



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Entrez votre département

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Construction Mécanique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
Othmane Nesrine
Rahal Issam

Le :

Conception d'une pompe centrifuge équipée d'aubes mobiles utilisant SolidWorks

Jury :

| | | | | |
|----|---------------|-----|----------------------|------------|
| M. | M.Benmachiche | MCA | Université de Biskra | Président |
| M. | A .Benarfaoui | MCA | Université de Biskra | Examineur |
| M. | N. Chouchane | MCA | Université de Biskra | Rapporteur |

Année universitaire : 2023 - 2024

Remerciement

Nous remercions tout d'abord notre Dieu qui nous a donné la force et la puissance pour terminer ce modeste travail.

Tous nos remerciements à notre Encadreur
Mr : Chouchane Nacer qui a accepté de suivre cette étude et qui nous a guidé à réaliser ce travail,
Nous tiendrons aussi à remercier tous les enseignants de Département génie mécanique qui ont contribué de près ou de loin à

Notre formation durant tout cursus universitaire.
Enfin, nous ne pouvons pas mentionner tous ceux qui ont contribué
Dépris ou de loin à l'élaboration de ce travail, que tous ceux qui
Nous ont aidé d'un simple encouragement trouvent ici l'expression de
Notre connaissance la plus sincère

Merci

اهداء

الحمد لله أولا و دائما

لغالييتي التي سهل الله لي الشدائد بدعواتها عظيمة والدتي حفظها الله

من كل عرق جبينه و علمني ان نجاحلا يأتي الا بالصبر و الاصرار حبيبي والذي حفظه الله .

الي سندي و مسندي

ضلعياالثابت من شددت عضدي بهم الى خيرة ايامي و قره عيني اخوتي " حنان مريم يسمينا لجين "

نسرين

إهداء

إلهي لا يطيب الليل إلا بشكرك، ولا يطيب النهار إلا بطاعتك.

ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك، ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك.

ولا تطيب الجنة إلا برؤيتك الله جل جلاله

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة، ونصح الأمة، إلى نبي الرحمة ونور العالمين

سيدنا محمد صل الله عليه وسلم

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار، إلى من علمني العطاء بدون انتظار، إلى من

أحمل اسمه بكل افتخار، أرجو من الله إن يرحمه وستبقى

كلماته نجوم نمتدي بها اليوم وفي الغد

والدي العزيز _ رحمه الله

إلى ملاكي في الحياة، إلى معنى الحب وإلى معنى الحنان والتفاني، إلى بسمة

الحياة وسر الوجود

إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي إلى أغلى الحبيبة

والدتي الحبيبة

إلى منارة العلم والعلماء إلى الصرح الشامخ

إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم والمعرفة

أساتدتنا الأفاضل

Table des matières

Introduction générale

| | |
|------------------------------------|---|
| Introduction générale | 1 |
|------------------------------------|---|

CHAPITRE I

Généralités sur la pompe centrifuge

| | |
|---|----|
| I. Définition | 2 |
| I. 1. Historique | 4 |
| I. 2. Classification des pompes | 6 |
| I. 3. Construction | 7 |
| I. 3.1. La roue | 7 |
| I. 3.2 Collecteur (volute) | 8 |
| I. 3.3. Le diffuseur | 9 |
| I. 3.4 Le divergent | 9 |
| I. 4. Principe de fonctionnement de la pompe centrifuge | 10 |
| I. 4.1. L'accélération | 10 |
| I. 4.2. Le refoulement | 10 |
| I. 5. Principales caractéristique d'une pompe centrifuge | 10 |
| I. 5.1. Dimensions principales | 10 |
| I. 5.2. Théorie des pompes centrifuges | 11 |
| I. 5.2.1. Triangles des vitesses et angles caractéristique | 11 |
| I. 5.2.1.1. Le triangle des vitesses | 12 |
| I. 5.2.1.2. Les angles | 12 |
| I. 5.3. Les courbe caractéristique | 13 |
| I. 5.3.1. Hauteur théorique | 13 |
| I. 5.3.2. Hauteur réelle : H_{mt} – Débit | 15 |
| I. 5.3.3. Caractéristiques rendement, Puissance – Débit | 16 |

| | |
|---|----|
| I. 5.3.4. Caractéristique : NPSH – Débit..... | 18 |
| I. .6. Conclusion..... | 19 |

CHAPITRE II

Généralités sur la pompe centrifuge

| | |
|---|----|
| II. Définition | 20 |
| II. 1. Les régimes de cavitation | 21 |
| II. 2. Situations d'apparition et de développement de la cavitation | 22 |
| II. 3. Conséquences de la cavitation..... | 23 |
| II. 3.1. Le bruit | 23 |
| II. 3.2. L'érosion | 24 |
| II. 3.3. Les chute des performances | 24 |
| II. 4. Applications de la cavitation | 24 |
| II. 5. Les différents types de cavitation | 25 |
| II. 5.1. Cavitation à bulles séparées | 25 |
| II. 5.2. Cavitation à poches | 26 |
| II. 5.3. Cavitation à lames | 26 |
| II. 5.4. Cavitation de vortex | 27 |
| II. 5.5. Cavitation de mélange..... | 28 |
| II. 6. Hauteur d'aspiration admissible : la charge absolue nette à l'aspiration..... | 28 |
| II. 7. Les courbes caractéristiques..... | 30 |
| II. 7.1. La charge minimale requise à l'entrée de la pompe ($NPSH_{requis}$)..... | 30 |
| II. 7.2. La charge nette positive à l'aspiration (NPSH) Pour une installation en charge et en dépression..... | 31 |
| II. 8. Conclusion..... | 32 |

CHAPITRE III

Étude analytique

| | |
|--|----|
| III. 1. Théories générales | 34 |
| III. 1.2. Conservation de la masse | 34 |
| III. 1.3. Conservation de la quantité de mouvement | 35 |
| III. 2. Diagrammes des vitesses | 36 |
| III. 3. Théorème d'Euler | 38 |
| III. 4. Caractéristiques de la pompe centrifuge « N32-125 » | 39 |

CHAPITRE III

Conception des composants de la pompe centrifuge

| | |
|---|----|
| IV. Introduction à SolidWorks | 42 |
| IV. 1. Présentation de logiciel de conception SOLIDWORKS | 42 |
| IV. 2. Conception des composants de la pompe | 43 |
| ➤ Conception de la roue | 43 |
| ➤ Corps de la pompe | 43 |
| ➤ Conception de l'arbre | 44 |
| ➤ Conception de la accouplement d'entraînement..... | 44 |
| ➤ Conception de la moyeu de manchon..... | 45 |
| ➤ Conception de la couvercle du palier..... | 45 |
| ➤ Conception de la couplage de pompe..... | 46 |
| ➤ Conception de la Presse-etoupe | 46 |
| ➤ Conception de la Support de la pompe..... | 47 |
| ➤ Conception de la chambre à joint..... | 48 |
| ➤ Conception de couvercle de protection | 48 |
| ➤ Conception de anneau de lanterne | 49 |
| ➤ Conception de ensemble..... | 49 |

| | |
|---|---------------|
| ➤ Conception de anneau..... | 49 |
| ➤ Conception de soutien..... | 50 |
| IV. 3. conception de la partie supplémentaire | 50 |
| ➤ conception de cylindre (pièce 01)..... | 50 |
| ➤ Le cylindre (Pièce02)..... | 51 |
| ➤ Aube mobile (pièce 03)..... | 51 |
| ➤ Levier (pièce 04)..... | 52 |
| ➤ Tige avec embout fileté (pièce 05) | 52 |
| IV. 4. Assemblage..... | 52 |
| IV. 4.1. Assemblage de la partie supplémentaire | 52 |
| IV. 4.2. Assemblage de la pompe après la modification | 52 |
| IV. 5. Conclusion | 54 |
| Conclusion générale | 55 |
| Références Bibliographiques..... | 56 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| FigureI-1 : Il lustration d'une roue à godets chinoise..... | 4 |
| FigureI-2 : La roue à eau de JACOB LEUPOLD..... | 5 |
| FigureI-3 : Pompe d'ARCHIMEDE..... | 5 |
| Figure I-4: Classification des pompe..... | 6 |
| Figure I-5: Schéma d'une pompe centrifuge. | 7 |
| Figure I-6 : Schéma d'une roue centrifuge..... | 8 |
| Figure I-7: Photo d'une volute..... | 8 |
| Figure I-8: Dimensions d'une roue. | 11 |
| Figure I-9 : Types de roues de pompes centrifuges en fonction de lavitesse spécifique, n_q . Les corps de pompe mono étagés ne sont pasreprésentés..... | 11 |
| Figure I-10 : Triangle de vitesse d'une roue de pompe centrifuge. | 11 |
| Figure I-11 : Triangles des vitesses à l'entrée (a) et à la sortie (b) de la roue..... | 12 |
| Figure I.12 : Hauteur théorique en fonction de débit selon le signe de β_2 | 15 |
| Figure 1-13 : Hauteur réelle d'une pompe centrifuge..... | 15 |
| Figure I-14: Courbe caractéristique hauteur en fonction du débit | 16 |
| Figure 1-15 : Courbes caractéristiques : Hauteur, rendement et puissance absorbée en Fonction de débit..... | 17 |
| Figure I-16 :Courbes caractéristiques de $NPSH_{requis\&disp}$ en fonction de débit..... | 19 |
| Figure II-1 : Diagramme de phase de l'eau ; indiquant pour une diminution de pression pour une température ambiante constante se produira le phénomène de cavitation..... | 21 |
| Figure II -2 : cavitation à bulles sur un profil d'aile..... | 25 |
| Figure II-4 : Cavitation à poches sur une roue de pompe..... | 26 |

| | |
|---|----|
| Figure II-5 : Cavitation à poches sur un entrefer de roue..... | 26 |
| Figure II-6 : cavitation à lames sur une pale d'hélice..... | 27 |
| Figure II-7 : cavitation d'extrémité de pale d'hélic..... | 27 |
| Figure II-8 : tourbillons cavitants en aval d'un obstacle..... | 28 |
| Figure II-9 : cavitation de mélange en aval d'une vanne papillon..... | 28 |
| Figure II-10. Illustration graphique de la charge requise à l'entrée de la pompe..... | 30 |
| Figure II-11. Interprétation géométrique de la condition non cavitation..... | 31 |
| Figure II-12. Installation d'une pompe en charge..... | 31 |
| Figure II-13. Installation d'une pompe en dépression (aspiration) | 32 |
| Figure III.1 : Volume de contrôle..... | 35 |
| Figure III.2 : Rotor schématique..... | 36 |
| Figure III.3 : Diagrammes des vitesses sur une roue à entrée radiale..... | 37 |
| Figure III.4 : Triangle des vitesses à la sortie d'une turbomachine radiale..... | 37 |
| Figure III.5 : Triangle des vitesses à l'entrée d'une turbomachine radiale..... | 38 |
| Figure III.6 : Composante de vitesse utilisée pour calculer le moment angulaire..... | 38 |
| Figure IV .1.La roue-Esquisse..... | 43 |
| Figure IV.2.La roue-Modèle 3D..... | 43 |
| Figure IV .3. . Corps de la pompe –Esquisse..... | 43 |
| Figure IV.4. Casse de pompe-Modèle-3D..... | 43 |
| Figure IV .5. Arbre –Esquisse..... | 44 |
| Figure IV.6.Arbre roue-Modèle 3D..... | 44 |
| Figure IV .7. accouplement d'entraînement–Esquisse..... | 44 |
| Figure IV.8. accouplement d'entraînement-Modèle 3D..... | 44 |

| | |
|---|----|
| Figure IV .9. Couplage –Esquisse | 45 |
| Figure IV.10.Couplage de pompe- Modèle 3D..... | 45 |
| Figure IV.11. Couvercle de palier–Esquiss..... | 45 |
| Figure IV.12.Couvercle de palier – Modèle 3D..... | 45 |
| Figure IV .13. Pump Coupling –Esquisse..... | 46 |
| Figure IV.14. Pump Coupling –Modèle3D..... | 46 |
| Figure IV .15. Presse-étoupe-Esquisse..... | 46 |
| Figure IV.16.Presse-étoupe-Modèle 3D..... | 46 |
| Figure IV.17. Support de la pompe-Esquisse..... | 47 |
| Figure IV.18 .Support de la pompe Modèle-3D..... | 47 |
| Figure IV.19. Roulement-Esquisse..... | 47 |
| Figure IV.20. RoulementModèle-3D..... | 47 |
| Figure IV.21.Chambre -Esquisse..... | 48 |
| Figure IV.22. Chambre Modèle3D..... | 48 |
| Figure IV.23. Couvercle de protection-Esquisse..... | 48 |
| Figure IV.24.Couvercle de protection Modèle3D..... | 48 |
| Figure IV.29.Anneau lanterne -Esquisse..... | 49 |
| Figure IV.30.Anneau lantern–Modèle3D..... | 49 |
| Figure IV.30.Ensemble -Esquisse..... | 49 |
| Figure IV.31. Ensemble Modèle3D..... | 49 |
| Figure IV.32 Anneau-11-Esquisse..... | 49 |
| Figure IV.33. Anneau-11Modèle3D..... | 49 |

| | |
|--|----|
| Figure IV.34.Soutien-Esquisse..... | 50 |
| Figure IV.35. Soutien -Modèle3D..... | 50 |
| Figure IV.36. Assemblage de la partie supplémentaire..... | 50 |
| Figure IV.33. Pièce 01 –Esquisse..... | 51 |
| Figure IV.34. Pièce 01 –Modèle3D..... | 51 |
| Figure IV.35. Pièce 02 -Esquisse. | 51 |
| Figure IV.36. Pièce 02 –Modèle3D..... | 51 |
| Figure IV.37. Pièce 03 -Esquisse..... | 51 |
| Figure IV.38. Pièce 03 –Modèle3D..... | 51 |
| Figure IV.39. Pièce 04 -Esquisse..... | 52 |
| Figure IV.40. Pièce 04 –Modèle3D..... | 52 |
| Figure IV.41. Pièce 05 -Esquisse..... | 52 |
| Figure IV.42. Pièce 05–Modèle3D..... | 52 |
| Figure IV.45. Assemblage la partie supplémentaire | 53 |
| Figure IV.45. Assemblage de la pompe après la modification | 54 |

Symboles Et Abréviation

| | |
|---|--------------|
| b: largeur | [m] |
| D : diamètre de la roue | [m] |
| N : Vitesse de rotation | [tr/min] |
| C : Vitesse absolue | [m/s] |
| U : Vitesse d'entraînement | [m/s] |
| W : Vitesse relative | [m/s] |
| P : Puissance de la pompe | [W] |
| P_u : Puissance mécanique absorbée | [W] |
| β : Angle relatif de la direction de l'écoulement | [°] |
| $\eta_{mécanique}$: Rendement mécanique | [%] |
| $\eta_{hydraulique}$ Rendement hydraulique | [%] |
| $\eta_{volumétrique}$ Rendement volumétrique | [%] |
| $\eta_{globale}$: Rendement globale | [%] |

Introduction générale

Introduction générale :

Les pompes centrifuges sont l'un des types de pompes les plus répandus et les plus utilisés dans l'industrie et les différentes applications de génie mécanique. Ces pompes fonctionnent sur le principe de la force centrifuge pour élever les fluides à de grandes hauteurs. La pompe centrifuge se compose de plusieurs composants principaux, dont le plus important est la roue (la roue) qui joue un rôle essentiel dans le processus de pompage.

Lors de la rotation à grande vitesse de la roue, des forces centrifuges se créent, poussant le fluide du centre de la roue vers l'extérieur, ce qui entraîne l'élévation du fluide à l'intérieur de la pompe. Cependant, la pression peut chuter dans certaines zones à l'intérieur de la roue à un niveau permettant la formation de bulles de vapeur du fluide, c'est ce qu'on appelle le phénomène de la cavitation.

Ce phénomène se produit en raison de la différence du débit vectoriel de la pompe, entraînant des variations de pression à l'intérieur de la roue. L'implosion de ces bulles peut causer des dommages aux composants de la pompe, entraînant un bruit désagréable et une baisse du rendement.

