy [7], Nakajima [8, 9], Lyonnais [10] présentent cinq niveaux ceux-ci font référence à la complexité des tâches à effectuer et aux ressources humaines et matérielles nécessaires à la réalisation de chacune des tâches (tableau II.1)

Tableau II.1 : Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance

Niveaux	Personnel d'intervention	Moyens
1^{er}	Exploitant sur place	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation
2^e	Technicien habilité sur place	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation plus pièces de rechange trouvées à proximité sans détail
3^e	Technicien spécialisé sur place ou en local de maintenance	Outillage prévu plus appareils de mesure banc d'essai de control, etc.
4^e	Equipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essai de contrôle etc.
5^e	Equipe complète, polyvalente en atelier central	Moyens proches de la fabrication par le constructeur

- 1^{er} niveau : Réglage simple prévu par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun montage d'équipement ou échange d'équipements accessibles en toute sécurité.
- 2^e niveau : Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou d'opérations mineures de maintenance préventive.
- 3^e niveau : Identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.
- 4^e niveau : Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.
- 5^e niveau : Travaux de rénovation, de reconstruction ou réparations importantes confiées à un atelier central.

PARTIE II

II.2. Maintenance appliquée à la P105

II.2.1. La Surveillance :

C'est un ensemble des actions effectuées de manière continue durant le fonctionnement de la machine qui consistent à :

- Vérification de vibration du moteur et de la pompe, et la température du logement du palier en le touchant.
- Vérification du moteur, la garniture mécanique de la pompe et les orifices d'aspiration et de refoulement de la pompe pour des bruits anormaux
- Vérification qu'il n'y a pas de fuite sur la garniture mécanique de la pompe
- Vérification qu'il n'y a pas de fuite sur les brides de chaque tuyau.
- Vérification des pressions à l'aspiration et au refoulement.

II.2.2. Maintenance prédictive :

Pour exploiter la pompe P105 au maximum de son potentiel, le service fait appel à la maintenance prédictive qui est basée sur les relevés de Vibrations (analyses vibratoire).

II.2.3. Maintenance préventive systématique :

Cette maintenance proposée par le constructeur consiste à réaliser des relevés précis des données d'exploitation et des rapports d'inspection. Ces données doivent être examinées pour déterminer l'entretien nécessaire.

Selon les caractéristiques techniques établies par le constructeur et l'expérience de personnel du module, la maintenance préventive de la pompe P105 est divisée en trois stades :

- Le 1^{er} stade consiste à une inspection préventive toutes les 4000 heures appliquées sur système d'étanchéité externe (garniture mécanique) et une réparation en cas d'anomalies.
- Le 2^{ème} stade est appliqué toutes les 8000 heures comporte des actions de maintenance niveau I sur la partie inférieure de la pompe (vérification du jeu fonctionnel du palier inférieur et l'étanchéité du 1^{er} étage, et faire une réparation s'il y a des anomalies).
- Le 3^{ème} stade quant à lui s'agit-il d'une maintenance niveau II (révision générale) appliquée toutes les 16000 heures qui consiste à :

- ✓ La révision du système d'étanchéité externe garniture mécanique.
- ✓ La révision du système d'étanchéité interne de tous les étages.
- ✓ La révision du système mécanique (le guidage en rotation).

II.3. Le plan de maintenance de la pompe P105

II.3.1. Inspection préventive

C'est l'une des opérations de la maintenance préventive systématique qui s'opèrent selon une périodicité prédéterminée, toutes les 4000 heures de marche, elle comporte trois opérations principales à exécuter sur le système d'étanchéité (la garniture mécanique) :

- Démontage
- Inspection et réparation
- Remontage

La procédure de l'inspection préventive est la suivante :

Tableau II.2 : Les étapes de démontage et remontage de la garniture mécanique

Inspection préventive	N°	Les étapes de démontage
	1.	Installation des plaques de fixation
	2.	Enlèvement de l'accouplement d'entretoise
	3.	Enlèvement de l'assemble de garniture mécanique
	N°	Les étapes de remontage
	1.	Installation de l'assemble de garniture mécanique
	2.	Fixation de couvercle de garniture mécanique
	3.	Alignement de l'accouplement
	4.	Levée de l'arbre
	5.	Enlèvement des plaques de fixation
	6.	Vérification de la rotation de l'arbre en tournant à la main

L'inspection et la réparation de la garniture mécanique après l'avoir démonté consiste à :

1. Démontez l'ensemble des organes de la garniture mécanique.
2. Vérifier l'état des pièces du mécanisme et changer les pièces défectueuses (chemise, bague, vis, ressort,...etc.).
3. Changer toute la jointure de la garniture (les joints V, joints toriques et les joints de compression).

4. Changer les deux grains de la garniture mécanique.
5. Remonter l'ensemble des organes de la garniture mécanique.

Remarque : Dans le cas où la pièce de rechange n'est pas disponible concernant les deux grains nous devons procéder à une opération de rodage.

II.3.2. Maintenance de niveau 1

Toutes les 8000 heures de marche, il s'agit d'une révision partielle du système mécanique de la pompe, plus une inspection préventive.

