

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE
D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABD RAHMANE MIRA –BEJAIA



Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electromécanique
Spécialité : Maintenance industrielle

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Thème

**Etude d'un système de régulation de débit d'une pompe
centrifuge au sien de complexe industrielle CEVITAL**

Réalisé par :

❖ **AZZOUG Salim**

❖ **BERKATI Samir**

Président : Mr R.LAGGOUNE

Examineur : Mr Y.IMAOUCHENE

Promoteur : Mr M. LARBA

**Année universitaire
2024-2025**

Remerciement

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

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

L'encadrant : Mr LARBA Mohamed

Et

Mr BEN MOUHOUH Farid & Mr BEN MAHIDINE Mohamed

Et pour tout le staff de CEVITAL pour leurs soutiens tout au long de stage

Nous remercions également tous le staff administratif et pédagogique de l'université abderrahman mera département génie électrique et les étudiants de département de génie électrique.

Nos vifs remerciements vont également à nos très chers parents, frères, sœurs et amis /es. qui ont toujours été là pour nous.

Dédicace

A mes chers parents Layazid & M. pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A tous mes chers frères et ma chère sœur pour leurs soutiens tout au long de mon parcours universitaire.

A Mes oncles / tantes cousin/es voisin/es.

A mes amis pour leurs appuis et leurs encouragements.

A mes profs primaires, CEM, lycée et université.

A toutes les étudiants de département génie électrique.

Finalement, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien,

Merci d'être toujours là pour moi.

AZZOUG Salim

Dédicace

A mes chers parents,

Ce mémoire est le fruit de nombreuses années d'efforts et sacrifices, je vous le dédie avec tout mon amour et ma reconnaissance, votre soutien inconditionnel, vos encouragements.

A mes frères pour leurs soutiens tout au long de parcours d'études.

A mes amis qui ont illuminé cette aventure de leur bienveillance et de leur patience.

Un dédicace en particulier pour mina qui a été toujours à mes côtés durant ce projet

A tous ceux qui ont cru en moi et m'ont tendu la main.

BERKATI Samir

Sommaire

Nomenclatures et abréviations	1
Listes de figures	3
Liste des tableaux	5
Introduction générale	6
Problématique	7
Solution	7

Chapitre I. Généralités sur les pompes

Introduction	8
I. Définition d'une pompe	8
II. Types des pompes	8
1- Les Pompes volumétriques	9
1-1- Les Pompes volumétriques Alternatives	9
a- Pompe à Piston	10
b- Pompe à membranes	10
1-2- Les pompes rotatives	11
a- Pompe à engrenages	11
b- Les pompes à palettes	12
c- Pompe à vis	13
d- Pompe à lobes	13
2- Les Pompes roto-dynamiques	14
2-1- Pompe à hélice	14
2-2- Pompe hélico-centrifuge	14
III. Choix de pompe	14
IV. Pompe centrifuge	15
1- composants d'une pompe centrifuge	16
2- Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge	17
3- Caractéristiques de la pompe centrifuge	19
3-1- Hauteur manométrique totale (HMT)	19
3-2- Puissances d'une pompe centrifuge	21
3-3- rendements de la pompe centrifuge	20
3-4- Le NPSH (Net Positive Suction Head ou Hauteur de charge d'aspiration)	22
3-5- Les débits	22
3-5-1- Débit volumique Q_v	22
3-5-2- Débit Massique Q_m	22
3-6- La pression	22
V. Types des pompes centrifuges	22
1- Pompe centrifuge à simple étage	23
2- Pompe centrifuge à multiétages	23
3- Pompe centrifuge à axe vertical (gyrostatique)	23
4- Pompe centrifuge immergée	24
Conclusion	25

Chapitre II. Régulation de débit des pompes

Introduction	26
I. Définition du débit	26
II. Méthodes de régulation de débit	26
1- Méthodes traditionnelles	26
a- Régulation de débit par vanne de by-pass	26
a-1- Les avantages et les inconvénients de la méthode de by-pass	28
b- Régulation de débit par laminage	28
b-1- Les avantages et les inconvénients de la méthode de laminage	29
2- Méthodes modernes	30
a- Régulation de débit par variation de vitesse	30
a-1- Les avantages et les inconvénients de la méthode de régulation de débit par variateur de vitesse	32
b- Régulation de débit par La modification du diamètre de la roue	32
b-1- Les avantages et les inconvénients de la méthode de modification de la roue	33
3- L'importance de la régulation de débit	33
4- Choix d'une méthode de régulation en fonction des applications	33
Conclusion	33

Chapitre III. Système de Pompage au sien de l'entreprise CEVITAL

Introduction	34
I. Objective de l'étude	
II. Présentation du complexe CEVITAL	34
III. Définition de raffinage	34
IV. Les étapes de raffinage d'huile	34
V. Présentation du Système Existant	35
VI. Description des données du système	35
VII. Calcule des pertes de charge du système	38
VIII. Problématique	40
IX. Intégration d'un variateur de vitesse au système	40
X. Variateur de vitesse	40
XI. Capteur de pression	41
XII. Schéma électrique de raccordement de variateur de vitesse avec les moteurs asynchrones	43
XIII. Débitmètre	44
XIV. Comparaison avec le Système de Bypass	45
Conclusion	46

Chapitre IV. Automatisation du variateur de vitesse par logiciel TIA Portal

Introduction	47
I. Objectif de l'automatisation	47
II. Automate programmable API	47
III. Programmation	48
1- Commande automatique de moteur par seuils de niveau	49
2- Commande marche / défaut d'un variateur	49
3- Configuration SCALE pour convention analogique de pression et surveillance de niveau	57
4- Configuration SCALE pour convention analogique de débit et gestion de débitmètre	50
5- Configuration d'un contrôleur PID (CONT_C) pour la régulation de niveau avec réglages de gain, TI, TD	51
6- Communication entre l'automate programmable (PLC) et l'interface homme-machine (HMI)	53
7- L'Interface de Supervision	53
Conclusion	54
Conclusion Générale	55
Références Bibliographiques	56

Nomenclatures et abréviations

H_h	Charge hydraulique en Pascal [Pa]
ρ	Masse volumique du liquide en [Kg/m ³]
g	Accélération gravitationnelle en [m/s ²]
Z, H	Hauteur géométrique en [m] ou [mCE]
J_{asp}	Pertes de charge de la conduite d'aspiration en [Pa]
J_{ref}	Pertes de charge de la conduite de refoulement en [Pa]
P_r	Pression résiduelle en [Pa]
P_u	Puissance utile en [KW]
P_P	Puissance hydraulique
P_r	Puissance absorbé par la roue
P_a	Puissance absorbé sur l'arbre
C_m	Couple délivré par le moteur entrainant la pompe
q	Débit de fuite en [m ³ /h ou l/s]
η	Rendement en [%]
η_v	Rendement volumétrique en [%]
η_m	Rendement manométrique en [%]
η_{mec}	Rendement mécanique en [%]
Q_v	Débit volumique en [m ³ /h ou l/s]
Q_m	Débit massique en [m ³ /h ou l/s]
$Q_{réel}$	Débit réel en [m ³ /h ou l/s]
$Q_{théorique}$	Débit théorique en [m ³ /h ou l/s]
Ω, n	Vitesse de rotation en [tr/min]
V	Vitesse d'écoulement en [m/s]
S	Section de conduite en [m ² ou cm ²]
P	Pression en [bar ou Kg/cm ²]
F	Force en [daN ou Kg]
Re	Reynolds sans unité
D	Diamètre en [m]
ΔP_{lin}	Pertes de charge linéaires en [Pa ou mCE]
ΔP_{sing}	Pertes de charge singulières en [Pa ou mCE]
L	Longueur en [m]
λ	Coefficient de frottement
K_{tot}	Coefficient totale des pertes de charges singulières
VFD	Variable Frequency Drive (variateur de fréquence)
HMT	Hauteur manométrique totale
NPSH	Net Positif Suction Head (Hauteur de charge nette d'aspiration)
IGBT	Transistor Bipolaires a Grille Isolée
MAS	Moteur Asynchrone
API	Automate Programmable Industrielle
PLC	Programmable Logic Controller
CPU	Contrale Processing Unit (unité centrale de traitement)
TIA Portal	Totlatlly Integrated automation Portal
DI	Digital Input (Entrée Numérique)
DO	Digital output (Sortie Numérique)
AI	Analog Input (Entrée Analogique)
AO	Analog output (Sortie Analogique)
VDC	Volts en Courant Cntinue

LADDER	Langage A Diagramme Dynamique Electrique de Régulation
IHM	Interface Home Machine
PID	Proportional Integral Derivative (Proportionnel Intégral Dérivé)
LMN	Loop Monitored Node (nœud de surveillance de boucle)
MPI	Message Passing Interface (multi point interface)
TI	Temps d'Intégration
TD	Temps Dérivé
CONT_C	Contrôle Continue
SCALE	Supervisory Control And Logique Equipement (équipement de contrôle et de logique supervisé)

Liste des figures

Chapitre I. Généralité sur les pompes

Figure (I.1) : Types des pompes	8
Figure (I.2) : Pompe volumétrique à piston	9
Figure (I.3) : pompe à piston simple effet.....	10
Figure (I.4) : pompe à piston double effet	10
Figure (I.5) : pompe à membrane	11
Figure (I.6) : Pompe à engrenages extérieurs	11
Figure (I.7) : Pompe à engrenages intérieurs	12
Figure (I.8) : pompe à palette	12
Figure (I.9): pompe à palette flexibles	13
Figure (I.10) : pompe à vis	13
Figure (I.11) : pompe à lobe	13
Figure (I.12) : pompe à hélices	14
Figure (I.13) : pompe hélico-centrifuge	14
Figure (I.14) : La variation des ΔP et Q_v entre les pompes volumétrique et centrifuge	15
Figure (I.15) : la pompe centrifuge	16
Figure (I.16) : les différents types des roues d'une pompe centrifuge	16
Figure (I.17) : Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge	18
Figure (I.18) : la hauteur Manométrique d'une pompe	20
Figure (I.19) : représentés les débits donnés par la pompe en fonction de hauteur, puissance, rendement et NPSH	21
Figure (I.20) : schéma représentatif d'une pompe centrifuge simple étage	23
Figure (I.21) : schéma représentatif d'une pompe centrifuge simple étage	23
Figure (I.22) : Pompe centrifuge à axe vertical	24
Figure (I.23) : Pompe centrifuge immerge.....	25

Chapitre II. Régulation de débit des pompes

Figure (II.1) : Schéma d'une régulation par by-pass	26
Figure (II.2) : Courbes caractéristiques pompe et puissance absorbée	27
Figure (II.3) : Schéma avec vanne de laminage	28
Figure (II.4) : Courbes caractéristiques pompe et puissance absorbée	29
Figure (II.5) : Fonctionnement d'une pompe régulée avec différentes courbes de réseau	30
Figure (II.6) : diamètre de la roue à modifier	32
Figure (II.7) : Changement de performance de la pompe quand le diamètre de la roue est réduit	32

Chapitre III. Système de Pompage au sien de l'entreprise CEVITAL

Figure (III.1) : Organigramme des étapes de raffinage l'huile	34
Figure (III.2) : schéma représentatif du système	35
Figure (III.3) : le réservoir HOT WELL N°2	36

Figure (III.4) : le réservoir HOT WELL N°1	36
Figure (III.5) : les pompe 56P22 principale et secours	37
Figure (III.6): Schéma de principe du variateur de vitesse	40
Figure (III.7) : variateur Schneider altivar 71	41
Figure (III.8) : capteur de niveau CERABAR M	42
Figure (III.9) : l'installation d'un capteur de niveau dans le réservoir HOT WELL N°2	43
Figure(III.10): schéma électrique de raccordement de variateur de vitesse avec moteurs asynchrones	44
Figure (III.11) : Débitmètre Endress + Hauser	45

Chapitre IV. Automatisation du variateur de vitesse par logiciel TIA Portal

Figure (IV.1) : PLC SIMENS CPU 315-2 DP réalisé avec logiciel TIA Portal	48
Figure (IV.2) : programme commande automatique de moteur par seuils de niveau	49
Figure (IV.3) : programme commande marche / défaut d'un variateur	50
Figure (IV.4) : Configuration SCALE pour convention analogique de pression et surveillance de niveau	50
Figure (IV.5) : configuration SCALE pour convention analogique de débit et gestion de débitmètre	51
Figure (IV.6) : configuration d'un contrôleur PID (CONT_C) pour la régulation de niveau avec réglages de gain, TI, TD	51
Figure (IV.7) : la communication de PLC et HMI	53
Figure (IV.8) : l'interface de supervision	54

Liste des tableaux

Chapitre III. Système de pompage au sien de l'entreprise CEVITAL

Tableau (III.1) : les caractéristiques des réservoirs HOT WELL N°1 et N°2	35
Tableau (III.2) : les caractéristiques de la tuyauterie	36
Tableau (III.3) : les caractéristiques du moteur	37
Tableau (III.4) : les caractéristiques de la pompe 56P22 principale et secours	37
Tableau (III.5) : les caractéristiques du variateur de vitesse	41
Tableau (III.6) : les caractéristiques de capteur de niveau CERABAR M	42
Tableau (III.7) : les caractéristiques de débitmètre Endress + Hauser	45
Tableau (III.8) : comparatif des caractéristiques de fonctionnement par by-pass et par variateur de vitesse d'un moteur asynchrone	46

Chapitre IV. Automatisation du variateur de vitesse par logiciel TIA Portal

Tableau (IV.1) : les principaux éléments (contacte et bobines) d'un réseau LD	48
---	----

Introduction générale

Introduction générale

Les pompes sont des éléments essentiels dans la vie au confort des êtres humains, jouant un rôle crucial dans de nombreux domaines tels que l'industrie [13], l'agriculture, l'urbanisme et même dans les systèmes domestiques. Les pompes sont des appareils permettant un transfert d'énergie entre le fluide et un dispositif mécanique convenable, ce qui leur permet de déplacer des fluides tels que l'eau, les gaz et les liquides visqueux.

Les pompes centrifuges occupent une place importante en raison de leur efficacité et de leur polyvalence. Il s'agit d'une machine tournante destinée à communiquer au liquide pompé une énergie suffisante pour provoquer son déplacement dans un réseau hydraulique.

La pompe centrifuge constituée principalement par une roue à ailettes ou aubes qui tournent à l'intérieur d'un carter étanche appelé corps de pompe, implique que le fonctionnement de la pompe centrifuge est un système complexe qui nécessite une compréhension approfondie de la mécanique des fluides, de la thermodynamique et de la mécanique des solides [14]. Dans ce contexte, il est essentiel de comprendre les principes de fonctionnement, les caractéristiques et les applications des pompes centrifuges afin de les utiliser de manière efficace et efficiente.

Ce projet de fin d'étude a pour objectif l'étudier le système de régulation de débit d'une pompe centrifuge à l'aide d'un variateur de vitesse, en ajustant la vitesse du moteur par rapport au niveau du réservoir via le variateur de vitesse.

Ce manuscrit structuré en quatre chapitres :

- Premier chapitre présente des généralités sur les pompes et en mettant l'accent sur les pompes centrifuges et leurs fonctionnements et leurs caractéristiques.
- Second chapitre décrit les différents types de régulation de débit d'une pompe et leurs caractéristiques.
- Troisième chapitre expose l'étude du système de pompage dans l'entreprise CEVITAL.
- Quatrième chapitre : fait l'objet de l'automatisation du variateur de vitesse avec le logiciel TIA Portal.

Nous terminons ce travail par une conclusion générale.

Problématique

Le système de pompage sur lequel nous avons mené notre étude présente une problématique majeure liée à la gestion du niveau des eaux barométriques dans le réservoir HOT WELL N°2 installé au niveau de l'unité de raffinage d'huile dans l'entreprise CEVITAL, ainsi qu'à la régulation du fonctionnement de la pompe principale 56P22. Les principaux problèmes sont les suivants :

- ✓ La pompe 56P22 fonctionne pendant deux minutes pour vider le réservoir HOT WELL N°2 lorsque celui-ci atteint le niveau haut, puis elle s'arrête pendant une minute lorsque le réservoir HOT WELL N°2 est au niveau bas. Cela entraîne un nombre de démarrages du moteur très élevé, ce qui peut avoir plusieurs inconvénients comme l'usure prématurée des composants mécaniques et électriques, l'augmentation de la consommation d'énergie lors du démarrage du moteur.
- ✓ Lorsque la quantité d'eau dans les Lignes 800T A et 800T B est importante, notamment lors des jours pluvieux, le réservoir HOT WELL N°2 peut se déborder, cela suggère que le système n'est pas capable de gérer efficacement la variation de débit d'eau.

Solution

Pour résoudre ces problèmes, nous avons proposé d'intégrer un variateur de vitesse dans le système. Cette solution nous a permis d'ajuster la vitesse de rotation de la pompe en fonction du niveau d'eau dans le réservoir HOT WELL N° 2. Ainsi, le fonctionnement du système devient continu et mieux adapté aux besoins réels, ce qui permet de réduire le nombre de démarrages du moteur, de diminuer la consommation d'énergie et de résoudre le problème de débordement.

Chapitre I

Généralités sur les pompes

Introduction

Les pompes sont des appareils essentiels pour la vie et le confort des êtres humains. Elles déplacent les fluides qu'ils soient chauds ou froids, propres ou sales. Elles effectuent cette opération de manière extrêmement efficace tout en préservant l'environnement.

Dans ce chapitre nous allons présenter les pompes de manière générale, en mettant l'accent sur les pompes centrifuges et leurs fonctionnements et leurs caractéristiques.

I. Définition d'une pompe

Une pompe hydraulique est un dispositif qui transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique en créant un débit de fluide sous pression, elle est utilisée pour alimenter des systèmes hydrauliques qui nécessitent une pression élevée pour fonctionner [1].

II. Types des pompes

Pour répondre à toutes les applications industrielles, plusieurs types de pompes ont été inventés.

On trouve deux grandes familles :

- Les pompes volumétriques.
- Les pompes non volumétriques (roto-dynamique).

La figure (I.1) représente un schéma de la classification des types des pompes.

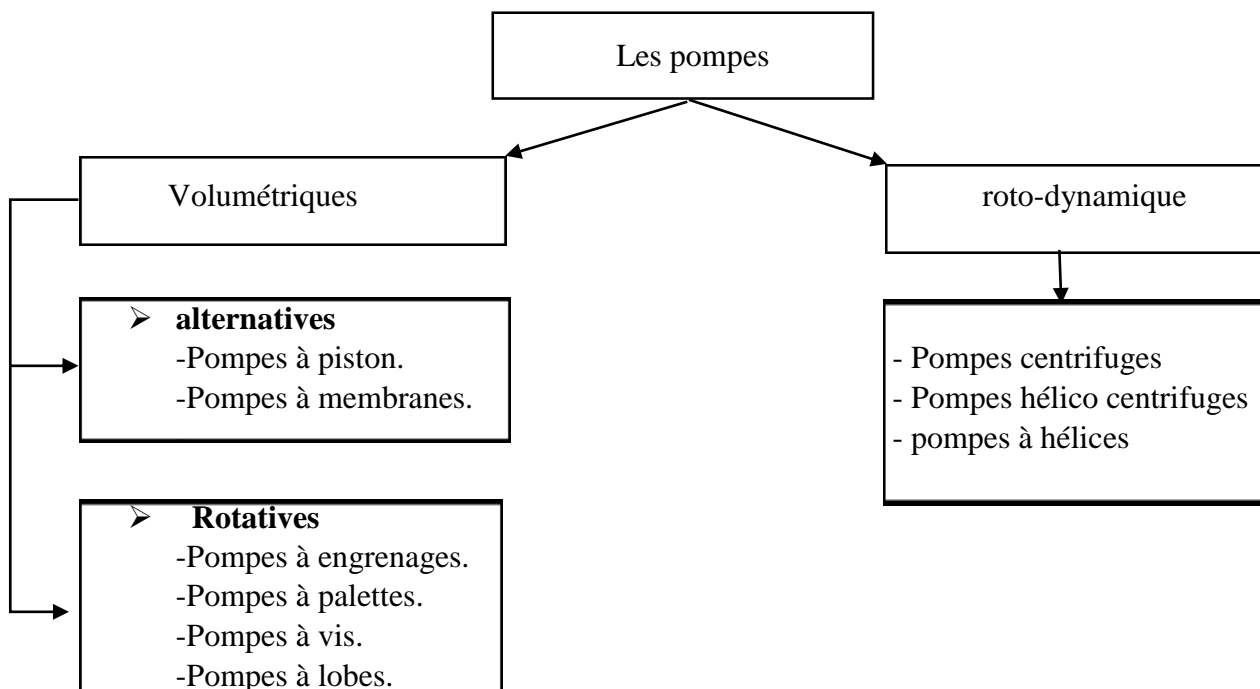


Figure (I.1) : Types des pompes

1- Les Pompes volumétriques

Elles sont utilisées en premier lieu pour les applications à faible débit et grand hauteur manométrique. Leur principe de fonctionnement est basé sur la modification cyclique des volumes des chambres de travail délimitées par rapport aux tuyauteries d'aspiration et de refoulement par des éléments de séparation [3].