À travers ce mémoire de fin d'études, nous allons étudier en détail le phénomène de cavitation dans les pompes centrifuges, en analysant ses causes et ses effets sur les performances de la pompe. Nous allons également explorer les solutions possibles pour éliminer ce problème ou en réduire les effets néfastes, en utilisant les techniques et technologies les plus récentes

Afin de structurer notre travail de manière claire et cohérente, nous l'avons divisé en cinq chapitres, chacun abordant des aspects spécifiques du sujet étudié :

- Le Chapitre I offre une introduction générale sur la pompe centrifuge, en mettant en lumière ses éléments constitutifs ainsi que son principe de fonctionnement.
- Le Chapitre II se focalise sur un problème courant rencontré dans les pompes centrifuges, à savoir la cavitation, qui survient en raison de disparités de débit à l'intérieur de la pompe.
- Le Chapitre III est dédié à une étude analytique approfondie, visant à explorer les phénomènes et les paramètres liés au fonctionnement de la pompe centrifuge.
- Le Chapitre IV se concentre sur la conception des composants de la pompe centrifuge et explore la possibilité d'amélioration en ajoutant une aube mobile, réalisée à l'aide de logiciels de modélisation comme SolidWorks.

Chapitre I : Généralités sur la pompe centrifuge

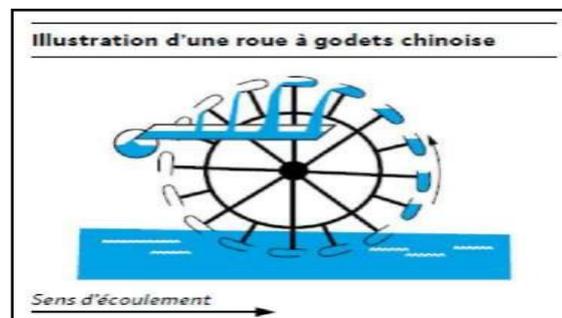
I. Définition

La pompe centrifuge est la machine qui s'utilise pour transporter des liquides grâce à l'énergie qu'elle génère. Généralement, elles sont utilisées pour provoquer l'écoulement d'un liquide. Beaucoup de secteurs industriels utilisent des pompes centrifuges au sein de son procès. Les secteurs qui les utilisent le plus sont l'industrie chimique, l'industrie cosmétique pour la préparation de crèmes ou l'industrie alimentaire pour l'élaboration de tout type de produits.

La performance de la pompe centrifuge est normalement décrite par un ensemble de courbes de performance. Dans ce chapitre, nous donnerons l'intérêt de ces courbes et leurs interprétations [01]

I. 1.Historique

Lorsque nous examinons les pompes et leur histoire, nous pouvons nous rappeler que, depuis les temps les plus anciens, les hommes ont cherché des moyens techniques pour élever les fluides (en particulier l'eau) à un niveau supérieur. Cette opération était utilisée pour irriguer les champs et remplir les douves qui entouraient les villes et les châteaux fortifiés. L'outil le plus simple était la main humaine. Avec deux mains, c'était encore mieux. [02].

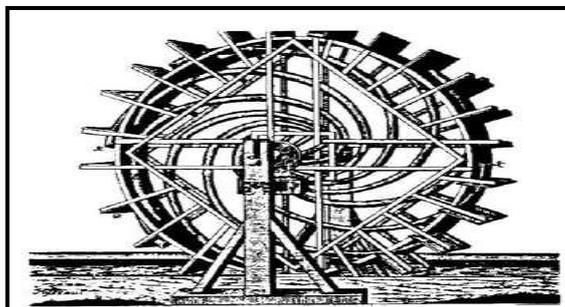


FigureI-1 : Il lustration d'une roue à godets chinoise[02].

Une amélioration ingénieuse de ce concept a été apportée en 1724 par Jakob Le upold (1674-1727) quil'adéveloppée.

La rotation des roues force l'eau à être soulevée par l'axe central de la roue. L'écoulement de l'eau dans la rivière est également la force motrice de ce système de levage.

La forme incurvée du tuyau est particulièrement remarquable. Cette forme est similaire à celle des pompes centrifuges actuelles.

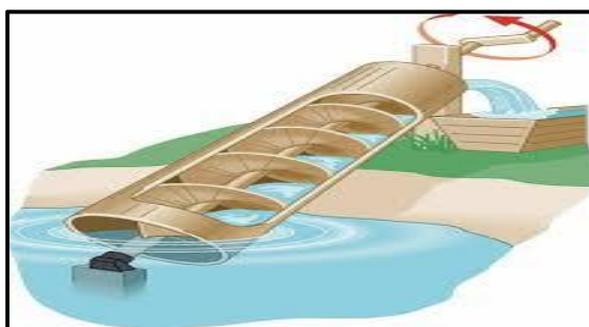


FigureI-2 : La roue à eau de JACOB LEUPOLD[02].

Archimède (287-212 avant JC), un grand mathématicien et scientifique de l'Antiquité, a documenté en 250 avant JC la vis qui portera plus tard son nom. Cette vis permettait de soulever de l'eau en faisant tourner une spirale sans fin dans un tuyau.

Cependant, une fraction de l'eau retombait toujours car on ne disposait pas encore de joint d'étanchéité efficace. Par conséquent, on remarquait une corrélation entre l'inclinaison de la vis et le débit.

Lors de l'utilisation, il est possible de choisir entre un débit plus élevé ou une hauteur de refoulement plus importante. Plus l'inclinaison de la vis est raide, plus la hauteur de refoulement est élevée lorsque le débit diminue.



FigureI-3 : Pompe d'ARCHIMEDE[03].

La mécanisation de la fabrication des pompes a émergé avec l'essor démographique fulgurant de la seconde moitié du XVIIIe siècle. C'est vers la fin de ce

même siècle que l'on peut véritablement parler d'industrialisation de la fabrication et de l'utilisation des pompes

Au XIXe siècle, une autre révolution émerge avec l'avènement de l'énergie électrique. On observe l'émergence de pompes à rotors, de turbines et de pompes centrifuges. Elles ressemblent à celles actuellement en usage, mais les matériaux et les conceptions évoluent en fonction de leur application, afin d'offrir de meilleures performances, des pressions plus élevées et des débits plus importants.

I. 2. Classification des pompes

Il existe plusieurs méthodes pour classer les pompes en fonction de leur usage, de leurs conditions de fonctionnement, des matériaux de construction, etc. L'association professionnelle américaine de l'industrie des pompes, l'Institut hydraulique, a établi une classification des pompes comme illustré sur la figure I.4. Cette classification divise les pompes de la manière suivant [04] :

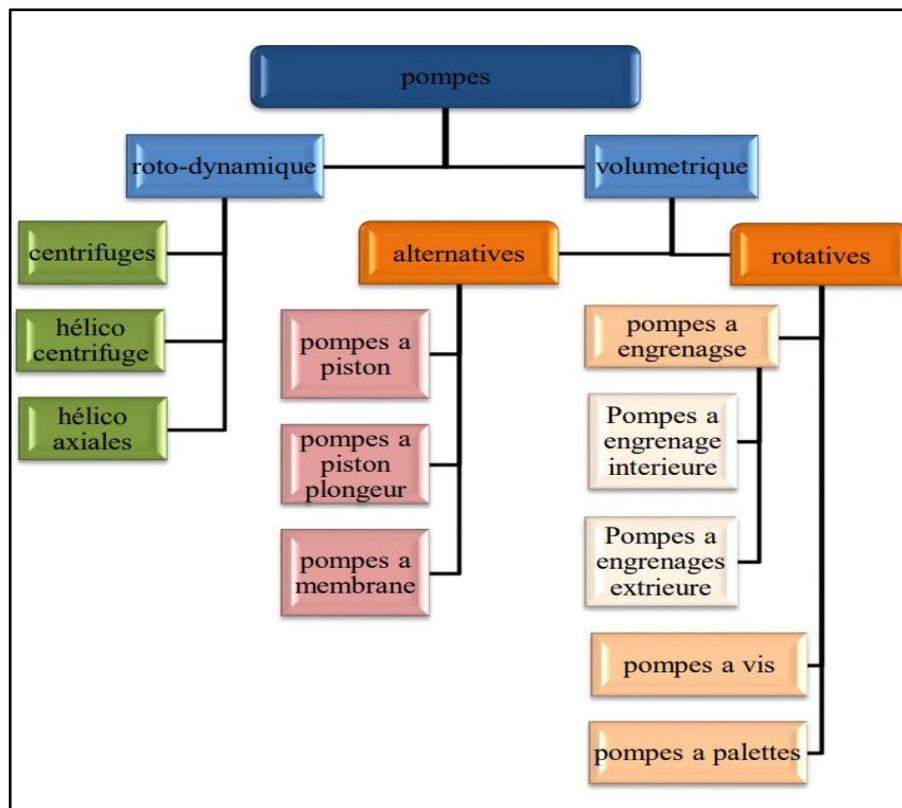


Figure I-4: Classification des pompe[05].

I. 3. Construction

Le schéma illustre les principaux composants d'une pompe centrifuge, notamment l'arbre, la roue, la volute, l'aspiration et le refoulement. Il explique le fonctionnement de base de ce type de pompe mécanique qui utilise la force centrifuge pour transporter un fluide. Ce schéma pédagogique est utilisé pour expliquer la construction et le principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge.

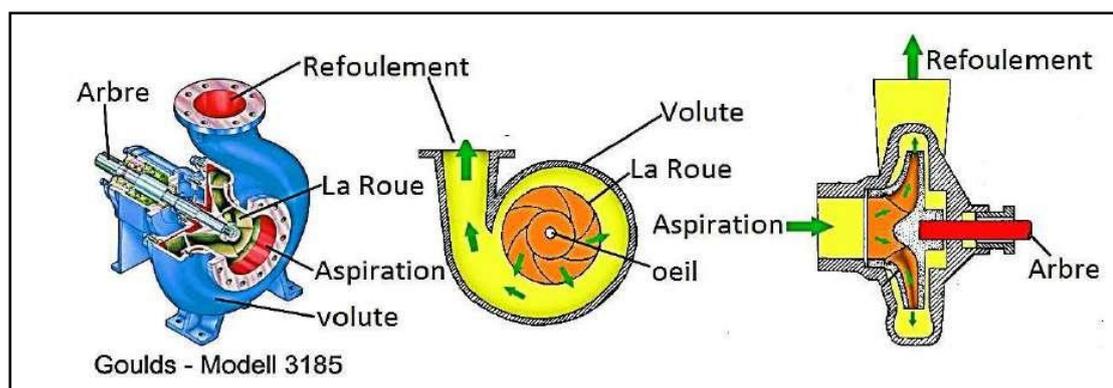


Figure I-5: Schéma d'une pompe centrifuge[06].

I. 3.1 La roue

C'est l'organe essentiel de la pompe, on l'appelle encore turbine, impulseur, rotor, cellule, mobil ou roue, constitué par moyeu porté par arbre et muni d'aubes tournant à l'intérieur de deux coquilles formant le corps de pompe.

Les aubes peuvent être fixées sur un ou deux cotés à disques, en distingue ainsi des rotors ouvert, semi-ouvert ou fermé, et rôle des aubes est aussi de guider l'eau dans la direction voulue.

La transmission de l'énergie de la roue au liquide se fait par l'intermédiaire des aubes[03].

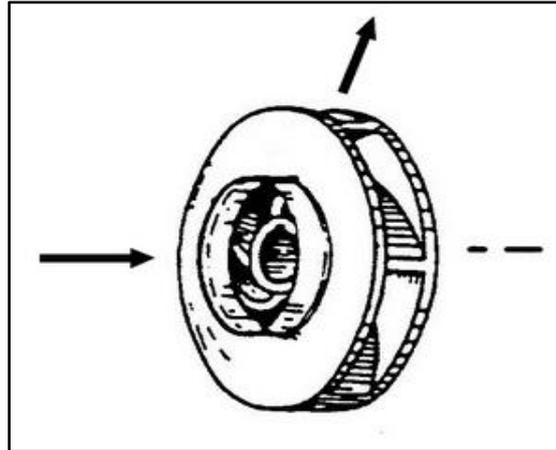


Figure I-6 : Schéma d'une roue centrifuge[08].

I. 3.2. Collecteur (volute)

Cet organe fixe a pour rôle de conduire le liquide depuis la section d'entrée de la machine jusqu'à l'entrée du rotor, en lui assurant une vitesse de grandeur et de direction convenable.

Dans les pompes monocellulaires, le collecteur est en général réduit à une simple tuyauterie, coudée ou non.

Dans les pompes multicellulaires, les collecteurs sont inexistantes sauf pour le premier étage où l'on trouve un collecteur d'entrée formé souvent par un coude plat, le passage de la sortie d'un étage à l'entrée du rotor suivant s'effectue au travers d'éléments fixe. ailettes, les canaux de roue[09].



Figure I-7: Photo d'une volute[10]

I. 3.3. Le diffuseur

C'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.

Dans les pompes monocellulaires, le diffuseur est constitué par un canal annulaire entourant l'impulseur et débouchant dans la section de sortie de la machine tout en poursuivant l'action du diffuseur, les parois du diffuseur sont parallèles ou divergentes, le diffuseur comporte ou non des aubages Parfois le diffuseur est réduit ou même inexistant, l'impulseur débouchant alors directement dans la volute.

Dans les pompes multicellulaires, chaque impulseur est normalement suivi de la volute .

I. 3.4. Le divergent

C'est le canal de sortie, il présente un élargissement progressif, et achève le travail du diffuseur.

- Installation d'une pompe centrifuge :

Le schéma hydraulique de l'installation d'une pompe centrifuge est déterminé par les caractéristiques du site où elle est installée.

Cependant, les cas les plus courants peuvent être regroupés dans l'une des trois catégories suivantes :

- 1- équipé d'une pompe en fonctionnement ;
- 2- Installation avec une pompe d'aspiration ;
- 3- Installation avec une pompe en siphon ;

Dans notre cas, nous prenons en compte les deux dispositions les plus couramment utilisées [11].

I. 4. Principe de fonctionnement des pompe centrifuge

On peut décomposer le fonctionnement en trois étapes :

I. 4.1.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 [12].

I. 4.2.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 [12].

I. 4.3.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 [12].

I. 5. Principales caractéristique d'une pompe centrifuge

I. 5.1. Dimensions principales

La pompe centrifuge est principale [13]

r_2 - diamètre de l'oreillard (mm).

r_1 = diamètre d'entrée de la roue (mm).

r_2 = diamètre extérieur de la roue (mm).

b_1 = largeur des canaux de la roue à la sortie (mm).

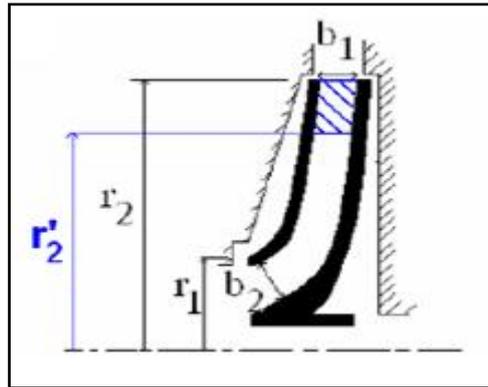


Figure I-8: Dimensions d'une roue[14].

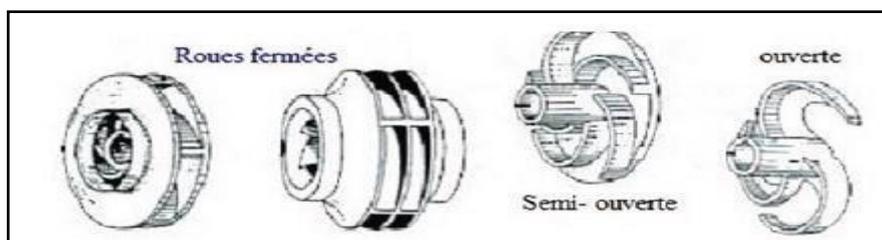


Figure I-9 : Types de roues de pompes centrifuges en fonction de la vitesse spécifique, n_q . Les corps de pompe mono étagés ne sont pas représentés[10].

