



Cit this: *JOWSET*, 2018 (03), N°01, 315-321

Experimental evaluation of the hydraulic and energy performance of three electric water pumping equipments

Y. M'Sadak^{1*}, K. Ben Ali¹, M.E. Hamza²

^[1] Université de Sousse, Institut Supérieur Agronomique de Chott-Mariem, BP 47, CP 4042, Tunisie

^[2] Université de Carthage, Institut National Agronomique - 43, Avenue Charles Nicolle, 1082 Tunis- Mahrajène, Tunisie

*Corresponding Author: e-mail: msadak.youssef@yahoo.fr

The present work consists of testing three pumping groups used for the supply of drinking water, to the test bench, to demonstrate the behavior of the pumps used after repair and maintenance by the SONEDE of Megrine (Tunisia). The experimental device of the test bench is use to measure pressure, flow, power consumption and efficiency. The experimental study of the hydraulic and energetic performance of these three equipment revealed that the repaired pumps had characteristics equivalent to the characteristics announced by the manufacturers, with a slight lag of about 5%, essentially due to the lifetime of the Pump tested. Compared to SONEDE, maintenance of the operating pressure caused a slight decrease in flow; this was corrected by a longer operating time.

Received: 03 February 2018

Accepted: 12 March 2018

Available online: 26 March 2018

Keywords:

Electric pumping

Electric pump group

Centrifugal pump

Immersed pump

Characteristic curves

Introduction

Le pompage est présent dans tous les domaines de la production agricole et à tous les niveaux. Des besoins alimentaires grandissants ont accru la nécessité du pompage afin de surélever l'eau de là où elle se trouve (rivières, lacs, nappes souterraines) vers là où elle est nécessaire pour irriguer les cultures et couvrir les besoins domestiques [1]. Néanmoins, pomper l'eau d'un puits à quelques dizaines de mètres de profondeur pour alimenter un arroseur rotatif qui débite de 1 à 2 m³/h, ou pomper l'eau d'une rivière à raison de plusieurs centaines de m³/h pour la déverser dans un canal d'irrigation, ne nécessite pas le même type de matériel [2].

L'évolution des systèmes de pompage s'oriente vers la diversification de matériels, de plus en plus sophistiqués et à la recherche de matériels adaptés aux formes d'énergie les plus

diverses (thermique, électrique, solaire, éolienne, ...) pour des raisons évidentes d'économie d'énergie et de rentabilité [3].

Le type de pompe le plus courant dans le secteur agricole est la pompe centrifuge [4]. Le groupe de pompage est l'ensemble regroupant la pompe et le moteur qui lui fournit l'énergie nécessaire à son fonctionnement. Suivant le cas, on utilise soit des groupes de surface, qui sont hors d'eau, soit des groupes immergés, qui peuvent être totalement immergés ou avoir le moteur hors d'eau relié à la pompe immergée par une ligne d'arbre [4]. De même, selon la source d'énergie disponible, on peut adopter particulièrement des groupes motopompes (animés par moteur thermique à essence ou Diesel) ou des groupes électropompes (animés par moteur électrique).

Dans le traitement de l'eau de consommation, la plupart de l'énergie électrique est consommée pour le pompage de l'eau. Cette énergie de pompage dépend de trois principaux facteurs, soit la capacité de traitement de l'usine, la taille de la

population desservie et l'efficacité des pompes [5]. Aux États-Unis, à titre d'exemple, approximativement 1 à 3% de la demande électrique a été attribuée aux systèmes d'approvisionnement en eau potable et de traitement des eaux usées domestiques [6].

Avec l'augmentation progressive du niveau de vie et l'instauration des lois environnementales, la consommation d'eau potable ne cesse de s'accroître, ce qui entraîne une hausse parallèle de la consommation électrique [7]. Une part importante du coût de l'eau est due à la facture énergétique, et parfois même, c'est la seule charge que les agriculteurs supportent directement. Toute déviation par rapport aux conditions de fonctionnement au rendement maximum de la pompe entraîne des surcoûts énergétiques importants qui sont rarement estimés, faute de mesures ou d'indicateurs fiables [8].

L'objet de ce travail est d'évaluer expérimentalement, à partir de mesures sur Banc d'Essais, les performances hydrauliques et énergétiques de trois groupes de pompage électrique en usage pour l'alimentation en eau potable, après révision (réparation et entretien). L'objectif final était la recherche et l'application d'une méthode d'évaluation expérimentale permettant de bien vérifier l'effet d'une remise en état d'un équipement de pompage sur ses dysfonctionnements observés et ses performances relevées, surtout en matière de consommation d'énergie.

