

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR**  
**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA**  
**FACULTÉ DE TECHNOLOGIE**  
**DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE**

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

**MASTER**

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : INSTALLATIONS ÉNERGÉTIQUES ET TURBOMACHINES

PAR :

**MEBARKI FODIL**

**&**

**OUHADJ MAHMOUD**

## **Thème**

---

Etude technologique et analyse du rendement d'une pompe centrifuge

---

Soutenu le 12/10/2020 devant le jury composé de:

Mr. M.A.BRADAI

Président

Mr. R.YOUNES

Rapporteur

Mr. AMARI Djamel

Examineur

**ANNÉE UNIVERSITAIRE 2019-2020**

# Remerciements

# Remerciements

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné santé, volonté et le courage d'accomplir ce travail et de le mener jusqu'au bout.*

*Nos vifs remerciements sont destinés à Mr R.YOUNES, notre promoteur, pour son aide, ses critiques constructives, ses explications et suggestions pertinentes et pour la qualité de ses orientations tout au long de ce travail et pour avoir apporté tant de soins à la réalisation de ce mémoire.*

*Nous ne pouvons pas oublier de présenter notre gratitude à nos parents pour les efforts inlassables qu'ils ne cessent de déployer pour nous.*

*Nous remercions également les membres du jury qui nous font honneur en acceptant d'examiner et de juger notre travail.*

*Sans oublier l'équipe du hall de technologie de l'université de Bejaia.*

*Enfin, un merci particulier à tous ceux qui nous ont apporté leur soutien.*

# *Dédicace*

# *Dédicace*

*Nous dédions ce modeste travail à :*

*Nos très chers parents qui nous ont orientés vers le bon Chemin, qui ont toujours prié dieu pour nous*

*Nos frères et sœurs*

*Nos familles et amis*

*Tout le groupe mécanique énergétique*

*Que dieu vous protège*

# Liste des figures

# Liste des figures

---

## Chapitre I

<b>Figure I.1</b>	Composition de pompe de cavité a vis excentré.....	05
<b>Figure I.2</b>	Vue éclatée d'une pompe à engrenages externes. ....	06
<b>Figure I.3</b>	Principe de fonctionnement d'une pompe a palettes.....	07
<b>Figure I.4</b>	Vues écorchées d'une pompe à palettes à excentrique. ....	09
<b>Figure I.5</b>	Pompe à membrane. ....	10
<b>Figure I.6</b>	Principe de fonctionnement d'une pompe a membranes.....	11
<b>Figure I.7</b>	Schéma de comparaison entre une pompe a pistons radiaux et axiaux.....	13
<b>Figure I.8</b>	Classification des pompes roto-dynamiques. ....	14
<b>Figure I.9</b>	Pompes roto-dynamique a une seule roue et a plusieurs.....	14
<b>Figure I.10</b>	Courbe caractéristique d'une pompe centrifuge. ....	18
<b>Figure I.11</b>	Schéma de perte de charge linéaire.....	24
<b>Figure I.12</b>	Schéma de perte de charge singulière.....	25

## Chapitre II

<b>Figure II.1</b>	Types d'une roue centrifuge: a_ un type splitter. b_un type sans Splitter....	28
<b>Figure II.2</b>	Représentation schématique d'une pompe centrifuge.....	32
<b>Figure II.3</b>	Courbe caractéristique de la hauteur manométrique en fonction du débit....	33
<b>Figure II.4</b>	Courbe caractéristique du rendement en fonction du débit.....	33
<b>Figure II.5</b>	Courbe caractéristique de la puissance électrique en fonction du débit.....	34
<b>Figure II.6</b>	Courbe de la hauteur manométrique en fonction du débit.....	35
<b>Figure II.7</b>	Courbe du rendement en fonction du débit.....	36

## Liste des figures

---

<b>Figure II.8</b>	Courbe de la puissance en fonction du débit.....	37
<b>Figure II.9</b>	Formation de la cavitation.....	41

## Chapitre III

<b>Figure III.1</b>	Présentation extérieure de la pompe centrifuge.....	43
<b>Figure III.2</b>	Coupe de la pompe centrifuge monocellulaire CPKN-S.....	44
<b>Figure III.3</b>	Vue éclaté de la pompe centrifuge CPKN-S.....	46
<b>Figure III.4</b>	Pompe CPKN-S du site SP2.....	49
<b>Figure III.5</b>	Fonctionnement en charge de la pompe proposé.....	50
<b>Figure III.6</b>	Courbe caractéristique $H = f(Q)$ .....	51
<b>Figure III.7</b>	Courbe caractéristique de la conduite.....	53



# Liste des tableaux

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau II.1</b>	d'essai de d'une pompe GUINARD DVMX par le constructeur.....	36
<b>Tableau II.2</b>	Paramètres d'exploitation d'une pompe et ses unités.....	38
<b>Tableau II.3</b>	Catégorie des pompes centrifuges .....	39
<b>Tableau III.1</b>	caractéristique technique de la pompe CPKN-S.....	48
<b>Tableau III.2</b>	Données, hauteur en fonction du débit $Q_0 = f(H_0)$ .....	51
<b>Tableau. III.3</b>	Données, Hauteur en fonction du débit $Q_1 = f(H_1)$ .....	52

# Sommaire

	Introduction générale.....	01
 <b>Chapitre I : généralités sur les pompes</b>		
<b>I.1</b>	Introduction.....	03
<b>I.2</b>	Classification des pompes.....	03
<b>I.2.1</b>	Famille I : pompes volumétriques rotatives.....	03
<b>I.2.1.1</b>	Pompes a vis.....	04
<b>I.2.1.2</b>	Pompe a engrenages.....	05
<b>I.2.1.3</b>	Pompe a lobes.....	06
<b>I.2.1.4</b>	Pompe a palettes.....	06
<b>I.2.2</b>	Famille II : pompes volumétriques alternatives.....	09
<b>I.2.2.1</b>	Pompe a membranes.....	10
<b>I.2.2.2</b>	Pompe a piston.....	12
<b>I.2.3</b>	Familles III : pompes roto-dynamiques.....	13
<b>I.2.3.1</b>	Description .....	13
<b>I.2.3.2</b>	Classification des pompes roto-dynamiques.....	13
<b>I.2.3.3</b>	Avantages et inconvénients des pompes roto-dynamiques.....	15
<b>I.3</b>	Les pompes centrifuges.....	16
<b>I.3.1</b>	Utilisation.....	16
<b>I.3.2</b>	Fonctionnement.....	16
<b>I.3.3</b>	Théorie des pompes centrifuges.....	17
<b>I.3.3.1</b>	Critères généraux de définition des pompes centrifuges.....	18
<b>I.3.3.2</b>	Types des pertes.....	22
<b>I.3.3.3</b>	Le rendement.....	26
<b>I.3.3.4</b>	La hauteur manométrique totale de la pompe.....	26
<b>I.4</b>	Conclusion.....	27

## **Chapitre II : les pompes centrifuges**

<b>II.1</b>	Introduction.....	28
<b>II.2</b>	Description de la pompe centrifuge.....	28

## Sommaire

---

<b>II.3</b>	Nomenclature.....	28
<b>II.4</b>	Conception de la pompe.....	29
<b>II.5</b>	Corps de la pompe.....	29
<b>II.6</b>	Mobile de la pompe.....	30
<b>II.7</b>	Courbes caractéristiques de la pompe centrifuge.....	32
<b>II.8</b>	Paramètres d'essai de la pompe.....	34
<b>II.8.1</b>	La hauteur manométrique par rapport au débit.....	35
<b>II.8.2</b>	Le rendement en fonction du débit.....	36
<b>II.8.3</b>	La puissance absorbée en fonction du débit.....	36
<b>II.9</b>	Calcul hydraulique.....	37
<b>II.10</b>	Solutions des problèmes d'une pompe centrifuge.....	40
<b>II.10.1</b>	Solution pour les problèmes de cavitation.....	41
<b>II.10.2</b>	Amélioration du NPSH des pompes.....	41
<b>II.11</b>	Conclusion.....	42

## **Chapitre III : Etudes technologique de la pompe CPKN-S du constructeur KSB**

<b>III.1</b>	Définition de la Pompe centrifuge CPKN-S.....	43
<b>III.2</b>	Type de la pompe .....	44
<b>III.2.1</b>	Fonctionnement .....	45
<b>III.2.2</b>	synoptique de la pompe monocellulaire CPKN-S.....	45
<b>III.2.3</b>	fiche technique de la pompe CPKN-S.....	48
<b>III.3</b>	Partie calcul.....	48
<b>III.3.1</b>	Introduction.....	48
<b>III.3.2</b>	Problématique causé.....	48
<b>III.3.3</b>	Calcul hydraulique.....	49
<b>III.3.3.1</b>	Calcul de la hauteur manométrique .....	49
<b>III.3.3.2</b>	Courbe caractéristique de la conduite.....	51
<b>III.3.3.3</b>	Choix du moteur.....	53
<b>III.3.3.4</b>	Caractéristiques du moteur .....	55
<b>III.3.3.5</b>	Bilan des puissances.....	55

# Sommaire

---

<b>III.4</b>	Conclusion.....	57
--------------	-----------------	----

# Introduction générale

## Introduction générale

Dès la plus haute antiquité jusqu'à l'époque moderne, l'homme n'a jamais cessé de voir en l'eau l'une de ses préoccupations fondamentales. Élément de base de toute vie qu'elle soit végétale ou animale, ce liquide fait l'objet d'un intérêt majeur, à tel point que le développement des techniques de son exploitation ont beaucoup évoluées avec le temps.

Pour faire circuler un fluide, on peut utiliser la gravité ou le vide, mais c'est souvent insuffisant dans la pratique, et on est donc amené à mettre en œuvre des pompes.

Les pompes sont des machines servant à élever les liquides ou les mélanges de liquides d'un niveau inférieur à un niveau supérieur, ou refouler les liquides d'une région à faible pression vers une région à haute pression. Le fonctionnement d'une pompe consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration et la région de refoulement au moyen de l'organe actif (piston, roue,...etc.) de la pompe.

Du point de vue physique, les pompes transforment l'énergie mécanique du moteur d'entraînement en énergie hydraulique. Ainsi elles permettent un transfert d'énergie entre le fluide et un dispositif mécanique convenable. Ces machines communiquent au fluide soit principalement de l'énergie potentielle par accroissement de la pression en aval, soit principalement de l'énergie cinétique par la mise en mouvement du fluide.

Les pompes sont généralement classées en deux catégories : les pompes volumétriques et les pompes roto-dynamiques. Dans les pompes volumétriques on retrouve les pompes rotatives et les pompes alternatives tant dis que la deuxième catégorie regroupe principalement les pompes centrifuges.

Dans ce présent travail, nous nous intéressons à l'étude technologique et à l'analyse du rendement d'une pompe centrifuge. Notre travail de recherche est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à une étude bibliographique sur les pompes en générale de leurs différentes classifications, de leurs principes de fonctionnement et de leurs caractéristiques en générale.



## Introduction générale

---

Le deuxième chapitre est exclusivement consacré à une étude technologique sur les pompes centrifuges et à l'approfondissement des connaissances liées à elles.

Quant au troisième chapitre, il est réservé à l'étude technologique de la pompe monocellulaire CPKN-S du constructeur KSB, à sa conception, son fonctionnement, ses différentes caractéristiques ainsi qu'aux conditions de son exploitation, suivis d'une partie calculée ou nous détermineront les différents paramètres de la pompe.

# Chapitre I :

## Généralités sur les pompes

# Généralités sur les pompes

---

## I.1. Introduction

L'existence de l'eau et sa non disponibilité ont toujours conduit l'homme à chercher des moyens de mettre ce liquide précieux à leur portée et pour une meilleure utilisation.

Après une recherche, l'homme trouve une solution, c'est la pompe, les pompes qui constituent aujourd'hui des éléments essentiels dans les domaines d'élévation ou le transport des fluides sont utilisées notamment dans le domaine de l'industrie, elles jouent un rôle incontournable dans l'exploitation aussi bien industrielle que domestique de l'eau. Très efficaces par leur fonction, leur maîtrise est indispensable pour une bonne conduite, mais aussi pour une utilisation optimale de ces outils à consommation d'énergie relativement élevée.

Les pompes sont des machines servant à élever les liquides ou les mélanges de liquides d'un niveau inférieur à un niveau supérieur, ou refouler les liquides d'une région à faible pression vers une région à haute pression

## I.2. Classification des pompes

On regroupe toutes ces pompes sous trois grandes familles :

- Les pompes hydrauliques volumétriques rotatives.
- Les pompes hydrauliques volumétriques alternatives.
- Les pompes hydrauliques roto-dynamiques.

### I.2.1. Famille I : Pompes volumétriques rotatives

Les pompes volumétriques rotatives couvrent une plage étendue de débits et constituent donc des pompes d'injection ou de dosage idéales. Elles sont souvent une solution économique, surtout pour les industries alimentaire, pharmaceutique et biotechnologique et pour les pressions plus faibles.

# Généralités sur les pompes

---

Les pompes rotatives de nos partenaires de renom couvrent une plage de débits allant de quelques l/h à plusieurs centaines de m<sup>3</sup>/h et incluent des pompes à engrenages, des pompes à lobes, des pompes à vis hélicoïdale ainsi que des pompes à vis excentrée. [1]

## I.2.1.1. Pompe à vis

Les pompes à vis excentrique, appelées mono-vis, sont des pompes à déplacement positif constituées d'un rotor hélicoïdal en acier inox accouplé à un stator en caoutchouc vulcanisé. Utilisées pour pomper des produits liquides, visqueux et délicats, abrasifs ou avec des matériaux solides en suspension, les pompes à vis excentrique, comme toutes pompes volumétriques, délivrent un débit constant et peuvent assurer des pressions max de 24 bars et des débits max de 160 m<sup>3</sup>/h , figure I.1.

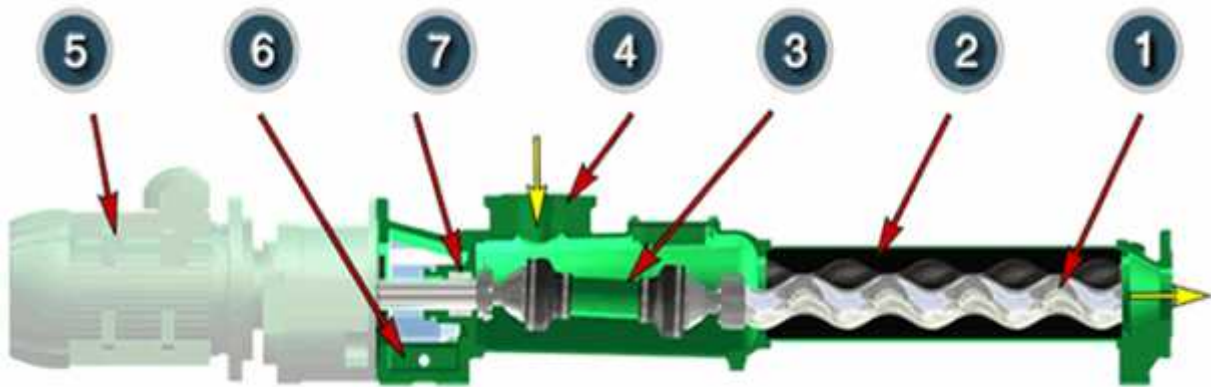
Elles sont en outre auto-amorçantes, fonctionnent avec un bas régime de rotation et maintiennent de hauts rendements dans un vaste champ de vitesse, en atteignant, si installées dans des conditions optimales, des valeurs de 75-80%. Elles sont fabriquées dans les versions les plus variées suivant les secteurs d'emploi et les exigences spécifiques des clients.

Les orifices d'aspiration et de refoulement sont filetés conformément aux normes DIN 11851 et en option dans la version SMS, CLAMP, RJTBS, IDF, OENOLOGIQUE.

Il existe plusieurs exécutions à savoir :

- J Exécutions alimentaires ;
- J Exécutions avec trémies et vis sans fin de pré-alimentation : pour produits visqueux ;
- J Exécutions avec trémies et vis sans fin de pré-alimentation et concasseur : produits denses, en blocs ou en pièces, qui ont la tendance à s'arrêter sur la vis ;
- J Exécutions avec trémies et vis sans fin de pré-alimentation et deux alimentateurs à Pales : particulièrement visqueux pour lesquels il faut une pression pour alimenter la vis sans fin.

# Généralités sur les pompes



1\_Rotor.

2\_Stator.

3\_ Transmission et joint.

4\_Corps de pompe.

5\_Moteur.

6\_Acouplement.

7\_Joint.

**Figure I.1 :** Composition de pompe de cavité à vis excentrée. [1]

## I.2.1.2. Pompe à engrenages

Dans un corps de pompe de profil approprié et portant des orifices d'aspiration et de refoulement tournent deux engrenages dont les dents entraînent le liquide entre creux de dents et corps de pompe. Il existe deux types des pompes à engrenages : Pompes à engrenages extérieure, Pompes à engrenages intérieure.

