

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Tlemcen
Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique



MEMOIRE
DE MASTER EN GENIE MECANIQUE
OPTION : MAINTENANCE INDUSTRIELLE

THÈME

**Analyse et diagnostic des pompes industrielles
(Etude de cas au niveau de HENKEL
Ain Temouchent)**

Préparé par : ABDALLAH BENKHATTOU hocine

Examiné par le jury:

Encadreur	Mr: KERBOUA Bachir	MCA
Président	Mr: HADJOUI Abdelhamid	Pr
Examineur	Mr: ALIANE Khaled	MCA
Examineur	Mr: MANGOUCI Ahmed	MAB

PROMOTION 2011/2012

DÉDICACES

Je dédie humblement ce mémoire :

A mes très chers parents pour leur amour, soutien et encouragement.

A tous les membres de la famille, ceux qui m'ont fait rire quand j'en avais vraiment besoin.

A mes enseignants de l'école primaire, moyen, secondaire et de l'université.

A tout le groupe MI.

A tous mes amis: Nemmiche, Amine, Ali, et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.

hocine

REMERCIEMENTS

Nous saisisons cette occasion pour remercier DIEU le tout puissant de nous avoir aidé à concrétiser ce mémoire au terme de nos cinq années d'études.

Nous présentons nos vifs remerciements à notre encadreur Mr KERBOUA qui trouve ici tout notre considération pour avoir proposé ce thème, ainsi pour son esprit critique, ses orientations et ses précieux conseils.

Nous tenons à remercier aussi les membres du jury :

- Hadjoui Abdelhamid-professeur*
- Aliane Khaled-maitre de conférence*
- Mangouchi Ahmed*

Ils ont fait l'honneur d'apprécier ce modeste travail, nous leur adressons l'expression de notre profonde gratitude.

Il nous est très agréable de pouvoir remercier tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nous souhaitons également remercier tous ceux qui d'une manière ou d'une autre ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Abdallah benkhattou hocine

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicaces

Liste du figure et tableau

Liste des symboles

Résumé

Introduction

PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE HENKEL	1
1.Introduction	1
2.Historique de l'entreprise HENKEL ALGERIE (H .A)	2
3.Présentation de l'entreprise HENKEL Algérie	3
4.Fabrication les détergents	3
4. 1.Les détergents	4
4.2.Rôle et action	4
4.3.Fabrication et utilisations	4
4.4.La fabrication de la matière active	4
5.Traitement d'air	4
5.1.Compression	4
5.2. Refroidissement	5
5.3. Déshumidification	5
5.4.séchage du slurry.....	6
5.5. Tamisage et séparation de la poudre	6
6. Maintenance	6
7.Conclusion.....	7
CHAPITRE 1. GÉNÉRALITÉS ET DESCRIPTION POMPES	8
Généralités	8
1.1.Historique	8
1.2.Introduction	8
1.3.Généralités sur les pompes	9
1.3.1. Notion fondamentale	9
1.3.2. Fondement de la classification des pompes	9
1.4. Pompes centrifuges.....	10

1.4.1. <i>Le type de l'impulseur</i>	10
1.4.2. <i>La méthode d'entraînement</i>	11
1.4.3. <i>Description d'une pompe centrifuge simple</i>	11
1.4.3.1. <i>Ensemble mobile appelé rotor</i>	12
1.4.4. <i>Fonctionnement d'une pompe centrifuge</i>	12
1.4.5. <i>Triangle de vitesse</i>	13
1.5. <i>Courbes caractéristiques</i>	15
1.5.1. <i>Caractéristiques Hauteur – Débit</i>	15
1.5.2. <i>Caractéristique Rendement, Puissance - Débit</i>	16
1.5.3. <i>Caractéristique NPSH – Débit</i>	17
1.5.4. <i>Condition de bon fonctionnement</i>	18
1.6. <i>Variation des caractéristiques</i>	19
1.6.1. <i>Réduction du diamètre des roues (rognage)</i>	19
1.6.2. <i>Modification de la vitesse de rotation</i>	20
1.7. <i>Marche en série et marche en parallèle</i>	20
1.7.1. <i>Marche en série</i>	20
1.7.2. <i>Marche en parallèle</i>	21
CHAPITRE 2 . LES DIFFÉRENTS TYPES DES POMPES	23
2.1. <i>Introuction</i>	23
2.2. <i>Pompes volumetriques rotatives</i>	23
2.2.1. <i>Pompes à vis</i>	23
2.2.1.1. <i>Pompes à deux vis à engènement direct</i>	24
2.2.1.2. <i>Pompes à deux vis à engrenages de synchronisation</i>	25
2.2.1.3. <i>Pompes à trois vis</i>	26
2.2.2. <i>Pompes à engrenages</i>	27
2.2.2.1. <i>Pompes à engrenages extérieur</i>	27
2.2.2.2. <i>Pompes à engrenages intérieurs</i>	28
2.2.2.3. <i>Pompes à rotor hélicoïdal excentré</i>	29
2.2.3. <i>Pompes à piston rotatif</i>	30
2.2.4. <i>Pompe à palettes rigides</i>	31
2.2.5. <i>Pompes peristaltiques</i>	31
2.3. <i>Les pompes volumetriques alternatives</i>	32
2.3.1. <i>Pompes à piston</i>	32
2.3.2. <i>Pompe à membranes</i>	33
CHAPITRE 3 . EXPLOITATION ET MAINTENANCE DES POMPES TYPES P408	34

3.1. Exploitation des pompes	34
3.2. Organisation de l'entretien preventif.....	35
3.2.1. <i>ENTRETIEN JOURNALIER</i>	35
3.2.2. <i>ENTRETIEN DE LA GARNITURE MECANIQUE</i>	35
3.3. Organisation du service maintenance.....	36
3.3.1. <i>Maintenance preventive</i>	36
3.3.1.1. <i>Maintenance preventive systematique</i>	37
3.3.1.2. <i>Maintenance preventive conditionnelle</i>	37
3.3.2. <i>La maintenance corrective</i>	37
3.4. Precautions d'entretien de la pompe.....	37
3.4.1. <i>Lubrification</i>	37
3.4.2. <i>Demontage, reparation et remontage</i>	39
3.4.2.1. <i>Preparation du demontage</i>	39
3.4.2.2. <i>Demontage d'une pompe</i>	39
3.4.2.3. <i>Palier de la pompe</i>	40
3.4.2.4. <i>Montage du rotor et de la pompe</i>	41
3.4.3. <i>Technologie de la reparation partielle</i>	41
3.4.3.1. <i>Restauration de l'arbre</i>	41
3.4.3.2. <i>Restauration des paliers</i>	42
3.5. Gamme operatoire.....	43
3.6. Gestion des stocks	44
3.7. Analyse de la fiabilite des equipements.....	44
3.7.1. <i>Diagrammes des organes critiques</i>	44
3.8. Proposition de suivi des equipements.....	45
3.8. 1. <i>Tableau de suivi des defaillances par nature</i>	45
3.8. 2. <i>Tableau de suivi des defaillances par causes</i>	46
CHAPITRE 4. CALCUL DES POMPES TYPES P408 ET SECURITE	47
4.1. Calcul hydraulique	47
4.1.1. <i>But</i>	47
4.1.2. <i>Les donnees de depart</i>	47
4.1.3. <i>Vitesse specifique N_s</i>	47
4.1.3. <i>Diametre de l'arrete d'entree</i>	48
4.1.4. <i>Calcul du rendement de la pompe</i>	48

4.1.4.1. Rendement hydraulique (η_h).....	48
4.1.4.2. Rendement volumétrique (η_v)	48
4.1.4.3. Rendement mécanique η_m	49
4.1.4.4. Rendement global	49
4.1.5. Calcul des puissances.....	49
4.1.5.1. La puissance consommée par la pompe (P_{ab}).....	49
4.1.5.2. La puissance du moteur (P_m).....	49
4.1.6. Calcul préalable de l'arbre	50
4.1.6.1. Diamètre de l'arbre (d_a)	50
4.1.6.2. Calcul de couple de rotation (M_t).....	50
4.1.6.3. Calcul de la contrainte admissible (τ)	50
4.1.7. Diamètre moyen de la roue (d_m).....	51
4.1.7.1. Détermination des paramètres à l'entrée de la roue.....	51
4.1.7.2. Calcul des paramètres de la sortie de la roue.....	54
4.1.8. Calcul des vitesses relatives à l'entrée et à la sortie de la roue.....	55
4.2. Définition.....	56
4.3. Causes des accidents du travail	56
4.4. Organisation de sécurité	56
4.5. Sécurité au niveau de l'atelier	57
4.6. Sécurité du personnel	57
4.7. Sécurité de la pompe	58
4.7.1. Sécurité avant de mettre la pompe en marche.....	58
4.7.2. Sécurité de la pompe pendant le fonctionnement	58

Conclusion

Bibliographie

Présentation de l'entreprise HENKEL

1. Introduction

L'Algérie fait partie des pays qui s'intéressent de près, ces dernières années, au développement dans les domaines qui touchent l'industrie chimique et ce malgré le manque de potentiel humain spécialisé et des techniques de fabrication tenue secrètes à nos jours par les grandes entreprises industrielles. [1]

L'industrie des détergents joue un rôle important sur le marché national et international. C'est pour ces raisons on a choisi la wilaya Ain Temouchent pour découvrir le coté industriel de la wilaya,

L'activité industrielle au niveau de notre région est relativement dense, mais celle ci gagnerait à devenir plus importante dans l'avenir, vu les atouts économiques et naturels conséquents dont dispose la région. En effet, le secteur industriel est relativement peu développé dans cette wilaya en comparaison avec autres des wilayas limitrophes:

Oran, Tlemcen et Sidi Bel Abbès.

Le secteur industriel public est composé de 06 unités industrielles dont les plus importantes sont :

- Le complexe de détergents E.N.A.D/HENKEL de Chabaat El L'Ham.
- La cimenterie SCIBS de Béni Saf qui est l'une des plus importantes de l'ouest Algérien.
- Une unité de l'entreprise manufacturière E.N.I.P.E.C

Le secteur industriel privé, spécialisé dans la branche légère, dispose de 13 unités industrielles agro-alimentaires principalement telles que les boissons gazeuses la production de papier, la fabrication de bonbons....

La Wilaya dispose aussi de plusieurs zones industrielles, dont celles d'Ain Temouchent, de Beni Saf et de quelques 30 zones d'activités réparties dans presque l'ensemble de ses communes.

D'un autre coté, L'activité minière dans la Wilaya est exercée par seize (16) carrières activant dans les domaines de l'agrégat, pouzzolane, sable, tuf, carbonate de calcium

Pierre de taille, argile et calcaire pour ciment, totalisant 330 postes d'emplois et une production totale de 3,6 Millions de tonne en 2002.

En effet, il ya une concurrence accrue entre les produits détergents nationaux comme ISIS, TEST, AIGLE, etc.

Le complexe HENKEL fait des efforts considérables pour améliorer la qualité de ses produits, cette amélioration est atteinte par la multiplication des travaux de recherches ainsi que par le remploi des nouvelles méthodes d'analyse plus performantes et plus précises communément utilisées à l'échelle des grandes industries des détergents dans le monde.

Les gammes des produits, lancées par HENKEL sont: ISIS FORCE BLUE, ISIS MULTI-USAGE, LE CHAT MAIN, LE CHAT POWER PERLS,

Actuellement, les détergents en poudre font l'objet de toutes les convoitises, ils sont considérés comme des produits de base pour tous les types de nettoyage.

Le but de notre travail consiste à explorer les nouvelles méthodes de production des détergents synthétisés dans le complexe HENKEL Ain-Temouchent et la description des détergents et des analyses récentes employées par le laboratoire du complexe pour l'évolution de la qualité des produits à différentes étapes de leur préparation de plus ce travail traite sur les règles de sécurité industrielle, appliquées au niveau du complexe HENKEL avec une présentation de tous les risques, les préventions, les préconisations, et les moyens de sécurité suivis avec rigueur dans toutes les unités et particulièrement dans l'unité 400 et dans le laboratoire.

2. Historique de l'entreprise HENKEL ALGERIE (H.A)

Le site Ain- t'émouchent a été programmé dans le cadre du plan quadriennal 1970 -1974, ce plan avait pour objectif la création de trois complexes identiques repartis dans le territoire national,

Ain t'émouchent, Sour El ghoulane et chelghoum el aïd afin de produire des détergents solides et liquides, la réalisation de ces projets a été confiée à la société ****ITAL CONSULT****

➤ L'E.NAD est une entreprise nationale qui a connu des périodes différentes dont l'histoire est résumée ci-dessous

➤ 20/06/1974: lancement d'appel d'offre international.

➤ 1974-1975: études des efforts.

➤ 12/11/1975: premier contact avec l'entreprise ***ITALCONULT*** d'origine italienne avec la mise en vigueur du contact le 15/12/1976.

➤ 01/08/1981:entreprise ***ITALCONSULT*** abandonne le projet.

➤ 15/03/1986: second contrat avec l'entreprise italienne ***ITALPIANT***

➤ 23/03/1986: début de production.

➤ 20/11/1994: réalisation d'une station d'épuration des eaux usées par la ; société d'épuration et l'entreprise SEE-BELG.

➤ En MAI 2000: un contact de partenariat a été conclu avec la société allemande HENKEL spécialisée dans la fabrication des détergents avec une participation allemande autour de 60% et une participation algérienne autour de 40% l'investissement allemand concerne essentiellement les domaines de la production et de l'informatique.

3. Présentation de l'entreprise HENKEL Algérie

HENKEL Algérie site d'Ain-Temouchent est une entreprise industrielle internationale spécialisée dans la fabrication du détergent et des produits d'entretien, Son activité principale est de fabriquer et commercialiser des détergents moussants et non moussants en poudre qui a pour objectif d'occuper une position de leader sur le marché

➤ Sa politique

Elle assure sa responsabilité vis-à-vis de société en matière de qualité, de la sécurité et des aspects environnementaux.

➤ Son engagement

- Produire et commercialiser des produits utiles, avec avantage Important et sans risque pour le consommateur.

- Respecter les noms et lois nationales et internationales

- Utiliser la meilleure technologie avec toutes les garanties.

- Former, sensibiliser le personnel et les fournisseurs à l'importance de leur rôle.

➤ Implantation

Le complexe de détergent HENKEL Algérie d'Ain temouchent est situé dans la zone industrielle du chef lieu de la wilaya au Nord est la ville il est limité au:

- Sud: par un château d'eau(EPEOR) et (EDIEDJ)

- Nord: par EDIMCO, deux ateliers de menuiserie de GPI, conserverie, fromagerie, une station de traitement des régates liquide (HA) et une entreprise privés de parpaing

- Est: par des terrains agricole (DAP) et entreprise sonal gaz Ouest: par un chemin de wilaya et deux entreprises privés et conserverie

4. Fabrication les détergents

Une première catégorie de détergents englobe les savons et les poudres à base de savon ; une seconde comprend les détergents synthétiques (« sans savon ») et qui sont le plus souvent à l'origine de poudres ou de liquides employés pour le lavage du linge, de la vaisselle et pour l'entretien ménager. Ces derniers produits ont pratiquement détrôné les premiers.

4.1. Les détergents

La législation en matière de détergents permet une meilleure protection de l'environnement en préservant les systèmes aquatiques contre les effets nocifs de certaines substances présentes dans les détergents. D'autre part, la protection des consommateurs est renforcée grâce à un étiquetage plus complet qui inclut toute substance susceptible de provoquer des allergies.

4.2. Rôle et action

Les détergents ont pour rôle de modifier, à l'aide de produits tensioactifs, l'état de surface de l'eau qui, en raison du phénomène de tension superficielle, ne parvient qu'imparfaitement à mouiller les objets ; ils doivent, en outre, décoller les salissures (taches de graisse et particules de salissures solides [poussière]) et les maintenir en suspension dans l'eau. L'usage des détergents biodégradables s'est instauré dans tous les pays industrialisés depuis le début des années 1970, et l'apparition des détergents aux enzymes, ou détergents biologiques, a permis une action efficace sur les taches d'origine protéinique.

4.3. Fabrication et utilisations

La plupart des détergents sont obtenus par action de l'acide sulfurique sur des dérivés du pétrole (réaction de sulfonation) ou bien par la condensation de l'oxyde d'éthylène sur ces mêmes alcools gras. Ces produits tensioactifs sont complétés par l'adjonction d'autres produits : poly phosphates, produits dispersifs des salissures, agents de blanchiment, etc. ; une poudre détergente contient, de plus, un peu d'eau, des parfums et des azurants optiques, des produits stabilisant la mousse. Outre leurs utilisations ménagères, les détergents trouvent aussi des applications dans les industries de la métallurgie, des lubrifiants, des textiles, etc.

4.4. La fabrication de la matière active

Est l'une des étapes la plus importante du procédé, elle se déroule dans l'unité 100 est passe par les étapes suivantes:

■ Traitement de l'air Produit SO₃

■ Sulfonation et neutralisation de DDB

5. Traitement d'air

Il passe en trois étapes

5.1. Compression

L'air de l'atmosphère est aspiré à l'aide d'un compresseur conduit à travers un filtre pour le

débarrasser des impuretés. Après, il subira une compression dans des conditions qui dépendent de la température de l'atmosphère.

5.2. Refroidissement

L'air s'écoule dans un réservoir de refroidissement. Ce dernier se compose de deux échangeurs, l'un à base d'eau et l'autre base d'eau glycolée à une température comprise entre 3 et 5°C. Ensuite, l'eau glycolée est refroidie dans la trane contenant du fréon (agent frigorifique) puis recyclée dans l'opération suivante.

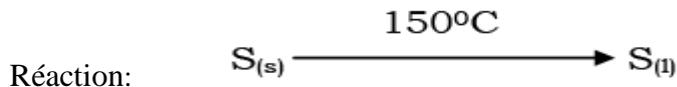
5.3. Déshumidification

Cette opération se passe dans une tour de sélicagel. Celle-ci est constituée de deux niveaux l'un en service assurant le séchage et l'autre en phase de régénération. A la sortie de la tour, l'air déshumidifié est à une température de 30°C.

Production SO₃

Le soufre solide est transformé à l'état liquide par injection de vapeur d'eau surchauffée.

Le soufre est ensuite conduit à la deuxième cuve pour filtrer.



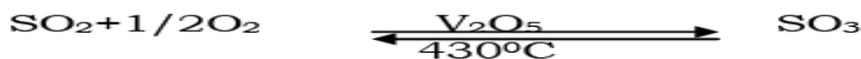
Le four de combustion: le dioxyde de soufre SO₂ est obtenu au cours de cette étape selon la réaction ci-dessous:



Avec catalyseur (4 étage avec une matière V₂O₅) le pentoxyde de di vanadium. En 1891, BASF découvre le catalyseur le plus Efficace :

le pentoxyde de di vanadium V₂O₅

La température d'inversion est de 1058 K, soit 785 °C



On constate que le trioxyde de soufre inhibe la réaction : c'est un poison pour le catalyseur, et il faut donc l'éliminer rapidement au fur et à mesure de sa formation, de Manière à ce que la pression partielle du trioxyde de soufre soit toujours faible et que La vitesse soit proportionnelle uniquement à la pression d'oxygène.

On constate que plus la quantité d'air utilisé, donc d'oxygène, est importante, plus la Réaction est complète et rapide, à condition d'éliminer le trioxyde formé dès sa formation, d'où la

nécessité de faire une synthèse en continu.