Tableau II.3 : La procédure de la maintenance niveau 1

MAINTENANCE N1	Démontage	1	Installation des plaques de fixation
		2	Enlèvement de l'accouplement d'entretoise
		3	Enlèvement du moteur
		4	Levée de la pompe
		5	Enlèvement de l'assemble de garniture mécanique
		6	Enlèvement du carter inférieur
	Inspection réparation	Mesure du jeu entre la chemise de l'arbre et le coussinet du palier inférieur	
		Inspection des pièces de contact glissant pour la bague d'usure et la roue du premier étage	
	Remontage	1	Installation du corps d'aspiration
		2	Soulever de la pompe
		3	Installation de la pompe dans la fosse
		4	Installation du moteur
		5	Installation de l'assemble de garniture mécanique
		6	Fixation de couvercle de garniture mécanique
		7	Alignement de l'accouplement
		8	Levée de l'arbre
		9	Enlèvement des plaques de fixation
		10	Vérification de la rotation de l'arbre en tournant à la main

Remarque :

Le jeu admissible entre la chemise de l'arbre et le coussinet du palier inférieur est de **0,40 mm**

A la suite de l'inspection, il se peut que le coussinet de carter inférieur soit à remplacer.

II.3.3. Maintenance de niveau 2

Cette opération doit s'effectuer toutes les 16000 heures de marche, elle s'agit d'une révision générale, plus de l'inspection et la réparation de la garniture mécanique, nous devons :

- Vérifier l'excentricité de l'arbre
- Vérifier la déflexion des roues
- Mesurer et vérifier les jeux entre les roues et bagues d'usure du corps, et entre les coussinets et chemises de l'arbre.

Tableau II.4 : La procédure de la maintenance de niveau 2

MAINTENANCE N2	Démontage	1	Installation des plaques de fixation
		2	Enlèvement de l'accouplement d'entretoise
		3	Enlèvement du moteur
		4	Levée de la pompe
		5	Enlèvement de l'assemble de garniture mécanique
		6	Enlèvement du corps d'aspiration, l'inducteur, les roues et les volutes du 1 ^{er} et 2 ^e étage.
		7	Enlèvement du tube colonne montante et l'arbre
	Inspection	Vérification de l'excentricité de l'arbre Vérification de la déflexion des roues Mesure des jeux entre les roues et bagues d'usure du corps, et entre les coussinets et chemises de l'arbre	
	Remontage	1	Placer le coussinet du palier intermédiaire dans son support puis installer l'ensemble dans le corps de la pompe
		2	Placer le joint torique dans le corps puis installer le tube de colonne
		3	Placer le joint torique dans le tube de colonne puis installer la volute de 2 ^e étage
		4	Fixation de la chemise intermédiaire sur l'arbre et montage de l'ensemble
		5	Montage de l'impulseur de 2 ^e étage
		6	Placer le joint torique sur la volute de 2 ^e étage et installer la volute de 1 ^{er} étage
		7	Montage de l'impulseur de 1 ^{er} étage
		8	Montage de l'inducteur et l'écrou de freinage
		9	Installation du corps d'aspiration
		10	Installation de l'assemble de garniture mécanique
		11	Montage des conduites de purge et de refroidissement
		12	Installation de la pompe dans la fosse

		13	Mettre le joint de corps dans sa rainure sur la plaque de base du barrel
		14	Introduire la pompe dans le barrel puis placer les boulons de fixation avec la bride d'admission et la bride de refoulement
		15	Placer lanterne du moteur et installer le moteur
		16	Alignement de l'accouplement
		17	Levée de l'arbre
		18	Enlèvement des plaques de fixation
		19	Vérification de la rotation de l'arbre en tournant à la main

II.4. Relevés des jeux

Cette partie de travail nous l'avons consacrée à la vérification et à la réalisation des relevés de contrôles des jeux entre :

- Roues et bagues d'usures de corps.
- Coussinets et chemises d'arbre, ainsi que la déflexion des roues et l'excentricité d'arbre.

Mesure par un pied à coulisse

Tableau II.5 : Dimensions de l'arbre

Valeurs réelles	1	2	3	4	5	6	7	8
L (mm)	370	23	1253	387	8	336	260	125
D (mm)	76	77	80	76	67	76	55	52

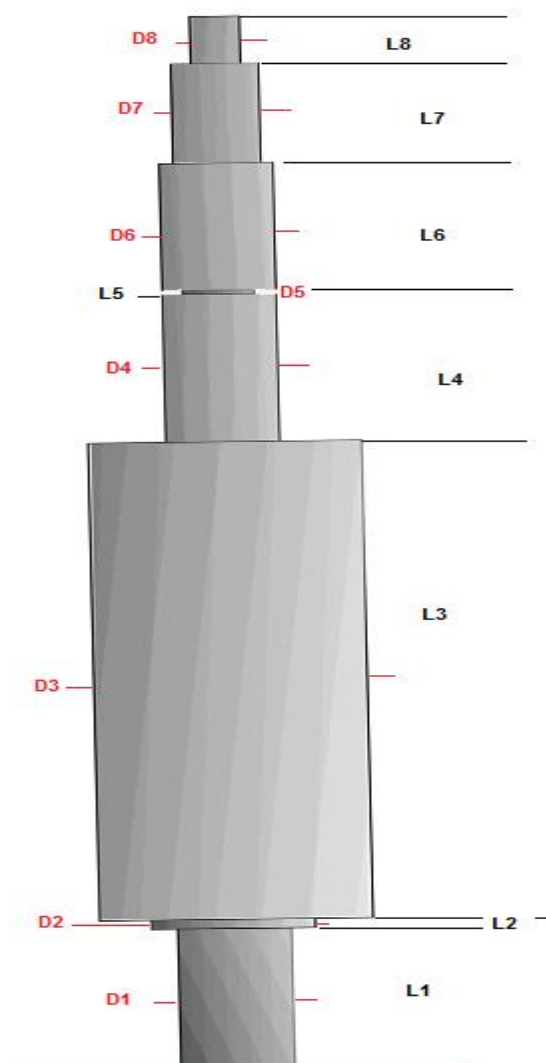


Figure II-3 : Arbre de la P105

II.4.1 Relevé de l'excentricité d'arbre : (unité mm)