Les principaux représentants de cette famille sont :

1-1- Les Pompes volumétriques Alternatives

Ces pompes se caractérisent par le fait que la pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif. Les principaux types de ces pompes sont les suivant :

a- Pompe à Piston

Les volumes engendrés lors de l'aspiration et du refoulement sont le résultat du déplacement alternatif d'un piston ou d'un plongeur sur l'axe d'un cylindre. Un temps est consacré au remplissage du cylindre (aspiration) et un temps est consacré à la vidange du cylindre (refoulement). Le débit de la pompe sera donc discontinu. Lorsque le piston se déplace pour créer les conditions d'aspiration, il faut que le remplissage s'effectue avec du liquide provenant de la tuyauterie d'aspiration. Il est donc nécessaire de fermer l'ouverture de refoulement et d'ouvrir l'arrivée d'aspiration. Inversement, lors du refoulement, il faut ouvrir vers le refoulement et fermer vers l'aspiration. Ceci est réalisé par un jeu de clapets. Une pompe volumétrique alternative comportera toujours des clapets d'aspiration et d'autres de refoulement [4].

La figure (I.2) représente une pompe volumétrique à piston.

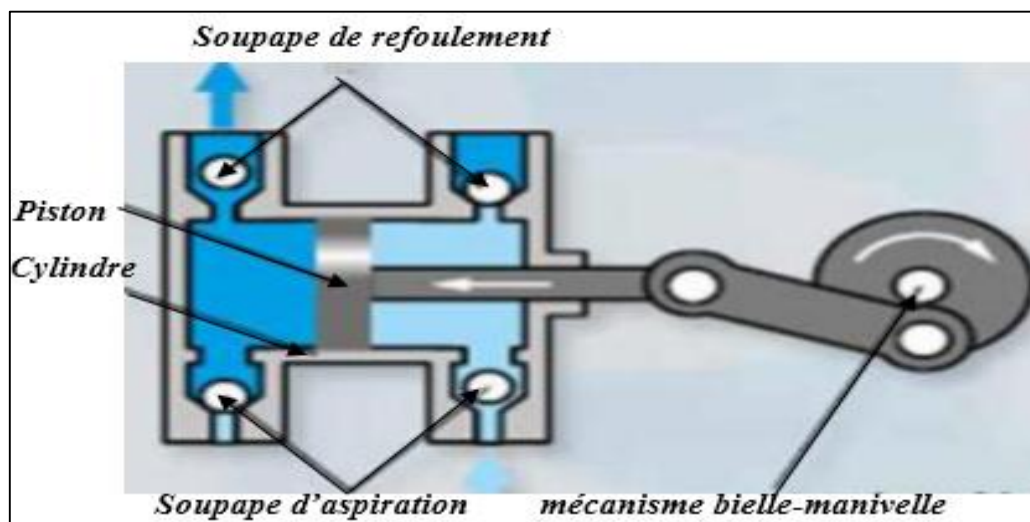


Figure (I.2) : Pompe volumétrique à piston

- **Pompe à piston simple effet** : Le refoulement et l'aspiration n'a lieu que pour un sens de déplacement du piston.

La figure (I.3) représente une pompe à piston simple effet.

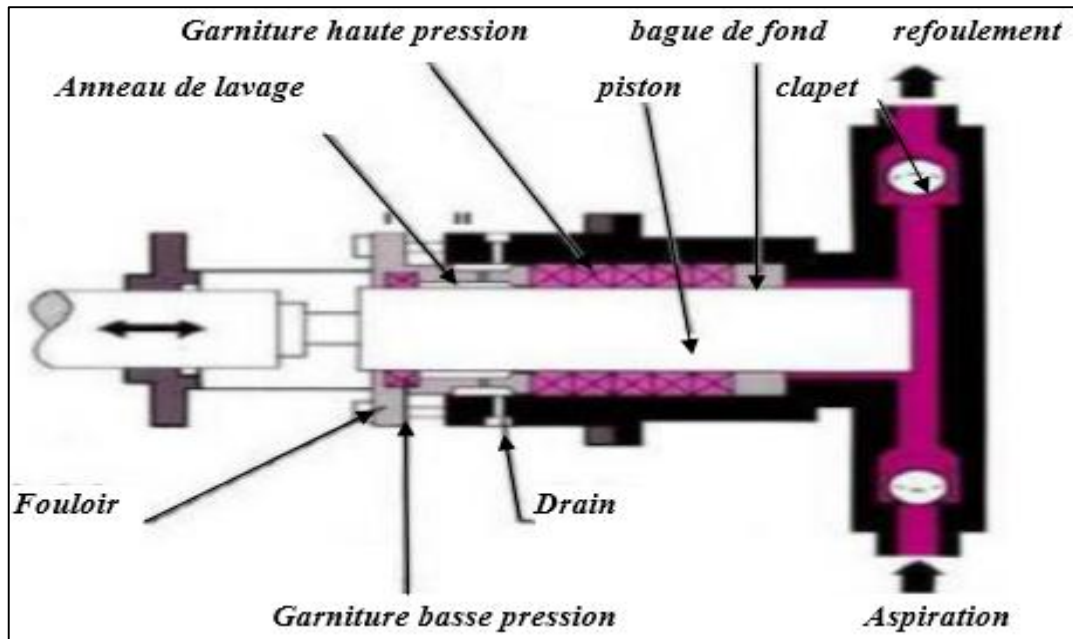


Figure (I.3) : pompe à piston simple effet

- **Pompes à piston double effet** : Le pompage s'effectue des deux côtés du piston : Le piston est actif dans les deux phases, celles-ci étant à la fois phase d'aspiration et phase de refoulement. Cela permet un débit deux fois plus important et une régularité plus grande dans le débit [10].

La figure (I.4) représente une pompe à piston double effet.

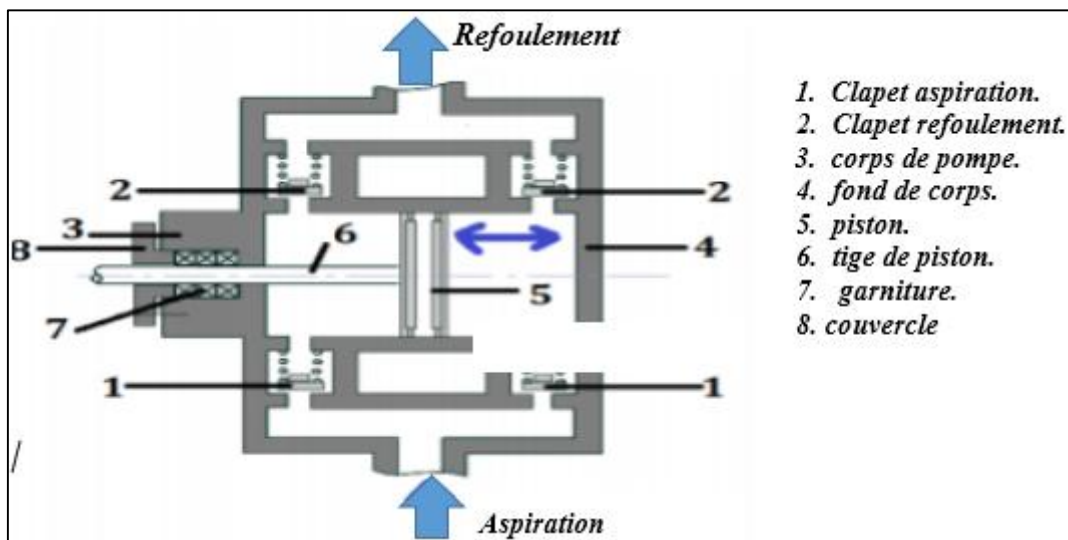


Figure (I.4) : pompe à piston double effet

b- Pompe à membranes

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

La figure (I.5) représente une pompe à membrane.

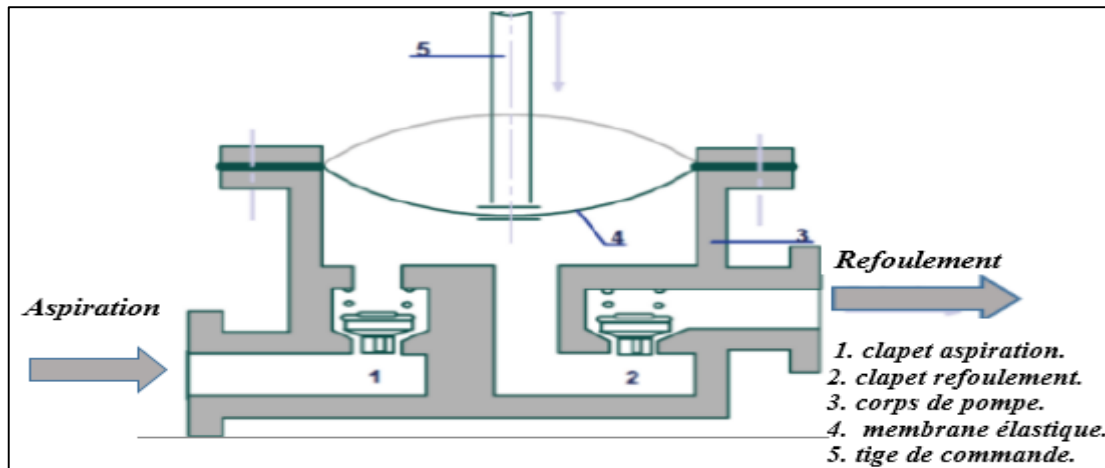


Figure (I.5) : pompe à membrane

1-2- Les pompes rotatives

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

a- Pompe à engrenages

Deux pignons tournent en sens inverse à l'intérieur d'un carter. Le fluide situé entre les dents et la paroi du carter est contraint d'avancer au cours de la rotation, tandis qu'au centre, le contact permanent entre les deux pignons empêche le retour du fluide vers l'amont malgré la différence de pression et le déplacement des dents qui se fait en direction de l'entrée [5].

Les figures (I.6), (I.7) représentent des pompes à engrenages.

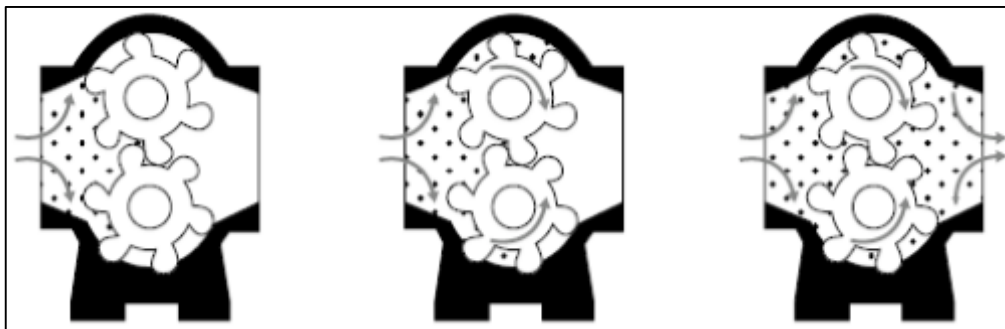


Figure (I.6) : Pompe à engrenages extérieurs

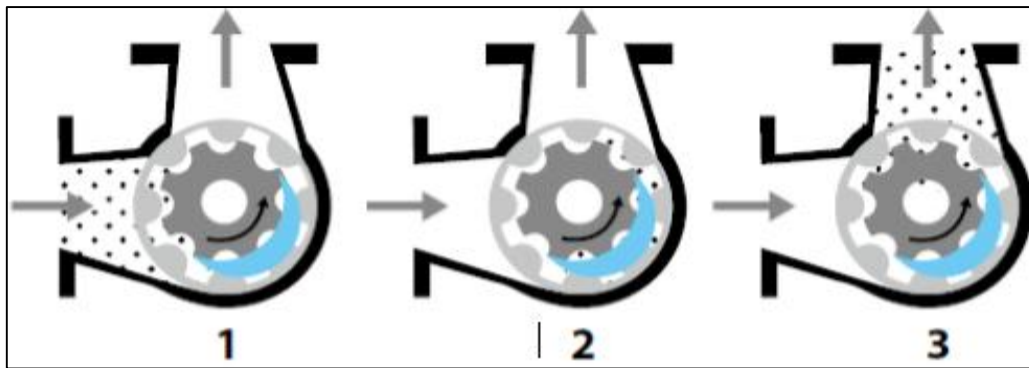


Figure (I.7) : Pompe à engrenages intérieurs

b- Les pompes à palettes

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

○ Pompe à palettes libre

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

La figure (I.8) représente une pompe à palette.

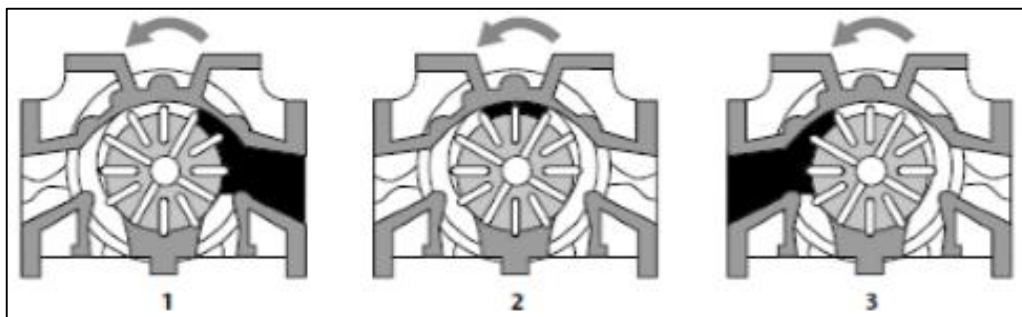


Figure (I.8) : pompe à palette

○ Pompe à palettes flexibles

L'ensemble rotor palettes est en élastomère. Il entraîne le liquide jusqu'au refoulement où les palettes sont fléchies par la plaque de compression et permettent l'expulsion du liquide. Comme toutes les pompes à palettes, ces pompes n'entraînent ni brassage, ni laminage, ni émulsion du produit. Elles peuvent également pomper des particules solides. Les caractéristiques, débit, vitesse, pression sont sensiblement identiques aux précédentes [6].

La figure (I.9) représente une pompe à palette flexibles.

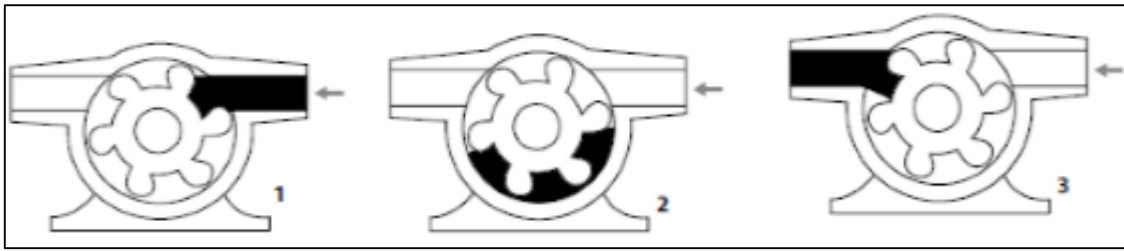


Figure (I.9) : pompe à palette flexibles

c- Pompe à vis

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

La figure (I.10) représente une pompe à vis.

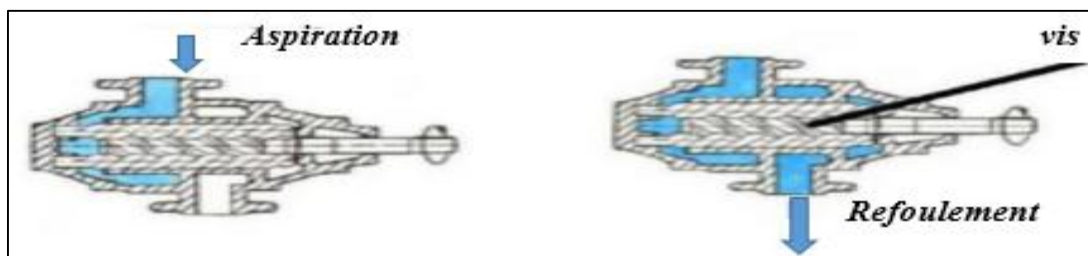


Figure (I.10) : pompe à vis

d- Pompe à lobes

Le principe reste le même que celui d'une pompe à engrenages externes classique à ceci près que les dents ont une forme bien spécifique et qu'il n'y a que deux ou trois dents (lobes) par engrenage [7].

La figure (I.11) représente une pompe à lobes.

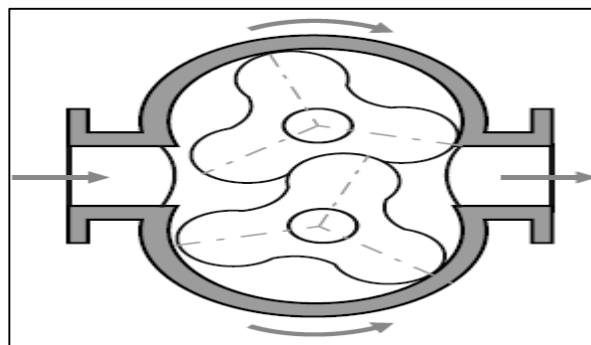


Figure (I.11) : pompe à lobes

2- Les Pompes roto-dynamiques

Sont des pompes qui utilisent l'énergie cinétique d'un rotor pour augmenter la pression et le débit d'un fluide, voici les types courants des pompes roto-dynamique :

2-1- Pompe à hélice

Une bonne capacité d'aspiration, permettant une installation facile, ainsi qu'une courbe caractéristique toujours descendante, assurant un fonctionnement stable quel que soit le débit.

La figure (I.12) représente une pompe à hélices.

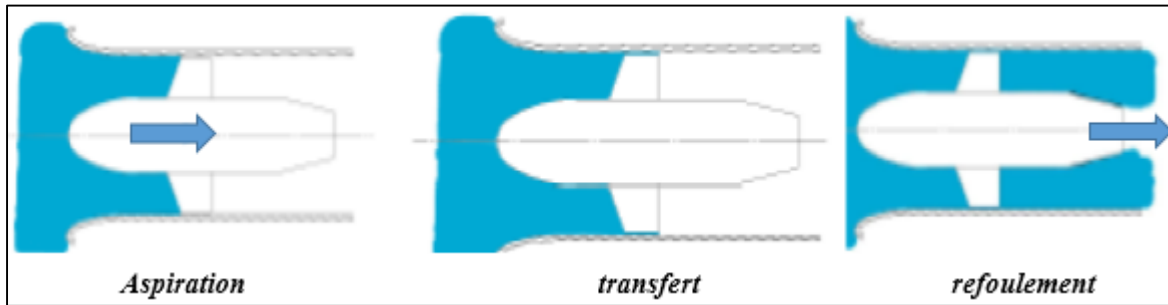


Figure (I.12) : pompe à hélices

2-2- Pompe hélico-centrifuge

Les pompes hélico-centrifuges ne sont pas utilisées pour de faibles débits, car elles conduisent dans ce cas à des vitesses de rotation élevées ou très élevées [7].

La figure (I.13) représente une pompe hélico-centrifuge.

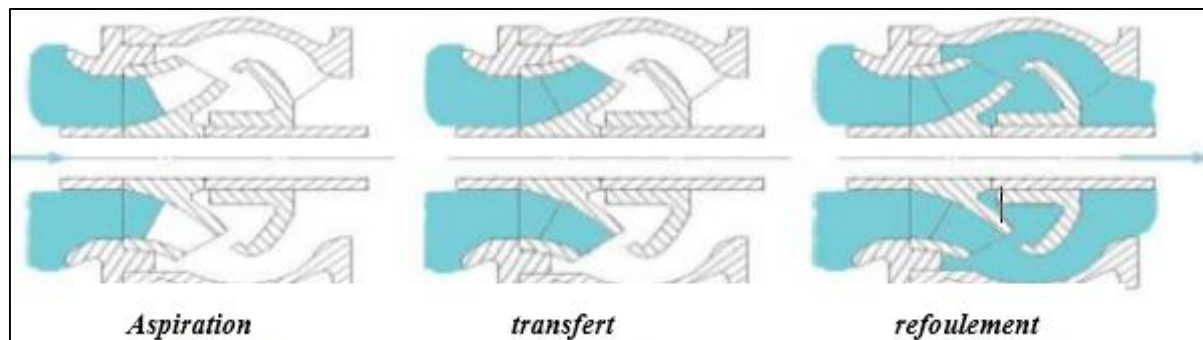


Figure (I.13) : pompe hélico-centrifuge

III. Choix de pompe

Le choix de la pompe dépend des besoins spécifiques de l'application en termes de pression et débit.