I. 5.2. Théorie des pompes centrifuges

I. 5.2.1. Triangles des vitesses et angles caractéristique

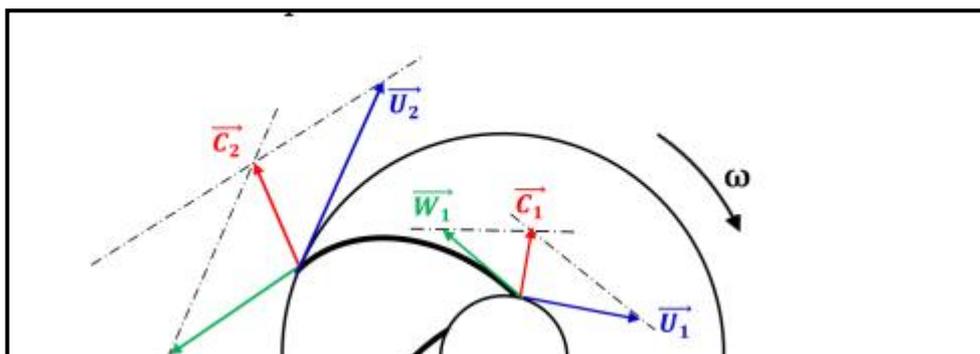


Figure I-10 : Triangle de vitesse d'une roue de pompe centrifuge

I. 5.2.1.1. Le triangle des vitesses

L'intérêt de tracer le triangle de vitesse et les différents angles est très important car cela permet de visualiser et d'analyser les interactions entre les différentes composantes du système. Ces données nous permettent de prédire la forme de la roue et la courbe caractéristique de la pompe. Lorsque les pales sont animées d'un mouvement d'entraînement, c'est-à-dire lorsque le rotor est mis en rotation à une vitesse angulaire ω , la relation vectorielle suivante est obtenue grâce à la composition des vitesses :

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

\vec{C} : La vitesse absolue est celle qui est associée aux parties fixes de la machine (telles que le distributeur, le diffuseur et le stator).

\vec{W} : Cela fait référence à la vitesse relative des parties en mouvement de la machine, comme l'axe ou la roue.

\vec{U} : Il s'agit de la vitesse d'entraînement correspondant au mouvement du repère en rotation pure.

Ainsi, les triangles de vitesse sont utilisés pour représenter les états du mouvement d'entrée et de sortie de la roue qui tourne à une vitesse angulaire constante[16].

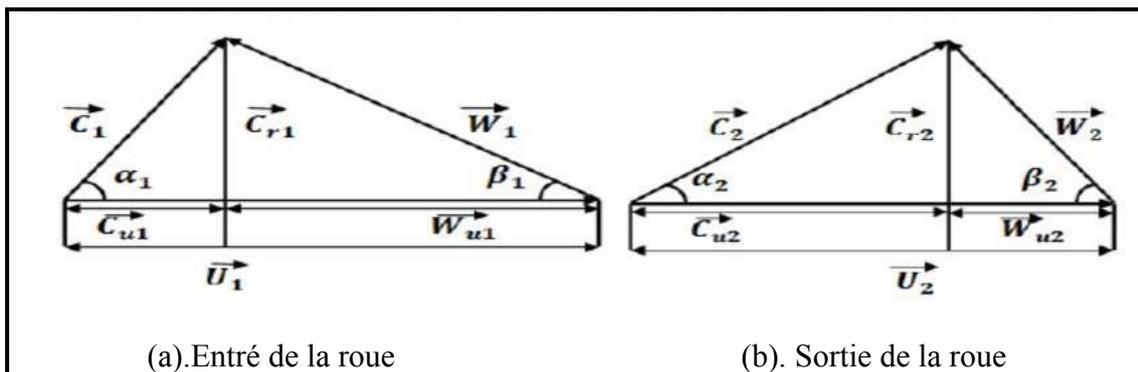


Figure I-11 : Triangles des vitesses à l'entrée (a) et à la sortie (b) de la roue[15]

I. 5.2.1.2. Les angles

- Les angles à l'entrée :

α_1 : Angle formé entre les vitesses \vec{V}_1, \vec{U}_1

Pour les pompes centrifuges $\alpha = 90^\circ$.

β_1 : Angle d'entrée des aubages formé par W et la tangente au point 1 au diamètre D_1 .

- Les angles à la sortie :

α_2 : Angle entre les vitesses \vec{V}_2, \vec{U}_2 .

β_2 Angle de sortie des aubages formé par W et la tangente au point 2 au diamètre D_2 .

Enfin, l'angle β_2 est appelé angle de sortie de la roue sa valeur est comprise entre 15° et 30° ($15^\circ < \alpha < 30^\circ$).

I. 5.3. Les courbes caractéristiques

I. 5.3.1. Hauteur théorique

La pompe fournit de l'énergie au liquide de deux manières différentes :

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

La courbe qui montre comment la hauteur varie en fonction du débit est appelée la caractéristique "hauteur d'élévation" $H(Qv)$ de la pompe. Cette courbe a été obtenue grâce à un essai réalisé sur un banc d'essai spécialement conçu pour tester la pompe.

L'application du théorème de quantité de mouvement sous forme de moment par rapport à l'axe de la roue, permet d'écrire le couple des forces «M » exercées par la roue sur le liquide sous la forme suivante [16]:

$$\mathbf{M} = \rho \cdot Qv [R_2 \cdot Cu_2 - R_1 \cdot Cu_1]$$

La puissance est une mesure de la quantité de travail effectuée par unité de temps. Elle est définie par la formule :

$$P_{hyd} = \omega \cdot M$$

$$W = \frac{2\pi N}{60}$$

Et puisque

$$U = \frac{2\pi N}{60} \cdot R$$

Donc :

$$P_{hyd} = Qv[U_2 \cdot C_{u2} - U_1 \cdot C_{u1}]$$

Donc la hauteur théorique (d'Euler) sera :

$$H_{Euler} = \frac{P_{hyd}}{\rho \cdot g \cdot Qv} = \frac{1}{g} [U_2 \cdot C_{u2} - U_1 \cdot C_{u1}]$$

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

$$C_{u1} = 0$$

$$H_{Euler} = \frac{U_2 \cdot C_{u2}}{g}$$

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

$$Qv = (2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot b_2) \times C_{r2}$$

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

$$H_{Euler} = \frac{u_2^2}{g} + \frac{U_2}{(2 \cdot \pi \cdot g \cdot R_2 \cdot b_2) \times \text{tng}\beta_2}$$

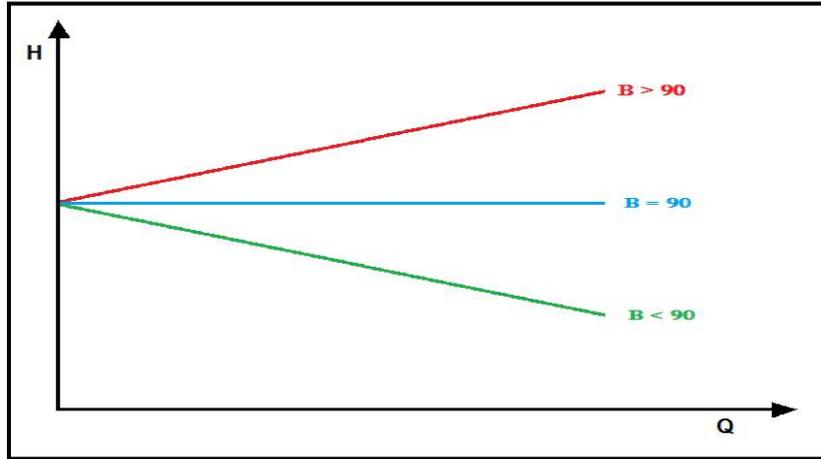


Figure I.12 : Hauteur théorique en fonction de débit selon le signe de β_2 .

I. 5.3.2. Hauteur réelle : H_{mt} – Débit

A partir de la droite d'Euler [$H_{Euler} = f(Q_v)$] et à l'aide du coefficient du glissement va se déduire, et puis en soustrayant les pertes hydraulique totales (choc + frottement) point par point nous aboutissons à la hauteur réelle $H_{réelle}$ ("Hauteur manométrique totale $\ll H_{mt} \gg$ ") générée à la sortie de la roue de la pompe appelée industriellement impulseur (impeller). Pour chaque pompe, le constructeur fournit une courbe qui représente ses performances. Cette courbe est obtenue en soustrayant les pertes hydrauliques totales. (pertes par choc + pertes par frottement) de la hauteur théorique H_{Euler} :

$$H_{mt} = H_{réelle} = H_{Euler} - \Delta H_{choc} + \Delta H_{frott}$$

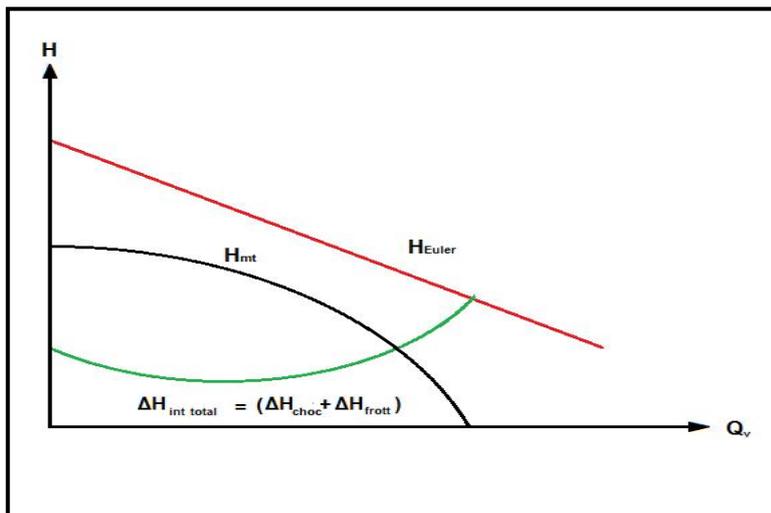


Figure 1-13 : Hauteur réelle d'une pompe centrifuge [16].

Cette courbe montre comment la hauteur totale d'élévation fournie par la pompe varie en fonction du débit Q . On peut observer que ces variations suivent une forme de parabole [17].

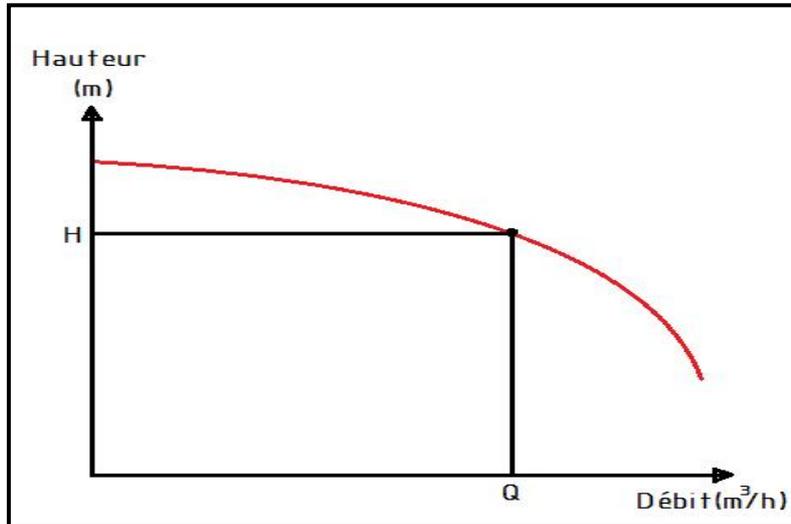


Figure I-14: Courbe caractéristique hauteur en fonction du débit [16].

I. 5.3.3. Caractéristiques rendement, Puissance – Débit

Le rendement de la pompe est un indicateur qui mesure l'efficacité de la conversion de la puissance hydraulique en puissance mécanique. En d'autres termes, il représente la proportion de puissance hydraulique qui est utilisée efficacement par la pompe pour effectuer un travail mécanique. Ce rendement peut varier en fonction du débit, c'est-à-dire la quantité de liquide qui traverse la pompe par unité de temps. Le constructeur de la pompe fournit une courbe qui représente le rendement en fonction du débit. Cette courbe permet de déterminer la puissance absorbée par la pompe sur son arbre, en connaissant la puissance hydraulique. En utilisant cette information, il est possible de calculer l'efficacité de la pompe et de prendre des décisions éclairées en matière de performance et de consommation d'énergie.

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

La puissance du moteur nécessaire pour faire fonctionner la partie hydraulique est toujours plus élevée que la puissance absorbée par l'arbre, en raison des différentes

pertes causées par la transmission, les erreurs de calcul, les pertes de charge générées par la pompe et le couple de démarrage.

Le meilleur rendement de la pompe détermine le débit nominal pour lequel correspondent la hauteur nominale et la puissance nominale. Le rendement de la pompe est[18] :

$$\eta_{\text{globale}} = \frac{\text{puissance}_{\text{fournie}}}{\text{puissance}_{\text{absorbée}}}$$

Avec l'intégration de la puissance fournie par la pompe ($P_{\text{fournie}} = \rho \cdot g \cdot Q_v \cdot H_{\text{mt}}$) on obtient,

$$\eta_{\text{globale}} = \frac{\text{puissance}_{\text{fournie}}}{\text{puissance}_{\text{absorbée}}}$$

$$\eta_{\text{globale}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_v \cdot H_{\text{mt}}}{P_{\text{abs}}}$$

En définitive, en regroupant toutes les pertes dans la pompe

$$\eta_{\text{globale}} = \eta_{\text{volumétrique}} \times \eta_{\text{hydraulique}} \times \eta_{\text{mécanique}}$$

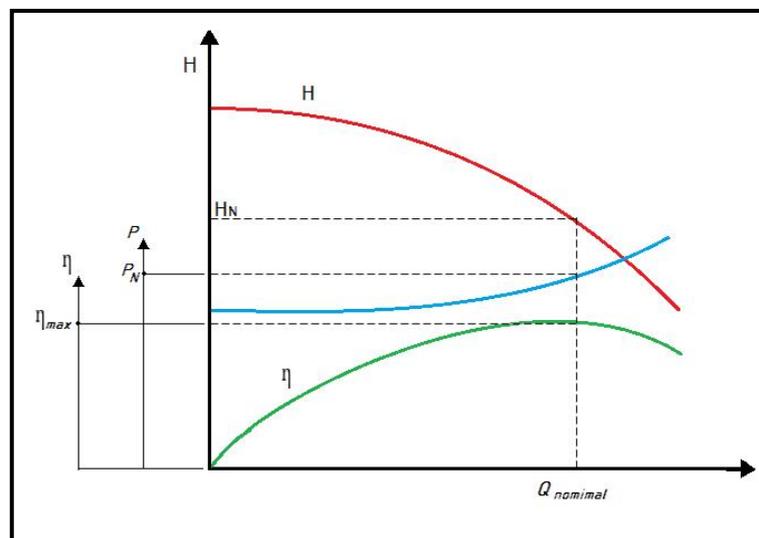


Figure 1-15 : Courbes caractéristiques : Hauteur, rendement et puissance absorbée en Fonction de débit[17].

I. 5.3.4. Caractéristique : NPSH – Débit

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

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

Le **NPSH** est défini comme étant la charge minimale requise à l'entrée de la bride

Le d'aspiration pour assurer le fonctionnement correct de la pompe ; il s'agit du NPSH requis[18].

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

Donc il faut que :

$$NPSH_{disp} > NPSH_{requis}$$

$$NPSH_{disp} = \frac{P_1}{\rho \cdot g} - \frac{P_v}{\rho \cdot g} + Z_1 - \sum \Delta H_{asp}$$

P₁ : Pression absolue qui s'exerce sur la surface libre du liquide à l'aspiration. **P_v** : Pression absolue correspondent à la tension de vapeur du liquide à la température de Pompage.

Z₁ : Distance verticale entre la surface libre du liquide et l'axe de la pompe.

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

ΔH_{asp} : Pertes de charges dans la conduite d'aspiration

Avec :

$$NPSH_{requi} = \frac{P_b}{\rho \cdot g} - \frac{P_v}{\rho \cdot g} + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{C_1}{\rho \cdot g} \quad (m)$$

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

Le **NPSH_{requis}** : qui est celui que demande le constructeur pour obtenir un bon Fonctionnement de la pompe

Le $NPSH_{disp}$: qui résulte des conditions d'installation.