Cela de permet aussi un rendement horaire important.

Après ca on fait la sulfonation DDB (dodécyl benzène) :

On prend dans cette étape SO_3 et ajoute la matière LAB



Après cette étape on fait la neutralisation DDBS avec NaOH on obtient

DDBSNa

5.4. Séchage du slurry

Lors de la préparation du slurry, une pompe aspire la basse pression (5-6) vers une pompe à haute pression (30-40 bars) qui refoule vers les gicleurs en haute de la tour d'atomisation, un air chaud est généré par un four (350°C) entre dans la tour par bar.

Le contact à contre courant entre le slurry et l'air chaud permet de le sécher; le slurry atomisé en haut de la tour, tombe directement sur le tapis.

5.5. Tamisage et séparation de la poudre

La poudre sèche est récupérée par un ruban pins tram portée vers les deux tamis vibreur pour permettre à la poudre de granulométrie voulue de passer est envoyée vers la section de la porte d'addition pour ajouter quelque additifs (parfum, STTP coloré,...) et après vers la sélection du conditionnement

Dans l'unité 400, deux types de détergents sont préparés:

- Détergents poudre moussant.
- Détergents poudre non moussant.

Remarque: Dans ISIS Perfectif on ajoute les copeaux de savon Marseille

6. Maintenance

Mon admission dans le service maintenance a eu un effet primordial sur l'orientation de mes travaux. Une grande partie de la période de stage était en effet allouée à des interventions sur le terrain ayant pour but la maintenance et la mise en l'état des équipements.

Plusieurs interventions ont été appuyées par une documentation disponible dans les services concernés. Ceci était très

Utile pour rendre nos actions plus pertinentes sans avoir à perdre du temps ou à endommager les équipements.

Cependant, à cause de l'absence de certains documents, les solutions trouvées n'étaient que temporaires et difficiles à apporter.

Il est à souligner l'importance du service maintenance, car la prévention et la rapidité d'intervention sont essentielles dans le bon fonctionnement d'une usine.

Une habilité de manipulation est nécessaire, néanmoins celle-ci s'acquiert avec une pratique régulière.

Il m'a été donné de remarquer également l'obligation pour un agent de maintenance de posséder une boîte à outils comprenant tous les appareils de mesure notamment le Multimètre.

Une utilisation d'un matériel de marque reconnue n'est pas à regretter car il est à noter que l'utilisation d'un outillage de mauvaise qualité est un paramètre perturbateur ayant pour effet d'engendrer de mauvaises décisions et de retarder les travaux. Des défauts de mesure peuvent causer une mauvaise appréciation de la réalité.

Des arrêts annuels appelés « arrêts techniques » sont nécessaires dans une usine, ils permettent de:

- *Établir le bilan technique afin de mettre en place une stratégie de maintenance.

- *Effectuer toute modification ou nouvelle installation.

- *Réaliser une meilleure efficacité d'intervention.

- * Éviter une répercussion sur la production.

Tout agent de maintenance doit assister aux opérations de montage des différentes installations.

7. Conclusion

Le stage effectué au sein de la société HENKEL Algérie dans son complexe de Chaabat el lehame Wilaya de AinTémouchent a été très enrichissant. Nous avons également appris des connaissances nouvelles grâce à des exercices de conception et de réalisation.

En raison de l'exigence du poste et des fonctions de notre tuteur nous avons pu avoir une vision pluridisciplinaire du rôle de l'ingénieur dans une usine.

En effet, la complexité de la chaîne industrielle dans son processus impose la maîtrise des technologies sollicitées par celui-ci. Cela, afin de pouvoir faire une synthèse indispensable lors de l'apparition d'avaries. Cependant, il est souhaitable que l'ingénieur acquière cette pluridisciplinarité lors de son cursus. Cette spécificité s'avère indispensable dans toutes les fonctions d'ingénieur. A noter que l'expertise en génie mécanique devient de plus en plus sollicitée par l'industrie nationale.

Chapitre 1. Généralités et description des pompes

Généralités

On appelle turbomachine un appareil dont le rôle est d'assurer un échange d'énergie mécanique entre un débit permanent de fluide et un rotor tournant à vitesse constante autour d'un axe.

Une turbomachine dite génératrice lorsqu'elle communique de l'énergie au fluide et, réceptrice lorsqu'elle en reçoit de celui-ci. [2]

Toutes les machines de détente portent le nom de turbines, alors que celle de compression se subdivisent en pompes ; ventilateurs, compresseur ou soufflantes selon la nature du fluide véhiculé et sa compressibilité.

Les turbomachines sont réparties en deux classes :

- Réceptrice : turbine à vapeur, turbines à gaz, turboréacteurs.
- Génératrice : compresseurs, pompes, soufflantes.

1.1. Historique

La première pompe a été inventée, il y a longtemps, pour l'équipement cardiaque des êtres vivants. Bien que d'un dessin ancien, elle est toujours en opération.

Dans un passé plus récent, à l'antiquité, le pompage des liquides est apparue comme un besoin, qui a conduit l'homme à développer une technologie que l'on peut qualifier d'avancée. Il est intéressant de constater que certains types de pompes, vieux de 2 000 ans, sont encore produites et commercialisées à nos jours, avec succès. C'est le cas de la vis d'Archimède.

La technologie des pompes a évolué lentement, et même très lentement pendant deux millénaires, pour finalement exploser à la fin du siècle passé et se placer sur une autre trajectoire, à pente fortement positive pour participer au développement technique.

1.2. Introduction

Les pompes centrifuges sont le type de pompe le plus répandu dans l'industrie. Leur fonction est d'assurer le débit de liquide souhaité par l'exploitant mais dans des conditions de pression imposée par les procédés et les applications, avec des contraintes particulières à l'installation, l'environnement, la fiabilité, la sûreté, etc. [2]

1.3. Généralités sur les pompes

1.3.1. Notions fondamentales

Nous appelons pompes, toutes les machines qui servent à élever les liquides ou les mélanges de liquide avec des corps solides d'un niveau inférieur à un niveau supérieur, ou à refouler les liquides d'une région à faible pression vers une région à haute pression.

1.3.2. Fondement de la classification des pompes

a) Suivant le mode de déplacement du liquide entre les régions d'aspiration et refoulement. On divise les pompes en deux classes

✓ Pompes à déplacement (volumétrique).

Le principe de fonctionnement d'une pompe volumétrique consiste à déplacer une portion déterminée de liquide de la région d'aspiration vers la région de refoulement au moyen d'un mouvement approprié.

✓ Turbopompes.

Le principe de fonctionnement d'une turbopompe consiste à augmenter le moment cinétique ou la circulation du liquide au moyen d'une roue fixée sur un arbre tournant, mais d'une manière invariable avec le déplacement du rotor ; d'autre part elle n'est pas distribuée uniformément dans tout le liquide.

On peut résumer la classification de toutes les pompes de façon suivante :

- **Turbo pompe**
 - Centrifuge : simple étage, multi étages
 - Hélice
 - Hélico-centrifuge
 - Turbine

- **Pompes volumétriques**
 - Rotatives : à engrenage, à vis, à palettes, à cames et pistons.
 - Alternatives : à pistons, à membranes

b) Suivant le mode de commande, on divise les pompes en

- ✓ pompes à commande mécanique (au moyen de moteurs hydrauliques, turbine à vapeur ou à combustion interne).
- ✓ pompes à commande électrique (au moyen de moteurs électrique).

c) *Fondement de la classification des systèmes de pompage*

Nous appelons système de pompage un système comportant une conduite d'aspiration, une pompe et une conduite de refoulement.

d) *Énergie d'un liquide transportant des solides en suspension*

Les turbopompes sont souvent employées pour élever des liquides contenant des particules solides en suspension dont la présence exerce une influence prépondérante sur le rendement mécanique et hydraulique de la pompe.

Il faut clairement se rendre compte que l'énergie cinétique des particules solides transportées par un liquide courant ne peut être convertie en énergie de pression. Le transport des particules solides par un liquide cause des pertes hydrauliques complémentaires, en raison de frottement des particules liquides contre la surface des corps solides, et ces derniers contre les parois de la conduite ; ces pertes diminuent le rendement de la pompe.

1.4. Pompes centrifuges

Le mouvement du liquide est rigoureusement normal à l'axe, car il pénètre au centre de la roue et il est projeté vers l'extérieur par l'action combinée de la force centrifuge et des aubes du rotor.

La volute du corps transforme la vitesse acquise par le liquide en pression, c'est le type le plus courant des pompes à cause de sa versatilité et des innombrables variations possibles qui portent sur :

- ✚ Le mode de conversion de la vitesse en pression.
- ✚ Volute : spirale, concentrique, etc.
- ✚ Diffuseur à aubes.
- ✚ Changement de section de la tubulure de refoulement.

1.4.1. *Le type de l'impulseur*

- Ouvert, semi-ouvert, fermé.
- Roue simple ou roue double.
- Le nombre d'étages.
- Le type de corps.
- Simple ou double.
- L'orientation de l'axe.
- Horizontal.
- Vertical.
- Incliné.

1.4.2. La méthode d'entraînement

Avec accouplement, moteur en prise directe, moteur immergé, etc.

1.4.3. Description d'une pompe centrifuge simple

La pompe centrifuge la plus simple est la pompe monocellulaire à roue en porte à faux (figure I.1).

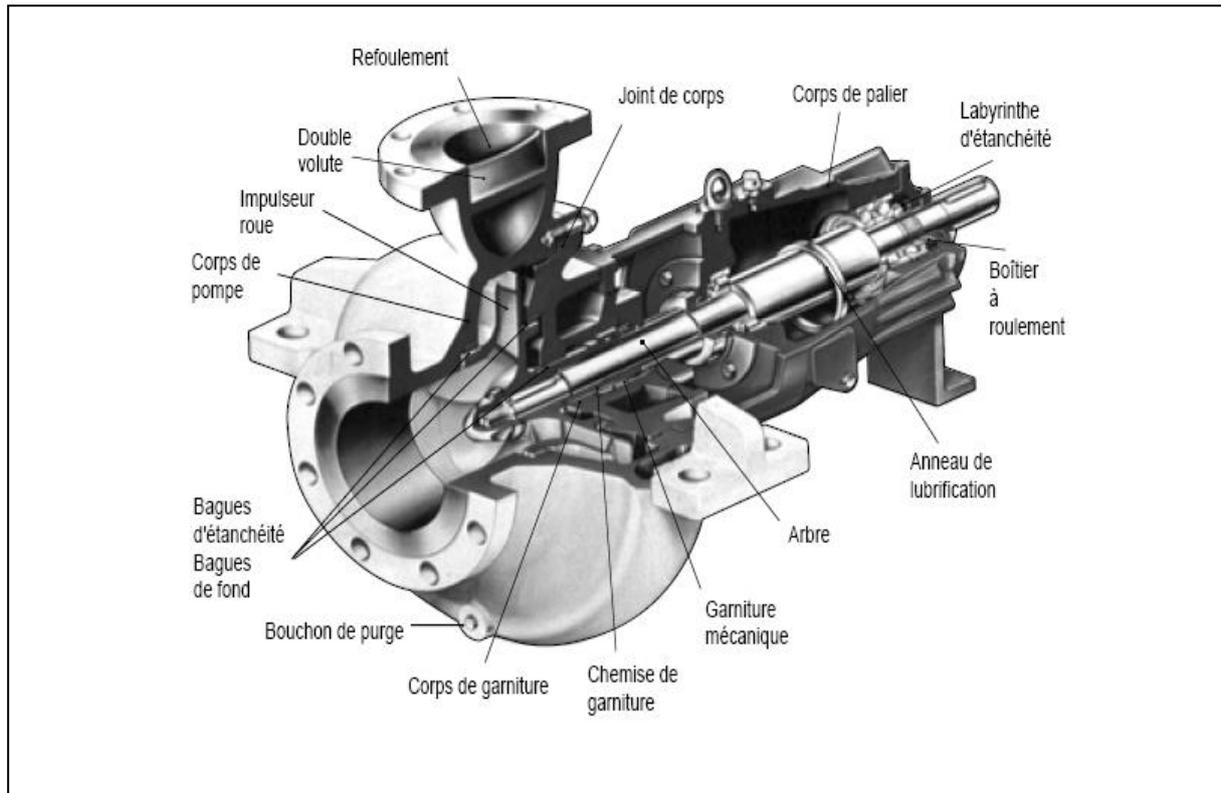


Figure I.1 : Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux.

Cette pompe est composée d'éléments statiques et de pièces tournantes.

On distingue dans les éléments statiques :

- ✓ Le corps de pompe sur lequel se trouvent les tubulures et les brides d'aspiration et de refoulement, la volute et les pieds (ou pattes) de fixation sur le châssis.
- ✓ Le corps de garniture (ou plateau de garnitures) fermant l'arrière du corps de pompe, il est traversé par l'arbre et reçoit le système d'étanchéité (tresses ou garniture mécanique).
- ✓ Le corps de palier dans lequel sont montés des roulements ou des paliers à coussinet et contient le système de lubrification. Le corps de palier possède souvent une béquille de support.

✓ Les parties tournantes ou rotor composé de l'arbre sur lequel sont montés les roulements, l'impulseur(ou roue), le moyen d'accouplement et les pièces tournantes des garnitures mécaniques.

1.4.3.1. Ensemble mobile appelé rotor

Il est composé des éléments suivants

- d'un arbre sur lequel sont montés :
 - ✓ un impulseur (ou roue).
 - ✓ un accouplement permettant la liaison avec la machine d'entraînement
 - ✓ diverses pièces telles que les chemises d'arbre, déflecteur ou labyrinthe d'étanchéité, écrous de fixation, ...
- d'éléments liant le rotor et les pièces fixes soumises à frottement :
 - ✓ les roulements
 - ✓ la garniture d'étanchéité

Parmi ces différentes pièces, l'impulseur et la volute sont celles qui sont directement impliquées dans la fonction de pompage de la machine où se produisent les variations de vitesse et de la pression du liquide.

1.4.4. Fonctionnement d'une pompe centrifuge

L'écoulement à l'intérieur d'une pompe est toujours d'une grande complexité. Il est instationnaire et tridimensionnel, c'est-à-dire qu'il dépend du temps et des trois variables d'espace (t, x, y, z). Sans une simplification préalable, il ne peut être ni analysé par des moyens de calcul simples, ni même décrit ou expliqué par les moyens ordinaires de la communication. On est donc amené à représenter l'écoulement par des grandeurs fictives. En un point donné, la pression et les trois composantes du vecteur vitesse que l'on considère, sont des valeurs moyennes dans le temps. Sur une surface donnée, par exemple à la sortie d'une roue centrifuge, les pressions et les vitesses que l'on considère sont des valeurs moyennes sur l'ensemble de la surface. [3]

On raisonne comme si l'écoulement était uniforme et ne dépendait que d'une seule variable d'espace. Dans le cas d'une pompe purement centrifuge, cette variable d'espace est le rayon.

On suppose aussi, dans la théorie simplifiée, que les surfaces d'écoulement sont axisymétriques. Ces simplifications sont donc à la fois nécessaires et justifiées par l'expérience.

La figure (I.2) représente la répartition de la vitesse et de la pression dans une pompe.

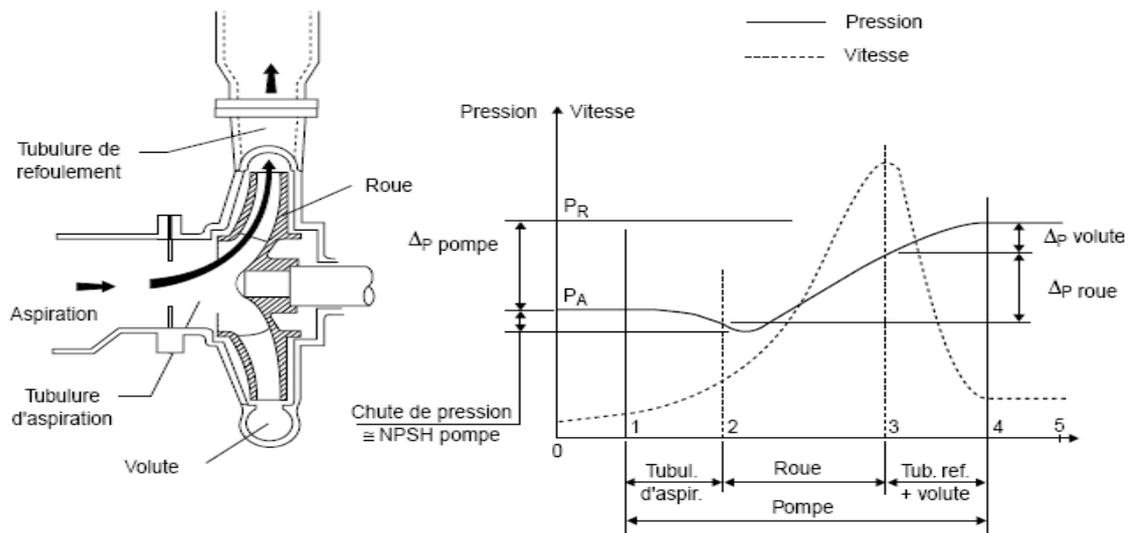


Figure I.2 : Répartition de la vitesse et de la pression dans une pompe.

1.4.5. Triangle de vitesse

La particule liquide est soumise à deux forces :

- ✓ Action de l'aube \Rightarrow une vitesse tangentielle de rotation $U = \omega \cdot r$
- ✓ Action de la force centrifuge \Rightarrow une vitesse tangentielle à l'aube W .

Donc la particule va suivre une trajectoire absolue définie par la direction de la vitesse absolue C :

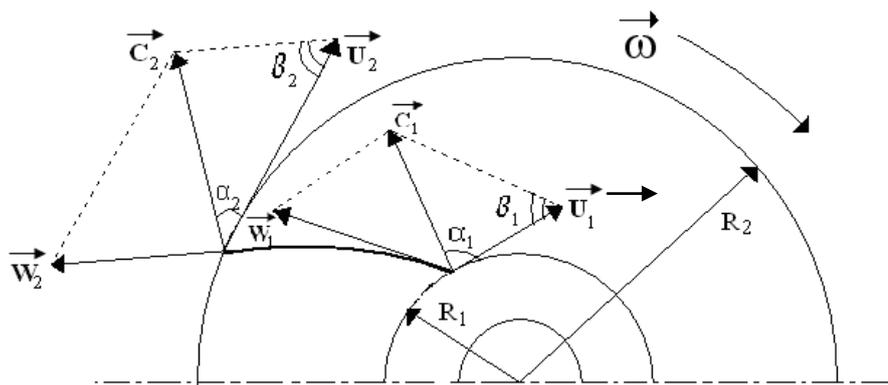


Figure I.3 : Ecoulement du liquide à l'intérieur d'une roue à aubes.

De ce fait le vecteur de vitesse absolue du liquide C peut être trouvé par addition des vecteurs vitesses U (d'entraînement) et W , c'est-à-dire :

$$\vec{C} = \vec{U} + \vec{W}$$

On va noter par l'indice « 1 » toutes les grandeurs qui se rapportent à l'entrée de la roue par l'indice « 2 » toutes les grandeurs qui se rapportent à la sortie de la roue à aubes.

