Prédiction des performances des pompes centrifuges sous l'influence de la viscosité des liquides en utilisant la méthode Taguchi.

Prediction of performances of centrifugal pumps under the influence of the viscosity of liquids using the Taguchi method.

Issam Bousba[1*], Hocine Cheghib[1], Yacine Benlalli[2] & Nabil Kahoul[1]

[1] Laboratoires des systèmes électromécaniques (LSELM), Université Badji Mokhtar, BP 12, Annaba, 23000, Algérie.
[2] Laboratoire de physique du solide (LPS), Université Badji Mokhtar, BP 12, Annaba, 23000, Algérie.

Info. Article

Historique de l'article

Reçu le 04/06/2018
Révisé le 06/01/2019
Accépté le 20/01/2019

Mots-clés:

Pompe centrifuge, Viscosité, Méthode de Taguchi.

Key words:

Centrifugal pump, Viscosity, Taguchi method.

RESUME

Dans ce travail, une méthode statistique basée sur le plan d'expérience de Taguchi a été utilisée pour déduire les équations de prédictions des courbes de performances d'une pompe centrifuge pour différents liquides (l'Eau et huile Teska). Le facteur de la viscosité des liquides testés a été utilisé dans cette méthode de prédiction afin de calculer la hauteur, la puissance absorbée, la puissance hydraulique et le rendement de la pompe pour deux vitesses de rotation.Un montage expérimental représenté par un banc d'essai de la Pompe Centrifuge a été utilisé pour obtenir les résultats expérimentaux.Une convergence a été trouvée lorsque les résultats prévus (méthode de Taguchi) et expérimentaux ont été comparés.

ABSTRACT

In this work, a statistical method based on the Taguchi experimental design was used to derive prediction equations from the performance curves of a centrifugal pump for different liquids (water and oil Teska).The viscosity factor of tested liquids was used tocompute the head, absorbed power, hydraulic power and pump efficiency at two rotational speeds. An experimental setup represented by a centrifugal Pump test rig was used in order to obtain experimental data. A convergence was reached when the predicted (Taguchi method) and experimental results were compared.

[*] ***Auteur Correspondant:***
Bousba Issam
Laboratoire des systémes électromécaniques, Université Badji Mokhtar
Annaba, BP 12, 23000, Annaba, Algérie.
Email: bousba.issam@yahoo.fr

©UBMA 2019

1. INTRODUCTION

Dans les premiers temps les chercheurs ne tenaient pas compte de l'influence de la viscosité des liquides sur les performances des pompes centrifuges [1] et [2]. Ces performances tels que la hauteur, la puissance absorbé la puissance hydraulique et le rendement de la pompe sont toujours en relation avec les propriétés du fluide pompé tels que la viscosité, la densité, …etc.

La variation de la viscosité a une influence permanente sur l'évolution de ces performances [3] et [4], Ce parametre important nous a poussé ainsi que d'autres chercheurs à étudier la relation entres ces performances et la viscosité. Afin de mieux comprendre les phénomènes qui se produisent à l'intérieur de la pompe, on devait alors conforter les essais expérimentaux par des études théoriques. En 1974, William et Howard [5] ont développé un programme qui prédit les performances des pompes centrifuges, il existe aussi plusieurs méthodes de calcul de ces performances qui ont été élaborés [6], [7] et [8]. Aujourd'hui, de nombreux chercheurs ont travaillé sur les méthodes de calcul des performances des pompes centrifuges. Des facteurs de correction ont été proposés pour préciser ces performances [3] et [9]. En 2014 et 2017 [10] et [11], de nouvelles méthodes basées sur les programmes informatiques ont été utilisées afin de développer des modèles de prédiction des performances des pompes. Dans ce travail, les résultats obtenus à l'aide d'un banc d'essai d'une pompe centrifuge et une méthode statistique de Taguchi [12] ont été utilisés afin de développer les equations de prédiction des performances des pompes. Cette nouvelle méthode statistique utilise les résultats expérimentaux afin d'obtenir les modèles de performances de la pompe testée tels que la hauteur, la puissance absorbée, la puissance hydraulique et le rendement [13]. Les résultats de cette méthode statistique ont été vérifiés en les comparant avec les resultats expérimentaux de la pompe testée. Cette comparaison est basée sur la valeur du coefficient de corrélation (R^2) obtenue par un logiciel statistique (Minitab 17). Les resultats obtenus nous permettent de conclure que la méthode Taguchi donne des résultats significatifs afin de déduire les courbes de performance de la pompe testée.