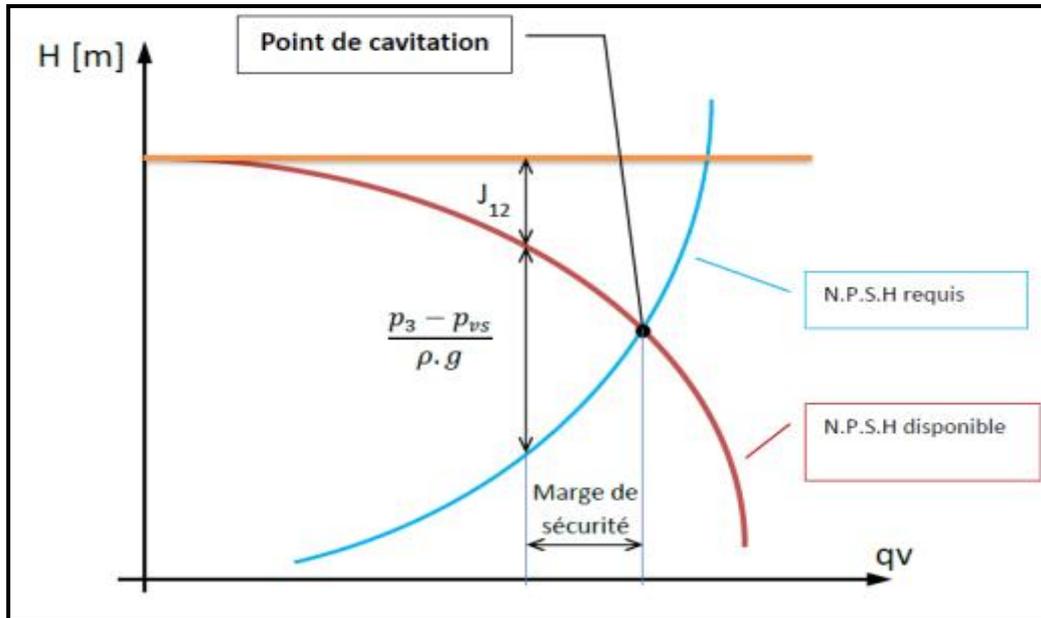


Figure I-16 : Courbes caractéristiques de $NPSH_{requis\&disp}$ en fonction de débit[15].

I. 6. Conclusion

Cette première partie a permis de définir les pompes centrifuges, d'en retracer l'historique et d'en présenter les différentes classifications. Nous avons ensuite étudié en détail la construction de ces pompes, en nous intéressant notamment à la roue, au collecteur (ou volute), au diffuseur et au divergent.

L'étude du principe de fonctionnement des pompes centrifuges a mis en lumière les phénomènes clés tels que l'accélération du fluide et le refoulement. Nous avons également identifié les principales caractéristiques de ces pompes, à savoir leurs dimensions principales, leur théorie de fonctionnement avec les triangles de vitesses et les angles caractéristiques, ainsi que leurs courbes caractéristiques (hauteur théorique, hauteur réelle, débit, rendement, puissance, NPSH).

Cette analyse approfondie des pompes centrifuges constitue une conclusion importante.

Chapter II : La cavitation

II. Définition

La cavitation est appelée cavitation du mot grec :

cavi = vide ; ou du latin :Cavus =trou. Mais le sens physique de la cavitation c'est la naissance de l'oscillation radiale des bulles de gaz ou de vapeur dans un liquide soumis à une dépression, la cavitation se produit pour la condition suivante : quand la pression du liquide < la pression de la vapeur saturante :

$$P_L \leq P_V$$

La pression de vapeur saturante P_V : est la pression à laquelle la phase gazeuse d'une substance est en équilibre avec sa phase liquide ou solide à une température donnée dans un système fermé voir (figure.1). L'expression tension de vapeur est parfois utilisée pour désigner la pression de vapeur saturante [18].

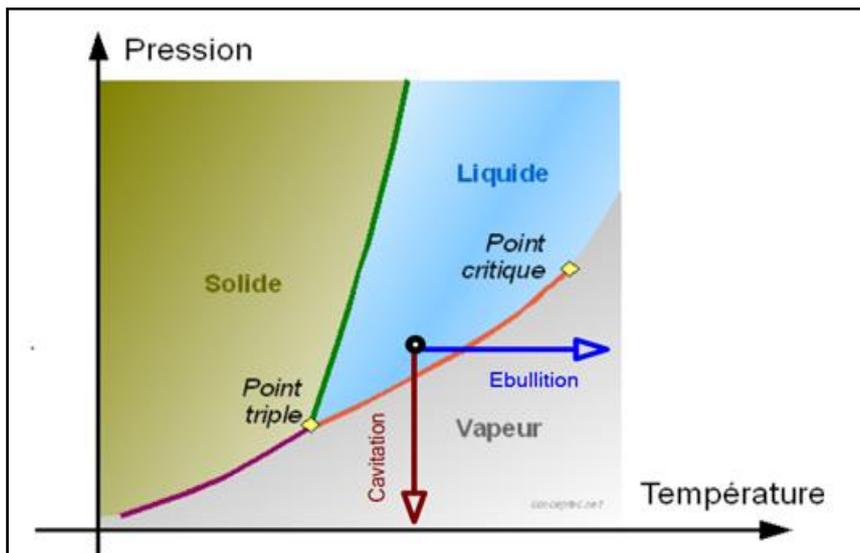


Figure II-1 : Diagramme de phase de l'eau ; indiquant pour une diminution de pression pour une température ambiante constante se produira le phénomène de cavitation [18].

II. 1. Les régimes de cavitation

On distingue, à propos des écoulements cavitants, les principaux régimes suivants :

- Les régimes limitent entre le fonctionnement non cavitant et le fonctionnement cavitant.
- Les régimes de cavitation développée

Cette distinction se réfère à la possibilité d'accepter ou non la cavitation dans les systèmes industriels. Tandis que dans les régimes limites on s'intéresse surtout à la définition et à la détection pratique du seuil d'apparition ou de disparition de la Cavitation. On suppose, en cavitation développée, que ce seuil est largement franchi, et que cela se traduit soit par une modification notable des performances des machines, soit par une extension et un taux de présence suffisants des figures de cavitation.

- Les régimes de cavitation partielle :

Dans le cas de cavitation par poches sur des profils ou des aubages, on distingue le régime de cavitation partielle, dans lequel une cavité prend naissance près des bords d'attaque et se referme sur la paroi.

- Les régimes supercavitants :

C'est le même que le régime de cavitation partielle, seulement que dans le régime supercavitant, la cavité se referme au sein de l'écoulement à l'aval du corps.

II. 2. Situations d'apparition et de développement de la cavitation

Les principales circonstances d'apparition et de développement de la cavitation sont les suivantes :

- La géométrie des parois peut imposer des survitesses locales, et par conséquent des dépressions, à un écoulement globalement permanent : restriction du passage de l'écoulement dans un Venturi, ou courbure imposée aux lignes de courant par des ailes portantes ou des aubages de machines
- Le cisaillement entre deux écoulements de vitesses différentes entraîne de grandes fluctuations turbulentes de la pression :

Couches cisillées, jets noyés, sillages d'obstacles ou d'organes de réglage de débit.

- Le caractère fortement non permanent d'écoulement en conduites (alimentation de moteur en carburant, coup de bélier dans des circuits de commandes hydrauliques ou dans les installations hydrauliques domestique) se traduit par des valeurs importantes des termes temporels de l'accélération du liquide qui conduisent eux aussi à des dépressions menant à la cavitation.

- Les rugosités des parois peuvent donner lieu à des sillages cavitants des très petites tailles : c'est le cas en particulier, des parois en béton d'ouvrage de génie civil, notamment d'évacuateurs de crues.
- Les mouvements vibratoires de parois peuvent engendrer des champs de pression alternatifs, comme dans le cas de l'eau de refroidissement des cylindres de moteurs diesel. Un autre exemple est celui de la cavitation ultrasonore provoquée par l'application d'un champ de pression oscillant très rapidement sur un volume de liquide globalement au repos.
- Certaines entailles remplies de liquide dont les parois sont animées de petits mouvements alternatifs sont les sièges d'aspirations et de refoulements successifs qui conduisent aussi la disparition de bulles de cavitation [19].

Enfin, les parois solides immergées soumises à des chocs peuvent conduire à la vaporisation des particules situées dans leur voisinage, particulièrement auprès de leurs bords anguleux s'il existe.

II. 3. Conséquences de la cavitation

La cavitation est pratiquement toujours source de nuisances lorsqu'elle se produit dans une installation hydraulique, nuisances allant souvent en s'accroissant à mesure où le phénomène se développe.

La cavitation est un phénomène à éviter absolument, car il entraîne de graves conséquences :

A - érosion du matériau pouvant aller jusqu'au perçage des aubes de la roue des pompes centrifuges : voir (figure.5).

B - Augmentation du bruit et des vibrations générées par la pompe ;

C - chutent des performances des pompes avec diminution importante de la hauteur manométrique totale, du débit et du rendement.

II. 3.1. Le bruit

Lorsque la cavitation apparaît, on assiste à la formation de petites poches de vapeur dont le grossissement est toujours suivi d'une implosion violente. D'un point de vue acoustique, ces cavités se comportent comme des monopoles, sources de bruits le plus efficaces dans les

liquides. Elles sont donc la cause de bruit intense, s'étendant dans une plage étendue de fréquences, pouvant aller de quelques centaines de hertz à plusieurs Mégahertz.

De plus, le temps caractéristique d'implosion (collapse) des bulles formées est de quelques microsecondes. De tels chocs excitent l'ensemble des structures près desquelles ils se produisent. Le bruit global mesuré est donc toujours un bruit à large bande.

II. 3.2. L'érosion

Dans la plupart des équipements hydrauliques industriels, on admet un certain développement de technique de prévention de la cavitation. Il serait souvent possible de concevoir des appareils qui en sont complètement exempts. Cependant, le coût de tels composants serait prohibitif et cette solution, parfois retenue, ne peut être systématique.

Dans ces conditions, la cavitation intéresse une partie non négligeable des machines : aubes de turbines, profils de pompes, pales d'hélices. Les bulles de vapeur sont alors de dimensions importantes. Lors de leur collapse, les chocs produits peuvent être suffisamment violents pour causer des dégâts aux structures voisines. L'aspect de la surface érodée rappelle celle d'une peau d'orange. Par la suite, il arrive que la cavitation arrive à percer les matériaux sur des épaisseurs de plusieurs millimètres [19].

II. 3.3. Les chute des performances

Lorsque la cavitation continue de se développer, soit que l'on baisse le niveau général de pression des écoulements, soit que l'on augmente leur vitesse, la vapeur peut entièrement recouvrir les parties actives des machines, limitant ainsi leurs performances.

II. 4. Applications de la cavitation

En dépit de ses aspects négatifs, la cavitation trouve des applications dans les procédés industriels qui nécessitent la concentration d'énergie sur des petits domaines afin de produire localement des pics de pression élevés. Assez souvent, elle est alors obtenue par des moyens ultrasonores qui permettent de produire des implosions de bulles au prix d'une densité d'énergie modérée.

On peut citer par exemple :

- Le nettoyage des surfaces par ultrasons ou par jets cavitants.

- La dispersion de particules dans les liquides.
- La production d'émulsions.
- Le dépôt par électrolyse : les bulles brisent les couches d'ions qui entourent les électrodes, ce qui permet d'accélérer le dépôt et d'en améliorer l'uniformité [20].

II. 5. Les différents types de cavitation

On peut caractériser les différents types de cavitation par l'allure physique du phénomène.

II. 5.1. Cavitation à bulles séparées

Ce type de cavitation se produit plutôt sur des profils à faible incidence ; les structures ont l'allure de bulles de vapeur isolées plus ou moins sphériques qui apparaissent de façon aléatoire au sein du liquide. Afin que ces bulles puissent se créer, il est nécessaire qu'il existe, au sein du liquide ou sur la paroi, des germes (précisément des microbulles d'air) à partir desquels les bulles grossissent [21].



Figure II -2 : cavitation à bulles sur un profil d'aile[21].

II. 5.2. Cavitation à poches

Dans ce type de cavitation, la phase vapeur constitue une cavité unique, attachée au profil sur lequel elle se développe. Elle prend naissance à partir d'un décollement sur le profil ou sur un obstacle. A l'arrière de cette poche, se détachent des structures instationnaires, convectées par l'écoulement et qui collapsent en aval. Ci-après, quelques exemples de poches de cavitation.



Figure II-3 : Cavitation à poches sur une roue de pompe[21].

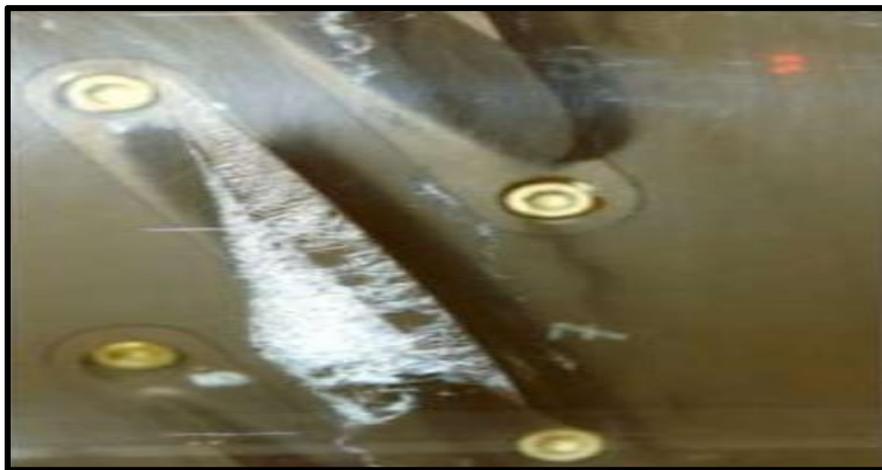


Figure II-4 : Cavitation à poches sur un entrefer de roue[21].

II. 5.3. Cavitation à lames

On peut la désigner comme un cas particulier de la cavitation par poches. Elle concerne des structures minces et stables semblables à des lames brillantes qui s'accrochent sur une arête comme par exemple le bord d'attaque d'un profil. Ce type de cavitation se produit généralement lorsque l'incidence d'un profil est trop forte et génère une dépression trop importante.



Figure II-5 : cavitation à lames sur une pale d'hélice[21].

II. 5.4. Cavitation de vortex

Un vortex (ou tourbillon) se crée par exemple aux extrémités de pales d'hélices ou de pompes. Ils peuvent aussi se créer en aval d'obstacles situés dans l'écoulement. La cavitation qui se produit alors au cœur de ce tourbillon qui est une zone à forte dépression est appelée cavitation de vortex :



Figure II-6 : cavitation d'extrémité de pale d'hélice[21].



Figure II-7 : tourbillons cavitants en aval d'un obstacle[21].

II. 5.5. Cavitation de mélange

Cette cavitation apparait typiquement dans des couches de cisaillement entre un jet noyé et un liquide. C'est le cas des écoulements au travers d'orifices ou de vannes et aussi celui de jets propulsifs. C'est aussi le cas des écoulements en aval d'obstacles [22].



FigureII-8 : cavitation de mélange en aval d'une vanne papillon [22].

II. 6. Hauteur d'aspiration admissible : la charge absolue nette à l'aspiration ($NPSH_{disp}$)

Selon les observations de la physique qu'on retrouve dans les ouvrages de thermodynamique, si La pression à l'entrée de la pompe atteint la pression de la vapeur saturante pour la température de l'eau, le liquide passe à l'état de vapeur. Une fois entrée dans la pompe, on

règne une haute pression, les bulles de vapeur implosent en produisant un bruit de cailloux secoués, en endommageant et usant prématurément les aubes de rotor de pompes. Sur le plan hydraulique lorsque la pompe, fonctionne en condition de cavitation, la pression et le rendement délivrés par la pompe chutent d'une manière brusque et marquée. A un niveau avancé de cavitation, il y a rupture de la veine de liquide et désamorçage de la pompe. En pratique, on observe le phénomène de cavitation décrit précédemment bien avant que la pression à l'entrée de la pompe (P_e) abs atteigne la pression de vapeur saturante P_v , qui varie avec la température de l'eau voir : tableau N1. C'est pour cette raison que nous définissons une charge absolue nette à l'aspiration en excédent à la charge de pression de vapeur à une température donnée :

Alors à partir de l'équation de Bernoulli entre un point (1) situé à la surface libre du réservoir et un point (e) situé à l'entrée de la pompe s'écrit :

$$\left(\frac{P_{atm}}{\rho g}\right)_{abs} + Z_1 + \frac{V^2}{2g} = \left(\frac{P_v}{\rho g}\right)_{abs} + Z_e + \frac{V^2}{2g} + h_s$$

Alors à partir de (1) que la charge absolue nette à l'aspiration disponible : $(NPSH)_{disp}$ s'écrit sous la forme suivante :

$$(NPSH)_{disp} = \left(\frac{P_e}{\rho g}\right)_{abs} - \frac{P_v}{\rho g} = \left(\frac{P_{atm}}{\rho g}\right)_{abs} - H_s - \frac{v_e^2}{2g} - h_s - \frac{P_v}{\rho g}$$

$(NPSH)_{disp}$: (Net Positive Section Head) : dans les ouvrages rédigées en anglais.