La figure (I.14) représente la variation des ΔP et Q_v entre les pompes volumétriques et centrifuge.

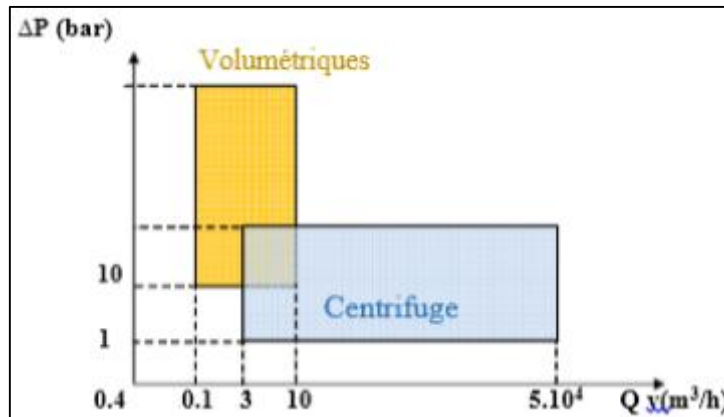


Figure (I.14) : La variation des ΔP et Q_v entre les pompes volumétriques et centrifuge

De manière générale, si on veut augmenter la pression d'un fluide on utilisera plutôt les pompes volumétriques, tandis que si on veut augmenter le débit on utilisera plutôt les pompes centrifuges [3].

IV. Pompe centrifuge

Les pompes centrifuges sont le type le plus répandu en raffinerie et usines chimiques, elles assurent le débit de liquide souhaité par l'exploitant mais dans des conditions de pression imposées par les procédés et les applications avec des contraintes particulières, liées à l'installation, à l'environnement, à la fiabilité, à la sûreté, etc.

Le rotor est composé de plusieurs éléments clés. L'arbre constitue la base du rotor et supporte les roulements qui assurent une rotation fluide et précise. L'impulseur, également appelé roue, est monté sur cet arbre et joue un rôle essentiel dans la conversion de l'énergie. Le moyen d'accouplement permet de relier l'arbre à une source d'énergie externe, tandis que les pièces tournantes des garnitures mécaniques assurent l'étanchéité dynamique du système. Ensemble, ces composants travaillent en harmonie pour garantir le fonctionnement efficace et fiable du rotor dans diverses applications mécaniques.

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 répandu, 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 [7].

La figure (I.15) représente une pompe centrifuge.

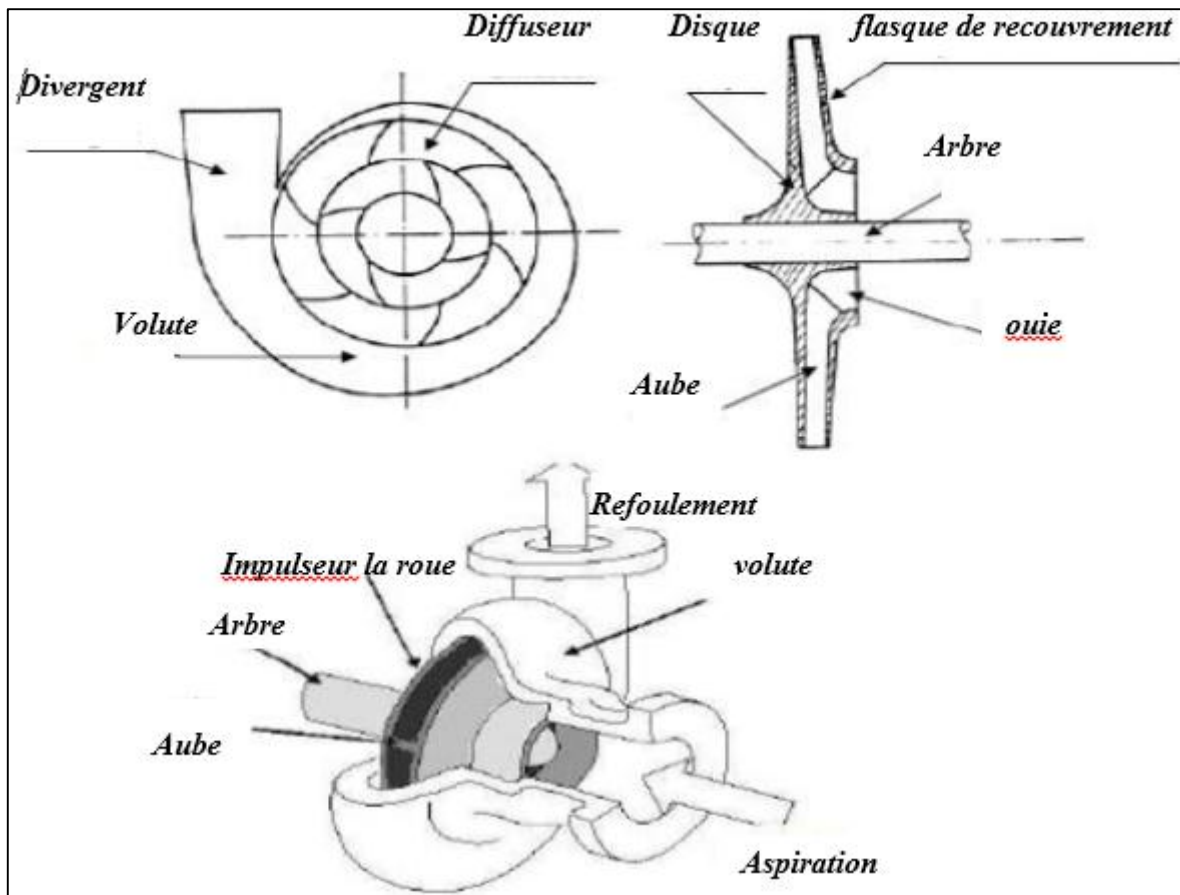


Figure (I.15) : la pompe centrifuge

1- Les composants d'une pompe centrifuge

La pompe centrifuge est constituée principalement de plusieurs éléments clés, parmi lesquels on trouve :

- a- La Roue (ou impulseur) : La roue est la pièce rotative qui transfère l'énergie mécanique au fluide. Elle donne de vitesse au fluide et le projette vers l'extérieur grâce à ses aubes.

Types des roues : Roue ouverte, semi-ouverte et fermée.

La figure (I.16) représente les différents types des roues d'une pompe centrifuge.

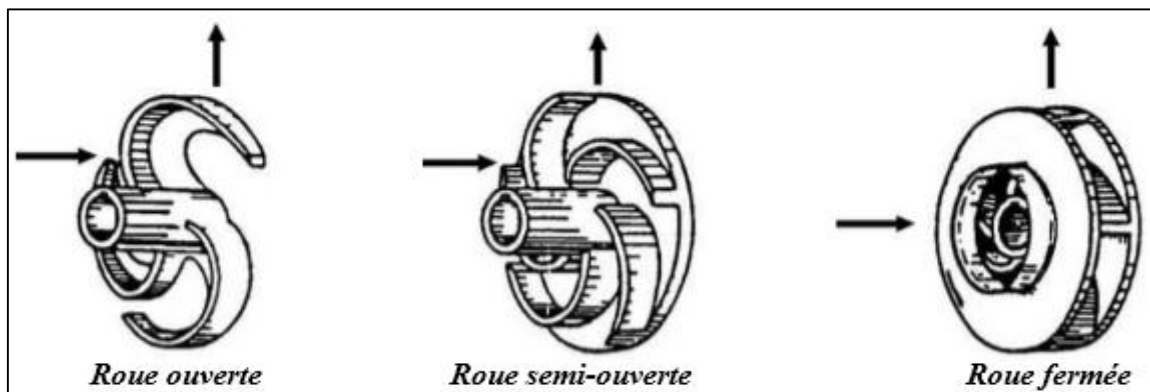


Figure (I.16) : les différents types des roues d'une pompe centrifuge

- b-** corps de la pompe (boîtier) : Le corps de pompe entoure la roue et guide le fluide vers la sortie de la pompe :
 - volute : est une moule en spirale qui convertit l'énergie cinétique en énergie pression.
 - diffuseur : utilise des aubes fixes pour améliorer l'efficacité de pompage.
- c-** Arbre de transmission : permet de transmettre la puissance du moteur à la roue. Il est soutenu par des paliers pour réduire les frottements.
- d-** Joint d'étanchéité (ou garniture mécanique) : Il empêche les fuites de fluide le long de l'arbre.
- e-** Palier : permet la rotation de l'arbre et la roue puis réduisant les frottements.
- f-** Clapet anti-retour (interne) : empêche le reflux du fluide lorsque la pompe est arrêtée.
- g-** Orifice d'aspiration (entrée) : C'est l'entrée par laquelle le fluide est aspiré dans la pompe.
- h-** Orifice de refoulement (sortie) : C'est la sortie par laquelle le fluide est refoulé sous pression.
- i-** Bouchon de remplissage et de vidange : Permet de remplir ou de vider la pompe pour l'amorçage ou la maintenance.
- j-** Support de montage : Pour la fixation de la pompe et le moteur en position stable, il permet de réduire les vibrations.

2- Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge

L'écoulement à l'intérieur d'une pompe est toujours très complexe, il est instationnaire et tridimensionnel, c'est-à-dire qu'il dépend du temps et des trois variables d'espace (t , x , y , z). Sans une simplification préalable, il ne peut être ni analysé par des moyens de calcul simples, ni même décrit ou expliqué par les moyens ordinaires de la communication.

On est donc amené à représenter l'écoulement par des grandeurs fictives. En un point donné, la pression et les trois composantes de la vectrice vitesse que l'on considère, sont des valeurs moyennes dans le temps [8].

La figure (I.17) représente le principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge.

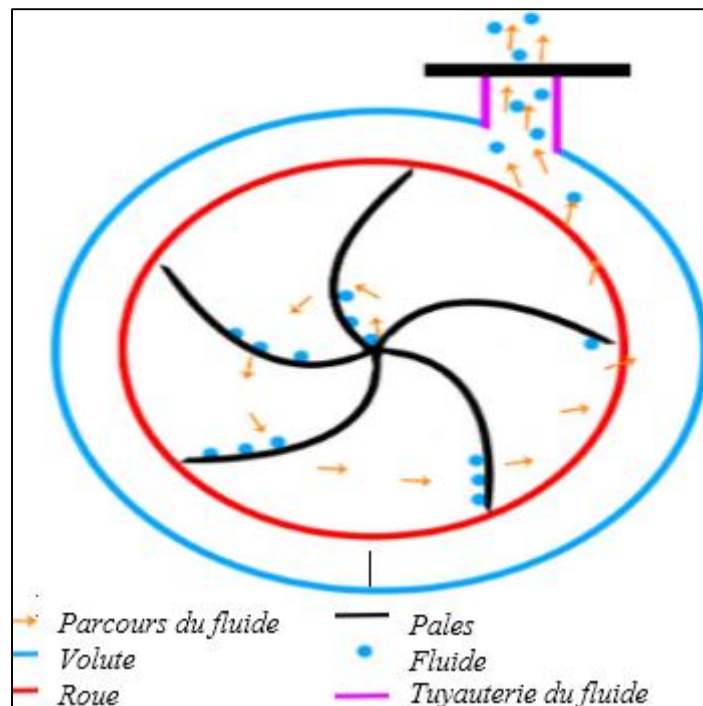


Figure (I.17) : principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge

On peut décomposer le fonctionnement en trois étapes :

❖ L'aspiration

Le liquide est alors aspiré au centre du rotor par une ouverture appelée distributeur, dont le rôle est d'acheminer le fluide depuis la conduite d'aspiration jusqu'à la section d'entrée du rotor. La pompe est amorcée, c'est-à-dire qu'elle est pleine de liquide.

Sous l'effet de la rotation de la roue, le liquide emmagasiné entre les aubes du rotor est projeté de la région axiale à la périphérie, sous l'effet de la force d'inertie centrifuge. La vitesse du fluide qui entre dans la roue augmente alors, ce qui diminue la pression dans l'ouïe et engendre une aspiration, c'est-à-dire une dépression est créée à l'entrée de la pompe. Le maintien de l'amorçage est ainsi assuré [8].

❖ 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 est projeté dans la volute dont le rôle est de collecter le fluide et de le ramener dans la section de sortie. La section offerte au liquide étant de plus en plus grande, son énergie cinétique se transforme en énergie de pression.

❖ 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 [8].

3- Caractéristiques d'une pompe centrifuge

Les pompes centrifuges sont des pompes qui utilisent une roue à aubes pour accélérer la vitesse des fluides, voici quelques caractéristiques de ces pompes :

3-1- Hauteur manométrique totale (HMT)

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 [9].

❖ Densité du fluide

La densité est un facteur important à considérer lors du dimensionnement d'une pompe. La densité d'un liquide peut affecter la pression de sortie d'une pompe. Sur une hauteur verticale identique, un liquide plus lourd que l'eau exige une plus grande force pour véhiculer le fluide.

❖ Charge hydraulique (Hh)

$$H_h (\text{en Pa}) = (g * Z * \rho) \quad (\text{I.1})$$

- ρ = masse volumique du liquide en kg/m³.
- $g = 9.81$ = Intensité moyenne de la pesanteur.
- Z = Hauteur géométrique (d'aspiration ou de refoulement ou les deux) en mètre coulomb d'eau « mCE ».

❖ Hauteur manométrique totale (HMT)

$$\text{HMT} = H_h + J_{\text{asp}} + J_{\text{ref}} + P_r \quad (\text{I.2})$$

- H_h = Charge hydraulique en [Pa].
- J_{asp} = Pertes de charge de la conduite d'aspiration en [Pa]
- J_{ref} = Pertes de charge de la conduite de refoulement en [Pa].
- P_r = Pression résiduelle ou pression de service en [Pa].

La figure (I.18) représente la hauteur manométrique d'une pompe centrifuge.

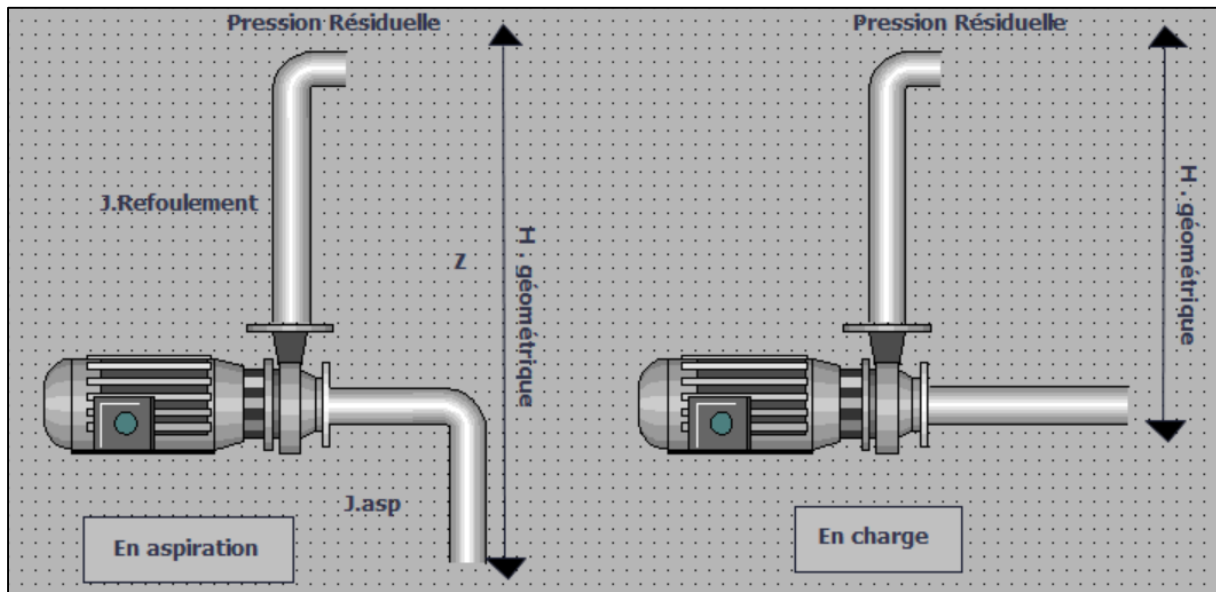


Figure (I.18) : la hauteur Manométrique d'une pompe

3-2- Puissances d'une pompe centrifuge

Une pompe est une machine dont le rôle est de fournir de l'énergie à un fluide en vue de son déplacement. Evidemment cette énergie n'est pas entièrement restituée, constitutivement à différentes pertes, affectant ainsi le rendement global de la pompe. Définissons en premier lieu les puissances impliquées dans l'étude des pompes, ce qui nous amènera naturellement vers les rendements.

Les puissances impliquées dans l'étude d'une pompe sont :

- la puissance communiquée au fluide ou puissance utile $P_u = \rho * g * H_m * Q$ (I.3)

- la puissance de la pompe ou puissance hydraulique $P_p = \rho * g * H_p * Q$ (I.4)

- la puissance absorbée par la roue $P_r = \rho * g * H_p * (Q + q)$ (I.5)

- la puissance absorbée sur l'arbre $P_a = C_m * \omega$ (I.6)

Avec C_m le couple délivré par le moteur entraînant la pompe, q le débit de fuite.

3-3- Les rendements de la pompe centrifuge

Le rendement de la pompe ou rendement global est le rapport de la puissance communiquée au fluide et de la puissance absorbée sur l'arbre moteur :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{\rho * g * Q}{C_m * \omega} \quad (I.7)$$

Ce rendement est donné dans les catalogues des fabricants, et peut être affecté par différentes pertes dans la pompe : les pertes hydrauliques, fonctions du débit, les pertes par fuite s'il existe un débit de fuite q (le débit dans la roue doit être de $Q + q$). Le débit de fuite augmente avec la pression et diminue avec la viscosité. Les pertes mécaniques fonctions de la vitesse de rotation. On peut alors décomposer le rendement global :

- **Rendement manométrique** : rapport de la puissance communiquée au fluide et de la puissance de la pompe

$$\eta_m = \frac{P_u}{P_a} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_m \cdot Q}{\rho \cdot g \cdot H_p \cdot Q} = \frac{H_m}{H_p} = \frac{H_p - \Delta H_p}{H_p} = 1 - \frac{\Delta H_p}{H_p} \quad (I.8)$$

Ce rendement caractérise les pertes de la charge internes à la pompe.

- **Rendement volumétrique** : rapport de la puissance de la pompe et de la puissance absorbée par la roue. Ce rendement caractérise les pertes par fuite.

$$\eta_v = \frac{P_p}{P_r} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_p \cdot Q}{\rho \cdot g \cdot H_p \cdot (Q + q)} = \frac{1}{1 + q/Q} = \frac{Q_{réel}}{Q_{théorique}} \quad (I.9)$$

- **Rendement mécanique** : rapport de la puissance absorbée par la roue et de la puissance du moteur

$$\eta_{méc} = \frac{P_r}{P_a} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_p \cdot (Q + q)}{C_m \cdot \omega} \quad (I.10)$$

Le rendement global peut alors s'écrire $\eta = \eta_m + \eta_v + \eta_{méc}$ avec un rendement caractéristique des performances internes à la pompe (η_m , η_v), et un rendement lié à la partie externe à la pompe ($\eta_{méc}$). Pour des débits nuls, aucune puissance n'est communiquée au fluide ($P_u = 0$) et pour un débit très important la puissance utile est nulle car les pertes de charge sont trop importantes. Finalement, la courbe de rendement a une allure en cloche. La pompe devra évidemment fonctionner dans des conditions pour lesquelles le rendement est maximum, afin notamment de réduire les coûts d'utilisation [10].

La figure (I.19) représente le débit en fonction de la hauteur, la puissance, le rendement et NPSH.