2. METHODOLOGIE DE RECHERCHE

Afin de réaliser la procédure de prédiction par la méthode de taguchi, les données expérimentales ont été obtenues pour une pompe centrifuge précédemment testée par Ladouani [4] en utilisant de l'eau et de l'huile teska pour deux vitesses de rotation. Dans le but de connaitre le comportement de la pompe centrifuge quand la viscosité change, on va utiliser la methode des plans d'experiences qui est basée sur l'utilisation des résultats expérimentaux afin de déduire les équations. La méthode des plans d'epériences, a pour but de déterminer et d'établir une relation entre deux types de variables :

- La Réponse : Une grandeur étudiée (exemple : H, Pabs, Phyd,…etc.).
- Les Facteurs : Des grandeurs ou facteurs variables par l'expérimentateur (exemple : Débit, Viscosité, Vitesse,.. etc.), ces variables influent sur la réponse.

Plus précisément, cette méthode a pour objectif de montrer les relations entre les facteurs et les réponses et les facteurs entre eux. Pour cela et dans tous les cas, les solutions proposées consistent à trouver des modèles ou des équations, présentant la réponse en fonction des facteurs étudiés. Pour construire ces modèles, on doit réaliser une série d 'expériences en variant les valeurs de ces facteurs [14].

La méthode de Taguchi est l'une des méthodes ou des techniques des plans d'expériences développée par Taguchi et Konishi [15]. Elle a pour but de réduire le domaine expérimental afin de mettre en évidence l'influence des facteurs étudiés sur la réponse. La méthode de Taguchi est caractérisée par la diminution du nombre des expériences avec une conservation de la bonne précision. Elle montre que le modèle est un élément essentiel de la politique des plans d'expériences. La méthode de Taguchi laisse librement l'expérimentateur à choisir les valeurs et le nombre des facteurs étudiés en relation avec le modèle qu'il propose. Dans le plan de Taguchi chaque facteur a sa propre importance, les facteurs sont sélectionnés selon le degré de difficulté à réaliser dans le domaine expérimental. Ainsi nous pouvons classer les facteurs par degré de difficulté de réalisation. Dans un premier temps, la méthode de Taguchi a montré une grande réussite dans le domaine industriel et spécialement dans le secteur de l'agroalimentaire, puis elle a provoqué un grand intérêt dans le monde statisticien. [12] et [16].

2.1. Banc d'essai de la Pompe Centrifuge

La figure 1 montre une représentation schématique du banc d'essai de la pompe centrifuge [4].

©UBMA 2019

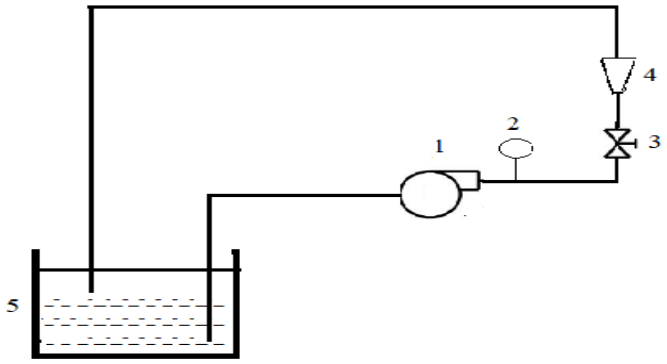

Figure1 : Schéma simplifié du banc d'essai de la Pompe Centrifuge

Les composants constituants le stand éxperimental sont :

1- Pompe Centrifuge munie d'une balance de mesure du Couple Moteur et d'un Tachymètre pour mesurer la Vitesse de rotation
2- Prise de Pression à la sortie de la pompe
3- Vanne de réglage du Débit dans la conduite de refoulement
4- Débitmètre de type venturi
5- Réservoir

Caractéristiques de la pompe :

Le schéma des organes de la pompe et les caractétistiques du banc d'essai de la pompe centrifuge TE 47 sont montrés sur les figures 2 et 3.