P_e : La pression à l'entrée de la pompe ;

V_e : la vitesse à l'entrée de la pompe ;

H_s : La hauteur d'aspiration de la pompe = $Z_2 - Z_1$;

h_s : Les pertes de charge dans la partie d'aspiration ;

P_v : La pression de la vapeur saturante ;

P_{atm} : La pression atmosphérique ;

II. 7. Les courbes caractéristiques

II. 7.1. La charge minimale requise à l'entrée de la pompe $(NPSH)_{requis}$

Le fabricant de la pompe à eau effectue des essais indépendamment de toute installation et détermine la charge minimale requise à l'entrée de la pompe pour éviter le phénomène de cavitation. Les mesures sous la forme d'une courbe spéciale de la pompe donnent $(NPSH)_{requis}$ comme fonction d'écoulement, comme le montre la (figure II- 6).

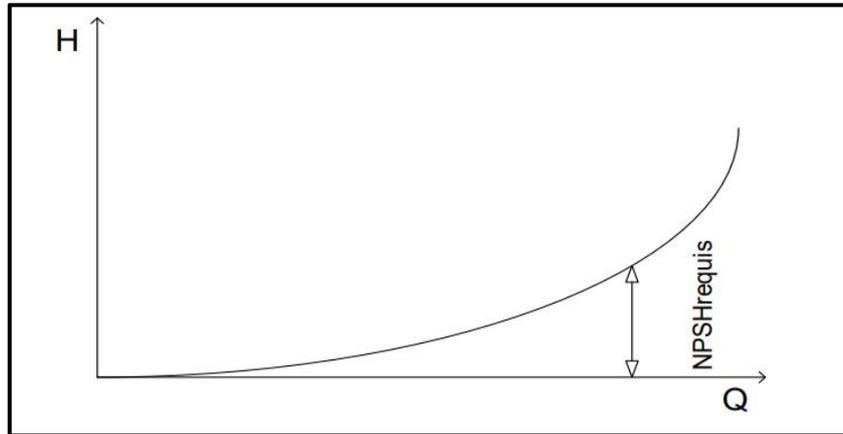


Figure II-10. Illustration graphique de la charge requise à l'entrée de la pompe [22].

Alors la condition de non cavitation est donnée par l'expression suivante :

$$(NPSH)_{disp} \geq (NPSH)_{requis}$$

Ou :

[0.3-0.5] : [mC.E.]. Interprétation graphique de (6) est présentée sur figure n :

Pour éviter la cavitation, il faudrait suivre les conditions suivantes :

- 1- préférer si possible les montages de pompes en charge.
- 2- éviter de transporter des liquides à des températures trop élevées.
- 3- éviter une alimentation à partir d'un réservoir sous pression réduite.
- 4- diminuer les pertes de charge du circuit d'aspiration.

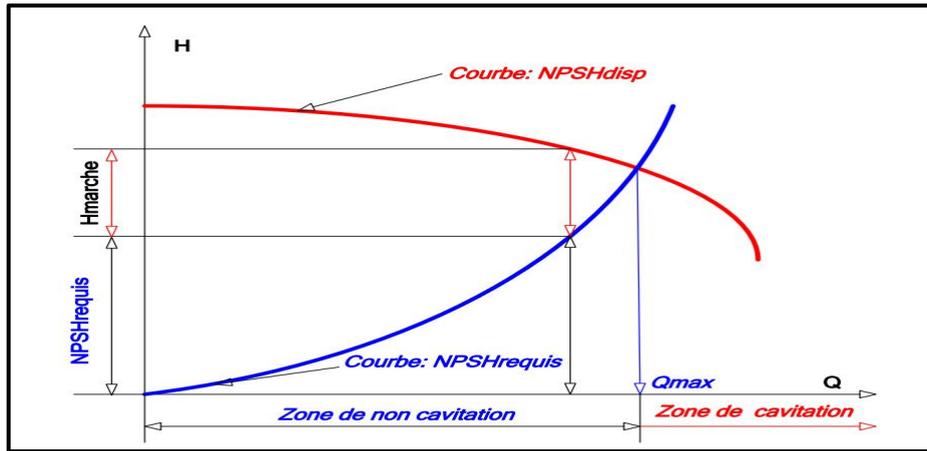


Figure II-11. Interprétation géométrique de la condition non cavitation [22].

II. 7.2. La charge nette positive à l'aspiration (NPSH) Pour une installation en charge et en dépression :

Installation en charge voir figure

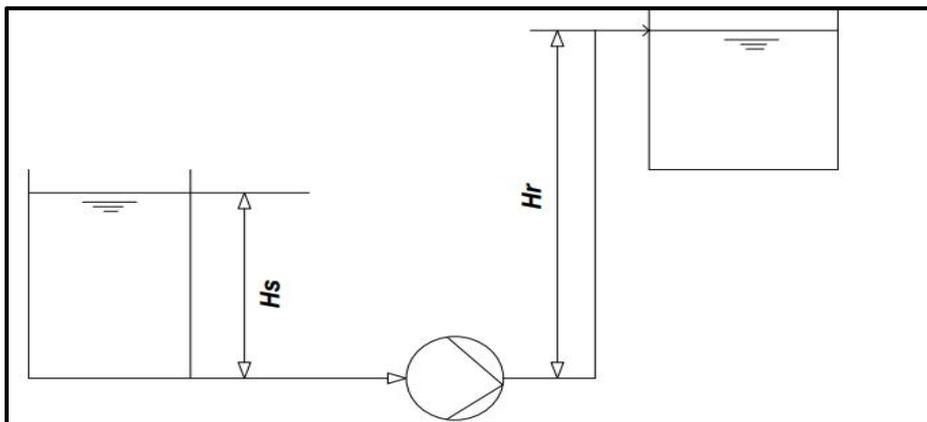


Figure II-12. Installation d'une pompe en charge [22].

$$(NPSH)_{disp} = \left(\frac{P_e}{\rho g}\right)_{abs} - \frac{P_v}{\rho g} = \left(\frac{P_{atm}}{\rho g}\right)_{abs} + H_s - \frac{v_e^2}{2g} - h_s - \frac{P_v}{\rho g}$$

Installation en dépression voir figure

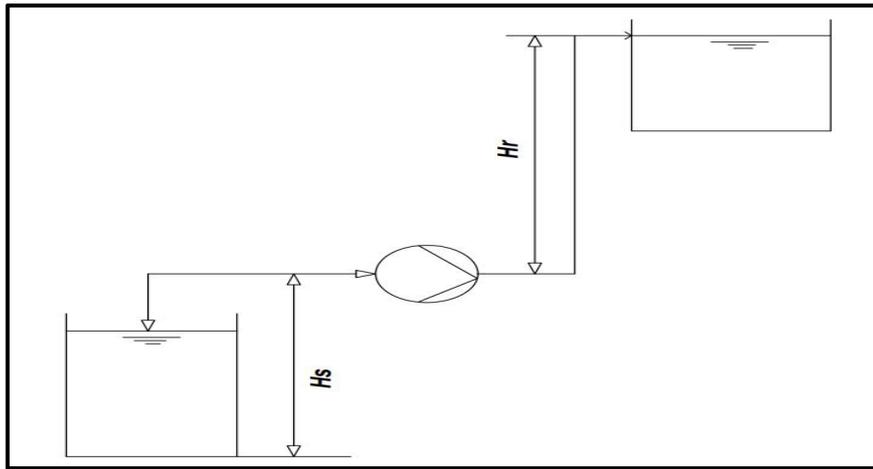


Figure II-13. Installation d'une pompe en dépression (aspiration) [22].

I. 8. Conclusion

Dans cette partie, les différents sujets liés au phénomène de la cavitation dans les pompes ont été abordés. La définition du phénomène de cavitation ainsi que ses principales formes ont été présentées. Les situations d'apparition et de développement de la cavitation ont également été examinées.

Les conséquences importantes de la cavitation, telles que le bruit, l'érosion et la chute des performances, ont ensuite été discutées. Quelques applications utiles de la cavitation ont également été évoquées.

Enfin, les notions clés liées à la hauteur d'aspiration admissible et aux caractéristiques de la courbe du système ont été passées en revue. Ces concepts et sujets sont essentiels pour une compréhension globale du phénomène de cavitation dans les pompes.

Chapter III : Étude analytique

III. 1.Théories générales

Les équations de la conservation de la masse, de la conservation de la quantité de mouvement et de la conservation de l'impulsion angulaire (moment de la quantité de mouvement), représentent des éléments essentiels pour les applications dans le domaine des turbomachines. Les expressions mathématiques de ces équations sont illustrées ci-dessous. La figure 1.6 illustre un volume de contrôle V . [23]

III. 1.2.Conservation de la masse

L'équation de la conservation de la masse (continuité) exprime que l'accumulation de matière dans un volume de contrôle dans le temps est égale à la somme des fluxmassiques qui traversent les frontières du volume. L'expression mathématique du principe est :

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho dV + \int \rho v. dS = 0 \quad (\text{III.1})$$

Avec :

$\frac{d}{dt} \int_V \rho. dV$: Accumulation de matière dans le volume de contrôle dans le temps.

$\int \rho v. dS$ =: Flux massique traversant les surfaces (d'entrée et de sortie).

ρ : Masse volumique

v : vitesse

dV : Unité de volume

dS : Unité de surface Pour un régime permanent, la première partie de l'équation est égale à zéro. Donc l'équation (1.1) devient :

$$- \int_s \rho. v. ds = 0 \quad (\text{III.2})$$

$$\triangleright \rho. v. S_1 = \rho. v. S_2 = Q_m \quad (\text{III.3})$$

$$\triangleright Q_v = v. S_1 = v. S_2 \quad (\text{III.4})$$

Q_m : Débit massique (Kg/s) .

Q_v : Débit Volumétrique (m^3/s).

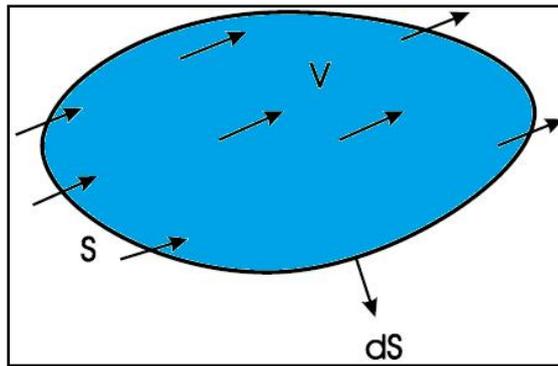


Figure III.1 : Volume de contrôle

III. 1.3. Conservation de la quantité de mouvement

Le principe de la conservation de la quantité de mouvement indique qu' la sommation des forces est égale à l'accumulation de la quantité de mouvement dans un volume de contrôle dans le temps plus la somme des flux de quantité de mouvement qui traversent les frontières du volume...

$$F = \frac{d}{dt} \int_V \rho v dV + \int_S \rho v \cdot v dS \quad (\text{III.5})$$

Avec :

F: Sommation des forces ;

$\frac{d}{dt} \int_V \rho v dV$: Accumulation de la quantité de mouvement dans un volume de contrôle dans le temps ;

$\int_S \rho v \cdot v dS$: Somme des flux de quantité de mouvement qui traversent les deux surfaces d'entrée et de sortie ;

- **Moment de la quantité de mouvement**

Le moment angulaire est donné par l'équation suivante :

$$M = \frac{d}{dt} \int_V r \cdot \rho v dV + \int_S r \cdot \rho v \cdot v dS \quad (\text{III.6})$$

Etat stationnaire :

$$\frac{d}{dt} \int_V r \cdot \rho v dV = 0$$

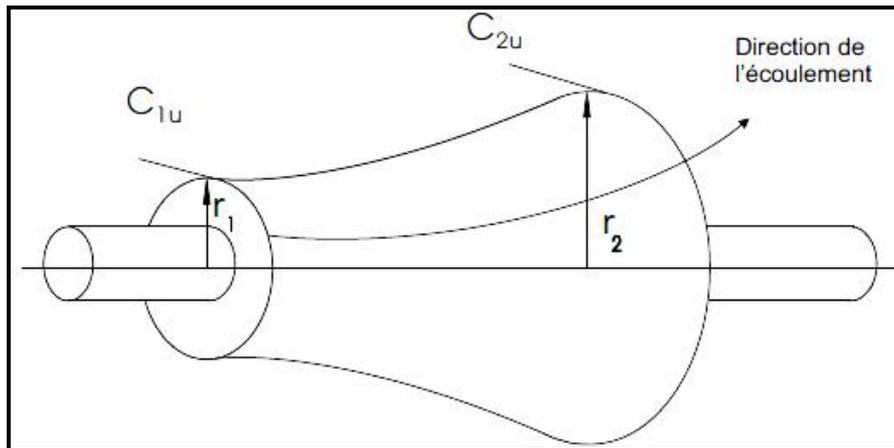


Figure III.2 : Rotor schématique [24].

$$\mathbf{M} = \int_s (r \cdot \rho v) v \cdot dS = (r_2 s \cdot v_2) \rho_2 v_2 S_2 - (r_1 \cdot v_1) \rho_1 v_1 S_1 \quad (\text{III.7})$$

En utilisant l'équation (1.3), l'équation (1.7) devient :

$$\mathbf{M} = Qm(r_2 v_2 - r_1 v_1) \quad (\text{III.8})$$

III. 2. Diagrammes des vitesses

Le mouvement du fluide à l'intérieur des canaux d'une roue à aubes est le résultat de deux mouvements :

- La rotation de la roue : représentée par la **vitesse tangentielle** à la roue \vec{U}

(Appelée aussi vitesse périphérique, vitesse circonférentielle et vitesse

D'entraînement). Elle est donnée par :

$$\mathbf{U} = \frac{\pi DN}{60} = \frac{2\pi r N}{60} \quad (\text{III.9})$$

Avec :

D : diamètre de la roue

N : la vitesse de rotation de la roue (tr/min)

- Le déplacement par rapport à l'aube : représenté par la **vitesse relative** \vec{W} qui est tangente à l'aube.

La figure (III.3) représente une roue d'une turbomachine sur laquelle sont tracés les vecteurs des vitesses (à l'entrée « indice 1 » et à la sortie « indice 2 »).

La vitesse C est appelée la vitesse absolue, peut être déterminé par : $C = \vec{U} + \vec{W}$ Dans certains livres, la vitesse absolue peut être nommée \vec{U} .

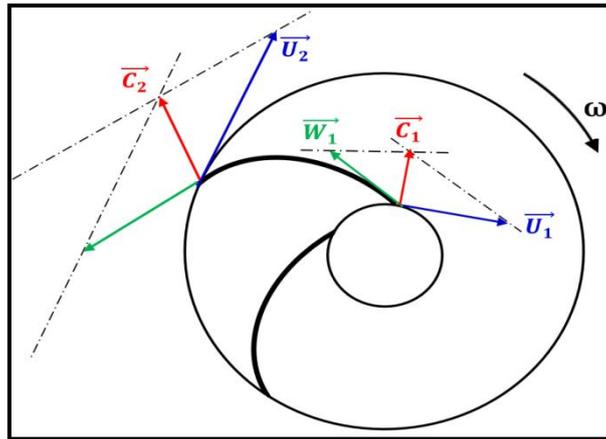


Figure III.3 : Diagrammes des vitesses sur une roue à entrée radiale

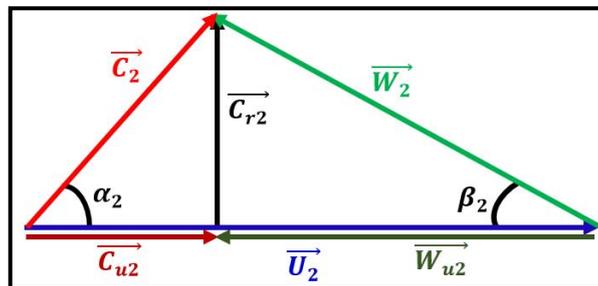


Figure III.4 : Triangle des vitesses à la sortie d'une turbomachine radiale

L'angle α (angle de calage) est formé par les vitesses \vec{U} et \vec{C} et l'angle β (angle de construction) est formé par les vitesses \vec{U} et \vec{W} . Il est à noter que l'inclinaison des aubes ne dépend pas du régime de fonctionnement.