Désignons l'angle formé par les vecteurs de vitesse d'entraînement et absolue par « α » et l'angle constitué par les tangentes à l'aube et à la circonférence correspondante de la roue par « β ». Ce dernier est déterminé par l'inclinaison des aubes et par conséquent ne dépend pas du régime de fonctionnement parce qu'il dépend de la vitesse U ou du nombre de tours de la roue. [3]

Dans ce qui suit, il faut faire intervenir encore deux composantes de la vitesse absolue :

- Une composante normale :

$$C_r = C \sin \alpha \quad (1.1)$$

- Une composante circonférentielle :

$$C_u = C \cos \alpha \quad (1.2)$$

La composante C_r peut être déterminé à l'aide de l'équation de continuité (Q_{th} : débit théorique) :

$$C_r = \frac{Q_{théo}}{S_{sort}} = \frac{Q_{théo}}{\pi D_2 b_2} \quad (1.3)$$

S : Section de la sortie.

D_2 : Diamètre extérieur de la roue.

$$U = \frac{\pi D N}{60} = \frac{\pi R N}{30} \quad (1.4)$$

D : diamètre de la roue.

N : nombre de tours.

R : rayon de la roue.

L'étude des diverses composantes de vitesse de l'écoulement dans une roue s'effectue graphiquement à l'aide des diagrammes de vitesse dont la forme est triangulaire, ils s'appellent triangles des vitesses. Ils peuvent être tracés pour n'importe quel point du filet liquide à travers la roue, mais d'habitude on porte l'attention sur l'entrée et la sortie de la roue.

De ce fait, les triangles des vitesses sont appelés triangle d'entrée ou triangle de sortie.

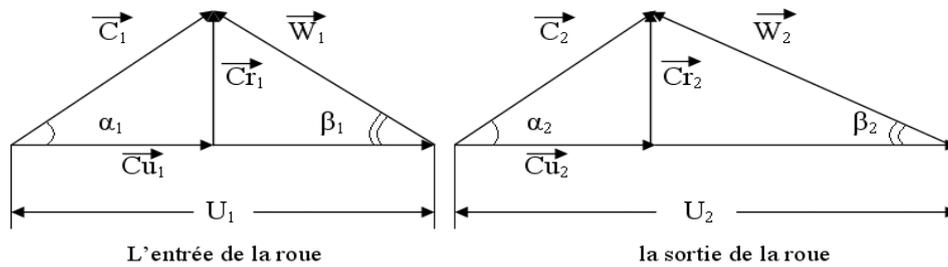


Figure I.4 : Triangle de vitesse à l'entrée et à la sortie de la roue.

1.5. Courbes caractéristiques

Une pompe est toujours fournie par le constructeur avec une série de courbes caractéristiques pour une vitesse de rotation donnée. On cite:

- Caractéristique : Hauteur - Débit.
- Caractéristique : Rendement, Puissance - Débit.
- Caractéristique : NPSH - Débit.

1.5.1. Caractéristiques : Hauteur – Débit

L'énergie que fournit la pompe au liquide se présente sous deux formes :

- ✓ de l'énergie de pression, correspondant à l'augmentation de pression dans la pompe.
- ✓ de l'énergie cinétique, correspondant à l'augmentation de vitesse du liquide entre l'aspiration et le refoulement.

La courbe représentant la variation de hauteur en fonction du débit s'appelle la caractéristique "hauteur d'élévation" $H(Q)$ de la pompe. Pour chaque pompe, une courbe est fournie par le constructeur. Elle a été établie par un essai de la pompe sur un banc d'essai.

L'application du théorème de quantité de mouvement sous forme de moment par rapport à l'axe de la roue, permet d'écrire le couple des forces M exercées par la roue sur le liquide sous la forme suivante :

$$M = r Q v [R_2 C_{u2} - R_1 C_{u1}] \quad (1.5)$$

Par définition la puissance est donnée par la formule :

$$P = \omega M \quad (1.6)$$

et on a $U = R \omega$ donc,

$$P = r Q v [U_2 C_{u2} - U_1 C_{u1}] \quad (1.7)$$

L'équivalence de cette puissance en hauteur est:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q_v \cdot H \quad (1.8)$$

donc la hauteur théorique (d'Euler) sera :

$$H_E = \frac{P_E}{\rho g Q_v} = \frac{1}{g} [U_2 C u_2 - U_1 C u_1] \quad (1.9)$$

et dans la majorité des cas l'angle $\alpha=0$ (le fluide rentre dans la roue axialement) donc

$$H_E = \frac{U_2 C u_2}{g} \quad (1.10)$$

Sachant que le débit volumique à la sortie de la roue est :

$$Q_v = (2 \pi R_2 b_2) C r_2 \quad (1.11)$$

On peut écrire la hauteur théorique en fonction du débit, par:

$$H_E = \frac{U_2}{g} \left[U_2 + \frac{Q_v}{\pi D_2 b_2 \tan \beta_2} \right] \quad (1.12)$$

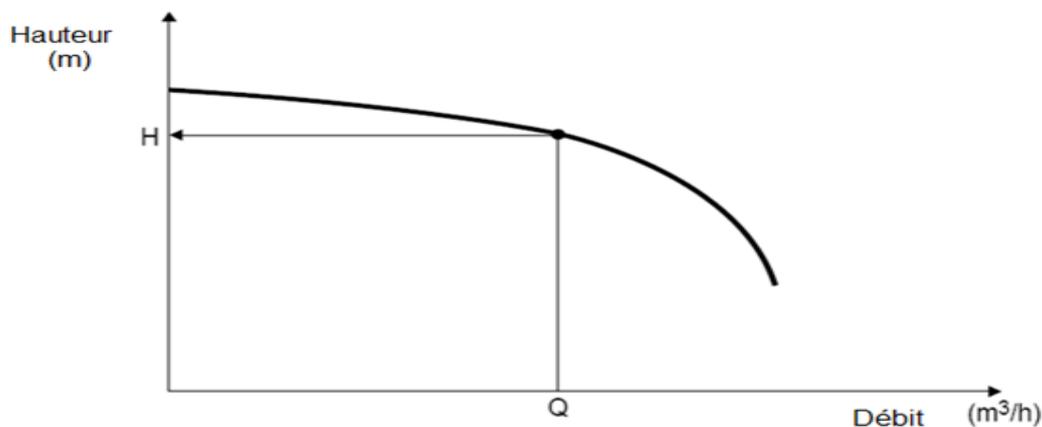


Figure I.5 : Courbe caractéristique hauteur en fonction du débit.

1.5.2. Caractéristique : Rendement, Puissance - Débit

Le rendement de la pompe est le rapport entre la puissance hydraulique (reçue par le liquide) et la puissance mécanique fournie à la pompe. Ce rendement varie en fonction du débit. Il est représenté par une courbe fournie par le constructeur de la pompe. Le rendement permet de déterminer la puissance sur l'arbre connaissant la puissance hydraulique.

La puissance sur l'arbre est une caractéristique de la pompe permettant de déterminer le moteur d'entraînement. [3]

Le meilleur rendement de la pompe détermine le débit nominal pour lequel correspondent la hauteur nominale et la puissance nominale.

Le rendement de la pompe est :

$$\eta = \frac{\text{puissance fournie}}{\text{puissance absorbée}} \quad (1.13)$$

Avec l'intégration de la puissance fournie on obtient,

$$\eta = \frac{\rho \cdot g \cdot QV \cdot H_{mt}}{P_a} \quad (1.14)$$

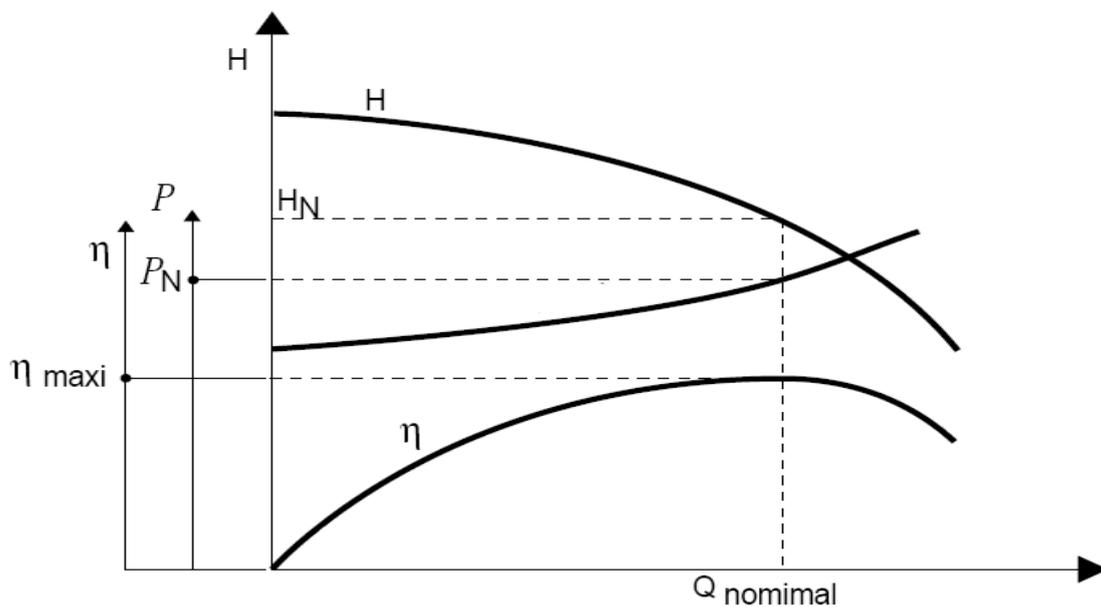


Figure I.6 : Courbes caractéristiques : rendement et puissance en fonction de débit.

1.5.3. Caractéristique : NPSH – Débit

Le **NPSH** est la hauteur totale de charge à l'entrée de la pompe.

NPSH: (net positive section head), abbreviation anglaise.

Le **NPSH** est défini comme étant la charge minimale requise à l'entrée de la bride d'aspiration pour assurer le fonctionnement correct de la pompe ; il s'agit du NPSH requis.

L'installation devra mettre à la disposition de la pompe au niveau de la bride d'aspiration, une charge au moins égale à celle requise ; il s'agit du NPSH disponible.

Donc il faut que :

$$NPSH_{disp} > NPSH_{requis} \quad (1.15)$$

$$NPSH_{dispo} = \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} + Z_1 - \Sigma \Delta H_{asp} \quad (1.16)$$

Avec :

P_1 : pression absolue qui s'exerce sur la surface libre du liquide à l'aspiration.

P_v : pression absolue correspondent à la tension de vapeur du liquide à la température de pompage.

Z_1 : distance verticale entre la surface libre du liquide et l'axe de la pompe.

Valeur positive ou négative suivant que la pompe est en charge ou en aspiration.

$\Delta H_{asp.}$: pertes de charges dans la conduite d'aspiration.

$$NPSH_{requi} = \frac{P_b}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{C_{1-2}}{\rho g} \quad (\text{m}) \quad (1.17)$$

Avec :

P_b : Pression absolue (c'est la somme de la pression effective et de la pression atmosphérique)

On distingue :

Le **NPSH requis** : qui est celui que demande le constructeur pour obtenir un bon fonctionnement de la pompe

le **NPSH disp** : qui résulte des conditions d'installation.

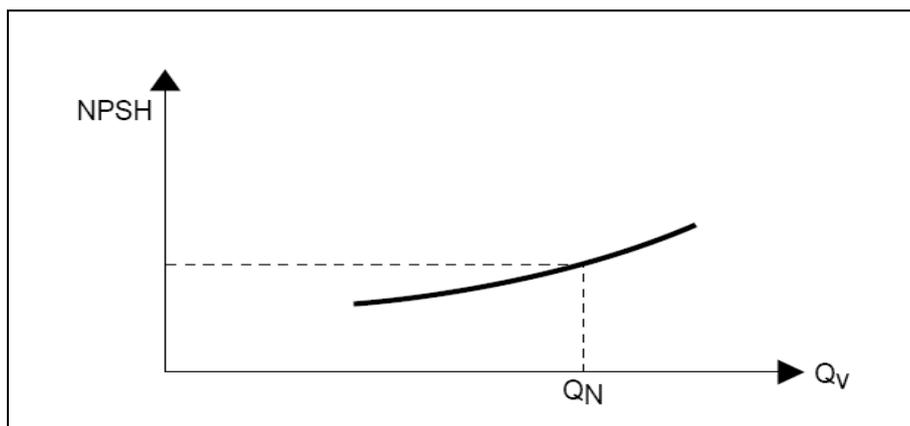


Figure I.7 : Courbes caractéristiques de NPSH en fonction de débit.

1.5.4. Condition de bon fonctionnement

Suites à toutes les incertitudes énoncées précédemment, le problème qui se pose est le choix de la marge de sécurité nécessaire entre le NPSH disp et le NPSH req par la pompe pour garantir un fonctionnement sans vibration et sans dégradation. Cette sécurité est de la responsabilité du constructeur, elle est exprimée par la condition : [4]

$$NPSH_{disp} - NPSH_{req} \geq 0.5 \quad (\text{m}) \quad (1.18)$$

1.6. Variation des caractéristiques

Les pompes centrifuges doivent s'adapter aux conditions d'exploitation de l'installation. On utilise pour cela généralement une vanne sur le circuit de refoulement. Cette solution par vanne peut s'avérer onéreuse ou peu fiable. Il faut donc parfois adapter les pompes centrifuges à une nouvelle fonction de pompage soit en modifiant le diamètre de leur roue, soit en modifiant la vitesse de rotation. Les caractéristiques sont également liées à la viscosité du produit pompé.

1.6.1. Réduction du diamètre des roues (rognage)

Modifier le diamètre de roue revient à modifier la hauteur et le débit de la pompe. Un rognage (réduction du diamètre), entraîne une réduction notable de la puissance. Cette solution est cependant irréversible et demande donc une certaine prudence sur la valeur à rogner.

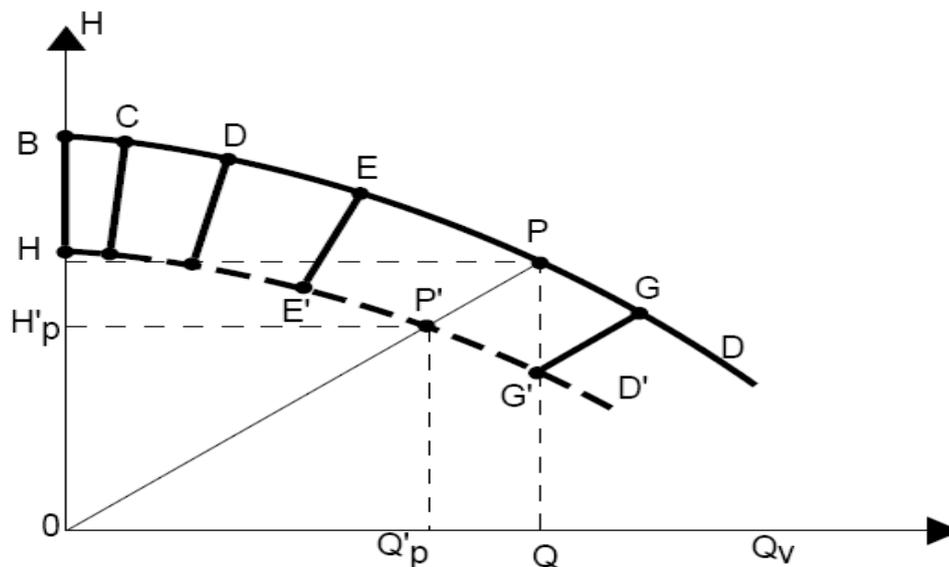


Figure I.8 : Variation de la hauteur d'élévation en modifiant le diamètre de la roue.

En première approximation la caractéristique de la hauteur pour un diamètre D' , déduite point par point de la caractéristique pour le diamètre D par les formules suivantes :

$$\frac{Q'}{Q} = \left[\frac{D'}{D} \right]^2 \quad \frac{H'}{H} = \left[\frac{D'}{D} \right]^2 \quad (1.19)$$

En fait, la démarche habituelle est de déterminer le rognage à effectuer à partir d'un point de

fonctionnement désiré P' , défini par une hauteur d'élévation H'_p et un débit Q'_p . La droite OP' coupe la courbe de hauteur de la roue, fournie par le constructeur, en P .

1.6.2. Modification de la vitesse de rotation

Un changement de la vitesse de rotation conduit à modifier la courbe caractéristique : hauteur d'élévation-débit de la pompe suivant les règles suivantes :

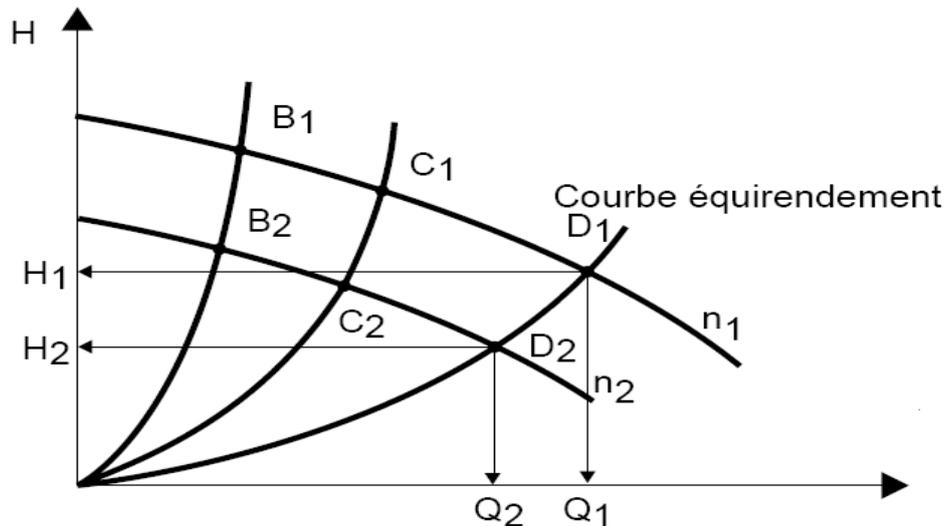


Figure I.9 : Variation de la hauteur d'élévation en changeant la vitesse de rotation.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1 H_1}{n_2 H_2} = \left[\frac{n_1}{n_2} \right]^2 \quad (1.20)$$

La variation de la vitesse permet de faire varier le débit sur une très large plage.

L'investissement et l'exploitation d'un système de variation de vitesse ne se justifie cependant pas souvent sur un plan économique.

1.7. Marche en série et marche en parallèle

Pour étudier le fonctionnement simultané de deux pompes sur un même circuit, en série ou en parallèle, on les remplace par une pompe dite équivalente dont la caractéristique est issue des caractéristiques des deux pompes de base.

1.7.1. Marche en série

Cette disposition se rencontre notamment :

- sur les pipelines où les stations de pompage sont réparties
- sur le circuit de charge de colonne à distiller, composée généralement de deux pompes en série
- sur les installations de pompage équipées d'une pompe "booster" servant à mettre sous pression l'aspiration de la pompe principale

L'énergie fournie par deux pompes en série est la somme de l'énergie fournie par chacune d'elle. Le débit est le même pour les deux pompes.

