



**République Algérienne Démocratique et
Populaire**



**Ministère de l'Enseignement Supérieure et
de la Recherche Scientifique**

UNIVERSITE D'EL-OUED

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Spécialité : Génie mécanique

Option : Maintenance des équipements industriels

Thème

**TECHNOLOGIE ET FONCTIONNEMENT
DES POMPES CENTRIFUGES**

Présenté par :

- ✓ HAMIDATOU Mouhamed Amine
- ✓ KHEMIS Abdelbaki
- ✓ ZOUBEIDI Abd Allah

dirigé par

Mr. ZINE Ali

2013-2014



Remerciements

Avant tout nous remercions bon Dieu le tout puissant pour le courage la force et la volonté qui nous a accordé pour accomplir ce travail.

Non remercions ce modeste travail à les deux qui m'a donne la vie et toujours et la bougie qui a éclairé mes chemins

Non très chère mères

Non très chère père

et non remercions aussi à :

Non chers frères ;

Non chers sœurs ;

Touts les membres des familles :Hamidatou ,Khemis, Zoubeidi

A Non chers amis et tout les amis de Djamaa, el oued, , , ,

A Touts les amis que j'ai connu à :l'université de el oued

Tout (es) les enseignants (es) de l'institut d'ST qui m'ont aidé durant. Mes études en particulier mon encadreur :

zine Ali



DEDICACE

*Non dédié ce modeste travail à les deux qui m'a donne la
vie et toujours et la bougie qui a éclairé mes chemins*

Non très chère mères

Non très chère père

et non dédié aussi à :

Non chers frères ;

Non chers sœurs ;

*Tous les membres des familles :Hamidatou ,Khemis,
Zoubeidi*

*A mes chers amis :Houcine, walid, mouhamed , khaled
,mabrouk, hasane, rached , soufian, Nouri , Taher ,
Bouker , Toufik.....et tous les amis de Djamaa, el oued, , ,*

A Touts les amis que j'ai connu à :l'université de el oued

*Tout (es) les enseignants (es) de l'institut d'ST qui m'ont
aidé durant. Mes études en particulier mon encadreur :*

Zine Ali



Table des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : PRESANTATION D'UNE POMPE CENTRIFUGE	
I -1. Introduction.....	3
I -2. Généralités.....	3
I-2-1. Principe de fonctionnement	3
I-2-2. Domaine d'utilisation.....	3
I -3. Classification des pompes centrifuges.....	4
I-3-1. les pompes radiales centrifuge.....	4
I-3-2. les pompes axiales.....	4
I-3-3. les pompes hélico-centrifuges	4
I -4. Présentation extérieure	5
I-4-1. Description de la pompe	6
I-4-2. Pompe centrifuge monocellulaire (en porte à faux)	7
I-4-2-1. Corps de pompe-volute-roue.....	7
I-4-2-2. Corps Garniture.....	8
I-4-2-3. Corps de palier	8
I-4-3. Description d'une pompe multicellulaire	9
I -5. Conclusion	11
CHAPITRE II : INFLUENCE DE LA TECHNOLOGIE SUR LA PERFORMANCE DE LA POMPE	
II -1.Introduction.....	12
II -2.Hauteur d'élévation et débit	12
II-2-1. Hauteur d'élévation.....	12
II-2-2. Débit	13
II -3.Courbes caractéristiques.....	14
II -3-1.profil et agencement des pompes centrifuge.....	14
II -3-2.Courbes caractéristiques	15
II -3-3.Courbe caractéristique débit / hauteur.....	16
II -3-4.Courbe de puissance	17

II -3-5. Courbe de rendement	17
II -3-6. Courbe de NPSH requis (hauteur de charge nette absolue).....	20
II -3-7. Présentation des courbes catalogues	20
II -4. Lois de similitude	21
II-4-1. Vitesse de rotation	21
II-4-2. Coefficient de similitude	22
II -5. Chute de pression dans la roue NPSHR.....	22
II -6. Phénomène de cavitation	24
II-6-1. La tension de vapeur.....	24
II-6-2. Energie totale	24
II-6-3. Cavitation	24
II-6-4. La cavitation peut être évitée par les mesures suivantes.....	25
II -7. Conclusion	25

CHAPITRE III : CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES ET FONCTION

D'ÉTANCHEITÉ

III -1. Introduction:	26
III -2. Forces mécaniques.....	26
III -3. Forces hydrauliques	26
III -3-1. Poussée axiale	26
III -3-2. Poussée radiale	28
III -4. Fonction d'une étanchéité	28
III -4-1. Garniture à tresse	29
III -4-2. Garniture mécanique	30
III -5. Conclusion	31
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	32

Nomenclature

h	hauteur manométrique d'une pompe.	[m]
η_g	rendement globale de la pompe.	
P	puissance absorbée de la pompe.	[kwatt]
Q_v	débit volumique de la pompe.	
NPSH requis	charge nette absolue à l'aspiration	
Q	Débit volumique	$[m^3/s]$
ρ	La masse volumique	$[Kg/m^3]$
Z	Distance au plan de référence	
H	Hauteur totale d'élévation de la pompe	[m]
H_a	Hauteur géométrique d'aspiration	[m]
NPSH	Hauteur de charge nette absolue à l'aspiration	
$NPSH_r$	NPSH requise	
$NPSH_d$	NPSH disponible	
P_b	Pression atmosphérique	[Pa]
P_a	Puissance absorbée par la pompe	[Watt]
P_u	Puissance utile de la pompe	[Watt]
P_{min}	Pression minimale	[Pa]
p_r	Pression de refoulement de la pompe	[Pa]
η	Rendement de la pompe	
ΔH	Perte de charge	[Pa]
HMT	Hauteur manométrique totale d'une pompe	
n	vitesse de rotation	[tr/min]
n_s	Nombre de tours spécifiques d'une pompe	[tr/min]
Indice		
asp	aspiration	
exp	expérimental	
max	maximal	

min	minimal
ref	refoulement

list des figures

Figure (I-1)	Présentation d'une pompe centrifuge.....	5
Figure (I-2)	Pompe monocellulaires a roue en porte à faux.....	8
Figure (I-3)	Schéma en coup Pompe monocellulaires a roue en porte à faux.....	8
Figure (I-4)	Pompe centrifuge multicellulaire entre de palie.....	9
Figure (I-5)	Schéma en coup Pompe centrifuge multicellulaire entre de palie.....	9
Figure (II-1)	Hauteur d'élévation et débit.....	13
Figure (II-2)	Profils des roues.....	15
Figure (II-3)	Courbe caractéristique de Puissance(P), Rendement(η) , Hauteur (H) par rapport(Q).....	17
Figure (II-4)	NPSH et $H=f(Q)$	19
Figure (II-5)	Courbe caractéristique de Puissance(P), Rendement(η) , Hauteur (H) par rapport(Q).....	22
Figure (II-6)	Montre l'évolution de la vitesse et de la pression dans la pompe.....	24
Figure (III-1)	Poussée axiale.....	27
Figure (III-2)	Poussé radiale.....	28
Figure (III-3)	Garniture à tresse.....	29
Figure (III-4)	Garniture simple.....	30
Figure (III-5)	Garniture double.....	30
Figure (III-6)	Garniture cartouche.....	30

List des tableaux

Tableau I.1	Type de calcification des pompes centrifuge.....	4
Tableau I.2	Type des dispositions de la pompe.....	6
Tableau II.1	les grandeurs et symboles NF.E 44002 et ISO.2548.....	15

Introduction générale

Toute machine qui communique de l'énergie mécanique à un liquide peut être regroupée sous l'appellation de pompe. Cette énergie se manifeste essentiellement sous deux formes : Cinétique pour le débit et potentielle; pour la pression.

Une pompe n'est que finalement un ascenseur à énergie . Le liquide qui rentre par sa bride d'aspiration ou de gavage avec un certain niveau d'énergie en ressort avec un niveau plus élevé. Sans rentrer dans les détails, on peut classer ces pompes en quatre grandes familles selon comment elles communiquent leurs énergies : Volumétriques, centrifuges, axiales. De nombreuses pompes dites roto-dynamiques combinent les effets centrifuges et axiaux, il s'agit des pompes hélico-centrifuges ou simplement mixtes.[9]

Les types de pompes utilisées pratiquement sont des pompes centrifuges proprement dites (dans lesquelles l'accélération donnée au fluide est uniquement radiale) ou des pompes mixtes (dans lesquelles l'accélération a une composante radiale et une composante axiale). Ce sont des pompes à un ou plusieurs impulseur montées sur un arbre commun, chaque étage engendre une élévation de pression de l'ordre de 15 à 25 bars suivant les types de pompes pour des vitesses de rotation courantes de 1400 à 3600 tr/mn.[9]

Une pompe centrifuge est une machine rotative qui transforme l'énergie mécanique développée par un moteur en énergie hydraulique .ces pompe permettent de déplacer les liquides d'un lieu à une autre .c'est le type de pompes industrielle le plus commun par l'effet de la rotation de l'impulseur, le fluide pompé est aspiré axialement dans la pompe, puis accéléré radialement, et enfin refoulé tangentiellement.[10]

NPSH - Net Positive Suction Head

NPSH est l'abréviation anglo-saxonne de «Net Positive Suction Head», ce qui se traduit en français par : «Charge Totale Nette à l'Aspiration».

D'une manière plus concrète, cela représente la pression qui existera à l'aspiration de la pompe, uniquement du fait du réseau et du liquide pompé (quelque soit la pompe utilisée).[10]

Définition du NPSH : C'est la pression totale en [m] de colonne liquide pompée déterminée à la bride d'aspiration de la pompe, moins la P_v du liquide à la température de fonctionnement.[10]

Les efforts exercés sur l'arbre d'une machine centrifuge doivent être suffisamment symétriques pour ne pas trop solliciter les paliers. Des forces asymétriques sont cause de vibrations, et provoquent l'usure accélérée de la machine.

Les constructeurs veillent à assurer l'équilibrage de l'arbre au point nominal de fonctionnement à l'aide de deux dispositions principales : les inducteurs et les trous d'équilibrage. L'ajout de masselottes sur les roues est également utilisé.

Pour compenser l'effort axial sur l'impulseur, les pompes sont équipées de bagues d'usure de dos ou d'ailettes de décharge. Leur jeu interne influence le fonctionnement de la pompe.[2]

En considérant le NPSH proportionnel au carré du débit, on peut estimer que pour le même débit de la pompe.

On se rend compte tant sur le plan du débit que sur celui du NPSH, que l'augmentation du jeu aux bagues a un effet très important sur les pompes à faible débit et grande hauteur.