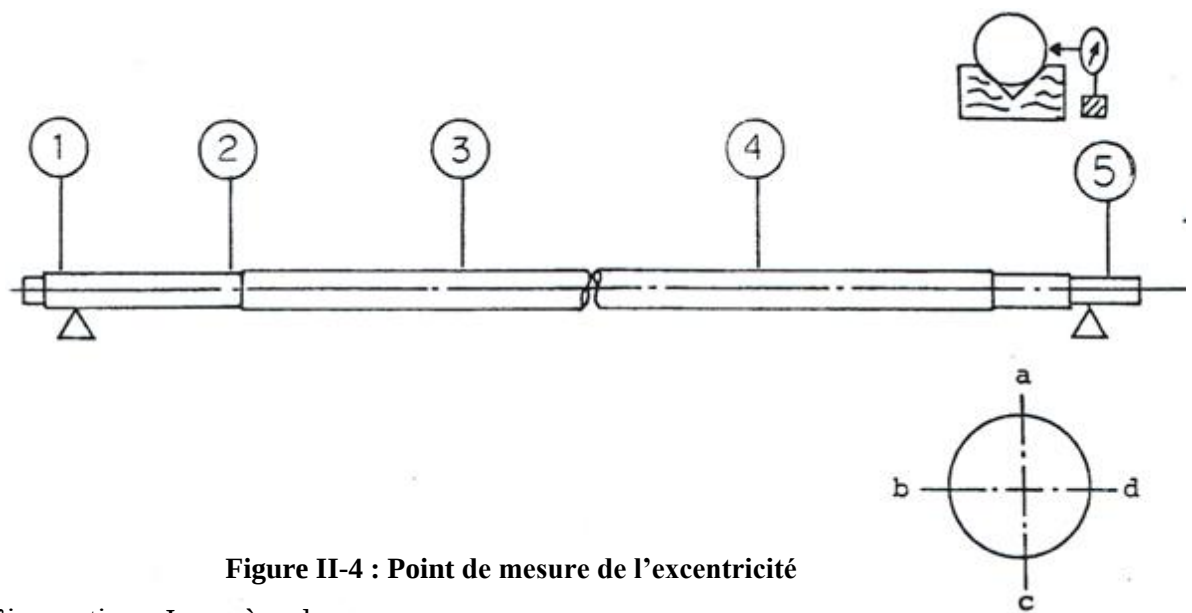


Figure II-4 : Point de mesure de l'excentricité

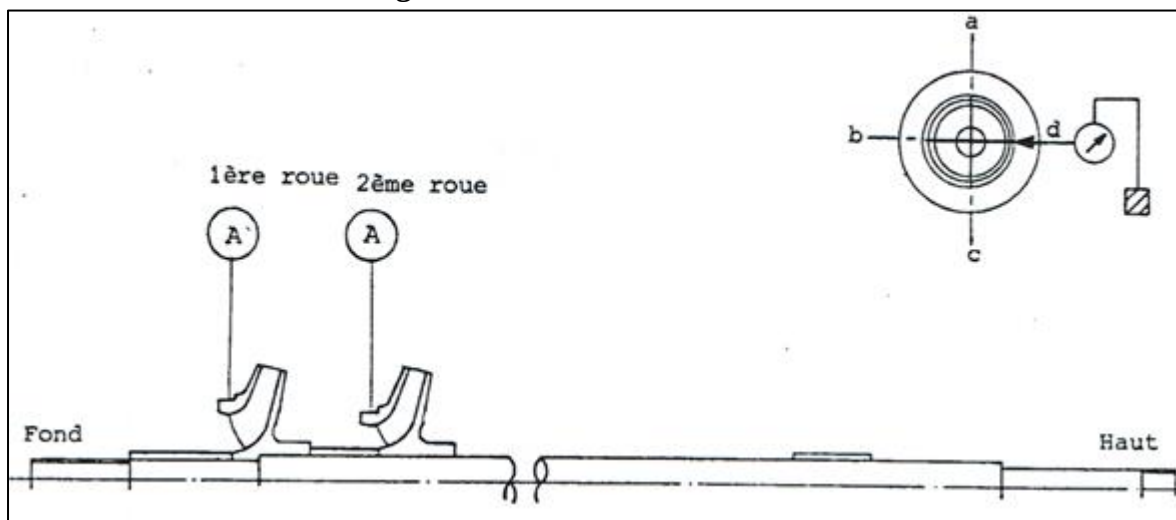
Outil d'inspection : Jauge à cadran

Tableau II.6 : Relevé de l'excentricité

Excentricité admissible max : 0,45					
Point de mesure	① Haut	② Garniture Mécanique	③ Chemise	④ Centre entre ③ et ⑤	⑤ Fond
a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b	-0.06	-0.16	+0.055	+0.30	-0.25
c	+0.04	-0.19	+0.06	+0.30	-0.50
d	+0.08	-0.12	+0.04	+0.35	-0.55

Jugement :

L'excentricité au fond de l'arbre est hors norme.