La caractéristique de la pompe équivalente à deux pompes en série est la suivante:

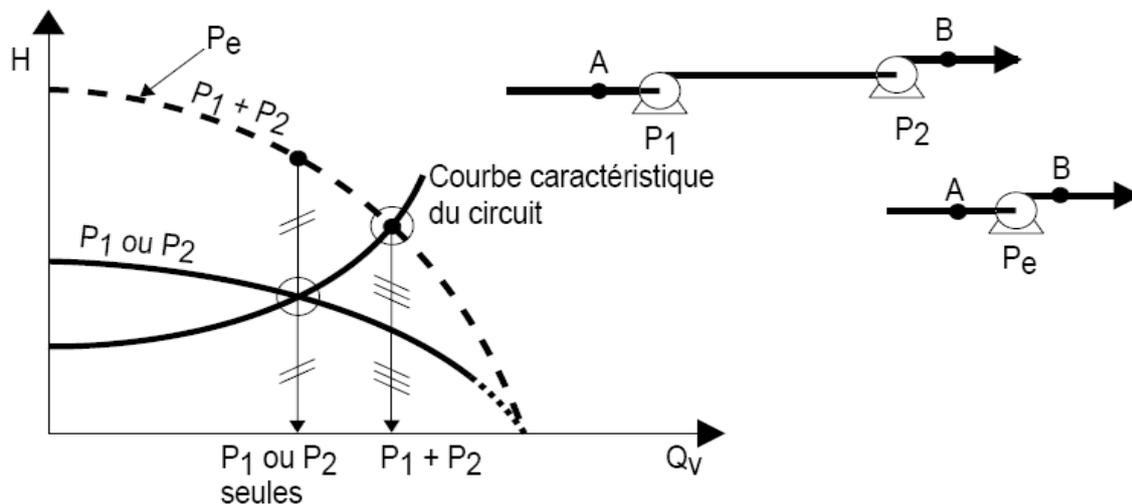


Figure I.10 : Caractéristique de la pompe équivalente à deux pompes en série.

$$H_{m,tot} = H_{m,t1} + H_{m,t2} ; Q_v = Q_{v1} = Q_{v2} \quad (1.21)$$

1.7.2. Marche en parallèle

Cette disposition est très courante car de nombreuses pompes sont doublées. Même si, en principe, elles ne fonctionnent pas simultanément, dans certaines phases d'exploitation cette marche en parallèle est utilisée : inversion de pompe, besoin de débit important.

La différence de pression entre A et B est la même pour les deux pompes. Le débit total est la somme du débit de chaque pompe.

La caractéristique de la pompe équivalente à deux pompes en parallèle est établie de la façon suivante :

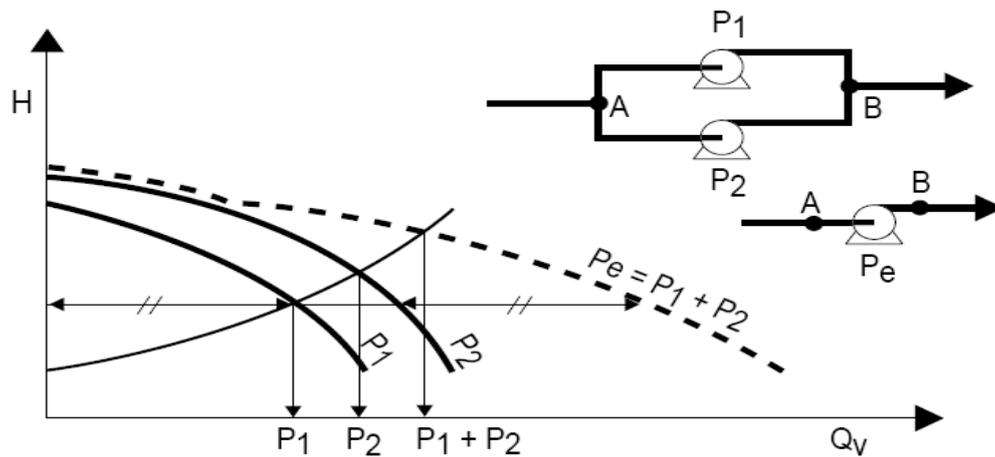


Figure I.11 : Caractéristiques de la pompe équivalente à deux pompes en parallèle.

$$Q_{v\ tot} = Q_{v\ 1} + Q_{v\ 2}; \quad H_{mtot} = H_{mt1} = H_{mt2} \quad (1.22)$$

L'exploitation de deux pompes en parallèle est assez délicate et peut conduire à des incidents notamment dus à l'absence de débit dans l'une d'elles. Cette disposition exige des pompes dont les caractéristiques sont voisines mais aussi des circuits identiques entre les points A et B. Le risque est qu'une pompe fournisse plus d'énergie que l'autre, ce qui empêche cette dernière de débiter. La règle de base pour éviter tout incident est de ne pas faire tourner les deux pompes si une seule est suffisante.

Chapitre 2. Les différents types des pompes

2.1. Introduction

Les pompes sont des appareils qui génèrent une différence de pression entre les tubulures d'entrée et de sortie. Suivant les conditions d'utilisation, ces machines communiquent au fluide, soit de l'énergie potentielle (par accroissement de la pression en aval) soit de l'énergie cinétique par la mise en mouvement du fluide. [5, 6]

Ainsi, on peut augmenter le débit (accroissement d'énergie cinétique) ou augmenter la pression (accroissement d'énergie potentielle) pour des fluides gazeux, liquides, visqueux, très visqueux....C'est pourquoi la diversité des pompes est très grande.

On distingue deux grandes catégories de pompes :

➤ **Les pompes volumétriques**

Ce sont les pompes à piston, à diaphragme, à noyau plongeur...et les pompes rotatives telles les pompes à vis, à engrenages, à palettes, péristaltiques...etc. Lorsque le fluide véhiculé est un gaz, ces pompes sont appelées « Compresseurs»

➤ **Les turbo-pompes**

Elles sont toutes rotatives. Ce sont les pompes centrifuges, à hélices et hélico-centrifuges.

2.2. Pompes volumétriques rotatives

2.2.1. Pompes à vis

Elles sont constituées de deux ou trois vis s'engrenant entre elles. Le liquide remplit les cavités qui existent entre les vis et le corps. Pendant la rotation des vis, les cavités se déplacent transférant ainsi du liquide de la zone d'aspiration vers la zone de refoulement. Ce type de pompe volumétrique admet une vitesse de rotation élevée (3000 tr/mn) ; elles sont silencieuses et permettent d'atteindre des pressions assez élevées (≈ 100 bar).

Elles ne véhiculent que des liquides à bon pouvoir de lubrification et ne contenant pas particules abrasives. Ils existent plusieurs types

2.2.1.1. Pompes à deux vis à engrenement direct

Les deux vis à filets très inclinés s'engrènent directement dans un carter. Une seule des deux vis est solidaire de l'arbre moteur et entraîne la deuxième par contact direct. Les paliers sont lubrifiés par le liquide véhiculé. Les fuites internes sont relativement faibles, mais le produit pompé doit posséder un excellent pouvoir lubrifiant et doit être non corrosif et, ainsi, doit être très peu chargé des particules abrasives. [5]

Elles sont utilisées sur les produits visqueux (fuel).

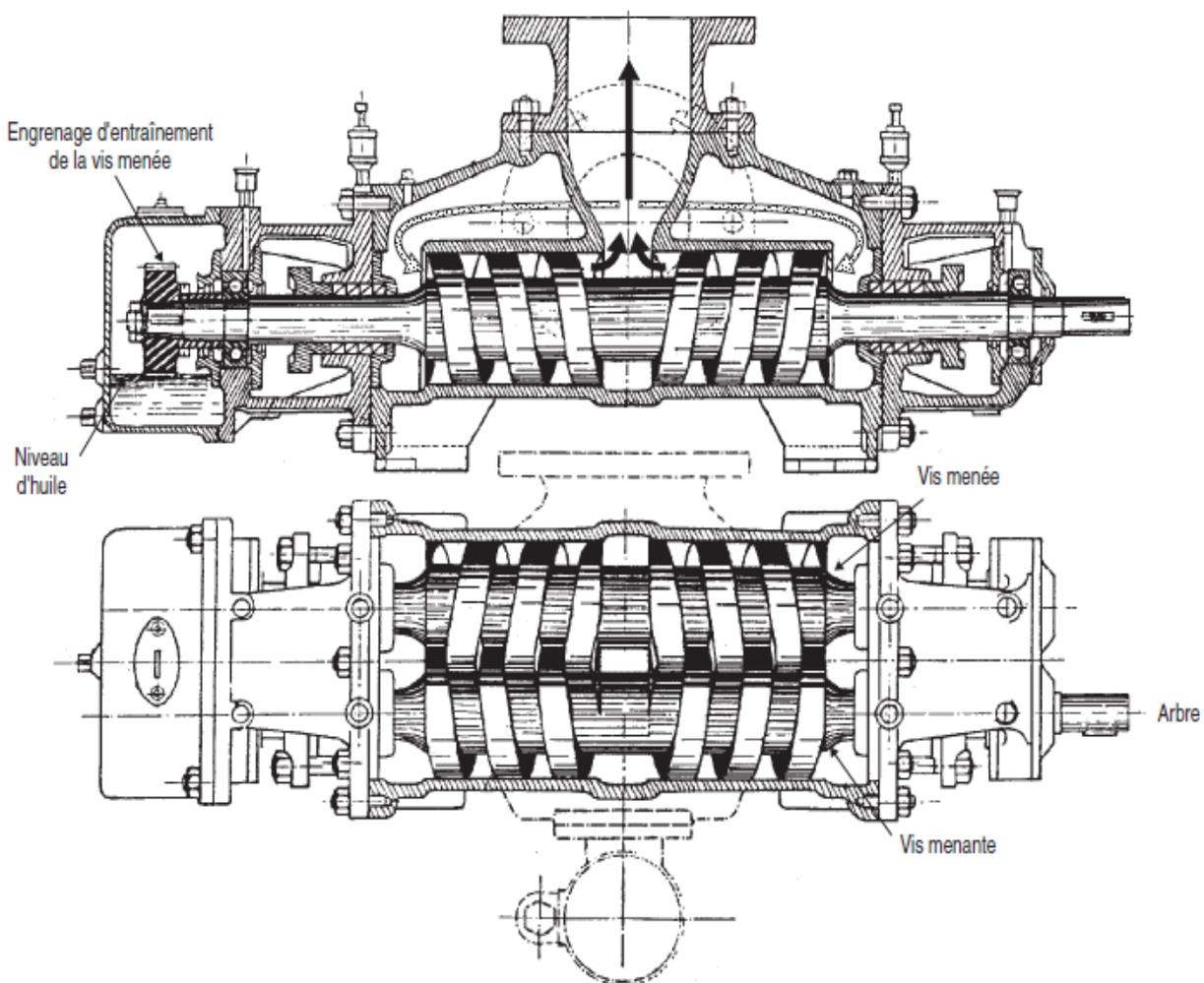


Figure II.1 : Pompes à deux vis à engrenement direct

2.2.1.2. Pompes à deux vis à engrenages de synchronisation

La vis solidaire de l'arbre moteur entraîne la seconde par l'intermédiaire d'un ensemble d'engrenages de synchronisation. Les deux vis permettent un jeu entre elles et ne sont pas en contact direct. Les engrenages et les paliers peuvent être en contact direct avec le liquide.

Dans ce cas, une seule garniture d'étanchéité est nécessaire. Si le produit n'est pas assez lubrifiant ou s'il est chargé, les engrenages et les paliers sont isolés du liquide mais nécessitent un ensemble de quatre garnitures d'étanchéité. Il est à noter que les fuites internes sont plus importantes et provoquent une différence de pression (ΔP) possible, ainsi qu'un rendement, plus faible. [5]

Il est à remarquer que sur les pompes à deux vis, les filets sont symétriques, afin de limiter au maximum l'effet des poussées axiales.

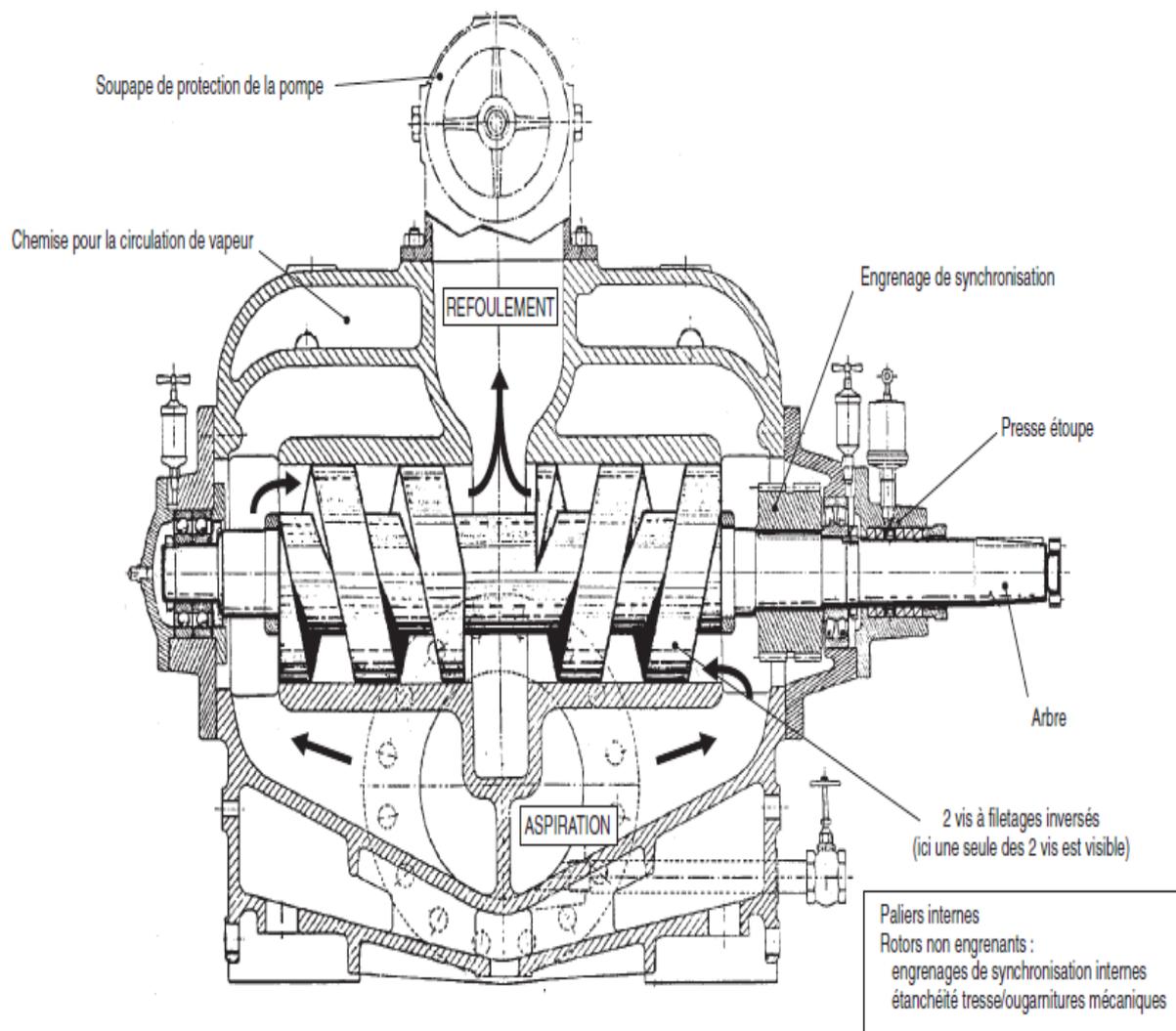


Figure II.2 : Pompes à deux vis à engrenages de synchronisation

2.2.1.3. Pompes à trois vis

La partie hydraulique de cette pompe est constituée de trois vis dont une seule est solidaire de l'arbre moteur. Les deux autres vis sont entraînées par frottement grâce à la vis centrale. Les vis sont à un seul filet et il est nécessaire d'équilibrer la poussée axiale résultante à l'aide d'un dispositif de compensation.

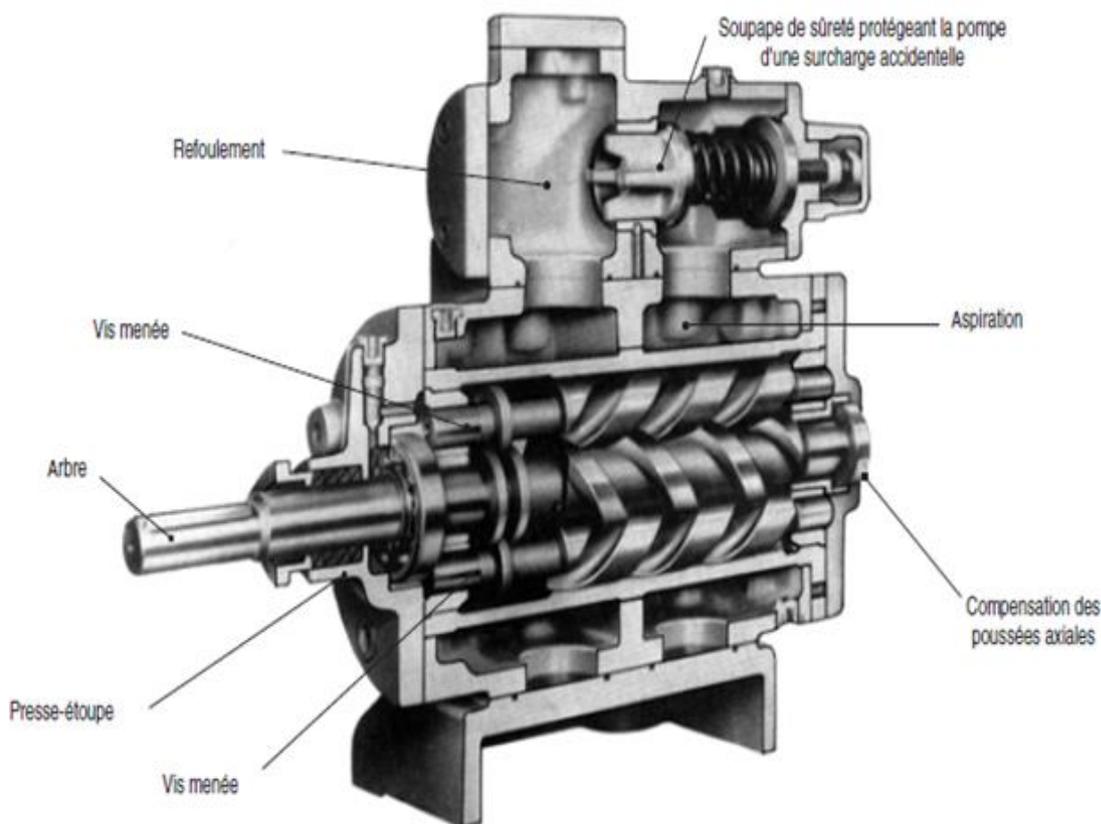


Figure II.3 : Pompes à trois vis.

2.2.2. Pompes à engrenages

2.2.2.1 Pompes à engrenages extérieur

Il existe un grand nombre de variantes de ce type de pompes, elles diffèrent entre elles par la disposition et la forme des dentures. Le liquide à véhiculer est aspiré dans l'espace compris entre deux dents consécutives et la pompe. L'étanchéité entre l'aspiration et le refoulement est assurée par un contact entre les dents en prises. Les dentures peuvent être droites, hélicoïdales, ou encore à chevrons. Cette dernière possibilité présentant l'avantage de

rendre le mouvement plus uniforme. Ce type de pompes admet une vitesse de rotation de 2000 à 3000 tr/min ; elles sont relativement silencieuses et permettent d'atteindre des pressions de l'ordre de 20 à 50 bar. Elles sont équipées de quatre paliers, et de un à quatre boîtiers d'étanchéité. Elles ne tolèrent pas le passage de particules solides sans risque de destruction totale.