### a - Pompes à engrenages extérieur

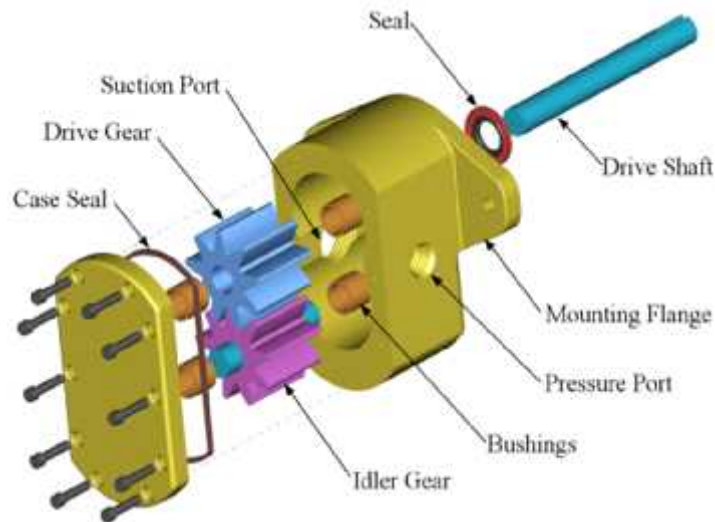
Ce type de pompe comporte un grand nombre de variantes qui diffèrent entre elles soit par la disposition, soit par la forme des engrenages, figure I.2.

### b - Pompes à engrenages intérieurs

Le principe général consiste à placer un des engrenages à l'intérieur de l'autre. Cette disposition nécessite l'utilisation d'une pièce supplémentaire en forme de croissant qui permet l'étanchéité entre les deux trains d'engrenages.

# Généralités sur les pompes

---



**Figure I.2 :** Vue éclatée d'une pompe à engrenages externes. [1]

## I.2.1.3. Pompes à lobes

Le principe reste le même que celui d'une pompe à engrenages externes classique à ceci près que les dents ont une forme bien spécifique et qu'il n'y a que deux ou trois dents (lobes) par engrenage.

## I.2.1.4. Pompe à palettes

La pompe à palettes est une pompe rotative dont le rotor est muni de plusieurs lames (les palettes) qui coulissent radialement et assurent le transfert du fluide pompé.

La pompe à palettes est une pompe de transfert volumétrique. Elle est constituée par un corps en fonte à l'intérieur duquel se trouvent un stator (fixe) et un rotor en acier qui tourne tangentiellement au stator. Solidaires du rotor, les palettes peuvent coulisser et sont maintenues en contact avec les parois du stator par un jeu de ressorts et la force centrifuge.

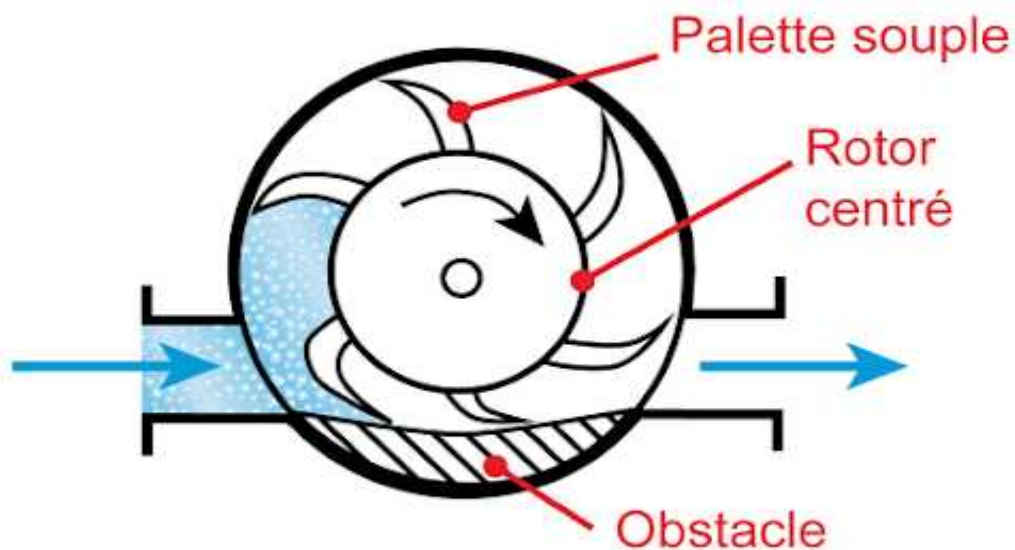
# Généralités sur les pompes

---

En oléo hydraulique, elles sont généralement du type équilibré, soit 2 aspirations et 2 refoulements par corps et peuvent monter à plus de 300 bars.

C'est aussi une des solutions retenues pour les compresseurs de climatisation des véhicules automobiles ou des avertisseurs sonores à trompe. On les utilise aussi comme pompe à vide dans de nombreux domaines, dont le médical. Un principe analogue a inspiré plus tard le moteur Wankel.

Ce type de pompe est surtout utilisé pour diminuer ou augmenter la pression des gaz : pompe à vide, compresseur d'air, climatiseur, réfrigérateur...etc. Il est aussi très utilisé dans les circuits hydrauliques. Elles sont à débits fixes ou variables, les pompes à palettes sont peu bruyantes.



**Figure I.3 :** Principe de fonctionnement d'une pompe a palettes. [2]

## a. Principe de fonctionnement

La pompe à palettes est une pompe de transfert volumétrique. Elle est constituée par un corps en fonte à l'intérieur duquel se trouvent un stator (fixe) et un rotor en acier qui tourne tangentiellement au stator. Les palettes peuvent coulisser dans les rainures du rotor et sont maintenues en contact avec les parois du stator par un jeu de ressorts et la force centrifuge.

# Généralités sur les pompes

---

Les dernières générations permettant d'atteindre des pressions de l'ordre de 320 bar ont une compensation de l'effort des palettes sur la face intérieure du stator par équilibrage hydrostatique sous les palettes, la force d'appui est proportionnelle à la pression de refoulement grâce à des canaux dans le rotor qui permet de transmettre sous les palettes la pression de refoulement.

La génératrice de tangence rotor-stator divise le corps de la pompe en trois parties notées I, II et III. Le domaine I est relié à l'enceinte à vide par une canalisation G ; le domaine III est en liaison avec l'atmosphère par une soupape A recouverte d'un bain d'huile qui assure l'étanchéité de A et la lubrification des parties mobiles. Lorsque l'espace I d'admission est en expansion, l'espace II qui est clos sera en expansion, puis en compression. Lorsque la pression en III sera supérieure à la pression de la soupape, celle-ci sera soulevée et les gaz refoulés.

Particularité géométrique : comme le stator cylindrique (ou ovale) a un rayon de courbure supérieur à celui du rotor, les 2 surfaces (rotor - stator) ne peuvent se rapprocher parfaitement au point haut, comme le fait le piston dans son cylindre. Dans le cas des liquides incompressibles, cette limitation est mineure (recirculation neutre d'un petit volume de liquide), mais elle se traduit par un taux de compression faible avec les gaz compressibles et réduit l'efficacité des projets de moteurs à palettes à combustion. Notons que la Quasi turbine est un cas limite avec des palettes à débattement imperceptibles, dont les surfaces du rotor et du stator peuvent se marier exactement l'une contre l'autre pour produire un taux de compression élevé.[2]

## **b. Pompe à palettes à excentrique**

Pour ce type de pompe à palettes, le rotor et le stator ont une section circulaire mais leur axe est excentré. Un dispositif supplémentaire peut faire varier la valeur de l'excentricité, la pompe est alors à cylindrée variable

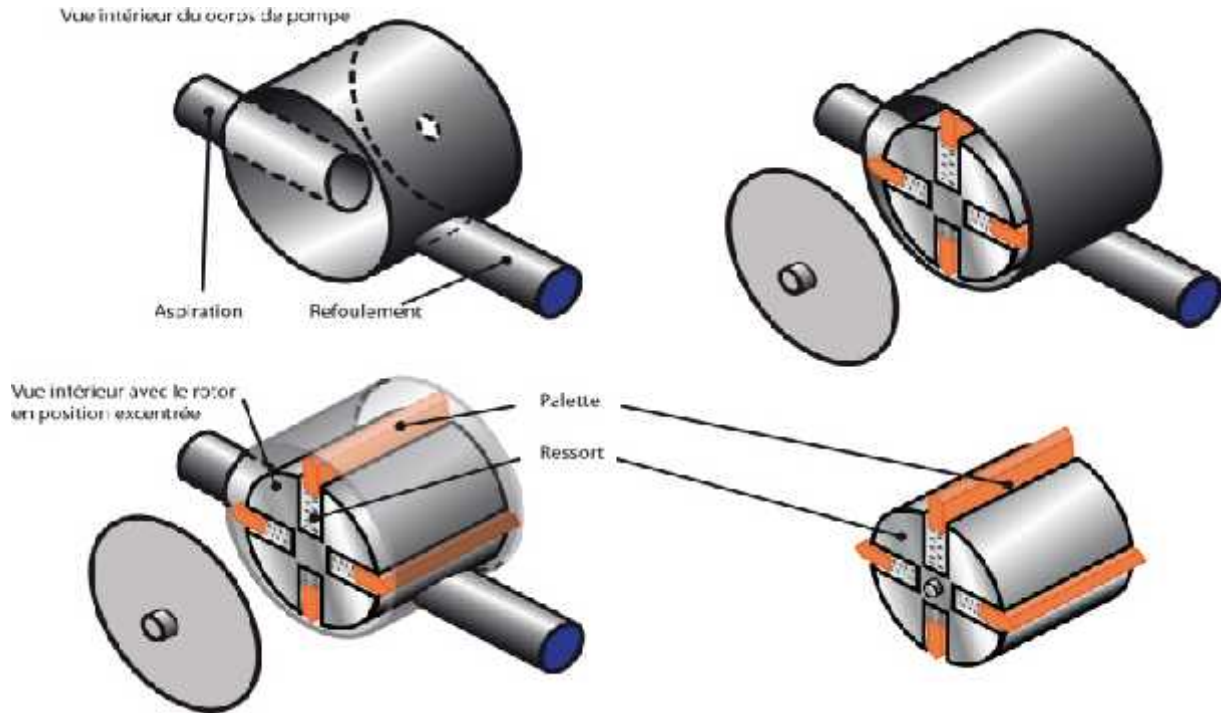
Ce dispositif de réglage peut être commandé par la pression de refoulement, la cylindrée devenant nulle si cette pression devient trop élevée on parle alors de pompes à annulation de débit.

Dans le cas de la pompe sur la photo ci-contre, la forme du stator crée deux chambres distinctes symétriques. Cette symétrie permet d'équilibrer les efforts sur le rotor, figure I.4.



# Généralités sur les pompes

---



**Figure I.4 :** Vues écorchées d'une pompe à palettes à excentrique. [2]

## c. Pompes à deux étages

Elle est constituée de deux pompes associées en série dans un même bâti. Elle permet d'obtenir une pression limite environ dix fois plus petite que celle d'une pompe à un seul étage. En effet, dans les pompes à un étage, l'huile se trouvant au contact avec l'atmosphère extérieure absorbe de l'air et le libère partiellement lors de la rotation des palettes du côté aspiration, augmentant ainsi la pression limite.

## I.2.2. Famille II : Pompes volumétriques alternatives

Ce type de pompes est utilisé pour les fluides qui ne sont pas particulièrement compressibles.

Le fluide est élaboré par la machine dans un volume de contrôle variable dans le temps, de manière périodique.

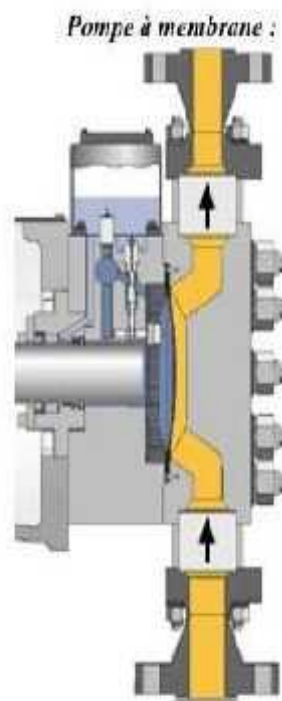
Le fluide est échangé statiquement avec la machine, sur des surfaces en mouvement.

# Généralités sur les pompes

---

## I.2.2.1. Pompe à membranes

Une pompe à membranes est une pompe à déplacement positif qui utilise deux membranes flexibles se déplaçant en va-et-vient, créant ainsi une chambre temporaire. Les membranes aspirent et expulsent le fluide à travers la pompe. Elles fonctionnent comme une paroi de séparation en l'air et le liquide. Elles sont reliées par un arbre dans la section centrale. La membrane est au cœur de nos pompes et joue un rôle clé dans leurs performances. De nombreuses applications bénéficient de l'utilisation de cette technologie : la membrane empêche la contamination du fluide et assure une étanchéité optimale pour le transfert du fluide. Utilisée avec des liquides, la pompe à membrane est auto-amorçante et peut fonctionner à sec en toute sécurité. Utilisée avec des substances gazeuses, elle résiste à l'humidité et au condensat, figure I.5.



**Figure I.5 :** Pompe à membrane. [2]

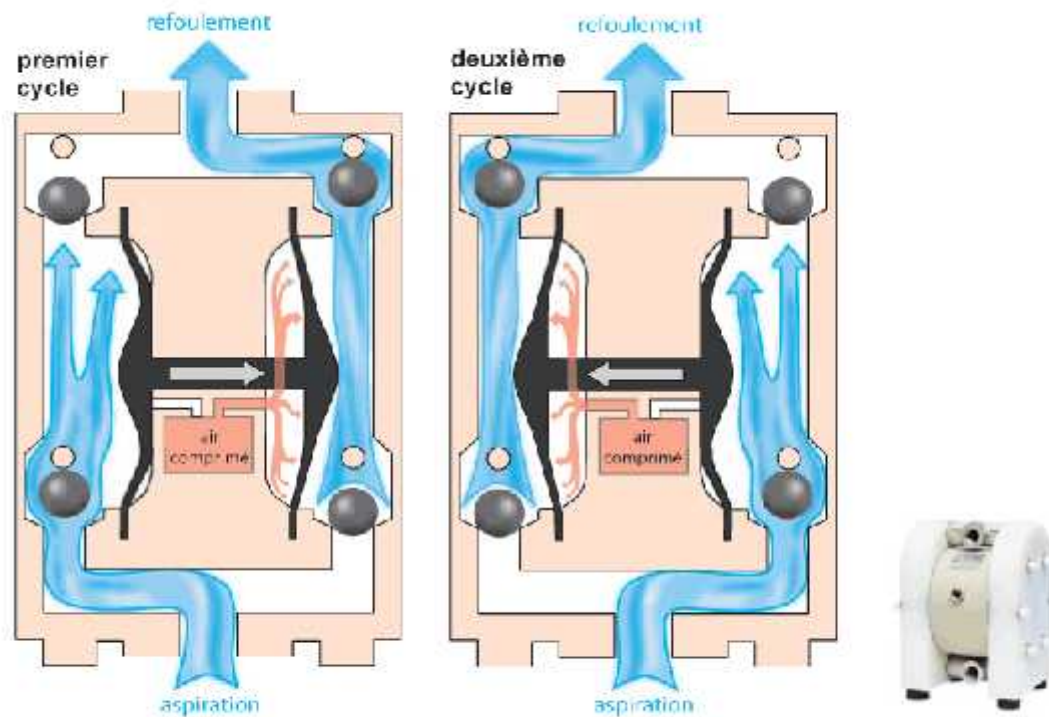
### I.2.2.1.1. Types de pompes à membranes

Il existe différents modèles de pompes à membranes ; les pompes pneumatiques à double membrane, les pompes à membranes électriques et les pompes pneumatiques à piston. [3]

# Généralités sur les pompes

## I.2.2.1.2.Principe de fonctionnement

Le principe de nos pompes à membrane est le suivant : un moteur dans le corps de la pompe entraîne une bielle qui déplace la membrane en élastomère de haut en bas. Lors de la course descendante, la membrane aspire le fluide par le clapet d'aspiration. Lors de la course ascendante, elle expulse le fluide par le clapet de refoulement. La chambre de compression est hermétiquement isolée du mécanisme d'entraînement par la membrane. Le risque de fuite est quasi nul. La pompe n'a pas besoin d'huile pour transférer, évacuer et compresser le fluide, figure I.6.



**Figure I.6 :** Principe de fonctionnement d'une pompe a membranes. [3]

# Généralités sur les pompes

---

## I.2.2.2. Pompe à piston

Le mouvement alternatif du piston fait varier le volume du corps de la pompe, le fluide progresse ainsi de l'aspiration vers le refoulement. Notons que le fonctionnement d'une pompe à piston nécessite la présence de deux valves ou clapets anti-retour : à l'admission (ou aspiration) et au refoulement.

L'inconvénient majeur de la pompe à piston est l'irrégularité du débit qu'elle fournit. On en distingue deux sortes : la pompe à piston axiaux et la pompe à pistons radiaux.