Matériels et méthodes

1. Considérations générales

Quel que soit le type de pompe, celle-ci est constituée de trois parties distinctes [9] :

- la partie motrice qui fournit la puissance nécessaire au pompage ;
- l'accouplement qui transmet cette puissance à la partie hydraulique ;
- la partie hydraulique qui transmet cette puissance à l'eau pour la déplacer (l'aspirer et/ou la refouler).

Lorsque le niveau de l'eau dans le puits, le forage, la réserve, ..., est à plus de 8 m, c'est la pompe immergée qui est exigée. A moins de 8 m, il est possible de choisir une pompe de surface ou une pompe immergée [10].

Généralement, il existe un grand nombre de types de pompes. On utilise essentiellement des pompes volumétriques ou centrifuges. L'écoulement à travers une pompe volumétrique résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide (action sur l'énergie de pression), alors que le mouvement du liquide à travers une pompe centrifuge résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge (action sur l'énergie de vitesse) [11].

Des études ont montré que la durée de vie normale d'une pompe varie entre 18 à 25 ans [12]. Certains experts [13]

prévoient dans ce cas une diminution de l'efficacité de l'ordre de 30% quand la durée de vie surmonte 25 ans, ainsi qu'une diminution de la pression-capacité, qui va se traduire par une grande consommation énergétique.

2. Site d'expérimentation

Les performances de pompage de l'eau ont été évaluées sur le Banc d'essais « Pompes » de la Direction d'Entretien du Nord de la Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux (SONEDE) à Megrine (gouvernorat de Ben Arous, Tunisie). L'évaluation a concerné trois groupes électropompes en usage. Après les étapes de sablage, démontage, entretien et remontage, la pompe est montée sur le Banc d'essais pour mesurer ses caractéristiques (débit, pression, puissance). Ce dernier est constitué d'une petite station de pompage, comportant un puits de 7 m de profondeur et de 1,5 m de diamètre, un bassin de refoulement de 3 m³ de capacité, un châssis sur lequel on place la pompe et son moteur et l'instrumentation permettant la mesure des performances du groupe de pompage. L'eau circule ainsi dans un circuit fermé entre la partie aspiration (puits) et la partie refoulement (bassin).

3. Présentation des caractéristiques des pompes testées

Les essais mis en œuvre ont porté sur trois groupes de pompage utilisés par la SONEDE, âgés d'une quinzaine d'années, dont les caractéristiques techniques sont résumées dans le tableau 1.

4. Mesures et calcul des caractéristiques des pompes testées

4.1. Démarche suivie

À partir des essais sur chaque groupe électropompe considéré, on dispose des valeurs de débit et de la pression relevées à la sortie de la pompe utilisée pour différentes positions de la vanne de refoulement. De même, on lit, directement sur l'afficheur de l'analyseur électronique, la puissance totale fournie par le moteur à la pompe.

Les résultats de mesures ont été utilisés pour le calcul des puissances (hydraulique et celle absorbée par la pompe) et des rendements (rendement du groupe et celui de la pompe), pour arriver, en dernier lieu, à représenter les trois courbes caractéristiques correspondantes à chaque pompe : $H_{mt} = f(Q)$, $P = f(Q)$ et $\eta = f(Q)$, afin de vérifier les performances de la pompe après des années d'usage. Différentes étapes sont généralement suivies selon un ordre bien déterminé, pour évaluer les paramètres hydrauliques (hauteur manométrique et puissance hydraulique) et énergétiques (rendements du groupe de pompage et de la pompe, puissance absorbée) de l'installation de pompage testée.

Tab 1 : Caractéristiques techniques des équipements pompage étudiés [14]

Identification	N°1	N°2	N°3
Type de la pompe	Centrifuge horizontale	Centrifuge horizontale	Immergée
Marque de la pompe	KSB		
Modèle de la pompe	WKL 100/4 (4 turbines)	WKL 80/6 (6 turbines)	UPA 250-28-5
Constructeur & Origine	KSB & Allemagne		
Fournisseur	Oasis Technical Corporation (O. T. C) Manouba, Tunisie		
Position de la pompe	Pompe hors d'eau		Pompe immergée
Débit (l/s)	130	-	233
Hmt (m)	250	-	480
Type d'installation	Groupe électropompe de surface		Groupe électropompe immergé
Type de moteur	Électrique		
Position du moteur	Moteur hors d'eau		Moteur immergé
Marque du moteur	ASEA	ASEA	KSB
Puissance (kW)	45,0	45,0	51,5
Vitesse (tr/mn)	1500	1500	3000
Tension (V)	380	380	380
Intensité (A)	88	88	108