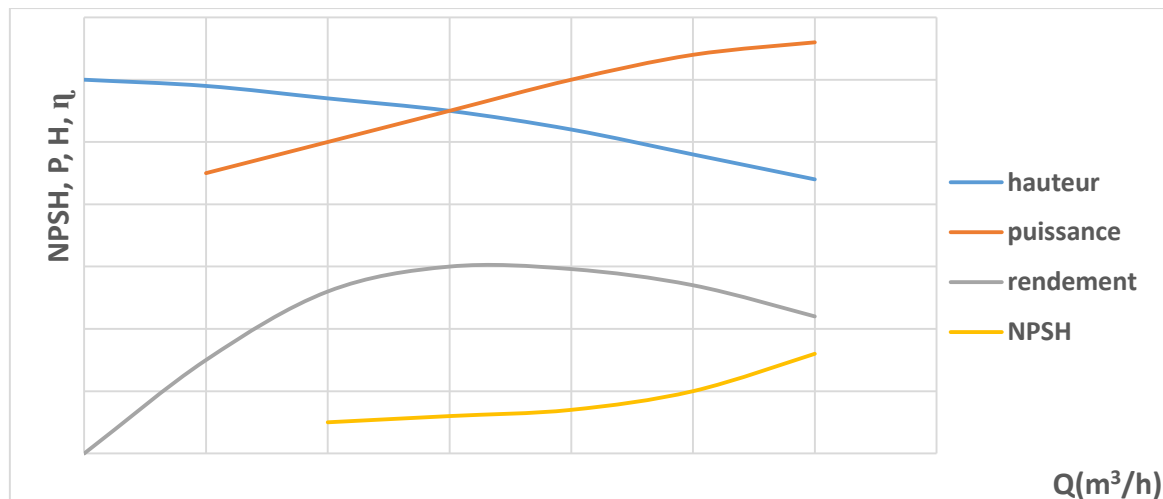


Figure (I.19) : le débit en fonction de la hauteur, la puissance, le rendement et NPSH

3-4- Le NPSH (Net Positive Suction Head ou Hauteur de charge nette d'aspiration)

Le NPSH est simplement une mesure permettant de quantifier la hauteur manométrique d'aspiration disponible pour éviter la vaporisation au niveau le plus bas de la pression dans la pompe.

Une pompe possède une capacité maximum d'aspiration qui est la valeur du vide qu'elle peut produire. Cette caractéristique varie suivant le type et la conception technique de la pompe.

Théoriquement, la hauteur maximale d'aspiration, dans une cavité où règne le vide absolu, est égale à la pression atmosphérique. Elle diminue progressivement quand l'altitude augmente.

En réalité cette hauteur est limitée, non seulement par les pertes de charge dans la conduite d'aspiration mais également par les propriétés physiques propres à chaque type de liquide [5].

3-5- Les débits

Le débit est la quantité de matière (exprimé par une masse ou un volume) qui passe à chaque unité de temps à travers cette section. Si on choisit d'exprimer la quantité de matière, alors on parlera de débit massique. Si on choisit un volume on parlera de débit volumique. On notera q_m le débit massique et q_v le débit volumique [10].

3-5-1- Débit volumique Q_v

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

$$Q_v = V \cdot S \quad (I.11)$$

3-5-2- Débit Massique Q_m

On obtient la relation entre le débit massique et le débit volumique :

$$Q_m = Q_v \cdot \rho \quad (I.12)$$

3-6- La pression

L'unité légale de pression est le Pascal (Pa). Le Pascal est la pression exercée par une force de 1N agissant sur une surface de 1 m². Dans la pratique on utilise le bar : $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$. En hydraulique, la pression c'est la force.

$$P = F / S \quad (I.13)$$

P = pression en bar ou en [kg/cm²].

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

S = surface en [cm²].

V. Types des pompes centrifuges

Les pompes centrifuges sont des pompes qui utilisent un rotor à aubes pour accélérer la vitesse de fluide, voici quelques types des pompes centrifuges :

1- Pompe centrifuge à simple étage

Une pompe monocellulaire ne comporte donc qu'une seule roue, les canaux de retour deviennent inutiles. En fait, le rôle des diffuseurs et des canaux de retour est joué par un seul élément c'est la volute. Cette volute a une section croissante depuis son origine jusqu'à la sortie. Mais le débit transitant dans la volute va en augmentant si bien que la vitesse y demeure sensiblement constante.

La figure (I.20) représente un schéma de la pompe centrifuge simple étage.

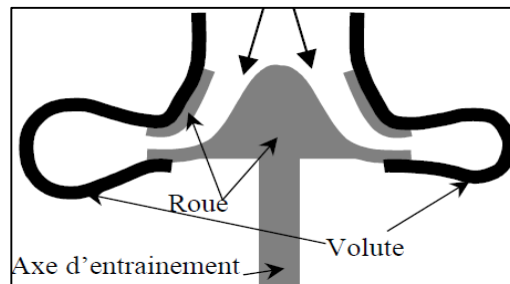


Figure (I.20) : schéma représentatif d'une pompe centrifuge simple étage

2- Pompe centrifuge à multiétages

Une pompe centrifuge multicellulaire comporte plusieurs roues clavetées sur un même arbre d'entraînement, chaque cellule, ou étage, comporte les éléments décrits précédemment : c'est-à-dire une turbine, un diffuseur et des canaux de retour qui ramènent l'eau à l'entrée de la turbine suivante.

On fait appel aux pompes multicellulaires lorsque la hauteur de refoulement est telle qu'elle conduirait pour une pompe monocellulaire, à des dimensions trop importantes pour la construction. On utilise égale les multicellulaires lorsque des raisons d'encombrement limitent le diamètre extérieur de la roue, et par conséquent, la hauteur de relèvement de chaque étage.

La figure (I.21) représente schéma d'une pompe centrifuge multiétages.

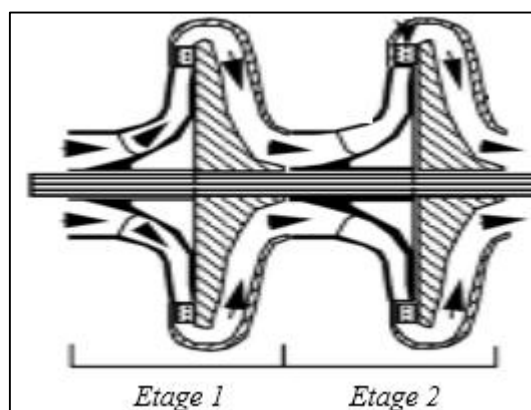


Figure (I.21) : schéma représentatif d'une pompe centrifuge multiétages

3- Pompe centrifuge à axe vertical (gyrostatique)

Ces pompes ont été conçues pour le cas où la hauteur d'aspiration devient trop forte pour une pompe de surface. Dans ce cas, la pompe fixée à sa conduite de refoulement, est descendue

verticalement jusqu'à ce que la hauteur d'aspiration soit admissible. La pompe peut même être immergée. Le moteur d'entraînement est situé en surface, à la verticale de la pompe à axe vertical. La transmission du mouvement se fait par une ligne d'arbres logée dans la conduite de refoulement.

Généralement, les pompes utilisées sont multicellulaires puisque les dimensions sont restreintes et la hauteur de refoulement grande. Cependant, on rencontre également des pompes gyrostatiques où les différentes cellules sont réparties en relais tout au long de la conduite de refoulement.

La figure (I.22) représente une Pompe centrifuge à axe vertical.

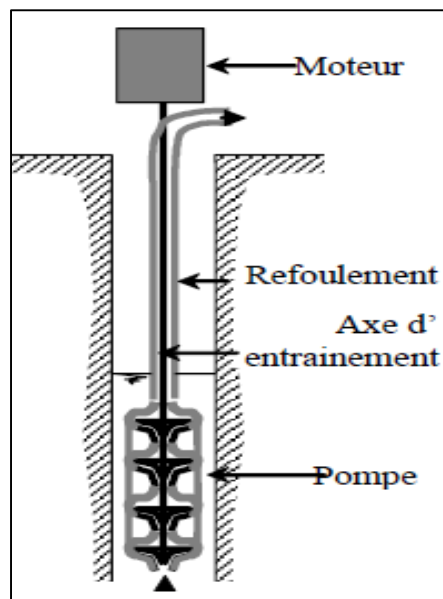


Figure (I.22) : Pompe centrifuge à axe vertical

4- Pompe centrifuge immergée

Les groupes immergés répondent aux mêmes besoins que les groupes gyrostatiques, c'est-à-dire l'exploitation de forages étroits plus ou moins profonds. Ils se composent d'une pompe à axe vertical (mono ou multicellulaire) surmontant un moteur électrique étanche. L'aspiration se fait par une crépine située entre le moteur et la pompe. Ce schéma présente l'avantage de réduire les installations de surface, de maintenir la pompe et le moteur hors gel, et de supprimer les risques de désamorçage. Par rapport aux groupes gyrostatiques, il présente l'avantage de limiter les pertes d'énergie dans la transmission du mouvement [20].

La figure (I.23) représente une pompe centrifuge immergée.

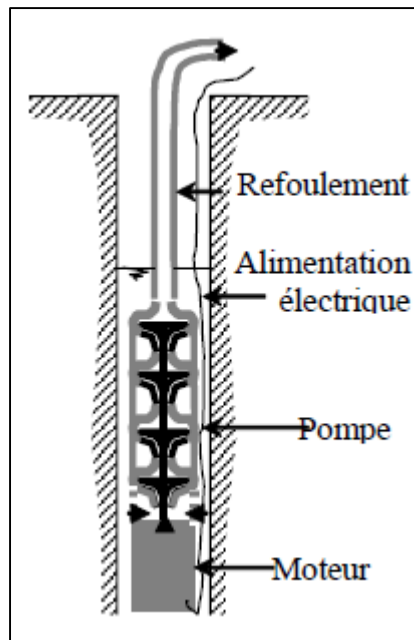


Figure (I.23) : Pompe centrifuge immergée

Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'aborder les différents types de pompes, en mettant l'accent sur les pompes centrifuges. Nous y avons exploré les principes fondamentaux de leur fonctionnement, ainsi que leurs caractéristiques uniques, leur construction, leurs principes de fonctionnement et leurs paramètres de performance. La présentation des différents types de régulation de débit des pompes fait l'objet de chapitre suivant.

Chapitre II

Régulation de débit des pompes

Introduction

La régulation de débit d'une pompe est un processus essentiel dans de nombreux systèmes industriels et domestiques, visant à optimiser leur performance et à assurer un fonctionnement efficace et durable permettant ainsi de réduire la consommation d'énergie [16], de minimiser l'usure des composants et de maintenir un équilibre optimal dans un réseau hydraulique [3]. Une régulation bien maîtrisée contribue à la fiabilité des installations à la réduction des coûts d'exploitation.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les principes de régulation de débit, ainsi que les différents types de régulation de débit, leurs caractéristiques.

I. Définition du débit

Le débit est la quantité de matière, exprimée par une masse ou un volume, qui passe à chaque unité de temps à travers cette section [16].

II. Méthodes de régulation de débit

Il existe de nombreuses méthodes de régulation de débit d'une pompe, chacun ayant ses propres caractéristiques parmi ces types on trouve :

1- Méthodes traditionnelles

Les méthodes traditionnelle sont couramment utilisées pour réglé le débit dans divers systèmes, parmi ces méthodes on trouve :

a- Régulation de débit par vanne de by-pass

La tuyauterie de by-pass est installée parallèlement à la pompe. Le débit fourni par la pompe se partage entre le débit qui va dans l'installation et le débit qui passe par le by-pass. Ce dernier revient directement ou indirectement à l'aspiration de la pompe. En modifiant le débit du by-pass ou la courbe caractéristique de la tuyauterie de by-pass à l'aide de la vanne de régulation, on peut modifier le débit envoyé dans l'installation. La pompe, quant à elle, travaille en permanence à proximité du même point de fonctionnement, c'est à dire le point de fonctionnement de l'installation au débit nominal [17].

La figure (II.1) représente un schéma d'une régulation de débit par by-pass

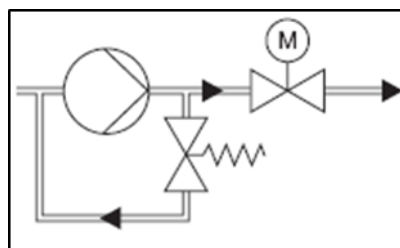


Figure (II.1) : Schéma d'une régulation par by-pass [17]

La figure (II.2) représente les courbes caractéristiques pompe et puissance absorbée.

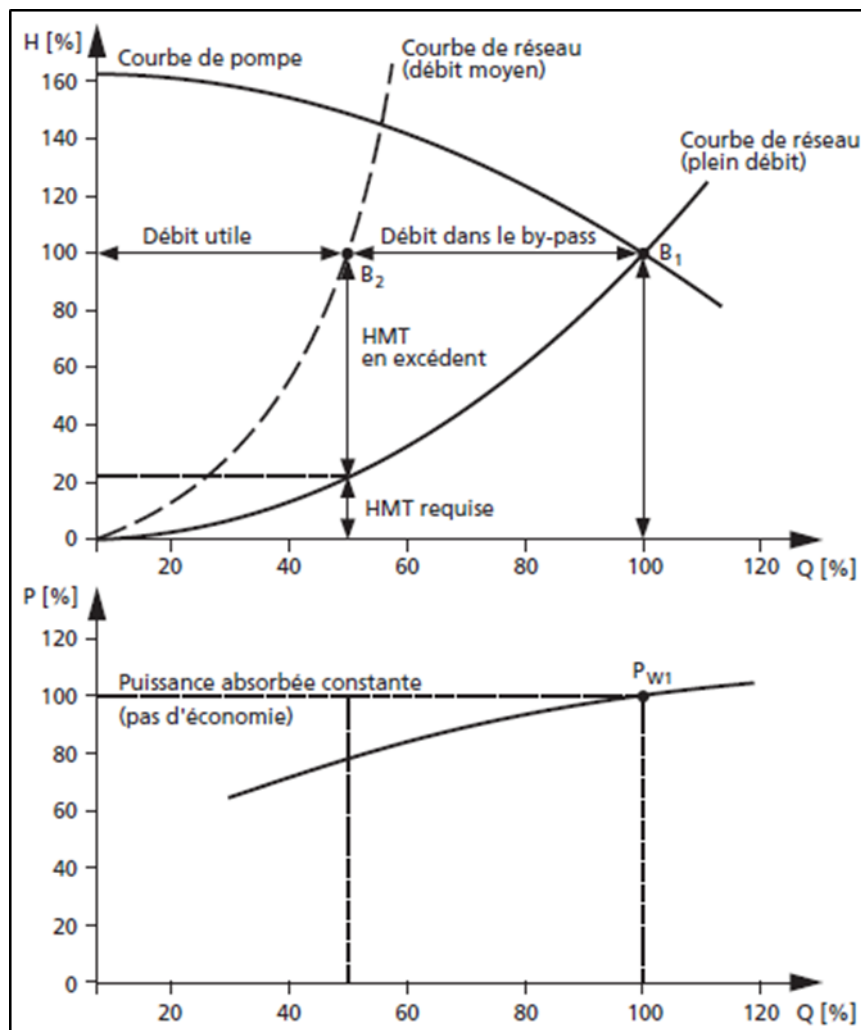


Figure (II.2) : courbes caractéristiques pompe et puissance absorbée [17]

- Courbe de pompe : On observe que le débit augmente, plus que la hauteur produite par la pompe diminue.
- Courbe de réseau (débit moyen) : L'intersection de la courbe de pompe et de cette courbe de réseau B_2 indique le point de fonctionnement de la pompe dans ces conditions de débit moyen. Ce point définit le Débit utile fourni au système et la Hauteur Manométrique Totale requise correspondante.
- Courbe de réseau (plein débit) : si le by-pass est complètement fermé, on aura un débit maximal vers l'application souhaitée. L'intersection de la courbe de pompe et de cette courbe de réseau B_1 représente le point de fonctionnement à plein débit.
- Débit dans le by-pass : Le débit dans le by-pass est la différence entre le débit total fourni par la pompe et le débit utile requis par le système.
- HMT en excédent : La flèche verticale entre la courbe de pompe et la courbe de réseau en débit moyen au niveau du débit utile représente la hauteur supplémentaire générée par la pompe.

a-1- Les avantages et les inconvénients de la méthode de by-pass**➤ Avantages**

Simple à utiliser, facile à installer et peu coûteuse.

➤ Inconvénients

Pertes de charge importantes ce qui peut augmenter la consommation d'énergie et réduire l'efficacité du système et peut entraîner des problèmes de stabilité et de contrôle, et une faible précision.

b- Régulation de débit par laminage

Laminage est une vanne régulatrice de débit (ou vanne de contrôle), installée en aval de la pompe sur la conduite de refoulement, permet de modéliser le débit et la pression.

La figure (II.3) représente un schéma de montage de la vanne de laminage.

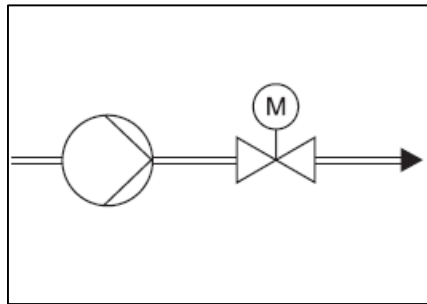


Figure (II.3) : schéma de montage de la vanne de laminage [17]

Grâce à l'augmentation des pertes de charges dans la vanne de régulation la courbe caractéristique se redresse. Avec une pompe à vitesse fixe le point de fonctionnement remonte sur la courbe caractéristique vers le débit nul. La pompe délivre alors une hauteur manométrique plus élevée que celle qui est nécessaire au fonctionnement de l'installation. La hauteur supplémentaire ainsi créée est absorbée par la vanne de laminage [17].

La figure (II.4) représente les courbes caractéristiques pompe et puissance absorbée.

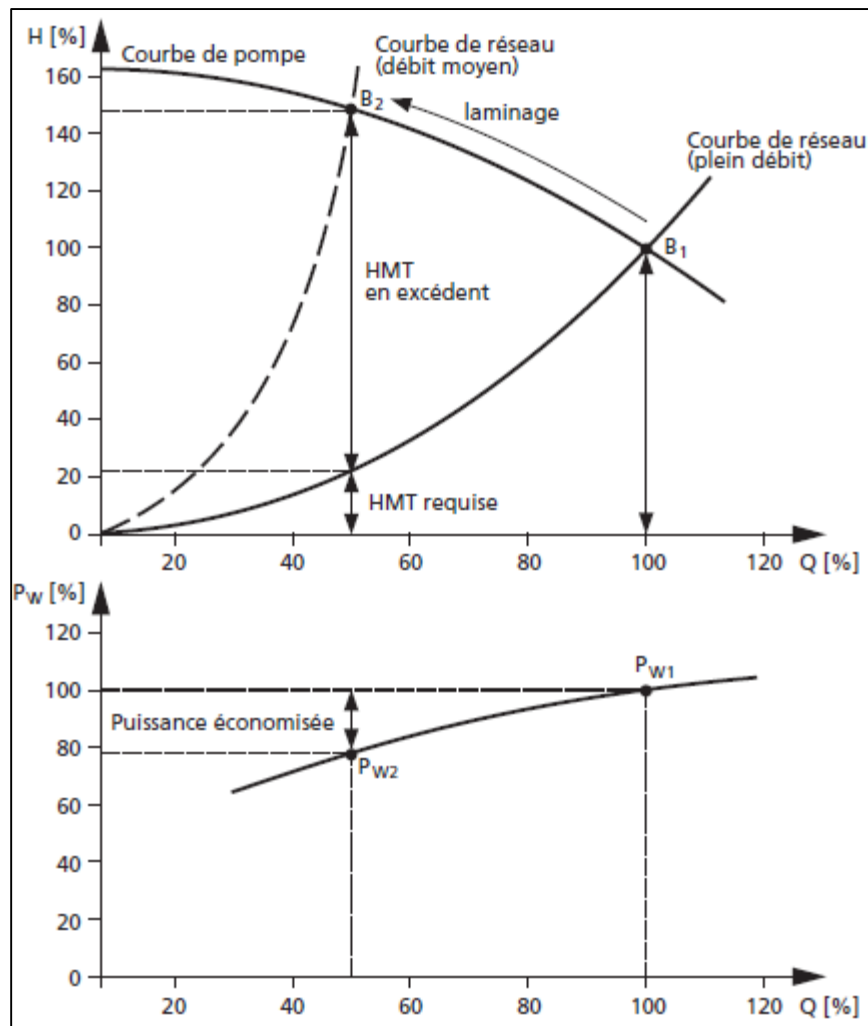


Figure (II.4) : courbes caractéristiques pompe et puissance absorbée [17]

- Courbe de Pompe : On observe que la HMT diminue généralement lorsque le débit augmente.
- Courbe de Réseau (plein débit) : montre comment la HMT requise par le système augmente avec le débit. Le point de fonctionnement B1 entre la courbe de pompe et la courbe de réseau est le point de fonctionnement de la pompe à plein débit.
- Laminage : La résistance du système augmente, ce qui signifie que pour un débit donné, la HMT requise est plus élevée. Le nouveau point de fonctionnement est B2, où la courbe de pompe croise cette nouvelle courbe de réseau.

b-1- Les avantages et les inconvénients de la méthode de laminage

➤ **Avantages**

Réglage de débit, la protection de l'installation, Simple à installer, Précision et stabilité élevée, robustes et fiable, mise en œuvre simple et cout modérée.

