

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK BENYAHIA JIJEL

Faculté des sciences et de la technologie

Département d'Electrotechnique

N° :...../2024

MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE: Sciences et Technologies

FILIERE: Electrotechnique

SPECIALITE: Electromécanique

Thème

Modélisation des performances des turbomachines (pompe centrifuge) par la méthode de Taguchi et Factorielle

Présenté Par : MEHAFDIA Hani

Encadré Par : Mr BOUSBA Issam

ARRADA Abdelhakim

Date de soutenance: 29/06/2024

Jury de Soutenance

Président : HADEF Mounir

Grade : MCA

Univ MSB jijel

Encadreur : BOUSBA Issam

Grade : MCB

Univ MSB jijel

Examineur : DRAI Samir

Grade : MCB

Univ MSB jijel

Promotion : 2023 /2024

Dédicace

Je dédie ce modeste travail réalisé grâce à Dieu le tout puissant :

*A mes très chers parents qui m'ont aidé et m'ont encouragé durant
toutes mes études*

A mon frère

*A mes amis qui étaient toujours là pour me conseiller, me soutenir,
m'encourager et prier pour moi tout le temps*

A ma grande famille et A tous ceux que j'aime.

Hani

Dédicace

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents ;

*A mes chères sœurs et mon cher frère qui m'ont toujours soutenu durant
toute la durée de mes études.*

A Toute ma famille.

A tous mes amis.

Merci.

Abdelhakim

Remerciement

On remercie tout d'abord Dieu tout puissant de nous avoir donné le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur

Mr BOUSBA Issam

Pour ses orientations et ses conseils durant La réalisation de ce travail.

On remercie tous nos enseignants durant tout notre cursus, Comme on tient à remercier toutes les personnes qui ont participé, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Enfin, nos remerciements aux membres de jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail

Sommaire

Dédicace	II
Remerciement.....	IV
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	X
Notations et symboles	XII
Introduction générale.....	1

Chapitre 1 : Les pompes centrifuges

I. 1. Introduction	4
I.2. Description d'une pompe centrifuge	4
I.2.1 Principe de fonctionnement	5
I.3. Théorie des pompes centrifuges	5
I.3.1. Triangles de vitesse.....	5
I.3.2 Paramètres principaux d'une pompe	6
I.3.3 Classification des pompes centrifuges.....	8
I.4 Pertes des pompes centrifuges.....	11
I.4.1 Les pertes hydrauliques	12
I.4.2 Les pertes de puissance.....	13
I.4.3 Conséquences des pertes	14
I.5 Phénomène de Cavitation.....	14
I.5.1 Signes de cavitation	15
I.5.2 Moyens d'éviter la cavitation	15
I.6 Avantages et inconvénients des pompes centrifuges	16
I.6.1 Avantages des pompes centrifuges	16
I.6.2 Inconvénients des pompes centrifuges	16
I.7 Utilisation	16

I.8 Conclusion.....	17
<u>Chapitre 2</u> : La Méthode de Taguchi et les Plans Factoriels	
II.1 Introduction	19
II.2 Présentation de la méthode de Taguchi	19
II.2.1 Le but de la méthode de Taguchi	19
II.2.2 Intérêts d'un plan d'expérience Taguchi :	20
II.2.3 Définitions.....	20
II.2.4 Démarche.....	20
II.2.5 Les bases et les avantages de la méthode Taguchi	23
II.3 Plans factoriels	24
II.3.1 Plans factoriels complets :	24
II.3.2 Avantages des plans factoriels complets	25
II.4 Conclusion	25
<u>Chapitre 3</u> : Résultats et interprétations	
III.1. Introduction	27
III.2. Démarches de l'étude	27
III.2.1. Banc d'essai de la Pompe Centrifuge	27
III.2.2. Valeurs des Facteurs utilisés	28
III.3.Résultats et discussions	29
III.3.1. la Hauteur (H).	29
III.3.2. La puissance absorbée (P_{abs})	32
III.3.3. Modèles de prédictions et courbes de performances	38
III.4. Conclusion	44
Conclusion Générale	46
Références bibliographiques	48
Résumé.....	50

Liste des Figures

Liste des figures

Chapitre 1

Figure I.1 : composants d'une pompe centrifuge.....	5
Figure I.2 : Triangle de vitesses à l'entrée et à la sortie de la roue d'une pompe centrifuge....	6
Figure I.3 : classification des pompes centrifuges selon la vitesse spécifique.....	9
Figure I.4 : les types des pompes centrifuges.....	10
Figure I.5 : les différents Types de roue	11
Figure I.6 : zone des pertes volutes	13
Figure I.7 : Une érosion par cavitation d'une roue de pompe centrifuge	14

Chapitre 3

Figure III. 1 : Banc d'essai de la pompe centrifuge.....	28
Figure III. 2 : Courbe de la hauteur (H) en fonction du débit (Q) à N= 2700 tr/min	39
Figure III. 3 : Courbe de la hauteur (H) en fonction du débit (Q) à N= 3000 tr/min	40
Figure III.4 : Courbe de la puissance absorbée(P_{abs}) en fonction du débit(Q) à N= 2700 tr/min.	41
Figure III.5 : Courbe de la puissance absorbée (P_{abs}) en fonction du débit(Q) à N=3000 tr/min.	41
Figure III. 6 : Courbe du rendement de la pompe (η) en fonction du débit (Q) à N= 2700 tr/min.....	43
Figure III. 7 : Courbe du rendement de la pompe (η) en fonction du débit (Q) à N= 3000 tr/min.....	43

Liste des Tableaux

Liste des tableaux

Chapitre 3

Tableau III.1 : Les valeurs des facteurs pour la méthode de Taguchi.....	28
Tableau III. 2 : Les valeurs des facteurs pour la méthode Factorielle.....	28
Tableau III.3 : la matrice d'expérience pour (H_{Tagu}).....	29
Tableau III.4 : les erreurs relatives (H_{tagu}).....	30
Tableau III. 5 : la matrice d'expérience pour (H_{Fact}).....	31
Tableau III.6 : Les erreurs relatives pour (H_{Fact}).....	32
Tableau III.7 : la matrice d'expérience pour ($P_{\text{abs,Tagu}}$).....	33
Tableau III.8 : Les erreurs relatives pour ($P_{\text{abs,Tagu}}$).....	34
Tableau III. 9 : la matrice d'expérience pour ($P_{\text{abs, facto}}$).....	35
Tableau III.10 : Les erreurs relatives pour ($P_{\text{abs,Fact}}$).....	36
Tableau III.11 : Les erreurs relatives pour (η_{Tagu}).....	37
Tableau III.12 : Les erreurs relatives pour (η_{Fact}).....	38

Notations et Symboles

Notations et symboles

N.P.S.H [m] : Hauteur Nette Absolue d'aspiration.

η [%] : Rendement.

U [m/s] : La vitesse tangentielle ou La vitesse moyenne de l'écoulement.

P [pascal] : La pression.

Q [m³/s] : Le débit.

H [m] : Hauteur manométrique.

N ; n [tr/min] : la vitesse de rotation.

N_q [min⁻¹] : la vitesse spécifique.

D_s[m] : diamètre spécifique.

P [W] : la puissance utile.

ν [cSt] : La viscosité.

ρ [kg/m³] : La masse volumique du fluide.

ω [s⁻¹] : fréquence angulaire.

R² : Facteur de corrélation.

X [%] : L'erreur relative.

Re : Nombre de Reynolds.

g [m²/s] : L'accélération de la pesanteur.

Th : Théorique.

Tagu : Taguchi.

Fact : Factoriel.

Exp : Expérimentale.

Abs : Absorbée.

Introduction Générale

Introduction générale

Les pompes centrifuges jouent un rôle essentiel dans les installations industrielles, notamment dans les installations hydrauliques. Il a pour fonction de convertir l'énergie mécanique en énergie hydraulique. Quand il s'agit de sélectionner une pompe pour une installation, il est essentiel de la dimensionner en prenant en compte les concepts de hauteur manométrique totale (HMT), de puissance et de rendement de la pompe. Différentes recherches ont été menées sur les performances des pompes centrifuges en lien avec les caractéristiques des fluides pompés, comme la viscosité. Les performances de la pompe, comme la hauteur, la puissance absorbée, la puissance hydraulique et le rendement, sont toujours liées aux caractéristiques des fluides pompés, comme la viscosité, en outre la performance des pompes centrifuges pour le pompage de fluides très visqueux est difficile à atteindre. Une série de travaux a été réalisée en se basant sur les résultats obtenus lors du pompage de l'eau pour déduire ces performances et puisque les pompes centrifuges ont existé si longtemps et son usage est si étendu, il n'est pas étonné qu'elles se produisent dans une infinité de variétés de tailles et de types et qu'elles s'appliquent aussi à une infinité de services dont jouent un rôle primordial dans plusieurs secteurs de notre vie quotidienne à savoir dans la canalisation et le contrôle du niveau d'eau, l'exploitation minière, pétrolière, agricole et autres.

Actuellement l'apparition de la simulation numérique et la disponibilité d'ordinateurs toujours plus puissants, facilitent grandement le calcul et l'optimisation des conditions idéales de fonctionnement des pompes centrifuges et dans cette étude, nous avons effectué des expériences sur une pompe centrifuge pour évaluer ses performances dans le pompage de divers liquides tels que l'eau et l'huile Teska .La méthode statistique (plans d'expériences) a été employée pour obtenir des équations de prédiction des performances des pompes centrifuges. Les équations de prédiction de la hauteur, de la puissance hydraulique, de la puissance absorbée et du rendement de la pompe ont été développées en utilisant deux méthodes de plan d'expériences, à savoir la méthode de Taguchi et la méthode Factorielle, en se basant sur les résultats expérimentaux de la pompe testée.

On a employé un logiciel de calcul statistique (Minitab 17) pour obtenir les équations de prédiction ainsi que leurs courbes de résultats.

Ce travail s'articule autour de trois chapitres :

Le premier chapitre présente les notions fondamentales des pompes centrifuges. Une présentation et une classification de la pompe centrifuge avec les différentes équations de

base. Finalement, on termine ce chapitre par les pertes qui peuvent causer un problème de fonctionnement des pompes centrifuges et avantages et inconvénients des pompes centrifuges.

Dans **le deuxième chapitre**, s'intéressera à la théorie des plans d'expériences et leurs diverses méthodes appliquées, comme la méthode de Taguchi et la méthode factorielle.

Dans **le chapitre final**, Nous présenterons les résultats expérimentaux de la pompe développée en utilisant la méthode Taguchi et la méthode Factoriel. Ces techniques ont été exécutées à l'aide du logiciel MINITAB17

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre 1

Les pompes centrifuges

I. 1. Introduction

Les pompes sont des dispositifs qui permettent d'élever les liquides ou les mélanges de liquides d'un niveau inférieur vers un niveau supérieur, ou de refouler les liquides d'une zone à faible pression vers une zone à haute pression. Les fabricants de ces pompes centrifuges ont pour objectif d'améliorer les performances de la pompe, telles que le rendement et le NPSH.

Il y a deux grands sections des pompes sont pompes volumétriques et les pompes centrifuges dans ce chapitre nous allons présenter les caractéristique et le principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge.

I.2. Description d'une pompe centrifuge

D'abord Une pompe centrifuge est un type de pompe rotative qui utilise la force centrifuge pour augmenter la pression d'un liquide et le transporter d'un point à un autre.

- **Un conduit d'aspiration** du fluide vers la roue (impulseur) de la pompe.
- **Une roue (impulseur)** qui est l'élément essentiel de la pompe, C'est une roue à aubes rotative qui imprime la force centrifuge au liquide, l'accélération ainsi et augmentant sa pression.
- **La volute** qui a le rôle de recueillir le fluide sortant à grande vitesse de la roue, de le canaliser, puis de le ralentir, transformant ainsi en pression une part importante de son énergie cinétique.
- **Un arbre** a pour fonction de porter la roue, d'assurer son centrage dynamique et de transmettre la puissance. [1]
- **Le corps de pompe:** C'est le boîtier qui contient l'impulseur et la volute. Il assure la rigidité de la pompe et protège ses composants internes.