II.4.2 Relevé de la déflexion des roues : (unité mm)**Figure II-5 : Mesure de la déflexion****Figure II-6 : Point de mesure de la déflexion**

Outil d'inspection : Jauge à cadran

Tableau II.7 : Relevé de la déflexion des roues

Déflexion admissible max : 0.075			
Point de mesure		1 ^{ère} roue	2 ^{ème} roue
Valeur mesurée	a	0.00	0.00
	b	-0.13	+0.01
	c	-0.33	+0.03
	d	-0.13	+0.03

Jugement :

- La 1^{ère} roue : les valeurs sont hors normes.
- La 2^{ème} roue : les valeurs sont dans les normes.

II.4.3 Relevé de jeu : (unité mm)

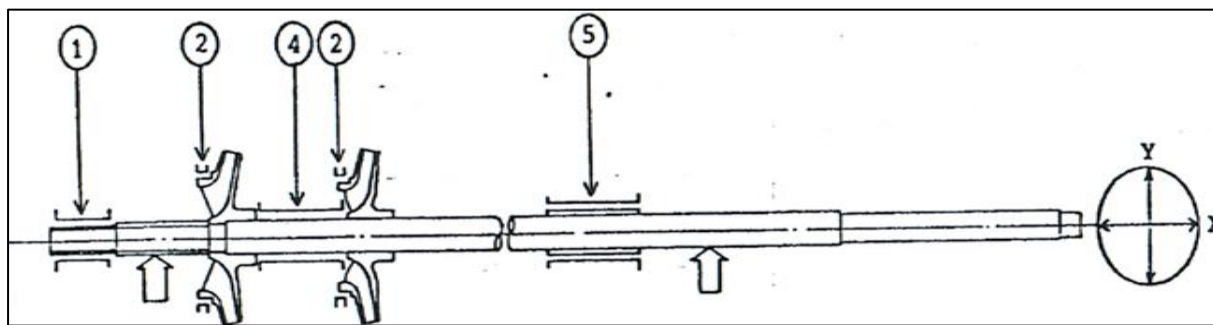


Figure II.7 : Mesure de jeu

Tableau II.8 : Jeu de constructeur

		Jeu de calcul	Jeu admissible max
Usure de corps de roue (entrée)	②	0.24 – 0.344	0.52
usure de corps de roue	③	0.24 – 0.344	0.52
coussinet intermédiaire	④	0.20 – 0.255	0.40
coussinet inférieur	①	0.20 – 0.255	0.40
palier intermédiaire	⑤	0.20 – 0.255	0.38

Tableau II.9 : Relevé des jeux

		1	1 ^{er} étage			2 ^{ème} étage			5
			2	3	4	2	3	4	
Diamètre intérieur	Y	65.40	263.95	---	89.98	263.95	---	90	90.10
	X	65.32	264	---	89.96	264.08	---	89.96	89.98
Diamètre extérieur	Y	64.14	262.90	---	89.30	262.97	---	89.45	89.57
	X	64.17	262.86	---	89.38	263.02	---	89.47	89.54
jeu	MAX	1.23	1.14	---	0.68	1.11	---	0.55	0.56
	MIN	1.18	1.05	---	0.58	0.93	---	0.49	0.41

Jugement :

$$\text{Jeu}_{\max} = D_{\text{intmax}} - D_{\text{ext min}}$$

$$\text{Jeu}_{\min} = D_{\text{intmin}} - D_{\text{ext max}}$$

- Le jeu calculé entre le coussinet et la chemise de fond est hors norme.
- Le jeu calculé entre les bagues d'usure et roues est hors norme.
- Le jeu calculé entre le coussinet et la chemise intermédiaire est hors norme.

II.5. Conclusion

La politique de maintenance à SONATRACH est basée sur la maintenance préventive pour le but de réduire la probabilité de défaillance et éviter les arrêts de production qui coûteront beaucoup. En basant sur cette politique de maintenance, nous allons, dans le chapitre suivant (et toujours dans le cadre de la maintenance préventive) appliquer une méthode d'analyse AMDEC (analyse des modes de défaillances, de leurs effets, et de leurs criticités) afin d'éliminer ou d'au moins réduire les points critiques de la pompe P105.

CHAPITRE III

ANALYSE AMDEC APPLIQUEE A

LA P105

III.1. Introduction :

La maintenance d'un équipement critique pour une manufacture se doit être rigoureuse. Il est donc souhaitable de contrôler au lieu de subir les pannes imprévues. Ces pannes peuvent amener une augmentation des coûts de maintenance, des dangers pour les travailleurs ou un arrêt de production.

Afin de faire une bonne maintenance, il faut bien connaître notre équipement ainsi que les différents modes de défaillances. Il est possible par la suite de déterminer les causes probables et d'évaluer l'impact sur la production. La méthode utilisée pour faire cette tâche laborieuse est la méthode AMDEC.

