

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR- ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté : Sciences de L'Ingéniorat

Département : Électromécanique

## MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de : **MASTER**

### *Analyse Des Causes De Défaillance des Pompes Centrifuges*

**Domaine : Sciences et Technologie**

**Filière : Electromécanique**

**Spécialité : Maintenance Industrielle**

**Par :**

- Djellali Badis et Djebabla Basma

-

**DEVANT LE JURY**

**Président : Dr. Bouras Abdelkarim U.B.M. Annaba**

**Directeur de mémoire : Pr. Kabouche Abdallah U.B.M. Annaba**

**Examineur : Dr. Adbi Zohra U.B.M. Annaba**

**Année Universitaire :2020 / 2021**

## ***Remerciement***

*Nous remercions Dieu qui nous a donné le pouvoir et nous a aidé à terminer ce modeste travail.*

*Pour cette occasion, nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à tous ceux qui nous ont aidé de loin ou de près à la réalisation et à la mise au point de ce travail, en particulier*

**M**er l'encadreur : Pr Kaabouche

*Tous les étudiants du département d'électromécanique*

*Nos vifs remerciements vont également à nos très chers parents,  
qui ont toujours été là pour nous*

## DEDICACE

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour,  
leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes  
études, A mes amis pour leur appui et leur  
encouragement,  
A toute ma famille pour leur soutien tout au long de  
mon parcours universitaire,  
Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués,  
et le fruit de votre soutien,*

BADIS DJELLALI

## DEDICACE

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour,  
leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes  
études, A mes amies pour leur appui et leur  
encouragement,  
A toute ma famille pour leur soutien tout au long de  
mon parcours universitaire,  
Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués,  
et le fruit de votre soutien,*

BASMA DJEBABL

## Résumé

Dans notre travail, nous essayons de comprendre la structure et le principe de fonctionnement de la pompe. De ce point de vue, c'est une sorte de machine hydraulique, ce qui est différent d'une turbine, c'est une machine réceptrice. Nous avons expliqué les différents modes de défaillance pouvant survenir dans les pompes centrifuges.

Les pompes centrifuges sont des turbines qui nécessitent beaucoup d'entretien et de réparations, la cavitation et les problèmes qui causent de gros dommages au sein, tels que l'érosion, le tirage de métal. Dans ce travail, une étude générale de la cavitation est proposée pour définir en détail l'effet de ce phénomène sur les différentes performances de la pompe. Afin de définir en détail l'effet de ce phénomène sur les différentes performances de la pompe, une étude générale de la cavitation est proposée.

## Abstract:

In our work, we try to understand the structure and principle of operation of the pump. From this point of view, it is a kind of hydraulic machine, which is different from a turbine, it is a receiving machine. We have explained the different failure modes that can occur in centrifugal pumps.

Centrifugal pumps are turbines that require a lot of maintenance and repair, cavitation and problems that cause great damage to the breast, such as erosion, metal pulling. In this work, a general study of cavitation is proposed to define in detail the effect of this phenomenon on the different performances of the pump.

In order to define in detail the effect of this phenomenon on the various performances of the pump, a general study of cavitation is proposed.

## ملخص:

نحاول في عملنا فهم هيكل ومبدأ تشغيل المضخة. من وجهة النظر هذه، فهي نوع من الآلات الهيدروليكية، والتي تختلف عن التوربينات، إنها آلة استقبالية. لقد شرحنا أوضاع الأعطال المختلفة التي يمكن أن تحدث في مضخات الطرد المركزي.

مضخات الطرد المركزي عبارة عن توربينات تتطلب الكثير من الصيانة والإصلاح والتجاويف والمشاكل التي تسبب أضرارًا كبيرة للثدي مثل التآكل وسحب المعادن. في هذا العمل، تم اقتراح دراسة عامة للتجوييف لتحديد تأثير هذه الظاهرة بالتفصيل على الأداء المختلف للمضخة.

من أجل تحديد تأثير هذه الظاهرة بالتفصيل على أداء المضخة المختلفة، تم اقتراح دراسة عامة للتجوييف

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERAL</b> .....	1
<b>CHAPITRE I :</b> .....	2
<b>I-1-Introduction :</b> .....	3
<b>I -2- Généralité sur les pompes centrifuges :</b> .....	3
<b>I -2-1-Définition :</b> .....	4
<b>I -3- Les types des pompes</b> .....	4
<b>1 -Pompe volumétrique :</b> .....	4
<b>A- Les pompes alternatives :</b> .....	4
<b>A-1 - Pompe à piston :</b> .....	5
<b>A-2-Pompe à membrane :</b> .....	7
<b>A-3- Pompes à piston plongeur :</b> .....	7
<b>B - Pompes rotatives :</b> .....	8
<b>B-1- Pompes à engrenages :</b> .....	8
<b>B-2 - Pompes à vis :</b> .....	10
<b>B-3 - Pompes à palettes :</b> .....	11
<b>I -2- Avantages et inconvénients des pompes volumétriques :</b> .....	12
<b>I -3- Les pompes centrifuges et leur principe de fonctionnement :</b> .....	13
<b>I-3-1- L'aspiration :</b> .....	14
<b>I -3-2-L'accélération :</b> .....	14
<b>I -3-3-Le refoulement :</b> .....	14
<b>I -4- Constitution d'une pompe centrifuge :</b> .....	15
<b>I -4-1- La roue :</b> .....	15
<b>B- Les roues semi-ouvertes :</b> .....	16
<b>C- Les roues fermées :</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>I -4-2- Le distributeur :</b> .....	16
<b>I -4-3- Le diffuseur :</b> .....	16
<b>I -4-4- Volute :</b> .....	16
<b>I -4-5- Le divergent :</b> .....	17
<b>I -5- Classification des pompes centrifuges :</b> .....	17
<b>I -5-1-Disposition de l'axe :</b> .....	17
<b>a) Pompes à axe horizontal :</b> .....	17
<b>b) Pompe à axe vertical :</b> .....	17

I -5-2-Du nombre de roue :	17
I -5-3-La forme de la roue :	19
I -5-4- la forme des aubes de la roue :	20
a) Pompes centrifuges radiales :	20
b) Pompes centrifuges axiale :	20
c) Pompes semi axiales :	20
I -5-5- La position de la pompe par rapport au niveau d'aspiration:	20
I -5-6- La pression engendrée	20
I -5-7- Moyen d'accouplement	20
I -5-8-Moyen d'entraînement	20
I -5-9-Type du récupérateur	21
I -5-10- Usage	21
I -6-Principales caractéristiques d'une pompe :	21
I -6-1-Débit volumique $Qv$ :	21
I -6-2- Pression	21
I -6-3-Puissance :	21
I -6-4-Puissance absorbée (Pa) :	22
I -6-5-Rendement ( $\eta$ ) :	22
I -6-6-Cylindrée :	22
I -6-7-Couple :	23
I -6-8-Hauteur manométrique ou hauteur d'élévation d'une pompe (HMT) :	23
I -7- Utilisation et choix des pompes	24
I -7-1-Choix de type de pompe en fonction des paramètres hydrauliques Q et Hmt:	24
I -7-2-Choix de type de pompe en fonction des conditions particulières d'utilisation :	24
1-8- Avantages et inconvénients des pompes centrifuges :	25
I.9. Le phénomène de cavitation dans les pompes	26
A - Description de cavitation	26
B - L'impact de la cavitation sur une pompe	26
- Conclusion :	27
CHAPITRE II :	28
II-1- Introduction :	29
II -2- Analyse des défaillances ;	29
II -2-1- Définition de la défaillance :	29
II -2-2- Principaux modes de défaillance des pompes centrifuges :	29
II -2-3-Les modes de défaillance des pompes centrifuges	29
II -2-3-1 Définition de Mode de défaillance :	29

II -2-3-2- Modes de défaillance hydraulique :	30
II -2-4-Les causes de défaillances :	33
II -2-4-1-Aération :	34
II -2-4-2-Cavitation :	35
II -2-4-3-Contamination :	35
II -2-4-4-Surpression :	36
II -2-4-5-Température excessive :	37
II -2-4-6-Viscosité inadéquate :	38
II -2-5-Conclusion :	38
<b>CHAPITRE III :</b>	<b>39</b>
III -1-Introduction :	40
III -2-Description du phénomène de Cavitation :	40
III-3 - Cavitation dans les pompes centrifuges	41
III -3-1- Définition de la cavitation :	41
III 3-2- Les types de cavitation :	42
III 3-2-1- Cavitation à bulle	42
III- 3-2-2- Cavitation a poche :	42
III- 3-2-3- Cavitation de tourbillon marginal :	43
III- 3-2-4- Cavitation de tourbillon d’ogive	43
III- 3-2-5- Cavitation du tourbillon de coque :	44
III- 4-Paramètre caractéristique de la cavitation – Similitude	45
III- 5- Causes et conséquences cavitation dans une pompe :	47
III- 6- Dégâts de cavitation	48
III- 7- Effets de la cavitation :	49
III- 8- Utilisation de la cavitation :	49
III- 9- La prévention de cavitation d’une pompe :	50
<b>CHAPITRE IV :</b>	<b>51</b>
VI-1- Introduction :	52
VI -2- Description du barrage :	52
VI -3- Capacité :	52
VI- 4- Les pompes utilisées dans le barrage :	53
VI-4-2-Rôle de la pompe dans la station de pompage :	54
VI-4-3- Circuit de la pompe :	55
VI-4-4-Principe de fonctionnement :	55
VI-4-5-Caractéristiques de la pompe	56
VI-4-6-Corps de pompe :	58

<b>VI-4-7-caractéristiques hydrauliques générales :</b> .....	59
<b>VI-5-Détermination des paramètres principaux :</b> .....	60
<b>VI-5-1-Vitesse spécifique :</b> .....	60
<b>VI-5-2-Diamètre de l'arrête d'entrée ramené <math>D_{r1}</math> :</b> .....	62
<b>VI-5-3-Rendement hydraulique <math>\eta_h</math> :</b> .....	62
<b>VI-5-4-Rendement volumétrique :</b> .....	63
<b>VI-5-5-Rendement mécanique.....</b>	63
<b>VI-5-6-Rendement global :</b> .....	64
<b>VI-5-7-Puissance consommée par la pompe :</b> .....	64
<b>VI-5-8-Rendement Puissance du moteur d'entraînement <math>P_m</math> :</b> .....	64
<b>VI-5-9-Le débit de circulation dans la pompe :</b> .....	65
<b>VI-5-10-Calcule la hauteur manométrique totale H.M.T :</b> .....	65
<b>Conclusion générale :</b> .....	67
<b>Bibliographie.....</b>	68

## Liste des figures

- Figure (I.1) : une pompe centrifuge
- Figure (I-2) : Montage d'une pompe en aspiration et en charge
- Figure (I-3) : Pompe à piston
- Figure (I-4) : Pompe à piston simple effet
- Figure (I-5) : Pompe à piston double effet
- Figure (I-6) : Pompe à membrane
- Figure (I-7) : Pompe à piston plongeur
- Figure (I-8) : Pompe à engrenages
- Figure (I-9) : Pompe à engrenage extérieure
- Figure (I-10) : Pompe à engrenage intérieure
- Figure (I-11) : Pompe à vis
- Figure (I-12) : pompe à palette libre
- Figure (I-13) : pompe à palette flexible
- Figure (I-14) : fonctionnement d'une pompe centrifuge
- Figure (I-15) : Constitution d'une pompe centrifuge
- Figure (I-16) : Types des roues
- Figure (I-17) : pompe centrifuge mono- étage.
- Figure (I-18) : pompe centrifuge multi-étage
- Figure (I-19) : Roue à simple aspiration
- Figure (I-20) : Roue à double aspiration
- Figure (I-21) : les dégâts subis par une pompe

### **Chapitre II :**

- Figure (II-1) : Cavitation dans les pompes
- Figure (II-2) : aperçu Plaque de poussée ayant subi une usure due à l'aération du fluide
- Figure (II-3) : une roue cavités
- Figure (II-4) : montre Dommages causés par la présence de contaminants solides
- Figure (II-5) : aperçu la zone sur la surface interne de la couronne qui a fondu

### **Chapitre III :**

- Figure (III -1) : Exemple d'une roue soumise à la cavitation

Figure (III-2) : Aperçu de la Cavitation à bulle  
Figure (III -3) : cavitation a poche partielle  
Figure (III-4) : la cavitation de tourbillon marginal.  
Figure (III- 5) : La cavitation d'ogive  
Figure (III-6) : la cavitation du tourbillon de coque  
Figure (III-7) : Vue d'une roue soumise aux dégâts de cavitation

## **Chapitre VI :**

Figure (VI-1) : Vue du barrage de Beni Haroun  
Figure (VI-2) . Corps de pompe  
Figure (VI-3): Circuit de la pompe  
Figure(VI-4) : la pompe centrifuge  
Figure (VI-5) : Bâche spirale  
Figure (VI-6) : Roue d'une pompe centrifug

## **Liste des tableaux :**

### **Chapitre I :**

Tableau (I-1) : les avantages et les inconvénients des types des pompes

Tableau (I-2) : type de pompe en fonction des paramètres hydrauliques Q et Hmt

Tableau (I -3) : Type de pompe et domaines d'utilisation recommandés

### **Chapitre II :**

Tableau (II -1) : les modes et les composants mécanique, hydraulique, électriques et électromécanique

Tableau (II-2) : Les causes de défaillances et les composantes.

### **Chapitre VI :**

Tableau (VI-1). Caractéristique de la pompe

Tableau (VI-2) Caractéristiques hydraulique générales

Tableau (VI-3) : aperçu les vitesses spécifique de chaque type des pompe

## NOMENCLATURE

$Q_v$  : débit volumétrique [ $m^3/s$ ]

$V$  : volume de l'écoulement [ $m^2/s$ ]

$S$  : la section de l'aire [ $m^2$ ]

$p$  = pression en bar ou [ $kg/cm^2$ ]

$F$  = force en [daN] ou [kg]

$S$  = surface [ $cm^2$ ]

$\rho$  : la masse volumique de fluide [ $Kg/m^3$ ].

$g$  : la gravité [ $m/s^2$ ].

$Q$  : débit volumique [ $m^3/s$ ].

HMT : hauteur manométrique d'une pompe [m].

$C$  : couple moteur [N.m].

$\omega$  : vitesse de rotation [rad/s].

$n$  : vitesse de rotation [tr/min].

$P_a$  : puissance absorbée [W]

$P_u$  : puissance utile (puissance hydraulique) [W]

$V$  : volume d'un élément [ $m^3$ ]

$n_e$  : nombre d'éléments

$n_c$  : nombre de courses par tour

$C$  : [daN.cm]

$Cyl$  :  $cm^3/tr$  ;

$\Delta p$  : [ bars].

$H_{TA}$  : est la charge totale du liquide

$H_{TR}$  : la charge totale du fluide

$P_a$  : pression d'aspiration [Pa].

$P_r$  : pression de refoulement [Pa].

$\rho$  : la masse volumique de fluide [ $Kg/m^3$ ].

$g$  : la gravité [ $m/s^2$ ].



## INTRODUCTION GENERAL

Les pompes sont des appareils permettant un transfert d'énergie entre le fluide et un dispositif mécanique convenable. Suivant les conditions d'utilisation, 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. L'énergie requise pour faire fonctionner ces machines dépend donc des nombreux facteurs rencontrés dans l'étude des écoulements :

- Les propriétés du fluide : masse volumique, viscosité, compressibilité.
- Les caractéristiques de l'installation : longueur, diamètre, rugosité, singularités.
- Les caractéristiques de l'écoulement : vitesse, débit, hauteur d'élévation, pression.

Notre travail est la détermination de caractéristiques de la pompe centrifuge. Dans cet intérêt nous avons fait des essais sur une pompe centrifuge sur la boucle d'essai que nous avons monté avec des moyens simples et du matériels disponible au niveau du laboratoire pompes pour construire les courbes caractéristiques de la pompe.

Cette étude sera consacrée à l'interprétation des résultats obtenus du constructeur, expérimental et théorique pour la détermination des caractéristiques de la pompe et faire une étude comparative entre les résultats : dans plages de bon fonctionnement et avec un rendement meilleur. On appelle pompe tout appareil qui aspire un fluide d'une région à basse pression pour le refouler vers une région à plus grande pression. Ainsi d'après cette définition on peut dire que le rôle de la pompe consiste à augmenter la pression du fluide liquide.

L'augmentation de la pression du fluide véhiculé par la pompe a lieu à la suite de la transformation de l'énergie mécanique fournie par un moteur entraînant cette pompe en une augmentation de l'énergie hydraulique qui est acquise par le liquide entre l'entrée et la sortie de la pompe.

La cavitation est la vaporisation du liquide contenu dans la pompe quand il est soumis à une pression inférieure à la tension de vapeur correspondant à sa température. La cavitation peut avoir des effets sérieux sur le fonctionnement et la durée de vie des pompes. Elle peut affecter plusieurs composants de la pompe, mais c'est souvent la turbine qui en subit l'impact principal.

# **CHAPITRE I :**

## **Généralité sur les pompes**

**I-1-Introduction :**

La pompe est un appareil qui communique de l'énergie hydraulique à un fluide en vue de son déplacement d'un point à un autre.

Les pompes pour les eaux usées sont des pompes roto-dynamique qui utilisent un mouvement de rotation pour communiquer l'énergie au fluide pompé. Ces pompes utilisent donc des roues tournant à une grande vitesse (1.500à 3.000 tours/min) dans une volute.