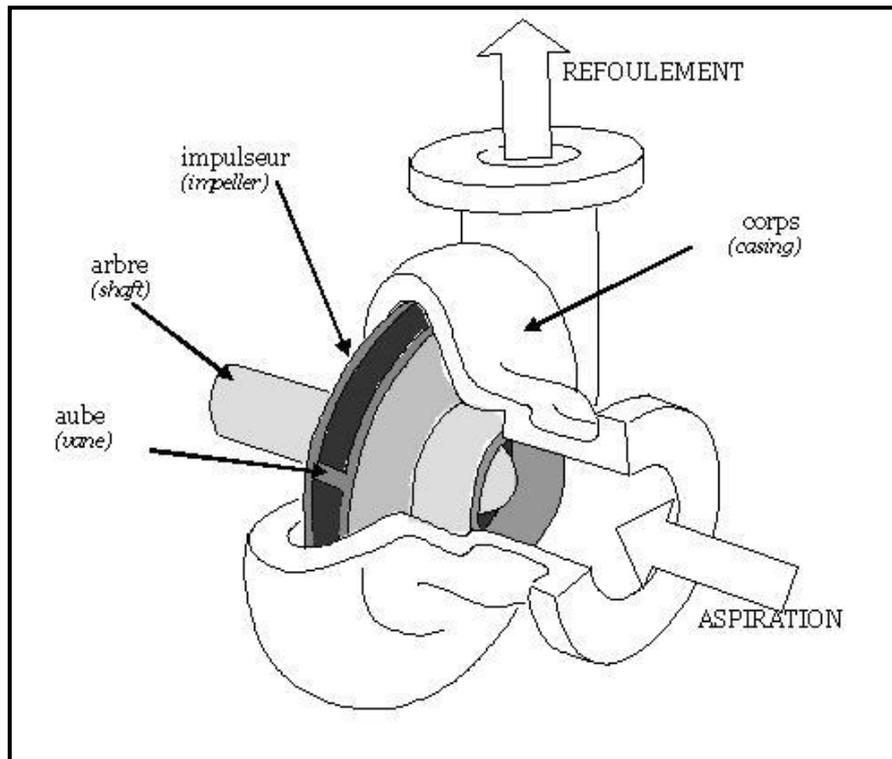


Figure I.1 : composants d'une pompe centrifuge

I.2.1 Principe de fonctionnement

Le système se fonde sur la variation de la vitesse de l'eau pompée. Son fonctionnement se déroule en trois phases distinctes :

1. Tout d'abord, l'**aspiration** est facilitée par le distributeur, ce qui accroît la vitesse du fluide entrant tout en réduisant sa pression.
2. Ensuite, le rotor **accélère la rotation** de la roue, augmentant ainsi la vitesse du liquide et les forces centrifuges, ce qui fait croître la pression.
3. Enfin, un **refoulement** dont le diffuseur diminue la vitesse du liquide, convertissant ainsi l'énergie cinétique en énergie de pression. [2]

I.3. Théorie des pompes centrifuges

I.3.1. Triangles de vitesse

Les différentes composantes de vitesse de l'écoulement dans une roue sont étudiées de manière graphique en utilisant des diagrammes de vitesse triangulaires, également connus sous le nom de triangles des vitesses. Il est possible de les tracer à n'importe quel point du filet liquide à travers la roue, mais généralement on se concentre sur l'entrée et la sortie de la roue. [1]

La vitesse absolue C et en vertu de la composition des vitesses, sera issue de la relation :

$$C = U + W \quad (I.1)$$

C : c'est la vitesse absolue liée aux parties fixes de la machine (distributeur, diffuseur, stator)

- **La composante normale (radiale) :** $C_r = C \cdot \sin \alpha$
- **La composante circonférentielle :** $C_u = C \cdot \cos \alpha$

U : est la vitesse d'entraînement correspondant au mouvement du repère tournant, s'agissant d'un mouvement de rotation.

W : la vitesse relative liée aux parties tournantes de la machine (axe, roue).

L'intérêt de tracer le triangle de vitesse et les différents angles est majeur, bien que la forme de la roue et la courbe caractéristique de la pompe, peuvent être prévues à partir de ces données. De ce fait, les états du mouvement d'entrée et de sortie de la roue tournant à la vitesse angulaire constante sont représentés par les triangles des vitesses construits de la manière suivante

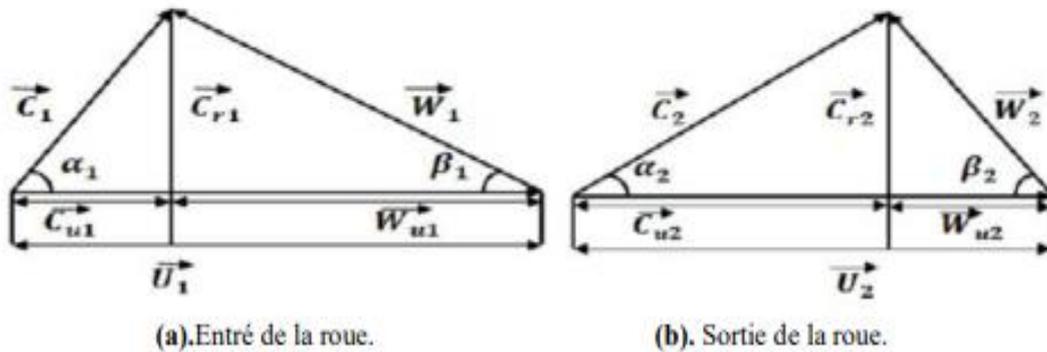


Figure I.2 : Triangle de vitesses à l'entrée et à la sortie de la roue d'une pompe centrifuge

I.3.2 Paramètres principaux d'une pompe

Les fabricants toujours proposent un catalogue de leurs pompes, comprenant les courbes caractéristiques qui sont incluses dans le même graphe. Dans ce qui suit, nous expliquerons comment ces courbes sont interprétées et utilisées par le client pour sélectionner la pompe qui correspond à ses besoins. Le cahier des charges et les accessoires pour une application spécifique.

I.3.2.1 pression (P)

L'unité légale de pression est le Pascal (Pa). Le Pascal est la pression exercée par une force de 1 N agissant sur une surface de 1 m².

$$P = \frac{F}{S} \quad (I.2)$$

p = pression en bar ou en kg/cm²

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

S = surface en cm²

I.3.2.2 Débit Volumique (Qv)

Le débit volumétrique est une mesure qui indique la quantité de fluide (liquide ou gaz) qui passe à travers une surface S en un temps donné t . Autrement dit, il évalue la vitesse à laquelle un fluide s'écoule.

$$Qv = V \cdot S \quad [m^3/s] \quad (I.3)$$

Qv : débit volumétrique [m³/s]

V : volume de l'écoulement [m²/s]

S : la section de l'aire [m²]

I.3.2.3 Puissance (Pu)

La puissance utile est la quantité d'énergie effectivement utilisée par un système pour accomplir une tâche donnée

$$Pu = \rho \cdot g \cdot Qv \quad [W] \quad (I.4)$$

Avec :

ρ : la masse volumique de fluide [Kg/m³].

g : la gravité [m/s²].

Qv : débit volumique [m³/s].

I.3.2.4 Puissance absorbée (Pa)

Fournie sur l'axe de la pompe (moteur asynchrone, par exemple)

$$Pa = C \cdot \omega = C \cdot \frac{2\pi N}{60} \quad [\text{W}] \quad (\text{I.5})$$

$$\text{Avec :} \quad \omega = \frac{2\pi N}{60} \quad [\text{rad/s}] \quad (\text{I.6})$$

C : couple moteur [N.m].

ω : vitesse de rotation [rad/s].

N : vitesse de rotation [tr/min].

I.3.2.5 Rendement (η)

Rendement globale de la pompe η :

$$\eta = \frac{Pu}{Pa} \quad (\text{I.7})$$

Pa : puissance absorbée [W]

Pu : puissance utile (puissance hydraulique) [W]

I.3.2.6 Hauteur manométrique (H_m)

La hauteur manométrique d'une pompe centrifuge correspond à sa capacité à élever un fluide à une certaine altitude. Autrement dit, c'est la variation de pression entre l'aspiration et le refoulement de la pompe. [3]

I.3.3 Classification des pompes centrifuges

La classification des pompes centrifuges varie en fonction de leur domaine d'utilisation, de la taille de l'installation, etc.

La classification est introduite en fonction de la définition du diamètre spécifique (équation I.8) et de la vitesse spécifique (équation I.9). Le diamètre spécifique:

$$D_s = \frac{D(gH)^{1/4}}{\sqrt{Q}} \quad (\text{I.8})$$

Pour classer les pompes centrifuges, il est essentiel de prendre en compte leur vitesse spécifique calculée au meilleur point de rendement optimal. La vitesse spécifique :

$$N_q = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (\text{I.9})$$

D : le diamètre de la pompe

n : la vitesse de rotation (tr/min)

g : accélération de la pesanteur (m/s^2)

Q : le débit de pompe (m³/s)

H : la hauteur de refoulement (m).

En se basant sur cette équation, on peut classer les pompes en pompes centrifuges lorsque les vitesses spécifiques sont faibles ($N_q < 30$) et en pompes axiales lorsque la vitesse spécifique $N_q > 150$. Tous les types de pompes intermédiaires se situent entre les valeurs 30 et 150 de N_q .

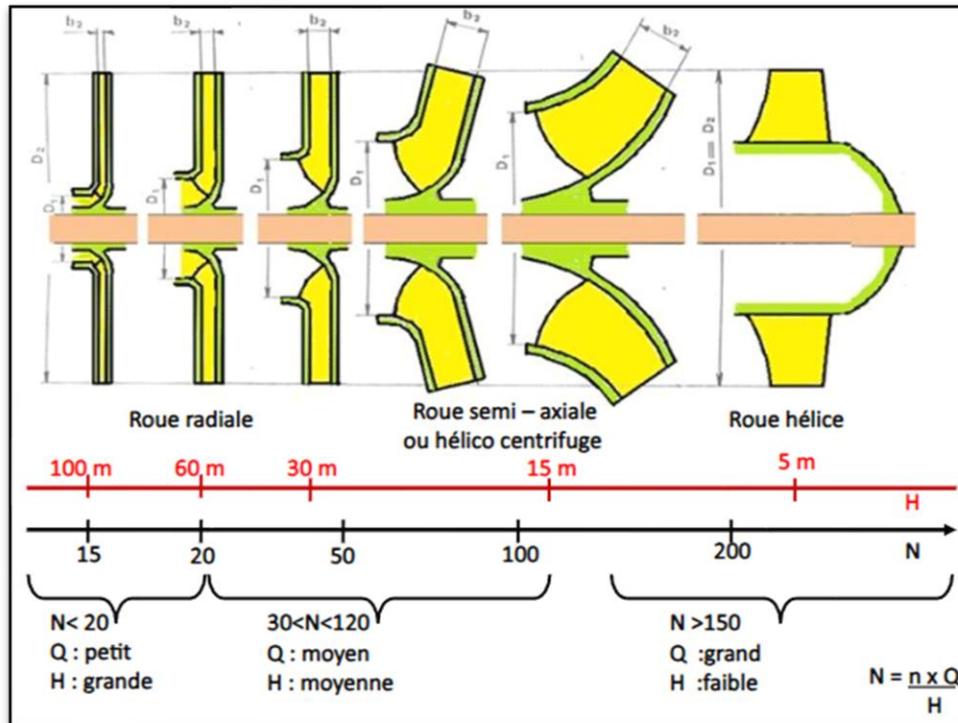


Figure I. 3 : classification des pompes centrifuges selon la vitesse spécifique

Il y a aussi des autres critères de classification comme :

- La pression engendrée :
 - Faible pression
 - Forte pression
- La trajectoire de fluide :

C'est-à-dire la forme des aubes de la pompe

- pompes centrifuges (écoulement radiale) : Les plans contenant les filets de courant d'eau sont perpendiculaires à l'axe de la pompe
- pompes axiale ou à hélices (écoulement axiale) : La forme des filets de courant est axée.

- pompes hélico-centrifuges (écoulement diagonal) : Lorsque les filets sont placés sur des surfaces dont la méridienne est ajustée en fonction de l'axe de la pompe. ni radiale ni axiale. [3]

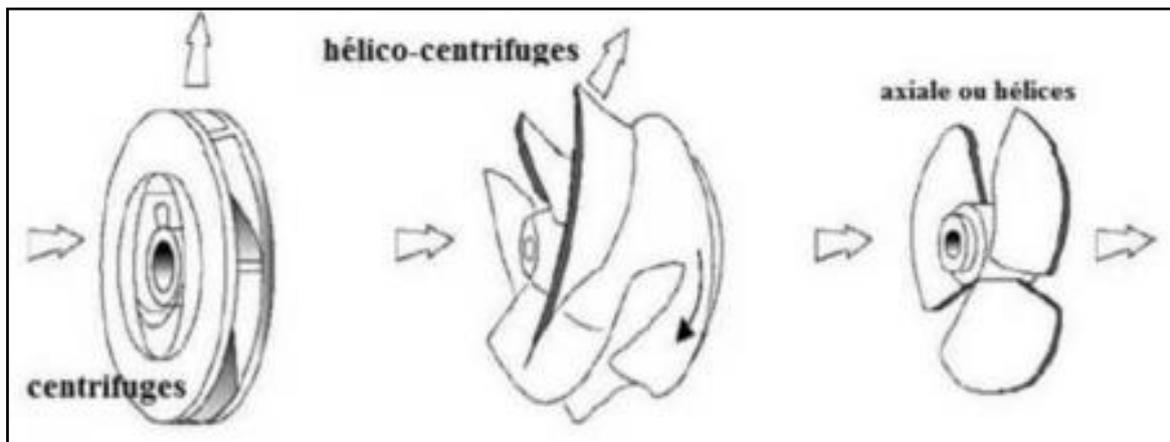


Figure I. 4 : les types des pompes centrifuges.