On s'attache donc sur ces machines à respecter les jeux préconisés. Dans le cas de pompes à grand débit et faible hauteur, ces jeux ont beaucoup moins d'influence sur le fonctionnement de la pompe.

I - 1. Introduction

Les pompes sont des machines destinées à accroître l'énergie des fluides pompés en vue de provoquer leur déplacement dans des circuits comportant généralement une élévation de niveau (hauteur géométrique), une augmentation de pression (hauteur de charge), et des pertes de charge.

La présence d'une pompe dans un circuit se traduit par un relèvement ponctuel de la ligne de charge pour permettre l'écoulement du fluide toujours dans le sens de l'abaissement de la ligne de charge.

I - 2. Généralités

I-2-1. Principe de fonctionnement

Son principe de fonctionnement est d'utiliser la force centrifuge créée par la rotation de la roue pour transmettre l'énergie au liquide pompé. 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 du diffuseur : l'énergie cinétique est convertie en énergie de pression.

I-2-2. Domaine d'utilisation

Le domaine d'utilisation des machines centrifuges est extrêmement vaste et couvre les extrêmes suivants :

- Débits : de 0,001 à 60 m³/s
- Hauteurs de 1 à 5 000 m
- Vitesses de rotation 1 000 à 30 000 tr/min

D'une manière générale, le nombre de tours spécifique peut servir qualitativement à distinguer des différents designs de pompes, sachant que seul son fabricant, à la suite d'essais de type et même des essais effectués sur l'appareil particulier, est en mesure de confirmer les performances particulières de telle ou telle machine.

I - 3. Classification des pompes centrifuges

On peut classer les pompes centrifuges suivant la direction de l'écoulement dans la roue, on distingue :

I -3-1. les pompes radiales centrifuges : pour lesquelles les filets de courant sont contenus dans des plans perpendiculaires à l'axe sauf au voisinage immédiat de celui-ci.

I -3-2. les pompes axiales : pour lesquelles les filets de courant s'inscrivent sur des cylindres coaxiaux.

I -3-3. les pompes hélico-centrifuges: ou semi axiales (intermédiaires) dont les filets sont inscrits sur des surfaces de révolution dont la méridienne est inclinée sur l'axe.

On général la classification des pompe centrifuge ce n'est pas seul base selon la trajectoire du Liquide, Mais aussi la variété des types de pompes centrifuge qui existe dans l'industrie nous oblige d'établir une classification, dont les critères les plus souvent utilisé sont :

Type de calcification	caractéristiques
nombres des roues	mono -cellulaire ou mono étagée bi -cellulaires ou bi -étagées multicellulaires ou multi-étages
la forme de la roue	simple aspiration. double aspiration.
la pression engendrée	faible pression. moyen pression. forte pression.
moyen d'accouplement	Par chaîne. Par engrenage. Par bride. Par courroie.

moyen d'entraînement	Par moteur électrique. Par moteur diesel ou essence. Par turbine à vapeur ou à gaz.
type du récupérateur	volute. Diffuseur à ailettes.

Tableau I .1. : Type de calcification des pompes centrifuges

I - 4. Présentation extérieure

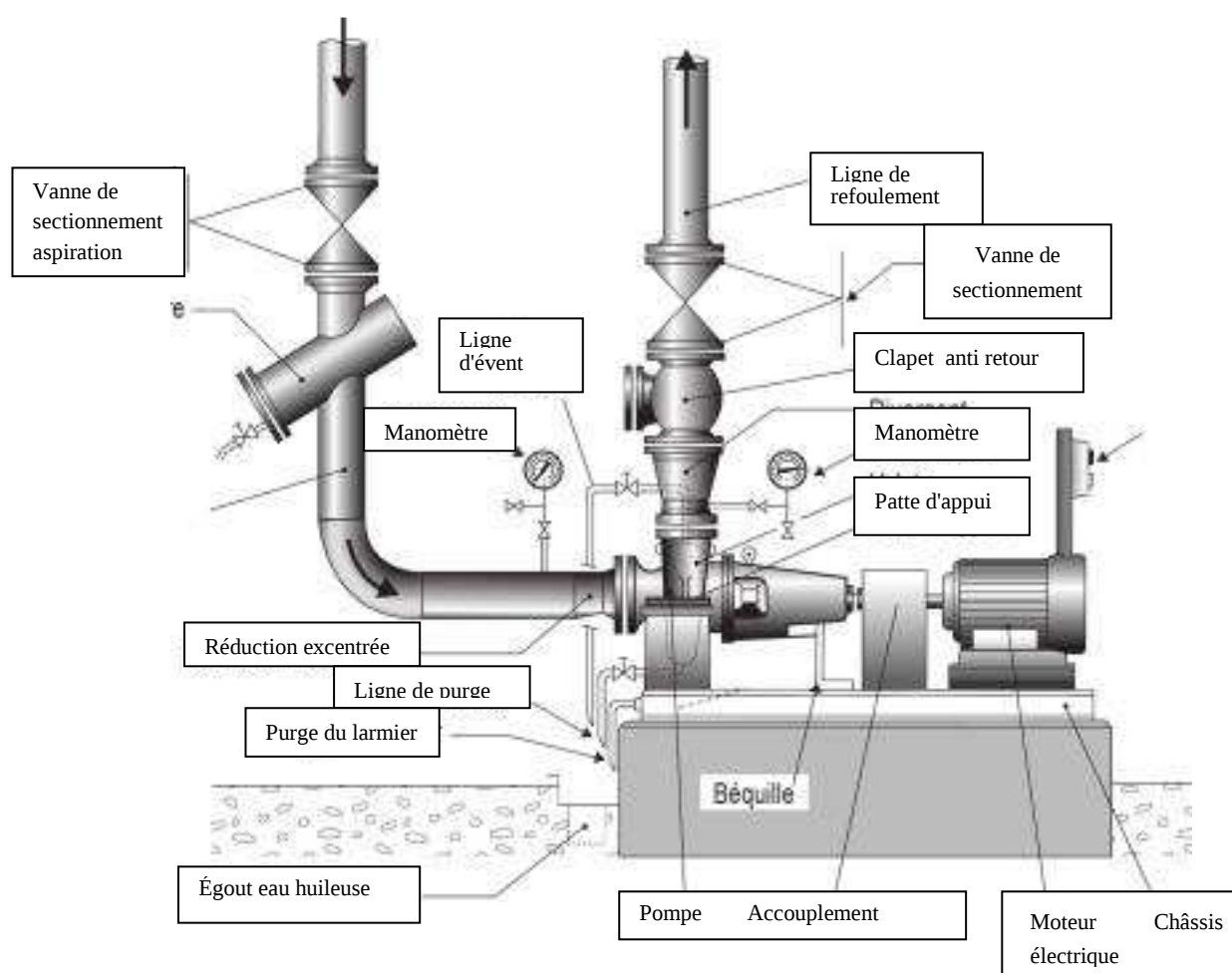


Figure I.1. : Présentation d'une pompe centrifuge

Le schéma ci-dessus montre de manière schématique l'environnement d'une pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux entraînée par un moteur électrique il s'agit d'une pompe "process" à aspiration axiale (AA), type de pompe très couramment utilisé, que l'on rencontre très souvent dans les unités de fabrication de raffineries ou d'usines chimiques, dans les pomperies des services mouvements de raffineries et dépôts et sur les circuits d'eau.[3]

I-4-1. Description de la pompe représentée ci-dessus

La tubulure d'aspiration est horizontale et de même axe que l'axe de rotation de la pompe. La tubulure de refoulement est d'axe vertical et se trouve dans le plan de la volute.

La pompe repose par l'intermédiaire de pattes d'appuis sur deux socles, eux-mêmes solidaire du châssis. Le plan de sup portage sur les socles passe par l'axe de la pompe. Cette disposition permet de conserver à chaud, l'alignement obtenu à froid entre pompe et moteur électrique. Elle est préconisée par l'API (American Petr oléum Institut) pour les produits chauds et inflammables.[3]

Il est prévu par ailleurs à l'arrière de la pompe, sous le corps de palier, une béquille permettant la libre dilatation axiale de la machine.

Dispositions des pompes	les figures	Expliquer Dispositions
Aspiration verticale		la ligne d'aspiration arrive d'en haut (cas de pipe-rack, de ballons ou capacités situés en hauteur)

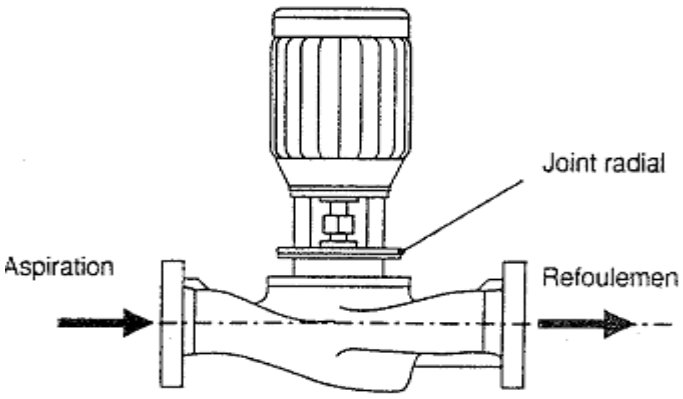
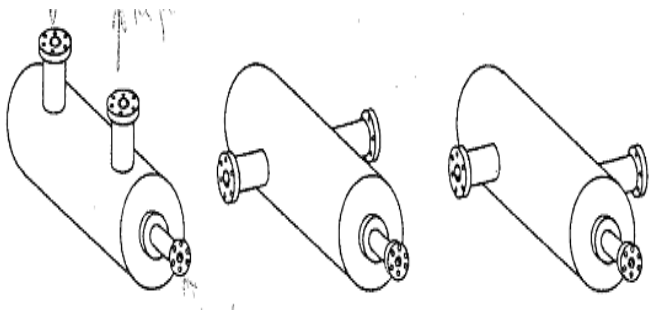
Axe de rotation vertical		les lignes - d'aspiration et de refoulement sont coaxiales
Disposition des pompes multicellulaire		Les pompes multicellulaires ont des conduites disposées de façon spécifique à chaque application. On trouve ainsi des pompes à aspiration et refoulement verticales ou horizontales avec diverses dispositions

Tableau I.2. : Type des dispositions de la pompe

I-4-2. Pompe centrifuge monocellulaire (en porte à faux)

I-4-2-1. Corps de pompe-volute-roue

Une pompe centrifuge communique au liquide qui la traverse, l'énergie permettant d'assurer le débit compte tenu du circuit sur lequel elle est placée. Cette énergie est créée dans la partie principale de la pompe : roue ou impulseur et volute.