➤ **Inconvénients**

Vibration induit par l'écoulement, usure mécanique accrue, risque de cavitation, réduction d'efficacité énergétique (Pertes de charge élevée).

2- Méthodes modernes

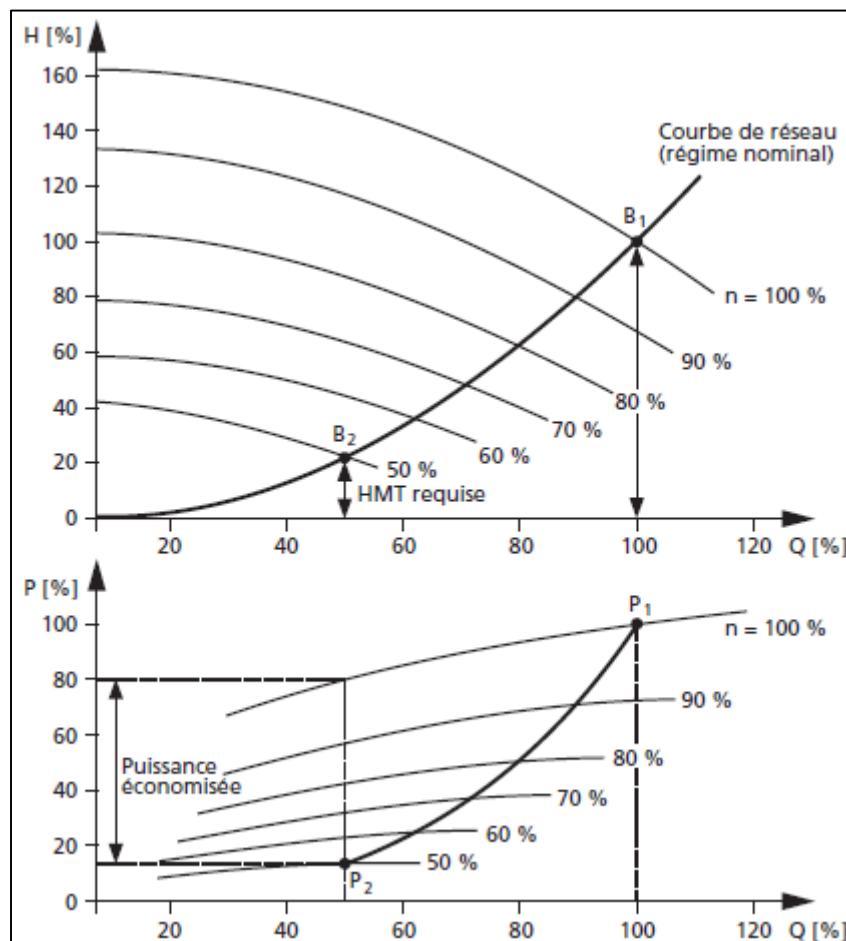
Les méthodes modernes sont largement adoptées dans de nombreuses industries en raison de leurs efficacités, parmi ces méthodes on trouve :

a- Régulation de débit par variation de vitesse

Loi hydraulique pour le Fonctionnement des pompes centrifuges à vitesse variable
Contrairement aux régulations de débits décrites précédemment, la variation de vitesse permet d'adapter en permanence la puissance de la pompe aux besoins de l'installation.

Lorsque le débit augmente de façon linéaire, les pertes de charges de l'installation dans le carré du débit augmentent. Les pompes centrifuges ont un comportement similaire : lorsque le débit et la vitesse augmentent de façon linéaire, la hauteur manométrique augmente avec le carré de la vitesse [17].

La figure (II.5) représente le fonctionnement d'une pompe régulée avec différentes courbes de réseau.



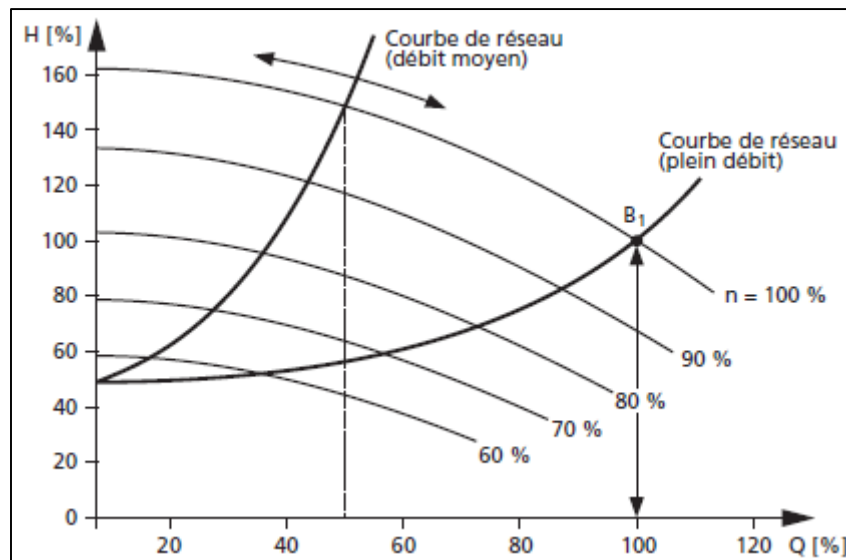


Figure (II.5) : fonctionnement d'une pompe réglée avec différentes courbes de réseau [18]

-Le graphique $H(Q)$: la courbe de réseau (régime nominal) croise la courbe de pompe à vitesse maximale ($n=100\%$) au point B_1 , correspondant au débit et à la hauteur maximale. En réduisant la vitesse,

-Le graphique $P(Q)$: le point P_1 correspond à la puissance absorbée à plein régime (B_1). En diminuant la vitesse pour atteindre le point B_2 , la puissance absorbée chute considérablement au point P_2 . La zone verticale marquée Puissance économisée illustre la réduction substantielle de la consommation électrique obtenue en adaptant la vitesse de la pompe aux besoins réels du système.

Le variateur permet ainsi un fonctionnement plus efficace en fournissant uniquement l'énergie nécessaire au débit et à la hauteur requis par l'installation à un instant donné.

En raison de ces lois hydrauliques, une faible variation de vitesse permet de couvrir une plage de fonctionnement importante. Les lois de similitudes permettent de déduire les formules suivantes pour les pompes centrifuges.

$$\text{○ Débit} \quad Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (\text{II.1})$$

$$\text{○ Hauteur} \quad H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad (\text{II.2})$$

$$\text{○ Puissance} \quad P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \quad (\text{II.3})$$

a-1- Les avantages et les inconvénients de la méthode de régulation de débit par variateur de vitesse

➤ Avantages

Economies d'énergie Résiste les grands débits, précision et stabilité élevée, réduction d'usure.

➤ Inconvénients

Cout élevée, nécessite des compétences et des connaissances spécifiques, sensibilité aux perturbations électrique, nécessite une maintenance régulière pour garantir le bon fonctionnement.

b- Régulation de débit par La modification du diamètre de la roue

Un autre moyen d'ajuster la performance d'une pompe centrifuge est de modifier le diamètre de sa roue, c'est-à-dire de la rogner et ainsi de réduire la performance de la pompe.

Bien entendu, le diamètre de la roue ne peut être réduit pendant que la pompe fonctionne. Par rapport aux méthodes de régulation par étranglement et par bypass, qui peuvent être mises en œuvre lors du fonctionnement, la modification du diamètre de la roue doit être faite avant l'installation de la pompe ou lors d'une intervention de maintenance.

La figure (II.6) représente le diamètre de la roue à modifier.

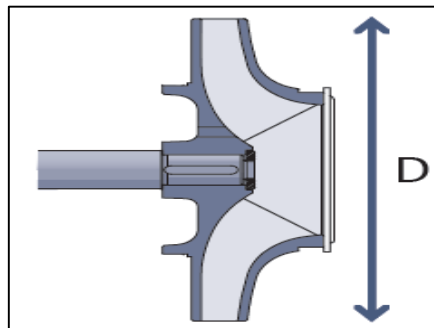


Figure (II.6) : diamètre de la roue à modifier

La figure (II.7) représente le changement des performances de la pompe quand le diamètre de la roue est réduit.

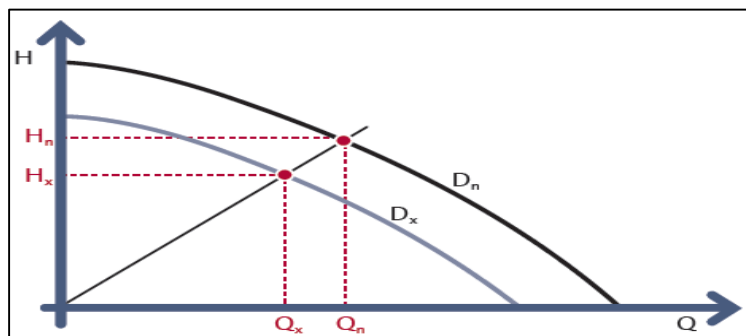


Figure (II.7) : changement de performance de la pompe quand le diamètre de la roue est réduit

Le débit et la hauteur manométrique sont modifiés dans les mêmes proportions : cette modification est égale au changement de rapport du diamètre de la roue élevé à la puissance deux. Les points de consigne résultant des formules sont placés sur une ligne droite dont l'origine se situe en (0,0). Le changement de consommation électrique suit le changement de diamètre la puissance quatre.

$$\frac{Q_n}{Q_x} = \left(\frac{D_n}{D_x}\right)^2 ; \frac{H_n}{H_x} = \left(\frac{D_n}{D_x}\right)^2 ; \frac{P_n}{P_x} = \left(\frac{D_n}{D_x}\right)^3 ; \frac{\eta_n}{\eta_x} = 1 \quad (\text{II.4})$$

b-1- Les avantages et les inconvénients de la méthode de modification de la roue**➤ Avantages**

Amélioration de l'efficacité et réduire les pertes d'énergie, permet d'adapter une pompe existante à de nouvelles conditions de fonctionnement, contrôle précis, répondre aux besoins spécifiques du système.

➤ Inconvénients

Risque de dégradation des performances, nécessite un bon nettoyage après le montage de la nouvelle roue, coût de modification et la procédure de la maintenance.

3- L'importance de la régulation de débit

La régulation de débit est une solution importante dans le système de pompage, car il permet de :

- contrôlé le débit du fluide et amélioration de l'efficacité du système.
- prévention des dommages à l'équipement et amélioration de la sécurité.
- réduction des coûts et l'économie d'énergie.

4- Choix d'une méthode de régulation en fonction des applications

Le choix de régulateur de débit dépend de plusieurs facteurs, notamment :

- Le type de fluide : tout dépend des propriétés du fluide (la densité, viscosité).
- Débit et pression : le débit et la pression peuvent déterminer la méthode choisie pour la régulation pour avoir le débit souhaité.
- Précision et stabilité : la précision et la stabilité peut s'influencer sur la méthode de la régulation pour avoir une meilleure stabilité dans le système.
- Coût et complexité : le coût et complexité peuvent aussi influencer sur le choix de la régulation (la mise en œuvre l'installation, la maintenance régulière).

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné les différents types de régulation de débit des pompes, en les classant en deux catégories : les méthodes traditionnelles et les approches modernes. Cette classification a servi de base à une étude comparative approfondie mettant en évidence les principes de fonctionnement, les caractéristiques techniques ainsi que les avantages et les limites de chaque méthode. Cette analyse nous a permis de mieux cerner les enjeux techniques de la régulation de débit, tout en identifiant les défis à relever.

Chapitre III

Système de pompage au sien de l'entreprise CEVITAL

Introduction

Dans le cadre de formation, le stage pratique constitue une étape cruciale qui permet de mettre en applications des connaissances théorique acquises et de développer les compétences professionnelles dans un contexte réel.

Dans ce chapitre, nous allons présenter le système existant dans le complexe CEVITAL, la problématique et la solution proposée, ainsi que toutes les étapes à suivre pour résoudre le problème.

I. Objectifs de l'étude

Les principaux objectifs de cette étude sont :

- ✓ Etude de l'installation existante dans le système de pompage actuel.
- ✓ Intégration du variateur de vitesse au système afin de résoudre la problématique.
- ✓ Automatisation de variateur de vitesse à l'aide de logiciel TIA Portal.

II. Présentation du complexe CEVITAL

Ce présent travail réalisé au complexe CEVITAL, qu'est la première société par action privée dans l'industrie du raffinage des huiles sur le marché Algérien, créée en 1998, est implantée dans l'enceinte portuaire de Bejaia.

L'ensemble des activités de CEVITAL est concentré sur la production des huiles végétales, de margarine et du sucre.

CEVITAL s'approvisionne essentiellement en huiles brutes en fonction du marché demandeur/ fournisseur [19].

III. Définition de raffinage

Le raffinage consiste en un certain nombre de traitements qu'on fait subir à une huile brute pour aboutir à un produit pur, non peroxydé, neutre et peu coloré [18].

IV. Les étapes de raffinage d'huile

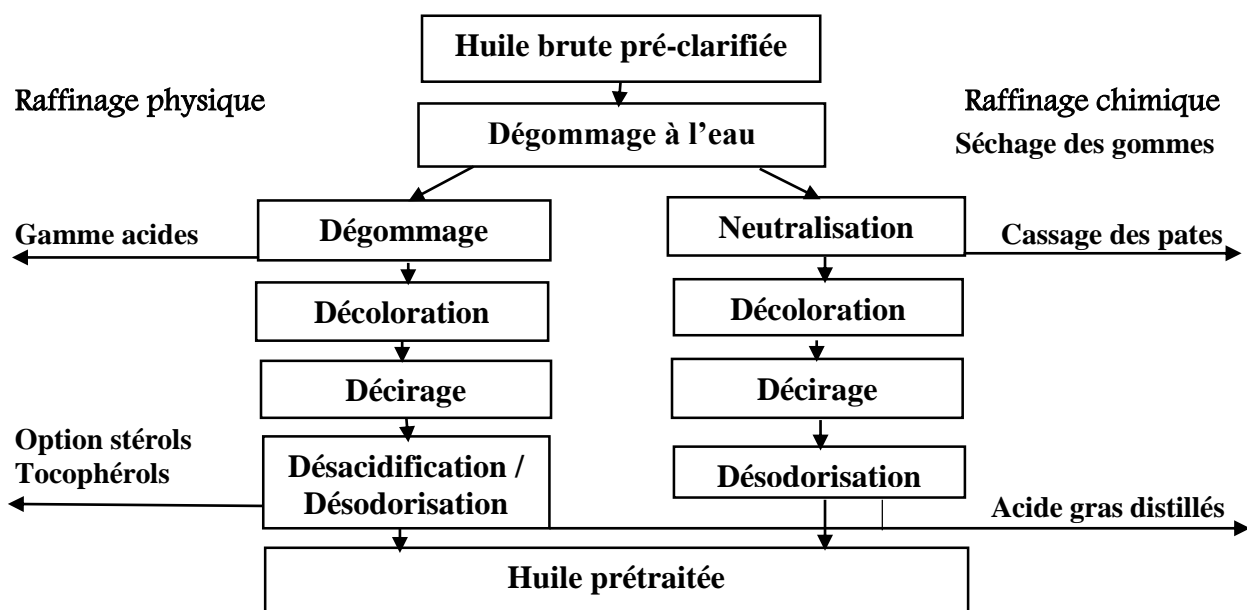


Figure (III.1) : Organigramme des étapes de raffinage l'huile

V. Présentation du système existant de l'étude

Le système existant de notre étude contient deux réservoirs éloignés de 47,5 mètres, (réservoir HOT WELL N°2 et réservoir HOT WELL N°1), réservoir HOT WELL N°2 reçoit de l'eau de manière irrégulière via deux lignes de production (Ligne 800T A et Ligne 800T B). Les pompes 56P22 principale et 56P22 secours (redondance passive) assurent le transfert d'eau à travers des conduites en inox 304 de diamètres 100 mm vers le réservoir HOT WELL N°1. Système de la régulation de débit est le by-pass qui nous a permet de réglé le débit manuellement par une vanne régulatrice, qui veut dire une partie d'eau s'écoule vers le réservoir HOT WELL N°2, la pompe principale s'arrête lorsque le niveau d'eau est bas et se met en marche lorsque le niveau d'eau est haut, grâce à un flotteur qui active un contact électrique.

La figure (III.2) est un schéma représentatif du système existant dans l'entreprise CEVITAL.

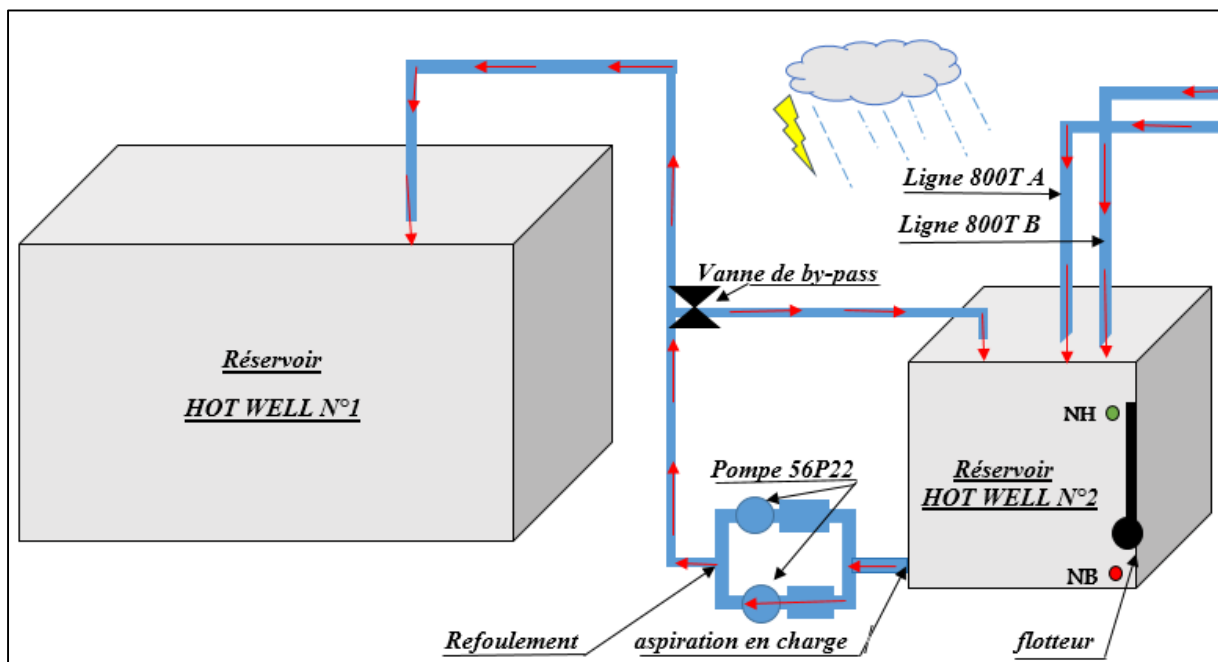


Figure (III.2) : schéma représentatif du système

VI. Description des données du système

➤ Liquide refoulé : l'eau

- température $T = 20\text{ °C}$
- La densité : $\rho \cong 1000\text{ Kg/m}^3$
- Viscosité : $\nu \cong 0.798\text{ mPa.s}$

Tableau (III.1) résume les caractéristiques des réservoirs HOT WELL N°1 et N°2.

caractéristiques	Réservoir HOT WELL N°2	Réservoir HOT WELL N°1
Longueur (m)	2.5 m	8 m
Largeur (m)	1.5 m	4 m
Hauteur (m)	1.6 m	2 m
Surface (m ²)	3.75 m ²	servoi32 m ²
Volume (m ³)	6 m ³	64 m ³

Tableau (III.1) : caractéristiques des réservoirs HOT WELL N°1 et N°2

La figure (III.3) représente le réservoir HOT WELL N°2.



Figure (III.3) : le réservoir HOT WELL N°2

La figure (III.4) représente le réservoir HOT WELL N°1.



Figure (III.4) : le réservoir HOT WELL N°1

➤ la tuyauterie

Le tableau (III.2) résume les caractéristiques de la tuyauterie.