- le nombre d'étage :
 - monocellulaire
 - multicellulaire
- la disposition de l'axe de la pompe
 - pompe vertical
 - pompe horizontal. [4]
- Moyen d'entraînement
 - Par moteur électrique
 - Par moteur diesel ou essence
 - Par turbine à vapeur ou à gaz
- Moyen d'accouplement
 - Par chaîne
 - Par engrenage
 - Par courroie

- types de la roue de la pompe

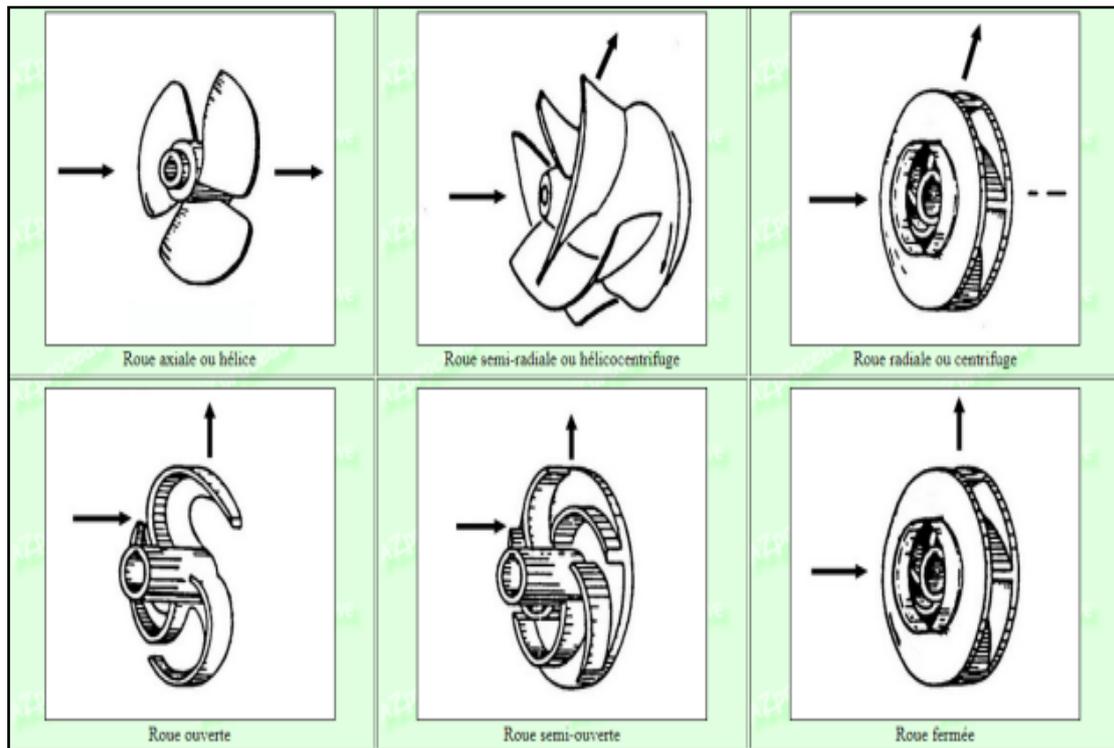


Figure I. 5 : les différents Types de roue

I.4 Pertes des pompes centrifuges

Les pertes de charge Ce que l'on appelle « perte de charge » sont des pertes d'énergie (ou perte de pression). Elles ne se produisent que dans un réseau en dynamique, c'est-à-dire où l'eau est en circulation (pas de perte de charge à l'arrêt). Elles ont deux origines :

- Le frottement des particules d'eau entre elles (viscosité)
- Le frottement des particules d'eau sur la paroi de la conduite (rugosité) [5]

Les différentes pertes dans les pompes centrifuges peuvent être classées en pertes internes (hydraulique) et pertes externes (mécaniques). Parmi les pertes internes, on retrouve des pertes hydrauliques ou des pertes liées au frottement de la roue à aube, ainsi que des pertes d'étanchéité entre la roue et le corps de la pompe au niveau des joints d'arbre. Les pertes externes (mécaniques) désignent les pertes provoquées par la rupture du roulement ou des joints d'étanchéité. [6]

I.4.1 Les pertes hydrauliques

Également appelées pertes hydrauliques, elles représentent la réduction de l'énergie que subit le fluide lorsqu'il circule dans un système hydraulique.

Celles-ci se traduisent par des pertes de charge.

- Les pertes par frottement dues au :

I.4.1.1 Pertes de charge dans la roue

Le régime d'écoulement dans la roue, c'est-à-dire la turbulence, est responsable de cette perte, tandis que les parties fixes de la roue, telles que les aubes, les disques avant et arrière, sont également responsables de cette perte.

Ce débit d'écoulement entoure généralement l'extérieur de la roue à aube d'une pompe centrifuge. Pendant la rotation de la roue, un frottement de disque est produit entre l'environnement et l'extérieur du disque, ce qui entraîne une diminution de la charge par frottement du disque. [7]

Les pertes causées par le frottement à l'intérieur de la roue résultent du contact du fluide lors de son passage radial sur le plan de la roue avec les limites solides telles que les aubes, la roue, le boîtier et le diffuseur. [6]

I.4.1.2 Les pertes de désadaptation

Les pertes de désadaptation dans une pompe désignent la perte d'énergie engendrée par les turbulences et les chocs lorsque le fluide ne s'ajuste pas correctement aux variations de section ou de direction dans le circuit hydraulique.

I.4.1.3 Les pertes par choc

En hydraulique, une perte par choc est la perte d'énergie cinétique du fluide sous forme de chaleur lorsqu'il subit une variation brusque de vitesse ou de direction. Des modifications de section, des coudes, des vannes ou tout autre obstacle dans le circuit peuvent entraîner ces variations.

Par rapport aux autres pertes hydrauliques, les pertes par choc sont les plus significatives. On peut dire aussi que ce genre de pertes se produit à l'entrée de la roue et est causé par le décalage du liquide avec les angles métalliques de la pompe. [6]

I.4.1.4 Pertes volutes : le rôle de la volute est de collecter le fluide qui vient de la roue de la pompe centrifuge. [8]

Les pertes d'énergie sont causées par le passage du fluide dans la volute, principalement par des turbulences et des chocs. Ces pertes sont causées par divers éléments :

- Changements de section : La section de la volute est constamment modifiée afin de maintenir une vitesse de fluide relativement stable. Ces modifications soudaines de section entraînent des pertes par choc.
- Courbures de la volute : La volute en spirale exerce des forces centrifuges sur le fluide, ce qui entraîne des turbulences et des pertes par frottement qui se produisent.
- Différences de pression : Les variations de pression dans la volute entraînent des accélérations et des décélérations du fluide, ce qui génère également des pertes.

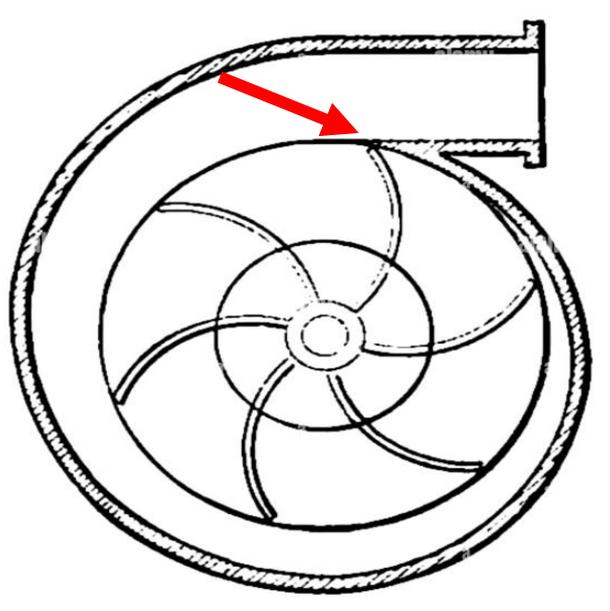


Figure I. 6 : zone des pertes volutes

I.4.1.5 Pertes d'aspiration : Le changement de direction du fluide à l'entrée de la roue entraîne des pertes d'aspiration, car le liquide est dirigé par un angle presque nul avant l'entrée de l'aube. Elles varient en fonction de la vitesse d'écoulement. [7]

I.4.2 Les pertes de puissance

I.4.2.1 Pertes de puissance hydraulique

Le mouvement du fluide à l'intérieur provoque une diminution de la charge, ce qui diminue la hauteur. Les pertes de puissance hydraulique causées par cette diminution de la hauteur sont liées à la rugosité de la surface interne de la pompe et à la vitesse de l'écoulement par rapport à cette surface. [3]

I.4.2.2. Pertes de puissance mécanique

Il est essentiel d'utiliser des éléments mécaniques tels que les roulements et les joints d'arbre pour effectuer le couplage des pompes centrifuges. Ces différents éléments entraînent des pertes mécaniques. [3]

I.4.3 Conséquences des pertes

- Hydraulique :
 - Diminution de la pression
 - Réduction du débit
 - Surconsommation énergétique
 - Perte de rendement du système
- Mécanique :
 - Surchauffe
 - Vibrations et bruits
 - Diminuer la durée de vie d'une machine

I.5 Phénomène de Cavitation

La cavitation reste, aujourd'hui encore, un sujet de préoccupation majeure pour qui s'intéresse aux pompes, qu'il soit utilisateur, installateur ou bien entendu constructeur. L'évolution rapide de l'industrie des pompes, les récents progrès réalisés dans l'étude et la compréhension de nombreux mécanismes qui régissent le phénomène de cavitation, rendent nécessaire la mise à jour des connaissances sur le sujet [9]. La cavitation est le phénomène qui correspond à une vaporisation du liquide (de liquide en vapeur). Celui-ci, se fait par diminution de la pression du liquide au-dessous de la pression de vapeur saturante à température constante.

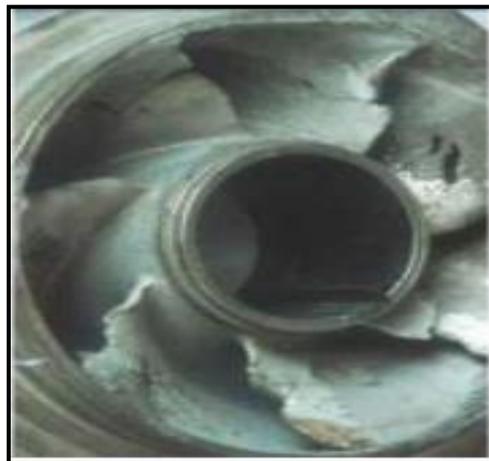


Figure I. 7 : Une érosion par cavitation d'une roue de pompe centrifuge [10]

I.5.1 Signes de cavitation

Le phénomène de cavitation a un impact important sur le fonctionnement des pompes. Cette perturbation se manifeste à la fois sur les performances de fonctionnement et sur la durabilité mécanique de l'équipement. Les effets de la cavitation sont ainsi ressentis à la fois sur le plan opérationnel et sur le plan de l'intégrité structurelle des pompes. Ces effets se manifestent d'une érosion, un bruit et vibrations. Tous ces effets sont généralement nocifs et destructeurs et font que la cavitation doit absolument être évitée.

1. **Bruit** : La présence de microbulles dans l'écoulement d'une pompe en cavitation se traduit par un bruit caractéristique. Ce bruit hydraulique, généré par la cavitation, fait vibrer les parois de la pompe et des tuyaux qui l'entourent.
2. **Vibration** : Lorsque les poches de vapeur à l'entrée de la pompe atteignent une dimension importante vis-à-vis de la taille de la pompe, du niveau de pression ou disponible à l'entrée de la roue(NPSH), une augmentation du niveau vibratoire due à la cavitation peut se rencontrer.
3. **Erosion** : L'origine mécanique de l'érosion de cavitation provient probablement, des variations brusques de pression dans la zone d'implosion des cavités de vapeur.

I.5.2 Moyens d'éviter la cavitation

-La compréhension des propriétés de la cavitation des pompes est la base la plus essentielle pour étudier tout problème de cavitation.

- La deuxième condition en importance est la connaissance des conditions d'aspiration de la station de pompage au moment où le choix des pompes est effectué.

- Un élargissement du tuyau d'aspiration, une diminution de sa longueur, la suppression des coudes, l'utilisation d'un bon pavillon d'aspiration.

- on doit utiliser, les matériaux spéciaux afin de réduire l'érosion de cavitation, comme : Bronze, Bronze d'aluminium, Acier...