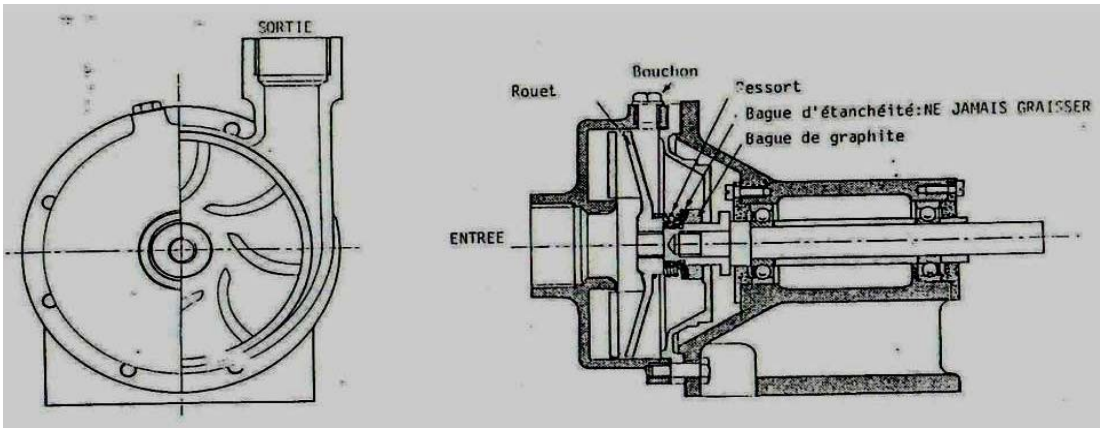

Figure2 : Schéma des organes de la pompe

©UBMA 2019

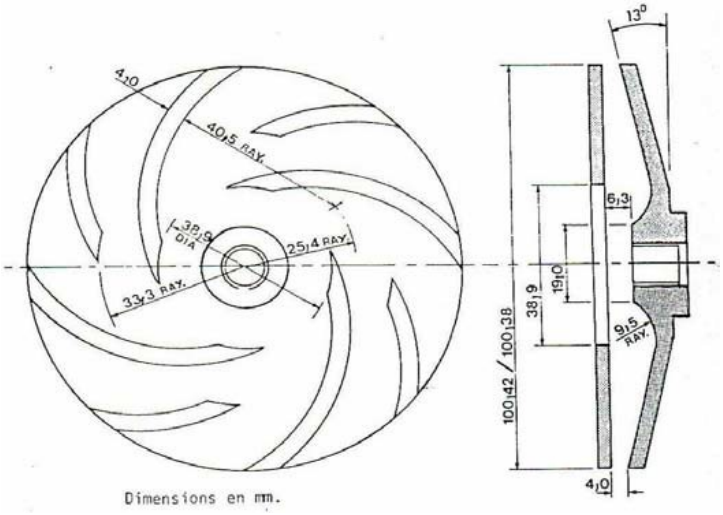

Figure 3: Dimensions de la roue de la pompe.

Les caractéristiques géométriques de la roue de la pompe sont rassemblées dans le tableau1 :

Tableau 1 : Caractéristiques géométriques de la roue de la pompe

Diamétre d'entrée **D1**	Diamétre de sortie **D2**	Largeur d'entrée **b1**	Largeur de sortie **b2**	Nombre d'aubes **Z**
38.9 mm	100.42 mm	6.3 mm	4.0 mm	6

2.2. Valeurs des Facteurs Utilisés

Les tableaux 2 et 3 présentent les résultats expérimentaux de l'installation expérimentale de pompage de l'eau et de l'huile Teska [4] :

Tableau 2 : Résultats expérimentaux pour l'eau

	Eau							
	N=2700 tr/min				**N**=3000 tr/min			
Q	**H**	**P**abs	**P**hyd	**H**	**H**	**P**abs	**P**hyd	**η**
0	11.8	100	0	0	14	125	0	0
0.2	11.4	125	22.8	18.24	13.8	150	27.6	18.4
0.4	11	140	44	31.42	13.4	175	55.16	31.52
0.6	10	150	60	40	13	190	77.99	41.05
0.8	9.8	170	78.4	46.11	12.8	210	97.73	46.54
1	9.2	195	92	47.17	11.6	240	116	48.33
1.2	8.3	210	99.6	47.42	11	260	132	50.76
1.4	8	240	112	46.66	10	280	134.4	48

Tableau 3 : Résultats expérimentaux pour Teska

	Teska							
	N=2700 tr/min				**N**=3000 tr/min			
Q	**H**	**P**abs	**P**hyd	**H**	**H**	**P**abs	**P**hyd	**η**
0	9.8	170	0	0	13	190	0	0
0.2	9.4	190	16.45	8.65	12.4	225	21.7	9.64
0.4	8.6	220	30.1	13.68	11.4	250	39.9	15.96
0.6	8	250	42	16.8	10.8	280	56.7	20.25
0.8	7.6	270	53.2	19.70	10	310	70	22.58
1	6.7	280	58.62	20.93	9	340	78.75	23.16
1.2	5.8	300	60.9	20.3	8	370	84	22.70
1.4	5	320	61.25	19.14	7	400	85.75	21.43

©UBMA 2019

Le tableau 4 présente les valeurs des facteurs utilisés par la méthode de Taguchi (plan complet à divers niveaux L 16). Les facteurs sont à divers niveaux dans le domaine expérimental.

Tableau 4: les valeurs des facteurs pour la méthode de Taguchi

Facteurs	**Valeurs**
Le Débit **(l/s)**	0, 0.4, 0.8 et 1.4
La Viscosité **(cSt)**	1et 75
La Vitesse de rotation **(tr/min)**	2700 et 3000

En relation avec le tableau 4, la hauteur manométrique et la puissance absorbée par la pompe ont été déterminées. On obtient 16 essais par l'utilisation de cette méthode statistique.