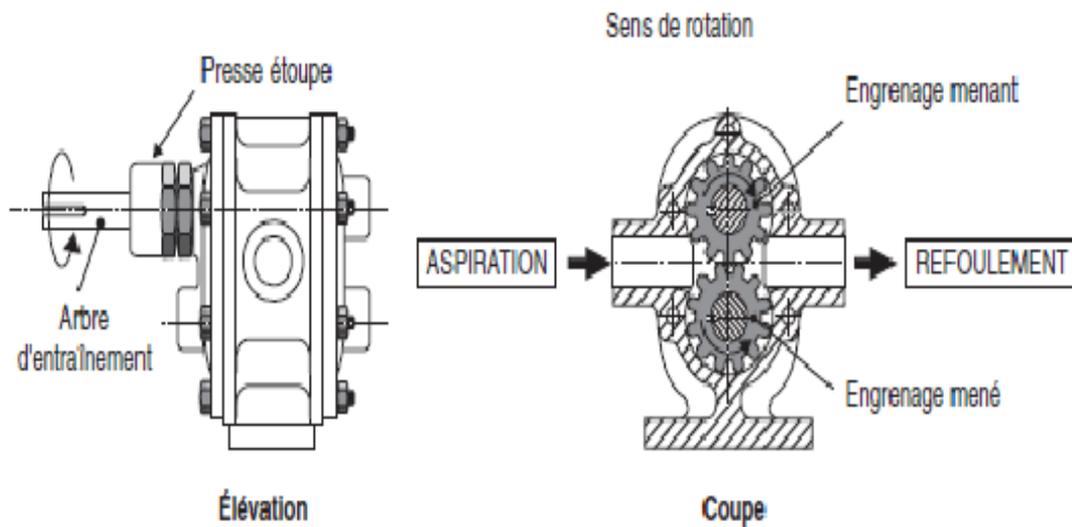


Figure II.4 : Pompes à engrenages extérieur.

2.2.2.2. Pompes à engrenages intérieurs

Le principe de fonctionnement de ce type de pompe consiste à placer un des engrenages à l'intérieur de l'autre. Cette disposition nécessite l'utilisation d'une pièce intermédiaire, placée entre les engrenages et solidaire du corps de pompe en forme de croissant afin d'assurer l'étanchéité, mais le porte à faux génère une surcharge sur l'arbre.

Le débit est pratiquement régulier et indépendant de la différentielle de pression, laquelle peut atteindre 15 à 20 bars.

Les vitesses de rotation de ce type de pompe sont de quelques centaines de tours à la minute, mais elles peuvent véhiculer des produits de très grande viscosité ($\approx 10\,000$ cSt). De plus, elles sont caractérisées par une valeur de très bas $NPSH_r$. La présence des particules solides entraîne également la destruction irrémédiable de la pompe.

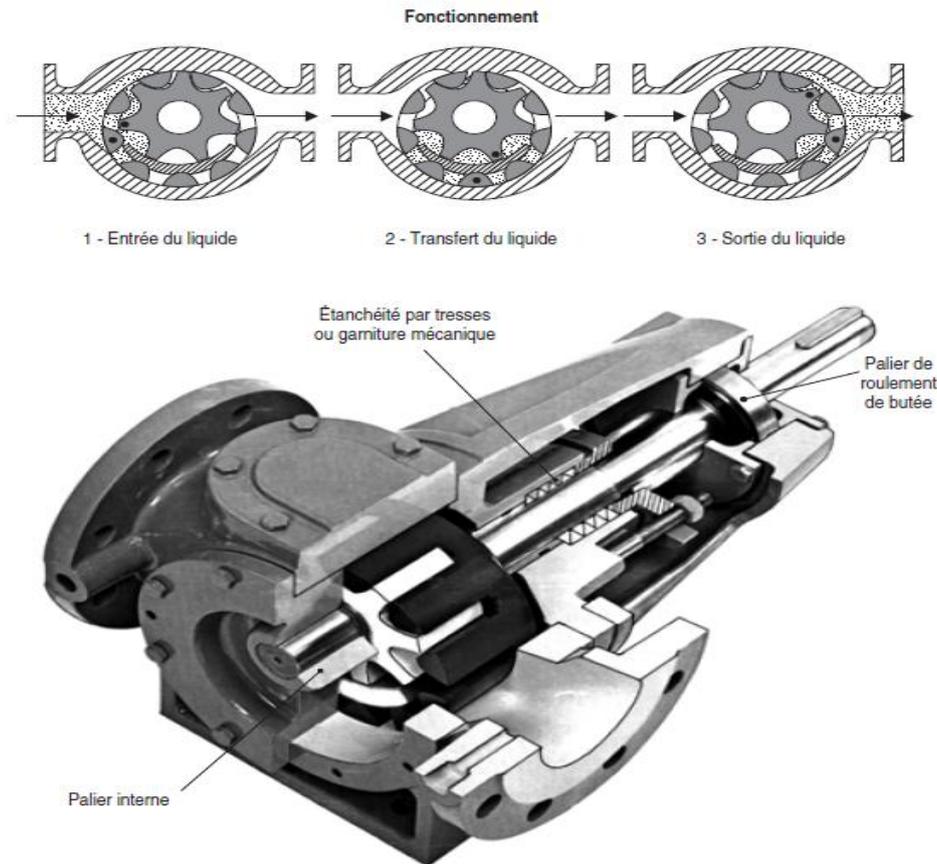


Figure II.5 : Pompes à engrenages intérieurs.

2.2.2.3. Pompes à rotor hélicoïdal excentré

Elles sont constituées de deux engrenages hélicoïdaux : le premier, c'est le rotor tournant à l'intérieur du second, qui est le stator. Le rotor est un engrenage externe à une dent, le stator un engrenage interne à deux dents.

La différence d'une dent, entre le stator et le rotor, crée des cavités qui se meuvent parallèlement à l'axe du stator et véhiculent ainsi le produit pompé.

Les pressions au refoulement sont de l'ordre de 20 à 30 bars.

Ces pompes peuvent véhiculer des produits très visqueux, chargés en particules solides, mais ne doivent en aucun cas tourner à sec (le rotor est en acier, le stator en caoutchouc). Le coût d'entretien est souvent important. Elles sont connues sous le nom commercial de "pompe Moineau ou pompe P.C.M".

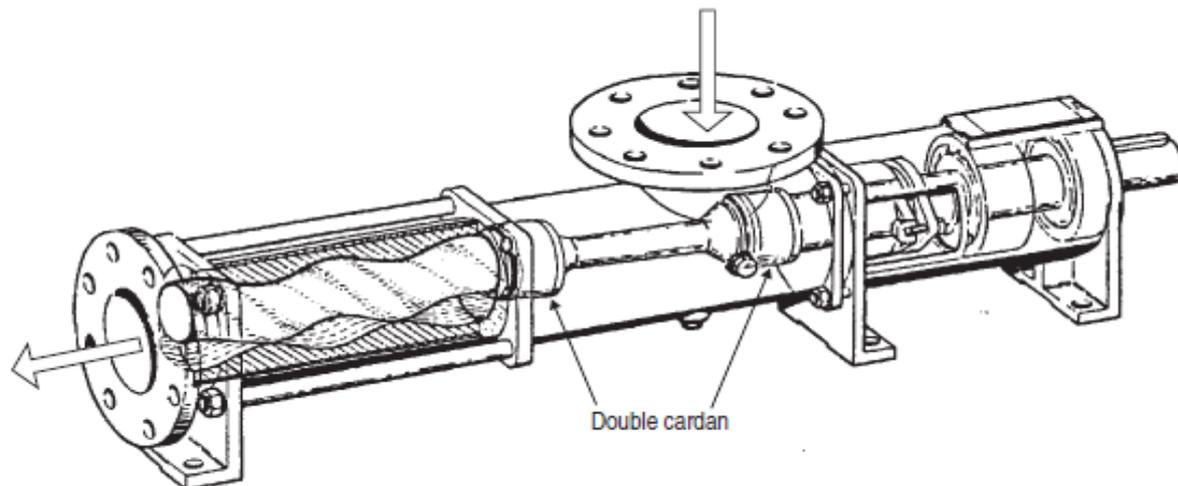


Figure II.6 : Pompes à rotor hélicoïdal excentré.

2.2.3. Pompes à piston rotatif

Ce type de pompe est constitué d'un rotor (piston) dont l'axe géométrique ne coïncide pas avec l'axe de rotation. Ce rotor reste constamment tangent au corps de pompe et partage l'intérieur de ce corps en cavités, dont les unes communiquent avec l'aspiration, les autres avec le refoulement. Les volumes de ces cavités sont variables et ces variations provoquent le transfert du liquide. Ce type de pompe admet le passage de particules solides.

Le débit est légèrement pulsé et leur vitesse de rotation limitée. Elles sont connues sous le nom commercial de "Pompe Mouvex".

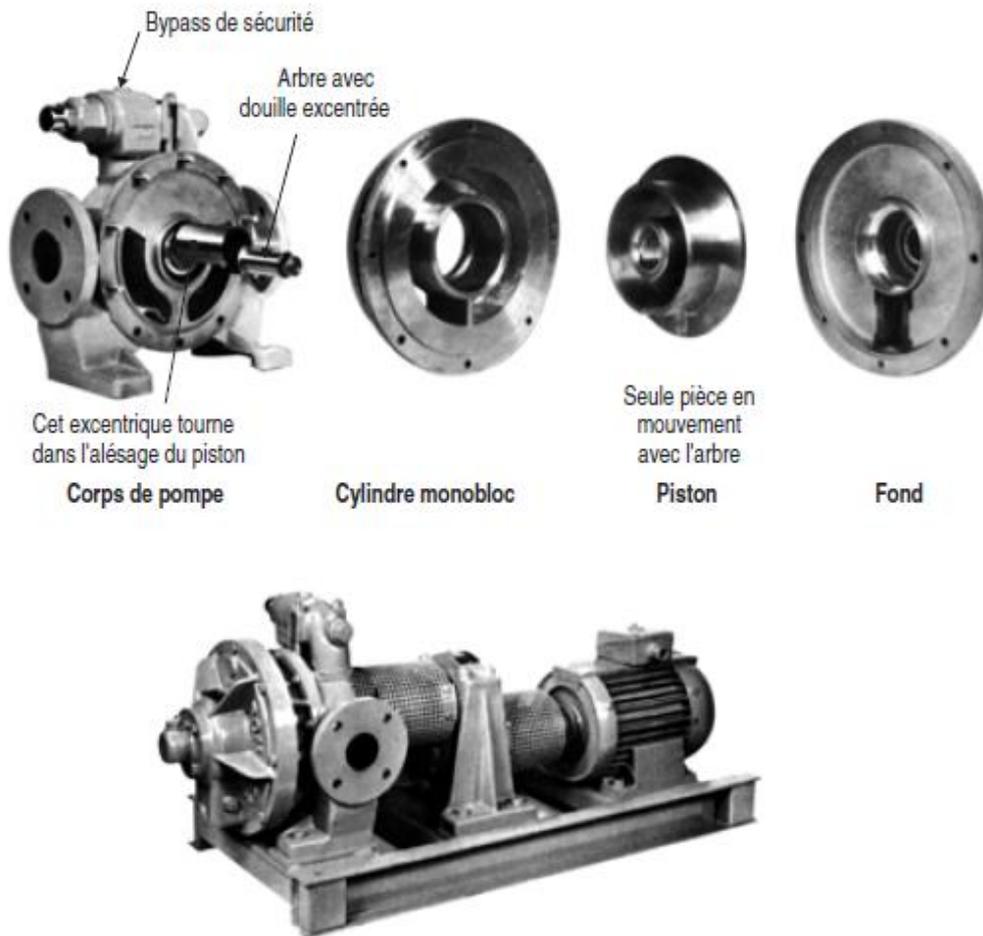


Figure II.7 : Pompes à piston rotatif.

2.2.4. Pompe à palettes rigides

C'est le classique « pompes à vide ». Un rotor excentré tourne dans un cylindre fixe. Sur ce rotor, des palettes libres se meuvent radialement, et sont poussées par des ressorts qui les appliquent sur la face intérieure du cylindre fixe. Les espaces ainsi délimités varient au cours de la rotation et créent les dépressions nécessaires au fonctionnement d'une pompe volumétrique. Ces pompes conviennent bien aux gaz.

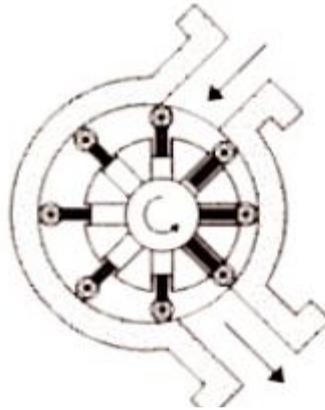


Figure II.8 : Pompe à palettes rigides.

2.2.5. Pompes péristaltiques

Leur principe de fonctionnement est plutôt simple : un tuyau souple est écrasé par des galets, le fluide est alors repoussé sans turbulence, ni cisaillement. Il n'y a pas non plus de contact entre le fluide et les pompes mécaniques. leur débit est limité à des valeurs, de l'ordre de 60 à 80 m³/h. Par contre, le rendement est de l'ordre 100 % et elle est la pompe doseuse par excellence. [6]

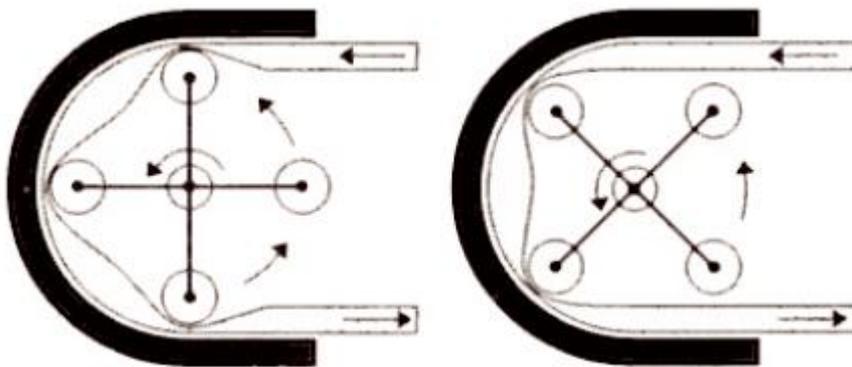


Figure II.9 : Pompes péristaltiques.

2.3. Les pompes volumétriques alternatives

Les pompes volumétriques alternatives usuelles font appel à deux principes :

- **Le déplacement d'un piston animé d'un mouvement alternatif**

Selon les cas, le piston peut être en contact avec le cylindre, ou ne pas être en contact avec les parois de la chambre qui contient le liquide.

➤ **La déformation d'une membrane**

Le mouvement de la membrane est imposé, dans le cas général, par la pression obtenue sur la face arrière par une pompe à piston plongeur.

Le principe de fonctionnement est simple :

- Lorsque le piston, ou la membrane, se déplace vers le "point mort bas", le clapet d'aspiration se soulève et le liquide est aspiré. Le clapet de refoulement est fermé.
- Lorsque le piston, ou la membrane, se déplace vers le "point mort haut", le clapet d'aspiration se ferme tandis que celui de refoulement s'ouvre, permettant le refoulement du liquide pompé.

2.3.1. Pompes à piston

Elles peuvent être à simple effet et, dans ce cas, le piston n'a qu'une seule phase active (premier temps : aspiration, deuxième temps : refoulement) sur les deux phases que comporte le cycle. Elles peuvent être à double effet et, dans ce cas, le piston est actif dans les deux phases, permettant un débit deux fois plus important et une plus grande régularité de débit. Il est possible d'associer plusieurs éléments de pompe à piston, décalés dans un cycle de rotation (pompe Triplex par exemple) de façon à augmenter le débit et la régularité. Ces pompes possèdent une grande capacité d'aspiration et permettent d'atteindre des pressions de refoulement importantes. [6]

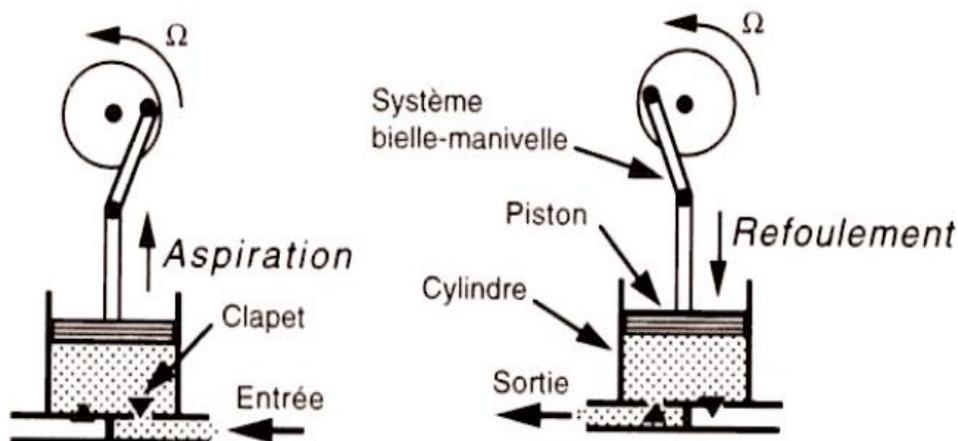


Figure II.10 : Pompes à piston.

2.3.2. Pompes à membranes

Dans ce type des pompes, le déplacement du piston est remplacé par les déformations alternatives d'une membrane en matériaux élastiques. La membrane est entraînée par l'intermédiaire d'un liquide tampon comprimé et décomprimé grâce aux mouvements alternatifs d'une pompe à piston. Le produit véhiculé se trouve ainsi entièrement isolé de la partie mécanique de la pompe, et peut présenter un caractère relativement corrosif.

Le volume balayé par le piston étant supérieur à celui balayé par la membrane, il est nécessaire de limiter la pression du liquide tampon afin d'éviter l'éclatement de la membrane. Une soupape de sécurité permet d'évacuer l'excédent de liquide tampon en fin de phase de refoulement. Il est alors nécessaire de prévoir un second dispositif de compensation qui admettra en fin de phase d'aspiration une quantité de liquide tampon à l'arrière de la membrane égale à celle chassée en fin de refoulement. [5]

Une pompe à membrane devra donc être équipée d'un système auxiliaire dit de "compensation". Pour des raisons de sécurité la membrane peut être doublée. Ces pompes sont utilisées sur les débits moyens de l'ordre de 80 m³/h et des températures inférieures à 150°C. Elles conviennent sur les très petits débits, et sont très souvent utilisées comme pompes doseuses.