4. Mesures et calcul des caractéristiques des pompes testées

4.1. Démarche suivie

À partir des essais sur chaque groupe électropompe considéré, on dispose des valeurs de débit et de la pression relevées à la sortie de la pompe utilisée pour différentes positions de la vanne de refoulement. De même, on lit, directement sur l'afficheur de l'analyseur électronique, la puissance totale fournie par le moteur à la pompe.

Les résultats de mesures ont été utilisés pour le calcul des puissances (hydraulique et celle absorbée par la pompe) et des rendements (rendement du groupe et celui de la pompe), pour arriver, en dernier lieu, à représenter les trois courbes caractéristiques correspondantes à chaque pompe : $H_{mt} = f(Q)$, $P = f(Q)$ et $\eta = f(Q)$, afin de vérifier les performances de la pompe après des années d'usage. Différentes étapes sont généralement suivies selon un ordre bien déterminé, pour évaluer les paramètres hydrauliques (hauteur manométrique et puissance hydraulique) et énergétiques (rendements du groupe de pompage et de la pompe, puissance absorbée) de l'installation de pompage testée.

En résumé, les variables mesurées sont : débit Q (l/s) par débitmètre, pression P (bars) par manomètre, puissance totale fournie par le moteur à la pompe PT (kW) par affichage électronique. Les autres paramètres ont été calculés, à partir des expressions relatées dans ce qui suit.

Les résultats obtenus seront confrontés avec les données du constructeur pour chaque pompe essayée.

4.2. Hauteur manométrique

En hydraulique, la pression s'exprime en mètre de hauteur de liquide appelée hauteur manométrique H . Cette hauteur est donnée par la formule suivante :

$$H_{mt} = H_{mr} + ND + H_{man} \quad [15]$$

Avec :

H_{mt} : hauteur manométrique totale (m) ;

H_{mr} : hauteur manométrique de refoulement (m) ;

$H_{mr} = 10,2 \times P$ (P : Pression lue à l'aval de la pompe, en bars) ;

ND : niveau dynamique de l'eau dans le puits d'aspiration (m) ;
 $ND = 0,15$ m.

H_{man} : hauteur du manomètre par rapport au puits (m) ;

$H_{man} = 0,15$ m.

$$H_{mt} (m) = 0,15 + 0,15 + 10,2 \times P$$

4.3. Puissance hydraulique

La puissance hydraulique Ph correspond au travail effectué pour élever un volume de liquide de masse volumique ρ à la hauteur H_{mt} , par unité de temps [4].

$$Ph = Q \times H_{mt} \times \rho \times g$$

Avec : Ph en kW, Q en m^3/s , g en m/s^2 , on a : $\rho = 1000$ kg/m^3 pour l'eau et $g = 9,81$ m/s^2 .

En pratique, Ph s'exprime en kW à l'aide de la formule ci-après.

$$Ph (kW) = Q \times H_{mt} \times d / 367$$

Avec : Ph en kW, Q en m³/s, Hmt en m, d étant la densité par rapport à l'eau.

Ph peut aussi s'exprimer comme suit.

$$Ph \text{ (kW)} = (3,6 \times Q \times Hmt \times d) / 367$$

Avec : Ph en kW, Q en l/s, Hmt en m, d étant la densité par rapport à l'eau (d = 1).

4.4. Rendement du groupe de pompage

L'énergie consommée par le groupe de pompage pour mobiliser les volumes d'eau concernés dans les conditions de débits et de pressions adaptées aux différents éléments fonctionnels de l'infrastructure d'irrigation est fonction du rendement du groupe de pompage [16]. Ce paramètre est exprimé par la formule suivante :

$$\eta_{gp} = Ph / PT \text{ [4]}$$

Avec :

η_{gp} : rendement du groupe de pompage ;

Ph : puissance hydraulique (kW) ;

PT : puissance totale fournie par le moteur à la pompe (kW).