3. ANALYSES ET RESULTATS

La détermination des modèles de la hauteur et de la puissance absorbée par la pompe nécessite la déterminination de la contribution des facteurs étudiés.

3.1. Contribution des Facteurs Étudiés

Pour déterminer l'influence des facteurs étudiés (Q, ν et N) sur la hauteur et la puissance absorbée par la pompe, une analyse de variance est présentée dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Analyse de la Variance (méthode deTaguchi

Source	Performances de la Pompe			
	La Hauteur Manométrique (H)		La Puissance Absorbée (P)	
	Degré de liberté	Contribution en (%)	Degré de liberté	Contribution en (%)
Régression	3	98.77	3	99.30
Débit (Q)	1	48.45	1	67.07
Viscosité (ν)	1	17.45	1	28.99
Vitesse (N)	1	32.86	1	3.22
Erreur	12	1.23	12	0.7
Total	15	100	15	100

Le Tableau 5 montre que les facteurs étudiés (Débit, Viscosité et la Vitesse de rotation) ont une contribution significative sur la hauteur manométrique et la puissance absorbée par la pompe.

3.2. Équations de Prédiction et Courbes de Performances

La détermination des équations de prédiction de la hauteur et de la puissance absorbée est basée sur les l'analyses des régressions de ces équations obtenues par le logiciel.

3.2.1. Équation de la Hauteur Manométrique

L'équation de la Hauteur obenue est :

$$H_{tagu} = -14.35 - 3.463Q - 0.02905\nu + 0.009833N \quad (1)$$

Les résultats obtenus par la méthode de Taguchi et les résultats expérimentaux sont représentés sur les graphes des figures 4 et 5.

©UBMA 2019

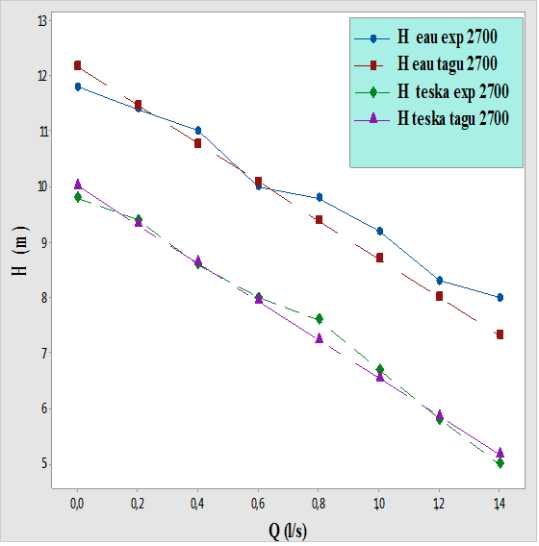

Figure 4: courbe de H f(Q) à N= 2700 tr/min

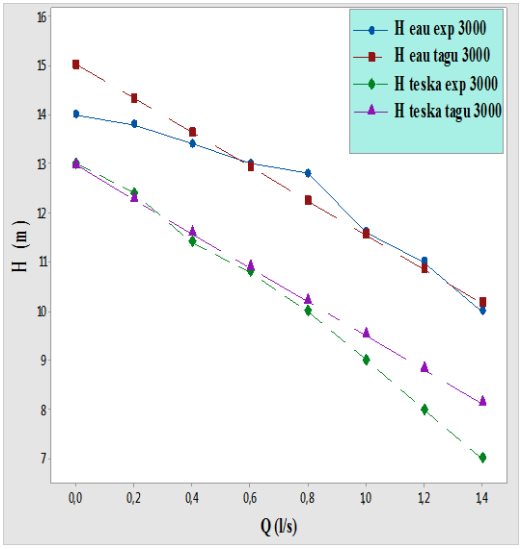

Figure 5: courbe de H f(Q) à N= 3000 tr/min

L'analyse des figures 4 et 5 montre que la hauteur manométrique est inversement proportionnelle au débit de la pompe pour les deux liquides (eau et l'huile Teska). Nous pouvons aussi constater que pour la même vitesse de rotation et des viscosités différentes, les caractéistiques H= f(Q) sont décalées pour les deux liquides. On peut dire aussi que la contrainte de cisaillement appliqué sur l'huile Teska est importante par rapport à l'eau. Cette contrainte de cisaillement est causée par les interactions moléculaires, qui le rendent résistant à l'écoulement. Ceci explique l'influence de la viscosité sur la hauteur de refoulement de la pompe centrifuge ; exemple : (Q= 0, H_{eau} = 11.8m et H_{teska}=9.8m pour N=2700 tr/min).