**I-2- Généralité sur les pompes centrifuges :**

On appelle pompe du nom italien « pompa » toutes machines hydrauliques qui servent à déplacer les liquides d'une région de basse pression vers une région à grande pression. Son fonctionnement 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, la pompe transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique. Les pompes autant que machines, sont les pièces maîtresses qui donnent la vie aux unités de pétrole et au gaz. Leur choix et leur installation doivent faire l'objet de soins tout particulier de la part des services d'études, de même leur entretien requiert une des spécialistes très qualifiées, afin qu'elles puissent assurer dans les meilleurs conditions un service continu pendant une longue durée [1]

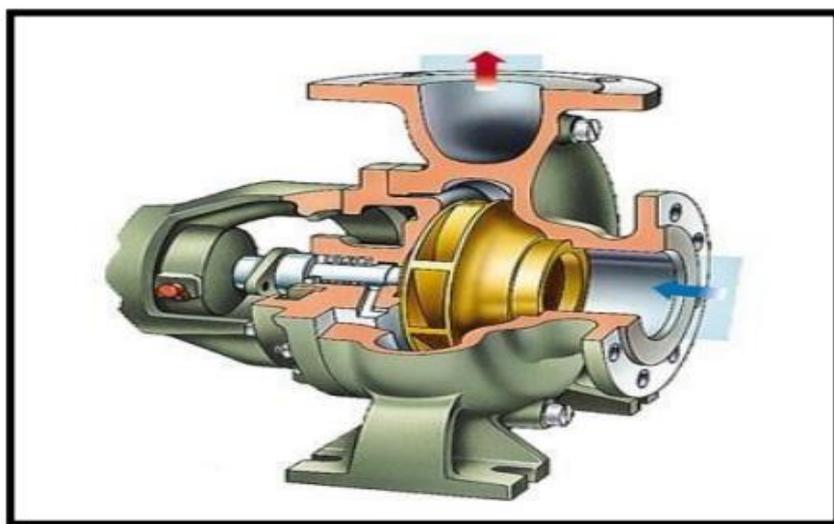


Figure (I.1) : une pompe centrifuge

**I -2-1-Définition :**

Une pompe est une machine hydraulique qui aspire et refoule un liquide (l'eau, l'huile, l'essence, les liquides alimentaires, etc....) d'un point à un endroit voulu [2]

La pompe est destinée à élever la charge du liquide pompé.

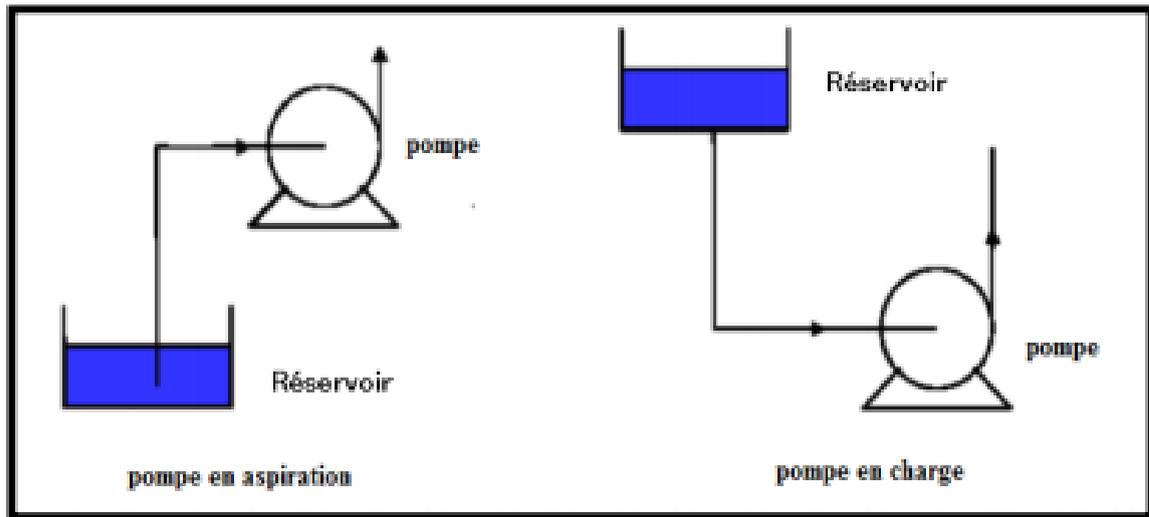


Figure (I-2) : Montage d'une pompe en aspiration et en charge

**I -3- Les types des pompes**

Il existe 2 types de pompes :

**1 -Pompe volumétrique :**

Le déplacement du fluide est dû aux transports d'un volume  $V_0$  à chaque rotation. Les pompes volumétriques ou à capacité variable sont des pompes dans lesquels l'écoulement du fluide résulte de la variation d'une capacité occupée par le fluide. On distingue deux grands types de pompes volumétriques :

- Les pompes alternatives
- Les pompes rotatives [3]

**A- Les pompes alternatives :**

Ces pompes sont caractérisées par le fait que la pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif. Les principaux types des pompes alternatives sont :

- Pompe à piston
- Pompe à membrane piston plongeur
- Pompe à piston plongeur [3]

### A-1 - Pompe à piston :

Les pompes à piston constituent l'un des plus anciens types de pompes et demeurent parmi les plus répandues. Comme son nom l'indique la pompe à piston utilise les variations de volumes occasionnées par le déplacement d'un piston dans un cylindre. Ces machines ont donc un fonctionnement alternatifs et nécessite un jeu de soupapes ou des clapets pour obtenir tantôt l'aspiration dans le cylindre tantôt son refoulement. (Figure I.3) [4]

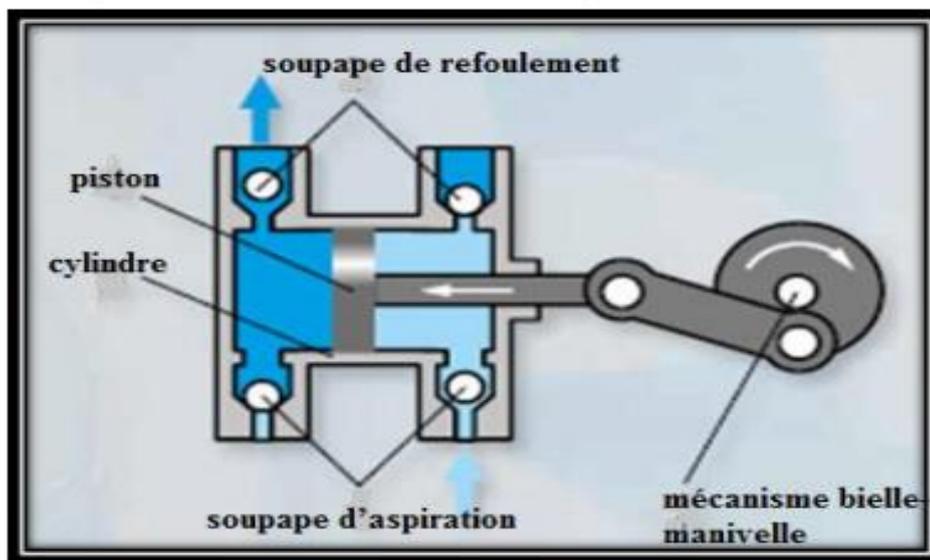


Figure (I-3) : Pompe à piston

Il existe différents types de pompes à piston :

- Pompes à piston simple effet
- Pompes à piston double effet

#### A-1-1- Pompe simple effet :

Le refoulement et l'aspiration n'a lieu que pour un sens de déplacement du piston (Figure I.4)

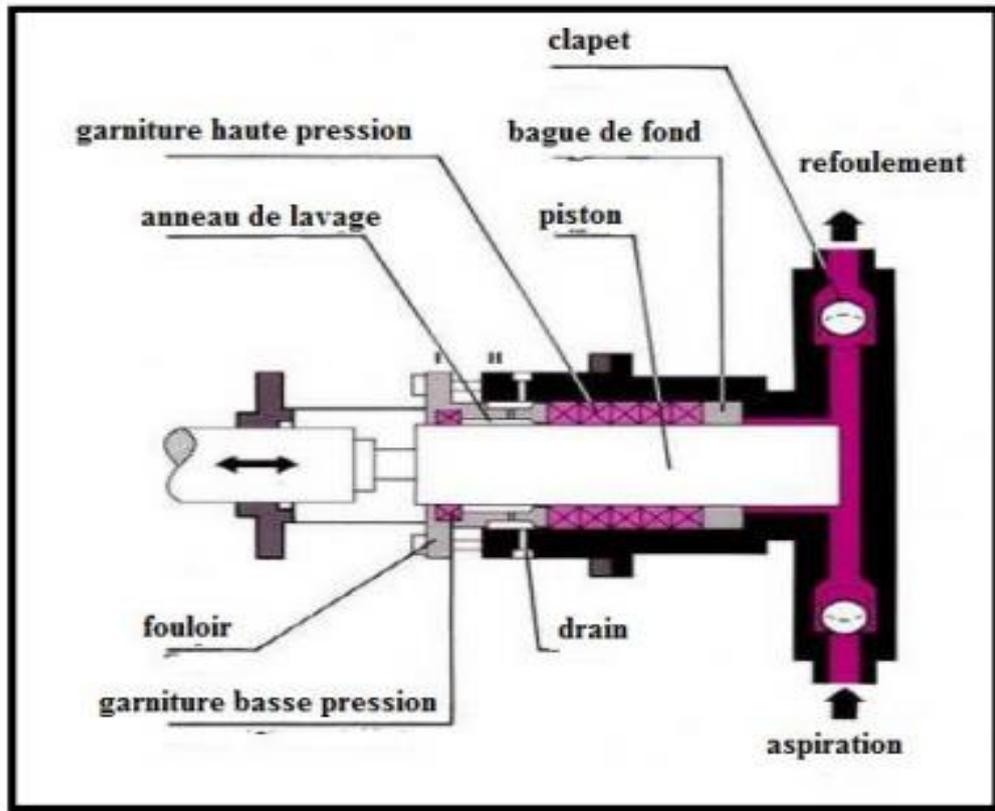


Figure (I-4) : Pompe à piston simple effet

**A-1-2- Pompes double effet :**

Le pompage s'effectue des deux côtés du piston :

Le piston est actif dans les deux phases, celles-ci étant à la fois phase d'aspiration et phase de refoulement. Cela permet un débit deux fois plus important et une régularité plus grande dans le débit.(figure I.5)[3]

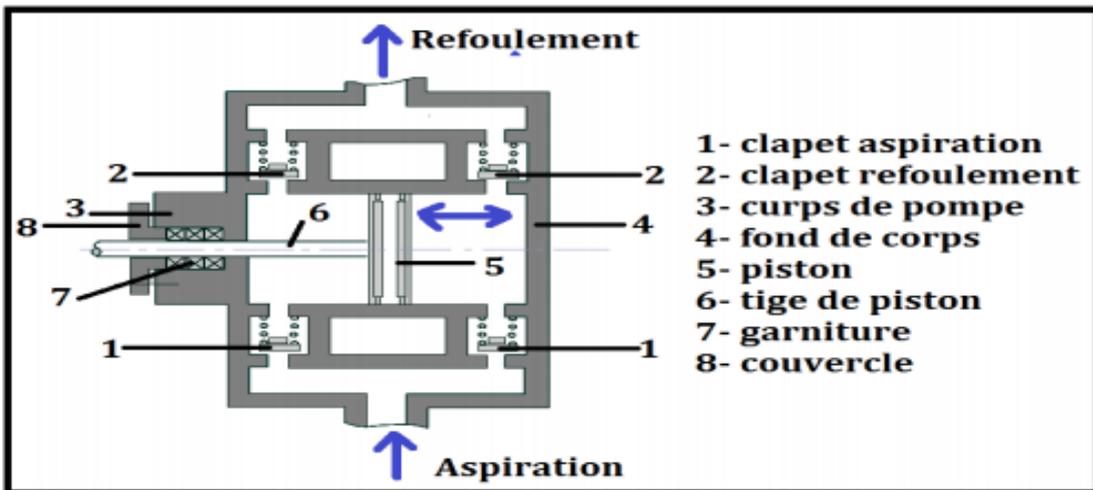


Figure (I-5) : Pompe à piston double effet [3]

**A-2-Pompe à membrane :**

Le fluide n'entre pas en contact avec les éléments mobiles de la machine. Ces pompes sont donc bien adaptées au pompage des liquides corrosifs ou/et chargés de particules solides.

(Figure I.6)

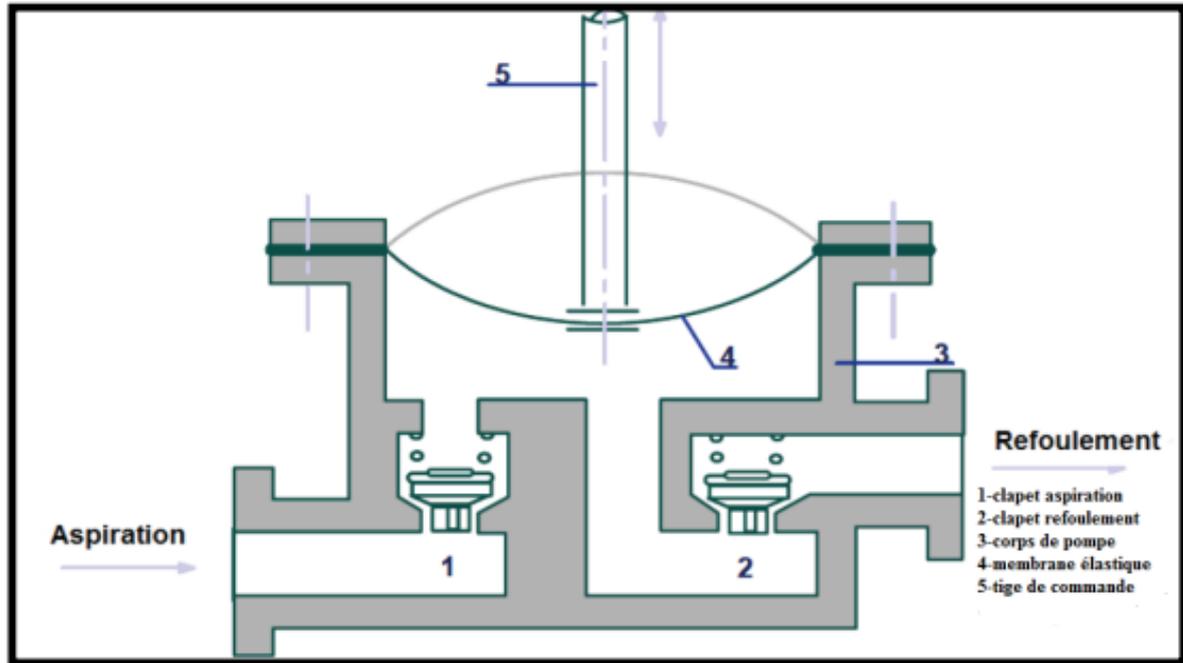


Figure (I-6) : Pompe à membrane [3]

**A-3- Pompes à piston plongeur :**

Cette machine est un compromis entre la pompe à piston et la pompe à membrane. Le fluide n'est pas isolé du piston, mais les frottements de celui-ci sont faibles car limités au niveau du presse-étoupe qui assure l'étanchéité. Ces pompes sont adaptées à la production de hautes pressions. (Figure I.7) [4]

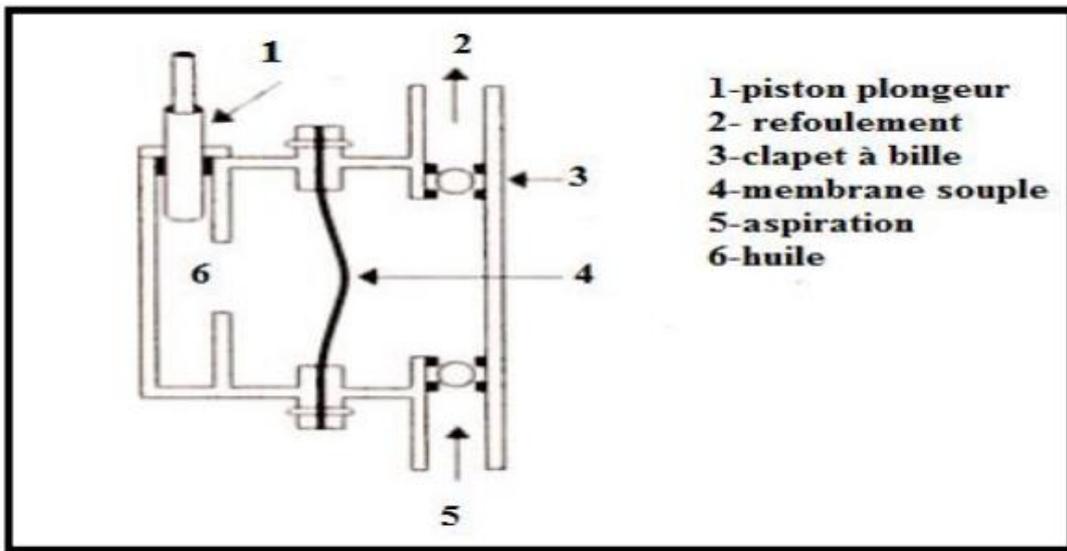


Figure (I-7) : Pompe à piston plongeur [4]

## B - Pompes rotatives :

La pièce mobile est animée d'un mouvement de rotation qui tourne dans le corps et crée le mouvement de liquide pompé par déplacement d'un volume. Les principaux types des pompes rotatives sont :

- Pompes à engrenage
- Pompes à vis
- Pompes à palettes

### B-1- Pompes à engrenages :

Deux pignons tournent en sens inverse dans un carter. Le fluide situé entre les dents et la paroi du carter est contraint d'avancer au cours de la rotation, tandis qu'au centre, le contact permanent entre les deux pignons empêche le retour du fluide vers l'amont malgré la différence de pression et le déplacement des dents qui se fait en direction de l'entrée. (Figure I.8)