- la réduction du bruit et les vibrations provoquées par la cavitation en introduisant de petites quantités d'air à l'aspiration de la pompe.

- La vitesse dans la roue ainsi la hauteur d'élévation par roue doit être faible pour obtenir la charge d'aspiration minimale. [11]

I.6 Avantages et inconvénients des pompes centrifuges

I.6.1 Avantages des pompes centrifuges

- Les pompes centrifuges ont une conception relativement simple et robuste, ce qui les rend fiables avec un entretien facile.
- Les pompes centrifuges peuvent couvrir une large gamme de débits et de pressions, ce qui les rend adaptées à une large gamme d'applications.
- Les pompes peuvent pomper des liquides de différente viscosité, comme l'eau et l'huile.
- La facilité d'installation et d'utilisation de ces pompes.

I.6.2 Inconvénients des pompes centrifuges

- Sensibilité à la cavitation.
- Une consommation d'énergie non négligeable.
- Diminution de rendement à faible débit ou à grande hauteur.

I.7 Utilisation

Les pompes centrifuges sont les plus utilisées dans le domaine industriel à cause de la large gamme d'utilisation qu'elles peuvent couvrir, de leur simplicité et de leur faible coût.

Les usages qu'on en fait est infiniment variés, on ne s'intéresse donc ici qu'aux principaux. On peut citer les principaux domaines d'utilisation comme suit :

- Château d'eau
- Industrie de traitement des hydrocarbures
- Bâtiment et travaux publics
- Agriculture

Néanmoins, il existe des applications pour lesquelles elles ne conviennent pas, comme :

- Utilisation de liquides visqueux, la pompe centrifuge nécessaire serait énorme par rapport aux débits possibles.
- Utilisation de liquides "susceptibles" c'est-à-dire ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe (liquides alimentaires tel que le lait).
- Utilisation comme pompe doseuse ; la nécessité de réaliser des dosages précis instantanés. [12]

I.8 Conclusion

Grâce à cette présentation des pompes centrifuges, des paramètres de base ont été identifiées, qui jouent un rôle crucial dans la conception de ces pompes. De plus, l'élaboration de triangles de vitesses et leur importance. Il y a des différents types de pompes et des critères qui sont utilisés pour classer ces pompes. On doit mentionner que les pompes centrifuges sont essentielles dans de multiples domaines d'activité, en raison de leur polyvalence, de leur fiabilité et de leur prix compétitif.

De plus, l'utilisation de ces Machines dans tous les domaines doit toujours faire face au problème des pertes et de cavitation.

Chapitre 2

La Méthode de Taguchi et les Plans Factoriels

II.1 Introduction

Cerner l'influence des éléments d'un problème peut être réalisé grâce à une approche statistique. Cette méthode consiste à étudier comment différents facteurs impactent une ou plusieurs résultats. En d'autres mots, c'est une manière d'améliorer un processus en déterminant les paramètres les plus essentiels et leurs liens mutuels. Pour la réalisation et l'exécution de ces études on utilise la méthode de Taguchi et la méthode Factorielle.

II.2 Présentation de la méthode de Taguchi

Deux outils efficaces pour améliorer la qualité et optimiser les processus sont la méthode de Taguchi et les plans factoriels. Malgré leurs objectifs communs, tels que l'amélioration des performances et la diminution des variations, ils sont utilisés de manière différente et ont des principes différents.

II.2.1 Le but de la méthode de Taguchi :

La méthode de Taguchi, développée par l'ingénieur et statisticien japonais Genichi Taguchi, a pour objectif principal d'améliorer la qualité des produits et des processus en réduisant les variations et en augmentant la robustesse.

Objectifs de cette la Méthode est :

1. Améliorer la Robustesse des Produits et des Processus :

La méthode vise à concevoir des produits et des processus qui restent performants malgré les variations dans les conditions de fabrication et d'utilisation. Cela signifie que les produits doivent fonctionner correctement même lorsqu'il y a des variations dans les matériaux, les méthodes de production, ou les conditions environnementales. [13]

2. Réduire les Coûts de Qualité :

En intégrant la qualité dès la phase de conception, la méthode Taguchi cherche à minimiser les coûts associés aux défauts, aux rejets, et aux réparations. Cela se fait en identifiant les sources de variation et en ajustant les paramètres pour réduire leur impact sur la qualité. [14]

3. Optimiser les Paramètres de Conception :

La méthode utilise des plans d'expériences (Design of Experiments, DOE) pour déterminer les meilleures combinaisons de paramètres qui maximisent la performance tout en minimisant les variations et les coûts. Cela implique la réalisation de tests systématiques pour trouver les réglages optimaux. [15]

4. Minimiser les Effets des Variations Inévitables :

En se concentrant sur la qualité robuste, la méthode cherche à minimiser les effets des variations inévitables, qu'elles soient dues à des fluctuations dans le processus de fabrication ou à des conditions externes. [16]

II.2.2 Intérêts d'un plan d'expérience Taguchi :

Le plan d'expérience Taguchi a des intérêts :

- Facilité d'interprétation des résultats : le plan d'expérience Taguchi aide à simplifier l'analyse statistique des données ce qui rend l'interprétation des résultats plus facile.
- Réduction du temps et des couts : en utilisant le plan d'expérience Taguchi, cette méthode permet de réduire le nombre d'essais nécessaires pour optimiser les résultats.
- Il requiert un faible nombre d'essais.

II.2.3 Définitions :

Caractéristique: c'est la grandeur que l'on désire suivre.

Facteurs: ce sont les paramètres du système qui ont a priori une influence sur la caractéristique.

Modalités: c'est le nombre de niveaux possibles associés à chaque facteur.

Réponse: c'est la valeur que prend la caractéristique à chaque essai. [17]

II.2.4 Démarche

1. formaliser le problème:

Identifier le problème : est-ce un dysfonctionnement "produit" et/ou "processus", un taux de rebut important, une performance insuffisante, une mise au point à réaliser ?

Quantifier l'objectif à atteindre en définissant une ou plusieurs réponses. Les réponses étant définies, comment les mesurer ?

- Qui mesure ?
- Que mesure-t-on ? -
- Où le fait-on ?
- Quand le fait-on ?
- Comment le fait-on ?
 - Les différentes mesures peuvent être :
 - une grandeur quantitative (une longueur, un poids, une dureté, une force...),
 - un pourcentage (un taux de rebut ...),
 - un classement,
 - une cotation (un démérite ...) etc..

2. sélectionner les paramètres:

Fixer leurs modalités et sélectionner leurs interactions.

Le groupe doit identifier les paramètres, qualitatifs ou quantitatifs, à priori responsables des variations des réponses. La manière de procéder est la suivante

- recenser tous les paramètres possibles (Remue-méninges, diagramme causes-effet (ADMEC, ..).
- sélectionner les paramètres à priori les plus influents pour l'étude, par élimination successive.
- choisir le nombre de modalités et leurs valeurs pour chacun des paramètres retenus.
- sélectionner les interactions à priori les plus influentes.
- déterminer les conditions d'essais les paramètres listés mais non retenus seront. Maintenus constants au cours des essais. La façon de réaliser les essais sera établie et figée.

C'est l'expérience acquise par chacun des membres du groupe qui est utilisée lors de cette étape.

A ce stade, il faut vérifier l'opportunité d'un plan d'expérience

- l'influence des paramètres est-elle vraiment méconnue, mal quantifiée (problème de type "boîte noire") ?
- est-il possible de maîtriser les paramètres au cours des essais ?

Si non, les informations issues de l'étape 1 et 2 permettent de s'orienter vers d'autres méthodes : méthode de résolution de problèmes, analyses de données... [18]

3. construire le plan :

Un plan d'expériences évite de combiner toutes les modalités de tous les paramètres. Les plans les plus courants sont répertoriés dans un ensemble de tables disponibles en standard. Le nombre de paramètres, de modalités par paramètres et le nombre d'interactions permettent de trouver le plan le mieux adapté au problème à résoudre. Les paramètres sont affectés aux colonnes en tenant compte des interactions et des paramètres difficiles à faire varier. [18]

4. réaliser les essais :

Il s'agit de reproduire sur le produit et/ou le processus chaque combinaison du plan d'expériences et pour chacune d'entre elles de consigner la ou les réponses dans un tableau.

Un soin particulier doit être apporté à la réalisation de ces essais (grande rigueur, respect de la gamme d'essais, relevé des conditions expérimentales). Il faut réaliser tous les essais prévus. Il est impossible de s'arrêter sous peine de perdre le bénéfice de l'étude. [18]

5. Analyser les résultats :

Il existe deux analyses complémentaires.

L'analyse graphique :

Elle donne une représentation simple des résultats. Elle permet de visualiser l'influence des paramètres et de leurs interactions.

L'analyse statistique

L'analyse de la variance vise à distinguer, dans les variations globales de la réponse, la part due à l'influence réelle des paramètres de la part due au hasard. Cette analyse

- complète l'analyse graphique.
- donne un taux de confiance statistique aux résultats.
- chiffre la contribution de chaque paramètre à la variation globale de la réponse.

- quantifie la part du résidu, c'est-à-dire ce qui a varié à l'insu de l'expérimentateur.

6. Conclure

L'objectif de cette dernière étape est de faire la synthèse des résultats obtenus et de décider des actions à entreprendre (réglages des paramètres ou préconception).

L'essai de confirmation doit permettre la décision à entreprendre soit Accepter le niveau de qualité obtenu après réglage.

-mettre en œuvre un nouveau plan pour améliorer le résultat.

-changer de stratégie d'analyse où de conception du procédé. [18]

II.2.5 Les bases et les avantages de la méthode Taguchi :

1. La méthode Taguchi vise à améliorer la qualité des produits en réduisant la variabilité des processus. Elle se concentre sur la conception de produits et de processus qui sont robustes aux facteurs environnementaux ou d'entrée. [19]

2. La méthode Taguchi utilise des plans d'expériences orthogonaux pour évaluer les effets des différents facteurs sur les caractéristiques de qualité du produit. Ces plans permettent de réduire le nombre d'essais nécessaires pour évaluer les effets des facteurs. [19]

3. La méthode Taguchi utilise également une fonction de perte de qualité pour évaluer la qualité des produits en termes de déviation par rapport aux spécifications. Cette fonction de perte de qualité permet de quantifier les coûts de qualité et d'optimiser les processus pour minimiser ces coûts. [20]

4. Cette approche est souvent utilisée dans l'industrie manufacturière pour améliorer la qualité des produits tout en réduisant les coûts de production. Elle est également utilisée dans d'autres domaines tels que la recherche et le développement de nouveaux produits, l'optimisation des processus, et la résolution de problèmes de qualité. [20]

II.3 Plans factoriels :

Un plan factoriel est un plan d'expérience où l'on fait, dans une même expérience, l'étude simultanée de deux ou plusieurs variables indépendantes (facteurs), afin de connaître le rôle propre de chaque variable indépendante, leur importance relative et leur interaction.

II.3.1 Plans factoriels complets :

Un plan factoriel complet est un plan dans lequel les chercheurs mesurent les réponses pour toutes les combinaisons de niveaux de facteurs. Minitab fournit deux types de plans factoriels complets :

- Des plans factoriels complets à 2 niveaux comprenant uniquement des facteurs à 2 niveaux.
- Des plans factoriels complets généraux comprenant des facteurs à plus de deux niveaux.

Le nombre d'essais nécessaires dans le cadre d'un plan factoriel complet à deux niveaux est égal à 2^k où k correspond au nombre de facteurs. Plus le nombre de facteurs figurant dans un plan factoriel à deux niveaux augmente, plus le nombre d'essais nécessaires pour effectuer un plan factoriel complet augmente rapidement. Par exemple, un plan factoriel complet à 2 niveaux avec 6 facteurs requiert 64 essais ; un plan avec 9 facteurs requiert 512 essais. Un plan factoriel fractionnaire de fraction $1/2$ ne requiert que la moitié de ces essais. [21]

-Qu'est-ce qu'un plan factoriel complet à 2 niveaux ?