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

- Une composante radiale :

$$C_r = C \cdot \sin\alpha \text{ (III.10)}$$

- Une composante circumférentielle : $C_u = C \cdot \cos\alpha \text{ (III.11)}$

La composante C_r peut être déterminée à l'aide de l'équation de continuité :

Pour une turbomachine à entrer radiale, la vitesse absolue est perpendiculaire à la vitesse d'entraînement et égale à sa composante radiale vu que la composante tangentielle est nulle. ($C_1 = C_{r1}$, $\alpha_1 = 90^\circ$).

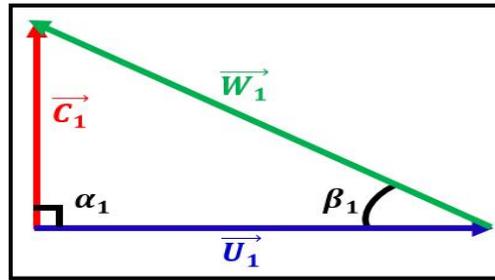


Figure III.5 : Triangle des vitesses à l'entrée d'une turbomachine radiale

III. 3. Théorème d'Euler

Le point de départ pour l'étude des turbomachines est l'équation d'Euler. Celle-ci peut être déduite aisément du principe de conservation de l'impulsion angulaire ou moment de la quantité de mouvement. En particulier, on considère un écoulement unidimensionnel en régime stationnaire dans le rotor d'une turbomachine ayant des conditions uniformes à l'entrée et à la sortie notées par les indices 1 et 2, respectivement. On applique alors, l'équation 1.8 à un filet de fluide entre ses deux points illustrés sur la figure (III.2) et celle-ci devient :

$$M = Qm(r_2v_2 - r_1v_1)$$

Bien que cette expression de l'équation d'Euler soit sous une forme mathématique élégante, elle requiert de modifications pour être facilement utilisable.

Dans les turbomachines ; $r \cdot v = r \cdot C_u$ (figure III.5).

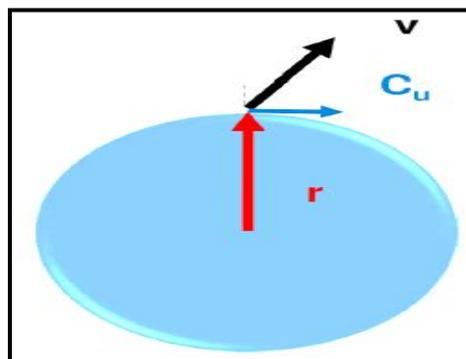


Figure III.6 : Composante de vitesse utilisée pour calculer le moment angulaire [24]

L'équation (III.3) devient :

$$M = Qm(r_2C_{r2} - r_1C_{r1})$$

La puissance absorbée par la pompe est déterminée par :

$$P = M \cdot \omega = Qm(r_2C_{u2}\omega - r_1C_{u1}\omega)$$

Sachant que la vitesse tangentielle U peut être déterminée par : $U = r \cdot \omega$, l'équation (1.14) peut s'écrire comme suit :

$$P = Qm(C_{u2}U_2 - C_{u1}U_1)$$

La puissance absorbée par la pompe peut être déterminée aussi comme suit :

$$P = Qm \cdot g \cdot H_{th}$$

En égalisant les deux équations (1.15) et (1.16), on obtient l'équation d'Euler :

$$H_{th} = \frac{U_2 C_{u2} - U_1 C_{u1}}{g}$$

Pour les turbomachines à entrée radiale, on a $C_{u1} = 0$ ($\alpha_1 = 90^\circ$). Par conséquent, l'équation d'Euler se simplifie et devient :

$$H_{th} = \frac{U_2 C_{u2}}{g}$$

Après avoir amélioré la pompe centrifuge en ajoutant un nouveau mécanisme pour la protéger des dommages causés par les variations de débits volumiques, nous avons calculé un ensemble d'angles pour diriger ce mécanisme afin d'obtenir des débits volumiques optimaux.

III. 4. Caractéristiques de la pompe centrifuge « N32-125 »

$$N=3000\text{tr/mi}$$

$$D=30\text{mm}$$

$$U = \frac{2\pi N}{60}$$

$$C = v = C_r \cdot \sin\alpha$$

$$W = C_r \cdot \sin\alpha$$

$$\frac{U}{C_r} = \text{tng}\alpha_1 + \text{tng}\beta_1 = \text{tng}\alpha_2 + \text{tng}\beta_2$$

On remplace les données dans les équations précédents on obtient les résultats suivants.

▪ **Première cas : pour les faibles débits à l'entrée**

| | <i>Entrée</i> | <i>Sortie</i> |
|-------------------|---------------|---------------|
| $Q_v(m^3/h)$ | 3 | 18 |
| α [degré] | 2.13 | 1.9 |
| β [degré] | 10 | 20 |
| U(m/s) | 9.42 | 9.42 |
| C (m/s) | 7.78 | 8.63 |
| W(m/s) | 1.66 | 0.84 |

▪ **Deuxième cas : pour les grands débits à l'entrée**

| | <i>Entrée</i> | <i>Sortie</i> |
|-------------------|---------------|---------------|
| $Q_v (m^3/h)$ | 25 | 18 |
| α [degré] | 20 | 15.1 |
| β [degré] | 40 | 77.9 |
| U (m/s) | 9.42 | 9.42 |
| C(m/s) | 3.53 | 9.42 |
| W(m/s) | 3.79 | 2.23 |

▪ **Troisième cas : pour les grands débits à l'entrée**

| | <i>Entrée</i> | <i>Sortie</i> |
|-------------------|---------------|---------------|
| $Q_v (m^3/s)$ | 70 | 2.5 |
| α [degré] | 10.2 | 45.2 |
| β [degré] | 50 | 68.6 |
| U(m/s) | 9.42 | 9.42 |
| C(m/s) | 7.78 | 9.61 |
| W(m/s) | 8.95 | 7.36 |

Chapitre :
Conception des composants de
la pompe centrifuge

III. Introduction à SolidWorks

SolidWorks est l'un des outils de CAO les plus avancés et les plus utilisés, tant dans le monde universitaire que dans l'industrie. Convaincu des avantages de l'intégration de la simulation dès les premières étapes de la conception, où le concepteur teste, optimise et simule la situation réelle sans développer de prototypes coûteux, SolidWorks Simulation fournit un environnement convivial de conception et de prototypage virtuels. Bien que le concept général de la simulation de conception à l'aide de méthodes numériques soit avancé, ce livre présente une approche permettant à l'utilisateur de simuler sa conception et de se faire une idée de sa fonctionnalité sans avoir à connaître en profondeur les calculs numériques qui sous-tendent l'outil de simulation. En même temps, le livre tente de donner les bases des principes de fonctionnement et des étapes d'analyse des approches de simulation numérique en général dans les exemples de simulation exécutés dans le livre [25].

IV. 1.Présentation de logiciel de conception SOLIDWORKS

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, SOLIDWORKS est racheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes. SOLIDWORKS est un logiciel propriétaire de conception assistée par ordinateur 3D fonctionnant sous Windows. SOLIDWORKS est un modèleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation.

Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés. Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SOLIDWORKS. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle [26].

IV. 2.Conception des composants de la pompe

➤ Conception de la roue

La roue est de forme cylindrique. Elle est munie d'aubes incurvées sur sa peripherie. C'est la roue qui transfère l'énergie rotative de l'arbre du moteur au fluide à l'intérieur de la pompe.

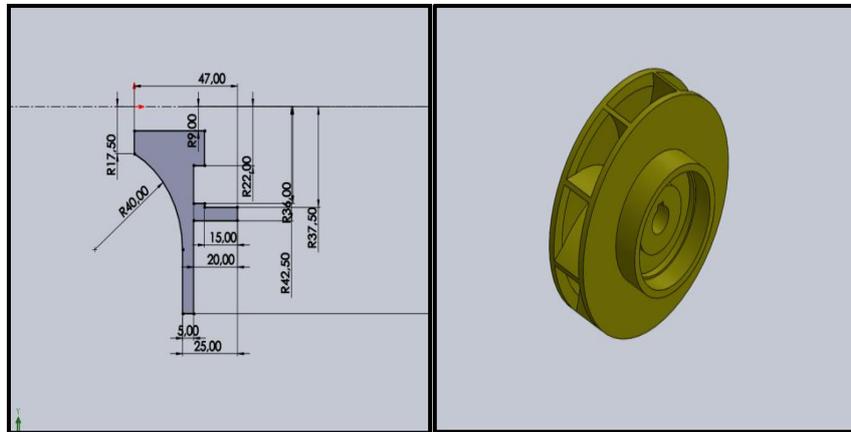


Figure IV.1.La roue-Esquisse

Figure IV.2.La roue-Modèle 3D

Le modele SW est joint a ce mémoire sur le CD (F:// pieces SW/ Impeller.sldprt) .

➤ Conception de corps de la pompe

Structure extérieure qui protège les composants internes de la pompe et maintient l'orientation de l'écoulement du fluide.

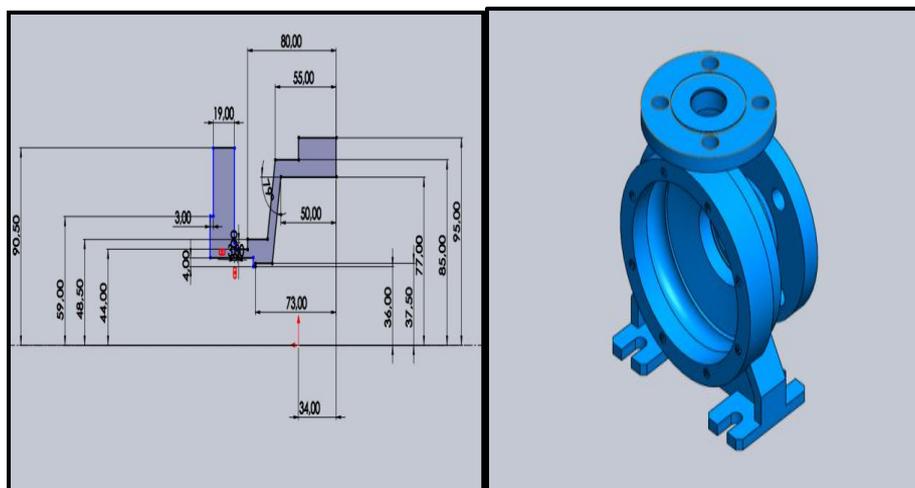


Figure IV.3..Corps de la pompe
-Esquisse

Figure IV.4. Casse depompe-Modèle
3D

Le modele SW est joint a ce mémoire sur le CD (F:// pieces SW/ Casing.sldprt).

➤ **Conception de moyeu de manchon**

Pièce cylindrique creuse avec des ouvertures à ses extrémités pour connecter l'arbre du moteur à la pompe.

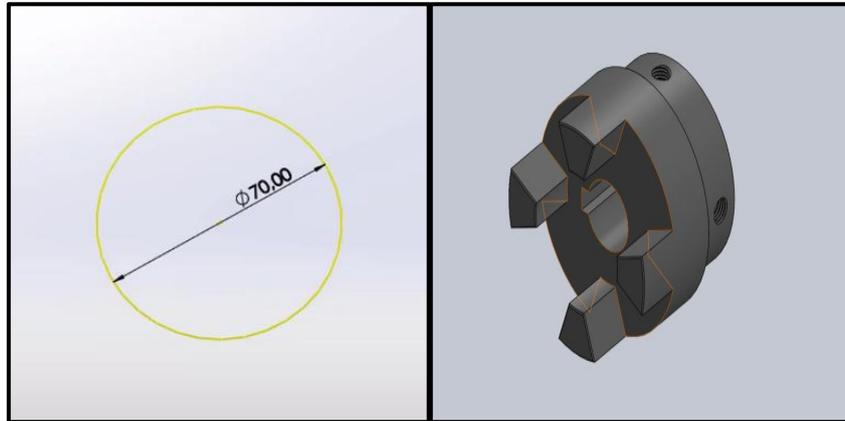


Figure IV.9. Couplage – Esquisse

Figure IV.10. Couplage de pompe –
Modèle 3D.

Le modèle SW est joint à ce mémoire sur le CD (F:// pieces SW/ Coupling.sldprt).

➤ **Conception de couvercle du palier**

Pièce concave fixée à l'extrémité de la pompe pour couvrir et aligner les paliers qui supportent l'arbre du moteur.

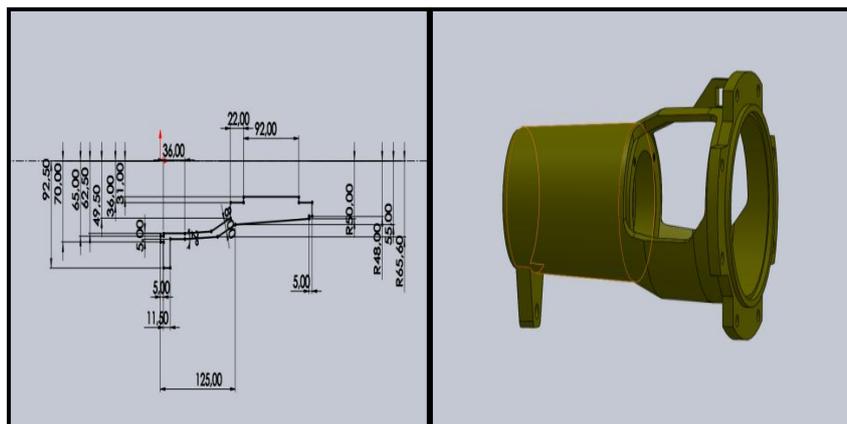


Figure IV.11. Couvercle de palier
Figure IV.12. Couvercle de palier –
– Esquisse
Modèle 3D.

Le modèle SW est joint à ce mémoire sur le CD (F:// pieces SW/ Bearing.sldprt).

➤ Conception de couplage de pompe

Pièce cylindrique avec deux ouvertures à ses extrémités pour connecter l'arbre de la pompe à l'arbre principal ou au moteur. Elle comporte des anneaux flexibles à l'intérieur pour absorber les vibrations.

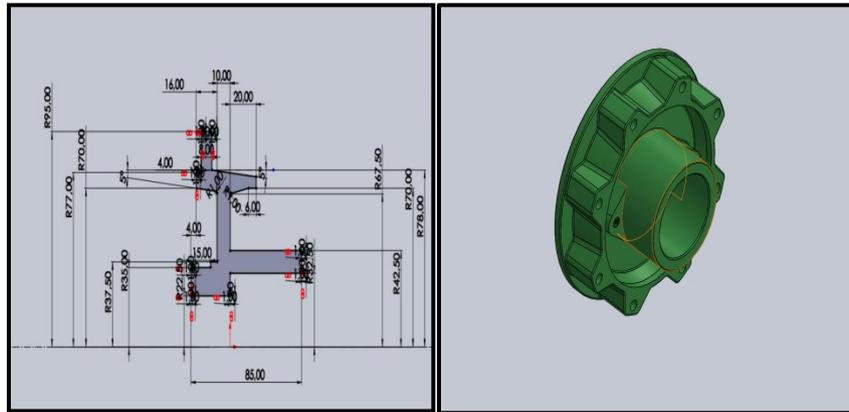


Figure IV.13. Pump Coupling -Esquisse Figure IV.14. Pump Coupling –Modèle 3D.

Le modele SW est joint a ce mémoire sur le CD (F:// pieces SW/ Pump Coupling.sldprt).

➤ Conception de presse-étoupe

Pièce métallique creuse avec deux ouvertures, utilisée comme joint d'étanchéité ou orifice de vidange dans les systèmes hydrauliques et mécaniques.