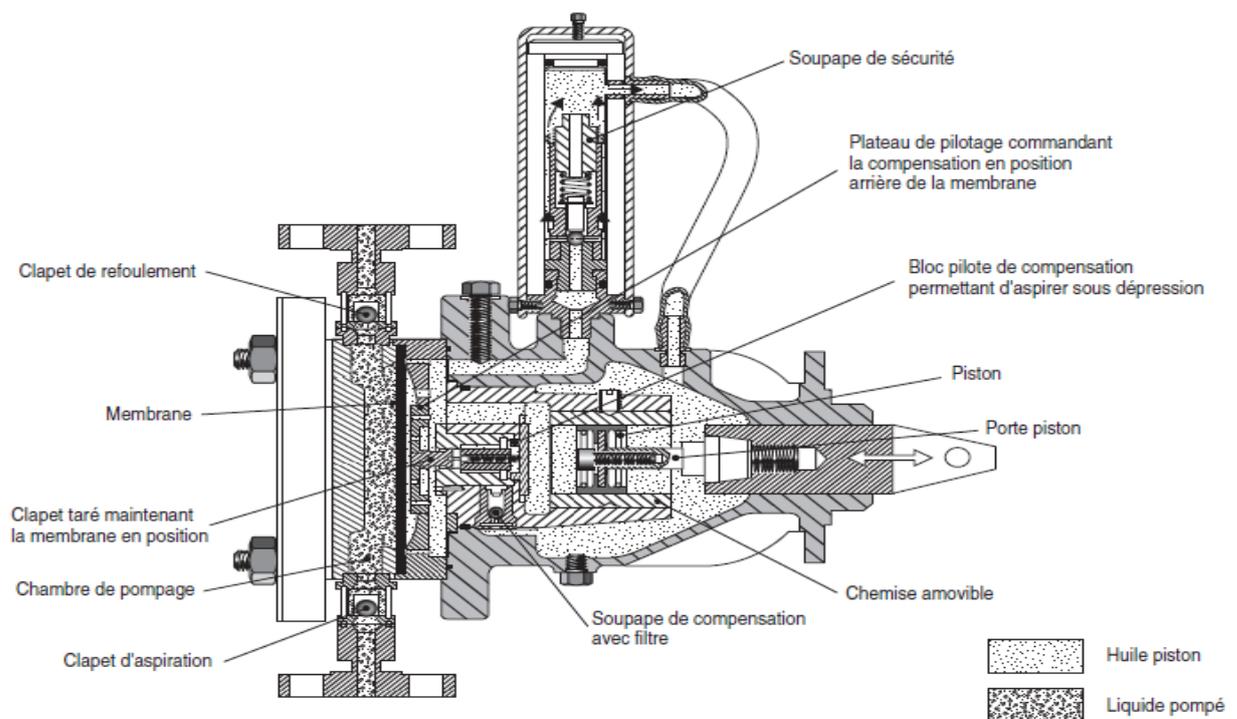


Figure II.11 : Pompes à membranes.

Chapitre 3 . Exploitation et maintenance des pompes types P408

L'industrie est souvent confrontée à des problèmes au niveau des secteurs de la production, tel que les pompes, les compresseurs, les ventilateurs, les colonnes, les fours ...etc. Les pompes représentent les moyens des installations essentielles du complexe HENKEL, elles sont confrontées à plusieurs pannes qui se répercutent sur la productivité et l'exploitation du complexe. Un des problèmes majeurs de ces pompes dans l'entreprise est l'étanchéité qui est assurée par des garnitures mécanique.

3.1. Exploitation des pompes

L'exploitation de l'industrie en HENKEL est accompagnée par le fonctionnement normal des équipements pendant toute la durée de leur vie, à ce but on a établi la fonction maintenance au niveau de ce complexe. [7]

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
- conserver les caractéristiques essentielles de la machine.
- protéger les différentes pièces contre l'apparition des anomalies.
- assurer des opérations de maintenance au coût global optimum.

La maintenance se compose de deux parties :

a) Entretien

C'est l'opération vitale qui permet de tenir la machine en bon état de fonctionnement et d'installation en général. Il comprend les opérations suivantes : nettoyage-contrôle- réglage-remplacement- graissage.

b) Réparation

C'est l'action qui protège la machine contre les différentes dégradations. Elle est caractérisée par les opérations suivantes : le préventif et le curatif.

La pompe nécessite un contrôle périodique et soigné, à savoir l'entretien préventif et curatif.

3.2. Organisation de l'entretien préventif

3.2.1. Entretien journalier

- Respecter le niveau d'huile dans les paliers.
- Relever les fuites, les vibrations et les bruits anormaux.
- Vérifier la température des paliers de la pompe, toutes les six semaines.
- Inspecter la pompe toutes les 15 semaines.
- Révision générale de la pompe et du moteur toutes les cinquante (50) semaines ou 8000heures de fonctionnement, outre cela à chaque fois qu'on doit intervenir.

Pour toute pièce nécessitant un remplacement, il doit être fait immédiatement.

3.2.2. Entretien de la garniture mécanique

La majorité des ennuis proviennent des garnitures trop ou inégalement serrées. Pour cela on doit conserver certaines consignes :

- Serrer progressivement et modérément le presse-étoupe.
- Changer la garniture lorsque le chapeau arrive en butée sur le boîtier.
- Si la garniture a un fonctionnement satisfaisant pendant une période prolongée et si elle présente dans le temps une fuite elle doit être vérifiée.
- Il faut s'assurer périodiquement que la dose d'huile est normale. L'huile doit être changée tous les mois, donc un bref entretien de l'accouplement consiste au contrôle du graissage.

3.3. Organisation du service maintenance

La maintenance dans les complexes importants, où les équipements sont complexes et variés, doit être devisée comme suit : [7]

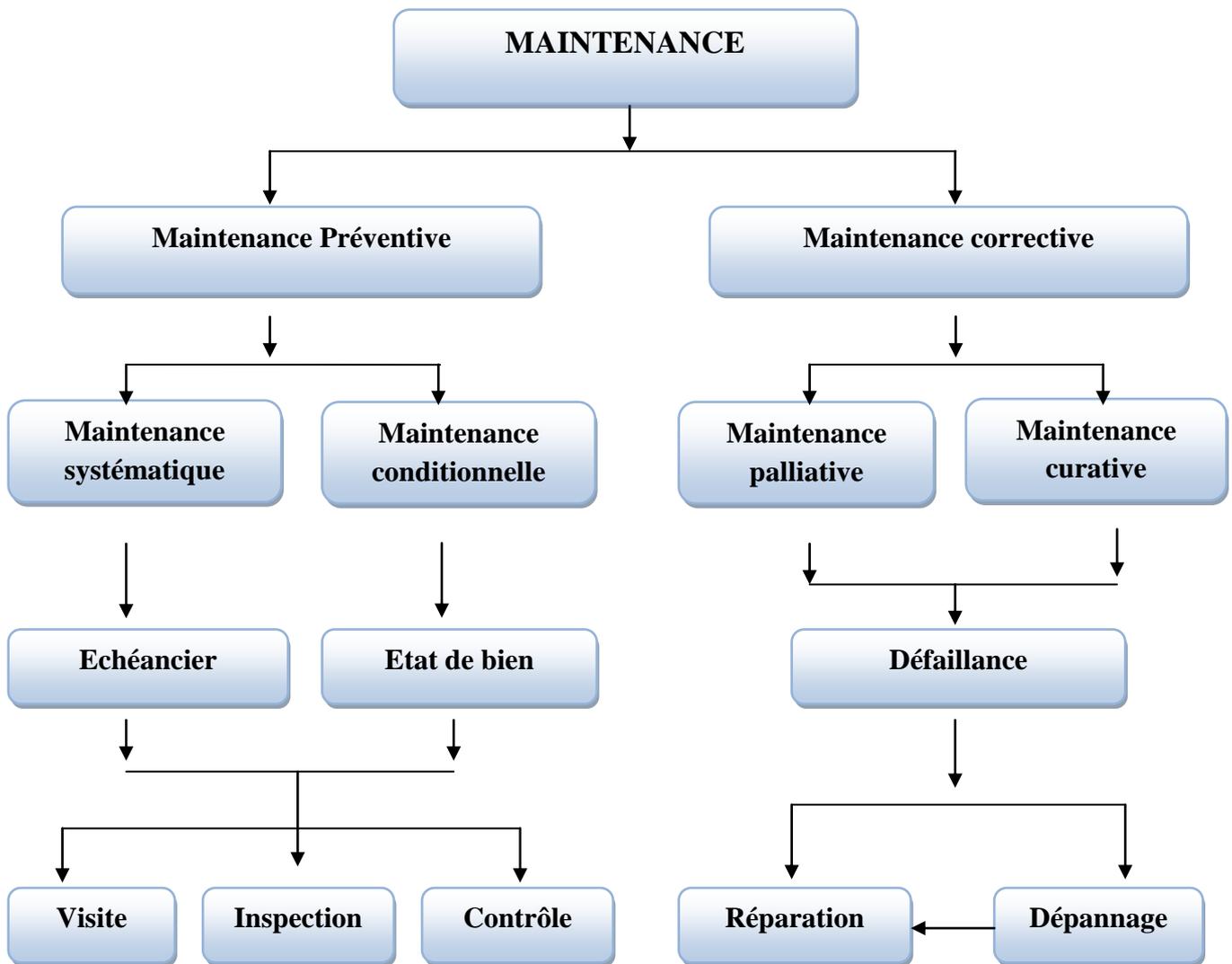


Fig.III.1 : Organigramme des différents types de maintenance.

3.3.1. Maintenance préventive

Elle a pour objet de réduire la probabilité des défaillances ou des dégradations d'un bien (machine), l'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances et elle permet de réduire ces couts au maximum.

3.3.1.1. Maintenance préventive systématique

La maintenance systématique se définit comme : « une maintenance effectuée selon des critères prédéterminés dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ».

Cette méthode nécessite de connaître :

- le comportement des matériels.
- les usures.
- les modes de dégradation.
- le temps moyen de bon fonctionnement entre deux avaries.

De plus en plus les interventions de la maintenance systématique se font par échange standards. Lors de ces interventions, on procède à différentes opérations qui sont :

- les remplacements des joints d'étanchéités, des roulements, des paliers, des filtres, des pièces d'usures, des ressorts,...etc.
- le réglage des jeux, des pressions, des débits, des tensions,...etc.
- le contrôle des niveaux d'huile, des divers blocages,...etc.

3.3.1.2. Maintenance préventive conditionnelle

La maintenance préventive conditionnelle se définit comme suit : « une maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure), qui est un révélateur de l'état de dégradation du bien ».

On distingue les opérations de la maintenance préventive: les inspections, les visites, les contrôles et les révisions.

3.3.2. La maintenance corrective

C'est l'ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou de la dégradation de sa fonction pour lui permettre provisoirement d'accomplir ses objectifs. La maintenance corrective doit comprendre en particulier la localisation de la nature de la défaillance, la remise en état provisoire et le contrôle de fonctionnement.

3.4. Précautions d'entretien de la pompe

3.4.1. Lubrification

Le fonctionnement d'une pompe est assuré par l'ensemble de pièces en mouvement qui frottent les unes contre les autres, cela produit des aspérités invisibles. A cet effet, il est nécessaire de lubrifier les pièces par un lubrifiant.

L'alimentation en lubrifiant, durant le service, des paliers et de l'accouplement peut être assurée soit par un système séparé de graisse par circulation forcée, soit par une turbine ou aussi par l'engrenage. Une pompe auxiliaire doit être utilisée pour la pré-lubrification du groupe avant le démarrage et également assurer l'alimentation en huile du groupe pendant le temps nécessaire à l'arrêt quand la machine d'entraînement aura été coupée.

Le processus de graissage est appliqué sur toutes les machines pour les raisons indiquées ci-dessous :

- contribuer à la parfaite étanchéité au gaz et au liquide.
- participer à l'équilibre des machines.
- combattre l'usure et la corrosion des organes des machines, ce qui augmente la longévité des pièces et se traduit par des économies d'entretien et des moindres charges d'amortissement.
- réduire les frottements parasites ou les résistances passives des machines.
- évacuer par circulation les impuretés dont l'accumulation serait de nature à compromettre les quatre fonctions précédemment citées.

a) Lubrification de l'accouplement

L'accouplement est graissé à l'huile. Cette huile est contenue à l'intérieur des boîtiers et forme en marche normal une certaine vitesse. Un anneau assure la lubrification des dentures à une pression d'autant plus grande et à une vitesse plus élevée. [8]

b) Les roulements

Ils sont lubrifiés à la graisse, c'est la solution la plus fréquente, la plus simple et la plus économique, cependant ils nécessitent un entretien plus important (renouvellement de la graisse).

c) Les paliers

On fait le graissage des paliers avec une graisse d'huile minéral. Le premier remplissage sera pour la période de 3000heures de marche, après cela il faut renouveler la graisse.

La graisse utilisée doit être de haute qualité, à base de lithium, mais sans résines et acide, ainsi elle ne doit pas être cassante et il faut qu'elle actionne la protection contre la rouille.

d) La garniture mécanique

La garniture mécanique est munie de connexion de circulation afin d'empêcher l'accumulation de sédiment et d'éliminer l'échauffement.

3.4.2. Démontage, réparation et remontage

Il est important de lire attentivement les instructions avant le démontage. Les pièces seront manipulées avec soin au cours de ces opérations. L'air de travail sera propre, et on utilisera l'outillage adéquat.

3.4.2.1. Préparation du démontage

- couper l'alimentation et déconnecter le moteur.
- isoler la pompe du circuit.
- fermer les arrivées d'eau de refroidissement d'alimentation des presses étoupe.
- vidanger et déboulonner les accouplements.
- vidanger la pompe.
- déconnecter les tuyauteries d'eau de refroidissement.
- vidanger les paliers.
- déconnecter les tuyauteries d'alimentation du joint.
- enlever l'équipement auxiliaire.

3.4.2.2. Démontage d'une pompe

- inspecter le clapet de non retour sur la conduite de refoulement.
- enlèvement du plateau, du palier et de l'élément rotatif.
- retirer l'entretoise d'accouplement.
- retirer les sous-ensembles complets et les transporter dans l'atelier et faire la vidange des paliers.
- démonter l'impulseur et le plateau après desserrage du chapeau de garniture.
- démontage de la garniture mécanique.

- retirer la bague de déflecteur, le couvercle de palier à billes, la bague de graissage puis le couvercle de palier et la bague de graissage coté poussé.
- retirer l'arbre par le coté extérieur.
- s'assurer que la bague de graissage ne s'engage pas.
- les roulements sont enlevés avec un extracteur ou par chauffage à (150°C) dans un bain d'huile.

3.4.2.3. Palier de la pompe

a) Démontage

- les bagues écrans.
- les bouchons évents.
- l'arbre avec les roulements par le côté d'accouplements.
- les couvercles extérieur et intérieur.
- les roulements et les bagues graisseurs.
- les bagues de roue, ôter les vis ou faire sauter les points de soudure et chauffer la bague, enlever les bagues de corps si elles doivent être remplacées. La pompe est maintenant complètement démontée et prête pour l'inspection et la réparation.

b) Montage

- monter la partie inférieure du corps de la pompe.
- visser les demi-coussinets inférieurs entre l'arbre et le corps de palier. Monter le noyau de l'accouplement à l'aide d'un dispositif approprié.
- régler le rotor.
- monter le demi-coussinet supérieur, le joint labyrinthe, le couvercle de palier côté refoulement ainsi que la partie supérieure du corps de palier. Bloquer le corps de palier avec des goupilles coniques ; si nécessaire aléser et ajuster les trous.
- monter le dispositif de contrôle de la position du rotor, comprenant l'indicateur et les tenons.

c) Réglage du rotor

Les corps d'aspiration, de refoulement et d'étage sont liés ensemble par des tirants d'assemblage. Le contre disque d'équilibrage avec son joint plat en parfait état est monté à l'intérieur du corps de refoulement.

- pousser d'abord le rotor vers le coté refoulement jusqu'à ce qu'il bute sur le corps, ensuite le déplacer de 2mm vers le coté aspiration.

Attention !

Ne pas modifier la position du rotor lorsqu'on procède aux mesures de contrôle.

- mesurer l'écart entre la surface d'appui du contre disque d'équilibrage et le moyeu de la dernière roue.
- mesurer l'écart entre la surface d'appui du disque d'équilibrage démonté et la face de la douille d'écartement.
- raccourcir la douille d'écartement.
- l'écart plan et parallèle ne doit pas excéder 0,005mm. Pour l'assemblage définitif.

3.4.2.4. Montage du rotor et de la pompe

- avant le montage, nettoyer soigneusement toutes les pièces, ne pas employer les vieux joints, nettoyer soigneusement le système de lubrification.
- placer les bagues dans le corps et le couvercle. Pour les empêcher de tourner, utiliser la même méthode qu'à l'origine, vis ou point de soudure.
- remonter dans l'ordre inverse du démontage. Si la roue est assemblée avec serrage, la préchauffer au four jusqu'au 200°C. Contrôler l'assemblage corps-couvercle à l'aide de jauges d'épaisseur. Une compression irrégulière du joint causerait le désalignement du groupe.
- remplacement du bourrage,
- le joint mécanique est un matériel de précision, le traiter avec précaution. En le manipulant, ne pas rayer la bague en carbone et prendre garde de ne pas le laisser tomber.

Prendre soin également de la face rectifiée venant en contact avec la bague en carbone. Pour le montage du joint, se référer au plan accompagnant la notice du joint mécanique. Ne pas remettre le joint en service sans avoir remplacé les parties non métalliques ainsi que sans avoir rectifié ou remplacé les faces flottantes.

Avant de remonter le joint, nettoyer parfaitement les surfaces rectifiées.

- contrôler l'alignement.
- boulonner l'accouplement et connecter le moteur.

3.4.3. Technologie de la réparation partielle

3.4.3.1. Restauration de l'arbre

Les arbres sont solidarités par les accouplements, en pratique du fait des défauts d'assemblage ainsi que des défauts de fabrication, l'alignement des arbres ne s'obtient que d'une manière approchée. Les tolérances de précision sur les arbres à accoupler sont établies en portant la valeur supplémentaire sur les arbres et des paliers. [8]

La vérification de l'arbre s'effectue avant et après chaque démontage et montage du rotor. Ainsi, en présence du déséquilibre du rotor, on monte l'arbre soit entre les pointes d'un accessoire spécial soit entre les pointes d'un tour.

Si la flexion de l'arbre dépasse la valeur admissible, l'arbre est soumis au dressage, soit par la méthode mécanique, soit par la méthode thermique.

La méthode mécanique

On utilise une force transversale dont la flexion est dirigée vers le haut. Cette méthode est utilisée pour les diamètres inférieurs à 80 mm.

La méthode thermique

Le dressage s'effectue par chauffage à (500°C).

3.4.3.2. Restauration des paliers

- contrôler le chemin de roulements à l'intérieur de l'alésage et enlever, si nécessaire, certaines marques de pression à l'aide d'un racleur.
- vérifier les ajustements du siège des paliers lisses et du corps de palier.
- étant monté et l'étrier de fixation fortement serré, le demi-coussinet ne doit pas bouger dans son siège.
- si le siège est trop lâché, il faut rectifier les deux surfaces partielles de l'étrier de fixation jusqu'au moment où l'on peut à nouveau serrer le demi-coussinet dans son siège.
- lors d'un montage d'un nouveau demi-coussinet, il faut par principe ajuster les sièges, comme décrit ci-dessus.