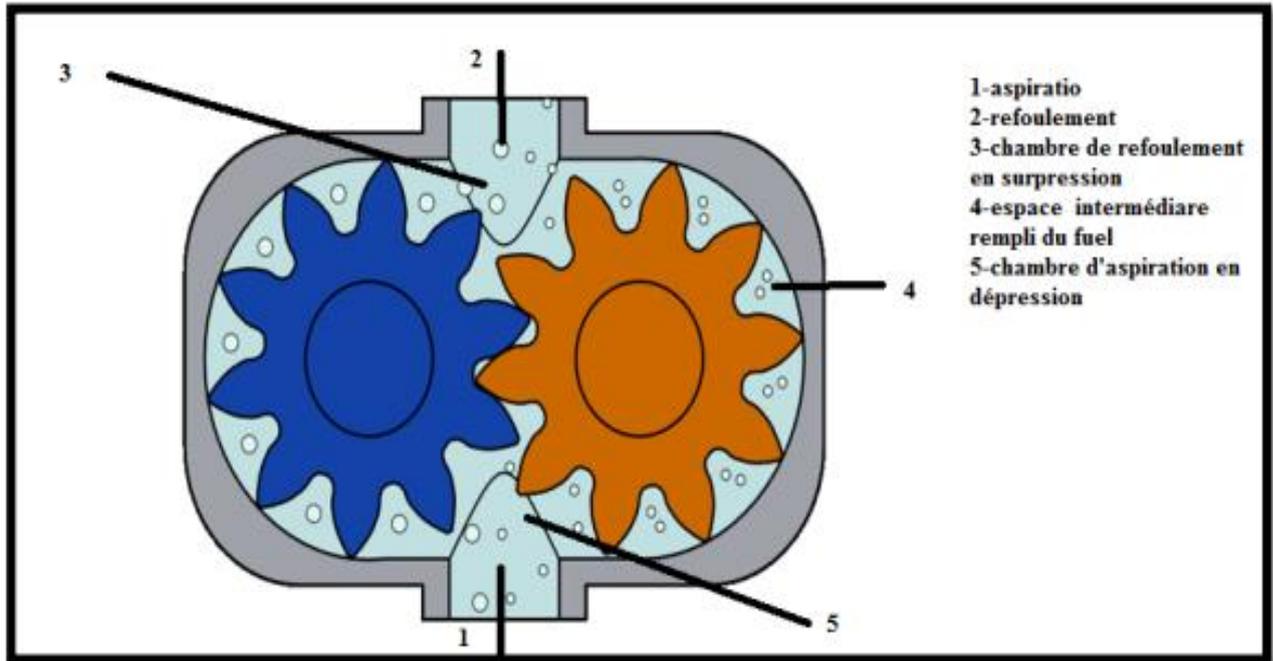


Figure (I-8) : Pompe à engrenages [5]

Il existe deux types des pompes à engrenages :

- Pompes à engrenages extérieure
- Pompes à engrenages intérieure

#### B-1-1- Pompes à engrenages extérieure :

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.9) [3]

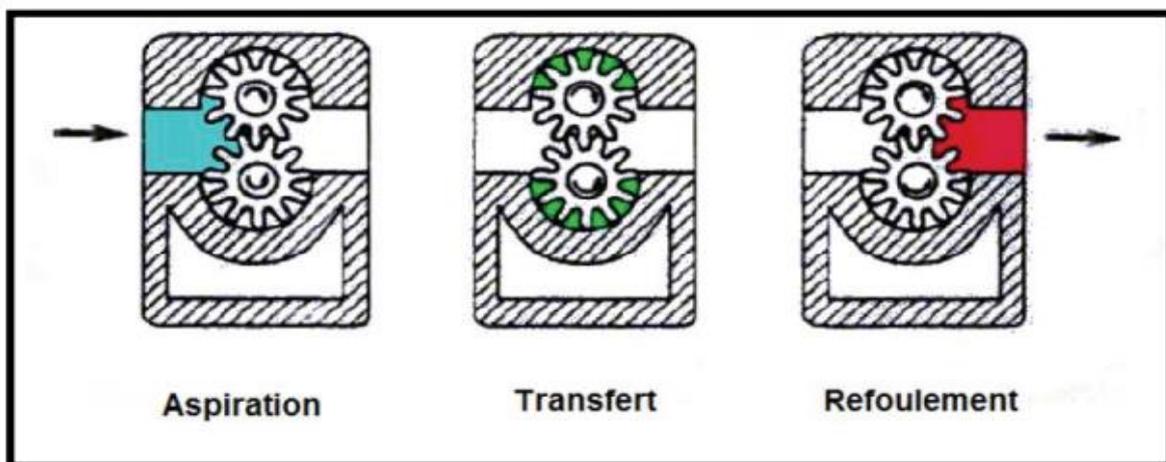


Figure (I-9) : Pompe à engrenage extérieure [4]

**B-1-2- Pompes à engrenages intérieures :**

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. Ce principe permet de n'avoir qu'un seul boîtier d'étanchéité, mais le porte-à-faux peut créer une surcharge sur l'arbre. (Figure I.10) [3]

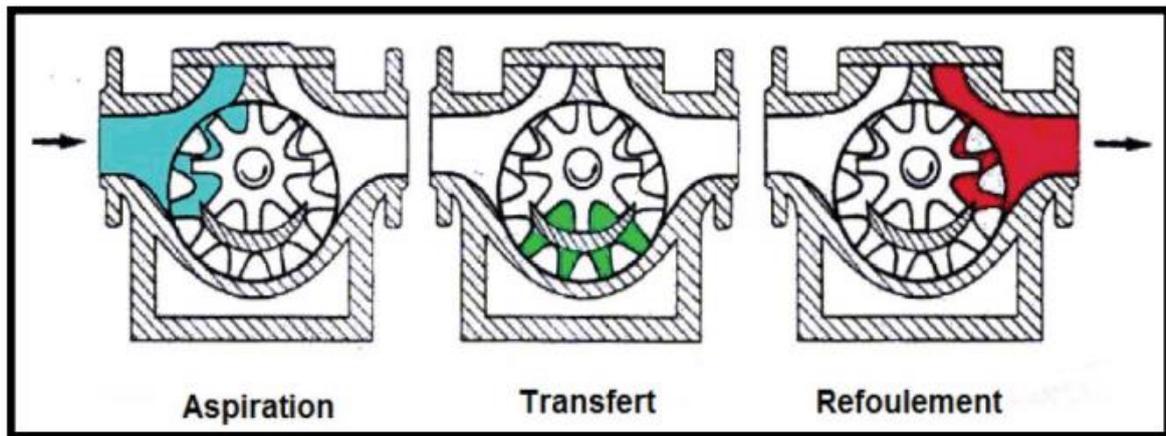


Figure (I-10) : Pompe à engrenage intérieure [4]

**B-2 - Pompes à vis :**

Elles sont formées de deux ou trois vis suivant les modèles. Dans le cas d'une pompe à trois vis, la vis centrale seule est motrice, les deux autres sont entraînées par la première. Dans le cas d'une pompe à deux vis, celles-ci sont souvent toutes deux entraînées par un jeu de pignons extérieurs. Ces pompes peuvent tourner vite (3 000 tr/min). Elles sont silencieuses et permettent d'atteindre des pressions assez élevées (100 bar). (Figure I.11) [4]

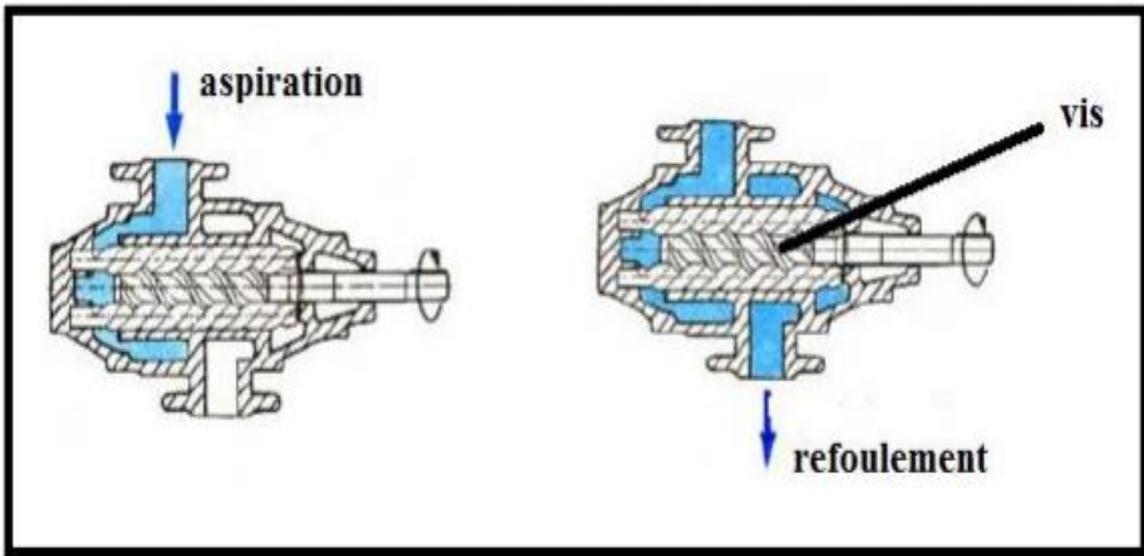


Figure (I-11) : Pompe à vis

**B-3 - Pompes à palettes :**

Il existe deux types de pompes à palette libre et flexible ;

**B-3-1- Pompes à palettes libre :**

Un corps cylindrique fixe communique avec les orifices d'aspiration et de refoulement. A l'intérieur se trouve un cylindre plein, le rotor, tangent intérieur au corps de la pompe et dont l'axe est excentré par rapport à celui du corps. Le rotor est muni de 2 à 8 fentes diamétralement opposées deux, dans lesquelles glissent des palettes que des ressorts appuient sur la paroi capacités comprises entre les cylindres et les palettes que créant ainsi une aspiration du liquide d'un côté et un refoulement (Fig. I.12) [6].

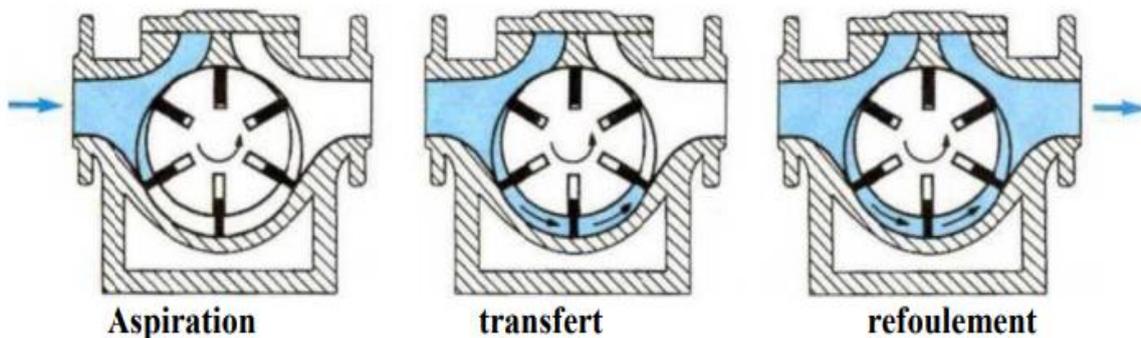


Figure (I-12): pompe à palette libre

**B-3-2- Pompes à palettes flexibles :**

L'ensemble rotor palettes est en élastomère. Il entraîne le liquide jusqu'au refoulement où les palettes sont fléchies par la plaque de compression et permettent l'expulsion du liquide.

Comme toutes les pompes à palettes, ces pompes n'entraînent ni brassage, ni laminage, ni émulsion du produit. Elles peuvent également pomper des particules solides (Fig. I.13). Les caractéristiques, débit, vitesse, pression sont sensiblement identiques aux précédents... [6]



Figure (I-13): pompe à palette flexible

**I-2- Avantages et inconvénients des pompes volumétriques :**

Le tableau I-1 illustre un résumé des avantages et inconvénients des pompes selon leurs types

Tableau (I-1) : les avantages et les inconvénients des types des pompes

Types des pompes	Avantages	Inconvénient
Pompes à piston	-Auto – amorçâtes (fort pouvoir d'aspiration) Bon rendement (> 90%) Pressions élevées au refoulement - débit réglable	-Très encombrantes Pour des liquides de viscosité faible – Pompage de molécules solides impossible – Débit pulsatoire (nécessité d'un dispositif anti-bélier)
Pompes à membranes	- Auto – amorçâtes (fort pouvoir d'aspiration) – Pompage de liquides	Limitée en température Débit limité

	corrosifs, volatils – Propreté absolue du liquide pompé – Fonctionnement à sec sans dommage	Pour des liquides de viscosité faible – Débit pulsatoire (nécessité d'un dispositif anti-bélier)
Pompes à engrenages	Débit régulier Pompe réversible – Pompage de liquides de viscosité élevée	Les pièces d'usure sont nombreuses Ne supportent pas les liquides abrasifs Pompage de particules solides impossible – Fonctionnement à sec à éviter
Pompes à palette	Il n'y a ni brassage, ni laminage, ni émulsion nage du liquide pompé. Le débit est régulier* . - La pompe est réversible	Les palettes usent le corps par frottements. - Le pompage des fluides visqueux est difficile.
Pompes à vis	-Silencieuse.- Grande vitesse. -Bon rendement. -Pas de contact si les paliers sont entraînés par des pignons. -Étanchéité par joint torique, tresse ou garniture mécanique. Possibilité d'une enveloppe de réchauffage.	-Pas de particules solides. -Pas de produits abrasifs. -Si on utilise des pignons d'entraînement, il faut au moins deux boîtiers d'étanchéité. Nombreuses pièces d'usure

### I -3- Les pompes centrifuges et leur principe de fonctionnement :

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

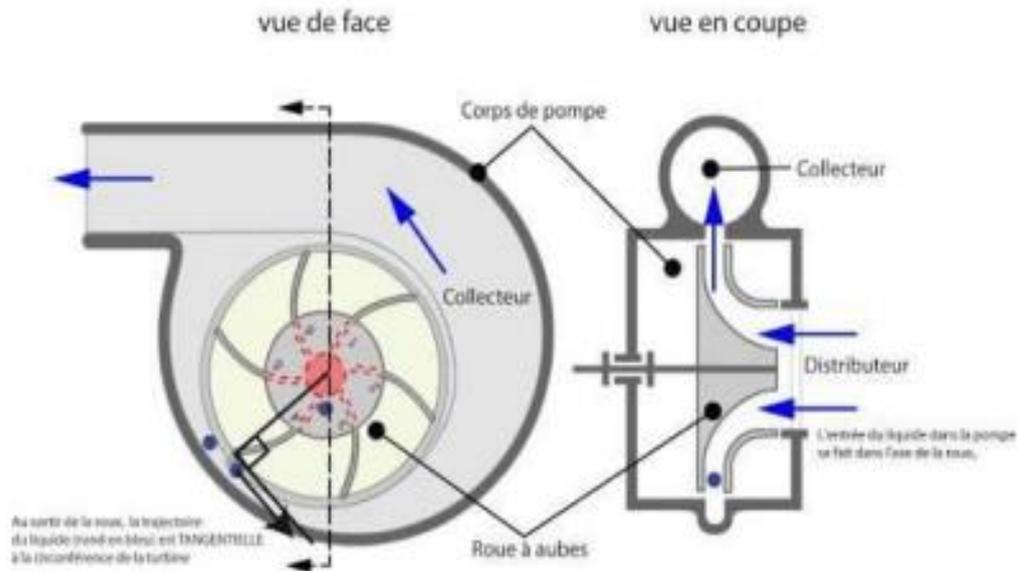


Figure (I-14): Vue en coupe d'une pompe centrifuge

On peut décomposer le fonctionnement d'une pompe centrifuge en trois étapes :

### I-3-1- L'aspiration :

Le liquide est aspiré au centre du rotor par une ouverture appelée distributeur dont le rôle est de conduire le fluide depuis la conduite d'aspiration jusqu'à la section d'entrée du rotor.

La pompe étant amorcée, c'est-à-dire pleine de liquide, la vitesse du fluide qui entre dans la roue augmente et par conséquent la pression dans l'ouïe diminue et engendre ainsi une aspiration et maintient l'amorçage.

### I -3-2-L'accélération :

Le rotor transforme l'énergie mécanique appliquée à l'arbre de la machine en énergie cinétique. A la sortie du rotor, le fluide se trouve projeté dans la volute dont le but est de collecter le fluide et de le ramener dans la section de sortie.

### I -3-3-Le refoulement :

Dans l'élargissement en sortie, qui se comporte comme un divergent, le liquide perd de la vitesse au profit de l'accroissement de pression : l'énergie cinétique est convertie en énergie de pression au niveau de diffuseur [7].

#### I-4- Constitution d'une pompe centrifuge :

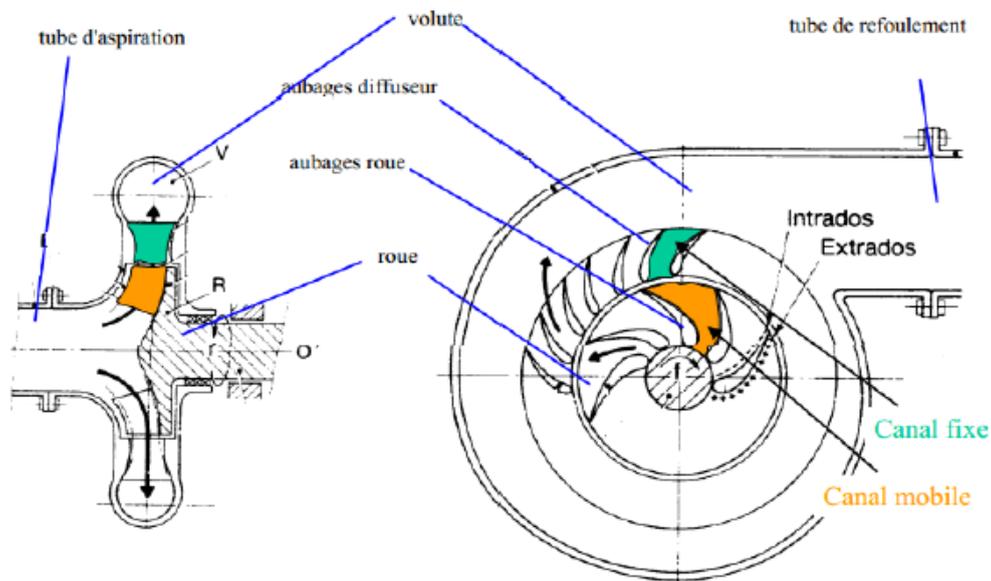


Figure (I-15) : Constitution d'une pompe centrifuge.

Les organes essentiels d'une pompe centrifuge sont les suivants

##### I-4-1- La roue :

C'est l'organe principal dans les pompes centrifuges. On l'appelle encore turbine, impulseur, rotor, cellule, mobil ou rouet. Elle communique au liquide à pomper une partie de l'énergie transmise à l'arbre dont elle est solidaire par le moteur d'entraînement. La transmission de l'énergie de la roue au liquide se fait par l'intermédiaire des aubes.