La vitesse de rotation influe aussi sur la hauteur pour les deux liquides, exemple : (Q=0, H_{eau}=11.8m pour N=2700 tr/min et H_{eau}=14m pour N=3000 tr/min). Nous pouvons constater que le changement de la vitesse de rotation provoque une variation de contrainte de cisaillement et de vitesse de cisaillement.

Le modèle de Taguchi pour l'eau et l'huile Teska, H_{tagu} respecte les tendances de la courbe expérimentale (H_{exp}) avec un coefficient de corrélation très appréciable (R^2 = 98,78 %), donc ce modèle ne présente qu'une erreur de l'ordre de 1.22%.

3.2.2. Équation de la Puissance absorbée par la Pompe

Le modèle de la Puissance absorbée par la Pompe est donné par l'équation suivante :

$$P_{abstagu} = -127.7 + 110.28Q + 1.0135v + 0.0833N \qquad (2)$$

Les résultats obtenus par la méthode de Taguchi et les résultats expérimentaux sont representés sur les graphes des figures 6 et 7.

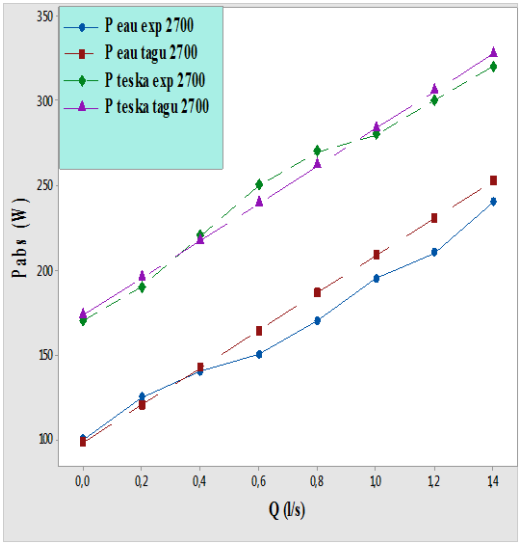

Figure 6: courbe de P_{abs} f(Q) à N= 2700 tr/min

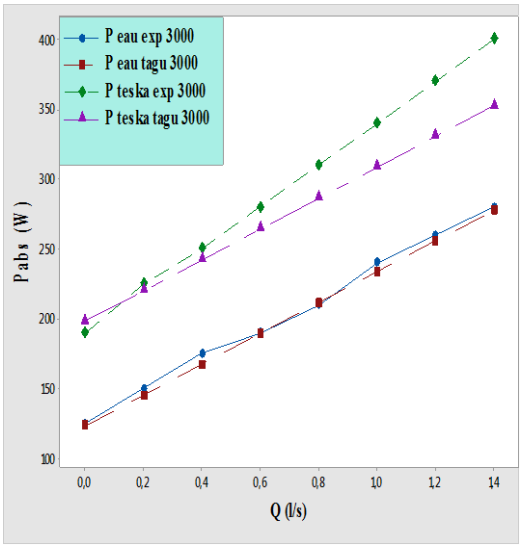

Figure 7: courbe de P_{abs} f(Q) à N= 3000 tr/min

©UBMA 2019

L'analyse des figures 6 et 7 montre que la puissance absorbée par la pompe augmente proportionnellement avec le débit pompé pour les deux liquides (eau et l'huile Teska). Pour une même vitesse de rotation, la puissance absorbée par la pompe pour l'huile Teska est importante par rapport à celle absorbée dans le cas de l'eau, ce qui explique que la contrainte de cisaillement appliquée sur l'huile Teska est importante par rapport à l'eau mais la vitesse de cisaillement est importante pour l'eau par rapport à l'huile Teska ; exemple: (Q=0, $P_{abs\ teska}$= 170w et $P_{abs\ eau}$=100w pour N=2700tr/min). 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). Ainsi, l'effet de la viscosité et celui de la vitesse de rotation sur la puissance absorbée sont remarquables, c'est-a-dire que l'augmentation de la vitesse de rotation provoque une diminution de contrainte de cisaillement et une augmentation de la vitesse de cisaillement. Le modèle de Taguchi ($P_{abs\ tagu}$) respecte les tendances affichés par la courbe expérimentale ($P_{abs\ exp}$) avec un bon Coefficient de Corrélation (R^2 = 99,29 %), donc ce modèle ne présente qu'une erreur de l'ordre de 0.71%.