La roue est montée sur un arbre entraîné par une machine motrice (moteur Electrique Principalement ou turbine à vapeur).[2]

Le corps de pompe reçoit les tubulures d'aspiration et de refoulement.

Il comprend la volute qui est un canal ouvert à section croissante Des bagues d'étanchéité limitent le retour (fuite) du liquide sous pression qui se trouve dans la volute vers l'aspiration.

I-4-2-2. Corps de garniture

Le liquide se trouvant dans la pompe a toujours une pression différente de la pression atmosphérique. Il y aurait donc toujours une fuite de liquide vers l'extérieur ou d'air vers l'intérieur entre l'arbre et le flasque fermant l'arrière du corps de pompe (souvent appelé corps de garniture) si un système d'étanchéité n'était pas installé .[3]

Un ensemble de tresses monté dans un presse-étoupe a longtemps été la solution utilisée à cette fin. Actuellement les garnitures mécaniques sont installées sur presque toutes les pompes et pour la plupart des produits selon le produit véhiculé et les fuites tolérables, ce système de garniture peut être plus ou moins complexe : arrosage, quench, liquide ou gaz de barrage, garnitures simple ou double, etc.

I-4-2-3. Corps de palier

La rotation de l'arbre est produite par la machine d'entraînement. Le guidage en rotation est généralement assuré par des roulements. Le corps de palier qui reçoit les roulements est conçu pour permettre leur lubrification et éventuellement leur refroidissement et celui de l'huile.[3]

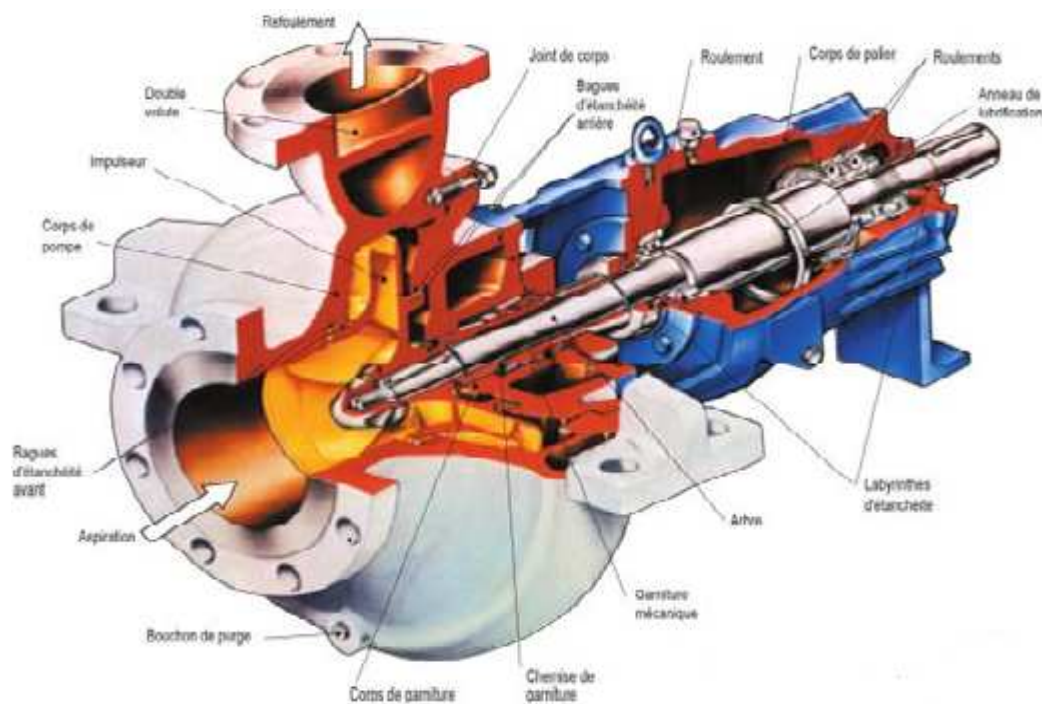


Figure I.2. : Pompe monocellulaires a roue en porte à faux

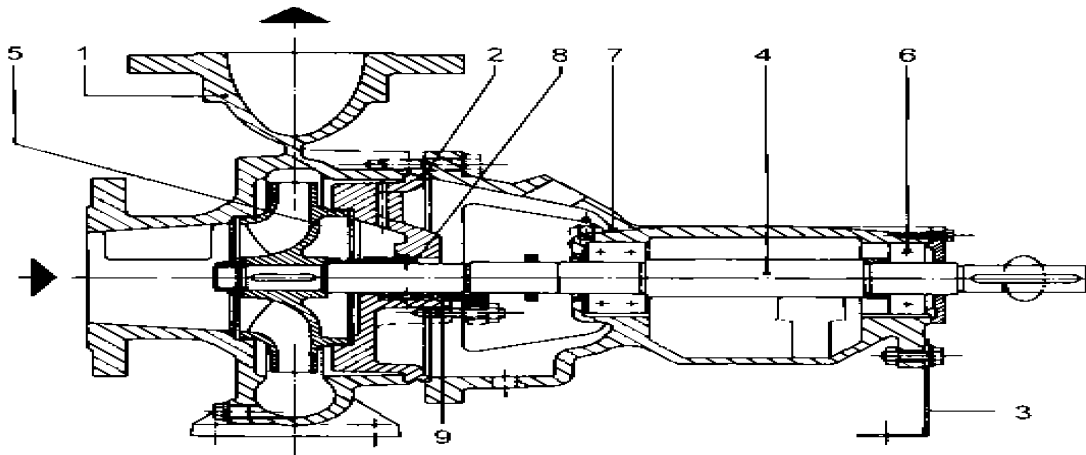


Figure I.3. : Schéma en coup pompe monocellulaires a roue en porte à faux

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1 Volute de pompe | 6 Palier à roulement |
| 2 Couvercle de l'enveloppe | 7 Chaise de palier |
| 3 Béquille d'appui | 8 Garniture d'étanchéité |
| 4 Arbre et 5 Roue | 9 Presse-étoupe |

I-4-3. Description d'une pompe multicellulaire

Les pompes centrifuges sont type de pompe le plus répandu en raffinerie et usines chimiques. Leur fonction est d'assurer le débit de liquide souhaite par l'exploitant mais dans des conditions de pression imposées par les procédés et les applications, Avec des contraintes particulières à l'installation, L'environnement, La fiabilité, La sureté, etc.

La pompe centrifuge la plus simple est la pompe multicellulaire à roue en porte à faux comme Représente sur le schéma ci-dessous.[5]



Figure I.4. Pompe centrifuge multicellulaire entre de palie

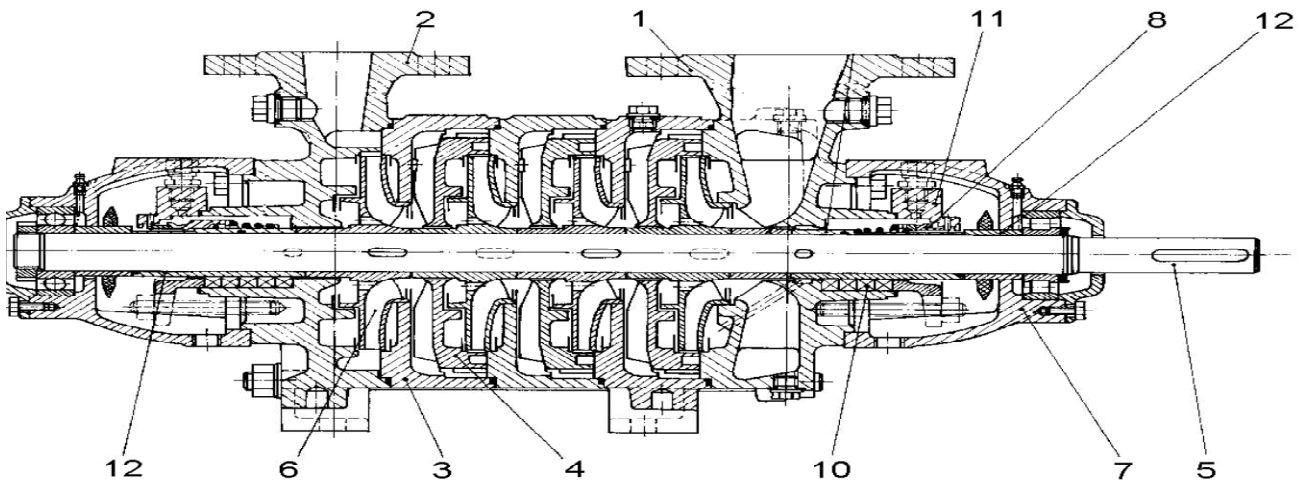


Figure I.5. Schéma en coupe pompe centrifuge multicellulaire entre de palie

1 Tubulure d'aspiration	2 Tubulure de refoulement	3 Corps de pompe
4 Roue avant	5 Arbre	6 Roue
7 Logement de palier	8 Garniture d'étanchéité	10 Presse-étoupe
9 Carter de presse-étoupe	11 Couvercle d'étanchéité	12 Chemise

❖ Remarque

Les pompes centrifuge ne peuvent pas fonctionnées lorsqu' il y a de l'air à la conduite d'aspiration l'air contenu ne ces site d'être préalablement chasse c'est l'amorçage de la pompe.

Les différents types des pompe centrifuge on distingué deux type de pompe centrifuge :

- Mono cellulaire : équipe d'une seule roue
- Multi cellulaire : plusieurs roue sont montées sur l'arbre d'enraiment et raccordées de soit que le collecteur de la première cellule conduit le liquides dans louie (l'axe) de la cellule suivante.[3]

I - 5. Conclusion

Entre la pompe centrifuge dans laquelle le mouvement du liquide est uniquement radial et la pompe hélice à écoulement uniquement axial, existe donc toute une gamme de pompes qui convient aux conditions H_m , Q_v , et n imposées.[3]

Le calcul du nombre de tours spécifique n_s (tr/min) permet de choisir le type de pompe qui fonctionnera dans les meilleures conditions, avec le meilleur rendement manométrique η_h .