### a - Pompes à pistons axiaux

Les pistons sont situés parallèlement à l'axe de transmission. Ils fonctionnent grâce à :

- Une glace sur laquelle glissent les patins situés en pied de pistons ;
- Un barillet dans lequel sont logés les pistons.

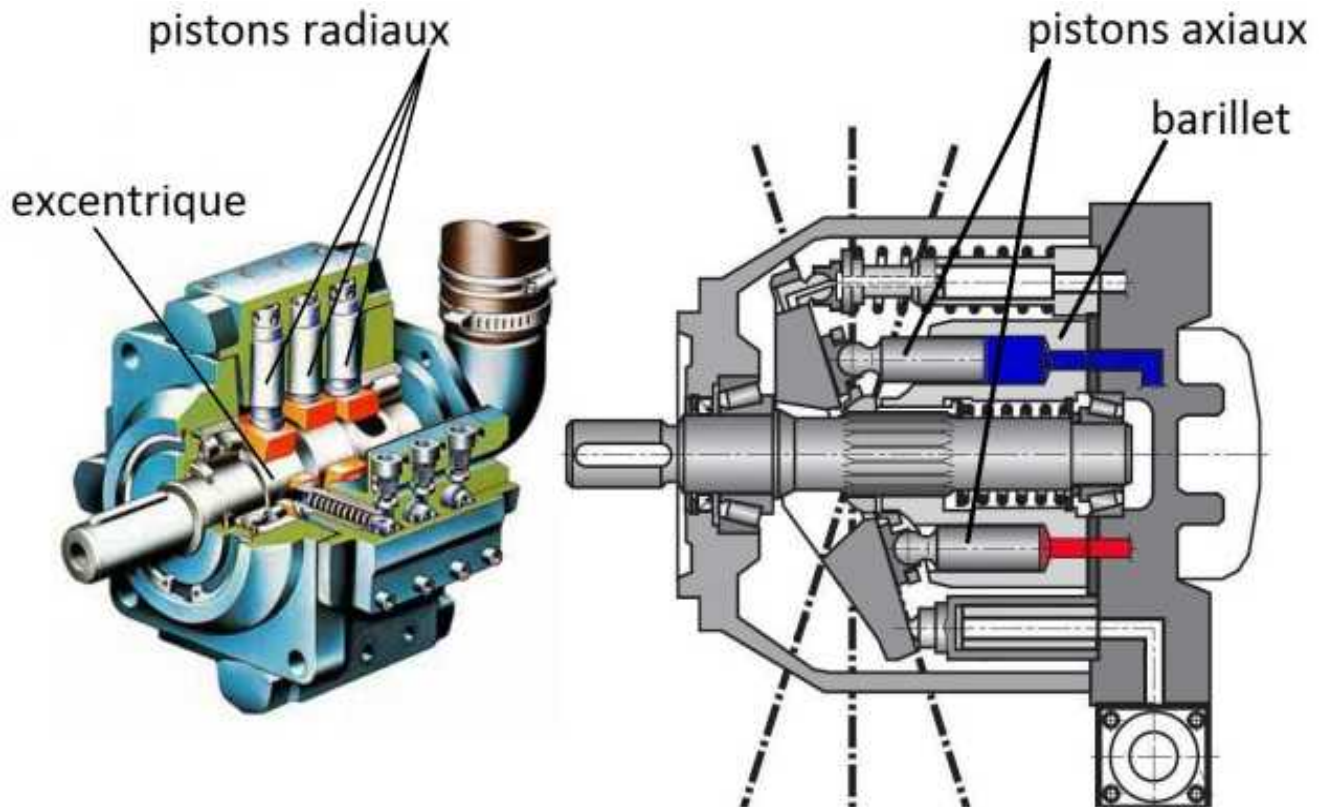
Certaines pompes peuvent fonctionner avec des solutions aqueuses, voire à l'eau pure.

### b - Pompe à piston radiaux

Dans la pompe à pistons radiaux, les pistons se déplacent vers l'extérieur et vers l'intérieur en formant un angle de 90 degrés par rapport à l'axe de l'arbre. Lorsque le poussoir roule vers le bas de la came (logement ovale), le piston se déplace vers l'extérieur. La pression atmosphérique ou une pompe de charge pousse l'huile à travers l'orifice d'entrée de valve et remplit l'espace laissé par le mouvement du piston. Lorsque le poussoir roule vers le haut de la came (logement ovale), le piston se déplace vers l'intérieur. L'huile est poussée hors du cylindre et à travers l'orifice de sortie (refoulement), figure I.7.

# Généralités sur les pompes

---



**Figure I.7 :** Schéma de comparaison entre une pompe à pistons radiaux et axiaux. [3]

## I.2.3. Famille III : pompes roto-dynamiques

### I.2.3.1. Description

Qui transmettent au fluide une charge dépendant du débit de fluide qui les traverse. Une roue fournit au fluide de l'énergie cinétique qui est ensuite transformée en pression au fluide de l'énergie cinétique qui est ensuite transformée en pression dans une volute.

### I.2.3.2. Classification des pompes roto-dynamiques

Dans la famille roto dynamiques, on classe les pompes :

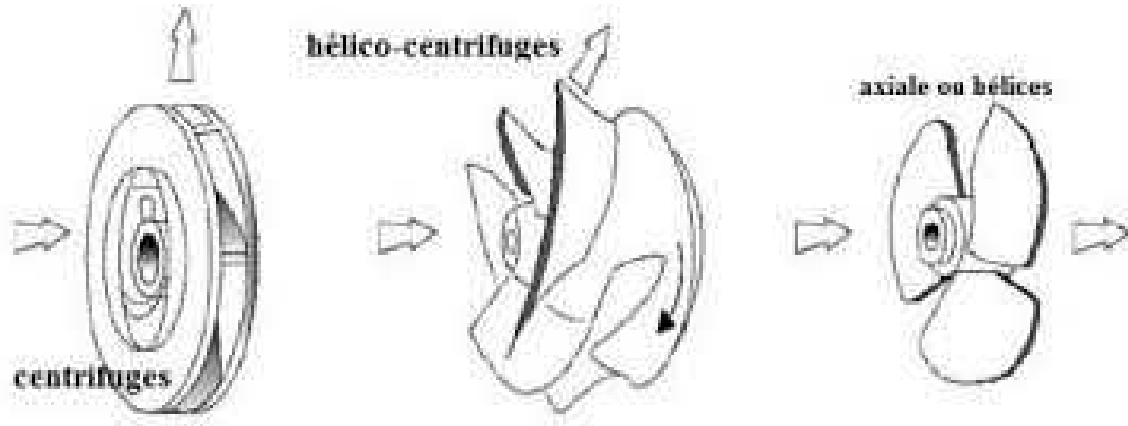
Selon la trajectoire du fluide (trajectoire de l'écoulement), figure I.8 :

- Les pompes centrifuges (à écoulement radial).

# Généralités sur les pompes

---

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

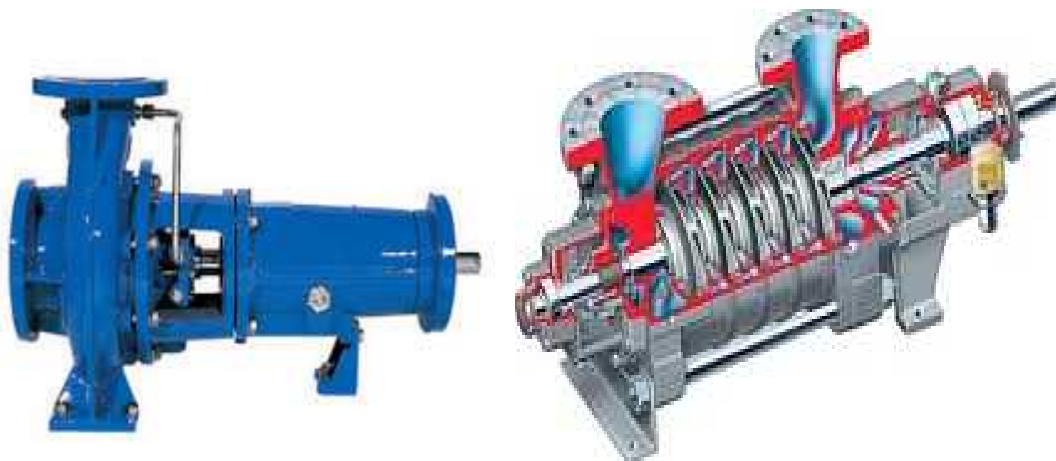


**Figure I.8** : Classification des pompes roto-dynamiques. [4]

Représentation des domaines respectifs des 3 types de pompes roto-dynamiques.

Selon le nombre d'étages, figure I.9 :

- Monocellulaire : avec une seule roue (impulser) sur l'arbre.
- Multicellulaire : avec plusieurs roues (impulser) sur l'arbre disposé en série.



Pompe monocellulaire

Pompe multicellulaire

**Figure I.9** : Pompes roto-dynamique a une seule roue et a plusieurs. [4]

# Généralités sur les pompes

---

Selon la disposition de l'axe de la pompe :

- Pompe vertical.
- Pompe horizontal.

Selon la trajectoire du fluide:

- A écoulement radial (pompes centrifuges).
- A écoulement diagonal (pompes hélico centrifuges).
- A écoulement axial (pompes axiales ou pompes à hélices). [4]

## I.2.3.3. Avantages et inconvénients des pompes roto-dynamiques

### a- Les avantages

- Ce sont des machines de construction simple, sans clapet ou soupape, d'utilisation facile et peu coûteuses.
- A caractéristiques égales, elles sont plus compactes que les machines volumétriques.
- Leur rendement est souvent meilleur que celui des « volumétriques ».
- Elles sont adaptées à une très large gamme de liquides.
- Leur débit est régulier et le fonctionnement silencieux.
- En cas de colmatage partiel ou d'obstruction de la conduite de refoulement, la pompe centrifuge ne subit aucun dommage et l'installation ne risque pas d'éclater. La pompe se comporte alors comme un agitateur...etc.

### b - Les inconvénients

- Impossibilité de pomper des liquides trop visqueux.
- Production d'une pression différentielle peu élevée (de 0, 5 à 10 bar).
- Elles ne sont pas auto-amorçages.
- A l'arrêt ces pompes ne s'opposent pas à l'écoulement du liquide par gravité (donc, vannes. à prévoir...).

# Généralités sur les pompes

---

## I.3. Les pompes centrifuges

Une pompe centrifuge est une machine rotative qui pompe un liquide en le forçant au travers d'une roue à aube ou d'une hélice appelée impulser (souvent nommée improprement turbine). C'est le type de pompe industrielle le plus commun. Par l'effet de la rotation de l'impulser, le fluide pompé est aspiré axialement dans la pompe, puis accéléré radialement, et enfin refoulé tangentiellement.

### I.3.1. Utilisation

Les pompes centrifuges sont les plus utilisées dans le domaine industriel à cause de la large gamme d'utilisation qu'elles peuvent couvrir, de leur simplicité et de leur faible coût. Néanmoins, il existe des applications pour lesquelles elles ne conviennent pas, comme :

- Utilisation de liquides visqueux, la pompe centrifuge nécessaire serait énorme par rapport aux débits possibles.
- Utilisation de liquides "susceptibles" c'est-à-dire ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe (liquides alimentaires tel que le lait).
- Utilisation comme pompe doseuse ; la nécessité de réaliser des dosages précis instantanés.

### I.3.2. Fonctionnement

Le principe de base des pompes centrifuges repose sur la mise en rotation du fluide à pomper en le faisant circuler dans une roue munie d'ailettes radiales tournant à une vitesse plus ou moins élevée.

Le fluide est admis au centre de la roue avec une pression dite pression d'aspiration. Lors de sa mise en rotation et de son déplacement vers la périphérie de la roue, sa vitesse et son énergie cinétique augmentent. La pression dynamique qui en résulte augmente donc également d'un terme du type.



# Généralités sur les pompes

---

A la périphérie de la roue, le fluide est canalisé vers la tuyauterie de refoulement par le biais d'une volute, et son ralentissement transforme une partie de la pression dynamique acquise en pression statique.

Certaines pompes disposent en plus d'un diffuseur, dont le but est de diriger les veines fluides vers la volute en minimisant les pertes de charge.

## I.3.3. Théorie des pompes centrifuges

La principale caractéristique de la pompe centrifuge consiste à convertir l'énergie d'une source de mouvement (le moteur) d'abord en vitesse (ou énergie cinétique) puis en énergie de pression. Le rôle d'une pompe consiste en effet à conférer de l'énergie au liquide pompé (énergie transformée ensuite en débit et en hauteur d'élévation) selon les caractéristiques de fabrication de la pompe elle-même et en fonction des besoins spécifiques à l'installation. Le fonctionnement est simple : ces pompes utilisent l'effet centrifuge pour déplacer le liquide et augmenter sa pression. À l'intérieur d'une chambre hermétique équipée d'entrée et de sortie (cochlée ou volute), tourne une roue à palettes (roue), le véritable cœur de la pompe. La roue est l'élément tournant de la pompe qui convertit l'énergie du moteur en énergie cinétique (la partie statique de la pompe, c'est-à-dire la volute, convertit au contraire l'énergie cinétique en énergie de pression). La roue est à son tour fixée à l'arbre de pompe, directement emboîté sur l'arbre de transmission du moteur ou couplé à celui-ci par un couple rigide.

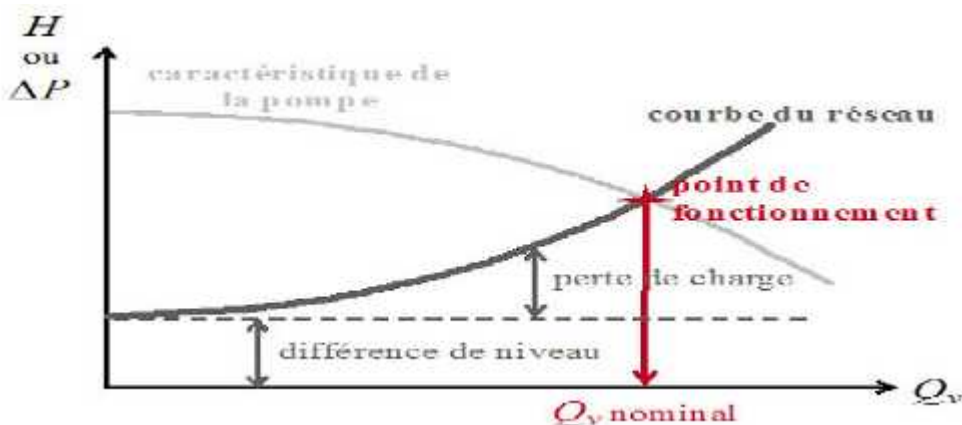
Lorsque le liquide entre dans le corps de la pompe, la roue (alimenté par le moteur) projette le fluide à la périphérie du corps de la pompe grâce à la force centrifuge produite par la vitesse de la roue : le liquide emmagasine ainsi une énergie (potentielle) qui sera transformée en débit et en hauteur d'élévation (ou énergie cinétique). Ce mouvement centrifuge provoque au même moment une dépression capable d'aspirer le fluide à pomper. En connectant ensuite la pompe à la tuyauterie de refoulement, le liquide sera facilement canalisé et atteindra l'extérieur de la pompe. La roue d'une pompe centrifuge peut être réalisée selon plusieurs variantes de fabrication : roues ouvertes, roues fermées, roues semi-ouvertes, roues monocanal, roues axiales, roues semi-axiales, roues en retrait, vortex, à spirale...etc. [5]

# Généralités sur les pompes

## I.3.3.1. Critères généraux de définition des pompes centrifuges

Il existe des pompes centrifuges à un étage, c'est-à-dire équipées d'un seul générateur de portée et de pression (une roue). En présence de plusieurs roues (la première décharge le liquide sur la deuxième et ainsi de suite...), il s'agira au contraire de pompes centrifuges à plusieurs étages, caractérisées par la somme des pressions fournies par chaque roue.

Le fonctionnement de la pompe centrifuge dépend non seulement du moment initial de l'amorçage, mais aussi de la façon dont est assurée l'aspiration du liquide même : en effet, si la pompe est située à un niveau inférieur à celui de la veine d'où le liquide est prélevé, ce dernier entre spontanément dans la pompe (cas d'une installation en charge). En revanche, si la pompe est située au-dessus de la source d'où l'on veut pomper, le liquide devra alors être aspiré : la pompe (comme la tuyauterie d'aspiration) devra donc être amorcée de façon préventive, c'est-à-dire remplie de liquide (cas d'une pompe auto-amorçante). Le système centrifuge présente d'innombrables avantages par rapport aux autres types de pompage : il garantit un volume d'encombrement réduit, un service relativement silencieux et une mise en œuvre facile avec tous les types de moteurs électriques disponibles sur le marché. Il s'adapte aussi aisément à tous les problèmes de traitement des liquides puisqu'en l'adaptant aux conditions d'utilisation particulières, il est capable de répondre aux exigences spécifiques des installations de destination.