Tuyauterie	Caractéristiques
La matière	Inox 304
L'épaisseur	e= 3 mm
Diamètre	$\Phi = 100$ mm
Longueur	$L_{asp} = 1.5$ m ; $L_{ref} = 46$ m
Nombre de coudes	NC _{asp} = 2 Coudes de 45° + 2 Coudes de 90° NC _{ref} = 7 Coudes de 45° + 5 coudes de 90°
Diamètre de by-pass	$\Phi = 50$ mm

Tableau (III.2) : les caractéristiques de la tuyauterie

➤ **le moteur**

Le tableau (III.3) résume les caractéristiques du moteur.

Moteur	Caractéristiques
Référence	20SET12 1017218792
Type	Asynchrone à cage d'écureuil
La tension V	V= 400 V
Le courant	I = 38.7 A
La Puissance KW	P = 22 KW
La vitesse de rotation tr/min	N= 2950 tr/min
La fréquence Hz	f = 50 Hz
Cos ϕ	cos ϕ =0.89
Nombre de phases	Triphasé (3 phases)
Type de couplage	Triangle(Δ)
Type de Démarrage	Direct
Poids (Kg)	215 Kg

Tableau (III.3) : les caractéristiques du moteur

➤ **les pompes 56P22 principale et secourt**

Le tableau (III.4) résume les caractéristiques de la pompe 56P22 principale et secours.

Pompe	Caractéristiques
La référence	KSB Etanorme 80-65-200 GB
Diamètre de la roue	$\Phi = 188$ mm
Débit	Q= 80 m ³ /h
Hauteur de charge nette	HMT= 53 m

Tableau (III.4) : les caractéristiques de la pompe 56P22 principale et secours

La figure (III.5) représente les pompes 56P22 principale et secoure.

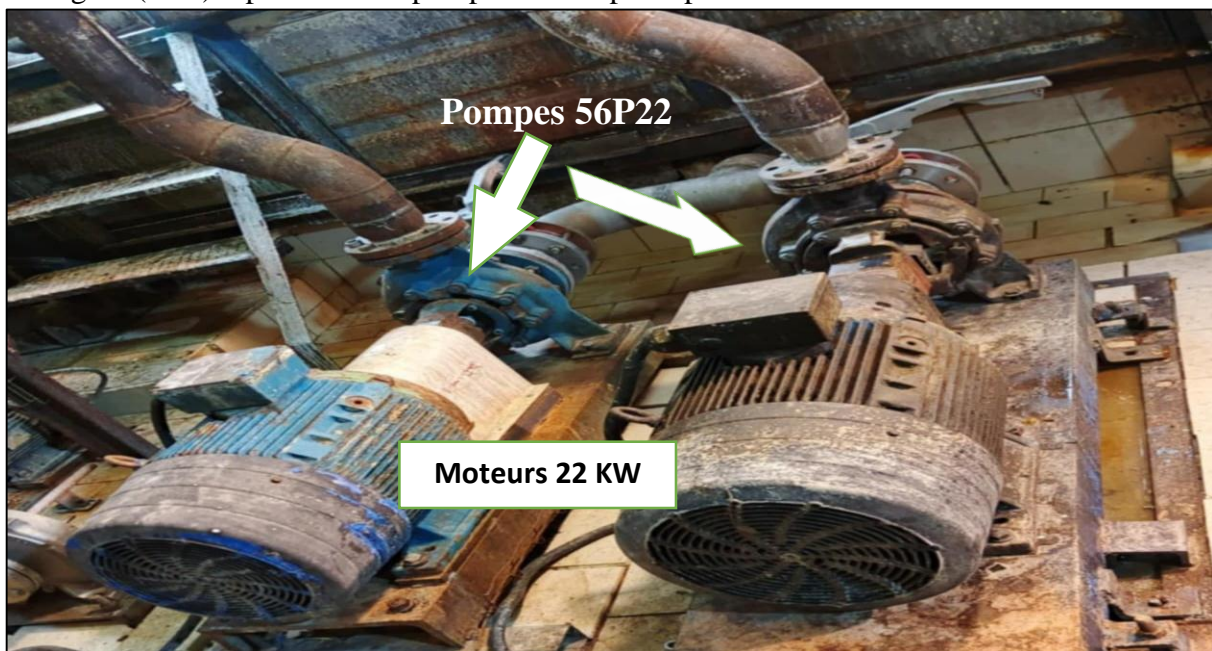


Figure (III.5) : les pompe 56P22 principale et secours

Les pompes 56P22 principale et secours est installer en parallèle « redondance passive » ça veut dire la pompe principale est active et la pompe secours en attente, le démarrage de cette dernière en cas de défaillance de la pompe principale pour assurer la continuité de fonctionnement de système.

VII. Calcul des pertes de charge du système

Pour calculer les pertes de charges totales il faut d'abord calculer :

Les pertes de charges Linéaires : sont les pertes induites par les frottements du fluide aux parois de la tuyauterie.

Les pertes de charges singulières : sont les pertes induites par les frottements du fluide dans les cas de changement de la direction (les coudes) ou des obstacles (vannes).

Pour obtenir les pertes de charge totale dans notre système, nous avons suivi une approche structurée, tout d'abord il faut commencer par calcule les pertes de charge linières, ensuite calcule les pertes de charge singulières, finalement l'addition entre les deux types de pertes de charge.

Pour calculer les pertes de charge linières, il faut d'abord calculer la vitesse d'écoulement dans notre système, pour cela nous avons utilisé la formule suivante

$$V = \frac{Q}{S} \quad (\text{III.1})$$

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0,0222}{\pi \frac{0,2^2}{4}} = \frac{0,0222}{0,00785} \approx 2,83 \text{ m/s}$$

Ensuite, nous avons calculé le nombre de Reynolds pour déterminer le régime d'écoulement par la formule suivante :

$$Re = \frac{V.D}{\nu_c} \quad (\text{III.2})$$

$$Re = \frac{V.D}{\nu} = \frac{2,83 . 0,1}{10^{-6}} = 2830000$$

2830000 > 4000 Alors le régime d'écoulement est régime turbinant

Après avoir déterminé le régime d'écoulement, nous avons calculé le coefficient de frottement en utilisant la Formule de cole brook_white

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \text{ Log} \left(\frac{\frac{K}{D}}{3,71} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \quad (\text{III.3})$$

Avec (5,74) et (3,71) sont des constants

$$\begin{aligned} \frac{K}{D} &= \frac{0,000015}{0,1} + 0,00015 \\ \frac{5,74}{283000^{0,9}} &\approx \frac{5,74}{80700} \approx 0,000071 \end{aligned}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log \left(\frac{0,00015}{3,71} + 0,000071 \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log(0,000111) \approx 7,91$$

$$\lambda = \left(\frac{1}{7,91} \right)^2 \approx 0,016$$

Nous avons ensuite calculé les pertes de charges linéaires ΔP_{lin} en utilisant la formule de

Darcy-weisbach:
$$\Delta P_{lin} = \lambda \cdot \frac{L_{ref}}{D} + \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (III.4)$$

$$\frac{L_{ref}}{D} = \frac{45,5}{0,1} = 475$$

$$V^2 = 2,83^2 \approx 8,01 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\frac{\rho \cdot V^2}{2} = \frac{1000 \cdot 8,01}{2} = 4005 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{lin} = 0,016 \cdot 475 \cdot 4005 \approx 30438 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{lin} = 0,3 \text{ bar}$$

Conversion en mètres colonne d'eau (mCE) :

$$\Delta P_{lin} = \frac{\Delta P_{lin}}{\rho \cdot g} = \frac{30438}{1000 \cdot 9,81} = 3,10 \text{ mCE} \quad \text{Alors les pertes de charges linéaires}$$

$$\Delta P_{lin} = 30438 \text{ Pa} = 3,10 \text{ mCE}$$

Pour calculer les pertes de charge singulières, nous avons commencé par déterminer le coefficient total des pertes de charge singulières K_{tot} en utilisant la formule suivante :

$$7 \text{ coudes de } 45^\circ \quad K_{45^\circ} = 0,2$$

$$5 \text{ coudes de } 90^\circ \quad K_{90^\circ} = 0,3$$

$$K_{tot} = (7 \cdot 0,2) + (5 \cdot 0,3) = 1,4 + 1,5 = 2,9$$

Nous avons ensuite calculé les pertes de charge singulières ΔP_{sing} en utilisant la formule

$$\Delta P_{sing} = K_{tot} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (III.5)$$

$$\Delta P_{sing} = 2,9 \cdot \frac{1000 \cdot 2,83^2}{2} = 11620 \text{ Pa}$$

Après avoir calculé les pertes de charge linéaires et les pertes de charge singulières, l'addition de ces deux types des pertes est les pertes de charge globale du système.

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_{lin} + \Delta P_{sing} = 30438 + 11620$$

$$\Delta P_{tot} = 42058 \text{ Pa} = 4,28 \text{ mCE}$$

VIII. Problématique

Le système de pompage présente une problématique majeure liée à la gestion du niveau d'eau dans le réservoir HOT WELL N°2 et à la régulation du fonctionnement de la pompe 56P22. Les principaux problèmes sont les suivants :

- 1- La pompe 56P22 fonctionne pendant deux minutes pour vider le réservoir HOT WELL N°2, puis s'arrête pendant une minute lorsque le réservoir HOT WELL N°2 est au niveau bas cela entraîne un nombre de démarrages du moteur très élevé, ce qui peut avoir plusieurs inconvénients comme l'usure prématurée des composants mécaniques et électriques, l'augmentation de la consommation d'énergie lors du démarrage du moteur.
- 2- Lorsque la quantité d'eau dans les Lignes 800T A et 800T B est importante, notamment lors des jours de pluie, le Réservoir HOT WELL N°2 peut se déborder, cela suggère que le système n'est pas capable de gérer efficacement la variation de débit d'eau.

IX. Intégration d'un variateur de vitesse au système

Pour résoudre ces problèmes, nous avons proposé d'intégrer un variateur de vitesse dans le système, ce qui nous permet de réguler la vitesse de la pompe en fonction du niveau d'eau dans le réservoir HOT WELL N° 2, grâce à cette solution, le fonctionnement continu et adapté aux besoins réel, le nombre de démarrage serait réduit alors la consommation d'énergie réduite, ainsi que le problème de débordement résolu.

X. Variateur de vitesse

Un variateur de vitesse est un dispositif électronique qui permet de contrôler et de réguler la vitesse d'un moteur, il constitué de quatre composantes principales :

- Redresseur (diodes et/ou thyristors) : Le Redresseur, souvent matérialisé par un pont de Diodes, se charge "de convertir" la tension d'entrée alternative en une tension continue [11].
- Circuit intermédiaire : appelé filtre ou Liaison CC, il joue double rôle de régulateur du signal filtrage et lissage
- Onduleur à IGBT : comme son nom l'indique, va permettre de renvoyer une onde sinusoïdale en rendant la tension à nouveau Alternative à une tension et une fréquence voulue par l'utilisateur [11].

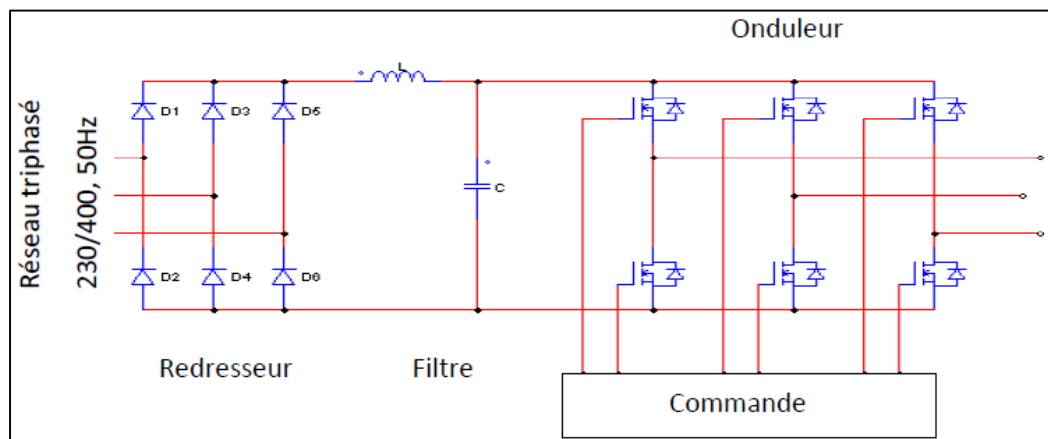


Figure (III.6) : Schéma de principe du variateur de vitesse

Le principe de fonctionnement d'un variateur de vitesse repose sur la modification de la fréquence et de la tension de l'alimentation électrique envoyée au moteur, il convertit d'abord la tension d'entrée en tension continue, puis génère des signaux de modulation de largeur d'impulsion pour simuler une tension alternative à la fréquence et à la tension souhaitées [11].

Nous avons choisi un variateur de vitesse de la marque « schneider altivar 71 » en raison de sa large utilisation dans l'entreprise « CEVITAL », sa disponibilité en stock, sa fiabilité et ces fonctionnalités avancées.

La figure (III.7) représente le variateur Schneider altivar 71.



Figure (III.7) : variateur Schneider altivar 71

Le tableau (III.5) résume les caractéristiques du variateur de vitesse.

Marque	Schneider altivar 71
Puissance nominale	22 KW
Tension d'alimentation	380 / 480 v ~
Fréquence d'alimentation	50 Hz
Courant nominale	42 A

Tableau (III.5) : les caractéristiques du variateur de vitesse

XI. Capteur de pression

Un capteur de pression appelé aussi capteur de niveau est un dispositif qui mesure le niveau de liquide dans un réservoir.

Le choix d'un capteur de niveau a été guidé par plusieurs facteurs clés, lors de notre expérience au sien de l'entreprise CEVITAL, nous avons pu constater que la marque « CERABAR M », était non seulement disponible en stock, mais également sa fiabilité et ses fonctionnalités avancées.

La figure (III.8) représente le capteur de niveau « CERABAR M ».



Figure (III.8) : capteur de pression CERABAR M

Le tableau (III.6) résume les caractéristiques de capteur de pression.

Type	PMP55
Plage de mesure (5% - 90%)	(0.007848 – 0.141264) bar
Pression de procès max	400 bar
Tension d'alimentation	24 V DC
Sortie (Output)	4-20 mA – 0-10V

Tableau (III.6) : les caractéristiques de capteur de niveau CERABAR M

Le capteur de pression convertit la pression statique en signal électrique via un système hydromécanique, la pression agit sur la membrane du séparateur, se transmet par un fluide incompressible à la membrane de la cellule de mesure, provoquant sa déformation, cette déformation est convertie en variation de résistance par un pont de Wheatstone, dont le déséquilibre de tension (linéairement proportionnel à la pression) est mesuré et conditionné.

L'installation de capteur de niveau peut être réalisée de différentes manières, notamment par montage sur le dessus ou sur le côté du réservoir. Dans notre cas le réservoir HOT WELL N°2 est sur le sol, l'installation par le dessus n'est pas pratique. Par conséquent, nous allons opter pour une installation sur le côté de réservoir, cette approche permettra au capteur de détecter le niveau avec précision.

La figure (III.9) représente l'installation d'un capteur de niveau dans le réservoir HOT WELL N°2.

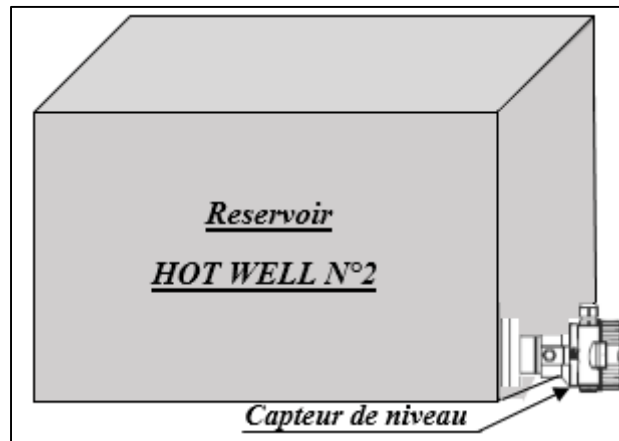


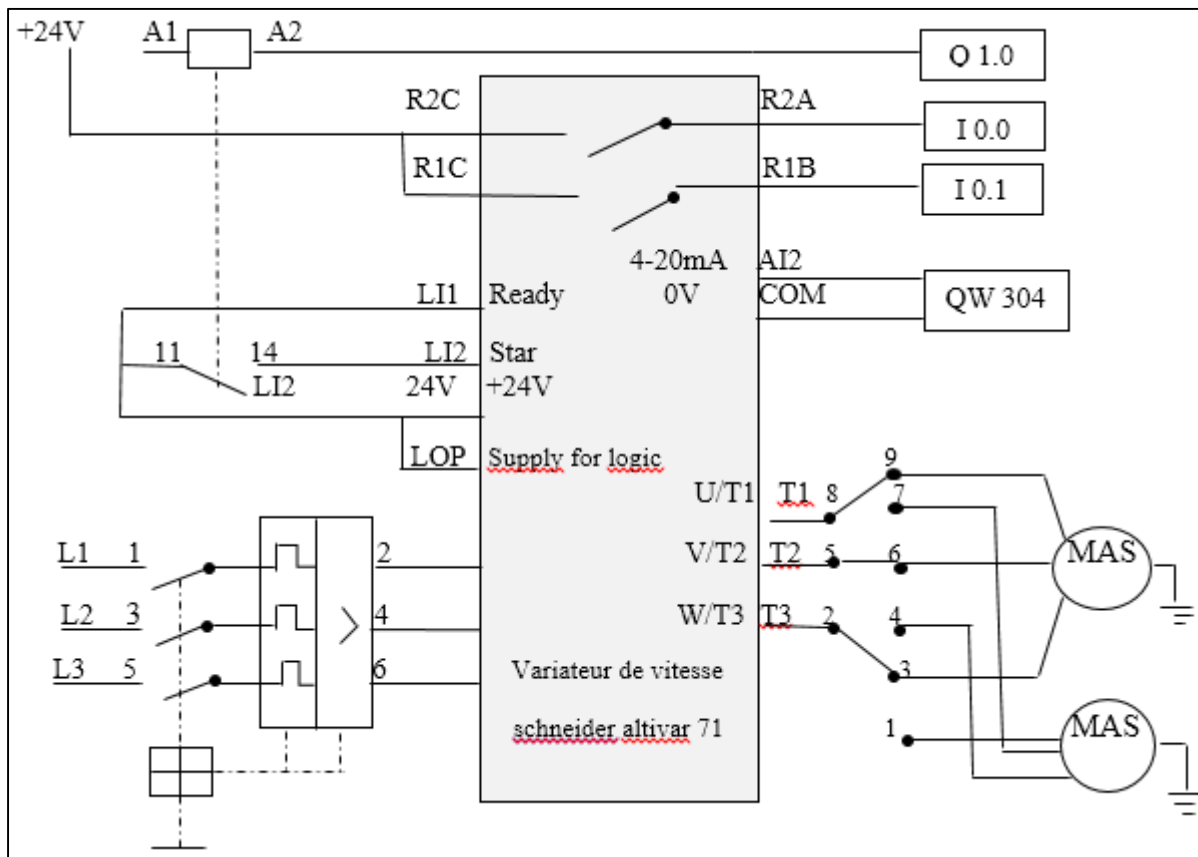
Figure (III.9) : l'installation d'un capteur de niveau dans le réservoir HOT WELL N°2

Le capteur de niveau fonctionne de manière automatique en mesurant en continu le niveau de l'eau dans le réservoir et en envoyant des signaux électriques à un système de contrôle, lorsque le niveau change le capteur détecte cette variation et ajuste le signal qu'il envoie au variateur de vitesse, ce signal est un courant analogique (4-20mA), le variateur de vitesse reçoit ce signal et ajuste la vitesse de la pompe.

XII. Schéma électrique de raccordement de variateur de vitesse avec les moteurs asynchrones

Le schéma de câblage du variateur de vitesse Schneider Altivar 71 présenté, qui détaille les connexions essentielles pour le contrôle de moteurs asynchrones. Ce variateur, identifié au centre du schéma, reçoit son alimentation principale triphasée (L1, L2, L3) via un dispositif de coupure, et une alimentation de commande de 24V (A1, A2) pour les circuits de contrôle. Les entrées numériques LI1 ("Ready") et LI2 ("Star"), activées par un interrupteur, permettent respectivement de signaler la disponibilité du variateur et de lancer le démarrage. Une entrée analogique (AI2, 4-20mA) est dédiée à la commande de vitesse ou à la réception de données d'un automate (QW 304). La particularité de ce montage réside dans la capacité du variateur à alimenter l'un ou l'autre de deux moteurs asynchrones (MAS) distincts, grâce à un jeu d'interrupteurs ou de contacteurs qui permettent de commuter la sortie triphasée du variateur (U/T1, V/T2, W/T3) vers le moteur souhaité, garantissant ainsi qu'un seul moteur est sous contrôle à la fois pour éviter toute surcharge ou dommage.