Rappelons encore que les pompes centrifuges sont réservées aux débits faibles et aux hauteurs manométriques élevées; les pompes hélices, à l'autre extrémité de la gamme, conviennent aux très gros débits et aux faibles hauteurs manométriques.[1]

II - 1. Introduction

Les constructeurs vendent leurs pompes avec un catalogue, dans lequel on trouve les courbes caractéristiques de la pompe.[1]

Pour véhiculer un liquide d'un endroit à un autre, la pompe doit fournir une certaine pression appelée hauteur manométrique totale, cela dépend des conditions d'aspiration et de refoulement (augmentation de pression que la pompe peut communiquer au fluide).[1]

les pertes de charge dans la tubulure d'aspiration et les chocs du liquide contre les aubages occasionnent une chute de pression à l'entrée de la roue. Cette chute de pression, exprimée en mètre de liquide, est appelée le NPSH de la pompe ou NPSH requis.[2]

La cavitation est la vaporisation d'un fluide soumis à une pression inférieure à sa pression de vapeur.[4]

II - 2. Hauteur d'élévation et débit

II-2-1. Hauteur d'élévation

L'hauteur d'élévation L'énergie fournie par la pompe au liquide s'exprime en "hauteur de liquide pompé" ou hauteur d'élévation. En première approximation pour des pompes centrifuges courantes et pour un débit faible par rapport au débit nominal, cette hauteur peut être estimée à l'énergie cinétique de la vitesse périphérique de la roue.[3]

$$V_p = \frac{\pi D N}{60}$$

D : diamètre de roue en m, N : tours par minute, V_p : vitesse périphérique en m/s

Compte tenu de vitesses maximales limitées par le l'ordre de:

40 m/s pour des roues en fonte;

50 m/s pour des roues en bronze;

60 m/s pour des roues en acier;

On obtient des hauteurs maximales de

- 80 m pour des roues en fonte;
- 125 m pour des roues en bronze;
- 180 m pour des roues en acier;

Certaines pompes "haute vitesse" peuvent en une seule roue fournir jusqu'à 400 ou 500 m de hauteur.

$$\Delta P = \frac{H \cdot d}{10,2}$$

ΔP : Écart de pression en bar

H : hauteur en m

D : densité du liquide

Dans le cas où la pression est impossible à réaliser avec une seule roue, il est indispensable d'utiliser des pompes multicellulaires, c'est-à-dire équipée de plusieurs roues fonctionnant en série.

Par exemple il faut 10 à 12 roues pour monter à 120 bars de l'eau alimentaire de chaudière haute pression.

Il est intéressant de noter que la hauteur est indépendante de la densité du produit, ce qui n'est pas le cas de la pression.

II-2-2. Débit

Le débit qui passe dans une pompe est variable, mais celle-ci est conçue pour une valeur bien déterminée appelée débit nominal. Compte tenu de la vitesse d'entrée et de sortie qui ont à peu près les mêmes valeurs sur la plupart des pompes, le débit est donc essentiellement lié aux dimensions de la roue notamment son "ouïe" d'aspiration et sa largeur de sortie

La conception de la roue dépend notamment du débit nominal souhaité. Plus ce débit est grand, plus l'ouïe d'entrée et la largeur de sortie doivent être importantes. Ceci peut conduire à une pompe dont l'ouïe d'aspiration est proche du diamètre de la roue. Dans cette dernière disposition, la hauteur n'est souvent que 1/10 de la hauteur d'une pompe centrifuge de même vitesse périphérique. Pour maintenir une longueur d'aubage dans la roue, le constructeur doit incliner le canal de la roue. On peut ainsi à la limite arriver à une pompe à hélice.[5]

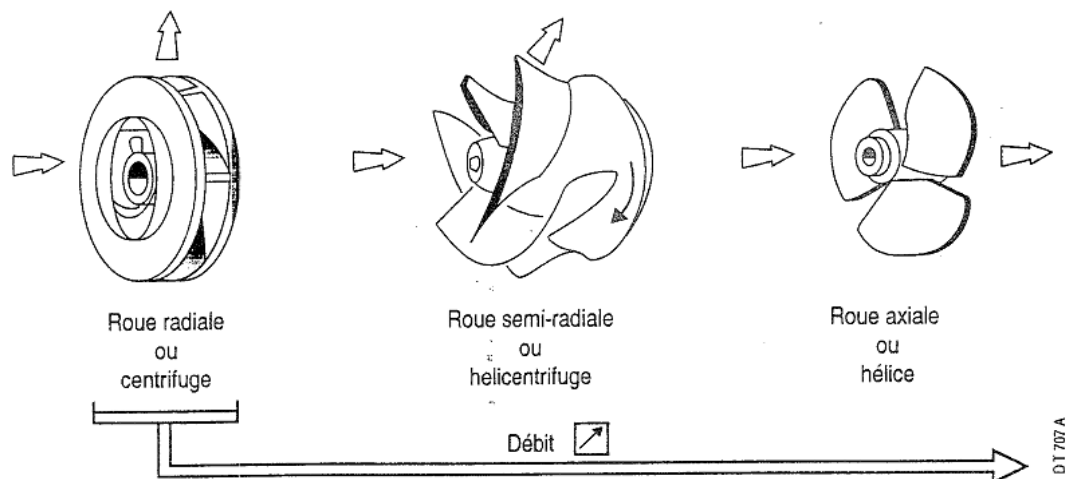


Figure II.1. Hauteur d'élévation et débit

II - 3. Courbes caractéristiques

L' hauteur d'élévation d'une pompe varie avec le débit. Cette relation se représente par une courbe fournie par le constructeur de la machine et tracée à partir d'un essai sur banc.[3]

Les courbes sont souvent tracées pour différents diamètres de roues et pour une vitesse stabilisée.[8]

II-3-1. profil et agencement des pompes centrifuge

La forme des roues est directement liée à la valeur de la vitesse spécifique. (Figure II – 2) Une faible vitesse spécifique $N < 20$ (Q petit, H grand) conduit à fabriquer des roues étroites présentant des difficultés d'élaboration et un mauvais rendement. La hauteur totale est alors divisée par un entier E pour augmenter la vitesse spécifique ; la pompe est du type multicellulaire à E étages, type NM.[2]

Pour une vitesse spécifique moyenne $30 < N < 120$ (Q moyen, H moyen), la roue est facile à obtenir et le rendement est excellent, la pompe est du type monocellulaire, type MEN.

Pour une vitesse spécifique élevée $N > 150$ (Q grand, H faible), le rendement tend à diminuer, le profil de la roue ne se prête plus à certaines adaptations (joints hydrauliques, ailettes de décharge).[2]

Par ailleurs, les vitesses à l'aspiration deviennent élevées et réduisent d'autant la "capacité d'aspiration" de la pompe. Le débit est alors divisé par 2 pour diminuer la vitesse spécifique, la pompe est alors du type à double entrée (ou double flux), type LNN.[8]

L'allure des courbes caractéristiques (Q - H, P) et le profil des roues sont également fonction de la vitesse spécifique.

Ces dernières présentent les particularités suivantes:

$N < 30$ roue radiale à aubes cylindriques (simple courbure);

$N < 70$ roue radiale à entrée gauche (double courbure);

$N < 100$ roue semi-axiale ou hélico-centrifuge;

$N > 200$ roue hélice;

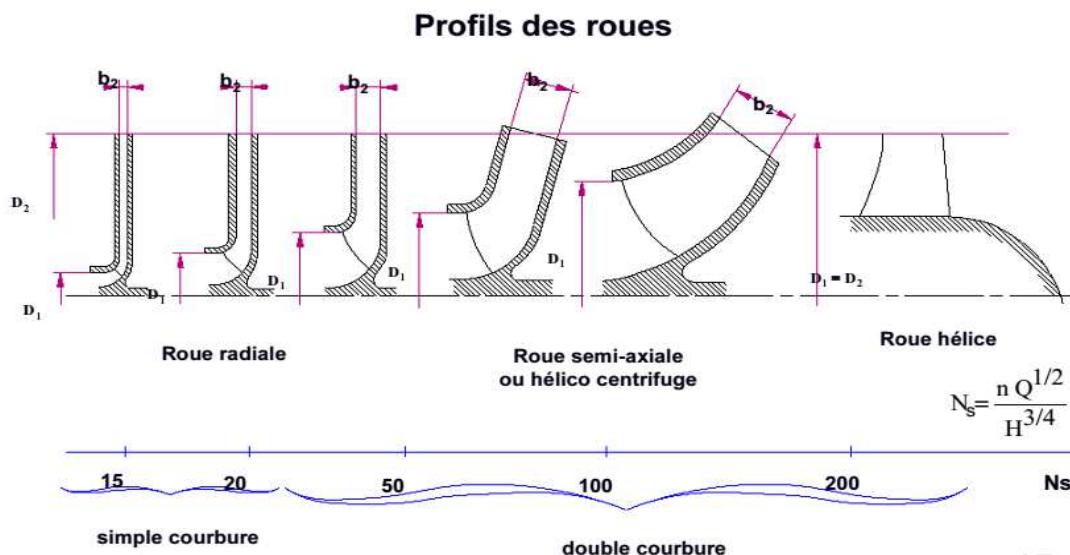


Figure II.2. profils des roues

II-3-2. Courbes caractéristiques

Grandeur	Symbole	Unité SI	Unité pratique
Débit volumique	Q	m^3/s	m^3/h et m^3/s
Distance au plan de référence	z	m	
Hauteur totale d'élévation de la pompe	H	m	à l'aspiration indice 1
Perte de charge		m	au refoulement indice 2

Hauteur de charge nette absolue à l'aspiration	ΔH	m	
	NPSH		
Pression atmosphérique		bar	} pression absolue
Pression de vapeur	p_b	bar	
Puissance absorbée par la pompe	p_v	W	kW
Puissance utile de la pompe	p	W	kW
	P_u	W	kW
Puissance du groupe	P_{gr}	} Nombre pur	
Rendement de la pompe	η		
Rendement du moteur	η_{mot}		
Rendement du groupe	η_g		

Tableau II.1. les grandeurs et symboles NF.E 44002 et ISO.2548

II-3-3. Courbe caractéristique débit / hauteur

La hauteur totale engendrée par une pompe centrifuge est fonction de son débit $H = f(Q)$, pour une vitesse de rotation donnée. Cette courbe est d'allure parabolique. (Figure, II.2)

Deux points particuliers sont en général à considérer :

- le point nominal, correspondant au point de calcul et pour lequel le rendement passe par un maximum,
- le point à débit nul qui fixe la "forme" de la courbe caractéristique.

Suivant la position relative du point à débit nul et du point de meilleur rendement, la courbe peut présenter une des trois formes principales suivantes :

- courbe plate,
- courbe légèrement tombante,
- courbe très tombante.

La forme de la courbe dépend, d'une part du choix des paramètres de calcul (laissés à l'initiative du calculateur), et d'autre part de la vitesse spécifique de la pompe, c'est-à-dire du rapport entre le débit et la hauteur pour une vitesse donnée (contrainte physique).[3]

II-3-4. Courbe de puissance

La courbe de puissance $P=f(Q)$ absorbée par la pompe est également d'allure parabolique. Elle passe par un maximum pour un débit dont la position par rapport au débit de meilleur rendement est liée à la forme de la courbe caractéristique.