3.2.3. Équation de la Puissance Hydraulique de la Pompe

En utilisant l'équation expérimentale de la Puissance hydraulique ($P_{hyd\ exp}$) et les résultats du modèle de la hauteur (H_{tagu}) pour déterminer l'équation de la puissance hydraulique par Taguchi ($P_{hyd\ tagu}$), on remplace donc les valeurs de la hauteur expérimentale (H_{exp}) par les valeurs de la hauteur prévue (H_{tagu}).
Donc on peut écrire les relations suivantes :

$$P_{hyd_{exp}} = \rho \times g \times H_{exp} \times Q \qquad \text{(Modèle Expérimentale)} \qquad (3)$$

$$P_{hyd_{tagu}} = \rho \times g \times H_{tagu} \times Q \qquad \text{(Modèle de Taguchi)} \qquad (4)$$

Où :
Q : est le de Débit de la Pompe (m^3/s)
ρ : la Densité du fluide (kg/m^3)
g : l'accélération de la Pesanteur (m/s^2)

D'après les courbes des figures 8 et 9 on peut analyser ces dernières en deux paliers :

- Palier ascendant avec augmentation de la puissance hydraulique 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 ou constant pour les deux liquides, exemple : (de 1 à 1.2 l/s pour Huile Teska à N=2700 tr/min)

D'une façon générale et pour une vitesse de rotation constante N =2700 tr/min, la puissance hydraulique est importante pour les liquides de faible viscosité (l'eau) par rapport aux liquides visqueux (Teska), exemple:(Q= 0.8 l/s, $P_{hyd\ eau}$ = 78.4w et $P_{hyd\ teska}$ =53.2w).Donc on peut constater que pour une vitesse de rotation constante, la contrainte de cisaillement appliqué par la pompe sur l'huile Teska est importante par rapport à l'eau.

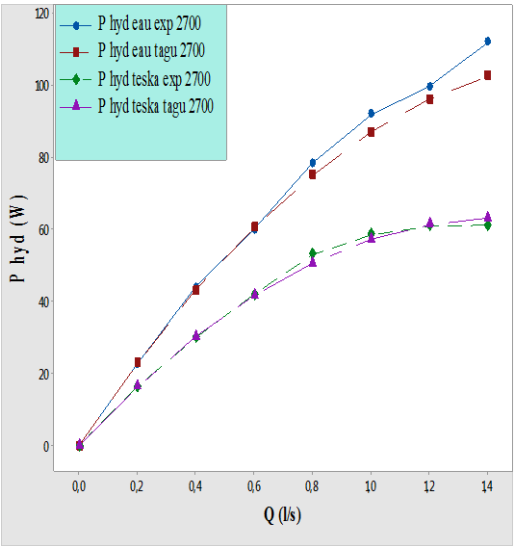

Figure 8: courbe de P_{hyd} f(Q) à N= 2700 tr/min

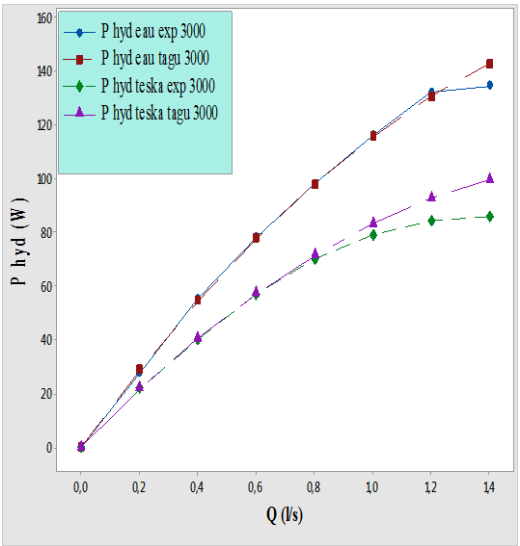

Figure 9: courbe de P_{hyd} f(Q) à N= 3000 tr/min

©UBMA 2019

La vitesse de rotation influe aussi sur l'évolution de la Puissance Hydraulique, exemple : (Q= 0.8 l/s, $P_{hyd\ eau}$ =78.4w pour N=2700 tr/min et $P_{hyd\ eau}$ =97.73w pour N=3000 tr/min).

Donc la viscosité et la vitesse de rotation ont une influence remarquable, c'est-a-dire que le changement de la vitesse de rotation provoque une variation des paramètres rhéologiques tels que la contrainte de cisaillement et la vitesse de cisaillement.

Les modèle de Taguchi ($P_{hyd\ tagu}$) respecte les tendances des courbes expérimentales ($P_{hyd\ exp}$) avec un coefficient de corrélation très appréciable (R^2 = 98,78 %), donc ce modèle ne présente qu'une erreur de l'ordre de 1.22%.