La figure (III.10) représente un schéma électrique de raccordement de variateur de vitesse avec moteurs asynchrones.



Figure(III.10): schéma électrique de raccordement de variateur de vitesse avec moteurs asynchrones

XIII. Débitmètre

Le débitmètre est un appareil de mesure utilisé pour déterminer le débit d'un fluide (liquide ou gaz) dans une conduite ou un système, il peut mesurer la quantité de fluide qui passe à travers une section donnée par unité de temps.

Pour améliorer notre système de pompage, nous avons décidé d'installer un débitmètre dans la conduite de refoulement de la pompe 56P22, nous avons choisi un débitmètre de la marque « Endress + Hauser » en raison de sa précision élevée, sa fiabilité et de sa facilité d'installation.

La figure (III.11) représente un débitmètre Endress + Hauser.



Figure (III.11) : Débitmètre Endress + Hauser

Le tableau (III.7) résume les caractéristiques de débitmètre Endress + Hauser.

Marque	Endress + Hauser
Type	Electromagnétique
mesure	Mesure de débit pour les fluides conducteurs
Diamètre	DN 100 mm
Débit maximum	$Q_{\max} = 450 \text{ m}^3/\text{h}$

Tableau (III.7) : les caractéristiques de débitmètre Endress + Hauser

Débitmètre électromagnétique fonctionne sur le principe de la loi de Faraday, qui stipule qu'un champ magnétique induit une tension électrique dans un conducteur en mouvement, le débitmètre crée un champ magnétique dans la conduite et mesure la tension induite par le fluide en mouvement, la tension mesurée est proportionnelle à la vitesse du fluide et donc au débit.

XIV. Comparaison avec le Système de Bypass

Les convertisseurs indirects de fréquence sont aujourd'hui les plus utilisés, qui utilisent un étage intermédiaire à fréquence nulle (tension ou courant continu) par l'association d'un convertisseur alternatif-continu (redresseur) et d'un convertisseur continu-alternatif (onduleur). Le tableau suivant montre la variation des différents paramètres du moteur asynchrone alimenté à travers un convertisseur de fréquence comparés au cas usage normale [12].

Le tableau (III.8) est une comparaison des caractéristiques de fonctionnement par by-pass et par variateur de vitesse d'un moteur asynchrone.

Moteur asynchrone	By-pass	Variateur de vitesse
Courant de démarrage	<i>Très élevé, de l'ordre de 6 à 8 fois le courant nominal</i>	<i>Limité dans le moteur (en générale de 1,5 fois I_N).</i>
Couple de démarrage C_d	<i>Elever et non contrôlé, de l'ordre (2 à 3 C_N)</i>	<i>De 1,5 fois le C_N, contrôlé pendant toute l'accélération.</i>
Démarrage	<i>Brutal : La durée n'est fonction que des caractéristiques de moteur et de la charge entraînée.</i>	<i>Progressif sans à-coup et contrôlé.</i>
Vitesse	<i>Varié légèrement selon la charge (proche de N_s).</i>	<i>Variable</i>
Couple maximal C_M	<i>Elevé, de l'ordre de 2 à 3 le couple nominal.</i>	<i>Elevé disponible sur toute la plage vitesse de (1,5. C_N)</i>
Freinage électrique	<i>Relativement complexe.</i>	<i>Facile.</i>
Inversion du sens de marche	<i>Facile seulement après arrêt moteur</i>	<i>Facile.</i>
Risque de décrochage	<i>Oui, en cas de sur couple, ou en cas de baisse de tension.</i>	<i>Non.</i>

Tableau (III.8) : comparatif des caractéristiques de fonctionnement par by-pass et par variateur de vitesse d'un moteur asynchrone

Pour le type de la maintenance utilisé pour réaliser notre solution de la problématique est les suivantes :

- Maintenance préventive : planification de vérifications régulière de maintenance pour éviter les pannes et les dysfonctionnements.
- Maintenance prédictive : utilisation de données en temps réel et de surveillance continue pour anticiper et prévenir les problèmes potentiels avant qu'ils ne surviennent.

Conclusion

L'intégration d'un variateur de vitesse au système de pompage nous a permis de résoudre les problèmes de fonctionnement discontinu de la pompe et le débordement du réservoir HOT WELL N°2, en améliorant ainsi l'efficacité et la fiabilité du système de pompage existant dans l'entreprise.

Chapitre IV

Automatisation du variateur de vitesse par logiciel TIA Portal

Introduction

La programmation d'automate industriel constitue un pilier essentiel de l'automatisation moderne, permettant de piloter des processus complexes avec précision et fiabilité.

Dans ce chapitre, nous allons programmer un variateur de vitesse à l'aide du logiciel TIA Portal.

I. Objectif de l'automatisation

L'automatisation permet d'apporter des éléments supplémentaires à la valeur ajoutée par le système.

- ✓ Accroître la productivité du système (augmenter la quantité de produit).
- ✓ Améliorer la flexibilité de production.
- ✓ Améliorer la qualité du produit.
- ✓ adaptation à des contextes particuliers.
- ✓ Adaptation à des environnements hostiles pour l'homme (milieu marin, spatial, nucléaire,...).
- ✓ Adaptation à des tâches physiques ou intellectuelles pénibles pour l'homme.
- ✓ Augmenter la sécurité, ... etc [18].

II. Automate programmable API S7-300

Un automate programmable industriel (API) est un dispositif électronique programmable qui contrôle et automatise des processus industriels en surveillant en temps réel des entrées et en commandant des sorties selon un programme défini.

Dans le cadre de notre projet, nous avons utilisé une gamme d'automate programmable S7-300, le programme a été simulé par logiciel TIA Portal.

Pour programmer un variateur de vitesse en fonction du niveau du réservoir HOT WELL N°2, cela a été réalisé grâce à une configuration matérielle structurée autour d'un PLC SIMENS CPU 315-2 DP qui est le cerveau du système, cette configuration inclut des modules d'entrées pour recevoir les signaux du capteur de niveau et des modules de sortie pour contrôler le variateur de vitesse.

Les modules utilisés sont :

- DI 16x24 VDC_1 : 16 entrées digitales pour les signaux tout ou rien.
- DO 8x24VDC/0.5A_1 : 8 sorties digitales pour commander des actionneurs.
- AI 2x12BIT_1 : 2 entrées analogiques 12 bits pour mesurer le niveau du réservoir via un capteur (signal 4-20 mA).
- AO 2x12BIT_1 : 2 sorties analogiques 12 bits pour ajuster la vitesse de variateur proportionnelle au niveau détecté.

La figure (IV.1) représente PLC SIMENS CPU 315-2 DP réalisé par logiciel TIA Portal.

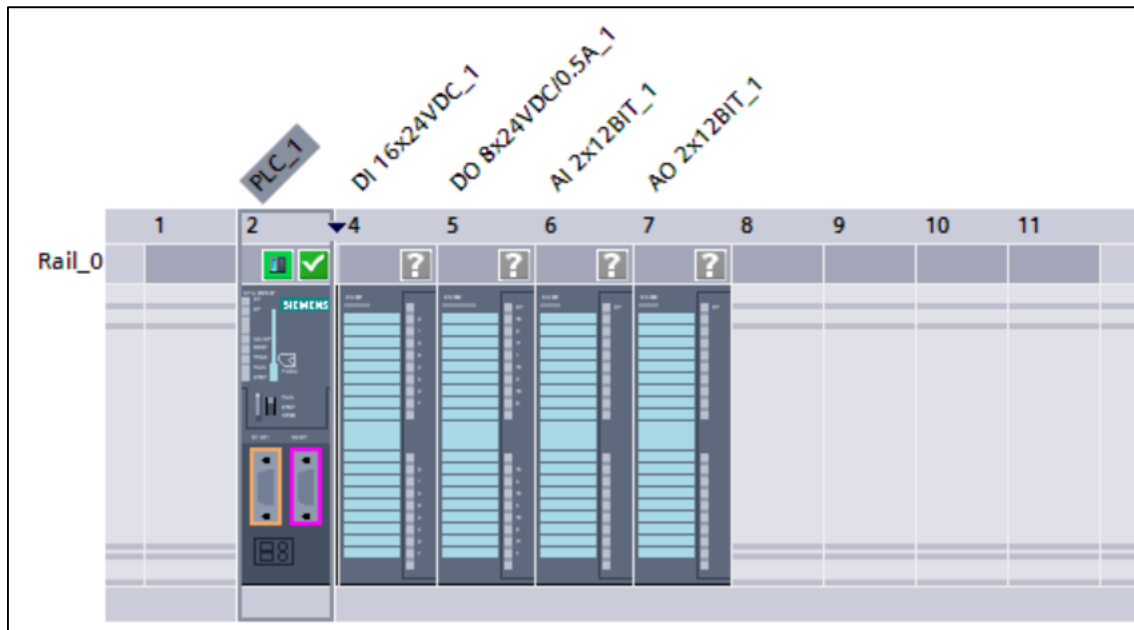


Figure (IV.1) : PLC SIEMENS CPU 315-2 DP réalisé avec logiciel TIA Portal

III. Programmation

Logiciel TIA Portal en anglais « Totally Integrated Automation Portal » un logiciel de siemens conçu pour l'automatisation industrielle. Il offre une plateforme unique pour la configuration, la programmation, la mise en service et le diagnostic des automates programmables

Pour programmer un automate (PLC) avec logiciel TIA Portal, en utilisant le langage LADDER, la procédure commence par la création d'un nouveau projet dans l'interface du logiciel siemens TIA Portal, ensuite la configuration du matériel, en fin création du programme, ce dernier il se fait avec un langage appelé LADDER.

LADDER est basé sur des schémas électriques et utilise des symboles représentant des contacts, des bobines et d'autres éléments électroniques.

Le tableau (IV.1) donne les principaux éléments (contacte et bobines) d'un réseau LADDER.

Symboles	Signification
- -	Contact normalement ouvert
- / -	Contact normalement fermé
-()-	Bobine normalement ouverte
-(/)-	Bobine normalement fermée
-[FB]-	Bloc fonction complexe

Tableau (IV.1) : les principaux éléments (contacte et bobines) d'un réseau LD

1- Commande automatique de moteur par seuils de niveau

Deux niveaux critiques ont été définis : le niveau 1, où le moteur démarre lorsque le réservoir atteint ou dépasse 90 %, et le niveau 2, où le moteur s'arrête lorsque le niveau descend à 5 % ou en dessous. Cette programmation permet de maintenir un contrôle précis et automatisé du fonctionnement du moteur.

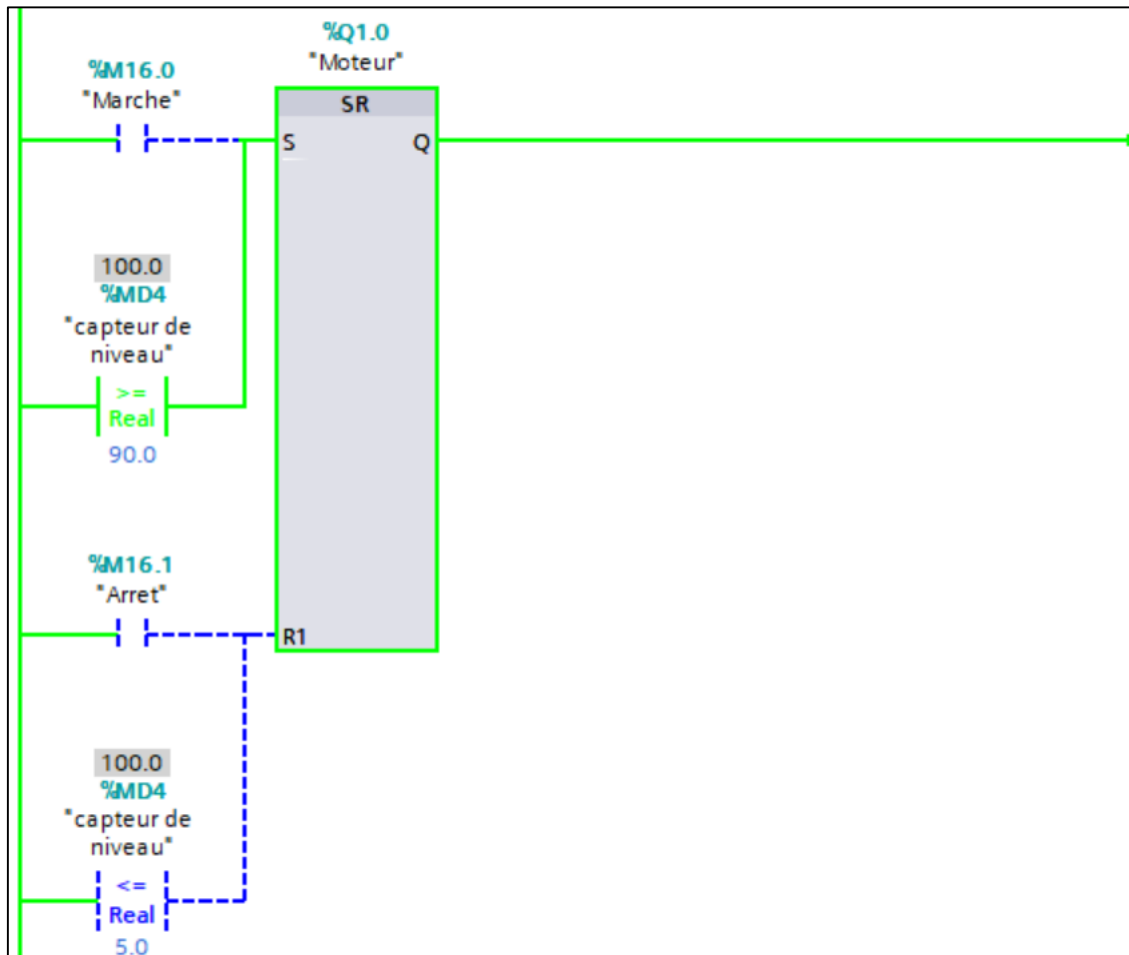


Figure (IV.2) : programme commande automatique de moteur par seuils de niveau

2- Commende marche / défaut d'un variateur

En fonctionnement normal, le programme ladder contrôle le démarrage et l'arrêt. En cas de défaut, le programme signale l'existence et l'absence du défaut.

Lorsque on appui sur le bouton marche sur IHM ou reçoit un signal par l'automate %I0.0 est activé, la mémoire %M16.2 est mise à (TRUE) cette dernière déclenche des actions dans le programme comme l'activation du moteur ou le variateur.

Lorsque on appui sur le bouton arrêt sur IHM ou reçoit un signal d'arrêt par l'automate %I0.1 est activé, la mémoire %M16.2 est mise à (TRUE) cela entraine la désactivation du moteur et / ou la réinitialisation du variateur a sa vitesse par défaut.

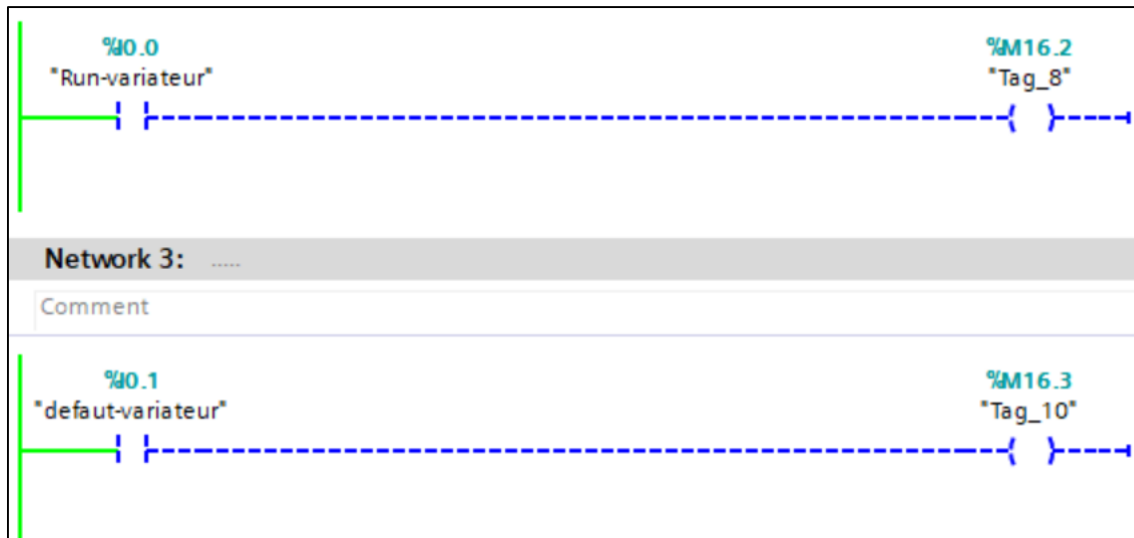


Figure (IV.3) : programme commande marche / défaut d'un variateur

3- Configuration SCALE pour convention analogique de pression et surveillance de niveau

Ce bloc SCALE est utilisé dans TIA Portal pour convertir une valeur brute d'entrée analogique 0-27648 pour un signal 4-20 mA en valeur physique 0 à 100% correspondant à la plage du capteur de pression.

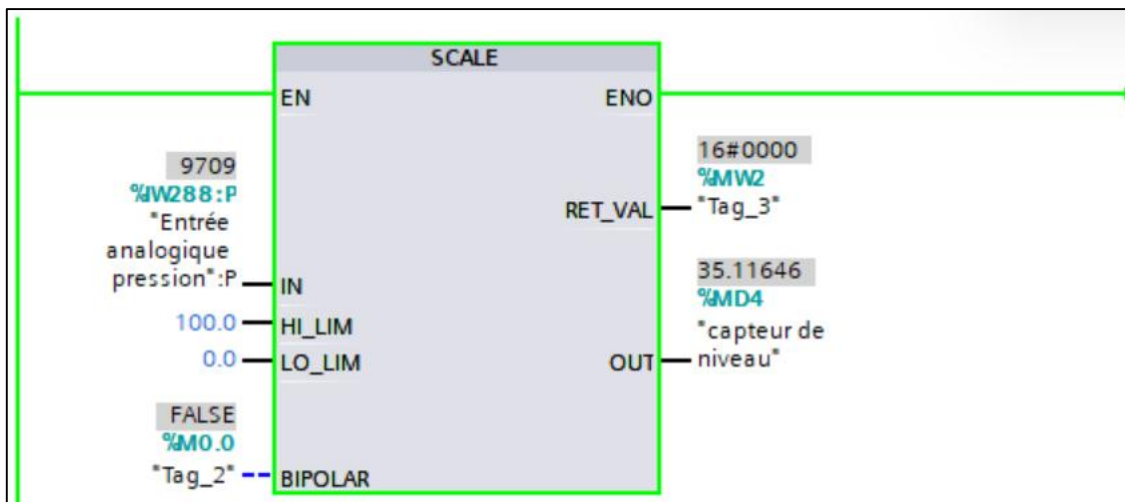


Figure (IV.4) : Configuration SCALE pour convention analogique de pression et surveillance de niveau

4- Configuration SCALE pour convention analogique de débit et gestion de débitmètre

Ce bloc convertit le signal brute de l'entrée analogique (%IW290 :P) en une valeur ingénieur 0 à 80 m³/h. la sortie est stockée dans %MD10 utilisable pour l'affichage ou contrôle.