**Figure I.10** : Courbe caractéristique d'une pompe centrifuge. [5]

### a - Courbes caractéristique d'une pompe centrifuge

Les courbes caractéristiques d'une pompe sont :

# Généralités sur les pompes

---

- ) La courbe de la hauteur nette d'élévation ou encore courbe débit/hauteur (ou débit/pression).
- ) La courbe débit/puissance ou courbe de puissance.
- ) La courbe débit/rendement ou courbe de rendement.

L'importance des courbes caractéristiques tient à ce qu'une fois établies elles sont invariables et permettent de prévoir le fonctionnement de la pompe dans des conditions d'exploitation données.

Les courbes caractéristiques se déterminent expérimentalement en mesurant la variation de la charge, équation I.1 :

$$H = Z + \frac{P}{\omega} + \frac{V^2}{2.g} \dots\dots\dots(I.1)$$

En fonction du débit entre l'aspiration et le refoulement de la pompe des manomètres sont placés aux emplacements prévus à cet effet à l'entrée et à la sortie de la pompe. On peut mesurer ou calculer pour chaque débit les différentes d'altitudes ( $Z_r - Z$ ), de hauteur de pression ( $\frac{P_r - P}{2.g}$ ). La somme de trois termes ci-dessus, donne la hauteur nette d'élévation, encore appelées « hauteur manométrique totale ».

Parallèlement on détermine la puissance absorbée de la pompe. Il s'agit de la puissance disponible à l'entrée du moteur d'entraînement. Elle s'obtient en multipliant la vitesse de rotation  $n$  (tours/min) mesurée au tachymètre par le couple échangé mesuré un dispositif approprié.

Le rendement de la pompe est le rapport entre la puissance utile et la puissance absorbée. On peut donc écrire, équation I.2 :

$$P_{\text{abs}} = \frac{H \times Q \times \rho \times g}{\eta} \dots\dots\dots (I.2)$$

Avec :

$H$  : hauteur manométrique d'élévation [m] ;

$Q$  : débit [m<sup>3</sup>/s] ;

$\rho$  : Masse volumique [Kg/m<sup>3</sup>] ;

$g$  : accélération de la pesanteur [N/kg] ;

$\eta$  : Rendement de la pompe ;

# Généralités sur les pompes

---

$P_{abs}$  : puissance absorbée de la pompe [kw].

## b - La courbe hauteur/débit

Elle est d'allure parabolique, de concavité tournée vers le bas, avec deux points caractéristiques. Le point à débit nul et le point nominal.

Le point nominal est correspondant au débit pour lequel le rendement passe par son maximum. Ce débit nominal est le débit de calcul de la pompe. Les profils géométriques de tous les éléments internes (roue, diffuseur, volute...) sont déterminés en tenant compte des directions et des vitesses réelles du liquide à l'intérieur de la pompe pour ce débit, les pertes hydrauliques, le niveau de bruit et les vibrations atteignent leurs valeurs minimales, le fonctionnement est tranquille et la fiabilité maximale.

Suivant la position relative du point à débit nul et du point nominal la courbe hauteur/débit de la pompe est dite plate, légèrement tombante. Si la courbe est tombante, le débit pour une même hauteur différentielle modifie moins que dans le cas d'une courbe plate.

## c - La courbe de puissance

C'est également une courbe d'allure parabolique. Elle est descendante ou montante selon le type de la pompe. Elle présente un maximum pour un débit élevé que le débit nominal pour une courbe débit/hauteur plate, sensiblement égale au débit nominal pour une courbe débit/hauteur légèrement plongeante, le plus faible que le débit nominal pour une courbe débit/hauteur tombante.

La puissance à l'origine n'est pas nulle. Ce fait justifie le choix du mode de démarrage des pompes.

Dans les catalogues des constructeurs, le débit est souvent exprimé soit en  $m^3/h$ , soit en  $l/s$ . les formules pratiques ci-après permettant de déterminer rapidement la puissance absorbée de la pompe, équation I.3.

$$P_a = \frac{Q \times H \times \rho}{3 \times \eta_p} \dots \dots \dots (I.3)$$

# Généralités sur les pompes

---

## d - Critères généraux de définition des pompes

Les pompes sont définies sur plusieurs caractéristiques on en cite parmi eux :

) La puissance : ou puissance utile qui est le travail réalisé par la pompe, équation I.4 :

$$P_u = \rho \cdot g \cdot Q_v \quad [\text{w}] \dots \dots \dots (\text{I.4})$$

Avec :

- $\rho$  : La masse volumique [kg/m<sup>3</sup>]
- g : La gravité [m/s ou N/kg]
- Q<sub>v</sub> : Débit volumique [m<sup>3</sup>/s]

) La puissance absorbée : fournie sur l'axe de la pompe (moteur asynchrone, par exemple), équation I.5 :

$$P_a = \frac{C \cdot \omega}{60} \quad [\text{w}] \dots \dots \dots (\text{I.5})$$

Avec :

- C : couple moteur [N.m]
- $\omega$  : vitesse de rotation [rad/s]
- N : vitesse de rotation [tr/min]

) Rendement :

Rendement global de la pompe  $\eta_g$ , équation I.9

$$\eta_g = \frac{P_u}{P_a} \dots \dots \dots (\text{I.6})$$

) NPSH requis : dépend de la vitesse de la pompe ; elle est donnée par le constructeur [Pa]

) Hauteur manométrique ou hauteur d'élévation d'une pompe (H<sub>MT</sub>) :

# Généralités sur les pompes

---

Est la différence de pression du liquide franchissant, exprimée en mètre de colonnes du liquide plutôt qu'exprimer cette valeur en pascals ou en bars, unités classique de pression, cette valeur est généralement donnée en mètres, soit la hauteur de la colonne de liquide nécessaire pour créer une pression identique, équation I.10, et I.11 :

$$H_{MT} = (P_r - P_a) \div (\rho \cdot g) \text{ [m]} \dots \dots \dots \text{(I.10)}$$

Ou bien :

$$H_M = H_{ref} - H_a \text{ [m]} \dots \dots \dots \text{(I.11)}$$

Avec :

- Pa : pression d'aspiration [Pa] ;
- Pr : pression de refoulement [Pa] ;
- H<sub>ref</sub> : hauteur de refoulement [m] ;
- H<sub>asp</sub> : hauteur d'aspiration [m].

) Fréquence de rotation :

Exprimée en tr/min, elle correspond à la vitesse normale d'utilisation pour une pompe chargée continuellement (N). La fréquence maximale correspond à la vitesse à ne pas dépasser. En dessous de la fréquence maximale, la pompe risque de ne pas s'amorcer.

## I.3.3.2. Types des pertes

Les pertes de charges : correspond à la dissipation, par frottement, de l'énergie mécanique d'un fluide en mouvement. Lorsque l'on est en présence de frottements, le théorème de Bernoulli ne s'applique plus et la charge n'est plus constante. On parle alors de perte de charge.

Pour les fluides incompressibles, on utilise alors le théorème de Bernoulli généralisé, qui s'écrit, équation I.12 :

$$Z^1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho} = Z^2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho} + \Delta H \dots \dots \dots \text{(I.12)}$$

Avec :

# Généralités sur les pompes

---

V : vitesse débitante [m/s] ;

g : accélération de la pesanteur [N/kg] ;

Z : altitude [m] ;

P : pression [Pa] ;

ρ : masse volumique du fluide [kg /m<sup>3</sup>] ;

H : dissipation d'énergie exprimée en mètres ou pertes de charges [m].

Dans le cas d'un fluide incompressible, si la section du tuyau est constante, alors la vitesse est également constante. L'altitude z étant imposée par l'installation de la canalisation, on voit que la perte de charge se traduit par une diminution de pression.

Une relation plus générale s'écrira, équation I.13 :

$$Z^1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho} = Z^2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho} + \frac{\Delta P}{\rho} \dots \dots \dots (I.13)$$

Avec :

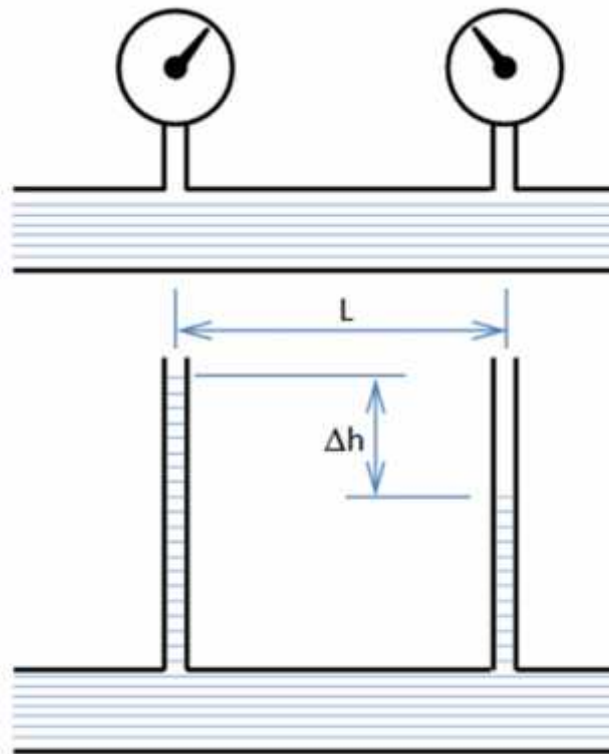
$$P = \rho \cdot g \cdot H \dots \dots \dots (I.14)$$

Les équations de pertes de charge distinguent :

- Les pertes de charge linéaires.
- Les pertes de charge singulières.

## a - Pertes de charges linéaires

Elles se produisent tout au long des canalisations rectilignes pendant l'écoulement régulier du fluide. Elles sont dues aux frottements du fluide sur la paroi interne de la tuyauterie, figure I.11.



**Figure I.11** : Schéma de perte de charge linéaire. [6]

Entre deux points d'un fluide en mouvement, de vitesse  $v$ , de masse volumique  $\rho$ , séparés par une longueur  $L$ , dans un tuyau de diamètre intérieur  $D$  apparaît une perte de charge linéaire  $p$ , équation I.14 :

$$P = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot \frac{L}{D} \dots \dots \dots (I.14)$$

Avec :

$\lambda$  : coefficient de perte de charge linéaire, sans unité.

$\rho$  : masse volumique [kg/m<sup>3</sup>]

$v$  : vitesse [m/s]



# Généralités sur les pompes

L : longueur de la canalisation [m]

D : diamètre intérieur de la canalisation [m]

## b - Perte de charge singulière [6].

Elles sont dues aux divers accidents et obstacles rencontrés dans les conduites. Ce sont les coudes, dérivations, changements de section, organes divers ....etc. figure I.12.

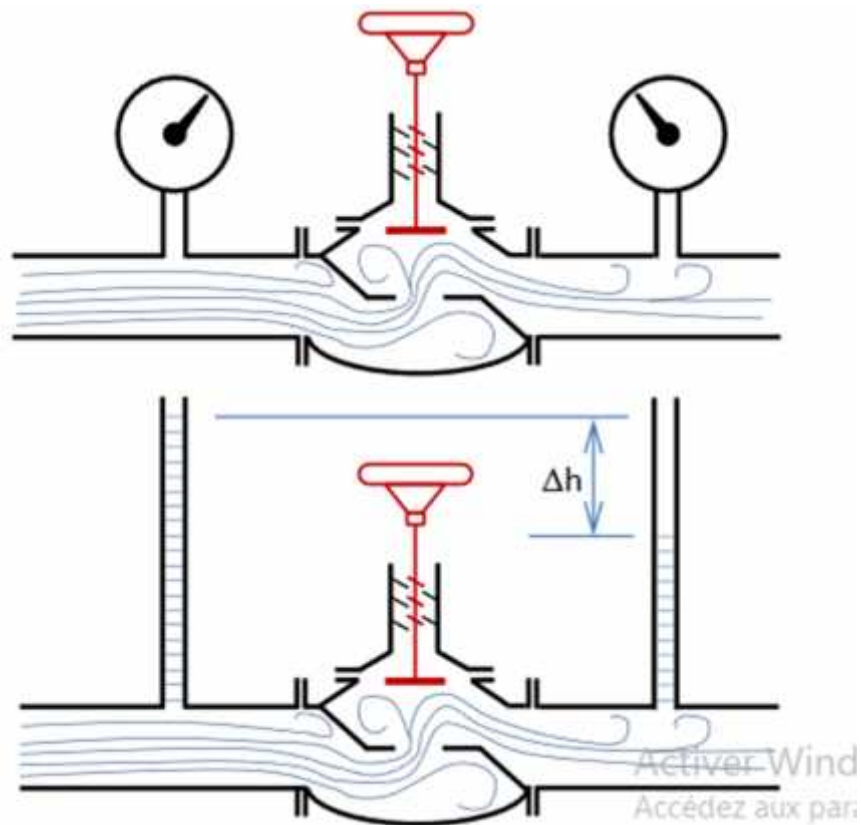


Figure I.12 : Schéma de perte de charge singulière. [6]

Entre deux points d'un fluide en mouvement, de vitesse  $V$ , de masse volumique  $\rho$ , séparés par une singularité apparaît une perte de charge singulière  $P$ , équation I.15. [6].

$$P = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \dots\dots\dots(I.15)$$

Avec :

- ζ : coefficient de perte de charge singulière, sans unité
- ρ : masse volumique [kg /m<sup>3</sup>]
- v : vitesse [m/s].

# Généralités sur les pompes

---

## I.3.3.3. Le rendement

Le rendement d'une pompe est défini comme le rapport de la puissance d'une pompe fournie au fluide et de la puissance absorbée par la pompe : le rapport puissance utile / puissance absorbée donne le rendement de la pompe

- ) Si la puissance absorbée est mesurée à l'arbre de la pompe, le rapport de la puissance utile par la puissance absorbée donne le rendement du corps de pompe sans le moteur
- ) Si la puissance absorbée est mesurée en consommation d'énergie du moteur de pompe, le rapport de la puissance utile par la puissance absorbée donne le rendement de la pompe incluant le rendement du moteur.

La formule de la puissance utile s'écrit, équation I.16 :

$$P_u = H_{MT} \times Q \times \rho \times 9.81 \dots\dots\dots(I.16)$$

Avec :

- )  $H_{MT}$  : hauteur manométrique totale
- )  $Q$  : Le débit de la pompe [ $m^3/s$ ]
- )  $\rho$  : la masse volumique du fluide pompé [celle de l'eau est de  $1000kg/m^3$ ]

La formule de la puissance absorbée (nominale) d'une pompe est égale à, équation I.17 :

$$P_a = \frac{P}{\eta} \dots\dots\dots(I.17)$$

## I.3.3.4. La Hauteur manométrique totale de la pompe

La hauteur manométrique totale d'une pompe ( $H_{MT}$ ), ou élévation manométrique totale (EMT), est la différence de pression du liquide la franchissant, exprimée en mètres de colonnes du liquide considéré.

La hauteur manométrique totale est calculée suivant l'équation suivante, équation I.18

$$H.M.T = (H_a + H_r + P_c) \dots\dots\dots(I.18)$$

# Généralités sur les pompes

---

- )  $H_a$  pour hauteur d'aspiration : correspond à la hauteur entre la surface de l'eau et l'axe de la pompe. Dans le cas d'une pompe immergée de puits ou de forage,  $H_a=0$
- )  $H_r$  pour hauteur de refoulement : correspond à la hauteur entre l'axe de la pompe et le point le plus haut de refoulement (par exemple le robinet le plus haut)
- )  $P_c$  : il s'agit des pertes de charges moyennes dans les canalisations qui sont fonction de la section et de la nature de la canalisation (pertes de charges linéaires) mais également fonction du nombre et du type de raccords (coudes, té, jonctions) présents le long de la canalisation ; on les appelle communément les pertes de charges singulières.
- )  $P_u$  : c'est la pression utile souhaitée à l'ouverture du robinet. On la choisit en moyenne aux alentours de 2.5 bars, soit 25m de pression. [7]

## I.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu étudier les différents types de pompes et leur différente classification, ainsi on a pu voir leurs principales caractéristiques, nous avons également vu le principe de fonctionnement des pompes centrifuges et leurs utilisations.

En résumé les pompes centrifuges permettent d'obtenir des débits élevés, pour un faible cout, avec un rendement moyen.

Les pompes volumétriques : permettent d'atteindre des pressions de sortie élevées, elles sont plus couteuses que les pompes centrifuges, mais ont un bon rendement.

Dans le chapitre suivant nous allons-nous intéresser aux calculs et vérifications dans une pompe.