Ces dernières sont de simples palettes incurvées, libres ou fixes sur des plaques métalliques. Outre le transfert d'énergie, le rôle des aubes est aussi de guider l'eau dans la direction voulue.

Les roues des pompes centrifuges destinées à véhiculer de l'eau sont généralement en bronze. C'est un matériau facile à couler à travailler et à polir. La fonte, l'acier, l'acier inoxydable et des alliages des mêmes métaux sont aussi utilisées à cause de leur résistance à la corrosion, à l'érosion et à la décomposition électrolytique.

La roue est constituée par un moyeu porté par un arbre et muni d'aubes (ailettes) tournant à l'intérieur de deux coquilles formant le corps de la pompe. Les aubes peuvent être fixes sur un ou deux côtés à des disques ;

On distingue :

- A- Les roues ouvertes** : sont constituées de simples palettes incurvées semblables aux pales d'une hélice. Elles équipent les pompes pour liquides chargés, car elles laissent passer facilement les corps étrangers.
- B- Les roues semi-ouvertes** : les pales sont accolées d'un côté sur une plaque pleine appelée flasque. Ce type de roue se rencontre fréquemment sur les pompes monocellulaires pour liquide chargé.
- C- Les roues fermées** : ont leurs pales en séries entre deux flasques. Elles sont employées.

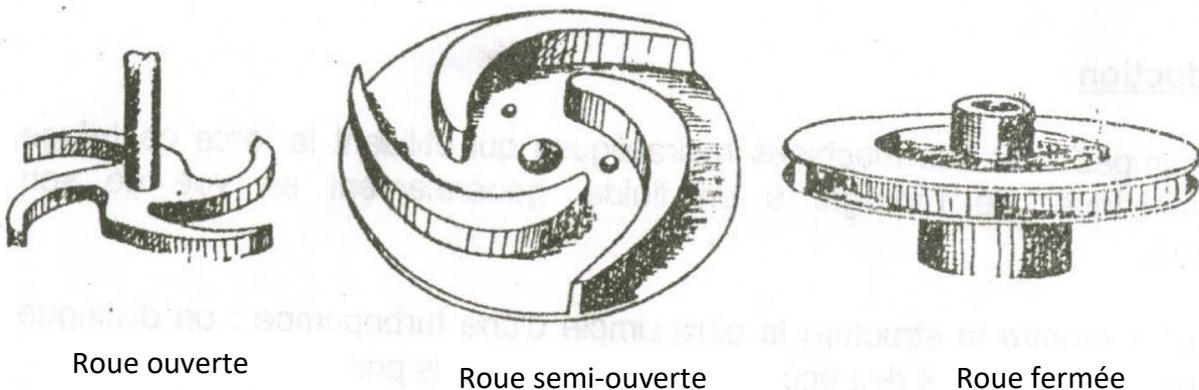


Figure (I-16): Types des roues

**I -4-2- Le distributeur** : sorte de tubulure profilée qui, comme est nom l'indique, sert à conduire l'eau avec une vitesse et une direction convenables dans l'axe de la pompe ou «ouïe», «œillard» de la roue.

Le distributeur est généralement constitué par un cône convergent qui permet de réaliser une meilleure disposition des files liquides en améliorant le parallélisme et l'égalité des vitesses. Il est précédé, à l'amont, par la canalisation de l'aspiration.

**I -4-3- Le diffuseur** : a 'est une roue fixe munie d'aubes directrices dont la courbure est inverse aux sens de rotation de la roue, cet élément non disponible donne à la pompe une pression supérieure, par ralentissement progressif de la vitesse du liquide.

**I -4-4- Volute** : appelée aussi colimaçon, elle forme le corps de la pompe. C'est une bache en forme de spirale qui joue le rôle de diffuseur.

**I -4-5- Le divergent :** c'est le canal de sortie, il présente un élargissement progressif, et achève le travail du diffuseur.

### **I -5- Classification des pompes centrifuges :**

On peut les classer de plusieurs manières, en tenant compte notamment :

#### **I -5-1-Disposition de l'axe :**

: On peut avoir plusieurs dispositions :

- a) **Pompes à axe horizontal :** conçues pour être disposée en surface, l'entretien et le démontage de ces pompes sont alors simplifiés.
- b) **Pompe à axe vertical :** ce sont des pompes immergées spécialement conçues pour l'équipement des puits profonds. Elles peuvent être commandées par un moteur placé en surface ou par un moteur immergé

#### **I -5-2-Du nombre de roue :**

On distingue des machines monocellulaires et des machines multicellulaires. Une turbomachine monocellulaire, comporte une seule cellule c'est à dire une seule roue dont certaines roues ont des aubages fixes comme mobile (cas d'une roue ouverte). Dans certains cas; Il est nécessaire de disposer plusieurs cellules actives placées en série, les fluides parcourant successivement chacune d'elle, d'où l'appellation des machines multicellulaires e ou mon-étagé .

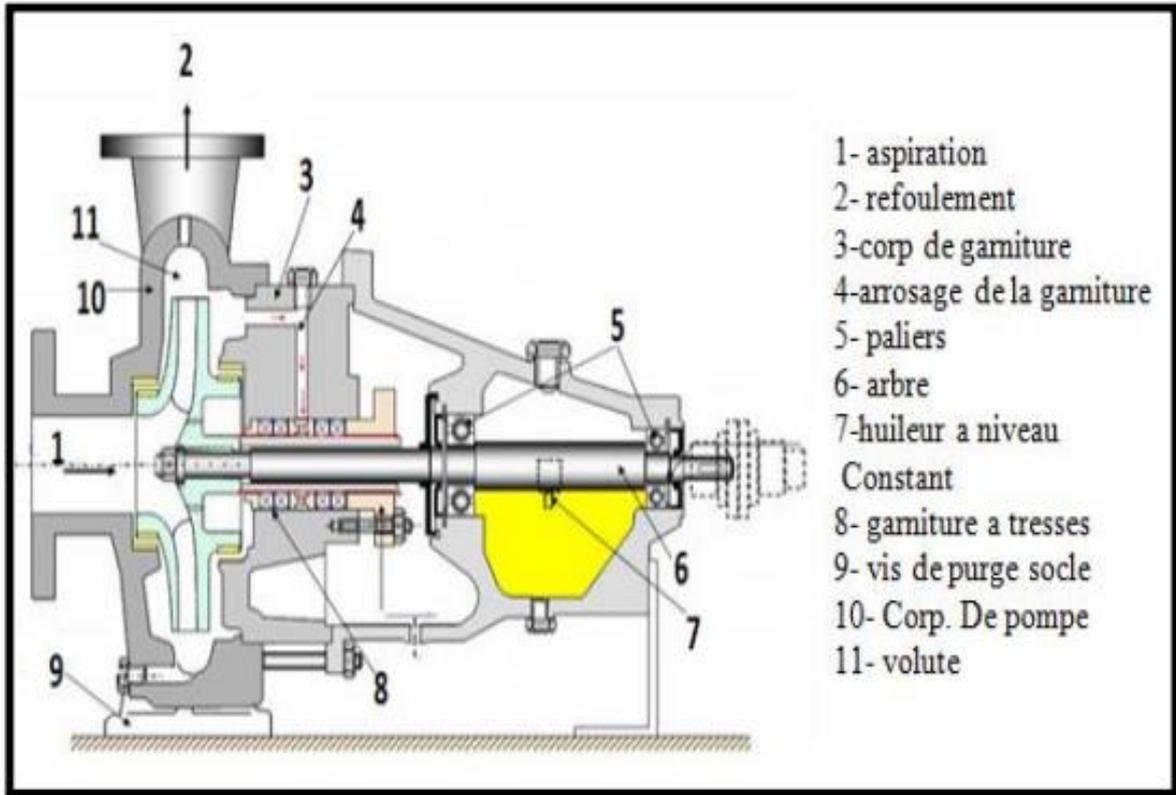


Figure (I-17): pompe centrifuge mono- étage.

Multicellulaire ou multi-étages (Fig. II.2)

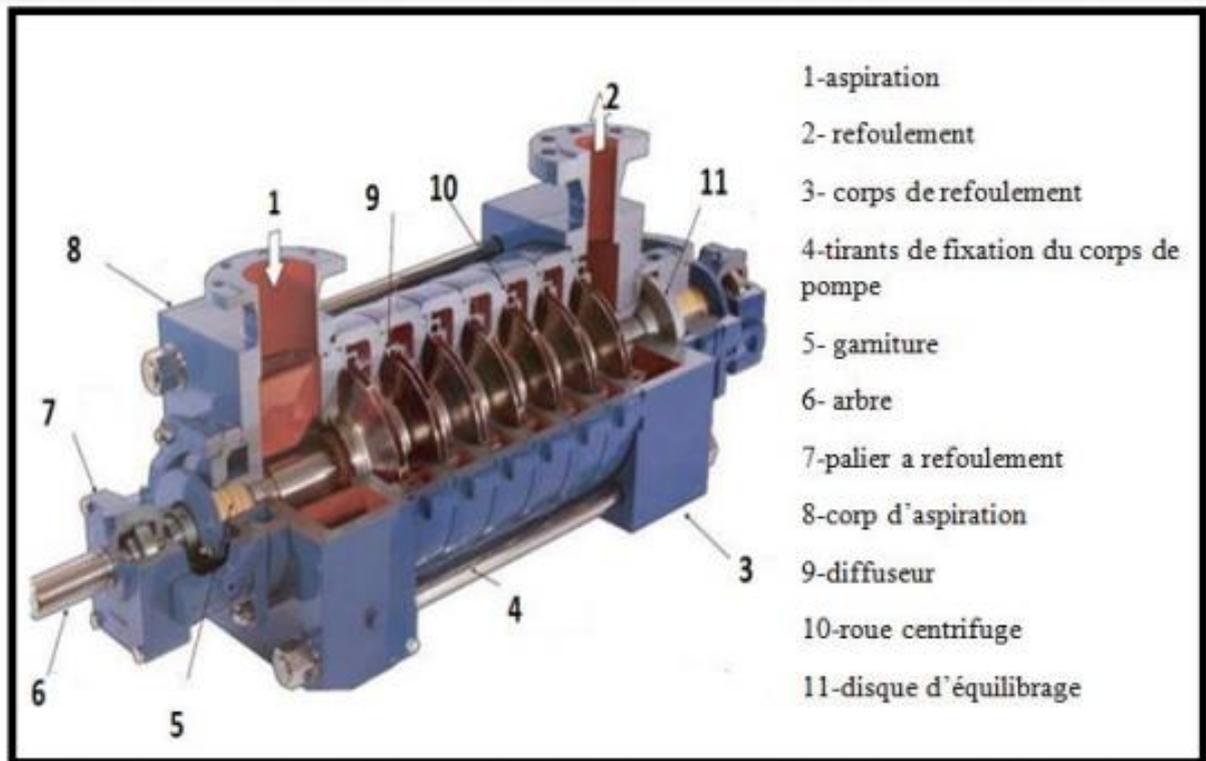


Figure (I-18) : pompe centrifuge multi-étage

**I -5-3-La forme de la roue :** Il existe deux types d'aspiration

-simple aspiration (Fig.II.19)

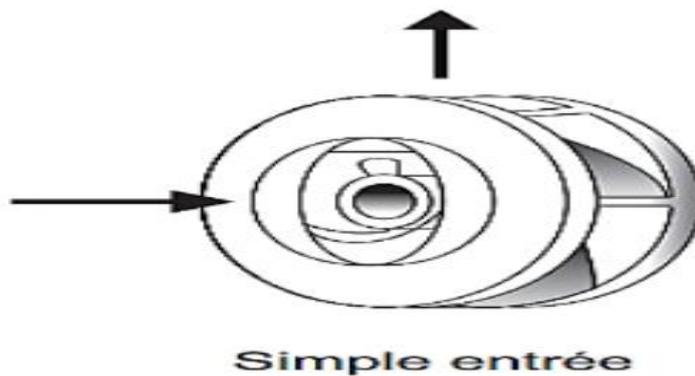
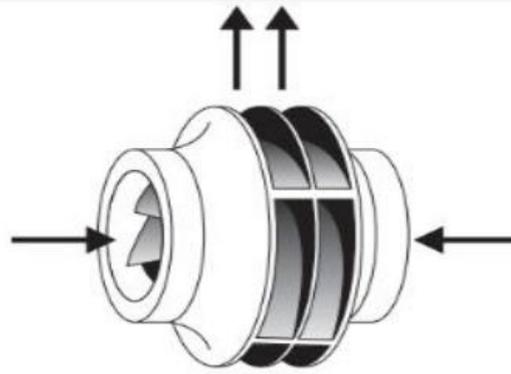


Figure (I-19) : Roue à simple aspiration

-double aspiration (Fig.II.20) Fig.



Double entrée ou à 2 ouïes

Figure (I-20) : Roue à double aspiration

#### I -5-4- la forme des aubes de la roue :

- a) **Pompes centrifuges radiales** : pour lesquelles les filets de courant d'eau sont contenus dans des plans perpendiculaires à l'axe de la pompe.
- b) **Pompes centrifuges axiale** : pour les quelle les filets de courant sont axiaux.
- c) **Pompes semi axiales** :(hélico-centrifuges) : Dont les filets sont situés sur des surfaces dont la méridienne est inclinée par rapport à l'axe de la pompe. C'est à dire semi-hélicoïdale (ni axiale, ni radiale).

#### I -5-5- La position de la pompe par rapport au niveau d'aspiration: Selon la position de l'axe de la pompe par rapport au plan d'aspiration ,on distingue:

- Des installations des pompes à dépression (en aspiration).
- Des installations des pompes en charge.
- Des installations des pompes type siphon

#### I -5-6- La pression engendrée

- Faible pression
- Forte pression

#### I -5-7- Moyen d'accouplement

- Par chaîne
- Par engrenage
- Par bride
- Par courroie

#### I -5-8-Moyen d'entraînement

- Par moteur électrique

- Par moteur diesel ou essence
- Par turbine à vapeur ou à gaz

### I -5-9-Type du récupérateur

- Volute
- Diffuseur

### I -5-10- Usage

- Pompe à usage normale
- Pompe à boue
- Pompe à acide
- Pompe à mazout et essence

## I -6-Principales caractéristiques d'une pompe :

### I -6-1-Débit volumique $Q_v$ :

Le débit volumique « $Q_v$ » caractérise la quantité de liquide qui passe à travers une section donnée (section de refoulement) « $S$ » par unité de temps « $t$ ». Cette quantité de liquide est aussi caractérisée par la vitesse de passage à travers cette section.

$$Q_v = V.S \quad (I.1)$$

$Q_v$  : débit volumétrique [ $m^3/s$ ]

$V$  : volume de l'écoulement [ $m^2/s$ ]

$S$  : la section de l'aire [ $m^2$ ]

### I -6-2- Pression

L'unité légale de pression est le Pascal (Pa). Le Pascal est la pression exercée par une force de 1 N agissant sur une surface de 1  $m^2$ . Dans la pratique on utilise le bar :

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

En hydraulique, la pression c'est la force.

$$P = F / S \quad (I.2)$$

$p$  = pression en bar ou en  $kg/cm^2$

$F$  = force en daN (déca newton) ou kg (kilogramme-force)

$S$  = surface en  $cm^2$

### I -6-3-Puissance :

Puissance utile ( $P_u$ ) : travail réalisé par la pompe :

$$P_u = \rho \cdot g \cdot Q \cdot v \quad [\text{W}] \quad (\text{I.3})$$

Avec :

$\rho$  : la masse volumique de fluide [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ].

$g$  : la gravité [ $\text{m}/\text{s}^2$ ].

$Q$  : débit volumique [ $\text{m}^3/\text{s}$ ].

HMT : hauteur manométrique d'une pompe [m].

**I -6-4-Puissance absorbée ( $P_a$ )** : fournie sur l'axe de la pompe (moteur asynchrone, par exemple)

$$P_a = C \cdot \omega = C \cdot n \cdot 2\pi / 60 \quad [\text{W}] \quad (\text{I.4})$$

Avec

$C$  : couple moteur [ $\text{N.m}$ ].

$\omega$  : vitesse de rotation [ $\text{rad}/\text{s}$ ].

$n$  : vitesse de rotation [ $\text{tr}/\text{min}$ ].

**I -6-5-Rendement ( $\eta$ ) :**

Rendement globale de la pompe  $\eta_g$  :

$$\eta_g = P_u / P_a \quad (\text{I.5})$$

$P_a$  : puissance absorbée ; (W)

$P_u$  : puissance utile (puissance hydraulique) ; (W)

**I -6-6-Cylindrée :**

$C'$  est le volume engendré pour une rotation d'un tour. Elle est exprimée en  $\text{cm}^3/\text{tr}$ . [14]

- $V$  : volume d'un élément ;
- $n_e$  : nombre d'éléments ;
- $n_c$  : nombre de courses par tour

$$Cyl = V \cdot ne \cdot n \quad (I.6)$$

### I-6-7-Couple :

Le couple nécessaire à l'entraînement d'une pompe est défini par [14] :

$$C = \frac{cyl \cdot \Delta p}{2\pi} \quad (I.7)$$

- C : en daN.cm ;
- Cyl : en cm<sup>3</sup>/tr ;
- Δp : en bars.

### I-6-8-Hauteur manométrique ou hauteur d'élévation d'une pompe (HMT) :

On appelle hauteur manométrique H d'une pompe, l'énergie fournie par la pompe à l'unité de poids du liquide qui la traverse. Si HTA est la charge totale du liquide à l'aspiration et HTR la charge totale du fluide à l'orifice du refoulement, la Hauteur manométrique de la pompe est :

$$Hm = HTA - HTR \quad (I.8)$$

HTA : est la charge totale du liquide

HTR : la charge totale du fluide

La hauteur varie avec le débit et est représentée par la courbe caractéristique

$$H = f(Qv) \quad (I.9)$$

Cette différence de pression entre la pression amont et la pression en aval en fonction du débit constitue la caractéristique de la pompe. La hauteur manométrique est généralement exprimée en hauteur de colonne d'eau (mètre de colonne d'eau : mCE). Pour déterminer la hauteur manométrique il faudra bien faire attention de considérer les pressions totale PA (avant la pompe) et PR (après la pompe). Hm est calculé à partir de la formule suivante :

$$HMT = (Pr - Pa) / \rho g \quad [m] \quad (I.10)$$

Avec :

Pa : pression d'aspiration [Pa].