III.2. Historique de la méthode AMDEC :

La méthode AMDEC peut être considérée comme une extension de la méthode d'Analyse des Modes de défaillance et de leurs Effets (AMDE) qui fut élaborée dans les années 60 aux Etats Unis dans l'industrie aéronautique. Méthode d'analyse de la sûreté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité), elle prend un nouvel essor dans les années 70, lorsque certaines industries européennes (chimie, nucléaire, automobile) la récupèrent et y ajoutent la notion de criticité. Ainsi naquit l'AMDEC qui présente donc l'avantage supplémentaire de pouvoir déterminer l'importance et le niveau d'acceptabilité des défaillances (la criticité). Actuellement l'AMDEC est devenue une technique de base pour la maîtrise de la qualité, qui est appliqué depuis longtemps déjà dans l'industrie automobile. [11]

III.3. Objectif de la méthode AMDEC:

L'objectif de la méthode AMDEC est d'évaluer et de garantir la sûreté de fonctionnement d'un dispositif industriel en termes de fiabilité, disponibilité, sécurité et maintenabilité. Cette méthode va nous permettre de recenser systématiquement les défaillances potentielles d'un dispositif, d'estimer les risques liés à l'apparition de ces défaillances et enfin engager des actions correctives ou préventives à apporter au dispositif.

III.4. Les types de la méthode AMDEC :

Il existe plusieurs types AMDEC selon l'usage prévu: [11]

- **L'AMDEC organisation** s'applique aux différents niveaux de processus principaux de l'entreprise du premier niveau qui englobe les processus de gestion, d'information, de production, de gestion du personnel) et le processus marketing, jusqu'au dernier niveau comme l'organisation d'une tâche de travail
- **L'AMDEC produit** ou **projet** est utilisée pour étudier en détail la phase de conception du produit ou d'un projet. Si le produit comprend plusieurs composants, on applique des AMDEC sur tous composants
- **L'AMDEC processus** s'applique aux processus de fabrication. Elle permet d'analyser et évaluer la criticité de toutes les défaillances potentielles d'un produit engendrées par son processus. Elle peut être utilisée pour les postes de travail.
- **L'AMDEC machine et moyen** s'applique à des machines, outils, équipements et appareils de mesure, des logiciels, systèmes de transport interne, et les moyens de production.
- **L'AMDEC service** s'applique pour vérifier que la valeur ajoutée réalisée dans le service correspond aux attentes des clients et que le processus de réalisation de service n'engendre pas de défaillances.
- **L'AMDEC sécurité** s'applique pour assurer la sécurité des opérateurs dans les procédés où existent des risques pour ceux-ci.

III.5. AMDEC machine :

Cette méthode consiste à identifier les risques de mauvais fonctionnement d'une machine puis à en chercher les effets et les conséquences. Elle fait ressortir les points faibles d'un équipement et permet de poser des actions correctives justifiées.

Il existe deux aspects de cette méthode:

- **L'aspect qualitatif** : consiste à recenser les défaillances potentielles des fonctions du système étudié, de rechercher et d'identifier les causes des défaillances et d'en connaître leurs effets.
- **L'aspect quantitatif** : consiste à estimer le risque associé à la défaillance potentielle. Le but de cette estimation est l'identification et la hiérarchisation des défaillances potentielles. La hiérarchisation des modes de défaillance par ordre décroissant, facilite la recherche et la prise d'actions prioritaires qui élimineraient complètement les causes des défauts potentiels.

III.5.1. La démarche pratique de l'AMDEC machine :

La démarche pratique de l'AMDEC se déroule en six phases:

III.5.1.1. Initialisation de l'étude:

- ✓ Constitution de groupe de travail. La définition de la machine à analyser.
- ✓ La définition des objectifs à atteindre.
- ✓ La définition de planning des réunions.
- ✓ La mise au point des supports de travail.

III.5.1.2. Description fonctionnelle de la machine:

- ✓ Découpage de la machine en sous-systèmes, assemblage, composant

Dans notre cas : pompe centrifuge

- Pompe P105
- Moteur PM105

III.5.1.3. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité :

- ✓ Analyse des mécanismes de défaillances.
- ✓ Examiner les moyens permettant de détecter le mode de défaillance d'une part, et ceux prévus pour en prévenir l'occurrence ou en limiter les effets.
- ✓ Procéder à l'évaluation de la criticité (niveau de risque) de ce mode de défaillance en termes de probabilité et de gravité à travers :
 - La probabilité d'occurrence F.
 - La gravité des conséquences G.
 - La probabilité de non détection D.

Il est intéressant de se doter de tableaux (feuille AMDEC) tant en qualité de support pour mener la réflexion que pour la présentation des résultats.

Le groupe de travail détermine et énumère dans la feuille AMDEC les éléments suivants :

❖ **Élément :**

Cette colonne permet d'inscrire la désignation du composant le plus précisément possible, ainsi que son repère de nomenclature s'il existe.

Dans notre cas : P105 pour le premier sous-système (pompe), et **PM105** pour le deuxième sous-système (moteur)

❖ **Fonction :**

Cette colonne permet d'inscrire la fonction réalisée par le composant dans le fonctionnement normal du dispositif étudié.

Dans notre cas : Pompe de reflux du débutaniseur.

❖ **Modes de défaillance :**

Cette colonne permet d'inscrire le mode de défaillance qui correspond à la manière dont le composant peut être amené à ne plus assurer sa fonction. Le mode de défaillance s'exprime en termes physiques.

Dans notre cas : Cavitation, Vanne d'aspiration n'est pas complètement ouverte (bloquée), fuite sur garniture mécanique.

❖ **Causes**

Cette colonne permet d'inscrire les causes ayant conduit à l'apparition de la défaillance du dispositif à travers le mode défaillance du composant.

Dans notre cas, par exemple : une fuite sur garniture mécanique peut être dû à un mauvais refroidissement ou à l'usure du carbone ou joints d'étanchéité

❖ **Effets :**

Cette colonne permet d'inscrire les effets provoqués par l'apparition des modes de défaillance. Les effets sont les événements perçus par l'utilisateur du dispositif.