3.2.4. Équation du Rendement de la Pompe

De la même manière que celle de la puissance hydraulique on peut déduire le modèle du rendement de la pompe testée par la méthode de Taguchi (η_{tagu}) en utilisant l'équation expérimentale (η_{exp}) et les résultats des modèles de la puissance hydraulique et la puissance absorbée ($P_{hyd\ tagu}$, $P_{abs\ tagu}$). Donc on peut écrire les relations des modèles suivantes :

$$\eta_{exp} = \frac{P_{hyd_{exp}}}{P_{abs_{exp}}} \quad \text{(Modèle Expérimentale)} \quad (5)$$

$$\eta_{tagu} = \frac{P_{hyd_{tagu}}}{P_{abs_{tagu}}} \quad \text{(Modèle de Taguchi)} \quad (6)$$

D'après les courbes des figures 10 et 11 on 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).

On peut dire que pour une vitesse de rotation constante N =2700 tr/min, le rendement est important pour l'eau par rapport à celui de l'huile Teska ; exemple :(Q= 0.8 l/s, η_{eau} = 46.15% et η_{teska} =19.7%), Le constat fait montre qu'il y a un effet remarquable et important de la contrainte de cisaillement appliquée sur l'huile Teska par rapport à l'eau.

L'influence de la vitesse de rotation sur l'évolution du rendement est presque négligeable ; exemple :(Q= 0.8 l/s, η_{eau} = 46.15% pour N=2700 tr/min et η_{eau} = 46.54% pour N=3000 tr/min). La viscosité presente ainsi une influence remarquable sur le rendement.

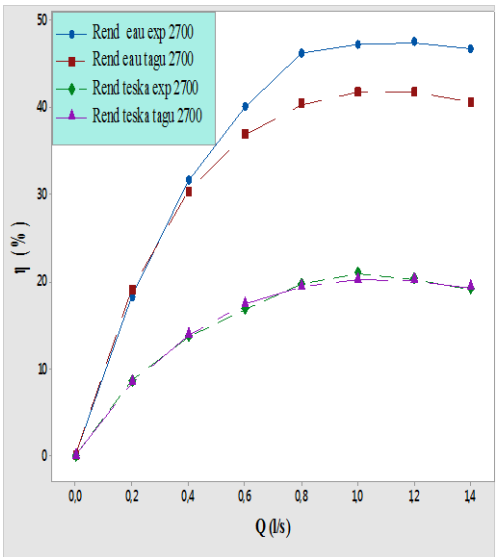

Figure 10: courbe de η *f* (Q) à N= 2700 tr/min

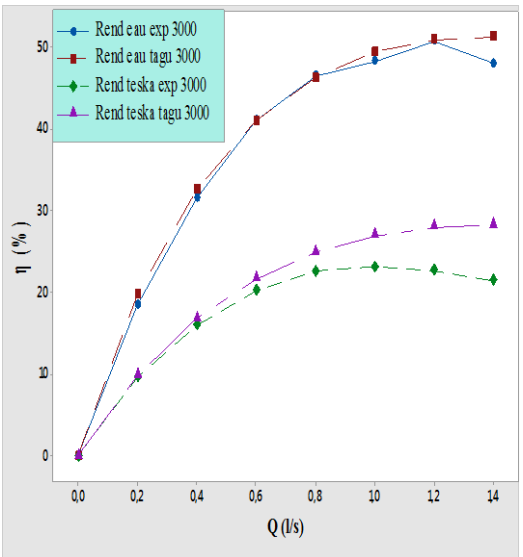

Figure 11: courbe de η *f* (Q) à N= 3000 tr/min

Le modèle de Taguchi (η_{tagu}) respecte les tendances des courbes expérimentales (η_{exp}) avec un bon coefficient de corrélation (R^2 = 98,78 % à 99,29 %).

©UBMA 2019

4. CONCLUSION

D'après l'analyse de la variance de la méthode de Taguchi on peut conclure que les parametres étudiés tels que le débit, la viscosité et la vitesse de rotation ont une influence significative sur la hauteur et la puissance absorbée. On peut dire aussi qu'à partir des courbes comparatives obtenues, les grandeurs hydrauliques telles que la hauteur, la puissance hydraulique et le rendement de la pompe sont inversement proportionnelles à la viscosité. Par contre la puissance absorbée est proportionnelle à la viscosité.

En rhéologie et d'après les résultats expérimentaux on peut dire que le changement des performances de la pompe testée est causé par la variation des paramétres rhéologiques telles que la contrainte de cisaillement et la vitesse de cisaillement appliquées sur les liquides testées à l'intérieur de la pompe.

Les résultats expérimentaux montrent aussi que l'augmentation de la vitesse de rotation de la pompe provoque une augmentation des performances de la pompe. Ainsi nous pouvons dire que la vitesse de rotation influe sur les paramétrés rhéologiques.