Ce débit est plus grand que le débit de meilleur rendement pour une courbe plate, sensiblement égal pour une courbe légèrement tombante, et plus petit pour une courbe très tombante.

II-3-5. Courbe de rendement

La courbe de rendement $\eta = f(Q)$, d'allure parabolique, passe par l'origine 0, et par un maximum pour le débit de meilleur rendement de la pompe.

Elle se déduit des courbes précédentes en fonction du débit :

$$\eta = \frac{\text{Puissance utile } Pu}{\text{Puissance absorbée par}} = \frac{\rho g H Q}{P}$$

Formule pratique :

$$P_{KW} = \frac{Q_{m^3/h} \cdot H_m - d}{376\eta}$$

Avec $d = \frac{\rho(kg/m^3)}{1000}$

Dans le cas d'un groupe électropompe, la puissance absorbée aux bornes du moteur est :

$$P_{gr} = \frac{P}{\eta_{mot}}$$

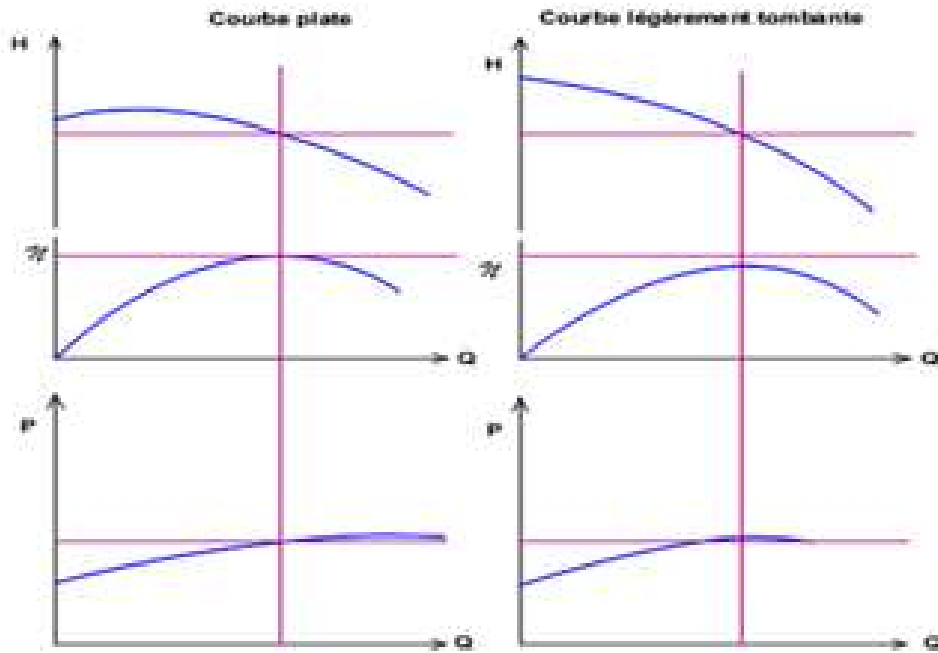


Figure II.2. Courbe caractéristique de Puissance(P), Rendement(η) , Hauteur (H) par rapport(Q)

❖ Courbe caractéristique

Les courbes caractéristiques qui figurent sur les fiches techniques des constructeurs de pompes, correspondent (sauf spécifications particulières) à un fonctionnement en eau ; elles sont donc valables pour tout fluide de masse volumique $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, et de viscosité $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Elles peuvent être utilisées directement pour des liquides visqueux jusqu'à environ $20 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (20 cSt ou 3°E). Pour des viscosités plus importantes, une correction doit être appliquée sur les courbes hauteur/débit, de rendement et de puissance absorbée en fonction de la viscosité et du point de fonctionnement recherché par rapport au point de meilleur rendement. Les valeurs du débit, de la hauteur et du rendement seront affectées d'un coefficient réducteur (suivant annexe 2 p 77). A noter que le point à débit nul conserve sa position.[8]

Avec les pompes centrifuges conventionnelles, la viscosité est limitée à $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (100cSt, 13 à 15°E) ; avec des roues spéciales, la viscosité peut atteindre $3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (300 cSt, 40°E).

La masse volumique entre dans la formule ci-dessus, pour le calcul de la puissance absorbée, sous la forme $\frac{\rho}{1000}$ (densité).

A remarquer que la hauteur engendrée par une pompe centrifuge est indépendante de la masse volumique (à viscosité égale) ; par contre, la pression, comme la puissance absorbée, sont directement proportionnelles à cette masse volumique.[8]

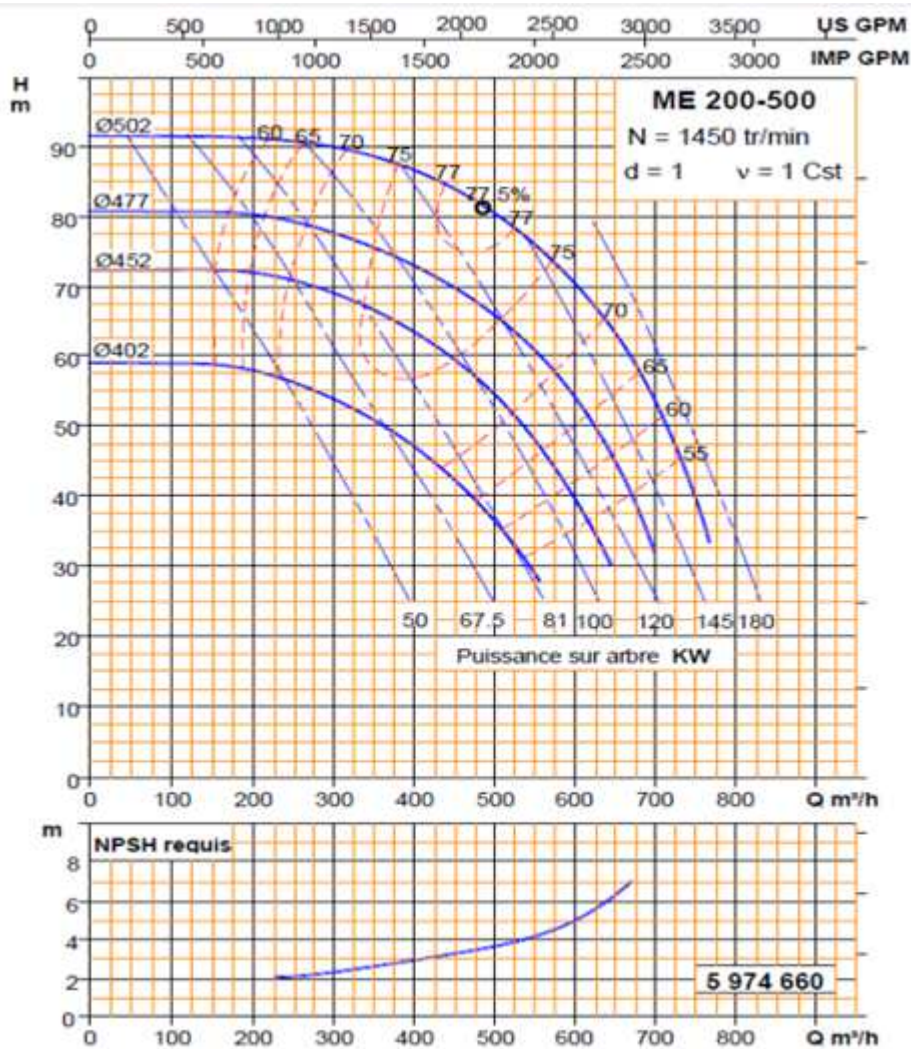


Figure II.4. (NPSH) =f(Q) et(Hauteur) =f(Q)

Exemple :

Pompe : débit = $80 \text{ m}^3/\text{h}$ H = 50 m $\eta = 0,81$

- liquide véhiculé : eau $\rho = 1000 \text{ Kg}/\text{m}^3$

$$P = \frac{80 \times 50 \times 1}{367 \times 0.81} = 13,46 \text{ KW}$$

- pression correspondant à 50 m

$$P = \frac{50 \times 1}{10.2} = 4.91 \text{ bar}$$

- liquide véhiculé : acide $\rho = 1400 \text{ Kg}/\text{m}^3$

$$P = \frac{80 \times 50 \times 1.4}{367 \times 0.81} = 15,26 \text{ KW}$$

- pression correspondant à 50 m

$$P = \frac{50 \times 1.4}{10.2} = 6.87 \text{ bar}$$

II-3-6. Courbe de NPSH requis (hauteur de charge nette absolue)

La courbe de NPSH requis, d'allure parabolique, représente, en fonction du débit et pour une vitesse de rotation donnée, l'abaissement de la ligne de charge entre la bride d'aspiration de la pompe et le point pour lequel la pression absolue passe par un minimum.

Ce point très particulier, souvent à l'origine d'incident, sera développé ultérieurement dans le paragraphe concernant les essais.[8]

II-3-7. Présentation des courbes catalogues

Souvent les courbes de rendement et de puissance absorbée P sont représentées par des courbes d'équivalence (à l'image des courbes de niveau).

Cette présentation facilite, en général, la lecture des courbes caractéristiques, mais ne renseigne pas sur l'allure de ces courbes .Il faut, en particulier, faire attention aux courbes d'équivalence pour choisir un moteur d'entraînement. - Figure II .3.et II. 4.