Dans notre cas, par exemple : Fonctionnement instable de la machine, Influence sur le débit et la pression.

❖ **Détection :**

Cette colonne permet d'inscrire les modes de détection qui sont les signes provoqués par l'apparition de la défaillance, sans qu'elle n'ait encore généré l'apparition de conséquences.

Dans notre cas, par exemple : Alarme en salle de contrôle, par action de l'opérateur.

❖ **La criticité :**

La criticité est définie par le produit : $C = F \times G \times D$

- ✓ **Indice F:** relatif à la fréquence d'apparition de la défaillance. Cette fréquence exprime la probabilité combinée d'apparition du mode de défaillance par l'apparition de la cause de la défaillance. L'indice **F** est déterminé à partir du barème de cotation (tableau). La note octroyée est comprise entre 1 et 4.

Tableau III.1 : Grille de cotation de la probabilité d'occurrence :

Valeurs de fréquence : F	Définition des niveaux
Très faibles F = 1	Défaillance rare : Moins d'une défaillance par 5 ans
Faibles F = 2	Défaillance possible : Moins d'une défaillance par 2 ans
Moyennes F = 3	Défaillance fréquente : Moins d'une défaillance par 6 mois
Fortes F = 4	Défaillance très fréquente : Une ou plus d'une défaillance par 3 mois

- ✓ **indice G:** relatif aux conséquences provoquées par l'apparition du mode de défaillance en termes de :
- Temps d'intervention(TI), composante du temps d'indisponibilité du moyen de production qui correspond au temps actif de maintenance corrective (diagnostic + réparation ou échange + remise en service)
 - Qualité de la production.
 - Sécurité des hommes et des biens.

L'indice G est déterminé à partir du barème de cotation (tableau), L'indice sanctionne uniquement l'effet le plus grave produit par le mode de défaillance, même lorsque plusieurs effets ont été identifiés. La note octroyée est comprise entre 1 et 5.

Tableau III.2 : Grille de cotation de la gravité.

Valeurs de gravité G	Définition des niveaux
Gravité mineure G = 1	Défaillance mineure : ✓ Indisponibilité de la machine inférieure à 1 jour. ✓ Aucune dégradation notable du matériel.
Gravité moyenne G = 2	Défaillance moyenne : ✓ Indisponibilité de la machine de 1 jour à 2 jours. ✓ Remise d'état de courte durée ou une petite réparation sur place nécessaire.
Gravité critique G = 3	Défaillance critique : ✓ Indisponibilité de la machine de 2 jours à 7 jours. ✓ Changement du matériel défectueux nécessaire (ou réparation).
Gravité très critique G = 4	Défaillance très critique : ✓ Indisponibilité de la machine plus à 7 jours. ✓ Intervention nécessitent des moyens coûteux.
Gravité majeur G = 5	Défaillance majeur : ✓ Indisponibilité de la machine pour une durée indéterminée.

- ✓ **Indice D:** relatif à la possibilité de détecter la défaillance (couple mode de défaillance-cause) avant qu'elle ne produise l'effet. L'indice *D* est déterminé à partir du barème de cotation (tableau). La note est comprise entre 1 et 4.

Tableau III.3: Grille de cotation de la probabilité de non détection

Valeurs de la probabilité de non détection : D	Définition des niveaux
Détection évidente D=1	Alarme en salle de contrôle
Détection possible D=2	Défaillance détectable par action de l'opérateur ou par des relevés vibratoires
Détection difficile D=3	Défaillance difficilement détectable : Le signe avant-coureur difficilement détectable
Détection impossible D=4	Défaillance indétectable : il n'existe aucun signe avant-coureur.

- ✓ **Indice C:** $C=F \times G \times D$ qui permettra de hiérarchiser les défaillances et de recenser celles dont le niveau de criticité est supérieur à une limite constante et caractéristique du dispositif considéré.

Le seuil de criticité varie en fonction des objectifs de fiabilité ou des technologies traitées. Dans notre cas, vu la fonction importante dans le processus de traitement et les pertes matérielles résultant de l'indisponibilité de la pompe, nous avons décidé de fixer le seuil de criticité à 10. Dès lors que l'indice de criticité dépasse le seuil prédéfini, la défaillance analysée fera l'objet d'une action corrective.

De la même manière, des actions correctives sont engagées si les indices G, D ou F sont supérieurs ou égaux à la valeur 4 et ce même si l'indice de criticité n'atteint pas le seuil fixé.

III.5.1.4. Synthèse de l'étude/décisions :

L'ensemble des colonnes actions correctives (tableau:) permet de définir les mesures correctives décidées par le groupe de travail, pour éliminer les points critiques.

Une diminution de la critique peut être obtenue :

- ✓ Par la mise en œuvre de modifications ou d'améliorations de la conception de l'installation, qui permettront :
 - ❖ Soit de rendre le moyen de production plus fiable (diminuer la fréquence d'apparition de la défaillance),
 - ❖ Soit de rendre le moyen de production plus maintenable (diminuer le temps d'immobilisation par la réduction des effets des défaillances);
- ✓ Par la mise en œuvre de dispositions organisationnelles concernant la maintenance ou la conduite de l'installation (exemple: définir la gamme de maintenance préventive, écrire les modes opératoires de réglage, mettre en stock des pièces de rechange, etc.).

Le choix du type d'action corrective à mettre en place doit être guidé par le critère le plus pénalisant dans la note de criticité. Par exemple, si la criticité d'une défaillance est élevée du fait de la fréquence, l'action corrective doit viser à diminuer prioritairement la fréquence.