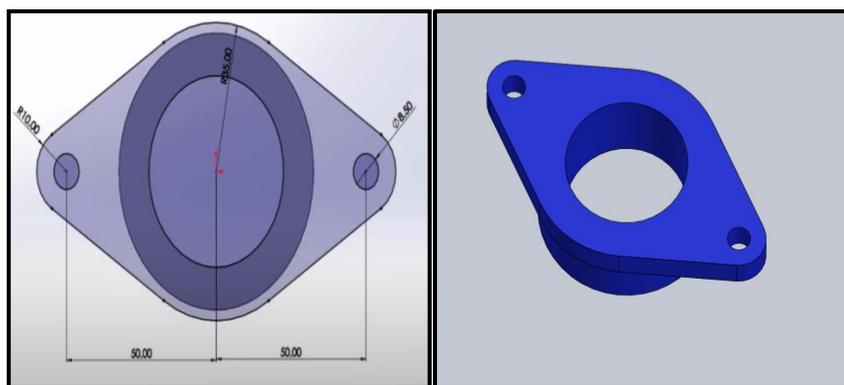


Figure IV.15.Presse-étoupe
-Esquisse.

Figure IV.16.Presse-étoupe
-Modèle 3D

Le modele SW est joint a ce mémoire sur le CD (F:// pieces SW/ Gland.sldprt).

➤ Conception de support de la pompe

La base de la pompe de base se caractérise par une conception simple et robuste pour soutenir les composants internes et assurer des performances fiables à long terme.

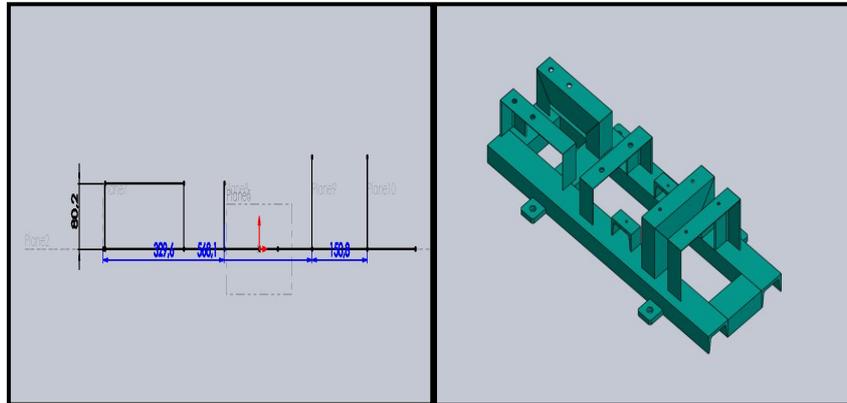


Figure IV.17.Support de la pompe -Esquisse Figure IV.18 .Support de la pompe
Modèle-3D

Le modele SW est joint a ce mémoire sur le CD (F:// pieces SW/Base Pump.sldprt).

➤ Conception de roulement

Le roulement est un composant essentiel de la pompe centrifuge, jouant un rôle crucial pour supporter et guider la rotation des éléments mobiles.

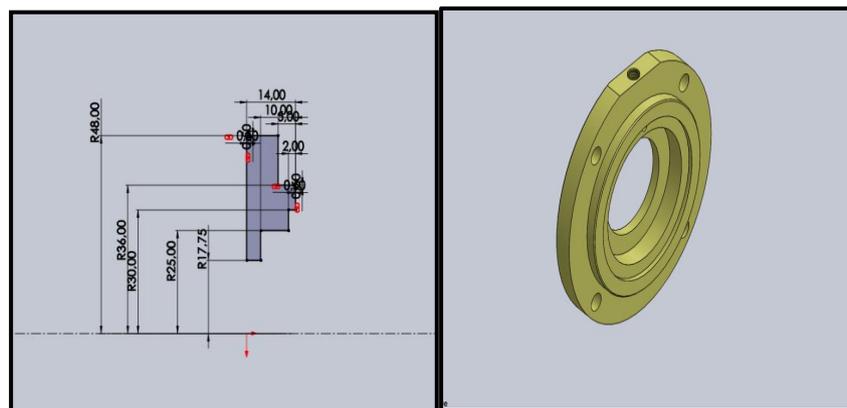


Figure IV.19. Roulement -Esquisse.Modèle-3D Figure IV.20. Roulement

Le modele SW est joint a ce mémoire sur le CD (F:// pieces SW/Bearing Cover.sldprt).

➤ **Conception de la chambre à joint**

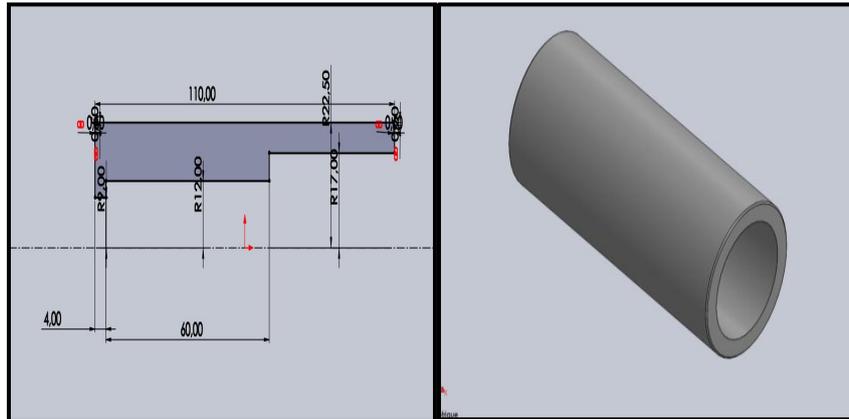


Figure IV.21.Chambre -Esquisse. Figure IV.22.ChambreModèle3D

Le modele SW est joint a ce mémoire sur le CD (F:// pieces SW Chamber.sldprt).

➤ **Conception de couvercle de protection**

Cette pièce fournit la protection et le soutien nécessaires grâce à sa structure arquée robuste. Sa fonction principale est de protéger les zones et les objets à l'arrière.

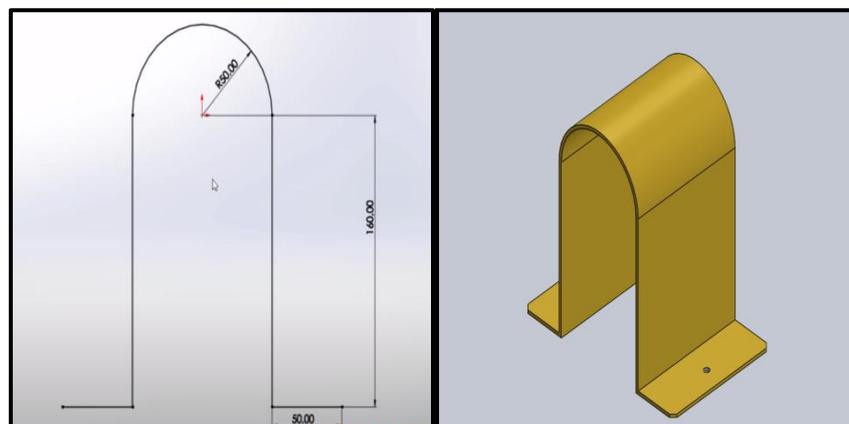


Figure IV.23.Couvercle de protection .
-Esquisse3D

Figure IV.24.Couvercle Modèle

Le modele SW est joint a ce mémoire sur le CD (F:// pieces SWProtiction.sldprt).

➤ **Conception de anneau de lanterne**

L'anneau de lanterne est conçu pour ajouter de la lubrification dans les points de contact pour réduire la friction.

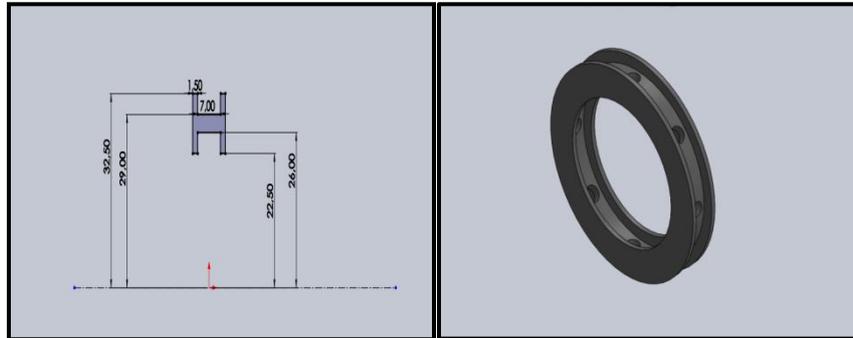


Figure IV.29. Anneau lanterne -Esquisse. Figure IV.30. Anneau lantern-Modèle3D

➤ **Conception de ensemble**

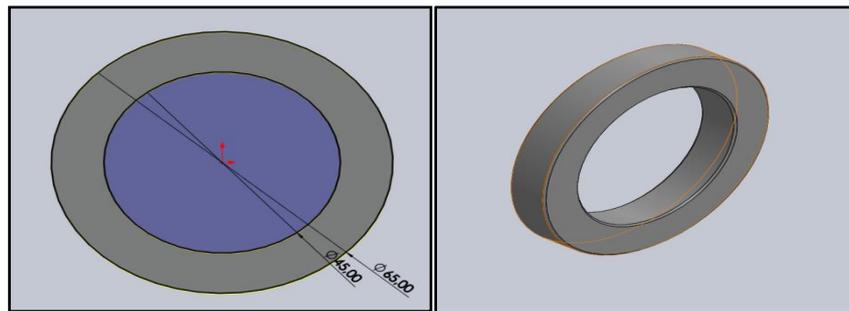


Figure IV.30. Ensemble -Esquisse. Figure IV.31. Ensemble Modèle3D

En fait la réalisation de cette pee neessite plusieurs etapes. Le modele SW est joint a ce mémoire sur le CD (F:// pieces SWSet.sldprt).

➤ **Conception de anneau**

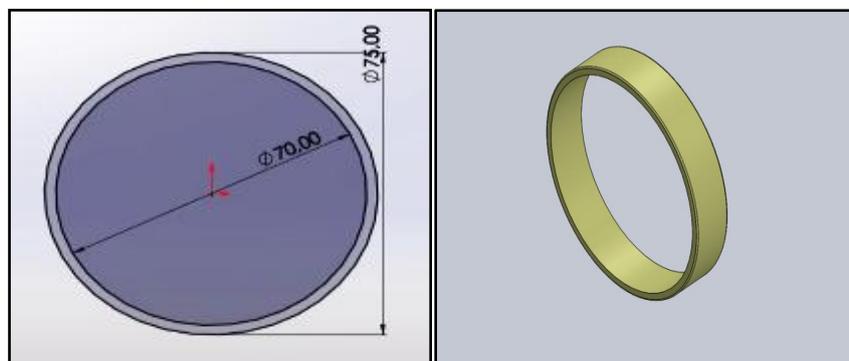


Figure IV.32 Anneau-11-Esquisse. Figure IV.33. Anneau-11Modèle3D

En fait la réalisation de cette pièce nécessite plusieurs étapes. Le modèle SW est joint à ce mémoire sur le CD (F:// pièces SW Ring.sldprt).

➤ **Conception de soutien**

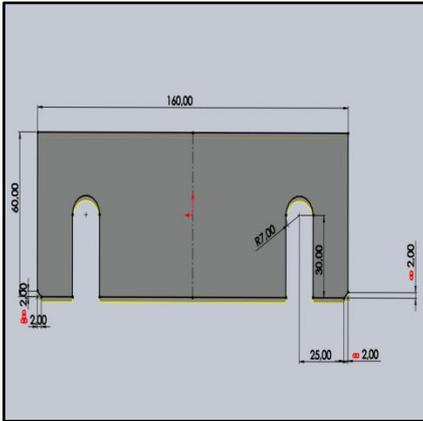


Figure IV.34.Soutien-Esquisse.

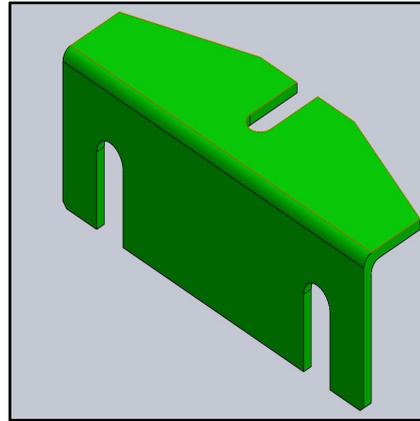


Figure IV.35. Soutien -Modèle3D

En fait la réalisation de cette pièce nécessite plusieurs étapes. Le modèle SW est joint à ce mémoire sur le CD (F:// pièces SW Lantern Ring.sldprt)

IV. 3.conception de la partie supplémentaire

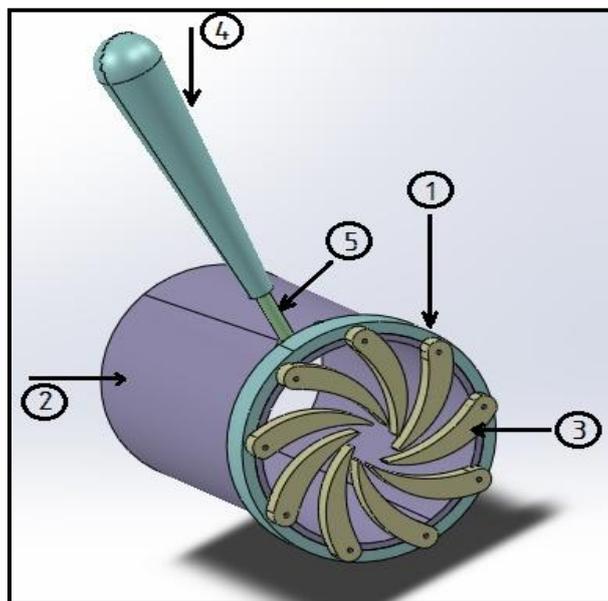


Figure IV.45.Assemblage de la partie supplémentaire .

➤ **Conception de cylindre (pièce 01)**

La pièce (01) est un cylindre fixe. Ce corps supplémentaire dispose des supports pour les aubes.

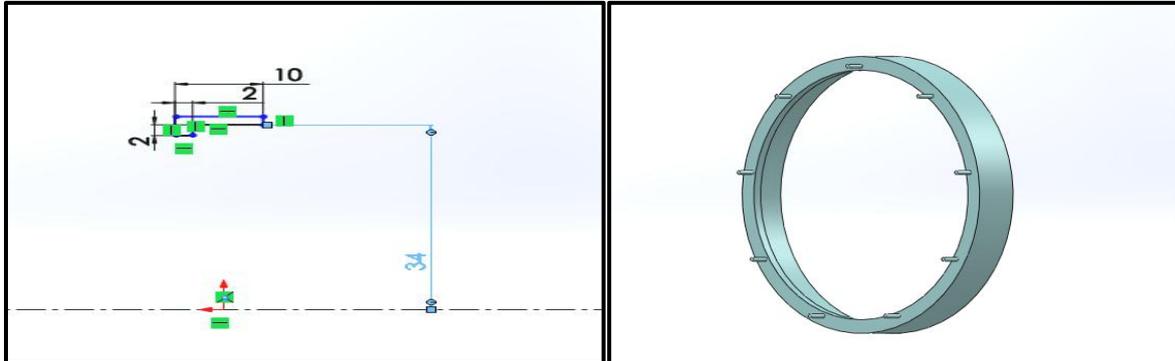


Figure IV.33.Pièce 01 -Esquisse. Figure IV.34.Pièce 01 –Modèle3D

Le modèle SW est joint à ce mémoire sur le CD (F:// pieces SW Pièce001 .sldprt)

➤ **Conception de cylindre (Pièce02)**

Ce deuxième élément cylindrique, centré avec le premier, a une liaison de centrage qui lui permet d'avoir un mouvement de rotation. Il comporte aussi les supports destinés à maintenir les aubes.