Pr : pression de refoulement [Pa].

$\rho$  : la masse volumique de fluide [Kg/m<sup>3</sup>].

$g$  : la gravité [m/s<sup>2</sup>].

### I -7- Utilisation et choix des pompes

#### I -7-1-Choix de type de pompe en fonction des paramètres hydrauliques Q et Hmt:

Tableau (I-2) : aperçu des caractéristiques de Q et Hmt des types de pompe

Caractéristique hydrauliques	Type de pompe recommandé
Hmt < 15m et Qv > 1000 l/s	Pompes à hélices ou hélico-centrifuges
Hmt > 15m et quel que soit de débit	Pompes centrifuges
Zone intermédiaire aux cas ci-dessus	Seulement les comparaisons économiques permettent de choisir les pompes

#### I -7-2-Choix de type de pompe en fonction des conditions particulières d'utilisation :

Les critères hydrauliques de choix d'une pompe s'avèrent souvent insuffisants dans la pratique. En fonction des conditions particulières d'utilisation –eaux chargées, variations importantes de la Htm (fort marnage du plan d'eau), à déterminer si la pompe doit être verticale ou horizontale, immergée ou à l'air, monocellulaire ou multicellulaire ;

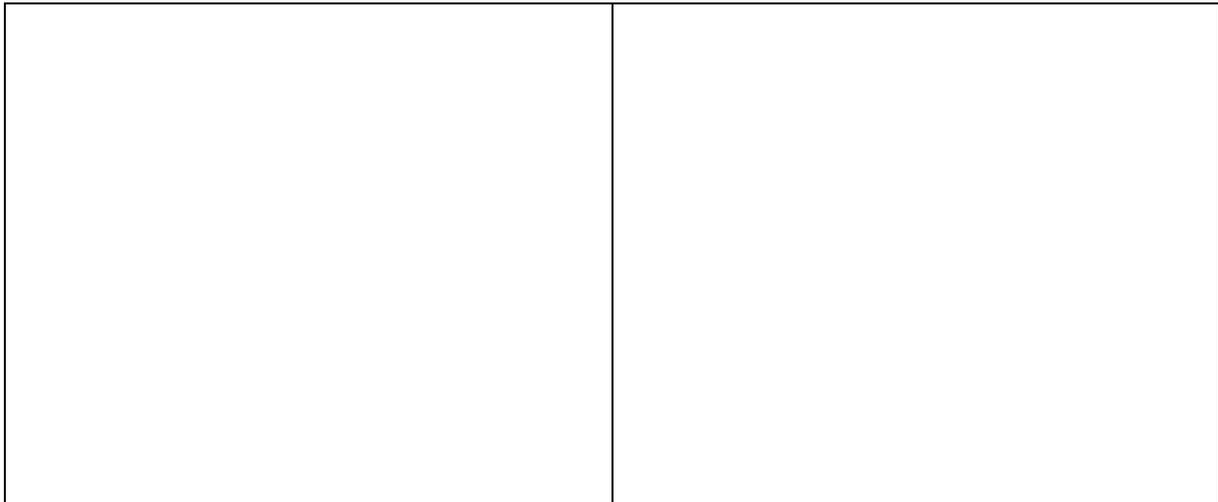
Tableau (I -3): Type de pompe et domaines d'utilisation recommandés

Type de pompe	Domaines d'utilisation recommandés
Pompe à piston et pompe centrifuge avec hydro-éjecteur	Puits profonds, modestes débits
Pompe à ligne d'arbre : groupe immergé	Domaines d'utilisation assez étendus Ils sont moins chers que les pompes à ligne d'arbre où le moteur est installé au niveau du sol. Les dimensions radiales des groupes électropompes permettent leur installation dans les forages de diamètre de 3 " à 12".

<p>Pompes centrifuges monocellulaires/pompes centrifuges multicellulaires</p>	<p>Pour des hauteurs d'élévation inférieures à 60m</p> <p>Pour des hauteurs d'élévation comprises entre 60 à 90m :</p> <p>Si les moteurs sont électriques on fera une étude économique entre la pompe monocellulaire à vitesse élevée (2900tr/mn) et la pompe multicellulaire à faible vitesse (1450tr/mn),</p> <p>Si les moteurs sont thermiques, on préférera à priori les pompes multicellulaire à faible vitesse ;</p> <p>Pour des hauteurs d'élévation supérieures à 90m on utilisera les pompes multicellulaires.</p>
<p>Pompe à axe horizontal / pompe à axe vertical</p>	<p>Les pompes centrifuges à axe horizontale ou les pompes centrifuges à axe vertical (pompe à ligne d'arbre conviennent pour des nombres spécifiques <math>N_s</math> faible.</p> <p>Axe horizontal conseillé toutes les fois que l'alimentation de la pompe pourra se faire en charge ou que les conditions d'aspiration (hauteur d'aspiration inférieure à 6-7m) et d'amorçage se trouveront satisfaites sans frais importants de génie civil.</p> <p>Axe vertical convient pour des retenues à fort marnage, pour des puits ou forages. Dans le cas d'utilisation de moteur thermique le raccordement à la pompe verticales par un renvoi d'angle onéreux</p>

### 1-8- Avantages et inconvénients des pompes centrifuges :

Avantages	Inconvénients
<p>Construction simple, peu de composants mobiles, longue durée de service débit de refoulement facile à ajuster par une soupape à la sortie de la pompe, vitesse de rotation élevée , limiteur de pression intégré, pas de soupape de sécurité requis, faible encombrement, bruit négligeable.</p>	<p>A faible débit où à grande hauteur de refoulement, le rendement diminue.</p> <p>Diminution de la hauteur de refoulement en cas de mauvaise étanchéité de la conduite d'aspiration.</p> <p>Risque de cavitation avec de l'eau chaude ou des pressions d'aspiration faibles</p> <p>le débit volumétrique dépend de la pression de refoulement.</p>



### **I.9. Le phénomène de cavitation dans les pompes**

#### **A - Description de cavitation**

La cavitation est la vaporisation du liquide contenu dans la pompe quand il est soumis à une pression inférieure à la tension de vapeur correspondant à sa température. La cavitation peut avoir des effets sérieux sur le fonctionnement et la durée de vie des pompes.

Elle peut affecter plusieurs composants de la pompe, mais c'est souvent la turbine qui en subit l'impact principal

#### **B - L'impact de la cavitation sur une pompe**

La cavitation provoque une altération des caractéristiques, des dégâts mécaniques, du bruit et des vibrations qui peuvent conduire à la destruction complète de la pompe. Souvent le premier symptôme est la vibration. Il faut noter que les vibrations endommagent également d'autres composants tels que l'arbre, les roulements et les joints

La photo ci-dessous illustre les dégâts subit par une turbine sur laquelle des parties ont disparues.



Figure (1-21) : les dégâts subis par une pompe

**- Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu général sur les pompes centrifuges et on a vu aussi les principales caractéristiques de ces pompes. Nous avons mis en évidence le principe de fonctionnement et les différentes modes utilisations des pompes.

# **CHAPITRE II :**

## **ANALYSE DE LA DEFAILLANCE**

**II-1- Introduction :**

Afin de diminuer les risques qu'une pompe ou qu'un moteur hydraulique ne subisse une défaillance, on doit effectuer un entretien régulier de ces équipements.

En effet, lorsqu'un de ces équipements fonctionne mal, cela résulte habituellement de la présence d'un problème ailleurs dans le système.

Au cours de cette étude, vous apprendrez : à détecter les principales causes de défaillance des pompes et des moteurs hydrauliques ; les principaux points à vérifier lors de l'entretien de ces équipements.

**II -2- Analyse des défaillances ;****II -2-1- Définition de la défaillance :**

Selon la norme NE- 13306. Une défaillance est la cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise. Après une défaillance, le bien est en panne, totale ou partielle.

**II -2-2- Principaux modes de défaillance des pompes centrifuges :**

Les pompes centrifuges sont les types les plus utilisés, leurs paramètres de fonctionnement, ainsi que leurs vulnérabilités, sont bien connus. En général, les pannes de la pompe entraînent des modifications de fonctionnement qui réduisent l'efficacité ou peuvent entraîner une panne de la pompe. La fiabilité des systèmes hydrauliques et des pompes centrifuges est de la plus haute importance en génie nucléaire .

**II -2-3-Les modes de défaillance des pompes centrifuges****II -2-3-1 Définition de Mode de défaillance :**

Façon par laquelle une défaillance se manifeste. C'est la manière dont un système vient à ne pas fonctionner.

**Il existe 5 modes génériques de défaillance :**

- 1) perte de la fonction.
- 2) fonctionnement intempestif.

- 3) démarrage impossible.
- 4) arrêt impossible.
- 5) fonctionnement dégradé

**Exemples de modes de défaillance en fonctionnement :**

- **Modes de défaillance Mécanique** : abrasion, cisaillement, corrosion, déformation permanente, écaillage, fatigue, grippage, etc.
- **Modes de défaillance Electrotechnique** : arc, claquage, collage, fuite, fusion, usure, rupture, etc.
- **Modes de défaillance Electromagnétisme** : aimantation, effet joule, électricité statique, etc.
- **Modes de défaillance Thermodynamique** : choc thermique, dilatation, rayonnement thermique, etc.
- **Modes de défaillance Hydraulique** : cavitation, Pulsation de pression, Recirculation de la pompe, • Poussée radiale et axiale, etc.
- **Autres modes de défaillance**
  - Érosion
  - Corrosion

**II -2-3-2- Modes de défaillance hydraulique :**

- a) **Cavitation** : La cavitation est, dans de nombreux cas, un événement indésirable. Dans les pompes centrifuges, la cavitation provoque des dommages aux composants (érosion du matériau), des vibrations, du bruit et une perte de rendement.



Figure (II-1) : Défaillance par cavitation dans les pompes

- b) **Pulsation de pression** : Les pulsations de pression sont des fluctuations de la pression de base. Pour les pompes à haute pression, les pulsations de pression d'aspiration et de refoulement peuvent provoquer une instabilité des commandes de la pompe, des vibrations des tuyaux d'aspiration et de refoulement et des niveaux de bruit de pompe élevés.
- c) **Recirculation de la pompe** : Une pompe fonctionnant à une capacité inférieure aux limites de conception peut être affectée par la recirculation interne des pompes. La recirculation des pompes peut provoquer des surtensions et de la cavitation, même lorsque le NPSHa disponible dépasse le NPSHr du fournisseur par une marge considérable.

Le NPSH est un sigle pour net positive suction Head. En un point d'un circuit hydraulique, la valeur NPSH mesure la différence entre la pression absolue totale du liquide en ce point et sa pression de vapeur saturante

NPSHa: net positive suction head disponible

NPSHr: net positive suction head requis

- d) **Poussée radiale et axiale** : Une poussée radiale élevée entraînant des déformations excessives de l'arbre peut entraîner des problèmes persistants de garniture ou de garniture mécanique, voire une défaillance de l'arbre. La poussée axiale est imposée le long de l'axe de l'arbre. Une poussée axiale élevée peut imposer une charge excessive au roulement[8].

Nous allons illustrer dans le tableau suivant les différents modes de défaillances et ces composants mécaniques, hydrauliques, électriques et électromécaniques :

Tableau (II -1) : les modes de défaillance et les composants mécanique, hydraulique, électriques et électromécanique

Modes de défaillances	Composants électriques et Electromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Plus de fonction	- composant défectueux	-composant défectueux circuit coupé ou bouché	rupture blocage grippage
Pas de fonction	composant ne répondant pas à la sollicitation dont il est l'objet connexions débranchées fils desserrés	connexions / raccords débranchés	
Fonction Dégradée	- dérive des caractéristiques	-mauvaise étanchéité -usure	-désolidarisation -jeu
Fonction intempestive	- perturbations (parasites)	-perturbations (coups de bélier)	

**II -2-4-Les causes de défaillances :**

Le changement d'état du système suit un processus initié par la cause de défaillance. Effet de la défaillance sur le système : panne, non qualité, cadence réduite, accident, etc.

Il arrive très rarement qu'une pompe ou qu'un moteur hydraulique subisse une défaillance partielle ou totale à cause d'un défaut de fabrication.

Elles peuvent se classer en trois catégories :

Tableau (II-2) : Les causes de défaillances et les composants

Causes de défaillance	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Causes internes matériel Intrinsèque	vieillessement composant HS (mort subite)	vieillessement composant HS (mort subite) colmatage fuites	contraintes mécaniques fatigue mécanique états de surface
Causes externes Extrinsèque milieu exploitation	- pollution - (poussière, huile, eau) - chocs - vibrations - échauffement local - parasites - perturbations électromagnétiques, etc.	-temperature ambiante -pollution (poussières, -huile, eau) -vibrations -échauffement local -chocs, coups de belier	-température -ambiante -pollution (poussières, huile, eau) -vibrations -échauffement -local -chocs
Causes externes Extrinsèque Main d'œuvre	- montage - réglages - contrôle - mise en oeuvre - utilisation - manqué d'énergie	-montage -réglages -contrôle -mise en oeuvre -utilisation -manqué d'énergie	- conception - fabrication - montage - réglages - contrôle - mise en oeuvre - utilisation

Dans la réalité, de 90 à 95 % des défaillances subies par ces équipements peuvent être attribuées à une ou à plusieurs des causes suivantes [9] :

- l'aération.
- la cavitation
- la contamination.
- une surpression.
- une température excessive.
- une viscosité inadéquate.

#### **II -2-4-1-Aération :**

La présence de bulles d'air dans un fluide hydraulique s'appelle aération :

- Elle donne au fluide hydraulique une apparence laiteuse.
- Elle entraîne un fonctionnement bruyant de la pompe et un fonctionnement saccadé des composants hydrauliques à cause de la compressibilité de l'air.

L'aération d'un fluide hydraulique est généralement due à l'état défectueux d'un joint d'étanchéité au niveau de l'arbre ou du carter de la pompe hydraulique.

Elle est néfaste pour une pompe hydraulique puisque les bulles d'air aspirées par la pompe subissent une implosion (irruption brutale d'un fluide à l'intérieur d'une enceinte de pression plus faible) lorsqu'elles sont soumises à la pression du système existant du côté du refoulement de la pompe.

L'implosion des bulles d'air peut provoquer l'arrachement de particules métalliques sur les pièces de la pompe hydraulique se trouvant à proximité du point d'implosion. Ces implosions entraînent une température locale très élevée.

Les particules arrachées deviennent une source de contamination et provoquent l'usure des autres pièces de la pompe ou d'autres composants du circuit [9].

La figure suivante vous montre une plaque de poussée d'une pompe hydraulique volumétrique ayant subi une usure due à l'aération du fluide.

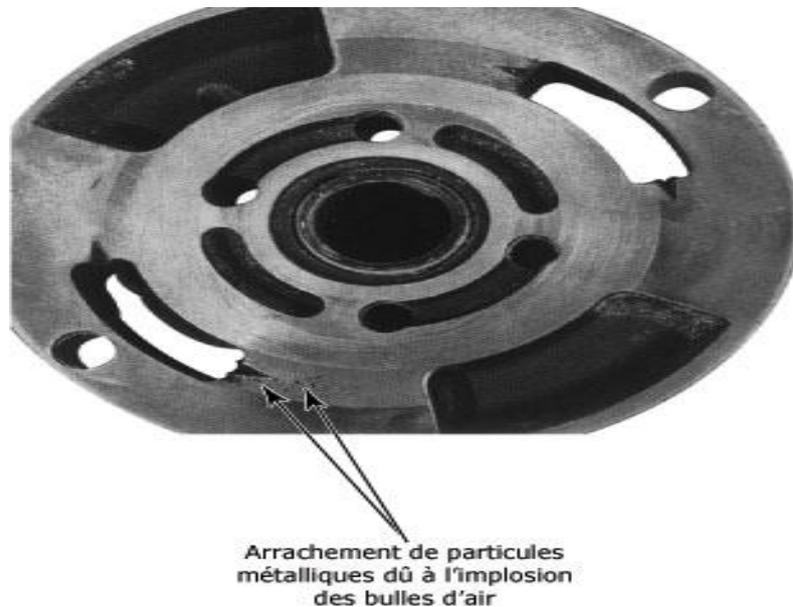


Figure (II-2) : aperçu d'une plaque de poussée ayant subi une usure due à l'aération du fluide

#### II -2-4-2-Cavitation :

La cavitation d'une pompe hydraulique se produit lorsque le fluide n'occupe pas entièrement l'espace disponible à l'intérieur de la pompe [9].

Le bruit généré par la cavitation d'une pompe est semblable à celui produit par l'aération du fluide. La cavitation d'une pompe hydraulique est généralement due à :

- une vitesse de rotation trop élevée,
- une restriction dans le conduit d'admission de la pompe,
- un conduit d'admission trop long.
- un fluide ayant une viscosité trop élevée.

#### II -2-4-3-Contamination :

Tout corps étranger se trouvant dans un fluide hydraulique est défini comme étant de la contamination et a un effet important sur les performances des pompes et des moteurs hydrauliques.

Les contaminants peuvent être de :

- nature liquide,
- solide,
- gazeuse.

La plupart des contaminants ont un effet abrasif sur les pièces mobiles internes des pompes et des moteurs hydrauliques, ce qui occasionne une usure prématurée de ces pièces.

La figure suivante vous montre un couvercle de pompe volumétrique à pistons axiaux ayant subi des dommages dus à la présence de contaminants solides [9].