Quand aucune action corrective ne peut permettre de ramener l'indice de gravité au-dessous de 4, le groupe de travail devra définir une action visant à maintenir ou à ramener les deux autres critères (fréquence et non détection) à une valeur égale à 1.

De la même manière, quand aucune action corrective ne permet de ramener l'indice de fréquence au-dessous de 4, l'action corrective définie par le groupe de travail doit permettre de ramener ou de maintenir les deux autres critères (gravité et détection) à une valeur égale à 1.

IV.5.1.5. Criticité - Indices finaux

Lorsque la définition d'une action corrective a été réalisée, l'évaluation des risques potentiels se traduit par le calcul de la nouvelle criticité, à partir de l'estimation des nouveaux indices de fréquence, de gravité et de non-détection. La nouvelle criticité est inscrite dans le tableau AMDEC en utilisant le même barème de cotation que celui ayant servi à la cotation initiale.

- **Indice F'** : l'amélioration de la note de fréquence F s'obtient par une action sur la fiabilité du composant analysé ou sur les conditions d'utilisation ou par une action de maintenance préventive systématique, etc. C'est l'action à rechercher en priorité.
- **Indice G'** : l'amélioration de la note de gravité G s'obtient par une action sur la maintenabilité ou sur l'aptitude à diagnostiquer et à réparer plus rapidement. Cela peut entraîner des modifications de conception (suivi de la qualité produite, confinement des risques, etc.).
- **Indice D'** : l'amélioration de la note de non-détection D s'obtient en agissant sur les moyens de détection (installation des capteurs, augmentation de la fréquence des inspections,...)
- **Indice C'** : $C' = F' \times G' \times D'$ qui permettra de quantifier le progrès réalisé.

Une fois les actions correctives identifiées et déterminées, le décideur validera la mise en application des actions correctives proposées par le groupe, en tenant compte des délais prévus, des coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance.

III.5.1.6. Suivi

Le suivi est un aspect fondamental pour le succès de la mise en œuvre de l'AMDEC.

Le suivi va permettre de vérifier que toutes les actions décidées ont été réalisées et que les nouvelles valeurs de criticité sont effectivement atteintes.

III.6. la feuille AMDEC de la pompe P105 :

III.7. Actions et recommandations entreprises :

III.7.1. Pour la cavitation :

La cavitation est la vaporisation d'un fluide soumis à une pression inférieure à sa pression de vapeur. Ce phénomène se manifeste par la formation, au sein de l'écoulement, de bulles, poches, tourbillons ou torches de vapeur. Dans les pompes, ces structures de vapeur apparaissent dans les zones de faible pression à l'entrée des aubes de roue et sont transportées dans les zones à plus haute pression. Sous l'action du gradient de pression, elles implosent dès que la pression locale dans l'écoulement redevient supérieure à la pression de vapeur. Ces implosions produisent des micros jets et des surpressions (onde de choc) qui peuvent atteindre plusieurs centaines, voire milliers de bar. Une pompe qui Cavite s'use rapidement. [12]



Figure III-1 : Érosion par cavitation d'une roue de pompe centrifuge (doc. EDF-DER)

III.7.2. Pour la vanne d'aspiration :

Il est recommandable de l'entretenir par le nettoyage et le graissage de la tige, mais le problème le plus important c'est qu'il restera impossible d'intervenir (les interventions qui nécessite le démontage de la vanne) sans l'arrêt du train, pour cela nous recommandons l'installation d'une deuxième vanne identique à la première qui a pour rôle d'isolement en cas de défaillance de la première vanne.

Cette mesure de sécurité est adoptée pour la pompe P004.



Figure III-2 : 2 Vannes à l'aspiration

III.7.3. Pour le bruit et les vibrations :

La raison principale de cette défaillance étant l'usure excessive des paliers (les coussinets en bronze). À cet effet nous recommandons l'utilisation des coussinets en carbone, en raison de

- sa :
- Résistance aux chocs thermiques.
 - Qualité tribologique et durée de vie.
 - Résistance à la corrosion.
 - Tenue en température.
 - Légèreté (densité 1,8 à 2,5).
 - Faible dilatation thermique.



Figure III-3 : Usure de coussinet

Autres causes probables de l'usure :

Plusieurs autres problèmes peuvent causer l'usure rapide des coussinets de la pompe :

- **La présence d'un balourd :**

On définit un balourd comme étant la distribution non homogène de la masse autour de l'axe de rotation, qu'est l'une des causes principales de vibration au niveau des paliers susceptibles d'accélérer leur dégradation.

L'arbre de la pompe ainsi que les impulseurs nécessite un équilibrage très précis à chaque révision générale.

- **La présence d'eau dans le ballon d'aspiration D108**

Pour éviter l'aspiration de l'eau par la pompe nous recommandons l'augmentation de la fréquence de purge du ballon d'aspiration.

- **Excentricité de l'arbre :**

L'excentricité de l'arbre provoque des vibrations au niveau des éléments tournants d'où une ovalisation et une usure des coussinets. Cette excentricité est tolérée jusqu'à 0,45 mm, nous proposons de l'abaisser à 0,38 mm qui est le jeu max entre le coussinet intermédiaire et l'arbre, et pour cela, nous avons prévu une révision des tolérances.