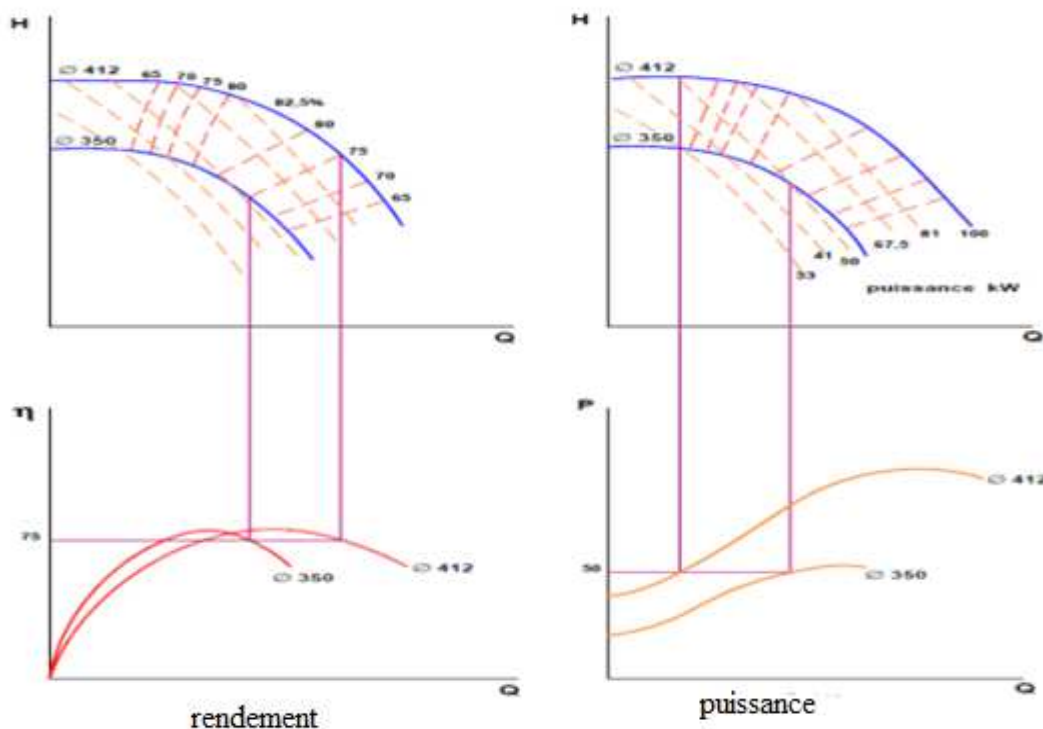


Figure II.5. Courbe caractéristique de Puissance(P), Rendement(η) , Hauteur (H) par rapport(Q)

II - 4. Lois de similitude

II-4-1. Vitesse de rotation

Les courbes caractéristiques des pompes centrifuges sont tracées pour un fonctionnement à une vitesse donnée. Les vitesses généralement retenues sont celles données par les moteurs asynchrones les plus courants :

À 50 Hz : moteur 2 pôles environ 2900 tr/min.

Moteur 4 pôles environ 1450 tr/min.

Moteur 6 pôles environ 970 tr/min.

À 60 Hz : moteur 2 pôles environ 3500 tr/min.

Lorsque la vitesse varie de n_1 tr/min à n_2 tr/min, les points Q_1 , H_1 , P_1 des courbes de fonctionnement à la vitesse n_1 deviennent à la vitesse n_2 :

$$Q_2 = \frac{n_2}{n_1} Q_1$$

$$H_2 = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 H_1$$

$$P_2 = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 P_1$$

Par exemple, une pompe qui tournerait 2 fois plus vite verrait son débit multiplié par 2, sa hauteur multipliée par 4 et sa puissance absorbée multipliée par 8.

Les points $Q_1 - Q_2$, $H_1 - H_2$, $P_1 - P_2$ sont dits points homologues.

On conçoit donc aisément qu'une pompe peut toujours tourner à une vitesse inférieure à la vitesse pour laquelle elle a été conçue. Inversement, un fonctionnement à une vitesse supérieure demande une étude particulière et l'accord du constructeur de pompe.

Par exemple, une pompe donnant $100 \text{ m}^3/\text{h}$ à 80 m à 2900 tr/min (50 Hz) fournira $120 \text{ m}^3/\text{h}$ à 116 m à 3500 tr/min (60 Hz). Si la pression de service de la pompe est limitée à 10 bars, le fonctionnement à 3500 tr/min ne sera vraisemblablement pas possible.

La tenue des différents éléments sera également à vérifier. Théoriquement, le NPSH varie comme la hauteur totale, c'est-à-dire comme le carré du rapport des vitesses.

L'expérience montre que cette loi de variation n'est pas toujours respectée. En première approximation, elle pourra être appliquée pour un fonctionnement à vitesse plus élevée. Pour un fonctionnement à vitesse plus réduite n . [8]

Il sera plus prudent de consulter le constructeur.

Les points homologues sont si tués sur des paraboles passant par l'origine. Le rendement hydraulique varie peu si les écarts de vitesse ne sont pas trop importants. A noter toutefois que le rendement global diminue sensiblement avec la réduction de la vitesse, à cause des pertes mécaniques qui représentent une part plus importante de la puissance totale absorbée.

II-4-2. Coefficient de similitude

Lorsque toutes les dimensions d'une pompe 1 sont multipliées par un coefficient de similitude k , les caractéristiques de la pompe homothétique 2 sont liées aux caractéristiques de la pompe de base 1 par les relations suivantes :

$$Q_3 = k^3 Q_1$$

$$H_2 = k^2 H_1$$

$$P_2 = k^5 P_1$$

Cette propriété est sur tout utilisée par les constructeurs de pompes, pour définir une nouvelle machine en se référant à un matériel particulièrement réussi.[8]

Les pompes sont "classées" en fonction de la vitesse spécifique Dans laquelle

n = vitesse de rotation [tr/min].

Q = débit volume [m³/s] pour 1 étage.

H = Hauteur totale d'élévation [m].

Toutes les pompes semblables ont la même vitesse spécifique.

II - 5. Chute dépression dans la roue NPSHR

Le schéma ci-dessous représente la variation de la vitesse et de la pression du liquide dans la traversée d'une pompe centrifuge.[2]

On observe une chute de pression dans la pompe dont la valeur est définie comme étant le NPSHR.[2]

Cette valeur est une caractéristique de la pompe et dépend du débit. Elle est fournie par le constructeur sous forme de courbe (voir courbes ci-avant).[3]

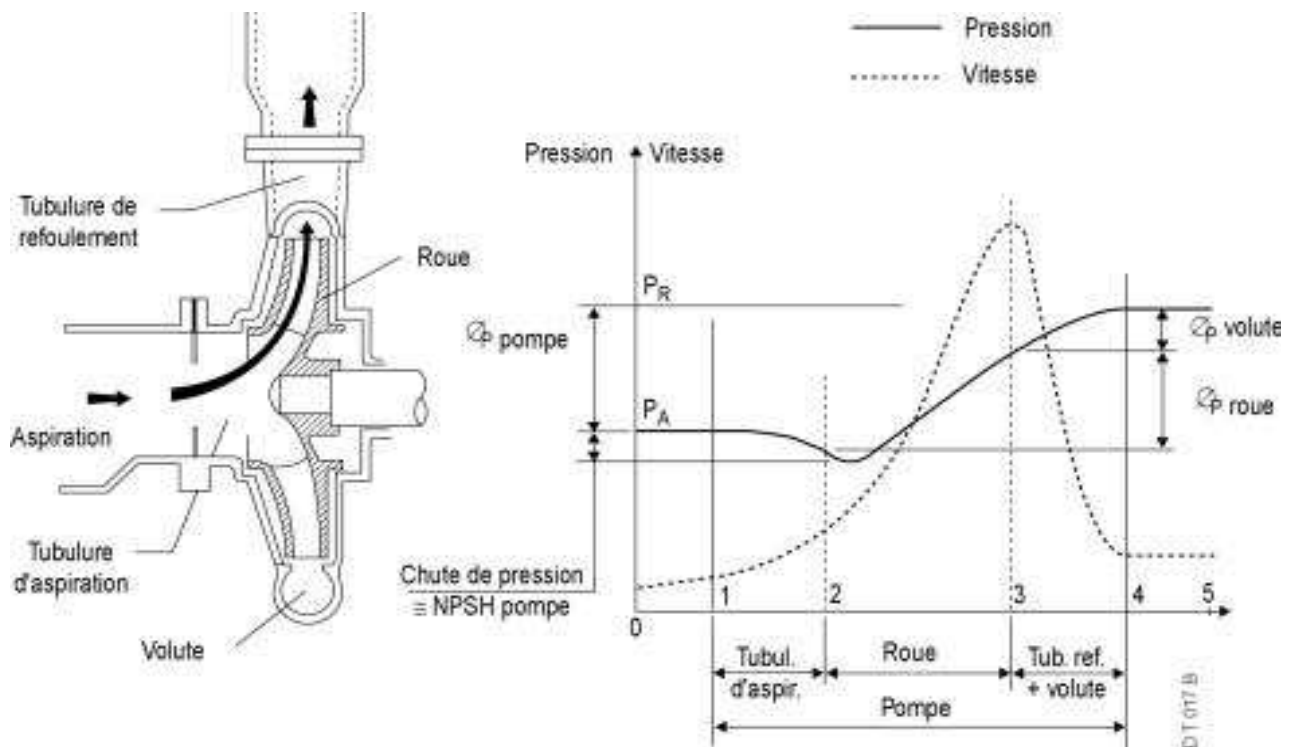


Figure II.5. Le schéma ci-dessous montre l'évolution de la vitesse et de la pression dans la pompe.

Du schéma ci-avant on peut noter que :

- la vitesse à l'entrée de la pompe est de l'ordre de 1 m/s à 2 m/s, la vitesse à la sortie autour de 3 à 7 m/s.
- la vitesse en sortie de roue est de l'ordre de grandeur de la vitesse périphérique c'est-à-dire entre 20 et 50 m/s.
- la pression d'aspiration dépend de l'installation.
- la **volute**, comportant une section de passage croissante, permet un ralentissement du liquide et la transformation de l'énergie de vitesse en énergie de pression (ce gain de pression constitue une part importante de la pression totale fournie par la pompe).
- la mise en vitesse, les pertes de charge dans la tubulure d'aspiration et les chocs du liquide contre les aubages occasionnent une chute de pression à l'entrée de la roue. Cette chute de pression, exprimée en mètre de liquide, est appelée le **NPSH** de la pompe ou NPSH requis.[2]

II - 6. Phénomène de cavitation

II-6-1. La tension de vapeur

A chaque température tous les liquides ont une pression d'ébullition bien déterminée dite tension de vapeur (T_v OU P_v).[5]

- Si la pression en un point du liquide devient inférieure à la pression de vapeur, ce liquide entre en ébullition et se vaporise jusqu'au rétablissement de cette pression.
- Si elle ne peut être atteinte tout le liquide se vaporise (Ex ; H_2O à $20^\circ C$ $T_v=0,02m$)

II-6-2. Energie totale

En un point quelconque du liquide en mouvements; l'énergie totale référencée à un plan Horizontal comprend.[5]

- La pression (P), l'énergie de vitesse ($V^2/2$) et la hauteur géométrique(ΔZ). Alors, cette énergie totale exprimée par la Relation de BERNOULLIE devient :

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + \Delta Z = C^{te}$$

II-6-3. Cavitation

Considérons une pompe centrifuge en fonctionnement dans certains points à l'entrée de l'impulser, la pression absolue baisse et provoque une chute d'énergie totale. Alors, au cas où cette baisse de pression absolue atteint une valeur minimale (c.à.d. égale à la T_v) à la température ambiante. A cet endroit du courant liquide se produit une évaporation et un dégagement intense de gaz (l'ébullition locale du liquide) causée par la diminution locale de la pression s'appelle cavitation.[4]

Dans la zone ou la pression est élevée les bulles de gaz reprennent brusquement leurs états liquides dont le volume (de la roue) est beaucoup plus inférieur à celui des bulles.