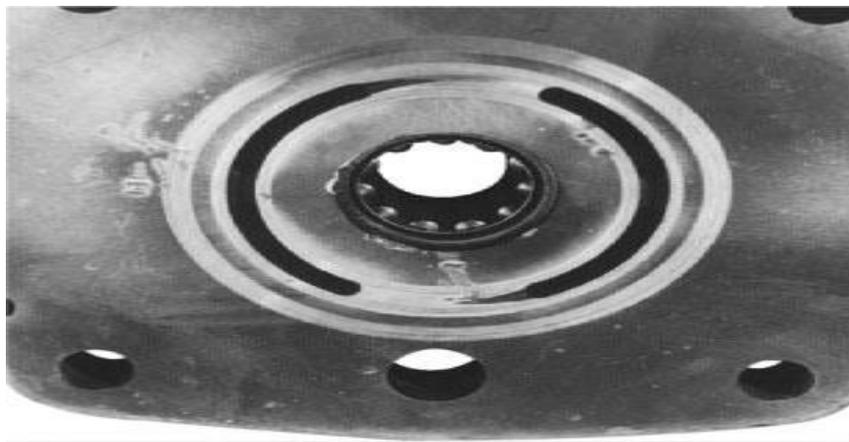


Figure (II-4) : montre Dommages causés par la présence de contaminants solides

#### II -2-4-4-Surpression :

L'utilisation des pompes et des moteurs hydrauliques dans des conditions de pression dépassant celles prescrites par le fabricant entraîne : des forces extrêmes sur les pièces mobiles internes de ces équipements.

Ces forces peuvent ainsi entraîner des défaillances prématurées sur les pompes et les moteurs hydrauliques [9].

**II -2-4-5-Température excessive :**

Une température de fonctionnement supérieure à celle prescrite par le fabricant affecte la viscosité du fluide hydraulique.

L'aération, la cavitation, la contamination et une surpression sont tous des facteurs qui contribuent à une augmentation de la température.

Une température excessive accélère l'oxydation de l'huile hydraulique, ce qui affecte la viscosité de cette dernière [9].

La figure suivante vous montre la couronne d'une pompe volumétrique à palettes ayant subi une température excessive

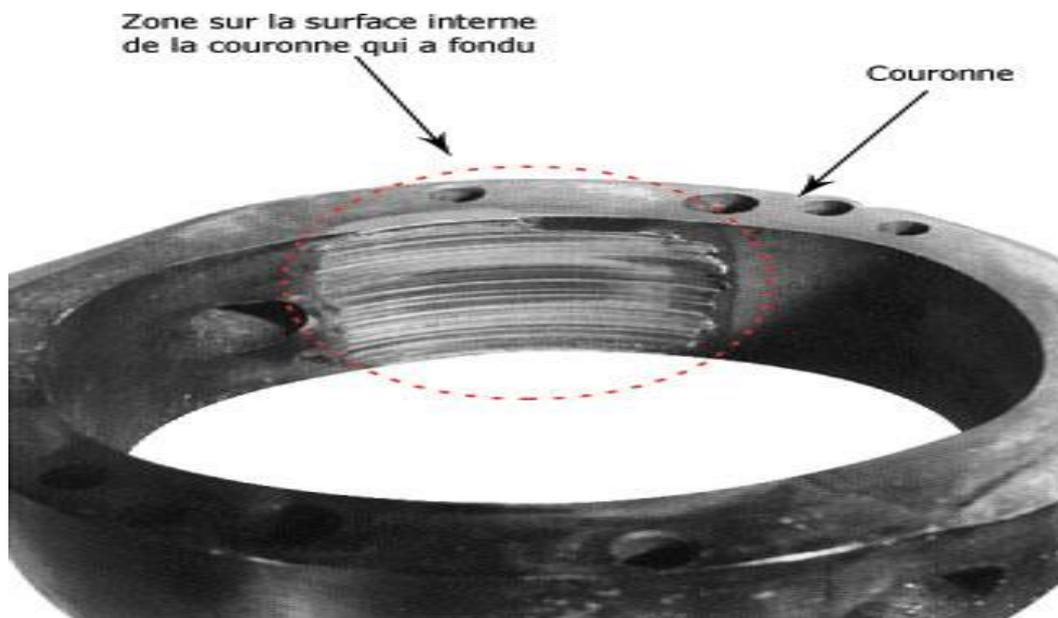


Figure (II-5) : aperçu de la zone sur la surface interne de la couronne qui a fondu

**Dans ce cas particulier, vous remarquerez :**

- que la couronne est noircie,
- la température fut telle que les chanfreins de certaines palettes et la surface interne de la couronne ont fondu.

**II -2-4-6-Viscosité inadéquate :**

La viscosité d'un fluide est définie comme étant la résistance de ce fluide à l'écoulement.

Plus la viscosité d'un fluide est élevée, plus ce dernier s'écoule lentement.

Par exemple, de l'huile hydraulique a une viscosité plus élevée que l'eau.

L'utilisation d'un fluide ayant une viscosité supérieure à celle recommandée par le fabricant peut entraîner la cavitation d'une pompe hydraulique.

Une viscosité trop élevée peut survenir dans des conditions d'utilisation à basse température puisque la viscosité d'un fluide augmente en fonction de la diminution de la température [9].

L'utilisation d'un fluide ayant une viscosité inférieure à celle prescrite par le fabricant peut entraîner :

- des fuites internes ou externes,
- une augmentation de l'usure des pièces mobiles internes,
- une augmentation de la température de fonctionnement.

**II -2-5-Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons illustré les différentes modes de défaillances qui peuvent survenir au niveau des pompes centrifuges.

Les modes des défaillances suivantes : (Plus de fonction, Pas de fonction, Fonction, dégradée, Fonction intempestive) sont celles qu'on peut apercevoir. Tandis que les causes des défaillances qu'on peut rencontrer souvent sont (aération, cavitation, contamination, Causes internes matériel, Intrinsèque, Causes externes, etc...)

**CHAPITRE III :**  
**LA CAVITATION ET SON INFLUENCE**  
**SUR LES POMPES CENTRIFUGES**

### III -1-Introduction :

La cavitation dans une pompe est un phénomène physique qui concerne toutes les installations et les machines hydrauliques en général. Ce phénomène particulier se manifeste par la formation de petites bulles, dont l'éclatement immédiat génère des ondes de choc à très haute pression qui peuvent causer de graves dommages.

L'une des pannes mécaniques les plus communes dans une pompe centrifuge est précisément la cavitation. Comme tous les équipements mécaniques en service depuis plusieurs années, les pompes peuvent être endommagées suite à l'usure de leurs composants.

La cavitation d'une machine se caractérise par la formation de bulles ou de poches de vapeur dues à l'ébullition provoquée par une chute brutale de la pression locale.

Lorsque la pression du fluide devient égale à la tension ou pression de vapeur saturante  $P_{sat}$ , un phénomène d'ébullition sous faible pression à température ordinaire se produit alors une bulle de vapeur se forme.

Ce phénomène risque de se produire si pour Hg donnée on augmente trop la hauteur d'aspiration ( $H_a$ ).

La cavitation dans une turbomachine est caractérisée par l'apparition de bruits et de vibrations, et il en résulte une chute considérable des caractéristiques et une altération de la turbomachine (érosion des aubes) si celle-ci cavité durant un temps assez important [10]

### III -2-Description du phénomène de Cavitation :

Ce phénomène a son origine dans la nucléation, à savoir la formation de très petits espaces pouvant constituer des noyaux pour le développement de bulles macroscopiques qui éclateront peu après. Plus précisément, il existe deux types de nucléation :

La nucléation est homogène lorsque les variations thermiques à l'intérieur du liquide créent des vides microscopiques qui peuvent se transformer en bulles.

La nucléation est hétérogène en présence de microparticules dispersées dans le fluide primaire ou générées par la rugosité des parois du tuyau contenant le fluide.

La tendance à la cavitation dans une pompe peut être liée à une hauteur de refoulement importante, une forte perte de charge hydraulique dans le tuyau d'aspiration, une grande différence de niveau entre la pompe et le réservoir d'aspiration et une pression de vapeur élevée du liquide aspiré.

### III-3 - Cavitation dans les pompes centrifuges

Les principaux endroits où la cavitation se produit sont dans les pompes, sur les roues ou les hélices. Dans les pompes centrifuges, la cavitation résulte d'une réduction de la pression d'aspiration, d'une augmentation de la température d'aspiration ou d'une augmentation du débit au-dessus de celle pour laquelle la pompe a été conçue.

#### III -3-1- Définition de la cavitation :



Figure (III -1) : Exemple d'une roue soumise à la cavitation

Mécaniquement, on peut définir la cavitation par la rupture du milieu continu de liquide sous l'effet de contraintes excessives. Physiquement, La cavitation est la vaporisation d'un fluide soumis à une pression inférieure à sa pression de vapeur. Ce phénomène se manifeste par la formation au sein de l'écoulement, de bulles, de poches, de tourbillons ou de torches de vapeur. Dans les pompes, ces structures de vapeur apparaissent dans les zones de faible pression à l'entrée des aubes de roue, et sont transportées dans les zones à plus haute pression.

Sous l'action du gradient de pression, Elles implosent dès que la pression locale dans l'écoulement redevient supérieure à la pression de vapeur. Ces implosions produisent des micro-jets et des surpressions (onde de choc).

### III 3-2- Les types de cavitation :

#### III 3-2-1- Cavitation à bulle

Les bulles ont pour origines des germes de cavitation contenus dans le fluide. Ces germes de cavitation sont des microbulles et il n'y a pas de milieu liquide qui n'en contienne. La teneur en germes (le nombre de germes de cavitation par unité de volume fluide) caractérise la qualité de l'eau. Un exemple de la cavitation à bulles sur une hélice est présenté à la (figure 02).



Figure ( III-2) : Aperçu de la Cavitation à bulle

#### III- 3-2-2- Cavitation a poche :

La cavitation à poche est moins bruyante et moins destructive que la cavitation à bulles (pas d'implosion). Un des effets néfastes de la cavitation à poche est la perte de performances du propulseur. De plus, la cavitation a poche peut être à l'origine de problèmes de vibration dont les conséquences peuvent aller jusqu'à l'endommagement de la structure



Figure(III -3) : cavitation a poche partielle

### III- 3-2-3- Cavitation de tourbillon marginal :

La cavitation de tourbillon marginal est le type de cavitation qui apparaît généralement en premier. Le tourbillon marginal existe à cause de la portance développée sur la pale. Ce tourbillon s'explique assez facilement. Reprenons le cas d'une aile portante. Les pressions sous l'aile, soit à l'intrados (pression Sidé), sont généralement supérieures à la pression de référence alors qu'au-dessus de l'aile, à l'extrados (section Sidé), elles sont inférieures à la pression ambiante. De plus, on peut voir la trajectoire des pales d'hélice en observant la cavitation de tourbillon marginal (figure04).

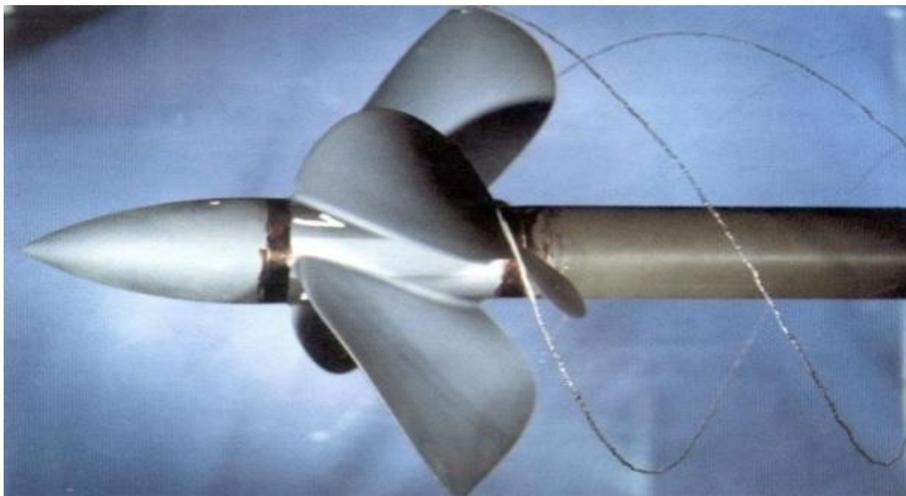


Figure (III-4) : la cavitation de tourbillon marginal.

### III- 3-2-4- Cavitation de tourbillon d'ogive

Le tourbillon d'ogive (Voir figure 05) est le fruit de conjonction en rotation du tourbillon en emplanture de chaque pale. Le tourbillon d'emplanture est dû au fait que deux couches limites d'épaisseurs différentes, celle de la ligne d'arbre et celle de la pale, se côtoient avec un angle vif ( $90^\circ$ ). L'intersection des efforts de cisaillement cause l'enroulement de l'écoulement et la formation d'un tourbillon. Vient se combiner aux tourbillons des autres pales en extrémités de l'ogive qui peut alors cavités si la dépression est importante. Une des manières de limiter les risques d'apparition et de développement de ce type de cavitation est de relier les pales au moyeu par un congé de raccordement.



Figure (III- 5): La cavitation d'ogive

#### III- 3-2-5- Cavitation du tourbillon de coque :

Ce type de cavitation est moins souvent observé mais s'il se manifeste il s'avère très dérangeant. Le tourbillon de coque (voir la figure 06) prend son origine au sommet de l'hélice et va interagir avec la couche limite développée sur la voute de la coque. Le mécanisme n'a pas été étudié en détail mais on est sûr que le tourbillon ne se développe que si la couche limite de la voute est relativement proche de l'hélice. La dépression au sommet de l'hélice peut aspirer la couche limite si elle est assez proche. Le sens du tourbillon est alors probablement aléatoire mais une fois enclenché il se stabilise.



Figure (III-6): la cavitation du tourbillon de coque

**III- 4-Paramètre caractéristique de la cavitation – Similitude**

En mécanique des fluides tout particulièrement, on définit des paramètres adimensionnels à partir des grandeurs caractéristiques du phénomène étudié. On connaît le nombre de Reynolds qui indique le caractère plus ou moins turbulent d'écoulement.

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (\text{III-1})$$

Re : nombre de Reynolds [su]

V : vitesse débitante [m/s]

$\nu$  : viscosité cinématique [m<sup>2</sup>/s]

On connaît le nombre de Froude

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (\text{III-2})$$

$v$  : vitesse de l'écoulement (m/s)

$g$  : accélération de la pesanteur (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$h$  : hauteur d'eau

Employé dans le cas des écoulements à surface libre et qui définit, entre autre, si un écoulement est fluvial ou torrentiel. Ces paramètres sont utiles également pour déterminer les conditions d'essais en similitude sur un modèle réduit, technique largement répandue en hydraulique et en hydrodynamique. Dans le cas du phénomène de cavitation, le paramètre adimensionnel utilisé est le sigma ( $\sigma$ ) de cavitation :

$$\sigma = \frac{p - p_v}{\frac{1}{2}\rho v^2} \quad (\text{III-3})$$

$p$  : pression statique [pa]

$p_v$  : pression de vaporisation du liquide [pa]

$\rho$  : la masse volumique de la phase vapeur [kg/m<sup>3</sup>]

Il représente le rapport entre la pression locale (en référence à la pression de vapeur) et la pression dynamique. Plus ce nombre est faible, plus la cavitation risque de se manifester. Une autre expression de ce paramètre est utilisée selon l'application :

$$\sigma = \frac{p - p_v}{\rho g \Delta H} \quad (\text{III-4})$$

$\Delta H$  : représentant alors la hauteur générée par une pompe,

$p$  : pression statique [Pa]

$p_v$  : pression de vaporisation du liquide [Pa]

$\rho$  : la masse volumique de la phase vapeur [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  : accélération de la pesanteur (9.81 m/s<sup>2</sup>)

On définit à partir de considérations expérimentales ou d'observations une valeur de sigma critique correspondant aux conditions de début de cavitation. Dans une installation, on évitera donc la cavitation si la valeur du sigma de fonctionnement est supérieure à celle du sigma critique.

En hydraulique, NPSH est un sigle pour *net positive suction Head*. En un point d'un circuit hydraulique, la valeur NPSH mesure la différence entre la pression absolue totale du liquide en ce point et sa pression de vapeur saturante.

Le NPSH est un paramètre important à prendre en compte dans la conception d'un circuit : lorsque la pression d'un liquide descend sous la valeur de la pression de vapeur, le liquide se vaporise. Ce phénomène est très dangereux à l'intérieur d'une pompe centrifuge car il crée une cavitation (implosion de bulles de vapeur) qui endommage le corps de pompe tout en réduisant le rendement.

Sur le circuit présenté à droite, le NPSH à la coupe se calcule comme suit :

$$NPSH = \frac{P_0 - P_v}{\rho g} + H - \Delta H \quad (\text{III-5})$$

- $P_0$  : est la pression à la surface du réservoir (ici, la pression atmosphérique) ;
- $H$  : est la hauteur géométrique (dans le cas d'une pompe, elle est positive si la pompe est en charge et négative si aspiration) ;
- $\Delta H$  : est la perte de charge totale (linéaire et singulière) ;
- $P_v$  : est la pression de vapeur saturante ;
- $\rho$  : est la masse volumique du fluide ;

- $g$  est l'accélération de la pesanteur.

Cette valeur, homogène à une longueur et mesurée en *mètres colonne de fluide* (mcf), est appelée *NPSH disponible*. Si le liquide n'est soumis qu'à l'accélération de la pesanteur, il suffit de s'assurer qu'elle reste positive en tout point.

Par contre, lorsque le fluide est accéléré (dans une pompe notamment), une dépression supplémentaire est créée : il s'agit du *NPSH requis* qui est donné par le fabricant de la pompe en fonction du débit. Pour éviter le risque de cavitation, le NPSH disponible du circuit doit être supérieur au NPSH requis de la pompe.

### III- 5- Causes et conséquences cavitation dans une pompe :

Les causes de la cavitation dans une pompe peuvent être multiples et de différentes natures. De l'utilisation incorrecte par les opérateurs à la qualité des composants des pompes centrifuges, etc. Les produits Pompe Zanni passent haut la main tous les contrôles et les pompes sont moins sujettes à ce type de problèmes, précisément parce qu'elles sont réalisées avec les meilleurs matériaux.

La cavitation dans une pompe centrifuge dépend en grande partie de l'environnement de travail de la pompe et de ses conditions de fonctionnement.