Les modèles obtenus par la méthode de Taguchi respectent les tendancesdes courbes expérimentales avec des coefficients de corrélation très appréciables. On conclue ainsi que la méthode de Taguchi présente de bons résultats par rapport aux résultats obtenus experimentallement. Ceci prouve que l'utilisation des plans d'expériences (méthode de Taguchi) peut être utilisée pour prédire les performances des pompes centrifuges.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le Docteur Abdelkrim Ladouani, Le Professeur Abdelkrim Khaldi ainsi que le Directeur du laboratoire des systèmes electromécaniques Le Professeur Salah Saad pour leur aide, leurs conseils appréciables et leurs orientations.

REFERENCES

[1] L. Dauherty Robert, 1926. A Further Investigation of Performance of Centrifugal Pumps When Pumping Oils, *Bulletin 130*. Seneca Falls, NY: Goulds Pumps, Inc.

[2] N. Telow, 1942. A Survey of Modern Centrifugal Pump Practice for Oil Field and Oil Refinery Services, *The Institution of Mechanical Engineering* 3: 121–134.

[3] A. Nemdili., A. Ladouani., 2003. application of empirical methods to deduce the performance of centrifugal pump for high viscous fluids from those of water,11th IAHR International Meeting of the Work Group on the behaviour of hydraulique machinery under steady oscillatory conditions. October 8-10, 2003, in Stuttgart – Germany.

[4] A. Ladouani, 2010. Etude des facteurs de correction des performances des pompes centrifuges véhiculant des fluides visqueux. Thèse de doctorat en science, faculté d'architecture et de génie civil, université des sciences et de la technologie d'orant mohamed boudiaf (USTOMB).

[5] L. Amminger William, H.M. Bernbaum., 1974. Centrifugal Pump Performance Prediction Using Computer Aid, *Computers & Fluids* 2 (2): 163–172.

[6] O.E. Balje, 1981. Turbomachines. New York: John Wiley.

[7] W. Jansen, P. B. Sunderland, 1990. Off-design Performance Prediction of Centrifugal Pumps, *Fluid Machinery Components, ASME FED* 101: 1–9.

[8] T. Robert Keith., 1994. Rotodynamic Pump Design. New York: Cambridge University Press.

[9] M.H. Shojaee Fard., F. A. Boyaghchi, and M. B. Ehghaghi., 2006. Experimental Study and Three-dimensional Numerical Flow Simulation in a Centrifugal Pump when Handling Viscous Fluids, *IUST International Journal of Engineering Science* 17: 53–60.

[10] M. H. Shojaee Fard., B. Salimian Rizi., A. Khalkhali and M. Tahani., 2014. A New Method to Calculate Centrifugal Pump Performance Parameters for Industrial Oils, *Journal of Applied Fluid Mechanics*, Vol. 8, No. 4, pp. 673-681, 2015. ISSN 1735-3572, EISSN 1735-3645. DOI: 10.18869/acadpub.jafm.73.238.21294.

[11] A. Kara Omar., A. Khaldi and A. Ladouani., 2017. Prediction of centrifugal pump performance using energy loss analysis*, Australian Journal of Mechanical Engineering*, 15:3, 210-221, DOI: 10.1080/14484846.2016.1252567.

[12] S. Athreya., Y.D. Venkatesh., 2012. Application Of Taguchi Method For Optimization Of Process Parameters In Improving The Surface Roughness Of Lathe Facing Operation, *International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES)* ISSN (Online) 2319-183X, (Print) 2319-1821 Volume 1, Issue 3 (November 2012), PP.13-19.

©UBMA 2019

[13] N. Medan., M. Lobontiu., S. Ravai Nagy and G. Dezso., 2017. Taguchi versus full factorial design to determine the equation of impact forces produced by water jets used in sewer cleaning, MATEC Web of Conferences 112, 03007 (2017), DOI: 10.1051/matecconf/20171120300 *IManE&E.*

[14] S. Vivier. ,2002.stratégie d'optimisation par la méthode des plans d'expériences et application aux dispositifs électrotechniques modélisés par éléments finis, Thèse de doctorat en génie électrique, Ecole Centrale de Lille et Université des Sciences et Technologie de Lille.

[15] G. Taguchi, S. Konishi, 1987. Taguchi Methods, orthogonal arrays and linear graphs, tools for quality American supplier institute, *American Supplier Institute*; pp. 8-35.

[16] R. Sabre, 2007. Plans d'expériences - Méthode de Taguchi F 1006. Éditions T.I. Techniques de l'Ingénieur**,** base documentaire « Agroalimentaire ».

NOMENCLATURE

H	[m]	hauteur
Q	[l/s]	débit
N	[rpm]	vitesse de rotation
g	[m/s2]	accélération de la pesanteur
ν	[cSt]	viscosité cinématique
ρ	[kg/m³]	densité du fluide
Tagu		Taguchi
Exp		Expérimentale
abs		absorbée

.

©UBMA 2019