Le liquide qui se dirige de tous les côtés pour occuper le vide, produit des implosions et ce qu'on appelle les coups de bélier (les milliers d'implosions microscopiques provoquent les ondes vibratoires qui rentrent en chocs; qui à leur tour érodent et déséquilibrent la pompe menant à sa destruction).[4]

La cavitation est aussi bruyante et destructive comme si l'on introduisait des cailloux dans le liquide pompé.[5]

II-6-4. La cavitation peut être évitée par les mesures suivantes

- Limitation du débit.
- Diminuer les pertes de charges dans la conduite d'aspiration.
- Augmenter la pression dans le réservoir d'aspiration.
- Installer une hélice à l'entrée de la pompe.
- Diminuer la température du liquide.
- $NPSH_{dispo} > NPSH_{requis}$. [5]

II - 7. Conclusion

La hauteur manométrique totale d'une pompe (HMT), ou élévation manométrique totale (EMT), est la différence de pression du liquide la franchissant, exprimée en mètres. [1]

La pression obtenue lorsque la pompe fonctionne à débit nul est la pression maximale à laquelle le circuit aval puisse être soumis et constitue un paramètre de dimensionnement très important pour toute l'installation aval. [1]

La courbe caractéristique d'une pompe dépend, pour un corps de pompe donné, de la dimension du diamètre extérieur de la roue. Les fournisseurs proposent en général des abaques définis dans le plan (Q, h), qui présentent les diverses courbes obtenues pour des diamètres variables de l'impulseur, ainsi que le rendement de la machine en ces points, et, parfois la puissance à l'arbre. [8]

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 s'agit de cavitation qui endommage le corps de pompe tout en réduisant le rendement. [2]

III - 1. Introduction

Pour atteindre une fiabilité acceptable (3 ans de marche continue pour une pompe de raffinerie, 6 à 10 ans pour une pompe à eau) les constructeurs doivent utiliser des solutions technologiques sûres mais économiques tant en investissement qu'en exploitation.[6]

Tous les rotors de pompe centrifuge sont soumis à des forces mécaniques ou hydrauliques reprises par les paliers et la butée. Plus ces forces sont grandes, plus la durée de vie est faible. La réduction des forces permet de minimiser la dimension des rotors et des paliers-butée.[2]

III - 2. Forces mécaniques

Les principales forces mécaniques que subit un rotor de pompe sont:

- Les forces de transmissions (normales liées à la puissance à passer et anormales consécutives à un défaut d'alignement).
- Le balourd (déséquilibre de la roue ou de l'accouplement).
- Les défauts géométriques du rotor et des paliers.

De ces forces, certaines sont inhérentes à la machine (transmission), d'autres sont liées à la construction de la machine (faux-rond de l'arbre ou défaut de concentricité des paliers), d'autres sont liées à l'entretien (balourd, alignement des arbres). Aucune disposition particulière n'est prise par le constructeur pour minimiser ces forces. La qualité de fabrication et d'entretien doivent éviter des surcharges anormales sur les paliers et la butée.[2]

III - 3. Forces hydrauliques

La pression du liquide agit de deux manières principales sur la ou les roues la poussée axiale.[2]

III -4-1. Poussée axiale

Les forces qui résultent de l'action des pressions sur les flasques avant et arrière de section différente d'une roue donnent naissance à une poussée axiale généralement dirigée vers l'aspiration (à la quantité de mouvement près, souvent négligeable). Cette poussée est évidemment nulle pour une roue symétrique à double flux.[8]

Pour éviter de faire appel à des mécaniques importantes, la poussée axiale est réduite par un des moyens suivants:

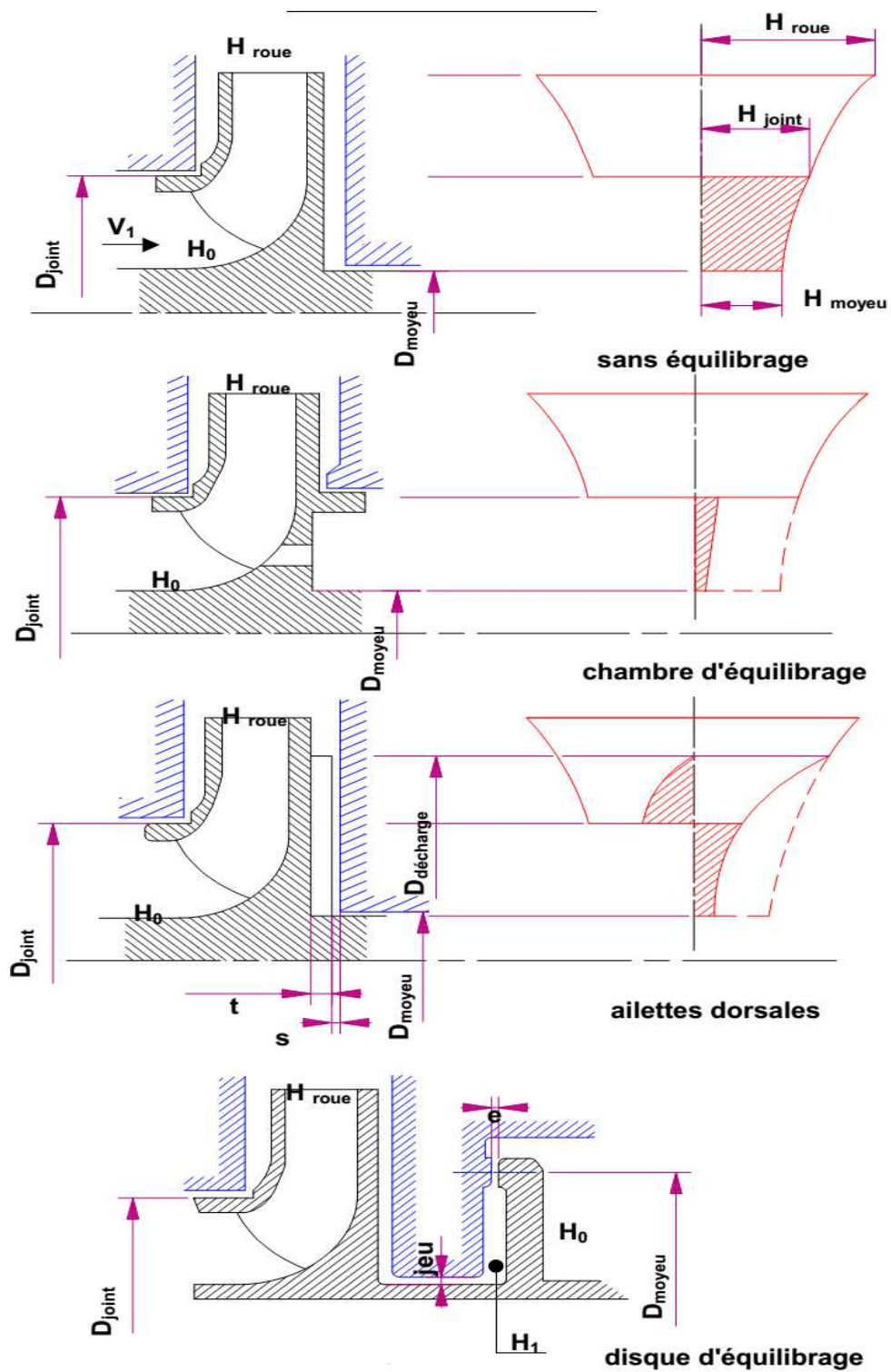


Figure III.1. Poussée axiale

III -4-2. Poussée radiale

Cette poussée, perpendiculaire à l'axe, résulte d'une mauvaise répartition de la pression autour de la roue dans les pompes à volute.[8]

La poussée radiale conserve une direction fixe, change de sens autour du débit nominal, en s'annulant pour ce dernier.

Elle entraîne un fléchissement de l'arbre et le soumet à une flexion rotative souvent à l'origine de rupture catastrophique par phénomène de fatigue.

Les constructeurs de pompes fixent, en conséquence, une valeur limite du débit en-dessous duquel la durée de vie de la pompe est réduite. Des vibrations et des difficultés d'entretien des systèmes d'étanchéité peuvent également apparaître pour un fonctionnement à débit réduit.[2]

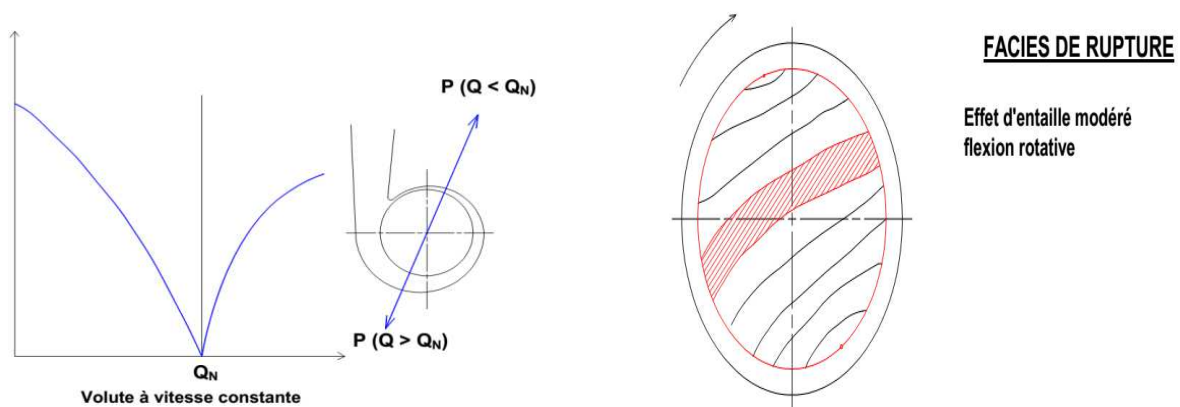


Figure III.2. Poussée radiale

III - 4. Fonction d'une étanchéité

L'intérieur de la pompe contient du liquide sous pression qui peut donc fuir vers l'atmosphère le long de l'arbre. Cette fuite est dangereuse dans le cas de gaz liquéfiés, de produits chauds ou toxiques. Elle peut en outre poser les problèmes d'environnement.[7]

Il y a donc nécessité de réduire ou d'éliminer cette fuite au moyen d'une garniture d'étanchéité qui peut être, soit une garniture à tresses, soit une garniture mécanique. Cette dernière solution est actuellement la plus répandue notamment sur les produits dangereux (hydrocarbures, acides, bases, produits toxiques, . . .).[7]

III -4-1. Garniture à tresse

L'étanchéité est réalisée par des anneaux de tresse frottant directement sur l'arbre ou sur une chemise d'arbre. Les tresses sont extrudées ou tissées avec des matériaux choisis en fonction des conditions de service et de la nature des liquides à véhiculer (graphite, matière synthétique).