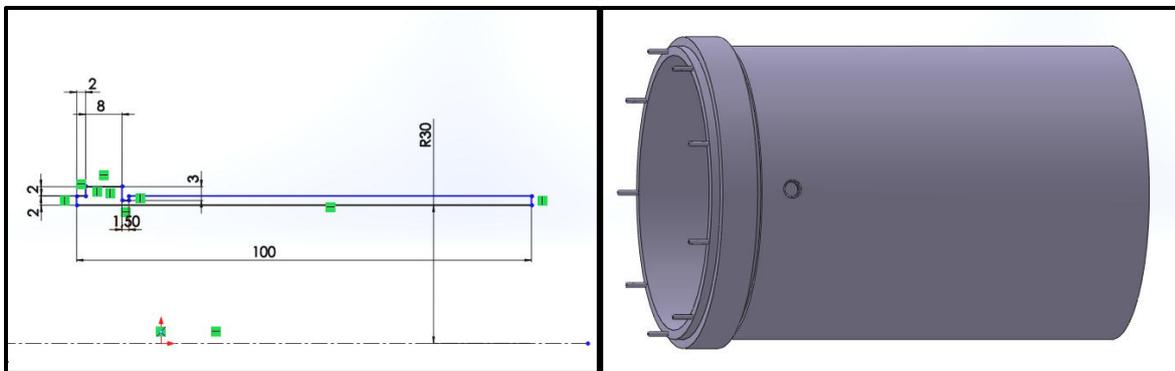


Figure IV.35.Pièce 02 -Esquisse. Figure IV.36.Pièce 02 –Modèle3D

Le modèle SW est joint à ce mémoire sur le CD (F:// pieces SW Pièce003 .sldprt)

➤ **Conception de aube mobile (pièce 03)**

La pièce (03) est une aube mobile fixée sur la pièce de la cylindre rotative à l'aide de la vis. Cette aube mobile a la capacité de changer son angle en fonction du débit d'entrée dans la roue de la pompe.

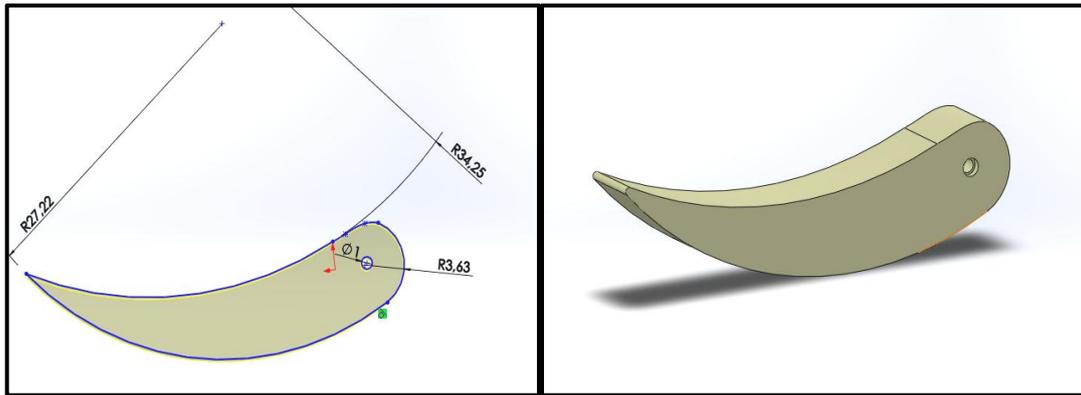


Figure IV.37.Pièce 03 -Esquisse. Figure IV.38.Pièce 03 –Modèle3D

Le modele SW est joint a ce mémoire sur le CD (F:// pieces SW Pièce0002 .sldprt

➤ Conception de levier (pièce 04)

La pièce (04) est le levier de commande qui contrôle la rotation de la pièce (02), laquelle à son tour modifie l'angle de l'aube.



Figure IV.39.Pièce 04 -Esquisse. Figure IV.40.Pièce 04 –Modèle3D

. Le modele SW est joint a ce mémoire sur le CD (F:// pieces SW Pièce004 .sldprt

➤ Tige avec embout fileté (pièce 05)

La pièce (05) se compose d'une tige filetée (tige avec embout). Cette tige possède des filetages à ses deux extrémités, établissant ainsi une liaison mécanique entre la quatrième pièce qui est la poignée, et la deuxième pièce qui est le cylindre rotatif.

De cette manière, la conception de cette cinquième pièce permet à la poignée d'exercer un contrôle sur la rotation du cylindre.

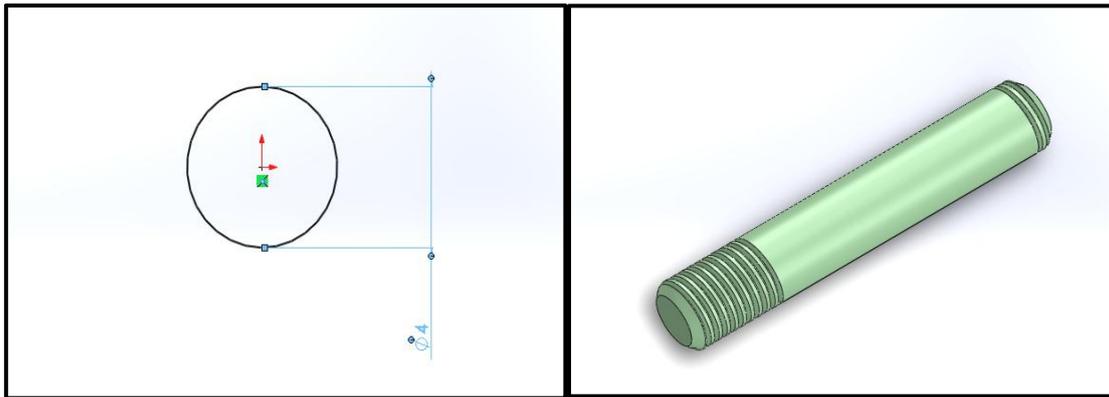


Figure IV.41.Pièce 05 -Esquisse. Figure IV.42.Pièce 05–Modèle3D

Le modele SW est joint a ce mémoire sur le CD (F:// pieces SW Pièce005 .sldprt

V. 4. Assemblage

V. 4.1. Assemblage de la partie supplémentaire

Après conception et assemblage de la partie supplémentaire de la pompe, nous avons réalisé un montage complet et modifié de notre pompe, voici un aperçu de la pompe modifiée

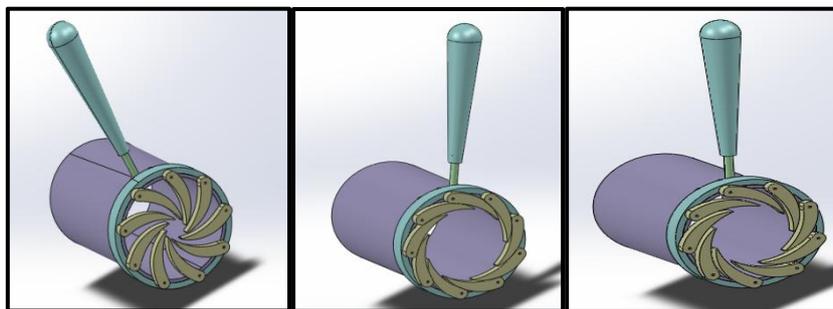


Figure IV.45.Assemblage la partie supplémentaire .

IV. 4.2. Assemblage de la pompe après la modification

Après conception et assemblage de la partie supplémentaire de la pompe, nous avons réalisé un montage complet et modifié de notre pompe, voici un aperçu de la pompe modifiée.

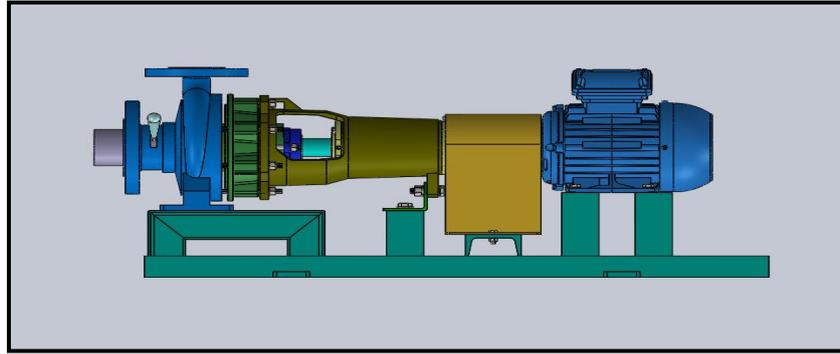


Figure IV.45.Assemblage de la pompe après la modification .

Le mécanisme de taille et les différents composants sont donnés sur le support joint à ce mémoire (fichiers pièce et assemblage Sw) .

IV. 5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé à l'aide du logiciel SW l'ensemble des composants de la pompe centrifuge, y compris la partie modifiée que nous proposons pour améliorer le problème de cavitation.

Conclusion générale :

En conclusion de ce mémoire de fin d'études portant sur la conception d'une pompe centrifuge à ailettes mobiles développée à l'aide du logiciel SW, plusieurs conclusions importantes peuvent être tirées. Tout d'abord, le projet a permis d'identifier clairement le problème du décrochage, un phénomène courant dans les pompes centrifuges traditionnelles et ses effets néfastes sur les performances de la pompe.

Pour surmonter ce problème, le système d'ailettes mobiles (Aube Mobile) a été conçu comme une solution innovante. Cette conception novatrice permet d'ajuster manuellement l'angle des ailettes en fonction des conditions de fonctionnement (débit), contribuant ainsi à prévenir l'apparition du décrochage. La mise en œuvre de ce nouveau concept sur la pompe et les tests effectués ont montré une amélioration significative des performances par rapport à la conception traditionnelle.

De plus, l'idée pourrait être encore améliorée si la possibilité de contrôler à distance l'angle des ailettes était ajoutée, plutôt que le contrôle manuel. Cela fournirait encore plus de flexibilité et de contrôle sur les performances de la pompe, répondant ainsi de manière plus adéquate aux défis actuels du secteur.

Cette pompe équipée d'ailettes mobiles contrôlées manuellement ou à distance ouvre de nouvelles perspectives et de nouvelles possibilités passionnantes pour le développement des pompes centrifuges traditionnelles. La capacité de contrôler l'angle des ailettes offre un potentiel accru en termes d'efficacité et de performances de la pompe.

En fin de compte, le succès dans la résolution du problème du décrochage dans les pompes centrifuges grâce à la conception du système d'ailettes mobiles contrôlées manuellement ou à distance représente une avancée majeure dans l'amélioration des performances des pompes. Ce travail constitue une contribution importante dans le domaine du développement et de l'amélioration des technologies de pompage.

Références Bibliographiques

- [01] Christian Brix Jacobsen., Nicholas Pedersen.,Svend Rasmussen., Rasmus K. Ursem., Bo Møller Pedersen., Troels Jepsen., Flemming Lykholt., ChristiaN RasmusseN., Kristian SkriveR DahL and BenedictE Elmer.(2005). The centrifugal pump en (book). dept.of fluid mechanics, grundfos forlag,denmark(105pp).
- [02] Histoire de la technologie des pompes, lien: <https://wilo.com>,Volet1, la distribution d'eau.
- [03] https://www.researchgate.net/figure/Archimedes-screw-a-and-one-spiral-turn-of-the-spiral-duct-b_fig2_267566300.
- [04] Michael Volk, "Pump Characteristics and Applications", CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informal business, THIRD EDITION.
- [05] GUAFAP NASREDDINE. "Etude et Maintenance de la Pompe Centrifuge Bi étage à axe Vertical (Barrage Béni Haroun Grarem Gouga)",Diplôme de Master2017,Département de Génie Mécanique.
- [06] Allali Ahmed. (2016), « Contribution à la conception d'une pompe centrifuge ». Thèse de doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed – Boudiaf .
- [07] LENCASTRE, Armando. "Hydraulique générale", ED. Eyrolles Paris, 1999.
- [08] https://www.azprocede.fr/Cours_GC/pompe_centrifuge_roue.html
- [09] BENLABIOD Benaissa, "étude comparative 'Equation d'Euler' dimensionnelle et Expérimentale. Cas d'une pompe centrifuge radiale de POVAL", Mémoire de Master,2014, département hydraulique urbaine, l'ENSH Arbaoui Abdellah Blida.
- [10] <https://fr.waterpumpmanufacturer.com/pump-parts/slurry-pump-casing.html>
- [11] M.CARLIER, "Machines hydrauliques", Ed. ENGRFE, France, 1968.
- [12] PASCAL BIGOT ,Les pompes , cours CIRA, 2000.
- [13] MEFTAH Ali."Etude de la cavitation dans une pompe centrifuge".Mémoire de fin d'études,2014,département de mécanique,université saad dahlab de blida
- [14]http://elearning.univbiskra.dz/moodle2019/pluginfile.php/83979/mod_resource/content/5/CHAPITRE%20III%20LOIS%20DE%20SIMILITUDES%20DANS%20LES%20POMPES%20A%20FLUIDE%20INCOMPRESSIBLE.pdf
- [15] ATSMANE zineddine."Simulation numérique d'un écoulement autour d'une roue d'une pompe centrifuge".Mémoire de fin d'études, Département de forage et de mécanique des chantiers pétroliers.Université KasdiMerbah – Ouargla

- [16] KEDJOUH Ismail.KHATTAB Redouane." Etude, Conception et simulation d'une pompe centrifuge". Diplôme de Master Professionnel,2019, Département de forage et de mécanique des chantiers pétroliers, Université de Kasdi Merbah.
- [17] Abdallah Benkhattou Hocine " Analyse et diagnostic des pompes industrielles Etude de cas au niveau de HENKEL Ain Temouchent " Université de Tlemcen
- [18] HOGGAS Bachir «Hydraulique. Enseignant «Batna -2.Département «2020.
- [19] Mr. DJEBBAS Fayçal «MEMOIRE Présenté pour l'obtention du diplôme de Magister Spécialité : Génie Mécanique«étude de la cavitation dans une pompe et amélioration des performance «2020.
- [20] Zamoum Mohamed, 2005, étude des phénomènes de cavitation dans les conduites avec prise en compte des singularités géométriques, UNIVERSITE HOURI BOUMEDIENE
- [21] Yves LECOFFRE – La cavitation – Traqueurs de bulles – 1994 – Editions HERMES - Paris
- [22] Jean Pierre FRANC et al. – La cavitation – Mécanismes physiques et aspects industriels – 1995 – Presses Universitaires de Grenoble
- [23] REGGIO M., TREPANIER J-Y. Théorie des Turbomachines, Ecole polytechnique de Montréal.
- [24] Introduction to static analysis using SolidWorks simulation 1, Taylor and Francis Group,2015.
- [25] DJAOUDI Chemseddine."Etude et conception d'un mécanisme d'étirage des tôles bus SNVI 100 L6". Mémoire de fin'étude ,2021, Département Génie Mécanique.

Résumé :

Cette étude vise à concevoir et développer une pompe centrifuge innovante dotée d'ailettes mobiles. Ce design novateur permettra d'utiliser cette pompe sur une large plage de débits volumétriques variables, dans le but d'éviter les perturbations et instabilités qui affectent habituellement les pompes classiques lorsque le débit change de manière significative.

En intégrant des ailettes mobiles, la pompe pourra s'adapter dynamiquement aux variations de débit, maintenant ainsi un fonctionnement stable et régulier, sans les à-coups et autres perturbations typiques des pompes traditionnelles face aux changements importants de débit volumique.

Cette capacité d'adaptation des ailettes mobiles est la clé permettant à cette pompe centrifuge d'être utilisée de façon fiable et performante sur une grande étendue de débits, sans compromettre ses performances.

Abstract :

This study aims to design and develop an innovative centrifugal pump equipped with movable vanes. This innovative design will allow the use of this pump over a wide range of variable volumetric flow rates, in order to avoid the disturbances and instabilities that usually affect conventional pumps when the flow rate changes significantly.

By integrating movable vanes, the pump will be able to adapt dynamically to flow variations, thus maintaining stable and regular operation, without the typical shocks and disturbances of traditional pumps facing major changes in volumetric flow.

This adaptability of the movable vanes is the key that will allow this centrifugal pump to be used in a reliable and efficient manner over a wide range of flow rates, without compromising its performance.

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تصميم وتطوير مضخة طرد مركزي معدلة ومزودة بريش (زعانف) متحركة. يتيح هذا التعديل إلى استخدام هذه المضخة على نطاق واسع من التدفقات الحجمية المتغيرة، بهدف تجنب الاضطرابات التي تؤثر عادةً على المضخات التقليدية عند تغير التدفق بشكل كبير.

من خلال دمج الزعانف المتحركة ستتمكن المضخة من التكيف ديناميكياً مع تغيرات التدفقات والمحافظةً بذلك على تشغيل مستقر ومنتظم دون تعرضها للاهتزازات والاضطرابات التي تصيب عادة المضخات التقليدية مع التغييرات الكبيرة في التدفق الحجمي.

إذن استعمال الزعانف المتحركة هو المفتاح الذي سيسمح لهذه المضخة (مضخة الطرد المركزي) إلى استخدامها بطريقة موثوقة وفعالة على نطاق واسع من التدفقات، دون المساومة على أدائها