3.5. Gamme opératoire

La gamme opératoire est utile pour le département maintenance, elle est un outil qui permet d'aider les techniciens à gérer de façon optimale leur intervention. Le tableau suivant permet d'organiser les tâches d'intervention sur les pompes par type de défaillance, le mode opératoire consiste à organiser les opérations de l'intervention comme suit :

Description	niveau	Spécialité responsable
Ronde quotidienne	1	1 MEC 1 ELC
Analyse vibratoire	4	1 MEC
Contrôle de l'état des câbles, du couvercle de protection, des fixations, du circuit de refroidissement	1	1 MEC
Remplacement de la roue (de la turbine et des pales)	5	2 MEC
Remplacement de l'accouplement	3	2 MEC
Remplacement des boulons d'assemblage	3	1 MEC
Suivi de l'intensité des moteurs	3	1 ELC
Vérification de l'absence de bruit, de vibrations, d'odeur, et d'échauffement anormaux	1	1 MEC
Remplacement de la garniture mécanique	5	Une équipe de maintenance
Graissage des paliers	2	1 MEC
Remise en état du moteur	4	1 ELC
Vérification de l'absence de fuit : sur garnitures mécanique, sur bride corps de pompe ou d'huile	1	1 MEC
Contrôle d'alignement du moteur/pompe	5	1 MEC
Remplacement des filtres	2	1 CHA
Vidange de l'huile de moteur	2	1 MEC
Analyse de liquide de refroidissement	2	1 CHI

Fig.III.2 : Tableau de la gamme opératoire

3.6. Gestion des stocks des pièces au niveau du complexe

- si le groupe ne peut être mis en service immédiatement, il est bon de le stocker dans un endroit sec et de le protéger intérieurement et extérieurement.
- enlever les plaques bouche-trou au moment où l'on est prêt à raccorder les tuyauteries.
- les parties usinées susceptibles d'être corrodées seront inspectées périodiquement et la couche protectrice renouvelée si nécessaire.
- s'il est prévu que la pompe reste stockée pendant une longue période, il est souhaitable de remplir la pompe d'huile, de kérosènes ou de tout autre liquide protecteur.
- les paliers seront remplis d'huile jusqu'au niveau maximum.
- faire tourner l'arbre de temps en temps pour prévenir l'attaque des parties usinées et pour garder le rotor libre.

3.7. Analyse de la fiabilité des équipements

La fiabilité des équipements est d'une grande importance dans les entreprises industrielle, notamment, le complexe Hankel, elle permet de garantir la production et le rendement des équipements dans le complexe. La fiabilité a été analysée en utilisant une des méthodes connues afin de suivre les défaillances et les dégradations durant leur durée de vie.

3.7.1. Diagrammes des organes critiques

Suite à notre présence durant la période de l'élaboration de notre projet dans le complexe Hankel, on a constaté l'absence totale des fiches de suivi des opérations de la maintenance ce qui nous a créé une grande difficulté pour établir une des méthodes de la fiabilité afin de réduire les défaillances et augmenter la disponibilité des équipements. On a essayé de quantifier de façon annuelle les défaillances des équipements, en essayant de faire la traçabilité des organes sensibles des pompes durant trois années.

Cette opération nous permis d'enquêter sur la moyenne des totales des défaillances concernant les organes des pompes centrifuges en consultant le service comptabilité du complexe étant donné que le service maintenance ne possède pas d'archive d'intervention.

Année	2009	2010	2011	total
Fuité sur garniture mécanique	22	13	10	45
Autre pannes	14	9	2	25
Roulements	7	3	3	13
Vibration anormales	10	3	2	15

Fig.III.3 : Tableau des organes critiques

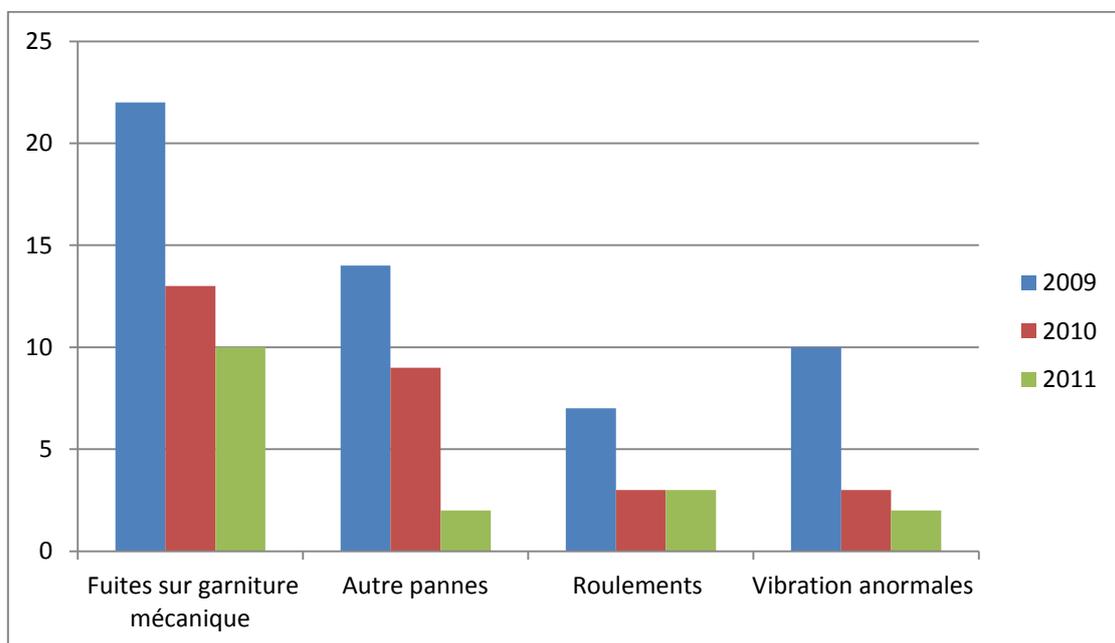


Fig.III.4 : Histogramme des pannes rencontrées

Cet histogramme nous montre les différents types des pannes rencontrées en 2009, 2010 et 2011. Nous constatons que les pannes en 2009 sont importantes par rapport aux autres années. Les défaillances des années 2010 et 2011 sont presque équilibrées, sauf pour le cas des autres pannes où on trouve une grande différence, ceci est du à un manque de suivi des opérations de la maintenance. On conclut d’après cette analyse que les données jouent un rôle importants dans la fiabilité des équipements et dans la programmation des types de maintenances à appliquées, en particulier, dans ce complexe.

3.8. Proposition des fiches de suivi des équipements

Vu l'absence des fiches de suivi des équipements et le manque de données au niveau du service maintenance, ainsi que le personnel qualifié en maintenance, on a proposé des exemples des fiches afin de suivre toute opération d'intervention au niveau des équipements.

3.8. 1. Fiches de suivi des défaillances par nature

Cette fiche permet de suivre les équipements et les organes par nature des défaillances et permet en même temps de pouvoir analyser les degrés de la fiabilité par nature de panne.

Nature de panne	Temps immobilisation	Rang	% par rapport à l'ensemble	Nature de panne par ordre croissant	Heures immobilisation cumulées	% cumulés par rapport à l'ensemble

Fig.III.5 : Tableau de suivi des défaillances par nature

3.8. 2. Fiche de suivi des défaillances par causes

Cette fiche permet de suivre les équipements et les organes par cause des défaillances et permet en même temps de pouvoir analyser les degrés de la fiabilité par la nature de la cause.

Cause de panne	Temps immobilisation	Rang	% par rapport à l'ensemble	Cause de panne par ordre croissant	Heures immobilisation cumulées	% cumulés par rapport à l'ensemble

Fig.III.6 : Tableau de suivi des défaillances par causes

Chapitre 4. Calcul des pompes types P408 et sécurité

4.1. Calcul hydraulique

4.1.1. But

Pour construire n'importe quelle pompe centrifuge, on commence par les calculs des dimensions principales de l'impulseur. Comme étant la pièce principale de la pompe sur laquelle repose les performances de débit et de charge. [10], [11]

Ce calcul ayant pour but de vérifier de l'impulseur à partir des données d'exploitation réelles.

4.1.2. Les données de départ

D'après la fiche technique de la pompe

- ✓ Le débit : $Q = 0.0028 [m^3/s]$.
- ✓ La hauteur de refoulement : $H = 31 \text{ m}$.
- ✓ La vitesse de rotation : $n = 2850 \text{ [tr/mn]}$.
- ✓ La masse volumétrique : $\rho = 1000 \text{ [Kg / m}^3\text{]}$.
- ✓ Puissance consommée : $P_{ab} = 4 \text{ KW}$

4.1.3. Vitesse spécifique N_s

Le calcul de cette vitesse, nous permet de classer la pompe dans la catégorie des vitesses, il est donné par la relation de similitude suivante :

$$N_s = 3.65.n \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (4.1)$$

n : vitesse de rotation [tr/mn] .

Q : débit [m^3/s].

H : Hauteur de refoulement [m].

$$N_s = 3.65 \times 2850 \times \frac{\sqrt{0.0028}}{31^{3/4}} = 41,89 \text{ tr/mn} \quad (4.2)$$

$N_s = 41,89 \text{ tr/mn}$

D'après la classification des pompes centrifuge, notre pompe centrifuge à vitesse faible.

4.1.3. Diamètre de l'arrête d'entrée ramené

Ce diamètre est en fonction de débit et de la vitesse de rotation tel que :

$$D_{r1} = K_0 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} \quad (4.3)$$

K_0 : coefficient d'aspiration, $K_0 = \{3.6 \text{ à } 5\}$, pour notre cas prenons la condition de bonne aspiration $K_0 = 4$.

$$D_{r1} = 4 \times \sqrt[3]{\frac{0.0028}{2850}} = 0.039 \text{ m} \quad (4.4)$$

$$D_{r1} = 0,039 \text{ m}$$

4.1.4. Calcul de rendement de la pompe

4.1.4.1. Rendement hydraulique (η_h)

Le rendement hydraulique caractérise la perte de charge créées dans l'impulseur et qui s'exprime par l'expression suivante : [11]

$$\eta_h = 1 - \left[\frac{0,42}{\log D_{r1}} - 0,172 \right]^2 \quad \eta_h = 1 - \left[\frac{0,42}{\log 0,039} - 0,172 \right]^2 \quad (4.5)$$

$$\eta_h = 77\%$$

Le rendement hydraulique des pompes centrifuges varie entre 0.7 à 0.9.

4.1.4.2. Rendement volumétrique (η_v)

Les rendements volumétriques sont dus à l'existence des fuites à l'extérieur de la pompe, à travers les jeux entre le rotor et le corps de la pompe. On propose la formule suivante pour le calcul du rendement volumétrique :

$$\eta_v = 1 - \left[1 + 0,68 + Ns^{-2/3} \right] \quad \eta_v = 1 - \left[1 + 0,68 + 41,89^{(-2/3)} \right] = 0.76 \quad (4.6)$$

$$\eta_v = 76\%$$

4.1.4.3. Rendement mécanique η_m

Les pertes mécaniques sont des pertes d'énergie dues au frottement mécanique dans les garnitures mécaniques, paliers à butées. On les calcule de la manière suivante :

$$\eta_m = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{820}{N_s^2}\right)\right]^{0.96}} \quad \eta_m = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{820}{41,89^2}\right)\right]^{0.96}} = 0.69 \quad (4.7)$$

$$\eta_m = 69\%$$

4.1.4.4. Rendement global

Il caractérise le rendement total de la pompe, il est calculé par la formule suivante :

$$\eta_g = \eta_v \cdot \eta_m \cdot \eta_h \quad (4.8)$$

$$\eta_g = 0.76 \times 0.69 \times 0.77 = 0.40$$

$$\eta_g = 40\%$$

4.1.5. Calcul des puissances

4.1.5.1. La puissance consommée par la pompe (P_{ab})

C'est la puissance nécessaire pour assurer la charge totale de la pompe, Elle est déterminée comme suit : [11]

$$P_h = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (4.9)$$

$$P_{ab} = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{\eta_g} \quad (4.10)$$

$$P_{ab} = \frac{1000 \times 9.81 \times 31 \times 0.0028}{0.40} = 2128,77W.$$

$$P_{ab} = 2.12 \text{ KW}$$

4.1.5.2. La puissance du moteur (P_m)

La puissance du moteur est prise avec un coefficient de réserve K_r , qui tient compte de la puissance consommée par la pompe P_{ab} , on prend :

$$K_r = 1.25 \text{ pour } P_{ab} < 20 \text{ KW.}$$

$$K_r = 1.2 \text{ pour } 20 < P_{ab} < 50 \text{ KW.}$$

$$K_r = 1.1 \text{ pour } P_{ab} > 300 \text{ KW.}$$

$$P_m = k_r \cdot P_{ab} \quad (4.11)$$

$$P_m = 1.25 \times 2128,77 = 2660,96W$$

$$P_m = 2,66 \text{ KW}$$

4.1.6. Calcul préalable de l'arbre

4.1.6.1. Diamètre de l'arbre (d_a)

On détermine le diamètre de l'arbre approximativement en se basant sur les calculs de résistance :

$$d_a = \left(\frac{M_t}{0.2 \cdot [\tau]} \right)^{1/3} \quad (4.12)$$

M_t : couple de rotation en [N.m]

$[\tau]$: Contrainte admissible des torsions en $[N.m^2]$, choisi selon les recommandations des résistances des matériaux.

4.1.6.2. Calcul de couple de rotation (M_t)

$$M_t = \left(\frac{P_m}{\omega} \right) \quad (4.13)$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3.14 \times 2850}{30} = 298.3 \text{ rad / s} \quad (4.14)$$

$$M_t = \frac{2660,96}{298.3} = 8,92 \text{ N.m}$$

$$M_t = 8,92 \text{ N.m}$$

4.1.6.3. Calcul de la contrainte admissible (τ)

La contrainte admissible à la torsion est exprimée :

$$\tau = Re / N \quad (4.15)$$

Re : Limite minimale apparente d'élasticité. Comme matière de l'arbre prenons l'acier XC42.

$$Re = 335 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

N : Coefficient de sécurité.

$$\tau = 335 \times 10^6 / 4 = 88.75 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \quad \text{Donc : } \tau = 88.75 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$d_a = \left(\frac{8,92}{0,2 \times 88,75 \times 10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.0083 \text{ m}$$

$$d_a = 0,0083 \text{ m}$$

4.1.7. Diamètre moyen de la roue (d_m)

En le calcul d'après la formule suivante :

$$d_m = (1,2 \text{ à } 1,25) d_a$$

(4.16)

$$d_m = 1,25 \times 8.34 = 10.43 \text{ mm}$$

$$d_m = 0,01 \text{ m}$$

4.1.7.1. Détermination des paramètres à l'entrée de la roue

a. Le débit qui traverse la roue (Q_c)

Le but de ce calcul est de déterminer le débit qui circule dans la pompe, en tenant compte des fuites à l'intérieur de la pompe. [11]

$$Q_c = Q / \eta_v$$

(4.17)

$$Q_c = 0.0028 / 0.76 = 0.0036 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_c = 0.0036 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le calcul du débit qui circule dans la pompe, nous permet de montrer qu'il est légèrement supérieur au débit volumétrique, donc on a une bonne étanchéité.

b. Diamètre maximal de l'arrête d'entrée

L'objectif de ce calcul consiste à déterminer le diamètre maximal de l'arrête d'entrée, afin de déterminer la section de l'anneau de la roue, que d_m est connu

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot V_0} + d_m^2} \text{ [m]}. \quad (4.18)$$

V_0 : Vitesse absolue de l'entrée.

$$V_0 = (0.06 \text{ à } 0.08) \cdot \sqrt[3]{Q_c n^2} \quad (4.19)$$

$$V'_0 = 0,06 (0,0036 \cdot 2850^2)^{1/3} \quad V'_0 = \mathbf{1,78}$$

$$V''_0 = 0,08 (0,0036 \cdot 2850^2)^{1/3} \quad V''_0 = \mathbf{2,38}$$

Donc :

$$d'_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0036}{3,14 \cdot 1,78} + 0,01^2} = 0,0517 \text{ m}$$

$$d''_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0036}{3,14 \cdot 2,38} + 0,01^2} = 0,0450 \text{ m}$$

Le diamètre moyen sera :

$$D_1 = \frac{(d'_1 + d''_1)}{2} \quad (4.20)$$

$$D_1 = 0,0483 \text{ m}$$

D'où la vitesse absolue à l'entrée de la roue :

$$V_0 = \left[\frac{4 \cdot Q_c}{\pi(d_1^2 - d_m^2)} \right] \quad (4.21)$$

$$V_0 = \left[\frac{4 \cdot 0,0036}{3,14(0,0483^2 - 0,01^2)} \right] = 1,89 \text{ m/s}$$

c. Diamètre moyen de l'arrête d'entrée (D_0)

C'est un diamètre du point sur l'extrémité d'entrée de l'aube, on prend en générale l'expression suivante pour le calcul du diamètre D_0 :

$$D_0 = (0.7 \text{ à } 0.9) \cdot 136 = (95,2 \text{ à } 122,4) \quad (4.22)$$

en prend la valeur moyenne :

$$D_0 = \mathbf{0,1088 \text{ m}}$$

d. Largeur de la fente à l'entrée (b_1)

On calcul la largeur de la fente à l'entrée de la roue b_1 , sans tenir compte de l'épaisseur de l'aube.

$$b_1 = \frac{q_c}{\pi \cdot (D_0 \cdot v_{1m})} \quad (4.23)$$

V_{1m} : Composante méridienne de la vitesse absolue sans tenir compte de l'épaisseur de l'aube, pour notre cas $V_{1m} = V_0 = 1,89 \text{ m/s}$ (4.24)

$$b_1 = \frac{0.0036}{(3.14 \times 0.1088 \times 1.89)} = 0.0055 \text{ m}$$

$b_1 = 0,0055 \text{ m}$

e. Angle d'aube (β_1) à l'entrée

A cause de l'épaisseur des aubes, la section du courant du liquide à l'entrée diminue, donc la vitesse du liquide augmente. [11]

K_1 est le coefficient de rétrécissement du courant qui tient compte cette augmentation.

Donc : $V_{1m} = K_1 \cdot V_0$ $K_1 = (1.1 \text{ à } 1.15)$ on prend $K_1 = 1.15$

L'angle d'entrée de la circonférentielle ou à l'entrée du rotor sur les aubages β_{1-0} est :

$$\text{tg } \beta_{1-0} = \frac{V_{1m}}{U_1} \quad (4.25)$$

U_1 : la vitesse tangentielle l'entrée de la roue.

$$U_1 = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot \frac{D_0}{2} = \frac{3.14 \times 2850}{30} \times \frac{0.1088}{2} = 16,22 \text{ m/s} \quad (4.26)$$

$$U_1 = 16,22 \text{ m/s}$$

$$\text{tg } \beta_{1-0} = \frac{2,17}{16,22} = 0,134$$

$\beta_{1-0} = 7,63^\circ$

l'angle d'aube à l'entrée : $\beta_1 = \beta_{1-0} + \delta$ (4.27)

δ : l'angle d'attaque pour le calcul on prend $\delta = (3^\circ - 8^\circ)$

$\beta_1 = 11,63^\circ$

$$\beta_1 = 7,63 + 4 = 11,63^\circ$$

Cette valeur est mauvaise, car l'analyse du fonctionnement des pompes a montré que le rendement hydraulique est maximal pour

β_1 compris entre ($25^\circ \div 30^\circ$)

5.1.7.2. Calcul les paramètres de la sortie de la roue

a. Charge théorique en tenant compte du nombre d'aube (Ht)

$$H_t = \frac{H}{\eta_h} = \frac{31}{0,77} = 40,25 \text{ m} \quad (4.28)$$

$$H_t = 40,25 \text{ m}$$

b. Vitesse circumférentielle à la sortie du rotor (U_2)

On peut déterminer la vitesse circumférentielle U_2 en prenant l'approximation de la formule suivant :

$$U_2 = \sqrt{2gH_t} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 40,25} = 29,43 \text{ m/s} \quad (4.29)$$

$$U_2 = 28,10 \text{ m/s}$$

d. Diamètre extérieur de la roue (D_2)

On utilise l'expression suivante pour déterminer le diamètre de la roue D_2 :

$$D_2 = \frac{2 \cdot U_2}{\omega} \quad (4.30)$$

$$\omega = \pi \cdot \frac{n}{30} \text{ donc } \omega = 3,14 \times 2850 / 30 = 298,3 \text{ rad/s} \quad \omega = 298,3 \text{ rad/s}$$

$$D_2 = \frac{2 \times 28,10}{298,3} = 0,188 \text{ m}$$

$$D_2 = 0,188 \text{ m}$$

c. L'angle d'aube à la sortie de la roue (β_2)

On propose la formule suivante pour le calcul de l'angle β_2 :

$$\sin \beta_2 = \frac{\sin \beta_1 \cdot K_1 \cdot V_{2m} \cdot \omega_1}{K_2 \cdot V_{1m} \cdot \omega_2} \quad (4.31)$$

$V_{1m} = V_0$: pour angle d'entrée radiale $\alpha = 90^\circ$

$V_{2m} = V_{1m} \cdot 0,8$: La composante méridienne à la sortie de la roue $V_{2m} = 1,512$ m/s

$\omega_1/\omega_2 = 1,1$: Le rapport des vitesses relative, pour des pertes d'énergie minimale

$K_1 = 1,15$: Coefficient de rétrécissement de l'aube.