La phase d'éclatement et d'implosion libère une quantité d'énergie pouvant causer d'importants dommages au système. Les principales conséquences néfastes peuvent être résumées comme suit :

Une détérioration des performances de la pompe due aux turbulences provoquées par la cavitation. En termes d'efficacité, on estime qu'une diminution d'au moins 3 % est due à ce phénomène.

Une vibration excessive de la pompe qui génère du bruit.

L'endommagement des composants internes de la pompe dû à l'éclatement de la bulle aux abords de la paroi d'un composant. Dans ce cas, des ondes de choc érodent la surface solide. La zone où ce phénomène survient le plus fréquemment est à la sortie de la turbine, car c'est dans cette section que se produit une dépressurisation temporaire du liquide, suivie d'une augmentation de la pression.

### III- 6- Dégâts de cavitation

La cavitation est, dans de nombreux cas, un événement indésirable. Dans les pompes centrifuges, la cavitation provoque des dommages aux composants (érosion du matériau), des vibrations, du bruit et une perte d'efficacité.



Figure (III-7): Vue d'une roue soumise aux dégâts de cavitation

Le problème technique le plus important causé par la cavitation est peut-être les dommages matériels que les bulles de cavitation peuvent causer lorsqu'elles s'effondrent au voisinage d'une surface solide. L'effondrement des bulles de cavitation est un processus violent qui génère des ondes de choc et des micros jets très localisés. Ils forcent le liquide énergétique dans de très petits volumes, créant ainsi des taches de température élevée et ces perturbations intenses génèrent des contraintes de surface hautement localisées et transitoires sur une surface solide. Des signes d'érosion apparaîtront sous forme de piqûres en raison de l'action de coup de bélier des bulles de vapeur qui s'effondrent. Il a été constaté que les taux de dommages par cavitation augmentent rapidement avec l'augmentation du débit volumique.

Les matériaux plus mous peuvent être endommagés même en cas de cavitation à court terme. Des piqûres individuelles peuvent être observées après l'effondrement d'une seule bulle. Par conséquent, des matériaux plus durs sont utilisés pour les pompes centrifuges. Mais avec les matériaux plus durs utilisés dans la plupart des applications, la contrainte cyclique due à des effondrements répétés peut entraîner une défaillance locale de la fatigue de surface. Ainsi, les dommages causés par la cavitation aux métaux ont généralement l'apparence d'une défaillance par fatigue.

Lorsque les bulles de cavitation s'effondrent, elles forcent le liquide énergétique dans de très petits volumes, créant ainsi des taches de haute température et émettant des ondes de choc, ces dernières étant une source de bruit. Bien que l'effondrement d'une petite cavité soit un événement relativement peu énergivore, des effondrements très localisés peuvent éroder les métaux, tels que l'acier, au fil du temps. Les piqûres causées par l'effondrement des cavités produisent une grande usure des composants et peuvent considérablement réduire la durée de vie d'une hélice ou d'une pompe.

La cavitation s'accompagne généralement également de :

- a) **Bruit** : Le bruit typique est causé par l'effondrement des cavités. Le niveau du bruit qui résulte de la cavitation est une mesure de la gravité de la cavitation.
- b) **Vibration** : Les vibrations de la pompe dues à la cavitation sont des vibrations de basse fréquence caractéristiques, généralement trouvées dans la plage de 0 à 10 Hz.
- c) **Réduction de l'efficacité de la pompe** : Une diminution de l'efficacité de la pompe est un signe plus fiable d'apparition de cavitation.

### III- 7- Effets de la cavitation :

La cavitation peut avoir à la fois des aspects désirés et non désirés. Elle peut être utile via la génération de microbulles par exemple pour le nettoyage d'objets, en tant que catalyseur de certaines réactions chimiques, ou pour réduire la force de traînée. On peut dans ce contexte-là évoquer la cavitation acoustique qui est caractérisée par l'apparition d'une population de bulles de gaz, sous l'influence d'une onde acoustique et dont les conséquences physicochimiques sont recherchées dans certains milieux réactionnels.

Dans les pompes, elle engendre une baisse des performances et l'apparition de forces instationnaires qui peuvent avoir plusieurs effets néfastes sur leurs composantes : l'érosion, le bruit et les vibrations.

### III- 8- Utilisation de la cavitation :

La prédiction des effets de la cavitation présente des difficultés dues à la complexité du problème où un grand nombre de facteurs dont on ne maîtrise pas les effets entrent en jeu :

- Influence de l'évolution de bulles voisines
- Existence d'ondes de choc

- Vitesse et turbulence de l'écoulement
- Influence de la nature des matériaux
- Cependant en dépit de ses aspects négatifs, la cavitation trouve des applications dans certains procédés industriels qui nécessitent la concentration d'énergie sur de petits domaines afin de produire localement des pics de pressions élevés. La cavitation est ainsi utilisée dans :
  - Limitation de débit de liquide
  - Aide forage pétrolier
  - Générateur de microbulles
  - Catalyseur de réaction chimique
  - Le nettoyage des surfaces par ultrasons ou par jets cavitants
  - La production d'émulsion
  - Le dégazage des liquides.

### III- 9- La prévention de cavitation d'une pompe :

Pour éviter la cavitation, la pression du liquide doit être inférieure à la pression de saturation en tout point. Voici quelques précautions utiles :

- ✓ Utiliser des pompes en série ou une pompe multicellulaire, de manière à réduire la hauteur de refoulement de la pompe.
- ✓ Augmenter le diamètre du tuyau et/ou réduire la longueur du parcours d'aspiration.
- ✓ Utiliser une pompe immergée ou placer la pompe au niveau le plus bas possible.
- ✓ Réduire la température du liquide (la pression de saturation diminue).
- ✓ Diminuer les pertes de charge au sein de la pompe.
- ✓ Réduire le débit au sein de la pompe.
- ✓ Diminuer la vitesse de la turbine.
- ✓ Augmenter la pression à l'entrée de la pompe [11].

# **CHAPITRE IV :**

**ETUDE DE LA POMPE CENTRIFUGE  
INSTALLEE AU NIVEAU DU BARRAGE DE  
BENI- HAROUN**

**VI-1- Introduction :**

Le barrage de Beni Haroun est un barrage de type poids, situé à l'extrême nord de la wilaya de Mila, au nord-est de l'Algérie. D'une hauteur de 118 m, il est le plus grand barrage en Algérie avec une capacité de 960 millions m<sup>3</sup>.

L'idée de la construction du barrage remonte à 1983, la première étude est faite par le bureau d'études américain, Harza Engineering Company.

La construction est confiée à l'entreprise chinoise CWE. Les travaux démarrent en 1988, avec le creusement de deux galeries de dérivation en rive gauche et l'excavation de l'évacuateur de crue, en rive droite. En juin 1992, le contrat est résilié pour divers problèmes, faible avancement des travaux et problèmes financiers<sup>1</sup>. La construction du barrage est réattribuée à l'entreprise espagnole Dragados. Les travaux démarrent en 1996 et la construction du barrage est terminée en 2001.

Le remplissage du barrage a débuté en août 2003. Le 5 janvier 2004, le barrage est inauguré par le président Abdelaziz Bouteflika<sup>3</sup>.

**VI -2- Description du barrage :**

Le barrage est de type rectiligne en béton compacté, il mesure 118 mètres de haut, 714 mètres de longueur de crête et retient un volume de 960 millions m<sup>3</sup> d'eau.

Le barrage de Beni Haroun est doté d'une grande station de pompage d'eau brute, d'une puissance de 180 MW.

**VI -3- Capacité :**

En juin 2011, le barrage a atteint un niveau des plus élevés depuis le début de son remplissage graduel en 2005 en atteignant le volume de 851 millions de m<sup>3</sup>. Le 12 février 2012, le barrage a atteint un pic historique jamais réalisé depuis sa mise en service soit 1 milliard de m<sup>3</sup>, dépassant ainsi de 40 millions de mètres cubes sa capacité théorique (960 millions de m<sup>3</sup>).

Le barrage alimente en eau potable plusieurs régions limitrophes de la wilaya de Mila, notamment les wilayas de Jijel, Constantine, Oum-El-Bouaghi, Batna et Khenchela. Le barrage fournit également une quantité importante d'eau d'irrigation pour quelques centaines d'hectares d'exploitations agricoles dans les régions voisines.



Figure (VI-1) : Vue du barrage de Beni Haroun

#### **VI- 4- Les pompes utilisées dans le barrage :**

Les pompes utilisées dans le barrage de BENI HAROUN sont des pompes prototypes centrifuge bi-étage (deux étages) à axe vertical, à deux roues (supérieures et inférieures). L'aspiration est verticale et le refoulement est orienté vers le haut, elle est entraînée par un moteur synchrone. (Figure VI-2)

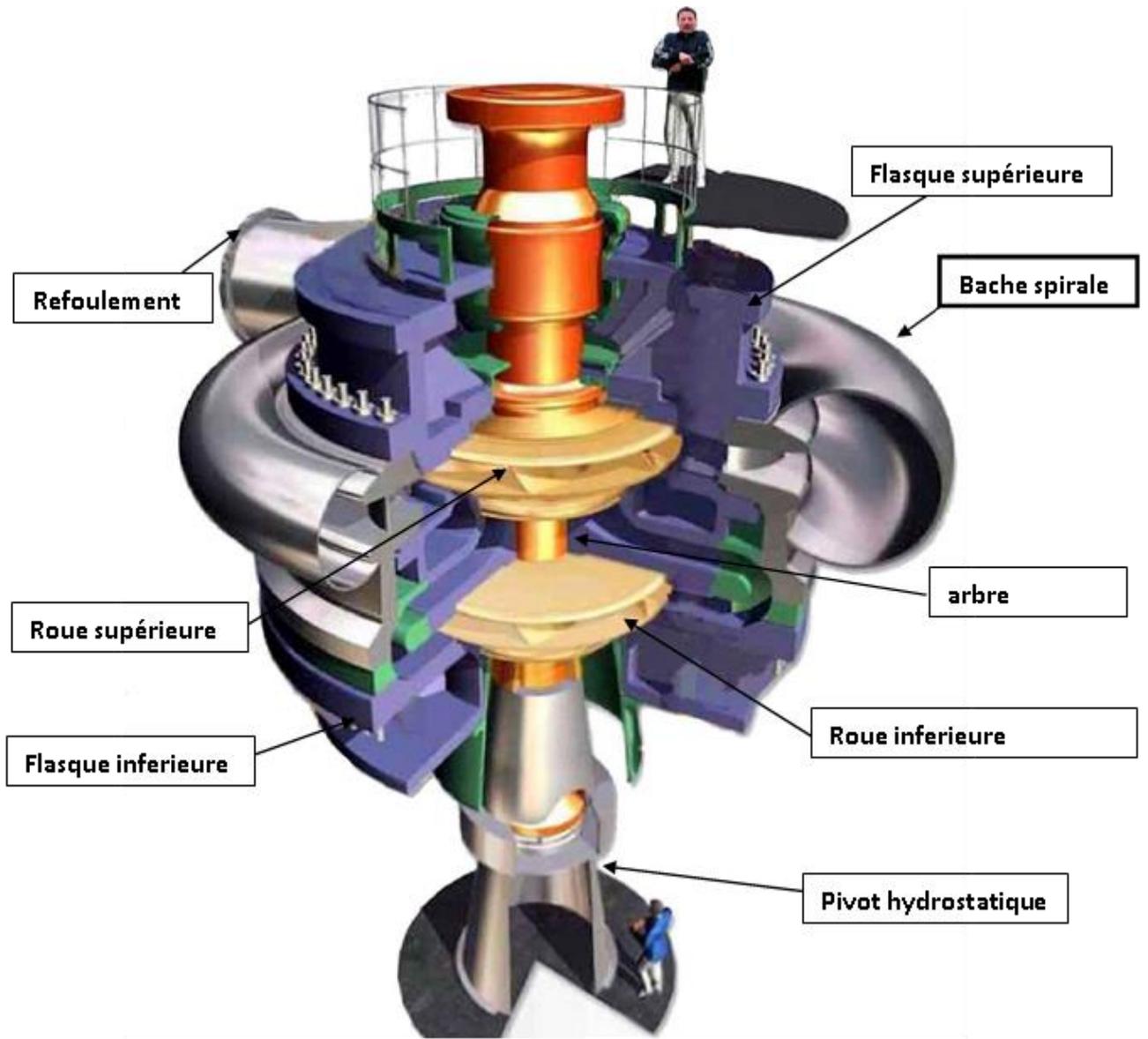


Figure (VI-2) . Corps de pompe [12]

#### VI-4-2-Rôle de la pompe dans la station de pompage :

Cette pompe est utilisée dans la section de pompage de la station, son rôle est de refouler l'eau du réservoir créé par le barrage de Béni Haroun vers le bassin intermédiaire d'Ain Tin. Elle aura une puissance installée de 180 MW (2 pompes de 90 MW) et sera capable de refouler un volume d'eau de  $23\text{m}^3/\text{s}$  ( $2 \times 11.5\text{ m}^3/\text{s}$ ) et de capacité annuelle possible de  $504\text{ hm}^3$  sur une dénivellation de quelques 700m [13]

**VI-4-3- Circuit de la pompe :**

Deux pompes centrifuges bi-étage à axe vertical sont montées en parallèle assurant le travail en redondance. La station de pompage est capable de refouler  $23.5 \text{ m}^3/\text{s}$  à une hauteur manométrique de 702 m, pour déverser dans le bassin d'expansion d'Ain Tin pas lequel transite l'eau pour atteindre le barrage réservoir de Oued Athmania via le tunnel du Djebel El Akhal (gravitaire), donc l'aspiration à partir du réservoir de Beni Haroun et le refoulement vers le réservoir de Oued Athmania . (Figure VI-3) [13]

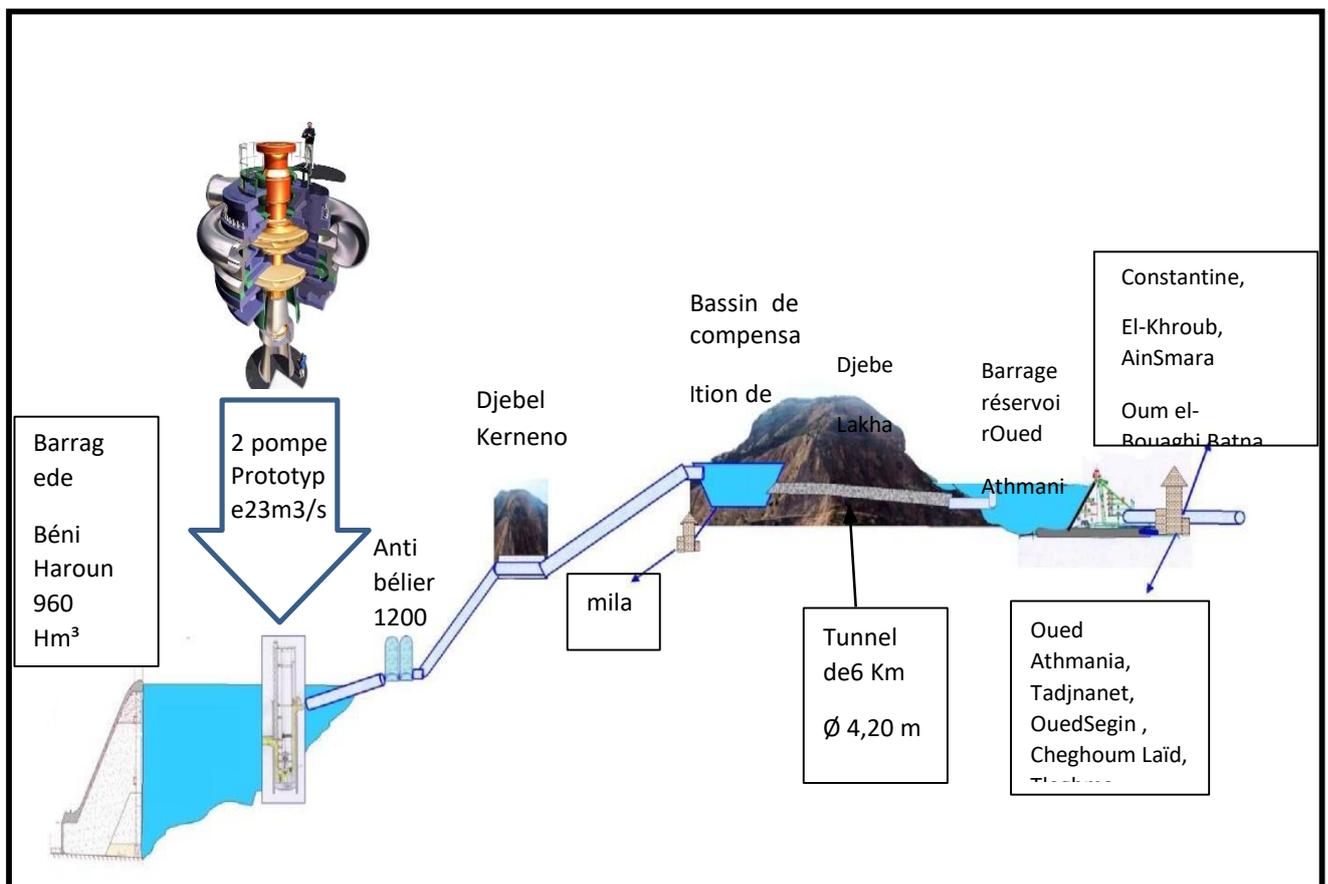


figure (VI-3): Vue en coupe du circuit de pompage [12]

**VI-4-4-Principe de fonctionnement :**

Une pompe centrifuge dans sa forme la plus simple est constituée d'une roue munie d'ailettes radiales et tournantes à l'intérieur d'une enveloppe corps de pompe. Son principe de fonctionnement est d'utiliser la force centrifuge créée par la rotation de la roue pour transmettre au liquide pompé l'énergie donc lorsque la vanne papillon est

ouvert et le moteur est lancé, le rotor tourne, le liquide (eau du barrage) pompé arrive par le corps d'aspiration sous une charge, les aubes de la roue accélèrent le liquide à des vitesses très élevées en lui faisant acquérir une énergie de pression. La pression provoque le déplacement du liquide à la sortie de diffuseur et le pénètre dans le corps de refoulement qui est disposé verticalement par rapport à l'axe, et delà s'écoule dans la vanne sphérique.