Dans un plan factoriel complet à deux niveaux, chaque facteur expérimental n'a que deux niveaux. Les essais expérimentaux comprennent toutes les combinaisons de ces niveaux de facteurs. Les plans factoriels à deux niveaux ne peuvent pas explorer entièrement une large zone de l'espace factoriel, mais ils fournissent des informations utiles pour un nombre restreint d'essais par facteur. Les plans factoriels à 2 niveaux permettant de déterminer les tendances principales, vous pouvez les utiliser comme référence pour une autre expérience. Par exemple, lorsque vous devez analyser une zone car vous pensez qu'elle contient peut-être des paramètres optimaux, vous pouvez transformer un plan factoriel en plan composite centré. [21]

II.3.2 Avantages des plans factoriels complets:

Les avantages des plans factoriels complets sont nombreux et nous n'en citerons que les principaux:

- ✓ Les plans factoriels sont faciles à construire.
- ✓ Comme chaque facteur ne prend que deux niveaux les essais sont faciles à contrôler et les risques d'erreurs sont minimisés.
- ✓ Le calcul des effets et des interactions est très simple et ne demande pas d'outils informatiques évolués.
- ✓ En les employant l'expérimentateur est sûr d'avoir la procédure expérimentale optimale puisque ces plans sont basés sur de matrices d'Hadamard et qu'il a été démontré que l'on ne pouvait pas faire mieux.
- ✓ L'interprétation des résultats est à la portée de tout expérimentateur et ne demande pas de connaissances approfondies en statistiques.
- ✓ La modélisation mathématique est immédiate.
- ✓ Les résultats obtenus avec un premier plan peuvent être utilisés en partie ou en totalité soit, pour explorer une autre zone du domaine expérimental soit, pour établir un modèle mathématique de degré plus élevé. [22]

II.4 Conclusion

La méthode Taguchi et les plans factoriels constituent une approche puissante pour améliorer la qualité et concevoir des produits résistants aux variations. Cette approche permet de déceler les facteurs essentiels qui influencent les caractéristiques de qualité d'un produit ou d'un processus, d'optimiser les paramètres de conception et de production, et de réduire les coûts tout en accroissant la solidité.

Chapitre 3

Résultats et interprétations

III.1. Introduction

En utilisant les résultats expérimentaux de la pompe testée (Ladouani.A), nous avons utilisé des méthodes statistiques basées sur deux types de plans d'expériences (Taguchi et Factoriel) pour déduire les équations de régression des courbes de performances d'une pompe centrifuge pour différents liquides (l'eau et l'huile Teska) dans cette partie. Dans ces méthodes de prédiction statistique, on a employé le paramètre de viscosité des liquides testés pour évaluer la hauteur, la puissance absorbée, la puissance hydraulique et le rendement de la pompe pour deux vitesses de rotation. On a comparé les résultats de cette nouvelle méthode statistique aux résultats expérimentaux de la pompe centrifuge. Grâce à une comparaison, nous pouvons évaluer les deux méthodes (Factorielle et Taguchi) en utilisant la valeur du coefficient de corrélation (R^2) et le calcul des erreurs relatives moyennes.

III.2. Démarches de l'étude

Pour prédire le comportement de la pompe centrifuge, nous utiliserons la méthode des plans d'expériences. Cela nous permettra d'étudier les effets de la viscosité et de la vitesse de rotation sur le fonctionnement de la pompe. Cette approche nous aidera à mieux comprendre les variations de performances de la pompe en fonction de ces deux paramètres. On va déterminer et établir une relation entre deux types de variables :

- **La Réponse** : Une grandeur étudiée (dans notre cas : la hauteur, la puissance absorbée, la puissance hydraulique et le rendement de la pompe).
- **Les Facteurs** : Des grandeurs ou facteurs variables par l'expérimentateur (dans notre cas : Débit, Viscosité, Vitesse de rotation), ces variables influent sur la réponse.

III.2.1. Banc d'essai de la Pompe Centrifuge

Le banc d'essai de la pompe centrifuge est comme suit :

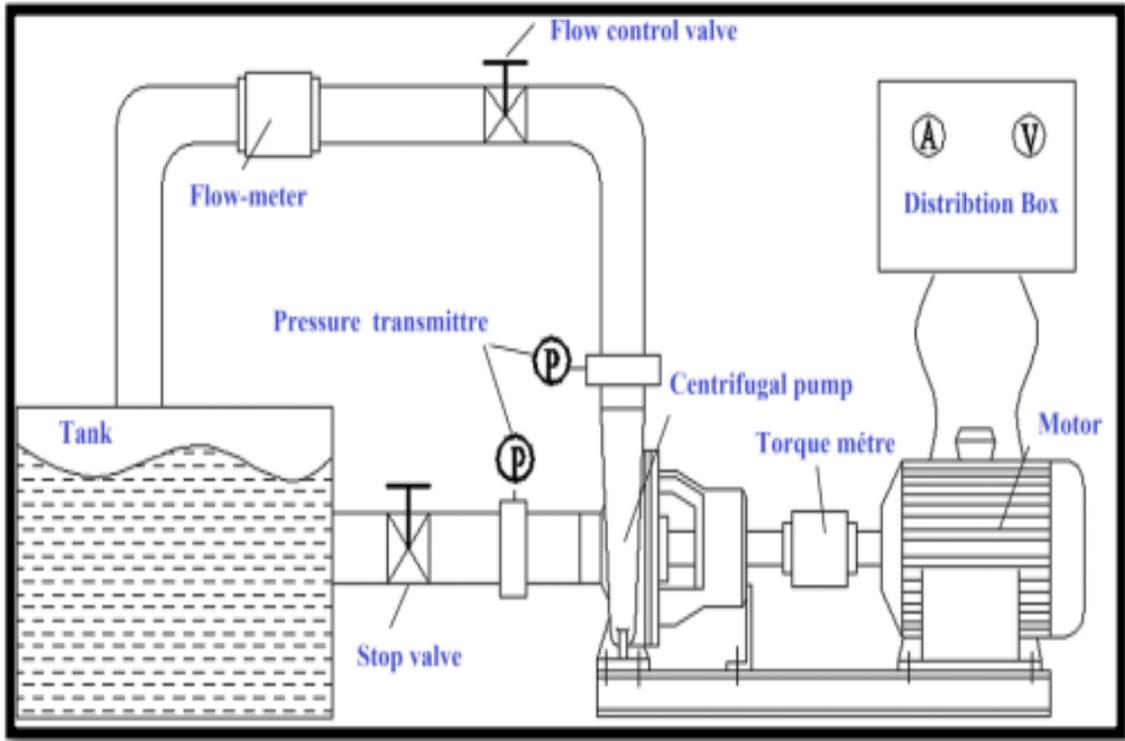


Figure III. 1 : Banc d'essai de la pompe centrifuge

Les caractéristiques géométriques de la roue ont été présentées dans (la figure I.2)

III.2.2. Valeurs des Facteurs utilisés

Les valeurs des facteurs utilisés pour la méthode de Taguchi sont présentées dans le tableau III.1, où chaque facteur est analysé à différents niveaux lors de l'expérimentation. D'autre part, le tableau III.2 expose les valeurs des facteurs employés dans la méthode factorielle, où chaque facteur n'a que deux niveaux, correspondant au minimum et au maximum du domaine expérimental.

Tableau III.1 : Les valeurs des facteurs pour la méthode de **Taguchi**.

Facteurs	Valeurs
Le débit (l/s)	0 - 0.4 - 0.8 - 1.4
La viscosité (cSt)	1 - 75
La vitesse de rotation (tr/min)	2700 – 3000

Tableau III. 2 : Les valeurs des facteurs pour la méthode **Factorielle**.

Facteurs	Valeurs
Le débit (l/s)	0 - 1.4
La viscosité (cSt)	1-75
La vitesse de rotation (tr/min)	2700 – 3000

III.3.Résultats et discussions

III.3.1. la Hauteur (H).

III.3.1.1. Matrice du plan expérimental pour Taguchi

Le (Tableau III.3) présente la matrice d'expérience de la hauteur par la méthode de **Taguchi**.

Tableau III.3 : la matrice d'expérience pour (**H_{Tagu}**).

Num	Q (l/s)	v (cSt)	N (tr/min)	H _{Exp} (m)
1	0,0	1	2700	11,8
2	0,0	1	2700	11,8
3	0,0	75	3000	13,0
4	0,0	75	3000	13,0
5	0,4	1	2700	11,0
6	0,4	1	2700	11,0
7	0,4	75	3000	11,4
8	0,4	75	3000	11,4
9	0,8	1	3000	12,8
10	0,8	1	3000	12,8
11	0,8	75	2700	7,6
12	0,8	75	2700	7,6
13	1,4	1	3000	10,0
14	1,4	1	3000	10,0
15	1,4	75	2700	5,0
16	1,4	75	2700	5,0

III.3.1.2. Mesure des erreurs relatives de la Hauteur (**H_{tagu}**)

Il est crucial de calculer l'erreur relative de la Hauteur mesurée (**H_{exp}**) et de la Hauteur prédite par la méthode de Taguchi (**H_{Tagu}**) afin de déterminer la précision de l'équation de prédiction de la Hauteur manométrique obtenue par la méthode de Taguchi (**H_{Tagu}**).

La mesure de cette erreur relative est comme suite (Tableau III.4) :

$$X = \left| \frac{H_{EXP} - H_{Tagu}}{H_{EXP}} \right| \times 100(\%) \quad (III.1)$$

Tableau III.4 : les erreurs relatives (H_{tagu})

Num d'expérience	Q (l/s)	v (cSt)	N (tr/min)	$H_{\text{expé}}$ (m)	H_{Tagu} (m)	(X)Erreur relative en (%)
1	0,0	1	2700	11,8	12,1701	3.13
2	0,0	1	2700	11,8	12,1701	3.13
3	0,0	75	3000	13,0	12,9703	0.23
4	0,0	75	3000	13,0	12,9703	0.23
5	0,4	1	2700	11,0	10,7849	2.00
6	0,4	1	2700	11,0	10,7849	2.00
7	0,4	75	3000	11,4	11,5850	1.57
8	0,4	75	3000	11,4	11,5850	1.57
9	0,8	1	3000	12,8	12,3495	3.59
10	0,8	1	3000	12,8	12,3495	3.59
11	0,8	75	2700	7,6	7,2499	4.73
12	0,8	75	2700	7,6	7,2499	4.73
13	1,4	1	3000	10,0	10,2717	2.7
14	1,4	1	3000	10,0	10,2717	2.7
15	1,4	75	2700	5,0	5,1721	3.4
16	1,4	75	2700	5,0	5,1721	3.4
L'erreur relative moyenne est de l'ordre de 2.66%						

III.3.1.3. Matrice du plan expérimental pour la méthode Factorielle

Le (Tableau III.5) présente la matrice d'expérience de la hauteur par la méthode Factorielle.

Tableau III. 5 : la matrice d'expérience pour (H_{Fact}).

Num	Q (l/s)	v (cSt)	N (tr/min)	H_{EXP} (m)
1	0,0	1	2700	11,8
2	0,0	75	2700	9,8
3	0,0	1	3000	14,0
4	0,0	75	3000	13,0
5	1,4	75	2700	5,0
6	1,4	1	2700	8,0
7	1,4	75	3000	7,0
8	1,4	1	3000	10,0
9	1,4	75	3000	7,0
10	1,4	75	2700	5,0
11	1,4	1	3000	10,0
12	1,4	1	2700	8,0
13	0,0	75	2700	9,8
14	0,0	75	3000	13,0
15	0,0	1	3000	14,0
16	0,0	1	2700	11,8

III.3.1.4. Mesure des erreurs relatives de la Hauteur (H_{Fact})

Pour que l'équation de prédiction de la Hauteur manométrique obtenue par la méthode de Factorielle (H_{Fact}) soit précise , il vaut mieux d'un calcul de l'erreur relative de la Hauteur mesurée (H_{exp}) et la Hauteur prédite par la méthode de Factorielle (H_{Fact}).

La mesure de cette erreur relative est comme suite (Tableau III.6) :

$$X = \left| \frac{H_{EXP} - H_{Fact}}{H_{EXP}} \right| \times 100(\%) \quad (III.2)$$

Tableau III.6 : Les erreurs relatives pour (H_{Fact})

Num d'expérience	Q (l/s)	v (cSt)	N (tr/min)	$H_{expé}(m)$	$H_{Fact} (m)$	(X)Erreur relative en (%)
1	0,0	1	2700	11,8	12,0987	2.45
2	0,0	75	2700	9,8	9,8484	0.40
3	0,0	1	3000	14,0	14,4486	3.14
4	0,0	75	3000	13,0	12,1983	6.23
5	1,4	75	2700	5,0	5,1990	3.8
6	1,4	1	2700	8,0	7,4493	7.00
7	1,4	75	3000	7,0	7,5488	7.17
8	1,4	1	3000	10,0	9,7992	2.1
9	1,4	75	3000	7,0	7,5488	7.17
10	1,4	75	2700	5,0	5,1990	3.8
11	1,4	1	3000	10,0	9,7992	2.1
12	1,4	1	2700	8,0	7,4493	7.00
13	0,0	75	2700	9,8	9,8484	0.40
14	0,0	75	3000	13,0	12,1983	6.23
15	0,0	1	3000	14,0	14,4486	3.14
16	0,0	1	2700	11,8	12,0987	2.45
L'erreur relative moyenne est de l'ordre de 4.03%						

III.3.2. La puissance absorbée (P_{abs})

III.3.2.1. Matrice du plan expérimental pour Taguchi

Le (Tableau III.7) présente la matrice d'expérience de la puissance absorbée par la méthode de Taguchi.