# Chapitre II :

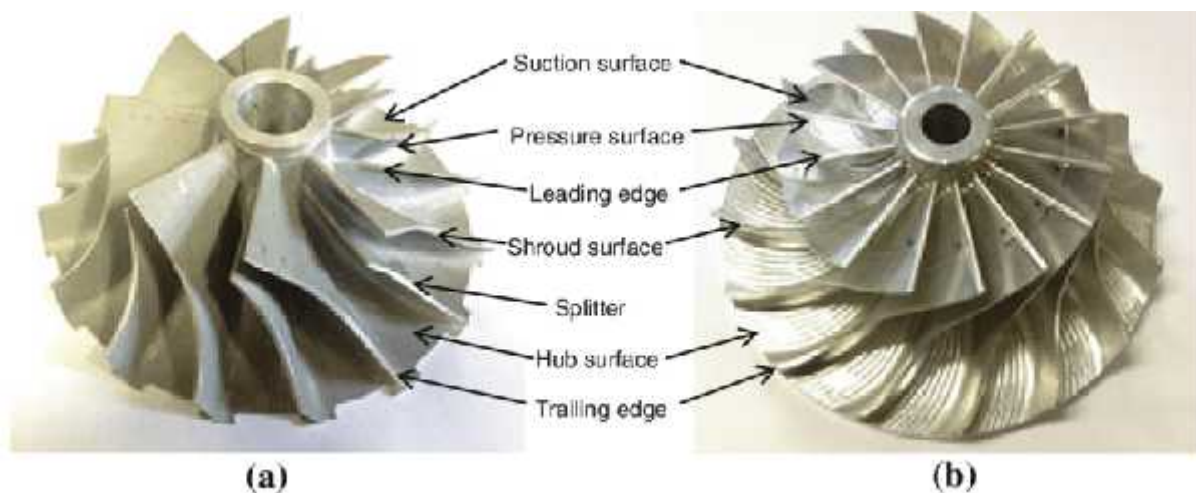
## Les pompes centrifuges

## II.1. Introduction

Les pompes centrifuges sont le types de pompes les plus utilisés dans les secteurs industriels, les secteurs qui les utilisent le plus sont l'industrie chimique, l'industrie cosmétique ou l'industrie alimentaire pour l'élaboration de tout types de produits, nous nous intéresserons donc dans ce chapitre aux pompes centrifuges.

## II.2. Description de la pompe centrifuge

Une pompe centrifuge est le type de pompe le plus commun c'est une machine rotative qui pompe un liquide en le forçant au travers d'une roue à aube ou d'une hélice appelée impulseur comme le démontre la figure II.1.



**Figure II.1 :** Types d'une roue centrifuge. [8]

## II.3. Nomenclature

Différentes normes permettent à l'utilisateur de trouver sur le marché des matériels de qualité et interchangeables :

) EN 7333 ou DIN 24255 :

Large gamme de pompes centrifuges aux différents usages :

Services généraux

Installation anti incendies

Agriculture

Irrigation

Réapprovisionnement en eau

L'ensemble moteur-pompe est monté sur un socle rigide qui assure un fonctionnement souple, sans vibrations.

) ISO 2858 :

Cette norme internationale spécifie les dimensions principales et le point de fonctionnement nominal des pompes centrifuges de types chimiques ayant une pression nominale de 16 bars.

) API 610 :

Norme internationale pour les applications dans l'industrie du pétrole et du gaz

Les pompes centrifuges normalisées, sont désignées par le code suivant :

xxx /yyy ou xxx-yyy

xxx : étant le diamètre en [mm] de la tubulure de refoulement

yyy : étant le diamètre [mm] maximum de l'impulseur pouvant équiper cette pompe.

### Exemple :

Un modèle 50-250 aura une tubulure de refoulement de 50mm de diamètre, et admettra un impulseur de 250mm de diamètre maximum, cependant un impulseur plus petit pourra être installé. [8]

## II.4. Conception de la pompe centrifuge

Les pompes centrifuges sont composées d'une roue à aubes qui tourne autour de son axe, d'un stator constitué au centre d'un distributeur qui dirige le fluide de manière adéquate à l'entrée de la roue, et d'un collecteur en forme de spirale disposé en sortie de la roue appelé volute. Le fluide arrivant par l'ouïe est dirigé vers la roue en rotation qui sous l'effet de la force centrifuge lui communique de l'énergie cinétique. Cette énergie cinétique est transformée en énergie de pression dans la volute. Un diffuseur à la périphérie de la roue permet d'optimiser le flux sortant est ainsi de limiter les pertes d'énergie.

## II.5. Corps de la pompe

Le joint du corps principal de la pompe est dans l'axe de l'arbre, ce qui permet d'effectuer la maintenance de l'élément rotatif en déposant la moitié supérieur du corps. Les orifices d'aspiration et de refoulement trouvent dans la moitié inférieure du corps et ne sont donc pas perturbés. Les deux demi corps sont en fonte ils sont assemblés par des goujons.

### a) Le demi-Corps inférieur :

- ) Les tubulures d'aspiration et de refoulement avec bossages taraudés pour prise de pression et le raccordement aux tuyauteries extérieurs. Les tubulures d'aspiration et refoulement sont terminées par des brides.
- ) Des canaux de liaisons entre les étages
- ) De purges taraudées pour vidange

### b) Le demi-Corps supérieur :

- ) Des canaux de liaison inter-étages.
- ) Des événements taraudés pour purge d'air.
- ) Des œillets pour levage
- ) Une tuyauterie de by-pass pour l'équilibrage des garnitures.

## II.6. Mobile de la pompe

### a) Roue :

La pompe comporte des roues clavetées sur l'arbre. Une à double œillard qui est appelée impulseurs d'aspiration. Les autres sont à simple œillard chaque une montées en opposition pour assurer l'équilibrage hydraulique.

### b) Arbre :

L'arbre rigide, de grand diamètre, monté sur des paliers, comporte une extrémité d'entraînement clavetée.

### c) Paliers :

La partie mobile de la pompe est supportée aux extrémités par des paliers prévus avec chambre de refroidissement. Un du côté accouplement et l'autre du côté bute, avec roulements a billes a contact oblique

### d) Paliers de la pompe et lubrification :

Des roulements a billes sont installés en standard exils peuvent être lubrifiés par de la graisse, et protégés par des bagues d'étanchéité trapézoïdales. Une option de palier a bille lubrifié a la graisse peut être installée a l'extrémité non motrice.

### e) Corps de palier :

Grace a deux graisseurs, on peut compléter le plein de graisse des paliers entres les grandes révisions.

### f) Boitier presse-étoupe :

Le boitier presse-étoupe comporte un ergot installé entre le Corp. de la pompe et la boite du palier pour assurer la concentricité optimale. Grace à cette conception, on peut installer plusieurs options d'étanchéité.

### g) Joints d'étanchéité de l'arbre :



## Les Pompes Centrifuges

---

Joint d'étanchéité mécanique, fixé sur l'arbre de la pompe, assurant l'isolation étanche du liquide pompé par rapport à l'environnement. Des garnitures presse étoupe peuvent être installées en option.

### **h) Moteur d'entraînement :**

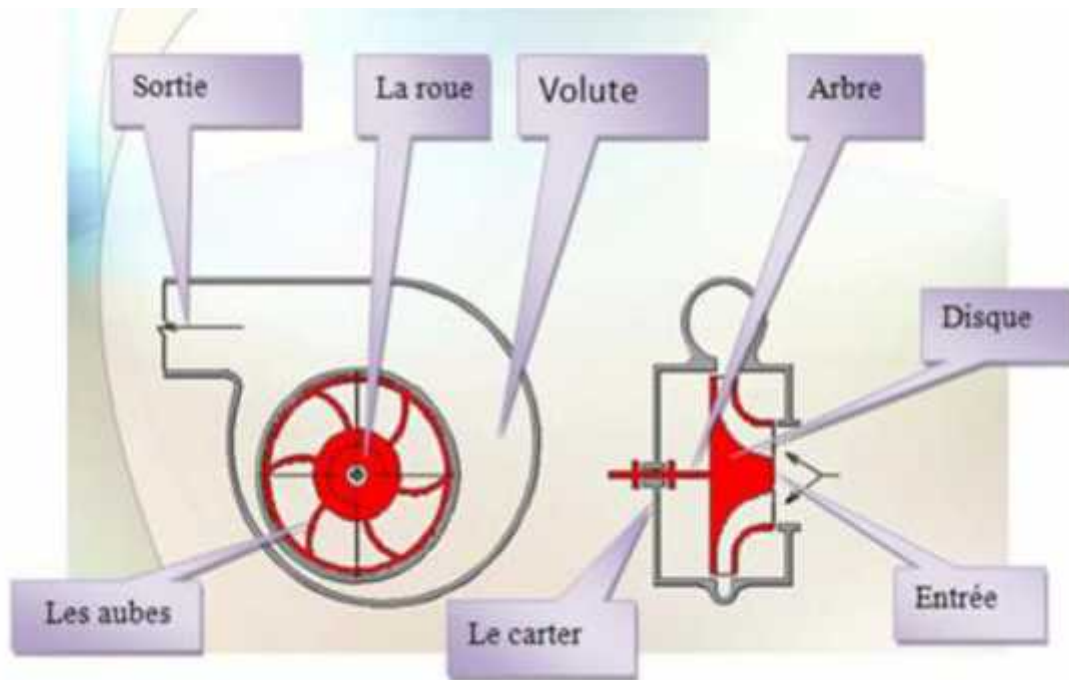
Ce moteur est normalement un moteur électrique. On peut installer différentes configurations d'entraînement, par exemple des moteurs à combustion interne, des turbines, des moteurs hydrauliques...ect, entraînant via des accouplements, des courroies, des réducteurs, des arbres... etc

### **i) Garnitures mécaniques :**

L'étanchéité dans la pompe est assurée par deux garnitures mécaniques tandem à double effets, une du côté accouplement et l'autre du côté butée. Chacune est composée de deux sous-ensembles, un statique et l'autre tournant. Suivant les conditions de service les garnitures mécaniques peuvent résister à de fortes pressions atteignant 70 (bars) et à des températures comprises entre 0 et 250 degrés Celsius, si la pompe est en marche il y aura un mouvement relatif entre les deux bagues.

### **j) Système de refroidissement :**

Notre garniture est refroidie par le système by-pass ou viens à l'aide d'une conduite de dérivation. C'est une conduite entre le refoulement de la pompe et la boîte de la garniture, elle permet l'entrée du fluide de refroidissement à l'intérieur de la boîte. La sortie du liquide se fera de nouveau vers l'enveloppe. Le fluide de refroidissement est donc le brut lui-même qui est pompé par la pompe. [9]



**Figure II.2 :** Représentation schématique d'une pompe centrifuge. [9]

### II.7. Courbes caractéristiques de la pompe centrifuge

Les pompes centrifuges en général peuvent supporter certaines gammes comme le débit de refoulement, la vitesse de rotation et le rendement. Donc l'utilisateur doit connaître son équipement et sa réaction sous différentes conditions, et c'est ce qui est représenté graphiquement sous forme de courbes nommées (Courbes caractéristiques). La courbe caractéristique la plus importante est celle en fonction du débit.

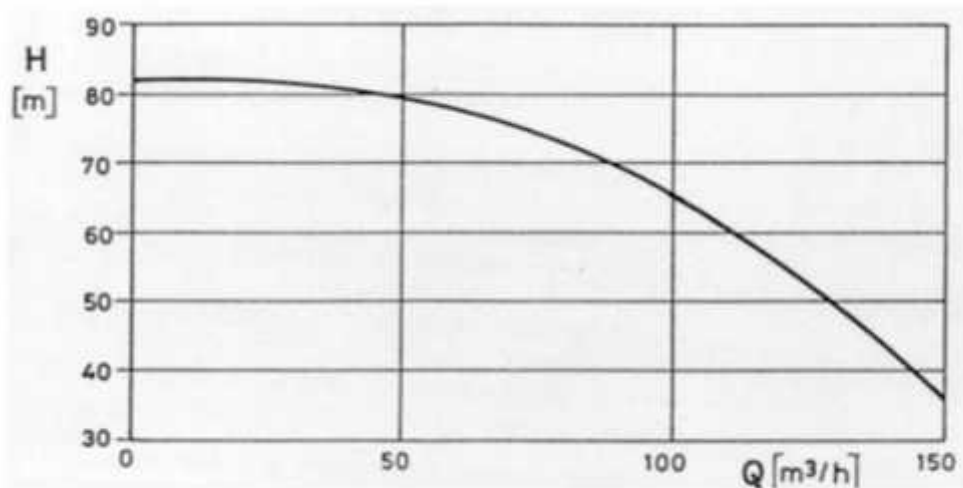
La courbe caractéristique d'une pompe est l'interaction de deux variables qui en décrivent le comportement :

- ) HAUTEUR MANOMETRIQUE : l'énergie par unité de masse que la pompe parvient à fournir au fluide
  - ) DEBIT : la quantité de fluide qui traverse une section dans un certain laps de temps
- Ci-dessous, un exemple.

Sur l'axe des ordonnées se trouve la hauteur manométrique, sur l'axe des abscisses le débit, figure II.4.

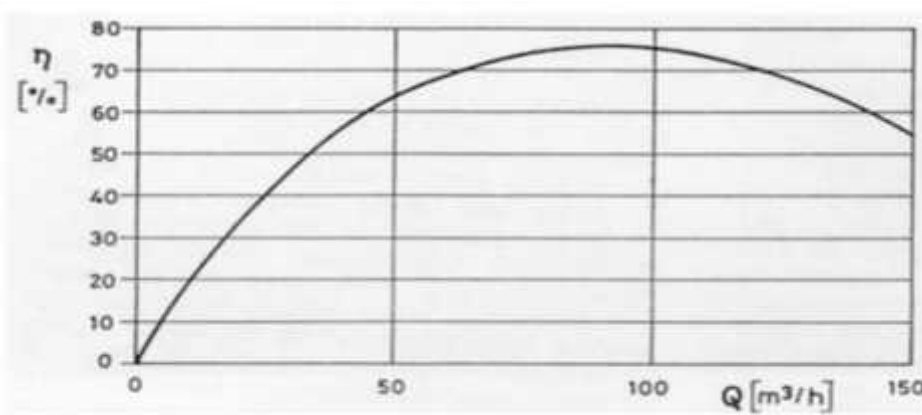
## Les Pompes Centrifuges

---



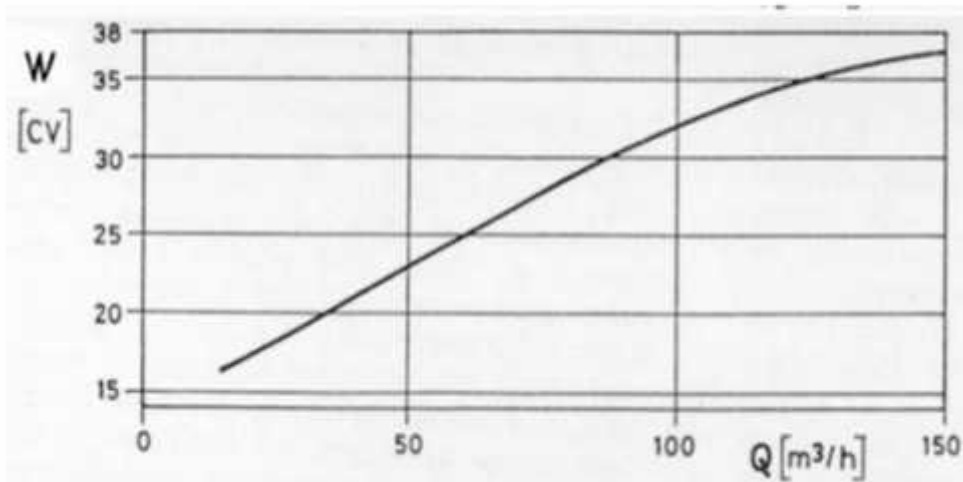
**Figure II.3 :** Courbe caractéristique de la hauteur manométrique en fonction du débit. [10]

Il est possible de fournir deux autres courbes, comme la courbe de rendement sur laquelle est représenté le rapport entre la puissance utile et la puissance absorbée, relativement au débit volumétrique, figure II.5.



**Figure II.4:** Courbe caractéristique du rendement en fonction du débit. [10]

Ainsi que la courbe de la puissance absorbée, relativement au débit volumétrique. Elle représente la puissance électrique employée en fonction du débit, figure II.6.



**Figure II.5:** Courbe caractéristique de la puissance électrique en fonction du débit. [10]

A noter que la pompe centrifuge est un élément mécanique actionné par un moteur électrique, et chaque courbe caractéristique se réfère à une rotation précise du moteur, qui dépend, dans le cas des moteurs asynchrones, de la fréquence d'alimentation et du nombre de pôles du moteur lui-même (par ex. 50 hertz, moteur 2 pôles : 2900tr/min)

Sur certains modèles de pompes centrifuges, il est par ailleurs possible de trouver des indications sur le NPSH, à savoir la hauteur d'aspiration maximale admissible avant tout phénomène de cavitation, destructifs pour les parties mécaniques de la pompe. [10]

### II.8.Paramètres d'essai de la pompe

Les quatre principaux paramètres d'essais d'une pompe sont

- ) Le débit
- ) La hauteur manométrique
- ) Puissance à l'arbre
- ) Le rendement

Nous donnons comme exemple, les résultats des essais de la pompe GUINARD DVMX sur les sites SP3 M'sila.