- **Désalignements de l'ensemble « Pompe - moteur » :**

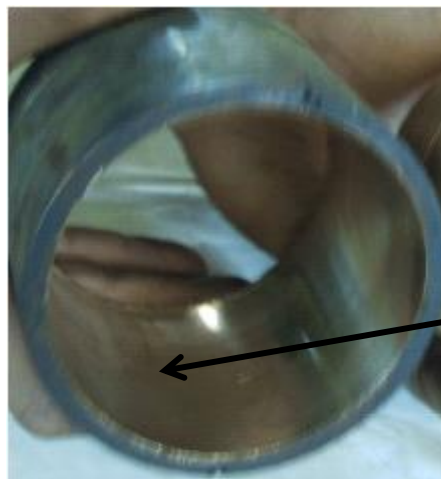
Le désalignement entre la pompe et le moteur crée des contraintes normales à l'axe de la pompe. Celles-ci tendent à dévier l'arbre de sa position et provoquer ainsi un balourd, d'où une usure non uniforme des coussinets.

Le désalignement provoque une usure considérable des coussinets qui ont le rôle de guidage, pour cela nous recommandant d'aligner soigneusement toutes les parties de l'accouplement en suivant les étapes suivantes :

1. Mesurer la déviation de manchon de l'accouplement sur le moteur.
2. Installer et aligner l'entretoise d'accouplement avec le moteur.
3. Après avoir installé et aligner l'entretoise, mesurer et corriger les déviations radiale et axiale sur le couvercle de la garniture mécanique.

- **La présence des particules abrasives :**

L'usure abrasive est définie comme l'usure par déplacement de matière, produite par des particules dures. Les particules abrasives peuvent avoir deux origines ; soit elles proviennent des débris d'usure adhésive, soit elles sont produites par des salissures (par exemple du sable) ayant pénétré dans le système, c'est la raison pour laquelle une bonne filtration est importante.



Dégradation de la surface par usure abrasive.

Figure III-4 : Etat de surface d'un coussinet usé

Il faut prendre toutes les mesures nécessaires pour éviter que des substances abrasives se trouvent dans les canalisations ou dans la fosse et puissent entrer dans la pompe. Et aussi de prévoir une filtration plus efficace par l'utilisation d'un filtre de meilleure finesse, en tenant compte de la perte de charge qu'il va engendrer et la condition limite de cavitation.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail nous avons traité un sujet d'une importance capitale pour l'unité MPP IV, car l'équipement (P105) analysé est stratégique vu son rôle dans le processus de traitement.

Nous avons apporté quelques solutions pour éviter les défaillances critiques et améliorer la disponibilité de la pompe centrifuges P105, où nous avons touché d'une part, au plan de maintenance en proposant d'ajouter l'opération d'équilibrage de l'arbre et les roues dans la maintenance de niveau 2, et aussi de réduire l'excentricité tolérée de l'arbre que nous avons jugé élevée car elle a dépassé le jeu admissible de coussinet et la chemise d'arbre. Et d'une autre part, lors de la mise en place de la pompe, et particulièrement lors de l'alignement du moteur par rapport à la pompe, nous avons proposé de suivre une procédure plus rassurante en évitant le risque de désalignement de l'entretoise, mais nous pouvons dire que le seul moyen de s'assurer que les recommandations que nous avons proposé ont des effets positifs sur la disponibilité de la pompe, c'est bien que l'expérience et la mise en œuvre et le suivi.

En dehors de la pompe, la gravité de défaillance de la vanne d'aspiration est très élevée, et pour cela, la mesure de sécurité adoptée pour la pompe P004 est très lucrative pour le cas de la P105, car la deuxième vanne à l'aspiration nous donne la possibilité d'intervenir sans faire arrêter le processus de traitement.

Au terme de ce travail, nous espérons que l'étude que nous avons menée trouvera son application au sein de l'entreprise et qu'elle donnera satisfaction.

Recherche bibliographique :

[1]KHALDI et LATRECHE (2014) : « Etude d'une pompe centrifuge a un étage». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Génie mécanique, Centre Universitaire Ain Temouchent.

[2]SAADI et MADOUNI (2014) : « Les stations de pompage dans les réseaux d'assainissement » Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Licence en Hydraulique, UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID TLEMCEN.

[3]Formation TOTAL: MAINTENANCE MECANIQUE LES POMPESManuel de formation EXP-MN-SE090-FR Dernière révision: 26/11/2008

[4]MANUEL DE FORMATION TOTAL EQUIPEMENT/ COURS EXP-PR-EQ070/ Révision 0.1Support de Formation: EXP-PR-EQ070-FRDernière Révision: 13/04/2007

[5] AFNOR guide de l'utilisateur : contrats de maintenance 2^e Edition 1988, AFNOR.

[6]Retour D, bouche M et Plauchu V, ou va la maintenance industrielle, problèmes économiques, No.2.156, pp. 7-13,24 janvier1990.

[7]Monchy, F, la fonction maintenance : formation a gestion de la gestion de la maintenance industrielle, collection technologies de l'université a l'industrie MASSON, 1991.

[8]Nakajima S, la maintenance productive totale (TPM), nouvelle vague de la production industrielle AFNOR gestion

[9]Nakajima S, la maintenance productive totale : mise en œuvre, AFNOR 1989.

[10]Lyonnais P, maintenance mathématique et méthode, troisième Edition technique Edition Lavoisier, France, 1992.

[11] Gérard Landy, AMDEC-Guide pratique.

[12] Jean-François LAPRAY Ingénieur de l'École Nationale Supérieure