Tableau III.7 : la matrice d'expérience pour ($P_{abs,Tagu}$).

Num	Q (l/s)	v (cSt)	N (tr/min)	($P_{abs,EXP}$). (W)
1	0,0	1	2700	100
2	0,0	1	2700	100
3	0,0	75	3000	190
4	0,0	75	3000	190
5	0,4	1	2700	140
6	0,4	1	2700	140
7	0,4	75	3000	250
8	0,4	75	3000	250
9	0,8	1	3000	210
10	0,8	1	3000	210
11	0,8	75	2700	270
12	0,8	75	2700	270
13	1,4	1	3000	280
14	1,4	1	3000	280
15	1,4	75	2700	320
16	1,4	75	2700	320

III.3.2.2. Mesure des erreurs relatives de la Puissance absorbée ($P_{abs,Tagu}$)

Pour avoir la précision de l'équation de prédiction de la Puissance absorbée obtenue par la méthode de Taguchi ($P_{abs,Tagu}$), un calcul de l'erreur relative de la Puissance absorbée mesurée ($P_{abs,exp}$) et la Puissance absorbée prédite par la méthode de Taguchi ($P_{abs,Tagu}$) est important.

La mesure de cette erreur relative est comme suite (Tableau III.8) :

$$X = \left| \frac{P_{abs,EXP} - P_{abs,Tagu}}{P_{abs,EXP}} \right| \times 100 \quad (\%) \quad (III.3)$$

Tableau III.8 : Les erreurs relatives pour ($P_{abs,Tagu}$)

Num d'expérience	Q (l/s)	v (cSt)	N (tr/min)	$P_{abs,}$ expé(W)	$P_{abs,}$ Tagu(W)	(X)Erreur relative en (%)
1	0,0	1	2700	100	98,223	1.78
2	0,0	1	2700	100	98,223	1.78
3	0,0	75	3000	190	198,213	4.32
4	0,0	75	3000	190	198,213	4.32
5	0,4	1	2700	140	142,336	1.66
6	0,4	1	2700	140	142,336	1.66
7	0,4	75	3000	250	242,325	3.07
8	0,4	75	3000	250	242,325	3.07
9	0,8	1	3000	210	211,438	0.68
10	0,8	1	3000	210	211,438	0.68
11	0,8	75	2700	270	261,447	3.17
12	0,8	75	2700	270	261,447	3.17
13	1,4	1	3000	280	277,606	0.85
14	1,4	1	3000	280	277,606	0.85
15	1,4	75	2700	320	327,615	2.37
16	1,4	75	2700	320	327,615	2.37
L'erreur relative moyenne est de l'ordre de 2.23%						

III.3.2.3. Matrice du plan expérimental pour la méthode Factorielle

Le (Tableau III.9) présente la matrice d'expérience de la puissance absorbée par la méthode Factorielle

Tableau III. 9 : la matrice d'expérience pour ($P_{abs, facto}$)

Num	Q (l/s)	v (cSt)	N (tr/min)	($P_{abs, EXP}$). (W)
1	0,0	1	2700	100
2	0,0	75	2700	170
3	0,0	1	3000	125
4	0,0	75	3000	190
5	1,4	75	2700	320
6	1,4	1	2700	240
7	1,4	75	3000	400
8	1,4	1	3000	280
9	1,4	75	3000	400
10	1,4	75	2700	320
11	1,4	1	3000	280
12	1,4	1	2700	240
13	0,0	75	2700	170
14	0,0	75	3000	190
15	0,0	1	3000	125
16	0,0	1	2700	100

III.3.2.4. Mesure des erreurs relatives de la Puissance absorbée ($P_{abs,Fact}$)

Pour connaître la précision de l'équation de prédiction de la Puissance absorbée obtenue par la méthode de Factorielle ($P_{abs,Fact}$), un calcul de l'erreur relative de la Puissance absorbée mesurée ($P_{abs,exp}$) et la Puissance absorbée prédite par la méthode Factorielle ($P_{abs,Fact}$) est important.

La mesure de cette erreur relative est comme suite (Tableau III.10):

$$X = \left| \frac{P_{abs,EXP} - P_{abs,Fact}}{P_{abs,EXP}} \right| \times 100 \quad (\%) \quad (III.4)$$

Tableau III.10 : Les erreurs relatives pour ($P_{abs,Fact}$)

Num d'expérience	Q (l/s)	v (cSt)	N (tr/min)	$P_{abs, expé}$ (W)	$P_{abs,Fact}$ (W)	Erreur relative en (%)
1	0,0	1	2700	100	83,782	16.22
2	0,0	75	2700	170	167,550	1.44
3	0,0	1	3000	125	125,032	0.024
4	0,0	75	3000	190	208,800	9.89
5	1,4	75	2700	320	331,294	3.52
6	1,4	1	2700	240	247,526	3.13
7	1,4	75	3000	400	372,544	6.86
8	1,4	1	3000	280	288,776	3.13
9	1,4	75	3000	400	372,544	6.86
10	1,4	75	2700	320	331,294	3.52
11	1,4	1	3000	280	288,776	3.13
12	1,4	1	2700	240	247,526	3.13
13	0,0	75	2700	170	167,550	1.44
14	0,0	75	3000	190	208,800	9.89
15	0,0	1	3000	125	125,032	0.024
16	0,0	1	2700	100	83,782	16.22
L'erreur relative moyenne est de l'ordre de 4.90%						

III.3.2.5. Mesure des erreurs relatives du Rendement (η_{Tagu})

Pour connaître la précision de l'équation de prédiction du Rendement obtenue par la méthode de Taguchi (η_{Tagu}), un calcul de l'erreur relative du Rendement mesuré (η_{exp}) et du Rendement prévu par la méthode de Taguchi (η_{Tagu}) est important.

La mesure de cette erreur relative est comme suite (Tableau III.11) :

$$X = \left| \frac{\eta_{EXP} - \eta_{Tagu}}{\eta_{EXP}} \right| \times 100 \quad (\%) \quad (III.5)$$

Tableau III.11 : Les erreurs relatives pour (η_{Tagu})

Num d'expérience	Q (l/s)	v (cSt)	N (tr/min)	$\eta_{expé}(\%)$	$\eta_{Tagu}(\%)$	(X)Erreur relative en (%)
1	0,0	1	2700	0,00	0,0000	0
2	0,0	1	2700	0,00	0,0000	0
3	0,0	75	3000	0,00	0,0000	0
4	0,0	75	3000	0,00	0,0000	0
5	0,4	1	2700	31,52	30,3083	3.87
6	0,4	1	2700	31,52	30,3083	3.87
7	0,4	75	3000	15,96	16,7328	4.82
8	0,4	75	3000	15,96	16,7328	4.82
9	0,8	1	3000	46,54	46,7261	0.38
10	0,8	1	3000	46,54	46,7261	0.38
11	0,8	75	2700	19,70	19,4111	1.47
12	0,8	75	2700	19,70	19,4111	1.47
13	1,4	1	3000	48,00	51,8017	7.91
14	1,4	1	3000	48,00	51,8017	7.91
15	1,4	75	2700	19,14	19,3394	0.99
16	1,4	75	2700	19,14	19,3394	0.99
L'erreur relative moyenne est de l'ordre de 2.43%						

III.3.2.6. Mesure des erreurs relatives pour (η_{Fact})

Pour connaître la précision de l'équation de prédiction du Rendement obtenue par la méthode Factorielle (η_{Fact}), un calcul de l'erreur relative du Rendement mesuré ($\eta_{expé}$) et du rendement prévu par la méthode Factorielle (η_{Fact}) est important.

La mesure de cette erreur relative est comme suite (Tableau III.12):

$$X = \left| \frac{\eta_{EXP} - \eta_{Fact}}{\eta_{EXP}} \right| \times 100 \quad (\%) \quad (III.6)$$

Tableau III.12 : Les erreurs relatives pour (η_{Fact})

Num d'expériences	Q (l/s)	v (cSt)	N (tr/min)	$\eta_{\text{expé}}(\%)$	$\eta_{\text{Fact}}(\%)$	(X)Erreur relative en (%)
1	0,0	1	2700	0,00	0,0000	0
2	0,0	75	2700	0,00	0,0000	0
3	0,0	1	3000	0,00	0,0000	0
4	0,0	75	3000	0,00	0,0000	0
5	1,4	75	2700	19,14	19,2238	0.41
6	1,4	1	2700	46,66	42,1330	9.70
7	1,4	75	3000	21,43	24,8221	15.81
8	1,4	1	3000	48,00	47,5069	1.04
9	1,4	75	3000	21,43	24,8221	15.81
10	1,4	75	2700	19,14	19,2238	0.41
11	1,4	1	3000	48,00	47,5069	1.04
12	1,4	1	2700	46,66	42,1330	9.70
13	0,0	75	2700	0,00	0,0000	0
14	0,0	75	3000	0,00	0,0000	0
15	0,0	1	3000	0,00	0,0000	0
16	0,0	1	2700	0,00	0,0000	0
L'erreur relative moyenne est de l'ordre de 3.37%						

III.3.3. Modèles de prédictions et courbes de performances

L'utilisation de la méthode des plans d'expériences nous permet d'extraire des modèles prédictifs des performances de la pompe centrifuge étudiée.

III.3.3.1. Modèle de la Hauteur manométrique

En utilisant Minitab 17 pour déterminer le modèle de la Hauteur manométrique pour les deux méthodes (Taguchi et Factoriel).

$$H_{\text{Tagu}} = -14.35 - 3.463Q - 0.02905v + 0.009833N \quad (\text{III.7})$$

$$H_{\text{Fact}} = -9.02 - 3.321Q - 0.03041v + 0.007833N \quad (\text{III.8})$$

Afin de comparer la précision des modèles obtenues par la méthode de Taguchi et Factoriel, une représentation graphique des résultats obtenues par ces modèles est comme suit (Figures III.2 et III.3) :

L'analyse de ces deux figures indique que la pression exercée par la pompe est plus faible lorsque le débit est plus élevé, que ce soit pour l'eau ou le Teska. Au pompage de l'eau et pour une vitesse de rotation constante, la hauteur est importante par rapport à l'huile Teska (exemple : $Q=0$, $H_{\text{eau}}=11.8\text{m}$ et $H_{\text{Teska}}= 9.8\text{m}$) pour $N=2700$ tr/min. Nous pouvons aussi constater que pour la même vitesse de rotation et des viscosités différentes, les caractéristiques $H= f(Q)$ sont décalées pour les deux liquides. La vitesse de rotation influe aussi sur la hauteur pour les deux liquides (exemple : $Q=0$, $H_{\text{eau}}=11.8\text{m}$ pour $N=2700$ tr/min et $H_{\text{eau}}=14\text{m}$ pour $N=3000$ tr/min).

Donc l'effet de la viscosité et la vitesse de rotation sur la hauteur manométrique sont notables. Le modèle de la hauteur manométrique par Taguchi (H_{tagu}) respecte les tendances de la courbe expérimental (H_{exp}) avec un coefficient de corrélation très appréciable ($R^2 = 98,77\%$) et une erreur relative moyenne de l'ordre de **2.66%**

Le modèle de la Hauteur manométrique Factoriel (H_{fact}) respecte aussi les mêmes tendances que celui de Taguchi mais avec un coefficient de corrélation très appréciable ($R^2 = 97.56\%$) et une erreur relative moyenne de l'ordre de **4.03%**

On peut dire que le modèle Taguchi présente une erreur relative moyenne inférieure par rapport au Factoriel ($X_{\text{fact}}= 4.03\%$ et $X_{\text{tagu}}=2.66\%$).