Figure (VI-4) : Vue de la roue de la pompe centrifuge

#### VI-4-5- Caractéristiques de la pompe

Tableau ( VI-1). Caractéristique de la pompe [14]

Fabricant	ALSTOM POWER HYDRO
Type	centrifuge Bi-étage à axe vertical
Nombre de machines	2
Axe/ rotation	Vertical / anti- horaire
Amont (maxi/ mini)	852m / 842 m

Niveaux	Aval (maxi/ mini)	215.5 m / 172 m
Pression l'aspiration		Pa = 6 bar
Pression au refoulement		Pr = 75 bar
Pression différentielle		75-6 =69 bar $\Delta p= 69$ bar
Type		2 roue a 9 aubes
Vitesse		750 t/min
Liquide pompe		L'eau
Densité de fluide		$\rho = 1000$ kg / m <sup>3</sup>
Débit		11.5 m <sup>3</sup> /s
Puissance Maximale sous chute nette 656,43mce		94.78 MW
Température du fluide de pompage		25°c
Diamètre de l'aspiration		Da=1625 [mm]
Diamètre de refoulement		Dr =1250 [mm]
Arbre turbine		Diamètre maxi (mm) : 630 Hauteur (mm) : 4870
Bache spirale		Diamètre d'entrée (mm): 1250
Organede garde	Pression huile de régulation	140 b
	Organe de garde a l'aspiration	Robinet papillon
	Organe de garde au refoulement	Robinet sphérique

**VI-4-6-Corps de pompe :**

**A - Le rôle du corps de pompe :**

Dirige l'eau à la sortie de la roue et la canalise pour l'envoyer dans la conduite à travers le robinet sphérique.

Il assure un minimum de perte de charge en maintenant un régime laminaire Il est dimensionné pour résister à la pression hydraulique

Il est constitué des éléments mécano-soudés :

- Une manchette de bache
- Bache spirale
- Puits turbine
- Diffuseur amovible [15]

**- Manchette de bache :**

Cette pièce assure la liaison entre la bache spirale et le robinet sphérique elle est fabriquée à partir de tôles en acier soudées elle est boulonnée à la manchette du robinet et soudée sur la bache spirale elle est équipée d'un trou d'homme pour inspecter l'intérieur de la bache [15]

**- Bache spirale :**

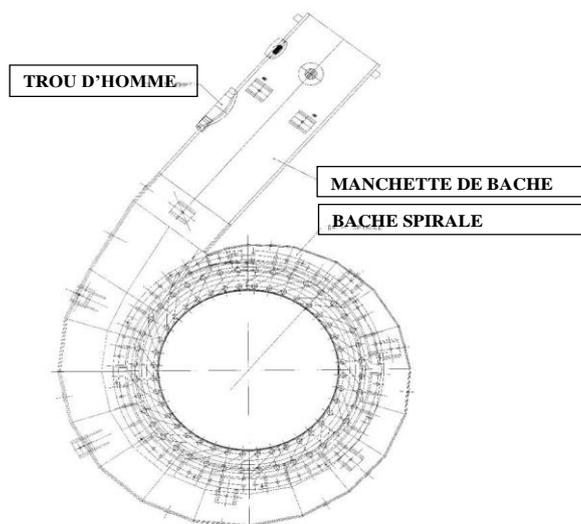


Figure (VI-5) : Bache spirale [14]

Le rôle de la bêche spirale dans une pompe est d'évacuer l'eau à la périphérie de la roue enassurant :

- Une évacuation régulière du débit
- La reprise des efforts dus à la pression de l'eau

De construction mixte, en une seule pièce comprenant un avant-distributeur moulé de 20 avant-directrices dont 1 bec de bêche et une volute en tôles d'acier mécano-soudée.

La bêche spirale est supportée par des pieds et maintenue par des tiges d'ancrage pendant le bétonnage. [6]

#### **- Un puits turbine**

A la partie supérieure de l'avant-distributeur est soudé un cuvelage en tôle d'acier mécano-soudé. En trouve aussi une ouverture qui permet de démonter le groupe par-dessus sans démonter le moteur.

#### **- Un diffuseur amovible**

Le diffuseur est de conception mécano-soudée en inox, les 20 ailettes ont été meulées avec l'avant-distributeur pour assurer la continuité du profil hydraulique. [6]

### **VI-4-7-caractéristiques hydrauliques générales :**

Tableau (VI-2) Caractéristiques hydrauliques généraux [14] [16]

Type de machine	Pompe bi-étage	
Nombre de machines	2	
Axe/rotation	Vertical/anti-horaire	
Puissance consommée sous chute nette	94.78 mw	
Niveaux	Amont (maxi/ mini)	852m / 842 m
	Aval (maxi/ mini)	215.5 m / 172 m
Pression l'aspiration	Pa = 6 bar	

Pression au refoulement	Pr = 75 bar
Pression différentielle	75-6 =69 bar $\Delta p= 69$ bar
Type	2 roues à 9 aubes
Vitesse	750 tr/min
Liquide pompe	L'eau
Densité de fluide	$\rho = 1000 \text{ kg / m}^3$
Débit	11.5 m <sup>3</sup> /s
Puissance Maximale sous chute nette 656,43mce	94.78 MW
Température du fluide de pompage	25°C
Rendement	$\eta= 90,36 \%$
Pression atmosphérique	10 m
Hauteur manométrique	702 m

**VI-5-Détermination des paramètres principaux :**

Le but de ce calcul est la vérification des dimensions des roues de la pompe par une Méthode de calcul approximative. Donc, dans ce paragraphe, on abordera le calcul des Paramètres principaux nécessaires à la réalisation d'une roue à partir des conditions de service où devrait évoluer notre pompe.

**VI-5-1-Vitesse spécifique :**

C'est la vitesse de rotation de la pompe étalon qui est semblable à la pompe considérée. La vitesse spécifique est liée avec la forme des roues des pompes. Les pompes centrifuges ainsi que les autres pompes à aubes qui leurs sont voisines peuvent être classées selon le tableau suivant :

Tableau (VI-3) : aperçu des vitesses spécifiques de chaque type des pompes

<b><math>n_s</math></b>	<b>Type des pompes</b>
-------------------------	------------------------

ns <80 tr /min	pompes centrifuges à vitesses faibles
80 à 150 tr / min	pompes centrifuges à vitesses moyennes
150 à 300 tr /min	pompe centrifuges à vitesses rapides
300 à 600 tr / min	pompes hélico-centrifuges
600 à 1200 tr / min	pompes axiales

On utilise la formule suivante :

La vitesse spécifique ns est égale :

$$ns = 3.65. n. \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{\frac{H^{\frac{3}{4}}}{i}} \quad (VI-1)$$

Ou :

**n** : vitesse de rotation, [tr/min]

**Q** : débit volumétrique de la pompe, [m<sup>3</sup>/s]

**H** : hauteur manométrique, [m]

**i** : nombre d'étage

$$ns = 3.65. n. \frac{(11.5)^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{702}{2}\right)^{\frac{3}{4}}} = 114,478 \text{ tr/min}$$

ns=114,478 tr/min

Notre pompe étudiée fait partie des pompes centrifuges à vitesses moyennes

VI-5-2-Diamètre de l'arrête d'entrée ramené  $D_{r1}$  :

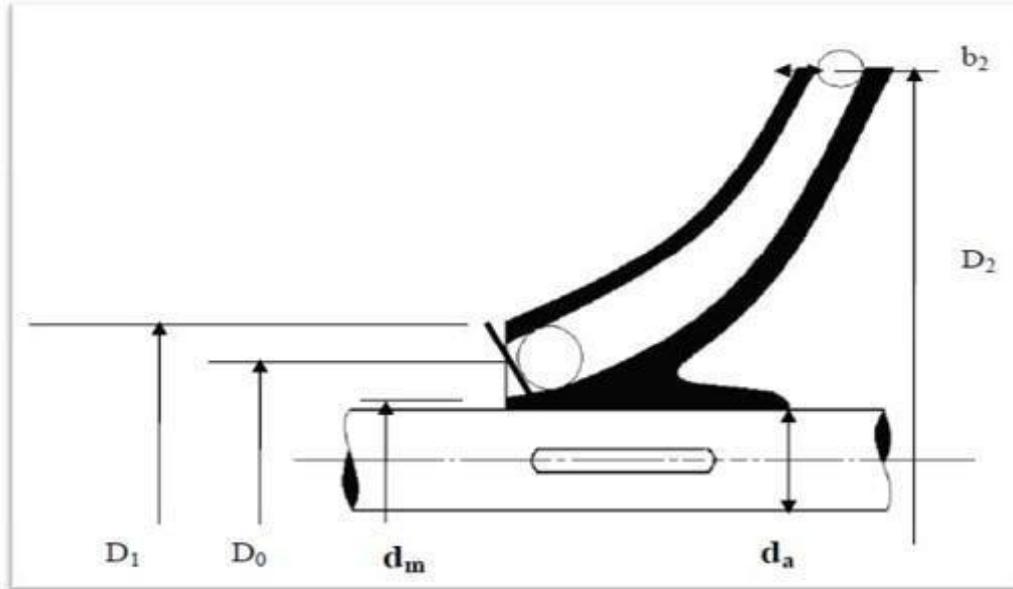


Figure (VI-6) : Roue d'une pompe centrifuge [17]

$$D_{r1}^2 = D_0^2 - D_m^2 \quad (VI-2)$$

$D_0$  = Diamètre de l'arrête d'entrée

$D_m$  = Diamètre du moyeu de la roue

$$D_{r1} = k_0 \cdot [Q/n]^{1/3} \quad (VI-3)$$

$k_0$  = coefficient de calcul

$n$  = vitesse de rotation en [tr/min]

$Q$  = Débit réel de la pompe en [ $m^3/s$ ]

$$D_{r1} = 4,5[11,5/750]^{1/3} = 1,117m$$

$$D_{r1} = 1,117m = 1117mm$$

VI-5-3-Rendement hydraulique  $\eta_h$  :

Il caractérise les pertes de charge dans la pompe par frottement sur les parois de la roue du diffuseur et dans la tubulure d'entrée. Le rendement hydraulique des pompes

centrifuges à vitesse spécifique faible ou moyenne peut être en première approximation calculé à la moyenne par la formule empirique suivante :

$$\eta_h = 1 - \frac{0,42}{[\log(Dr) - 0.172]^2} \quad (\text{VI-4})$$

$$\eta_h = 1 - \frac{0,42}{[\log(Dr) - 0.172]^2} = 0.949$$

$$\eta_h = 0,949 = 94,9\%$$

Donc 5,1% de la hauteur de la charge théorique de la pompe est disparue par frottement deliquide durant son passage de l'aspiration jusqu'à le refoulement

#### **VI-5-4-Rendement volumétrique :**

Il caractérise les pertes du débit à l'intérieur de la pompe. Il est donné par la formule :

$$\eta_v = \frac{1}{\left[1 + 0,68(\eta_s)^{-\frac{2}{3}}\right]} \quad (\text{VI-5})$$

$$\eta_v = \frac{1}{\left[1 + 0,68 - x(114,47)^{-2/3}\right]} = 0.959$$

$$\eta_v = 95,9\%$$

Donc 4,1% du débit de la pompe est perdu à l'intérieur de celle-ci.

#### **VI-5-5-Rendement mécanique**

Il caractérise les pertes de puissance dues aux frottements mécaniques dans les garnitures mécaniques, dans les paliers, dans la butée et au frottement qui se produit entre les surfaces externes du rotor et le liquide [18]

$$\eta_m = \frac{1}{1 + \left(\frac{820}{(\eta_s)^2}\right)}$$

$$\eta_m = \frac{1}{1 + \left(\frac{820}{(114.47)^2}\right)} = 0,9411$$

$$\eta_m = 94,11\%$$

**VI-5-6-Rendement global :**

$$\eta_g = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m \quad (\text{VI-7})$$

$$= 0,949 \cdot 0,959 \cdot 0,9411 = 0,856$$

$$\eta_g = 85,6\%$$

Cette valeur calculée est proche de celle donnée par le constructeur (90,36) Dans la suite de calcul on considère que  $\eta_g = 90,36$

**VI-5-7-Puissance consommée par la pompe :**

Elle représente la somme de la puissance utile et les pertes de puissance

$$P_{ab} = \frac{p_{hyd}}{\eta_g} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_g} \quad (\text{VI-8})$$

$$p_{hyd} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = 1000 \cdot 9,81 \cdot 11,5 \cdot 702 = 79196130 \text{ w}$$

$$p_{hyd} = 79196,130 \text{ kw}$$

Donc la puissance hydraulique  $p_{hyd} = 79196,130 \text{ kw}$

$$P_{ab} = \frac{p_{hyd}}{\eta_g} = \frac{79196,13}{0,9036}$$

$$p_{ab} = 87645,11 \text{ kw}$$

Donc la puissance consommée (puissance absorbée)  $p_{ab} = 87645,11 \text{ kw}$

**VI-5-8-Rendement Puissance du moteur d'entraînement  $P_m$  :**

$$p_m = k \cdot p_{ab} \quad (\text{VI-9})$$

$$p_m = 1,1 \cdot 87645,11 = 100791,87 \text{ kw}$$

$k$  : Coefficient de réserve, pour assurer un entrainement sans risque.

On prend :  $k = 1,15$

**VI-5-9-Le débit de circulation dans la pompe :**

$$Q_{th} = \frac{Q}{\eta v} \quad (VI-10)$$

$$Q_{th} = \frac{11.5}{0.959} = 11,991 \text{ m}^3/\text{s} [24]$$

**VI-5-10-Calcule la hauteur manométrique totale H.M.T :**

$$HMT = \frac{(p_r - p_a).(10 .9,81 .1000 )}{g.\rho} \quad (VI-11)$$

$$HMT = \frac{(75 - 6).(10 .9,81 .1000 )}{9,81.1000} = 690 \text{ m}$$

$$HMT = 690 \text{ m}$$

**H.M.T**= Hauteur manométrique totale (m)

**Pr** = Pression refoulement pompe (bar)

**Pa** = Pression aspiration pompe (bar)

$$g = 9.81\text{m/s}$$

**ρ**= Masse volumique du liquide ( kg/m<sup>3</sup>)( ρeau =1000 kg/m<sup>3</sup>)

$$1 \text{ bar} = 10 \text{ m}$$

**CONCLUSION**

**GENERALE :**

### Conclusion générale :

Dans notre travail, nous essayons de comprendre la structure et le principe de fonctionnement de la pompe. De ce point de vue, c'est une sorte de machine hydraulique, ce qui est différent d'une turbine, c'est une machine réceptrice.

Nous avons expliqué les différents modes de défaillance pouvant survenir dans les pompes centrifuges.

Les pompes centrifuges sont des turbines qui nécessitent beaucoup d'entretien et de réparations, la cavitation et les problèmes qui causent de gros dommages au sein, tels que l'érosion, le tirage de métal. Dans ce travail, une étude générale de la cavitation est proposée pour définir en détail l'effet de ce phénomène sur les différentes performances de la pompe.

Afin de définir en détail l'effet de ce phénomène sur les différentes performances de la pompe, une étude générale de la cavitation est proposée.

La cavitation est un problème interne à la pompe qui doit être évité en raison des risques qu'elle présente, tels que la détérioration du matériau de la roue, la perte de rendement et la dégradation de la pompe. La cavitation est un phénomène particulièrement dommageable car elle restreint fortement le fonctionnement des systèmes de manipulation de liquides

Durant notre application à la station pompage Beni Haroun (Pompe Centrifuge Bi-étage à axe Vertical) , on abordera le calcul des Paramètres principaux nécessaires à la réalisation d'une roue à partir des conditions de service Où devrait évoluer notre pompe.

Enfin, ce projet est important car il permet de comprendre les pompes centrifuges, les sources de cavitation et leurs effets sur celles-ci, ainsi que d'étudier les pompes du barrage de Beni Haroun.

## Bibliographie

- [1] Ahmed Misbah Youssef, PUMP TECHNOLOGY
- [2] JOEL.M.ZINSALO ,note de cours « pompes et stations de pompage » université d'abomeycalavi.
- [3] Etude de défaillance d'une pompe à eau centrifuge de type GUINARD HP 2016
- [4] cours CIRA 1ère année PASCAL BIGOT
- [5] REFERENCE INTERNET ([HTTP://FR.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/LOI\\_DE\\_WEIBULL](http://fr.wikipedia.org/wiki/loi_de_weibull))
- [6] BENI HAROUN -formation maintenance mécanique (ALSTOM)
- [7] BASCAL BIGOT, “ cours : Les pompes ”
- [8] Copyright 2021 Thermal Engineering | All Rights Reserved | Nuclear Power | Reactor Physics
- [9] <https://www.maxicours.com/se/cours/defaillances-et-entretien-des-pompes-et-des-moteurs-hydrauliques/#>
- [10] Cours de Dr.GUERMAT. Université abdelhamid ibn badis de mostaganem, faculté science et de la technologie
- [11] Article par Jessica Barigazzi le 17 novembre 2020/dans News  
POMPE ZANNI SRL UNIPERSONALE Via G. Reni, 5 - 42048 Rubiera (RE) Italy - C.F. e P. IVA : 02698600356 - REA Reggio Emilia: n. 305475 - Privacy Policy - Cookie Policy
- [12] Documentation de l'agence nationale des barrages et des transferts (ANBT)
- [13] DOCUMENTATION DE L'AGENCE NATIONALE DES BARRAGES ET DES TRANSFERTS (ANBT)
- [14] Documentation d'ALSTOM
- [15] Laboratoire ALSTOM
- [16] JEAN –LUC FEUILLERAT site manager construction. Et commis. Europ hydro – station de pompage Beni Haroun Algérie.

[17] Révision de la pompe 510 PA 302 A(SULZER); Gestion de la maintenance et maîtrise de la disponibilité des équipements. Document Sonatrach-AGIP le 15 / 12 / 2009

[18] OURAGH Youcef « Ecoulements forcés en hydraulique 1ere partie et 2eme partie»