## Les Pompes Centrifuges

Débit (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>MT</sub> (m)	P/Arbre (kw)	Rendement( )
704,621	747,007	1841,273	77,85
597,499	831,016	1696,587	79,702
567,553	854,952	1652,337	79,974
397,274	940,399	1376,288	73,925
202,07	979,693	1039,863	51,846
20,214	987,983	850,112	6,398

Tableau II.1: Resultats d'essai de d'une pompe GUINARD DVMX par le constructeur.

### II.8.1.La hauteur manométrique par rapport au débit

La relation entre la hauteur manométrique et le débit est une relation inverse, c'est une courbe parabolique, pour un certain débit, la hauteur manométrique diminue très légèrement avec le débit.

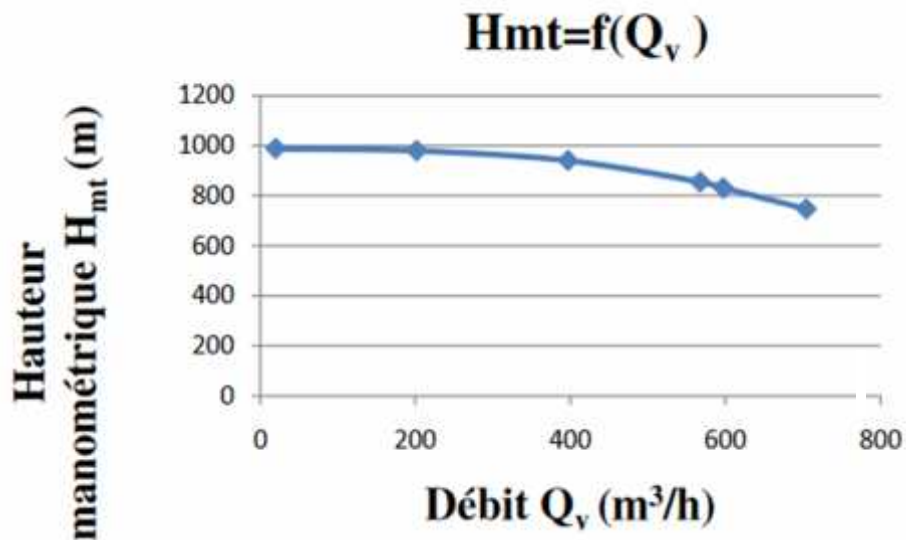


Figure II.6 : Courbe de la hauteur manométrique en fonction du débit. [11]

# Les Pompes Centrifuges

## II.8.2. Le rendement en fonction du débit

La relation est une courbe parabolique tel que le montre la courbe (figure II.7), on voit que pour une certaine vitesse de rotation et un certain débit le rendement atteint sa valeur maximale, si le débit augmente ou bien diminue, le rendement diminue. On peut dire que pour obtenir un rendement maximum, la pompe doit fonctionner avec une vitesse de rotation maximum. [11]

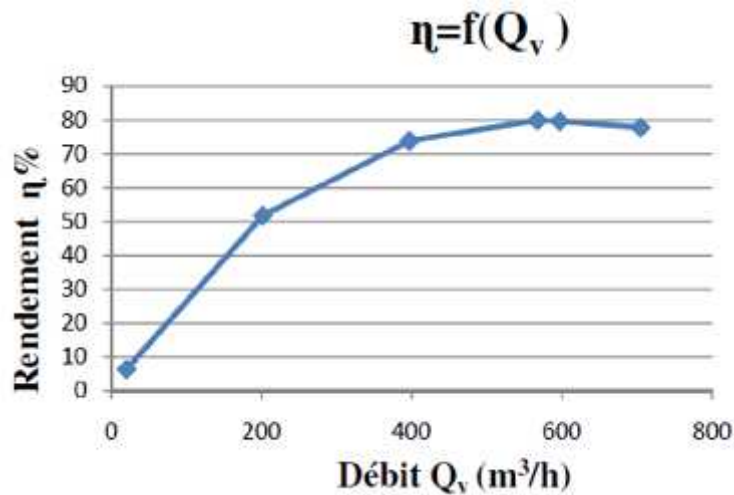
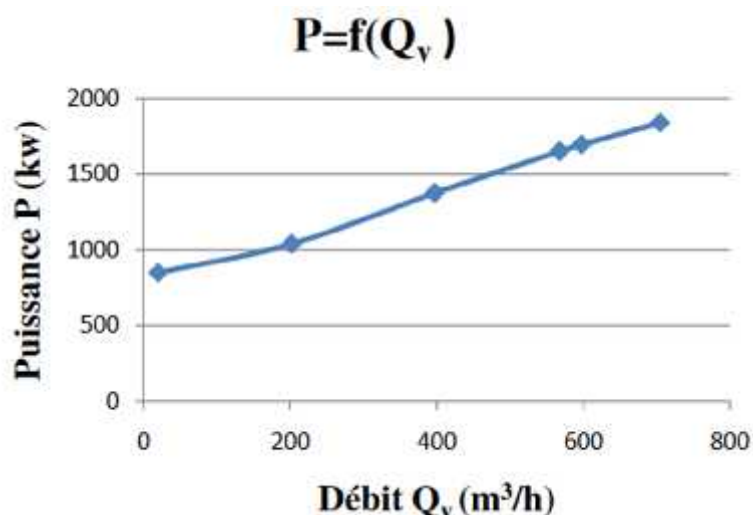


Figure II.7: Courbe du rendement en fonction du débit. [11]

## II.8.3. La puissance absorbée en fonction du débit

Pour augmenter le débit d'une pompe, on doit faire augmenter la puissance nécessaire qui se stabilise à une valeur maximale tandis que le débit doit continuer à augmenter.



**Figure II.8:** Courbe de la puissance en fonction du débit.[11]

### II.9.Calcul hydraulique

Pour pouvoir préciser les paramètres réelles de la pompe et de son exploitation nous faisons appel à un calcul hydraulique qui nous fera décrire les dimensions principales d'un impulseur. [12]

Paramètres	Désignation	Unité
Vitesse de rotation	N	Tr/min
Hauteur manométrique	H	M
Débit volumique	Q	m <sup>3</sup> /s
Pression d'aspiration	P asp.	N/m <sup>2</sup>
Pression de refoulement	P réf.	N/m <sup>2</sup>
Nombre d'étages	Z	Sans unité
Puissance absorbée	P	kW
Densité du brut	D	Kg/m <sup>3</sup>
Température de service	T	K
Rendement		

**Tableau II.2:** Paramètres d'exploitation d'une pompe et ses unités.

# Les Pompes Centrifuges

---

**a) Calcul de vitesse spécifique :**

Grace aux calculs de vitesse les pompes sont classées dans leurs catégories de vitesse, comme le montre le tableau II.3.

Vitesse spécifique	Type de pompe
< 80tr/min	Pompes centrifuges à vitesses faibles
80 à 150tr/min	Pompe centrifuges à vitesse moyennes
150 à 300tr/min	Pompes centrifuges à vitesses rapides
300 à 600tr/min	Pompes hélico-centrifuges
600 a 1200tr/ min	Pompes axiales

**Tableau II.3:** Catégorie des pompes centrifuges. [12]

La relation qui permet de calculer la vitesse spécifique, équation II.1 :

$$N_s = 3.65 \cdot N \frac{\sqrt{Q}}{\left(\frac{H}{Z}\right)^{3/4}} \dots\dots\dots (II.1)$$

Avec :

- N : vitesse de rotation de la pompe (tr/min)
- Q : débit volumétrique de service (m<sup>3</sup>/h)
- H : Hauteur manométrique de refoulement(m)
- Z : nombres d'étages.

**b) Diamètre de l'arrête d'entrée ramené :**

Le diamètre ramené, est un diamètre de surface égale à la section d'entrée, équation II.2 :

$$D_{r1} = D_1 - D_m^2 \dots\dots\dots (II.2)$$

Avec :

- D<sub>1</sub> : Diamètre maximale de l'arrête d'entrée.
- D<sub>m</sub> : Diamètre moyen de la roue.



---

## Les Pompes Centrifuges

---

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

$$K_{r1} = K_0^3 \sqrt{\frac{Q}{N}} \dots \dots \dots (II.3)$$

$K_0$  : Coefficient d'aspiration qui dépend de la construction de la destination de la pompe. Selon le constructeur la valeur de ce coefficient varie entre 3,6 et 5.

N : vitesse de rotation de la pompe en (tr/min)

Q : Débit réel de la pompe en (m<sup>3</sup>/s)

### c) Rendement hydraulique :

On détermine la valeur du rendement hydraulique en utilisant la formule empirique du LOMAKIN, équation II.4 :

$$\eta_h = 1 - \left[ \frac{0.4}{(L \cdot D_{r1} - 0.1)^2} \right] \dots \dots \dots (II.4)$$

Avec :

$D_{r1}$  : Diamètre maximal de l'arrête d'entrée.

### d) Rendement volumétrique :

Il est déterminé par la formule suivante :

$$\eta_v = \frac{1}{[1 + 0.6 \left(\frac{8}{N_s}\right)^2]} \dots \dots \dots (II.5)$$

### e) Rendement mécanique :

Le rendement mécanique est calculé par la formule suivante :

$$\eta_m = \frac{1}{[1 + \left(\frac{8}{N_s}\right)^2]} \dots \dots \dots (II.6)$$

### f) Rendement global de la pompe :

Il est calculé par la formule suivante, équation II.7 :

## Les Pompes Centrifuges

---

$$\eta_g = \eta_m \cdot \eta_v \cdot \eta_h \dots \dots \dots (II.7)$$

g) **Puissance absorbée de la pompe :**

$$P_a = \frac{P_u}{\eta_g} \dots \dots \dots (II.8)$$

Avec :

$$P_u = \rho \times g \times Q \times H \dots \dots \dots (II.9)$$

h) **Puissance du moteur :**

$$P_m = K_r \cdot P_a \dots \dots \dots (II.10)$$

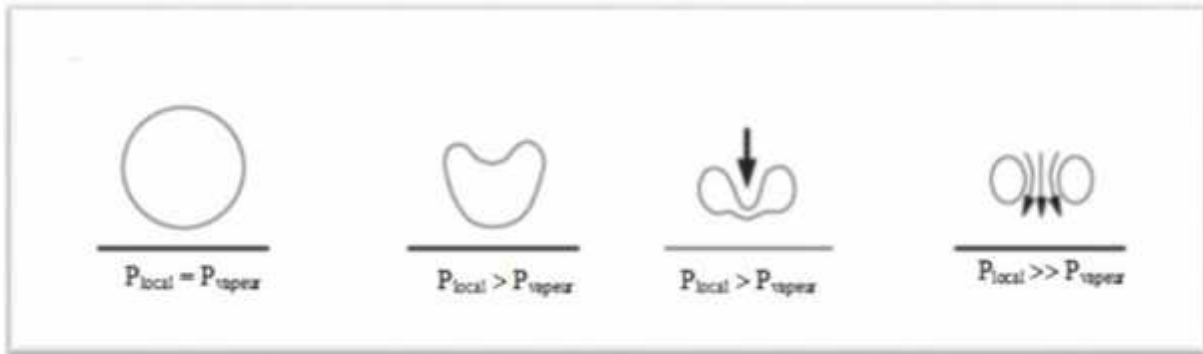
Avec :

$K_r$  : coefficient de réserve.

### II.10. Solutions des problèmes d'une pompe centrifuge

➤ **La cavitation :**

Quand la pression est inférieure à la pression de vapeur saturante du liquide véhiculé, nous avons l'apparition de bulles de vapeurs. Quand ces bulles atteignent les zones où la pression est supérieure à la pression de vapeurs saturantes, les bulles de vapeurs se condensent. Cette condensation s'accompagne d'une multitude d'explosions, ce qui détruit la roue de la pompe.[13]



**Figure II.9:** Formation de la cavitation.[13]

## II.10.1. Solution pour les problèmes de cavitation

Pour éviter la cavitation de la pompe :

- ) Il faut que le NPSH (dispo) soit supérieur au NPSH (requis).
- ) Diminuer les pertes de charge.
- ) Augmenter la pression d'aspiration
- ) Limiter le débit et la vitesse de rotation pour limiter les pertes de charge.
- ) Démarrer la pompe avec vanne de refoulement ferme.
- ) Arrêt d'urgence de la pompe si la pression d'aspiration est insuffisante
- ) Amélioration du NPSH des pompes.
- ) Réduction du bruit et des vitesses.

## II.10.2. Amélioration du NPSH des pompes

En jouant sur les principaux paramètres géométriques des aubes à l'entrée de la roue, on peut concevoir des pompes dont les performances en cavitation peuvent varier dans une très large gamme. Les principaux paramètres géométriques à faire varier sont les suivants :

- ) Diamètre de la roue.
- ) Angle d'entrée de l'aube.
- ) Nombre d'aubes.
- ) Epaisseur de l'aube. [14]

## II.11. Conclusion

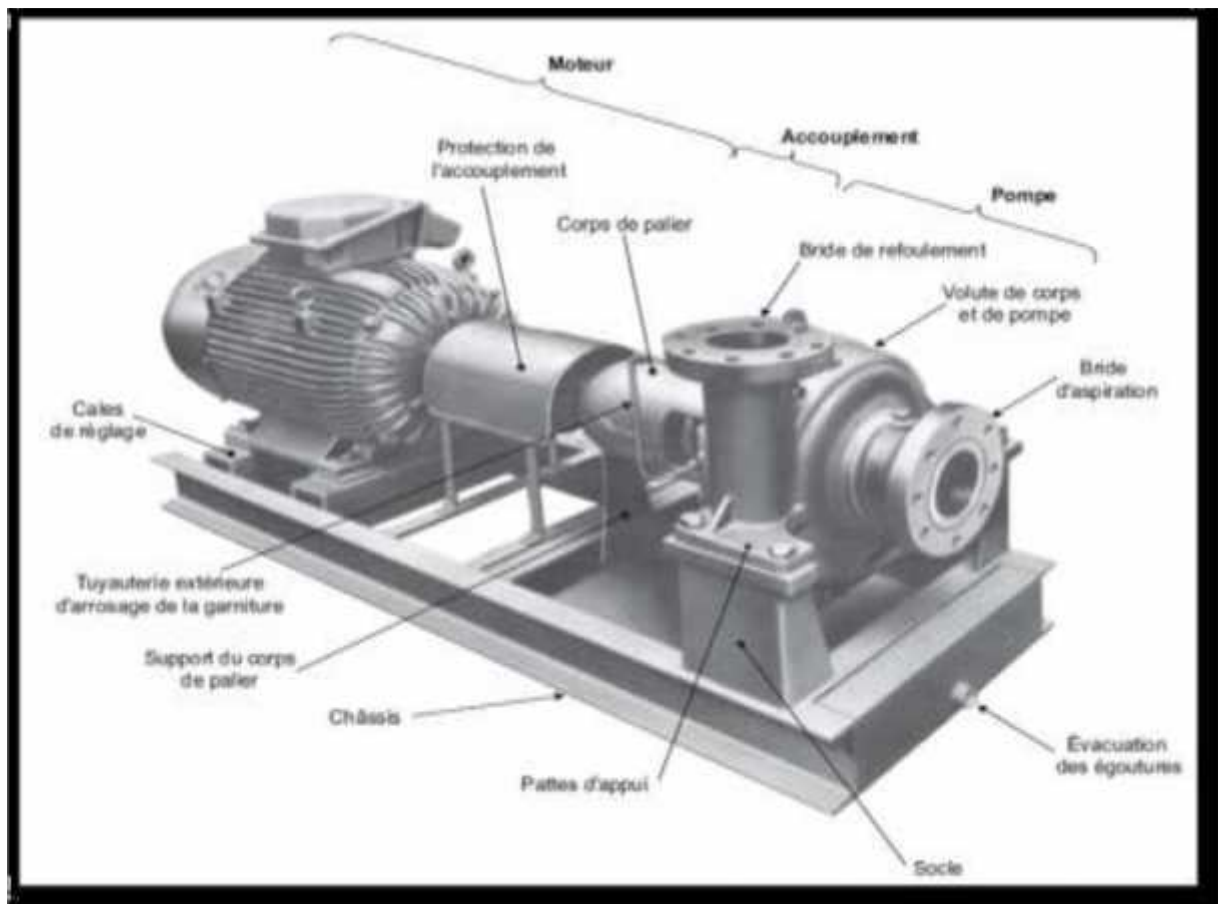
Au terme de ce chapitre, nous nous sommes intéressé à la pompe centrifuge, a sa conception, son principe de fonctionnement ainsi qu'à ses paramètres d'essais. Nous avons ainsi pu faire quelques calculs hydrauliques qui nous ont permit de déterminer ses paramètres principaux. Nous avons ainsi constaté que l'entretien de la pompe et sa maintenance est primordiale pour éviter le phénomène de cavitation qui risque d'endommager notre pompe ainsi nous avons pu apporter quelques solution a ce phénomène.