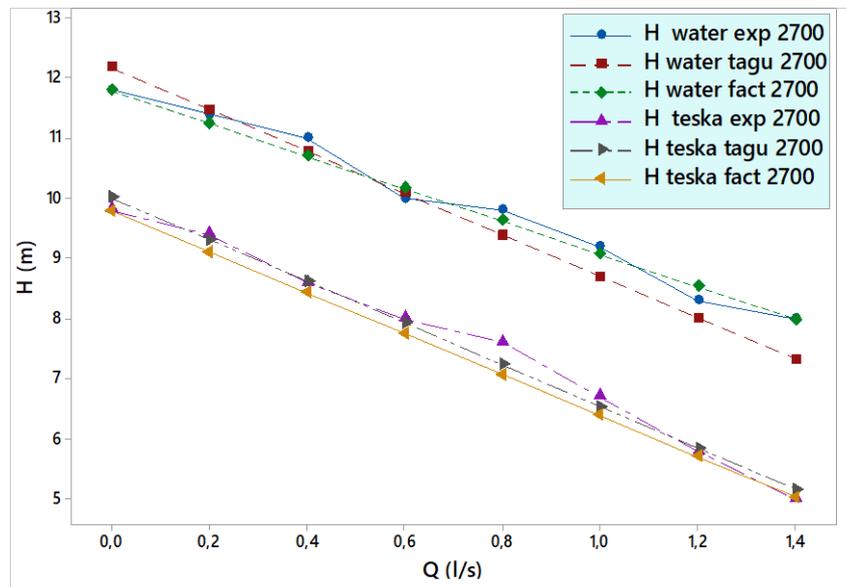


Figure III. 2 : Courbe de la hauteur (H) en fonction du débit (Q) à N= 2700 tr/min

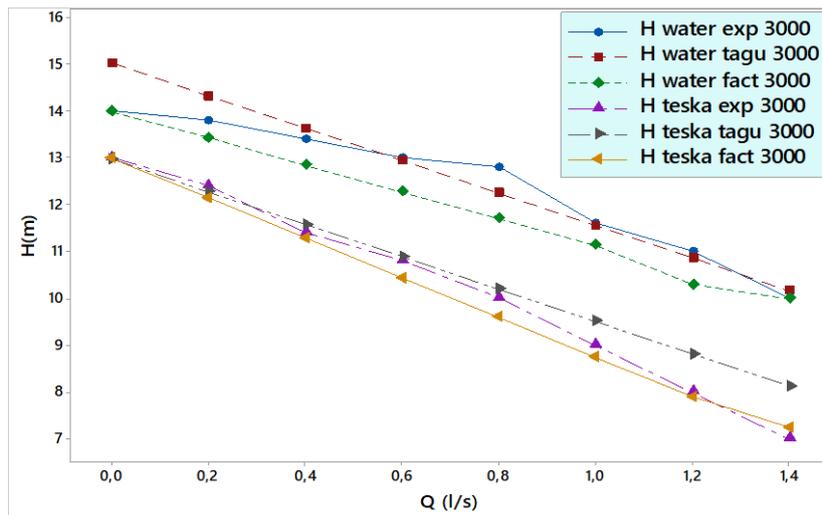


Figure III. 3 : Courbe de la hauteur (H) en fonction du débit (Q) à N= 3000 tr/min

III.3.3.2. Modèle de la Puissance absorbée par la pompe

En utilisant aussi le Minitab 17 pour déterminer le modèle de la Puissance absorbée par la pompe pour les deux méthodes (Taguchi et Factoriel).

$$P_{abs,Tagu} = -127.7 + 110.28Q + 1.0135v + 0.0833N \quad (III.9)$$

$$P_{abs,Fact} = -288.6 + 116.96Q + 1.132v + 0.1375N \quad (III.10)$$

Pour comparer la précision des modèles obtenus par la méthode de Taguchi et Factoriel, une représentation graphique des résultats obtenus par ces modèles est comme suit:

L'analyse des (Figures III.4 et III.5) montrent que la Puissance absorbée par la pompe augmente proportionnellement avec le débit pompé pour les deux liquides (Eau et Teska).

Pour une vitesse de rotation constante, la Puissance absorbée pour huile Teska est importante par rapport à l'eau, La vitesse de rotation influe aussi sur la Puissance absorbée pour les deux liquides (exemple : $Q=0$, $P_{abs, eau}=100w$ pour $N=2700$ tr/min et $P_{abs, eau}=125w$ pour $N=3000$ tr/min). Donc l'effet de la viscosité et la vitesse de rotation sur la puissance absorbée sont remarquables.

Le modèle de Taguchi et Factoriel ($P_{abs, tagu}$ et $P_{abs, fact}$) respectent les tendances affichées par la courbe expérimental ($P_{abs, exp}$) avec une bonne corrélation pour les deux cas en présence des deux liquides (Eau et huile Teska).

Le modèle de la Puissance absorbée par Taguchi ($P_{abs, tagu}$) présente un coefficient de corrélation très appréciable ($R^2 = 99,30\%$) et une erreur relative moyenne de l'ordre de **2.23%**.

Le modèle de la Puissance absorbée Factoriel ($P_{abs, fact}$) présente un coefficient de corrélation très appréciable ($R^2 = 97.75\%$) et une erreur relative moyenne de l'ordre de **4.90%**.

On peut dire aussi que le modèle Taguchi présente une erreur relative moyenne inférieure par rapport au Factoriel ($X_{\text{fact}}=4.90\%$ et $X_{\text{tagu}}=2.23\%$).

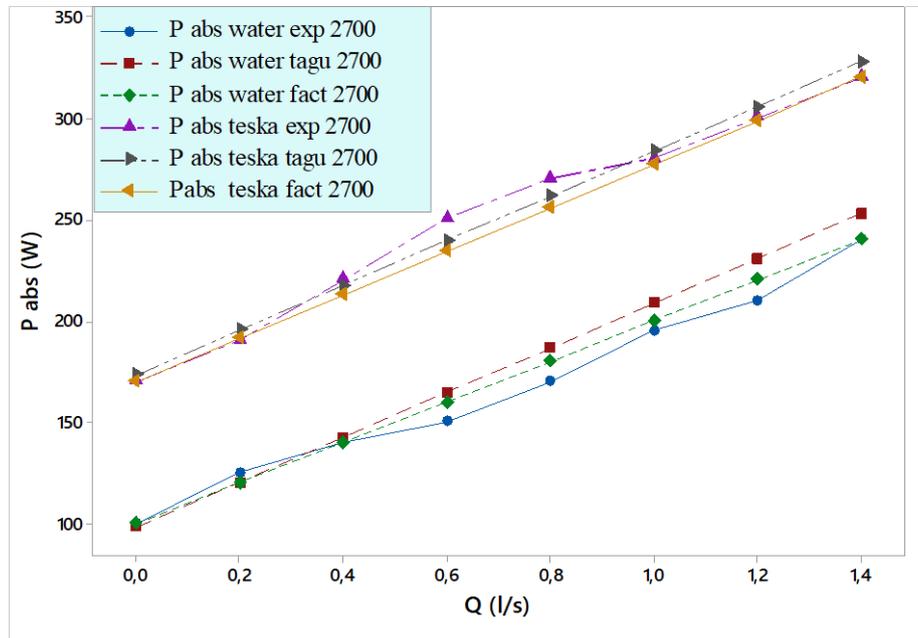


Figure III.4: Courbe de la puissance absorbée (P_{abs}) en fonction du débit (Q) à $N=2700$ tr/min.

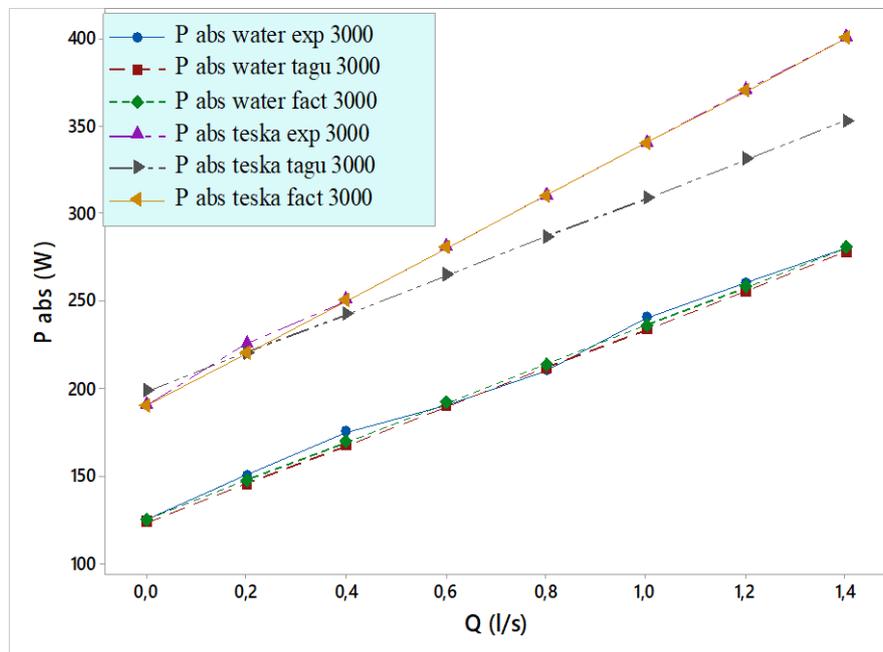


Figure III.5: Courbe de la puissance absorbée (P_{abs}) en fonction du débit (Q) à $N=3000$ tr/min.

III.3.3.3. Modèle du Rendement de la pompe

De la même manière celle de la puissance hydraulique en peut déduire le modèle du rendement de la pompe élaborée par la méthode de Taguchi et Factoriel (η_{Tagu} et η_{Fact}) à partir de l'équation expérimentale (η_{Exp}) et les résultats des modèles de prédiction de la puissance hydraulique et la puissance absorbée ($P_{\text{Hyd,Tagu}}$, $P_{\text{Hyd,Fact}}$, $P_{\text{abs,Tagu}}$ et $P_{\text{abs,Fact}}$).

Maintenant nous pouvons écrire les modèles suivants :

$$\eta_{\text{Exp}} = P_{\text{Hyd,Exp}}/P_{\text{abs,Exp}} \text{ (Modèle Expérimentale)} \quad (\text{III.11})$$

$$\eta_{\text{Tagu}} = P_{\text{Hyd,Tagu}}/P_{\text{abs,Tagu}} \text{ (Modèle de Taguchi)} \quad (\text{III.12})$$

$$\eta_{\text{Fact}} = P_{\text{Hyd,Fact}}/P_{\text{abs,Fact}} \text{ (Modèle Factoriel)} \quad (\text{III.13})$$

D'après les courbes des (Figures III.6 et III.7) en peut faire une analyse en trois paliers :

- Palier **ascendant** avec augmentation du rendement en fonction du débit pour les deux liquides (exemple : de 0 à 1 l/s pour huile Teska à N=2700 tr/min)
- Palier **stationnaire** qui représente le point optimal (Q=1 l/s pour huile Teska et Q=1.2 l/s pour l'eau à N=2700 tr/min).
- Palier **descendant** avec diminution du rendement en fonction du débit pour les deux liquides (exemple : de 1 à 1.4 l/s pour huile Teska à N=2700 tr/min).

Nous pouvons dire que pour une vitesse de rotation constante N =2700 tr/min, le rendement est important pour l'eau par rapport à l'huile Teska (exemple : Q= 0.8 l/s, $\eta_{\text{Eau}} = 46.15\%$ et $\eta_{\text{Teska}} = 19.7\%$).

L'influence de la vitesse de rotation sur l'évolution du rendement est presque négligeable (exemple : Q= 0.8 l/s, $\eta_{\text{Eau}} = 46.15\%$ pour N=2700 tr/min et $\eta_{\text{Eau}} = 46.54\%$ pour N=3000 tr/min). Donc la viscosité présente une influence remarquable sur le Rendement.

Le modèle de Taguchi et Factoriel (η_{Tagu} et η_{Fact}) respectent la tendance de la courbes expérimental (η_{exp}) avec une bonne corrélation pour les deux cas en présence des deux liquides (Eau et huile Teska).

Le modèle Taguchi présente aussi une erreur relative moyenne meilleure par rapport au modèle Factoriel ($X_{\text{fact}} = 3.37\%$ et $X_{\text{tagu}} = 2.43\%$).

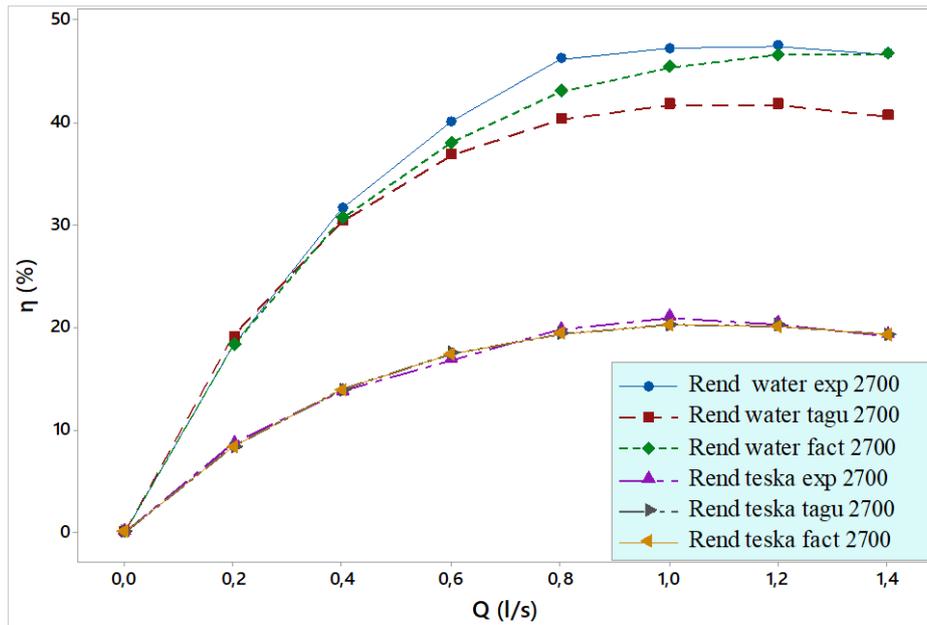


Figure III. 6 : Courbe du rendement de la pompe (η) en fonction du débit (Q) à $N=2700$ tr/min.