$K_2 = 1,1$: Coefficient de rétrécissement de l'aube à la sortie.

$$\sin \beta_2 = \frac{\sin 11,63 \times 1,15 \times 1,512 \times 1,1}{1,1 \times 1,89} = 0,1854$$

$$\beta_2 = 10,68^\circ$$

4.1.8. Calcul des vitesses relatives à l'entrée et à la sortie de la roue

D'après triangle de vitesse

$$\cos \beta_1 = \frac{U_1}{W_1} \longrightarrow W_1 = \frac{U_1}{\cos \beta_1} \quad (4.32)$$

$$= \frac{16,22}{\cos 11,63} = 16,56 \text{ m/s}$$

$$W_1 = 16,56 \text{ m/s}$$

$$\frac{1}{2g} w_2^2 = 0,2(H_t - H_m) \quad (4.33)$$

$$W_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot 0,2(H_t - H_m)}$$

$$W_2 = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,2(40,25 - 31)}$$

$$W_2 = 6,02 \text{ m/s}$$

4.2. Définition de la sécurité

La sécurité est un ensemble des règles et des moyens technique et également un état d'esprit dont la finalité est de créer certaines conditions de travail éliminant les accidents et les avaries. [8]

Les conséquences qui apparaissent en cas de négligence ou d'ignorance des règlements de sécurité sont tellement graves que la connaissance de celle-ci est obligatoire.

La sécurité technique s'intéresse essentiellement à l'homme, aux appareils et procédés technologiques et a une et une organisation de travail.

Elle s'inspire et se base sur le résultat de plusieurs sciences :

- .l'organisation scientifique de travail.
- .les sciences techniques
- .Les sciences médicales.

4.3. Cause des accidents du travail

Les statistiques montrant d'une manière généralement que d'homme est responsable de 75% des accidents, cela veut dire que $\frac{3}{4}$ des accidents sont dues aux facteurs humains, mais il ne faut pas conclure qu'il ne fallait pas chercher à réduire les accidents causés par la machine. C'est pour cette raison le facteur humaine, le facteur machine et les paramètres du milieu ambiant du vent être étudiés simultanément dans un seul système.

➤ *Causes subjectives*

Ce sont des causes qui dépendent de l'activité de l'être humains, elles peuvent être d'un mauvais comportement dans une situation dangereuse ou d'insuffisance d'attention chez l'être humaine.

➤ *Causes objectives*

Elle ne dépendent pas de l'être humain, elles peuvent être techniques ou organisationnelles.

4.4. Organisation de sécurité

Pour créer un milieu de travail sain et sûr pour augmenter la production, et pour conserver la vie du personnel et diminuer au maximum les accidents, il faut installer un service de sécurité, doté d'un système de mesures et des moyens techniques et organisationnelles qui limite l'influence des facteurs industriels dangereux sur les travailleurs et garantissant la sécurité des équipements installés.

Pour que la sécurité puisse être bénéfique, il faut que les responsables du service concerné soient chargés de :

- ✓ Définir une politique de sécurité industrielle.
- ✓ La mise en place d'une structure prenant en charge cette politique et ses objectifs.

- ✓ De pensé au développement de la fonction sécurité au sein de l'entreprise.
- ✓ Etudier les normes, consignes et procédures de sécurité spécifique à l'entreprise.
- ✓ Organisation des campagnes d'information à travers l'ensemble des travailleurs.
- ✓ Veillez au respect de l'application de toutes les consignes données par le service sécurité.
- ✓ Veillez à la normalisation du matériel de sécurité au sein de l'entreprise.

4.5. Sécurité au niveau des ateliers

Dans le but d'assurer la sécurité du matériel et des personnes seins de l'atelier mécanique, afin d'éviter tout incident lors de la manipulation du matériel, et pour garantir une gestion conforme à la raison de tous les ateliers les constructeurs fournissent les consignes de sécurité. Il est nécessaire pour les mécaniciens qui aux ateliers mécanique de respecter les méthodes de travail soit pour l'utilisation d'outils. Chaque fois qu'il est recommandé ainsi on peut éviter la détérioration de l'équipement et de respecter les instructions du constructeur qui furent se présenter comme suit :

- ✓ Maintenir la zone de travail ou la machine sera démontée bien propre et bien rangée.
- ✓ Maintenir les outils propres et bien rangée pendant les travaux de remontage.
- ✓ Pour le serrage d'un boulon ou d'un écrou il faut utiliser la clé qui convient.

4.6. Sécurité du personnel

Pour bien défendre la vie et la santé du personnel d'exploitation et d'entretien, il existe des recommandations concernant la sécurité du personnel, mais qui se base surtout sur les instructions du constructeur lors de l'entretien.

- ✓ Ne jamais commencer les travaux sur la machine juste à l'arrêt.
- ✓ Isoler complètement la machine.
- ✓ Ne jamais faire des réglages pendant la marche de l'équipement dynamique.
- ✓ Lors des opérations d'entretien ou de production, il est nécessaire de porter des vêtements de protection, des lunettes de sécurité, des gants et autres équipements si les conditions l'exigent.
- ✓ L'utilisation d'outillage approprié remplacement ou réparation de tout outil ou matériel cassé.
- ✓ Les accumulations de graisse sur la machine constituent un danger d'incendie.

4.7. Sécurité de la pompe

Le rôle de la sécurité s'accomplisse d'une manière très intéressante en évitant la présence des accidents et l'endommagement du matériel et des équipements.

La sécurité de la pompe doit être établie suivant deux périodes : [8]

- Avant de mettre la pompe en marche.
- Pendant la période de fonctionnement de la pompe.

4.7.1. Sécurité avant de mettre la pompe en marche

Avant de mettre la pompe en marche il faut :

- ✓ Vérifier les dispositifs, leur fixation et système de lubrification.
- ✓ Remplir la pompe par la brute.
- ✓ Fermer la vanne de refoulement et ouvrir celle d'aspiration.
- ✓ Au moment de démontage de la pompe quand la vanne d'aspiration, il est recommandé de laisser la vanne d'aspiration ouverte tout le temps de réparation, il est aussi suggéré d'utiliser un dispositif empêchant le démarrage de la pompe quand la vanne d'aspiration est fermée.
- ✓ Vérifier l'état des conduites d'aspiration et de refoulement pendant et avant le démarrage de la pompe.

4.7.2. Sécurité de la pompe pendant le fonctionnement

Pendant la mise en marche de la pompe, il faut :

- ✓ Consulter les appareils de contrôle.
- ✓ Surveiller les dispositifs la lubrification de la partie d'entraînement
- ✓ Eviter les fuites de brute du côté des couvertures tubulure garniture.
- ✓ Contrôler les vibrations de l'ensemble pompe moteur à l'aide d'indicateur.
- ✓ Pour la sécurité et la condition de production il faut instituer une pompe en réserve lors d'une panne de la pompe en service.

CONCLUSION

La réalisation de ce projet nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine de la mécanique des fluides, des machines hydrauliques, des installations de pompage et particulièrement, la sensibilisation sur les problèmes de maintenance des pompes centrifuges utilisées au niveau du complexe Henkel. En particulier, nous avons analysé les difficultés ressenties des défaillances des pompes qui causent des arrêts de production au niveau de tout le complexe, ceci peut causer des coûts de production et d'exploitation très élevés, menaçant, ainsi, l'avenir du complexe en entier.

Le département de maintenance devrait disposer d'une base de données permettant de disposer d'un fichier informatisé de toutes les pompes du procès ainsi que de leurs caractéristiques. Ceci permettrait d'avoir un accès rapide à la documentation des pompes lors des pannes.

Le nombre de technicien étant très limité pour la maintenance de ce grand nombre d'équipements, nous recommandons de les former au fur et à mesure de la complexité des équipements et d'augmenter leur nombre.

Les études intensives, théoriques et pratiques sur la compréhension des phénomènes complexes qui caractérisent les éléments en turbomachines en générale et les pompes centrifuges en particulier, ont conduit au développement rapides et efficaces que connaît actuellement les installations modernes hydraulique aériennes, chimique, agricoles, etc....

On a faire une statistique pendant trois année, et on a tiré les pièces qui causant les problème dans la pompe.

On a proposé de doter l'entreprise d'un logiciel de GMAO pour organisé le complexe, et faire remplir les dossiers historiques pour traiter les défaillances de manière efficace.

NOMENCLATURE

<i>Symbole</i>	<i>Désignation</i>	<i>Unité</i>
Q_{th}	débit théorique	$[m^3 / s]$
S	Section de la sortie	$[m^2]$
D_2	Diamètre extérieur de la roue	$[m]$
D	diamètre de la roue	$[m]$
N	nombre de tours	$[-]$
R	rayon de la roue	$[m]$
P_1	pression absolue qui s'exerce sur la surface libre du liquide à l'aspiration.	$[bar]$
P_v	pression absolue correspondent à la tension de vapeur du liquide et à la température de pompage.	$[bar]$
Z_1	distance verticale entre la surface libre du liquide et l'axe de la pompe.	$[m]$
ΔH_{asp}	pertes de charges dans la conduite d'aspiration	$[m]$
P_b	Pression absolue	$[bar]$
Q	Le débit	$[m^3 / s]$
H	La hauteur de refoulement	$[m]$
n	La vitesse de rotation	$[tr / min]$
ρ	La masse volumétrique.	$[kg/m^3]$
P_{ab}	Puissance consommée.	$[W]$
K_0	coefficient d'aspiration	$[-]$
M_t	couple de rotation.	$[N . m]$
τ	Contrainte admissible des torsions.	$[N/m^2]$
Re	Limite minimale apparente d'élasticité.	$[N/m^2]$
N	Coefficient de rétrécissement de l'aube à la sortie.	$[-]$
V_0	Vitesse absolue de l'entrée.	$[m/s]$
V_{1m}	Composante méridienne de la vitesse absolue.	$[m/s]$
δ	l'angle d'attaque.	$[^\circ]$
K_2	Coefficient de rétrécissement de l'aube.	$[-]$
K_1	Coefficient de rétrécissement de l'aube à la sortie.	$[-]$
N_s	Vitesse spécifique	$[tr/mn]$
D_{r1}	Diamètre de l'arrête d'entrée ramené	$[m]$
η_h	Rendement hydraulique	$[\%]$
η_v	Rendement volumétrique	$[\%]$
η_m	Rendement mécanique	$[\%]$
η_g	Rendement global	$[\%]$
d_a	Diamètre de l'arbre	$[m]$
d_m	Diamètre moyen de la roue	$[m]$
D_0	Diamètre moyen de l'arrête d'entrée	$[m]$
b_1	Largeur de la fente à l'entrée	$[m]$
W_1, W_2	vitesse relatives à l'entrée et à la sortie de la roue.	$[m/s]$
β_2	L'angle d'aube à la sortie de la roue.	$[^\circ]$
β_1	Angle d'aube à l'entrée	$[^\circ]$
U	Vitesse circonférentielle à la sortie du rotor	$[m/s]$

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Chapitre I

Figure I.1 : Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux.....	11
Figure I.2 : la répartition de la vitesse et de la pression dans une pompe.....	13
Figure I.3 : Ecoulement du liquide à l'intérieur d'une roue à aubes.....	13
Figure I.4 : Triangle de vitesse à l'entrée et à la sortie de la roue.....	15
Figure I.5 : Courbe caractéristique hauteur en fonction du débit.....	16
Figure I.6 : Courbes caractéristiques, rendement et puissance en fonction de débit.....	17
Figure I.7 : Courbes caractéristiques de NPSH en fonction de débit.....	18
Figure I.8 : Variation de la hauteur d'élévation en modifiant diamètre de la roue.....	19
Figure I.9 : Variation de la hauteur d'élévation en changeant la vitesse de rotation.....	20
Figure I.10 : Caractéristique de la pompe équivalente à deux pompes en série.....	21
Figure I.11 : Caractéristiques de la pompe équivalente à deux pompes en parallèle.....	22

Chapitre II

Figure II.1 : Pompes à deux vis à engrenement direct.....	24
Figure II.2 : Pompes à deux vis à engrenages de synchronisation.....	25
Figure II.3 : Pompes à trois vis.....	26
Figure II.4 : Pompes à engrenages extérieur.....	27
Figure II.5 : Pompes à engrenages intérieurs.....	28
Figure II.6 : Pompes à rotor hélicoïdal excentré.....	29
Figure II.7 : Pompes à piston rotatif.....	30
Figure II.8 : Pompe a palettes rigides.....	31
Figure II.9 : Pompe peristaltiques.....	31
Figure II.10 : Pompes à piston.....	32
Figure II.11 : Pompe a membranes.....	33

Chapitre III

Fig.III.1 : Organigramme des différents types de maintenance.....	36
Fig.III.2 : tableau de la gamme opératoire.....	43
Fig.III.3 : Tableau des organes critiques.....	44

Fig.III.4 : Histogramme des pannes rencontrées de janvier 2009 à juin 2011.....	45
Fig.III.5 : Tableau de suivi des défaillances par nature.....	45
Fig.III.6 : Tableau de suivi des défaillances par causes.....	46

INTRODUCTION

Le problème du transport des liquides s'est imposé depuis longtemps, soit dans le domaine industriel soit dans le domaine domestique.

Pour faire circuler un liquide dans les installations industrielles, il faut lui fournir une certaine énergie afin qu'il puisse se déplacer d'un point à un autre.

En vue de résoudre ce problème, la pompe a fait son apparition. La naissance de cette machine a contribué au développement de l'industrie.

Les pompes, en tant qu'appareils permettant de véhiculer les liquides, sont les pièces maîtresses qui donnent la vie aux unités de fabrication. Leur choix et leur installation doivent faire l'objet des soins particuliers de la part des services d'études. Leur entretien requiert une équipe de spécialistes très qualifiés afin qu'elles puissent assurer, dans les meilleures conditions, un service continu pendant leur durée de vie.

Les pompes sont des machines qui fournissent de l'énergie aux fluides, cette énergie permet à ces fluides de couler dans une conduite et de monter au niveau le plus élevé.

Les pompes contiennent des organes mécaniques très courants assurant des fonctions très diverses et sont indispensables dans les installations industrielles ou domestiques.

On a trouvé des difficultés concernant les historiques de la pompe pour calculer une des méthodes de la fiabilité, et pour faire des calculs de vérification de la pompe.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Documentation (des rapports de stage) dans l'entreprise de HENKEL 2011.**
- [2] **Cours de pompe et compresseur -I- FHC (TMP/07), INH - 2011.**
- [3] **ADAMT. TRUSKOLANSKILES, TURBOPOMPES « Théorie- tracé –construction » ,1977**
- [4] **Adamt T, Les Turbopompes, Eyrolles, Paris, 1976.**
- [5] **ENSPM Formation Industrie - IFP Training (Risques et Précautions liés au Matériel-POMPES) 2005.**
- [6] **[httpwww.wontu.fr](http://www.wontu.fr) COURSCHAP-5_POMPES**
- [7] **Daniel BOITEL et Claude HAZARD, Edition NATHAN, Guide de la maintenance, Juin 1991 France.**
- [8] **Miguel A., Méthodologie et optimisation dans la conception et l'analyse des performances des turbomachines à fluide incompressible. Thèse de doctorat ENSAM, Paris ,1999.**
- [9] **JOEL VOVARD ingénieur CNAM. La circulation des fluides dans les pompes centrifuges 1985.**
- [10] **SCHMIDT JURGEN, Mécanique des fluides 1988.**
- [11] **Daniel THIN, Les pompes et leurs application, 1964 France.**
- [12] **http://eduscol.education.fr/rnchimie/gen_chim/triboulet/rtf/typepomp.Pdf**
- [13] **http://www.azprocede.fr/Cours_GC/pompe_introduction.html**
- [14] **http://www.azprocede.fr/Cours_GC/pompe_centrifuge_principe.html**
- [15] **http://icam.fr/telechargement/ressources_pedagogiques/109N_ICAM1_MFLU-Annexe- PompesCentrifuges.pdf**

RÉSUMÉ

Le projet fait l'objet d'une étude globale sur les pompes, spécialement les pompes centrifuges, et le travail au niveau de l'entreprise de HENKEL de « Ain Temouchent » sur la maintenance de ce type de pompe, leur installation et leur exploitation au niveau de la production afin d'optimiser le cout de la production.

Mon travail consiste à analyser et à étudier toutes les particularités des pompes centrifuges qui sont utilisées dans la chaine de la production et montrer l'importance de la maintenabilité et de la disponibilité de ces pompes.

Ce travail commence par une présentation de l'entreprise de HENKEL, des généralités sur les pompes, en suite, les différents types de consignes et des connaissances de montage et d'adaptation de ces pompes. Une analyse a été établie sur les séries des pompes types P408 afin de pouvoir déterminer l'évolution de leur défaillance et de leur dégradation. En fin, le travail a été poursuivi par un petit calcul des pompes, des consignes de la sécurité et des propositions des fiches de suivi de la défaillance des pompes.

ملخص

هذا المشروع يخضع لدراسة شاملة للمضخات و خاصة مضخات الطرد المركزي ، والعمل في شركة HENKEL "عين تموشنت" للحفاظ على هذا النوع من التثبيت والتشغيل الجيد للمضخات على مستوى الإنتاج من أجل الاستفادة المثلى من تكلفة الإنتاج.

عملي يقوم بتحليل ودراسة جميع خصائص مضخات الطرد المركزي التي تستخدم في سلسلة الإنتاج حيث تظهر أهمية الصيانة والمتابعة لنوعية هذه المضخات.

هذا العمل يبدأ عرض هيكل الشركة و ذكر معلومات عامة عن المضخات ثم ابراز أنواع المعرفة و التعليمات لتجميع وتكييف هذه المضخات. اعطيت اهمية خاصة لتحليل نوع سلسلة مضخات P408 من أجل تحديد تطور فشلهم وتدهورها.

في نهاية أطرح ادرج العمل لحساب من قبل المضخات و اعطاء تعليمات السلامة والاقتراحات الخاصة بما يزيد من الانتاج و الانتاجية.