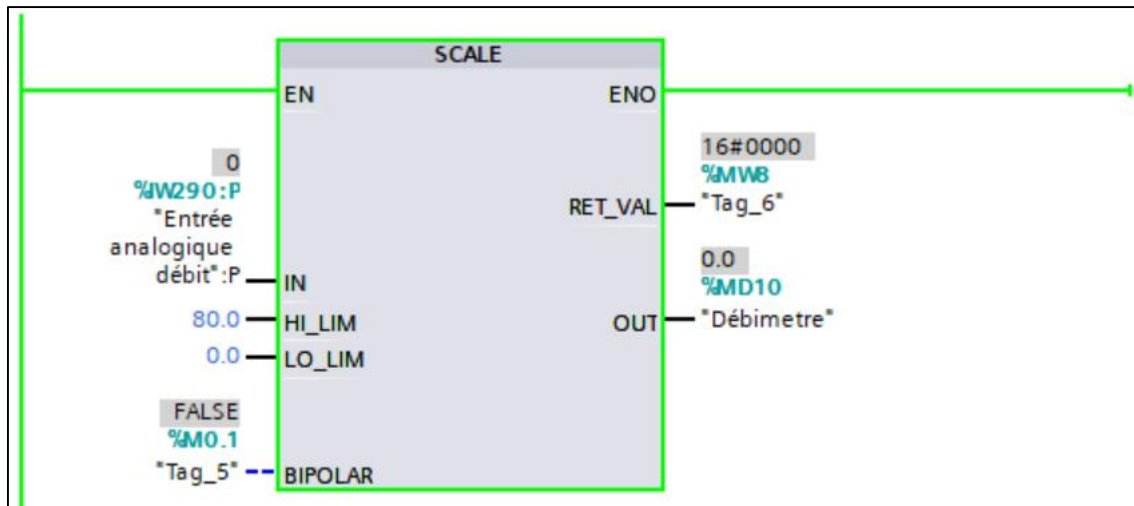
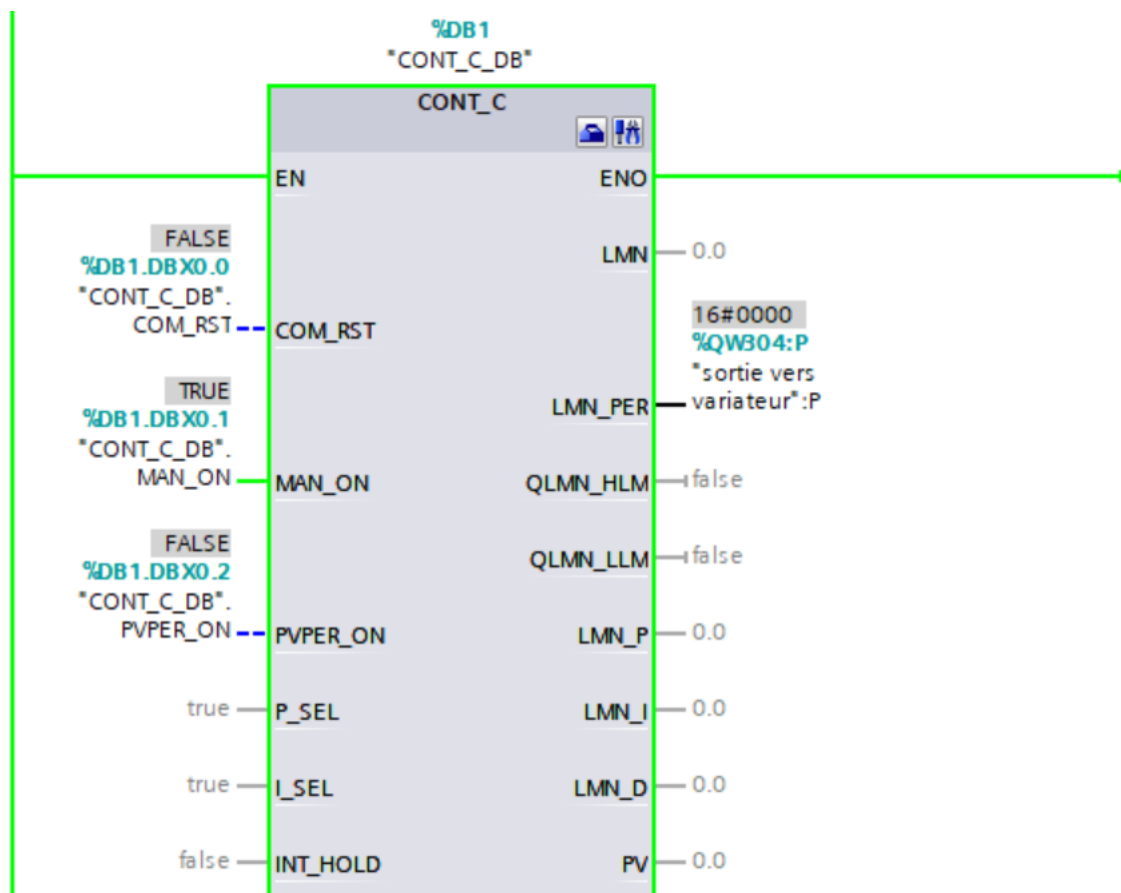


Figure (IV.5) : configuration SCALE pour convention analogique de débit et gestion de débitmètre

5- Configuration d'un contrôleur PID (CONT_C) pour la régulation de niveau avec réglages de gain, TI, TD

Ce bloc nommé « CONT_C » est une régulation PID (Proportionnel-Intégral-Dérivé), est conçu pour gérer une variable de niveau, en le comparant à une consigne. Il calcule un signal de sortie (LMN) pour un variateur de vitesse, afin d'ajuster la vitesse. Le bloc permet le contrôle manuel et automatique, la limitation des sorties, le maintien de l'intégration et la mise à l'échelle des signaux, garantissant une régulation robuste.



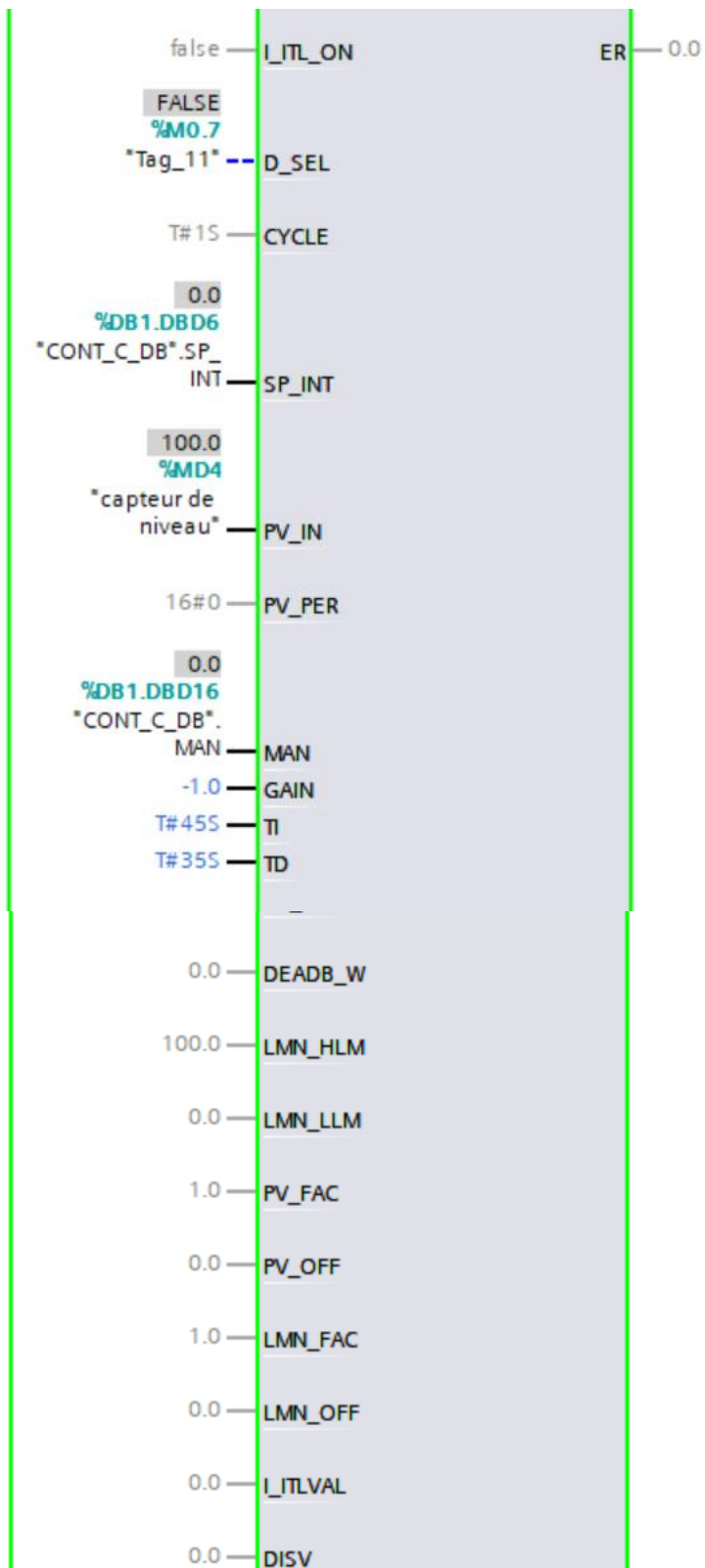


Figure (IV.6) : configuration d'un contrôleur PID (CONT_C) pour la régulation de niveau avec réglages de gain, TI, TD

6- Communication entre l'automate programmable (PLC) et l'interface homme-machine (HMI)

Le PLC_1, identifié comme une CPU 315-2 DP, est le cerveau du système qui exécute le programme de contrôle. L'HMI_1, un pupitre opérateur TP900-Comfort (une interface Siemens SIMATIC HMI Touch Panel) doté d'une interface graphique de la supervision et le contrôle du processus. La liaison entre ces deux composants est assurée via la connexion MPI_1 (Multi Point Interface), un protocole de communication standard chez Siemens, permettant l'échange de données et de commandes.

La figure (IV.7) représente la communication de PLC et HMI.

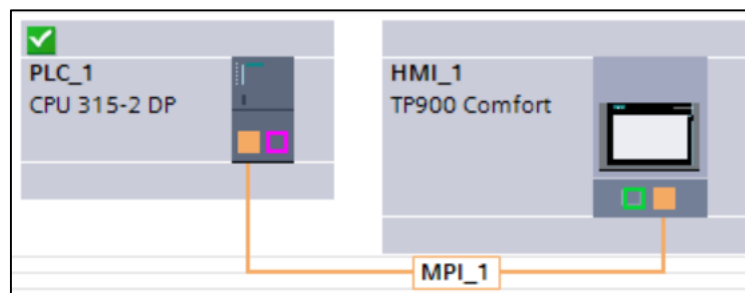


Figure (IV.7) : la communication de PLC et HMI

7- L'interface de Supervision

Cette interface de supervision, réalisée avec TIA Portal, offre une visualisation claire du système de pompage « HOT WELL N°2 » vers le réservoir « HOT WELL N°1 ». Elle permet aux opérateurs de surveiller en temps réel les paramètres essentiels du processus, le débitmètre (indiquée par la flèche jaune) affiche de débit de l'eau en m³/h, la vitesse de rotation du moteur en t/min et la commande marche arrêt lorsque on appui sur le moteur, le niveau actuel du réservoir « HOT WELL N°2 » affiché numériquement et visuellement par capteur de niveau, Le bouton « paramètres » suggère un accès à l'écran de la configuration et réglage de la consigne man/auto avec les paramètres PID . Cette supervision améliore la compréhension du processus, facilite la détection d'anomalies et permet une intervention rapide pour maintenir l'efficacité opérationnelle.

La figure (IV.8) représente l'interface de supervision.

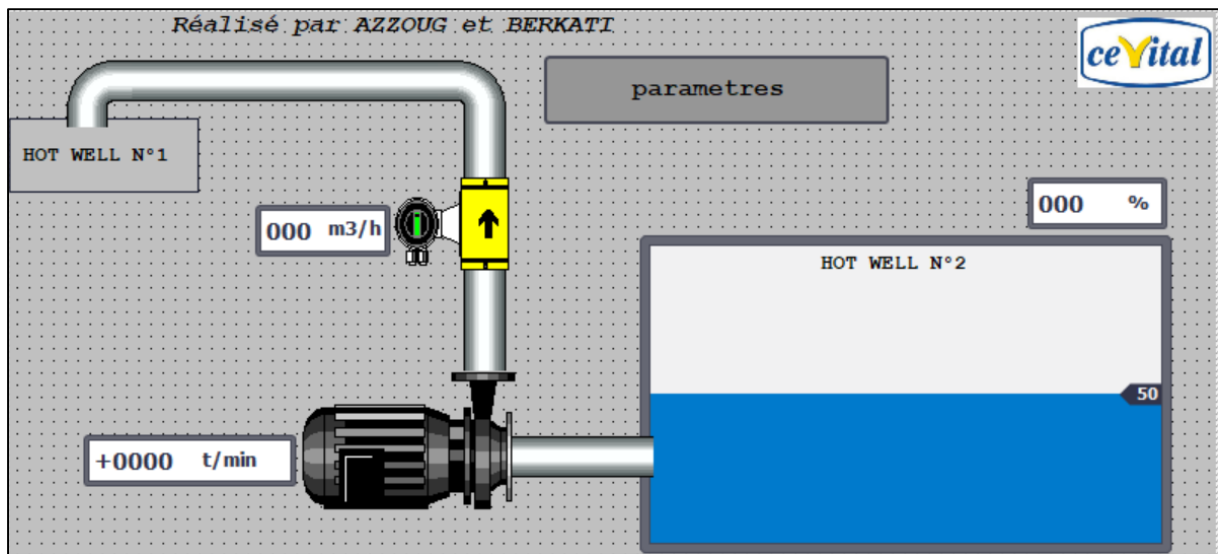


Figure (IV.8) : l'interface de supervision

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé l'automatisation du variateur de vitesse à l'aide du logiciel TIA Portal. Cette implémentation nous a permis de contrôler précisément la vitesse de la pompe en fonction du niveau du réservoir, garantissant ainsi un fonctionnement optimal et stable du système de pompage. Grâce à cette solution, nous avons pu automatiser efficacement le processus, réduire les interventions manuelles et améliorer la fiabilité du système.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce projet de fin d'étude nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine des pompes centrifuges et des systèmes de régulation de débit. Nous avons étudié en détail le fonctionnement et les caractéristiques de ces systèmes, ce qui nous a permis de mieux comprendre les enjeux liés à leur utilisation dans l'industrie. Grâce à ce projet, nous avons pu appliquer les concepts théoriques appris durant notre formation à un cas concret, ce qui a renforcé notre compréhension et notre capacité à résoudre des problèmes pratiques.

L'étude du système de pompage existant dans l'entreprise CEVITAL a révélé plusieurs problèmes majeurs, notamment le nombre élevé de démarrages de la pompe et le risque de débordement du réservoir en cas de forte affluence d'eau. Pour résoudre ces problèmes, nous avons proposé une solution innovante consistant à intégrer un variateur de vitesse pour réguler la vitesse de la pompe en fonction du niveau du réservoir. Cette approche a montré son efficacité en réduisant le nombre de démarrages, en minimisant la consommation d'énergie et en évitant les débordements. Les résultats obtenus ont démontré que cette solution est adaptée aux besoins réels de l'entreprise et peut être mise en œuvre pour améliorer les performances du système de pompage.

Ce projet de fin d'étude nous a permis de développer des compétences importantes dans la résolution de problèmes industriels complexes. L'automatisation du variateur de vitesse avec le logiciel TIA Portal a nécessité une compréhension approfondie des systèmes de contrôle et de la programmation, ce qui a renforcé nos capacités dans ces domaines. Nous espérons que les résultats de ce projet pourront être utilisés pour améliorer les systèmes de pompage similaires dans l'industrie et contribuer ainsi à l'optimisation des processus industriels. Ce projet a été une expérience enrichissante qui nous a permis de mettre en pratique nos connaissances et de développer de nouvelles compétences, et nous sommes convaincus que les informations tirées de ce projet nous seront utiles dans notre future carrière professionnelle.

Références bibliographiques

- [1] Comprendre les types de pompes hydrauliques." H.P. Hydraulique, 20 juin 2024, <https://hphydraulique.com/comprendre-les-types-de-pompes-hydrauliques/> . Consulté le 03/05/2025.
- [2] A. BELAID « étude et conception d'une pompe centrifuge » mémoire d'obtention du diplôme de fin d'étude, Biskra 2017
- [3] Z. MAROUF «Régulation de pompes à l'aide d'un variateur de vitesse» mémoire d'obtention du diplôme de fin d'étude, école nationale polytechnique 2017
- [4] BIGOT, Pascal 2024 « Modélisation des réseaux industriels et automatismes » Support de cours, 1ère année CIRA. INSA Rouen, Rouen. Année académique 2023-2024.
- [5] Site du CETIM, « <https://www.cetim.fr/formation/formation/conception/Choix-destechnologies/Pompes/mecanique-des-fluides-et-pompes-centrifuges-initiation-eu230> » consulté le 01/05/2025
- [6] ALSTOM, Département de Formation. (2018). BENI HAROUN - Formation maintenance mécanique [Manuel de formation interne]. Université de Constantine 1.
- [7] Techniques de l'Ingénieur, Pompes volumétriques pour liquides.
« <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/machines-hydrauliques-pompes-et-helices-42173210/pompes-volumetriques-pour-liquides-bm4320/> » consulté le 28/04/2025
- [8] I. KEDJOUH & R. KHATTAB «Etude, Conception et simulation d'une pompe centrifuge » mémoire d'obtention du diplôme de fin d'étude, université kasdi merbah université de ouargla 2018/2019
- [9] A. BEN Adel & T. DEFROUR «Réglage des paramètres des pompes centrifuge à vitesse Variable» mémoire d'obtention du diplôme de fin d'étude, université kasdi merbah ouargla, 2018/2019.
- [10] B. DJEILLALI & B. DJEBABLA «Analyse Des Causes De Défaillance des Pompes Centrifuges » mémoire d'obtention du diplôme de fin d'étude, université badji moukhtar annaba 2020/2021
- [11] Siemens. (2023). Driving efficiency and sustainability « Catalogue de variateurs de vitesse, fichiers 3 D», Siemens Industry, de <https://www.sispanish.co.uk/difference-between-si-and-si-in-spanish>. Consulté le 3 juin 2025
- [12] J. Schonek and Y. Nebon, fonction de l'appareillage basse tension, cahier technique N° 204. schneider électrique, 2010
- [13] *wilo*. 2023. pompes centrifuges, <https://www.wilo.com/fr/FR/Produits-solutions/Pompes/Pompes-centrifuges/> consulté le 02/05/2025.
- [14] Pompes industrielle Robuschi, Guide technique G. Denver, 2023 <https://www.robuschi.com/products/liquid-ring-vacuum-pumps>

- [15] Y. saadane « Conception et régulation de débit d'une pompe centrifuge » mémoire d'obtention du diplôme de fin d'étude, université de béjaïa, 2023.
- [16] MORSLI Mohamed Abd El Wahab et BOUICH Mohamed « Techniques de Mesure et d'Etalonnage des Débitmètres au niveau de l'Usine de Dessalement d'Eau de Mer de Mostaganem » mémoire de Master en Electrotechnique Industrielle Université Abdelhamid Ibn Badis Mostagane 2019/2020.
- [17] Grundfos, formation sur les pompes industrielles [PDF]. 2023
<https://www.grundfos.com/.../FORMATION-POMPES.pdf>
consulté le 12/06/2025
- [18] J. Martin, (2022). Automatismes industriels : théorie et pratique [PDF]. Sitelec.org.
https://sitelec.org/download.php?filename=cours/automatismes_industriels.pdf consulté le 19/04/2025.
- [19] S. KEBBICHE « Raffinage des huiles végétales de soja et de tournesol » mémoire d'obtention du diplôme de fin d'étude, université akli mohand oulhadj 2018
- [20] L. CHEBIHI « Adaptation des pompes immergées destinées à l'irrigation dans les zones arides » mémoire d'obtention du diplôme de fin d'étude, université kasdi merbah ouargla, 2011

Résumé

Ce projet de fin d'étude a consisté à étudier et à améliorer un système de pompage utilisé dans l'entreprise CEVITAL. Après avoir présenté les généralités sur les pompes centrifuges et les différents types de régulation de débit des pompes, nous avons identifié les problèmes spécifiques liés au système existant, notamment le nombre élevé de démarrages de la pompe et le risque de débordement du réservoir en cas de forte affluence d'eau. Pour résoudre ces problèmes, nous avons proposé l'intégration d'un variateur de vitesse permettant de réguler la vitesse de la pompe en fonction du niveau d'eau du réservoir. Cette solution a montré son efficacité en réduisant le nombre de démarrages, en minimisant la consommation d'énergie et en évitant les débordements. Enfin, l'automatisation du variateur de vitesse a été réalisée à l'aide du logiciel TIA Portal, démontrant ainsi la faisabilité et l'efficacité de cette approche pour améliorer les performances du système de pompage.

Abstract

This final year project focused on studying and improving a pumping system used at CEVITAL. After presenting an overview of centrifugal pumps and various flow control methods, we identified specific issues with the existing system, including the high number of pump starts and the risk of tank overflow during heavy water inflow. To address these problems, we proposed integrating a variable speed drive to regulate the pump speed based on the tank level. This solution proved effective in reducing the number of starts, minimizing energy consumption, and preventing overflows. Finally, the automation of the variable speed drive was successfully implemented using TIA Portal software, demonstrating the feasibility and effectiveness of this approach in improving the performance of the pumping system. This project highlights the importance of technological innovation in optimizing industrial processes and meeting the specific needs of companies.