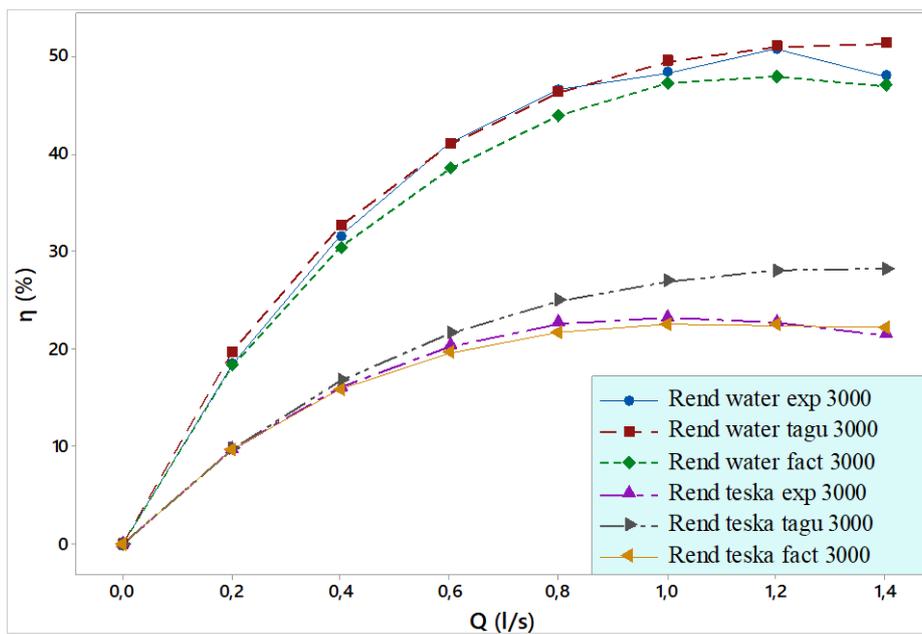


Figure III. 7 : Courbe du rendement de la pompe (η) en fonction du débit (Q) à $N=3000$ tr/min.

III.4. Conclusion

Nous avons utilisé la méthode des plans d'expériences dans ce dernier chapitre pour obtenir les équations de prédiction de la pompe testée. Cette section nous a permis d'en tirer les conclusions suivantes :

- Les deux méthodes (Taguchi et Factorielle) montrent que les paramètres fondamentaux tels que le débit, la viscosité et la vitesse de rotation ont un impact significatif sur la hauteur et la puissance absorbée. La méthode de Taguchi et Factorielle ne peut apporter aucune contribution aux interactions entre ces facteurs.
- La viscosité influence inversement les performances de la pompe centrifuge, telles que la hauteur, la puissance hydraulique et le rendement de la pompe, tandis que la puissance absorbée est proportionnelle à cette dernière (viscosité).
- La pompe élaborée est également influencée par la vitesse de rotation.
- Les résultats obtenus à partir des modèles de Taguchi et Factoriel sont satisfaisants, avec des corrélations solides avec les résultats expérimentaux.
- Selon les résultats finales de ces modèles (Taguchi et Factoriel), il est possible de dire que les modèles obtenus par la méthode de Taguchi sont légèrement supérieurs aux modèles obtenus par la méthode Factorielle en raison de leurs corrélations beaucoup plus élevées et de leurs erreurs relatives moyennes inférieures.

Conclusion générale

Conclusion Générale

L'objectif de cette étude est d'évaluer et de prédire les performances des pompes centrifuges lorsqu'elles sont exposées à l'influence de la viscosité de liquides tels que l'eau et l'huile Teska. On a développé deux techniques d'expérimentation, les plans de Taguchi et les plans factoriels, afin de générer des équations qui permettent de prédire les performances de la pompe testée. Après cette étude approfondie, les conclusions finales sont les suivantes :

- Selon les tests réalisés, il est observé que lorsque la viscosité augmente, les performances de la pompe diminuent, ce qui entraîne une augmentation de sa consommation électrique. En outre, les conclusions indiquent que la vitesse de rotation a un impact important sur les performances de cette pompe.
- La hauteur de refoulement, la puissance absorbée et le rendement global de la pompe sont directement influencés par la viscosité du fluide et la vitesse de rotation de la pompe. Ces paramètres sont étroitement liés et fluctuent en fonction des propriétés du fluide et du mode de fonctionnement.
- Les méthodes de Taguchi et l'analyse factorielle ont obtenu des résultats satisfaisants, démontrant une grande concordance avec les données expérimentales. Cela met en évidence une bonne adéquation entre ces deux approches d'analyse.
- En examinant la variance des deux méthodes expérimentales (Taguchi et Factorielle), il est observé que les éléments étudiés, tels que le débit, la viscosité et la vitesse de rotation, ont une influence importante sur la hauteur et la puissance absorbée. L'importance de ces paramètres dans le processus étudié est mise en évidence par ces résultats.
- Certains modèles, tels que le modèle des pertes par flottement de la roue, les pertes d'aspiration et les pertes volute, ne présentent pas d'effet de la viscosité, ce qui signifie que le changement de viscosité pour ces modèles ne cause pas de variation des pertes.
- La géométrie de la pompe a une influence significative sur la plupart des modèles de pertes de hauteur, comme le démontrent les résultats du calcul de différentes pertes.
- Selon les résultats de ces deux méthodes (Taguchi et Factoriel), les modèles générés par la méthode de Taguchi semblent légèrement plus performants que ceux obtenus par la méthode Factoriel. En effet, la méthode de Taguchi offre une meilleure corrélation et des erreurs relatives plus faibles.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Kedjough Ismail, Khattab Redouane. Etude, Conception et simulation d'une pompe centrifuge. Mémoire Master, Université de KASDI MERBAH.2019
- [2] PASCAL BIGOT, "Cours : Les Pompes", 2011.
- [3] Djellali Badis, Djebabla Basma. Analyse Des Causes De Défaillance des Pompes Centrifuges. Mémoire Master, Electromécanique. UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA.2021
- [4] BEKHTI Siham ,FATIMA Meriem. Etude conceptuelle d'une pompe centrifuge à plusieurs étages. Mémoire de Master. Energétique. Université SAAD DAHLEB .Blida .2020
- [5] Matériel d'irrigation. ARVALIS - Institut du végétal - Juin 2017
- [6] Khin Cho Thin., myamy AKhaing, and Khin MaunGaye. Design and performance analysis of centrifugal pump, proceeding of world academy of science, engineering and technology volume 36 december 2008 issn2070-3740.
- [7] Sushil Mittal., Satish KumaR. Simulation of optimum loss models for radial centrifugal pump. Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the award of degree of master of engineering, mechanical engineering department. university patiala– 147004, june 2008.
- [8] Ahmed Ouendjli. Ali Nemdili and Abdelkrim Ladouani. Prédétermination des performances d'une pompe centrifuge à partir de ses données géométriques - élaboration d'un programme de calcul. Magistère, usto Oran.2000
- [9] POULAIN, J.; LAPRAY, J-F., 2000 « techniques de l'ingénieur », traité génie mécanique. B4 300-1 à 11 ; B4 302 -1 à 24; B4 304-1 à 23; B4 306-1 à 10; B4 308-1 à 16; B4 313-1 à 16.Edition PYC. France.
- [10] MEFTAH Ali. Etude de la cavitation d'une pompe centrifuge. Mémoire Master. Système énergétique et thermique. 2014
- [11] A...J STEPANOFF, Pompes centrifuges et pompes hélices, DUNOD.1961.
- [12] MOUMENE SALAH EDDINE, Etude et Maintenance des pompes centrifuges industrielles. Mémoire de Master. Electromécanique. Université Badji Mokhtar-Annaba. 2019

- [13] Taguchi, G., Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes (1986).
- [14] Taguchi, G., Quality Engineering in Production Systems (1992).
- [15] Phadke, M. S., Quality Engineering Using Robust Design (1989).
- [16] Taguchi, G., System of Experimental Design (1987).
- [17] BOUHBEL Fouad, SEGHIR Lotfi. Calage du modèle de Mohr Coulomb à partir de l'essai à la boîte de cisaillement, en utilisant la méthode d'optimisation de Taguchi. Mémoire de Master. Géotechnique. Université de Guelma.2020.
- [18] l'Université 08 Mai 1945 de Guelma Faculté des Sciences et de la Technologie Département de Génie Civil & Hydraulique Spécialité Génie Civil Option GEOTECHNIQUE Présenté Boum azza Nassira.
- [19] Roy, R. K. (2001). A primer on the Taguchi method. Society of Manufacturing Engineers.
- [20] Taguchi, G. (1987). System of experimental design: Engineering methods to optimize quality and minimize costs. UNIPUB.
- [21] <https://support.minitab.com/fr-fr/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/doe/supporting-topics/factorial-and-screening-designs/factorial-and-fractional-factorial-designs/>
- [22] YAHIAOUI Idris. Les plans d'expériences Initiation à la construction et l'analyse des plans factoriels complets à deux niveaux et du plan composite centré. Génie des procédés. Université A. MIRA –Bejaia.2015

ملخص

الهدف الاساسي في البحث المقدم في هذا العمل هو التنبؤ مسبقاً بأداء مضخات الطرد المركزي كدالة على لزوجة السوائل باستخدام الأساليب الإحصائية للتصميم التجريبي. بالإشارة إلى النتائج التجريبية للمضخات المختبرة التي تم اختبارها، تم استخدام طريقة (تاغوتشي والعوامل) لاشتقاق صيغة تنبؤية لمنحنى أداء مضخات الطرد المركزي لضخ المياه و الزيت تيسكاً.

لزوجة السائل الذي تم اختباره هي عنصر رئيسي لتحديد ارتفاع المضخة و الطاقة المستعملة من طرف المضخة والضغط الهيدروليكي وكفاءة المضخة في كلتا سرعتين.

تم استخدام برنامج حساب إحصائي (مينيتاب 17) من أجل تشكيل معادلات التنبؤ ورسم منحنيات أداء مضخة الطرد المركزي. بعد مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها بالطرق الإحصائية والتجريبية، كان هناك توافق بينهما. كشف تحليل يستند إلى حساب متوسط الخطأ النسبي أن طريقة تاغوتشي أفضل قليلاً من طريقة العوامل.

الكلمات المفتاحية: مضخة الطرد المركزي - اللزوجة - خصائص مضخات الطرد المركزي - طريقة تاغوتشي والعوامل

Abstract

The principal objective in this work is the prediction of the performance of a centrifugal pump as a function of the viscosity of liquids, using statistical methods of design of experiments. The techniques (Taguchi and Factorial) were employed to derive the equations from the performance graphs of a centrifugal pump moving water and oil Teska, utilizing the experimental data of a tested pump as a reference.

The thickness or viscosity of the liquid being tested is a crucial factor in determining the appropriate pump height, the amount of power consumed, the hydraulic power generated, and the overall efficiency of the pump, regardless of the speed at which it operates.

Statistical calculation software (MINITAB 17) was used to create the prediction equations and plot the performance curves of the centrifugal pump. The results obtained from statistical and experimental methods were in agreement. An analysis based on the mean relative error calculation showed that the Taguchi method is slightly more accurate than the Factorial method.

Key words: *centrifugal pump - viscosity - performance of centrifugal pumps. - taguchi and factorial method.*

Résumé

Dans cette étude, l'objectif principal est de prédire les performances des pompes centrifuges en fonction de la viscosité du fluide en utilisant des méthodes statistiques de conception expérimentale. Une méthode (Taguchi et Factorielle) a été employée pour extraire une formule prédictive de la courbe de performance des pompes centrifuges pour le pompage de l'eau et de l'huile Teska en se basant sur les résultats expérimentaux des pompes testées.

L'élément essentiel pour évaluer la hauteur de la pompe, la puissance absorbée, la puissance hydraulique et le rendement de la pompe à deux vitesses est la viscosité du liquide testé.

En utilisant un outil statistique spécialisé (MINITAB 17), les formules prédictives et les graphiques de performances de la pompe centrifuge ont été élaborés.

Après avoir comparé les résultats obtenus par les méthodes statistiques et expérimentales, on a constaté une concordance entre eux. Une analyse basée sur le calcul de l'erreur relative moyenne a révélé que la méthode de Taguchi est légèrement plus performante que la méthode Factorielle .

Mot clés : *pompe centrifuge - viscosité - performances des pompes centrifuges - méthode de taguchi et factorielle*