Une lubrification est toujours nécessaire, elle est souvent réalisée avec le liquide pompé. Une fuite goutte à goutte est alors observée.

Un soin tout particulier doit être apporté à la première mise en service de la pompe pour assurer un rodage correct de la garniture, indispensable à sa bonne tenue dans le temps.

Durant les premiers temps de fonctionnement, la fuite doit être abondante, et la garniture ne doit pas s'échauffer anormalement. Sinon, la pompe doit être arrêtée, et n'être remise en marche qu'après refroidissement complet. Le desserrage d'un presse-étoupe n'est efficace qu'à l'arrêt, et sans pression.

Les pompes comportant une garniture à tresse soumise au "vide" doivent obligatoirement être alimentées par un liquide de barrage sous une pression suffisante pour interdire une entrée d'air susceptible de provoquer le désamorçage.[8]

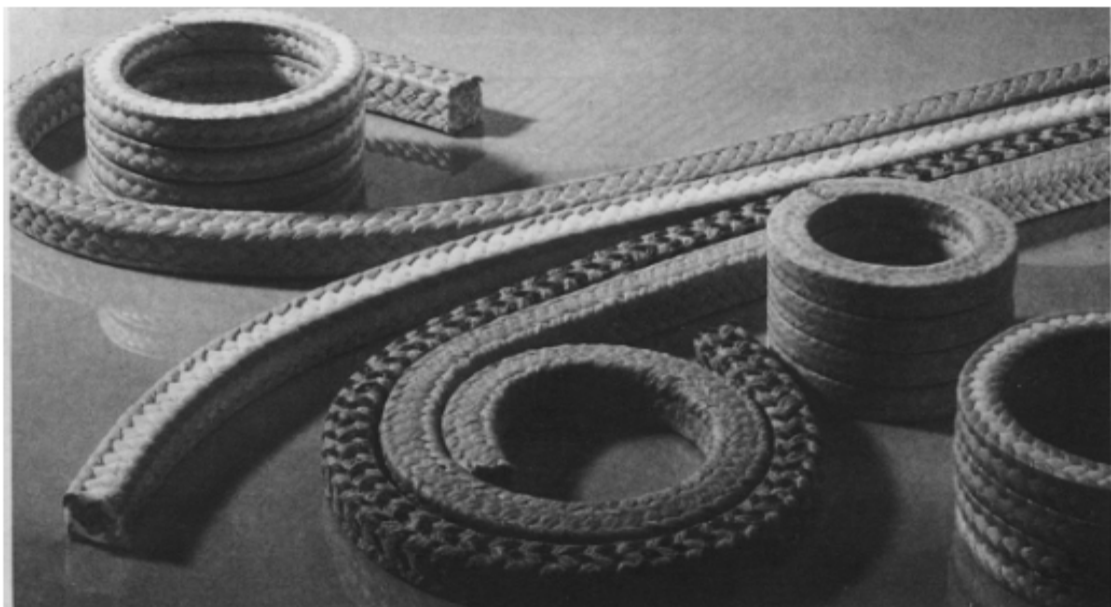


Figure III.3. Garniture à tresse

III -4-2. Garniture mécanique

L'étanchéité est réalisée par le frottement de deux surfaces optiquement planes l'une sur l'autre. Les binômes de frottement les plus couramment utilisés sont : graphite / acier inoxydable, graphite /céramique ou alumine, carbure / carbure. Le liquide à étancher lubrifie et limite l'échauffement des faces de frottement. Une légère fuite est souvent perceptible, surtout avec les liquides peu volatils.[3]

Avec les liquides abrasifs ou dangereux, une garniture double est employée ; la lubrification est alors assurée par un liquide de barrage circulant entre les garnitures.

Un réchauffage ou un refroidissement du logement de la garniture est nécessaire dans le cas de liquides cristallisants ou bouillants.[8]



Figure III.4. Garniture simple



Figure III.5. Garniture double



Figure III.6. Garniture cartouche

III - 5. Conclusion

Les forces qui résultent de l'action des pressions sur les flasques avant et arrière de section différente d'une roue donnent naissance à une poussée axiale généralement dirigée vers l'aspiration (à la quantité de mouvement près, souvent négligeable).[2]

La poussée radiale perpendiculaire à l'axe, résulte d'une mauvaise répartition de la pression autour de la roue dans les pompes à volute.[3]

Le liquide d'arrosage est généralement le produit pompé lui-même. Il est prélevé au refoulement de la pompe et envoyé vers la garniture, soit par une tuyauterie extérieure, soit par un canal interne au corps de garniture.

Dans certains cas (produits chauds, liquide chargé en particules solides), on peut être amené à refroidir ou à filtrer le liquide d'arrosage ou à utiliser un fluide auxiliaire différent du produit pompé.[8]

Il est souvent prévu derrière la garniture, une injection destinée à réduire l'effet de la fuite (dilution, baisse de température, étouffement, . . .). Le fluide utilisé appelé "quench" peut être de l'eau ou de la vapeur d'eau.[3]

Lorsque les systèmes d'étanchéité posent trop de problèmes ou sont inadaptés, on peut utiliser, sous certaines conditions, des pompes sans garniture (pompe à rotor noyé, pompe à entraînement magnétique). [7]

Conclusion générale

Une pompe centrifuge est une machine rotative qui pompe un liquide en le forçant au travers d'une roue à aube ou d'une hélice appelée impulseur (souvent nommée improprement turbine). C'est le type de pompe industrielle le plus commun. Par l'effet de la rotation de l'impulseur, le fluide pompé est aspiré axialement dans la pompe, puis accéléré radialement, et enfin refoulé tangentiellement.[9]

On trouve une Influence de la vitesse de rotation du moteur Si la vitesse de la pompe change mais que les autres conditions du système restent identiques, la consommation d'énergie P évolue au cube de la vitesse n . [3]

La courbe caractéristique d'une pompe dépend, pour un corps de pompe donné, de la dimension du diamètre extérieur de la roue. Les fournisseurs proposent en général des abaques définis dans le plan (Q, h) , qui présentent les diverses courbes obtenues pour des diamètres variables de l'impulseur, ainsi que le rendement de la machine en ces points, et, parfois la puissance à l'arbre.[8]

Cependant, comme toutes les machines, elles font l'objet de problèmes qui doivent être bien revus avant d'avoir recours à leur utilisation.

Les efforts exercés sur l'arbre d'une machine centrifuge doivent être suffisamment symétriques pour ne pas trop solliciter les paliers. Des forces asymétriques sont cause de vibrations, et provoquent l'usure accélérée de la machine.

Le domaine d'utilisation des machines centrifuges est extrêmement vaste et couvre les extrêmes suivants :

Débits : de 0,001 à 60 m³/s, Hauteurs de 1 à 5 000 m, Vitesses de rotation 200 à 30 000 tr/min.[10]

D'une manière générale, le nombre de tours spécifiques peut servir qualitativement à distinguer des différents design de pompes, sachant que seul son fabricant, à la suite d'essais de type et même des essais effectués sur l'appareil particulier, est en mesure de confirmer les performances particulières de telle ou telle machine.

Un nombre de tours spécifiques élevé est caractéristique d'un fort débit sous faible hauteur, alors qu'un nombre de tours spécifique faible définit un faible débit sous forte hauteur.

Les pompes centrifuges forment des dispositifs robustes. À caractéristiques égales, elles présentent souvent un meilleur rendement, et un fonctionnement plus régulier, sont plus fiables et moins bruyantes que les machines alternatives. Elles sont davantage compatibles avec l'utilisation de fluides chargés de particules solides. Enfin, leur plus grande simplicité mécanique a tendance à les rendre meilleur marché.

C'est pourquoi ce type de machine est très largement utilisé, notamment dans l'adduction d'eau, le transport d'hydrocarbures, l'industrie chimique, etc.. .

Enfin, on constate que ce type de pompe est pratique pour le fonctionnement des usines industrielles . il est très répondu grâce à son rendement , la faible consommation de puissance , la simplicité mécanique et la fiabilité.

Bibliographique Référence

- [1]. "Les Pompes", TOTAL Manuel de Formation : EXP-PR-EQ070 Révision 0.1, Dernière Révision : 13/04/2007.
- [2]. TECHNOLOGIE ET FONCTIONNEMENT DES POMPES CENTRIFUGES: ENSPM Formation Industrie - IFP Training: 2005
- [3]. TECHNOLOGIE ET FONCTIONNEMENT DES POMPES CENTRIFUGES: ENSPM Formation Industrie: 2000
- [4]. VINCENT POMÉRO et DOMINIQUE BONNEAU, "Le phénomène de Cavitation", Laboratoire de Biomécanique-ENSAM, Paris et CHU Carémeau Nimes, 8 Décembre 2002.
- [5]. JEAN-FRANCOIS LAPRAY ,Techniques de l'Ingénieur, traité Génie. mécanique/ Pompes centrifuges, hélico-centrifuges et axiales : cavitation, PARIS.
- [6]. FLOWSERVE: 01-HYDRAULIQUE-DE-BASE-2004-01
- [7]. FLOWSERVE: 03-ETANCHEITE-PE-DES POMPES1- mercredi 13 octobre 2004
- [8]. FLOWSERVE: Introduction Pompes Centrifuges Février 2002
- [9]. GROUPEMENT «INSTITUT ALGERIEN DU PETROLE, CORPORATE UNIVERSITY» Site: IAP-CU Skikda du 27 au 31 mai 2006 Animé par: A. BOULAININE
- [10]. www.wikipedia.com pompe centrifuge

Résumé

L'importance de la remonte de fluide (eau) dans la vie quotidienne dans tous les domaines nécessite d'un équipement plus spécial , permet ces équipements la pompes centrifuge.

Dans cette étude on va étudier la technologie et fonctionnement des pompes centrifuges. Pour prendre une vu plus précis sur ce type des équipements.

ملخص

أهمية السوائل (الظهر الماء) في الحياة اليومية في جميع المجالات يتطلب معدات خاصة مثل المعدات مضخات الطرد المركزي المسموح بها .
في هذه الدراسة سوف ندرس التكنولوجيا وتشغيل مضخات الطرد المركزي .لجعل وجهة نظر أكثر دقة عن هذا النوع من المعدات.

Summary

The importance of back fluid (water) in everyday life in all areas requires a special equipment, such equipment allowed centrifugal pumps.

In this study we will examine the technology and operation of centrifugal pumps. To make a more precise view on this type of equipment.