# **Chapitre III :**

## **Etudes technologique de la pompe CPKN-S du constructeur KSB**

## III.1. Définition de la Pompe centrifuge CPKN-S

La pompe centrifuge CPKN-S est un système ouvert, en quelque sorte un trou ou encore un conduit, dans lequel est mis en place un champ de forces centrifuges. Elle n'est pas basée sur le transport du fluide dans un godet ou sur la variation dans le temps d'un volume d'emprisonnement, le fluide n'est plus poussé par une paroi matérielle, mais mis en mouvement et équilibré par un champ de forces.



**Figure III.1** : Présentation extérieure de la pompe centrifuge.[15]

## III.2. Type de la pompe

La pompe centrifuge CPKN-S est une machine horizontale a volute ou (roue, spirale, hélice), a joint perpendiculaire a l'axe en construction process. C'est une pompe monocellulaire équipée d'un seul impulseur (roue radiale mono-flux) qui tourne a grande vitesse dans le corps de la pompe, et imprime au liquide une vitesse et une force centrifuge, qui conduira a un débit et une pression a la bride de refoulement de la pompe. Le mouvement du liquide vers la bride de refoulement provoquera l'admission d'un volume équivalent a la bride d'aspiration. Plus le diamètre de l'impulseur et la vitesse de rotation sont grands, plus le débit et le relevage seront grands.

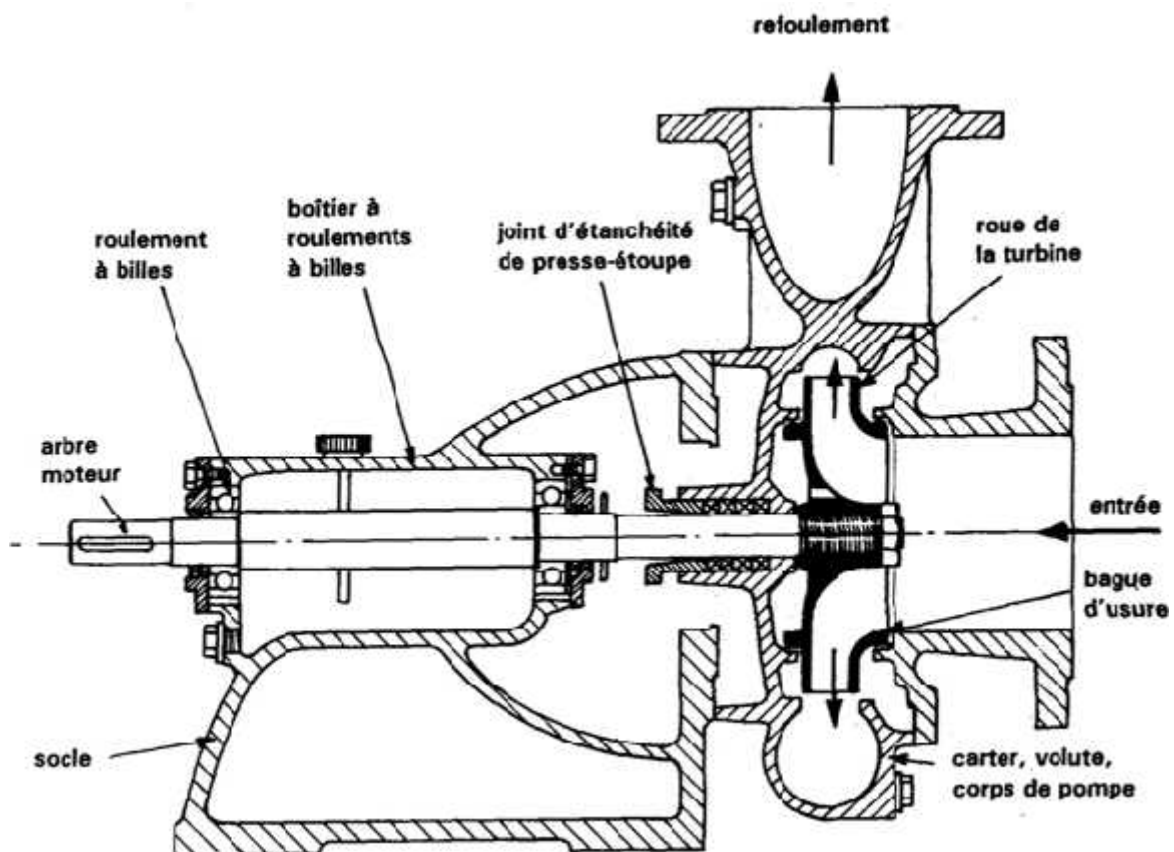


Figure III.2 : Coupe de la pompe centrifuge monocellulaire CPKN-S. [15]

## III.2.1. fonctionnement

La pompe centrifuge monocellulaire CPKN-S est utilisée dans la plupart des applications techniques. Cela s'explique par ces caractéristiques, à savoir :

- construction robuste ;
- conception simple ;
- coûts de fabrication peu élevés ;
- bon comportement en service ;
- possibilité de régulation.

Sous l'effet de la rotation de la roue, le liquide emmagasiné entre les aubes du rotor est projeté de la région axiale à la périphérie à cause de la force d'inertie centrifuge, de ce fait une dépression est créée à l'entrée de la pompe, provoquant l'aspiration du liquide, par suite, un écoulement continu de la veine liquide laquelle est recueillie par la volute ou par le diffuseur et dirigée dans la conduite de refoulement. Dans la volute, l'énergie cinétique est transformée en énergie potentielle et on dispose, ainsi à l'orifice de refoulement un débit sous une certaine pression qui se traduit par une hauteur manométrique de refoulement. [15]

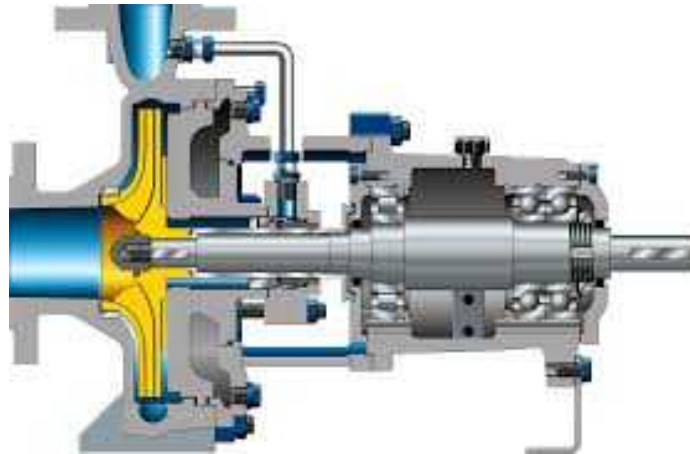
## III.2.2. synoptique de la pompe monocellulaire CPKN-S

### a) Constitutions de la pompe centrifuge CPKN-S

La pompe monocellulaire CPKN-S comprend les éléments suivants :

- Un conduit d'aspiration du fluide vers la roue (impulseur) de la pompe.
- Une roue, qui est l'élément essentiel de la pompe, elle est munie d'aubes, qui sont décalées angulairement de façon régulière. Elles sont en nombre variable, elles sont inclinées en arrière. En d'autres termes le bord de fuite des aubes est en retard dans la rotation par rapport au bord d'attaque.
- Une volute qui a le rôle de recueillir le fluide sortant à grande vitesse de la roue, de le canaliser, puis de le ralentir, transformant ainsi en pression une part importante de son énergie cinétique. Des dispositifs d'étanchéité internes sont destinés à limiter le retour vers l'aspiration et à réduire les débits de fuite internes.





**Figure III.3 :** Vue éclaté de la pompe centrifuge CPKN-S. [16]

- Un arbre a pour fonction de porter la roue, d'assurer son centrage dynamique et de transmettre la puissance.
- Un système d'étanchéité vers l'extérieur a pour fonction d'empêcher une fuite externe ou tout au moins, d'en limiter l'importance. L'étanchéité externe peut aussi être assurée par une garniture mécanique.
- Bagues d'usure de l'impulseur : ces bagues sont fournies seulement si demandées, elles sont installées sur l'impulseur à chaud et sont bloquées par des grains.
- Chemises de l'arbre : la chemise est fixée sur l'arbre en interposant une garniture et est maintenue en position au moyen de l'impulseur est insérée dans un logement de chemise et l'empêche de tourner sur l'arbre.
- Carter des paliers : il est maintenant nécessaire d'avoir une pièce qui supporte l'arbre et empêche la roue de toucher dans sa rotation.

### **b) Domaine d'application:**

La pompe CPKN- S du constructeur KSB est beaucoup utilisée dans le domaine industriel à cause de la large gamme d'utilisation qu'elle peut couvrir, de sa simplicité et de son faible coût :

- ) Centrales nucléaires ;
- ) Eaux usées ;
- ) Energie ;
- ) Procédés industriels ;
- ) Protection incendie ;
- ) Stations d'épuration ;

- ) Systèmes auxiliaires ;
- ) Traitement ultérieur, tertiaire.

Néanmoins, il existe des applications pour lesquelles elle ne convient pas, comme :

- ) Utilisation de liquides visqueux, la pompe centrifuge nécessaire serait énorme par rapport aux débits possibles ;
- ) Utilisation de liquides "susceptibles" c'est-à-dire ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe (liquides alimentaires tel que le lait) ;
- ) Utilisation comme pompe doseuse, la nécessité de réaliser des dosages précis instantanés risque d'entraîner la pompe en dehors de ses caractéristiques optimales.

Ces types d'application nécessitent l'utilisation de pompes volumétriques. Par contre à la plupart des pompes volumétriques, la pompe CPKN-S du constructeur KSB admet les suspensions chargées de solides. [16]

### c) Surveillance des paramètres de la pompe en exploitation

- ) Température :
  - Température de la sortie de fluide de refroidissement ;
  - Température de l'huile des paliers ;
  - Température du corps de pompe lui même qui doit être à la température du fluide.
- ) Niveau :
  - Niveau d'huile, faire l'appoint si nécessaire ;
  - Niveau du liquide de barrage pour certaines garnitures ;
  - Niveau dans la capacité d'aspiration.
- ) Pressions :
  - Pression de refoulement : Certaines variations peuvent être normales en fonction du procès ;
  - Niveau d'aspiration ou de refoulement qui fluctue ;
  - Liquide pompé dont la densité varie.
- ) Autres points à surveiller :
  - Huile : Couleur, Pression de l'huile ;
  - Fuites ou entrées d'air : aux brides, corps de pompe et de garniture ;
  - Bruits anormaux.

) Moteur électrique :

- Température ;
- Ventilation.

### III.2.3. Fiche technique de la pompe CPKN-S

La fiche technique de la pompe monocellulaire CPKN-S comporte ses différentes capacités, tableau III.1.

<b>Débit maximum</b>	4800 m <sup>3</sup> /h
<b>Hauteur manométrique maximum</b>	275 m
<b>Pression de service maximale admissible coté refoulement</b>	25 bars
<b>Température de fluide maximum admissible</b>	400 °C

**Tableau III.1** : caractéristique technique de la pompe CPKN-S. [16]

## III.3. Partie Calcul

### III.3.1. Introduction :

Le maintien d'un débit à un point de fonctionnement rationnel de la pompe est plus que nécessaire, car toute déviation majeure par rapport à ce point représente un risque de destruction de la pompe. Ainsi notre objectif est de maintenir un fonctionnement optimal de la pompe, ce point de fonctionnement ne peut être maintenu que par un contrôle fiable du débit de refoulement de la pompe. Une pompe centrifuge doit être choisie selon les caractéristiques réelles de l'installation dans laquelle on doit l'installer.

### III.3.2. Problématique causée

La pompe CPKN-S fabriquée par le constructeur KSB figure III.4 est conçue pour la circulation d'eau dans un réseau anti-incendie située à la sortie de la station de pompage SP2, cette pompe est une machine de grande qualité, accouplée à un moteur électrique. On a proposé d'équiper la pompe d'un dispositif de variation continue de vitesse qui est la méthode

idéale pour modifier les caractéristiques  $H=f(Q)$  tout en conservant un bon rendement dans une large plage de fonctionnement.



**Figure III.4 :** Pompe CPKN-S du site SP2. [16]

### III.3.3. Calcul hydraulique

#### III.3.3.1. Calcul de la hauteur manométrique

Les données de la pompe sont comme suit :

- $Q$  (débit) = 500 m<sup>3</sup>/h
- $H_g$  (hauteur géométrique a l'aspiration) = 3 m.
- $H_{gr}$  (hauteur géométrique au refoulement) = 54 m.
- $p_c = 17,9$  m.

On sait comment calculer la hauteur manométrique d'après le chapitre I :

$$H_{mt} = H_{gr} + P_c$$

Sachant que :

$$H_{gr} = H_{gp} - H_{ga}$$

## Etude technologique de la Pompe KSB CPKN-S

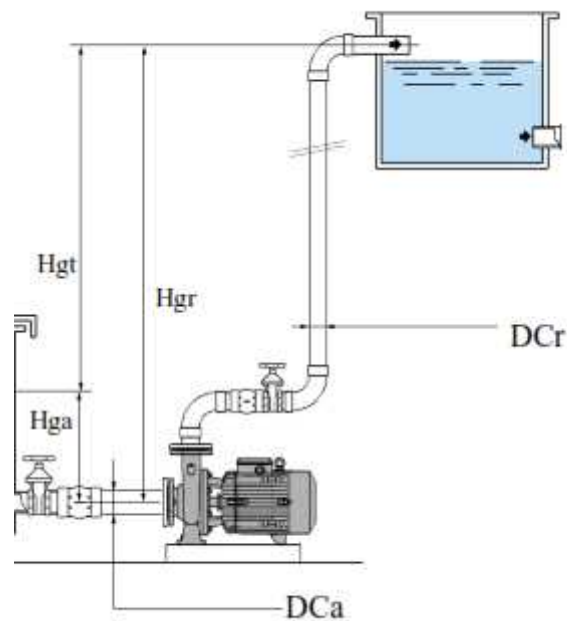
Donc La hauteur manométrique totale que la pompe doit atteindre est donc :

$$: H_{MT} = H_{gp} - H_{ga} + P_c$$

$$A.N : H_{MT} = 54 - 3 + 17,9$$

$$H_{MT} = 68,9 \text{ m}$$

Donc pour un débit de 500 m<sup>3</sup>/h la hauteur manométrique égale 68.9 m.



**Figure. III.5 :** Fonctionnement en charge de la pompe proposé.

N° Etage = 1

- $N = 1480 \text{ tr/min.}$
- $\eta = 80,9\%.$
- $\rho = 0.814 \text{ Kg/cm}^3.$
- $N_r = 2,4\text{m.}$
- $N = 3\text{m.}$
- $P_r = 75 \text{ kw.}$

<b>Q0</b>	<b>0</b>	<b>67,5</b>	<b>174,3</b>	<b>279,1</b>	<b>345,6</b>	<b>424,7</b>
<b>H0</b>	50,8	48,9	45,92	41,54	37,96	32,4

Tableau. III.2 :  $Q_0 = f(H_0)$ .

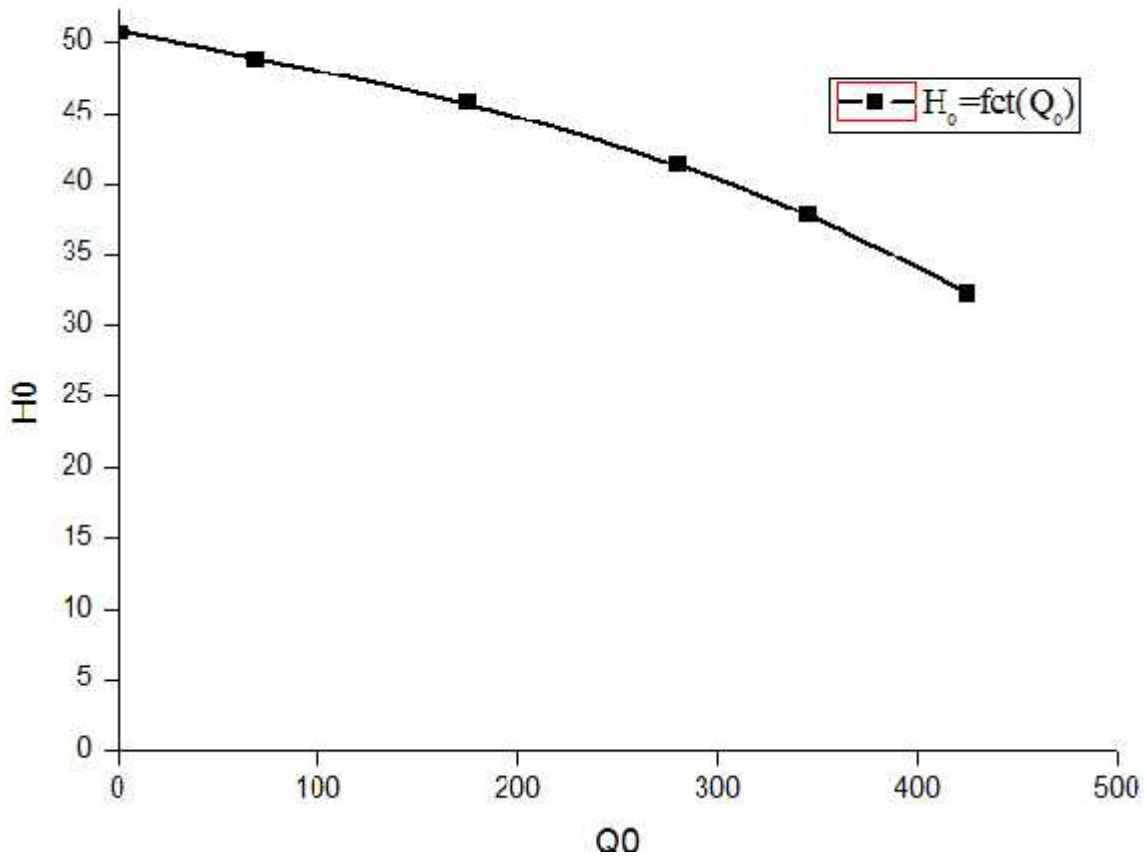


Figure III.6 : courbe caractéristique  $H = f(Q)$ . (Hauteur en fonction du débit d'écoulement)

### III.3.3.2. Courbe caractéristique de la conduite

La grandeur  $K$  pour la conduite donnée est une valeur constante et peut être calculée selon les dimensions géométriques des conduites et le régime d'écoulement du liquide. L'unité de mesure pour  $K$  ( $s^2/m^5$ ).

$$P = KQ^2 \dots \dots \dots (a)$$

Nous savons que :

$$H_{MT} = H_{gp} + H_{ga} + P_c \dots \dots \dots (b)$$

## Etude technologique de la Pompe KSB CPKN-S

---

On remplace l'équation (a) dans l'équation (b) :

On obtient :

$$H_{MT} = H_{gp} + H_{ga} + KQ^2$$

$$K = \frac{H_M - H_g - H_g}{Q^2}$$

$$\text{A.N: } K = \frac{6,9 - 5 - 3}{(5^2 - 3^2)}$$

$$K = 0,25$$

$$H_{MT} = f(k)$$

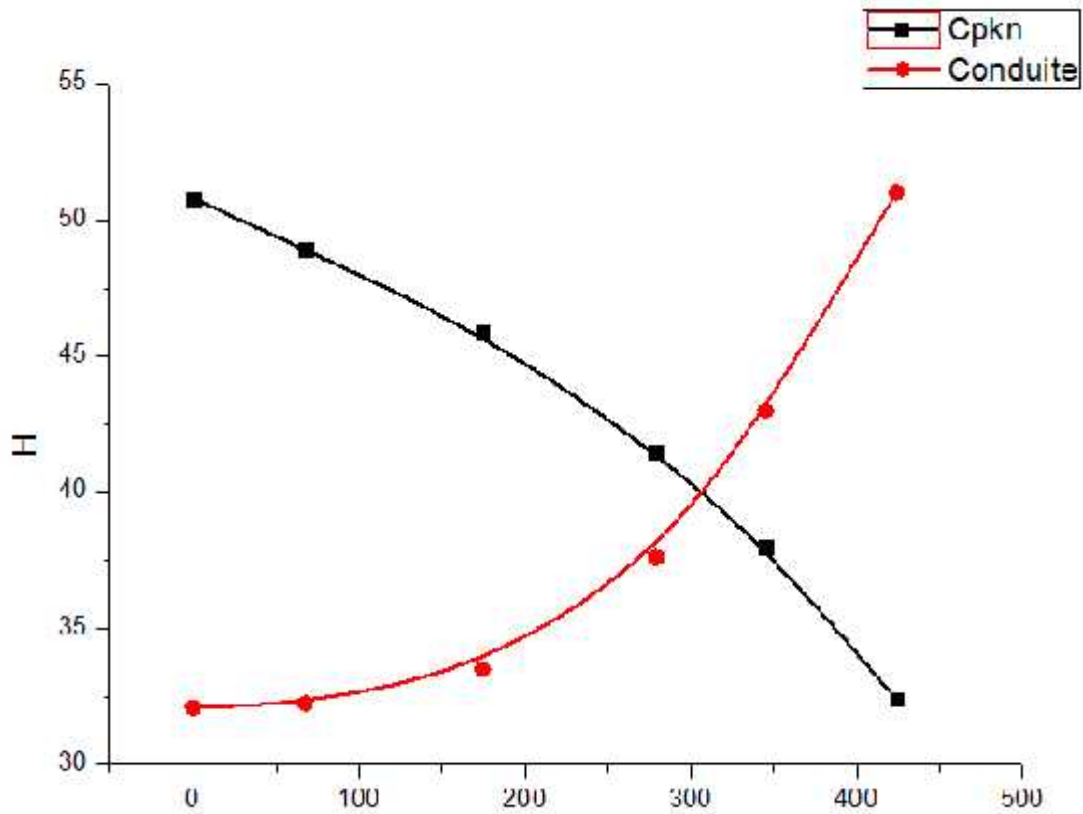
$$H_{MT} = H_{gr} + KQ^2.$$

$K = 0,25$ . (La grandeur  $K$  pour la conduite donnée restera une valeur constante)

<b>Q</b> (m <sup>3</sup> /s)	0	0,12	2,9	4,65	5,76	7
<b>Q<sup>2</sup></b>	0	1,25	8,41	21,62	62,25	49
<b>KQ<sup>2</sup></b>	0	0,32	2,11	5,41	15,56	12,25
<b>H<sub>mt1</sub></b> (m)	32,1	32,25	35,5	37,6	43	51

**Tableau. III.3 :**  $Q_1 = f(H_1)$  Débit volumique en fonction de la hauteur manométrique.

On trace la courbe  $Q_1 = f(H_1)$  et  $Q_0 = f(H_0)$ , afin de pouvoir déterminer le point de fonctionnement, figure (III.7)

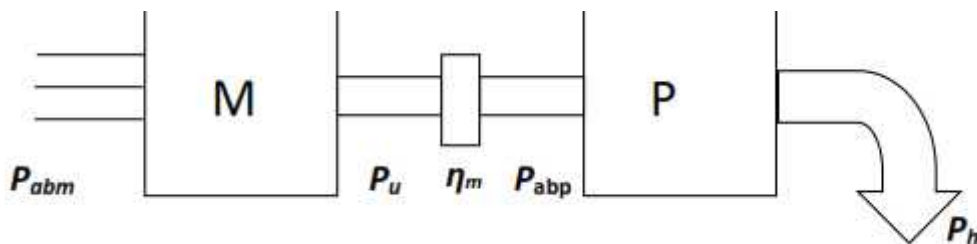


**Figure. III.7 :** courbe caractéristique de la conduite (débit volumique en fonction de la hauteur manométrique).

Le point de fonctionnement de la pompe et le point d'intersection de la courbe caractéristique de la pompe et de l'installation.  $Q = 310 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 39.97\text{m}$ .

### III.3.3.3. Choix du moteur

Avant de procéder au dimensionnement de la pompe, il est nécessaire de faire un choix convenable du moteur qui dépend essentiellement de la puissance de la pompe à entrainer.



**Figure III.8 :** schéma de l'installation de KSB CPKN S.



$$P_h = \frac{g.H.Q.\rho}{3}$$

$$\text{A.N: } P_h = \frac{9,8 \times 6,9 \times 5 \times 0,8}{3}$$

$$P_h = 76,41 \text{ kw}$$

Les pompes centrifuges sont souvent accouplées directement à l'arbre d'un moteur électrique

$$\eta_m = 0,9 \div 0,98 \text{ (accouplement)} \implies \eta_m = 0,97$$

### ) Puissance utile :

Nous savons que :

$$P_u = \frac{P}{\eta_m}$$

Sachant que :

$$P_{abs} = 35,92 \text{ kw}$$

Donc :

$$\text{A.N : } P_u = \frac{7}{0,9}$$

$$P_u = 77,03 \text{ kw}$$

A partir de ces paramètres, on choisit le moteur selon les puissances normalisées qui sont données par le constructeur.

On choisit un moteur de puissance  $P_a > 75 \text{ kw}$ .

Le moteur normaliser choisi et de type PE 250 M/A.

### III.3.3.4. Caractéristique du moteur

Les pompes centrifuges sont souvent accouplées directement à l'arbre d'un moteur électrique. A partir de ces paramètres, on choisit le moteur selon les puissances normalisées qui sont données par le constructeur.

) Caractéristique du moteur :

On choisit un moteur de puissance  $P_a$

- $P_a = 85 \text{ kW}$ .
- $N = 1480 \text{ tr/min}$ .
- $\eta_m = 92,5 \%$
- $\cos \alpha = 0,86$ .
- $j = 0,071$ .
- $f = 0,0001$ .

### III.3.3.5. Bilan des puissances

On néglige les pertes dues aux frottements et les pertes mécaniques.

) **Vitesse de synchronisation :**

La vitesse de synchronisme des moteurs asynchrones triphasés est proportionnelle à la fréquence du courant d'alimentation et inversement proportionnelle au nombre de paires de pôles constituant le stator.

$$N_s = 60 \times \frac{f_{\text{élec}}}{2}$$

$$\text{A.N: } N_s = 60 \times \frac{5}{2}$$

$$N_s = 1500 \text{ tr/min}$$

### ) Glissement :

C'est la différence entre la vitesse synchrone  $N_s$  et la vitesse  $N$  de fonctionnement nominal qui est normalement exprimée en pourcentage. Selon les moteurs. Le glissement est l'une des caractéristiques les plus importantes d'un moteur à induction.

$$g = \frac{N_s - N}{N_s}$$

$$\text{A.N : } g = \frac{1500 - 1470}{1500}$$

$$g = 0,0135 = 1.35\%$$

Donc le glissement est de 1,35%

### ) Pulsation de synchronisme

$$s = \frac{2\pi \times N_s}{60}$$

$$\text{A.N : } s = \frac{2\pi \times 1500}{60}$$

$$s = 157 \text{ rad/s}$$

### ) Pulsation du rotor :

$$= \frac{2\pi \times N_r}{60}$$

$$\text{A.N : } = \frac{2\pi \times 1470}{60}$$

$$= 154,98 \text{ rad/s}$$

### ) Puissance utile

$$P_u = P_{abs} \cdot \eta_m$$
$$P_u = 85 \cdot 0.92$$

$$P_u = 78.2 \text{ Kw}$$

## ) Puissance transmise au rotor :

Nous avons d'après la relation de puissance transmise au rotor :

$$P_{tr} = C_{em} \cdot \omega$$

$$P_u = C_{em} \cdot \omega [1-g]$$

$$= C_u \cdot \omega [1-g]$$

$$P_u = C_{em} \cdot \omega = C_u \cdot \omega$$

$$P_{tr} = C_u \cdot \omega$$

$$C_u = 78.8 \cdot 10^3 / 154.9$$

$$C_u = 504 \text{ N.m}$$

$$P_{tr} = 500.157 = 78.5 \text{ KW.}$$

## III.4. Conclusion

Ce chapitre présente les caractéristiques essentielles du moteur de la pompe ainsi que ses calculs des critères numériques des organes essentiels de la pompe. Il faut respecter les demandes du constructeur concernant les diamètres des tubulures ainsi que les diamètres de refoulement. Nous avons pu d'après nos expérimentations conclure que pour avoir un rendement optimal de notre pompe il nous faut faire un choix convenable du moteur d'entraînement.

# Conclusion générale

# Conclusion générale

---

## Conclusion générale

Dans ce présent travail de fin d'études, nous avons étudié les caractéristiques technologiques et l'analyse du rendement d'une pompe centrifuge du point de vue théorique.

Les pompes sont parmi les machines hydrauliques les plus utilisées dans l'industrie. Elles sont menacées par des pannes occasionnées surtout par le phénomène de cavitation.

Dans la première partie, nous nous sommes intéressés aux pompes à leurs différents types, leurs rôles, leurs caractéristiques ainsi qu'à leur conception.

Le second chapitre, nous explique la théorie des pompes centrifuges qui est basée sur l'équation fondamentale des turbopompes (équation d'EULER) d'où découlent les lois de la similitude et du rognage.

Dans le troisième chapitre nous avons pu voir les performances d'une pompe centrifuge décrites par les courbes caractéristiques (HMT, puissance absorbée et rendement global) de ce fait nous avons ainsi déterminé le point de fonctionnement de la courbe.

Ainsi notre objectif dans ce travail est de maintenir un fonctionnement optimal de la pompe, ce point de fonctionnement ne peut être maintenu que par un contrôle fiable du débit de refoulement de la pompe.

Pour atteindre nos objectifs nous avons proposé d'équiper la pompe d'un dispositif de variation continue de vitesse ou d'installer un moteur d'entraînement plus puissant tout en conservant un bon rendement dans une large plage de fonctionnement.

Enfin, nous pouvons dire que ce présent travail nous a été très avantageux sur le plan théorique et nous a offert une vision exhaustive sur la recherche scientifique.

# Références bibliographiques

## Références bibliographiques

---

- [1] **L.NELIK.** Pompes centrifuges et rotatives: principes de base avec applications. Edition CRC Press, 1999.
- [2] **H.P.BLOCH A.R. BUDRIS.** Manuel d'utilisation de la pompe : life extension. Edition Third, 2004.
- [3] **A.BASILE, S.PEREIRA NUNES.** Science et technologie avancées des membranes pour les applications énergétiques et environnementales durables. Edition Woodhead Publishing, 2011.
- [4] **F.JEAN LAPRAY.** Technique de l'ingénieur, machine hydraulique et thermique. Edition PYC, 2002.
- [5] **A. LENCASTRE.** Hydraulique générale. Edition Eyrolles Paris, 1999.
- [6] **P.GIRDHAR, O.MONIZ.** Pompes centrifuges pratiques : conception, fonctionnement et maintenance. Edition Newnes, 2004.
- [7] **D. WARD.** Pompes et amorceurs. Edition Newnes, 2004.
- [8] **J.CHAURETTE.** Tutoriel sur les systèmes de pompe centrifuge, 2005.
- [9] **J.F.Gülich.** Pompes centrifuges. Edition Third, 2014.
- [10] **R.PALGRAVE.** Dépannage des pompes centrifuges et de leurs systèmes. Edition Elsevier, 2003.
- [11] **S.L.DIXON C.HALL.** Mécanique des fluides et thermodynamique des turbomachines, Edition Seventh, 2013.
- [12] **B. VALIBOUSE.** Hydrauliques - Conduites et pompes. (Circuits hydrauliques) - L'essentiel. Edition EIER, 1991.
- [13] **B.NESBITT.** Manuel des pompes et pompage : manuel de pompage international. Edition Elsevier, 2006.
- [14] **J.HENG.** L'usine nouvelle Série : gestion industrielle Pratique de la maintenance préventive. Edition Dunod Paris, 2002.
- [15] **S. LOBANOFF R.ROSS** Pompes centrifuges: conception et application. Edition Second, 2017.



## Références bibliographiques

---

[16] **L. Bachus , A Custodio**, Connaitre et comprendre les pompes centrifuges. Edition Elsevier, 2007.

## Résumé

---

### Résumé :

Les pompes sont classées dans la catégorie des machines les plus vitales au fonctionnement de tout projet industriel leur indisponibilité entraîne immédiatement la perte de production et du temps.

Nous nous sommes intéressés a travers notre présent travail sur les pompes centrifuges et sur la pompe CPKN-S du constructeur KSB ou nous mentionneront leur différentes caractéristiques ainsi que leur différents critères d'utilisation, pour permettre l'exploitation de ces dernières il nous faut déterminer la bonne plage pour leur bon fonctionnement.

Pour vérifier ces conditions nous avons procédé a des manipulations, des calculs et nous nous sommes appuyés sur les données des courbes caractéristiques, nous avons pu interpréter et comparer tout cela expérimentalement.

### Abstract :

Pumps are classified in the category of the most vital machines for the operation of any industrial project, their unavailability cause immediately to loss of production and time.

We are interested through on this present work on centrifugal pumps and on the CPKN-S pump from the manufacturer KSB where we will mention their different characteristics as well as their different criteria of use, to allow the operation of these last we must determine the right range for their proper functioning.

To check these conditions we carried out manipulations, calculations and we relied on the data of the characteristics curves, we were able to interpret and compare all this experimentally.

:

المضخات ضمن فئة الآلات الأكثر حيوية لتشغيل أي مشروع صناعي ، وعدم توفرها يؤدي على الفور إلى ضياع

نحن مهتمون من خلال عملنا الحالي على مضخات الطرد المركزي وعلى مضخة S-CPKN KSB حيث سنذكر خصائصها المختلفة بالإضافة إلى معايير استخدامها المختلفة، للسماح باستغلال هذه الأخيرة التي يجب أن نحدد لها النطاق الصحيح لأدائها السليم. للتحقق من هذه الشروط قمنا بإجراء عمليات التلاعب والحسابات واعتمدنا على بيانات المنحنيات المميزة، تفسير ومقارنة كل هذا تجريبياً.