4.5. Rendement de la pompe

Ce paramètre est considéré le plus important dans le choix de la pompe, celui qui assure la consommation de l'énergie pendant l'exploitation. En ajoutant, le paramètre commercial du prix de revient de la pompe (achat, montage, garantie, délai de livraison, poids, volume, service après-vente), le paramètre de la durée de vie et coût de la maintenance et le paramètre de la disponibilité de l'énergie et son coût (électricité, gaz, carburant, ...) [17]. Il est exprimé comme suit.

$$\eta = \eta_{gp} / \eta_m \text{ [4]}$$

Avec :

η : rendement de la pompe ;

η_{gp} : rendement du groupe déjà calculé ;

η_m : rendement du moteur donné par le constructeur.

4.6. Puissance absorbée

Cette puissance s'exprime comme suit.

$$P_{ab} = Ph / \eta \text{ [9]}$$

Avec :

P_{ab} : puissance absorbée par la pompe (kW) ;

Ph : puissance hydraulique (kW) ;

η : rendement de la pompe.

Résultats et discussions

1. Réflexions générales

Pour une meilleure clarté des résultats expérimentaux obtenus pour les trois groupes électropompes étudiés (chacun à part) et de leur comparaison avec les données Constructeur, la présentation et la discussion des résultats seront exposées, en faisant appel à l'établissement des courbes caractéristiques dans l'ordre suivant :

- Courbes de la hauteur manométrique totale (Hmt) en fonction du débit (Q) : $Hmt = f(Q)$.
- Courbes des puissances (hydraulique, absorbée et donnée Constructeur) en fonction du débit : $P = f(Q)$.
- Courbes des rendements (groupe de pompage, pompe et donnée Constructeur) en fonction du débit : $\eta = f(Q)$.

2. Courbes caractéristiques : $Hmt = f(Q)$

Les courbes $Hmt = f(Q)$ pour les trois groupes électropompes considérés sont indiquées sur les figures 1, 2 et 3.

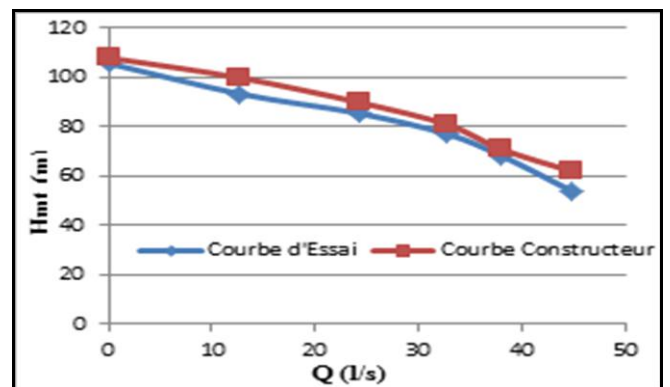


Fig. 1 : Courbes $Hmt = f(Q)$ des résultats pour la pompe N°1 (KSB type WKL 100/4)

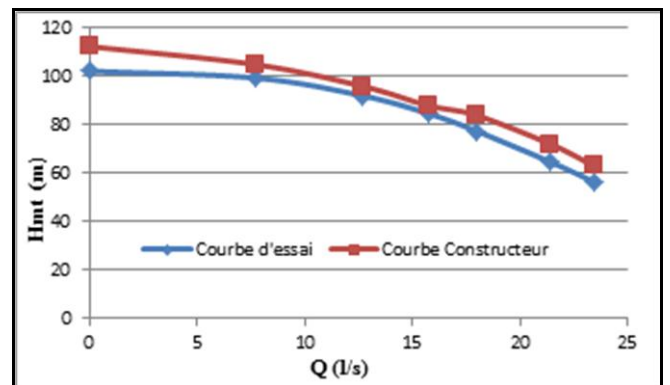


Fig. 2 : Courbes $Hmt = f(Q)$ des résultats pour la pompe N°2 (KSB type WKL 80/6)

On constate que les courbes d'Essai et de Constructeur (figures 1 et 2) présentent une allure parabolique, mais la courbe

d'Essai est décalée vers le bas de 5% par rapport à celle du constructeur, décalage dû à la dégradation des performances de la pompe au fil du temps, suite aux diverses usures subies depuis sa mise en marche. Les courbes vérifient bien la relation suivant laquelle le débit est inversement proportionnel à la hauteur manométrique.

Les résultats des mesures de l'essai sur la pompe immergée (figure 3) donnent une courbe pratiquement linéaire dont la Hmt décroît légèrement avec l'augmentation du débit refoulé par la pompe. La courbe du constructeur est aussi au-dessus de la courbe d'essai, ce qui confirme la baisse des performances de la pompe avec le temps, du fait des usures occasionnées.

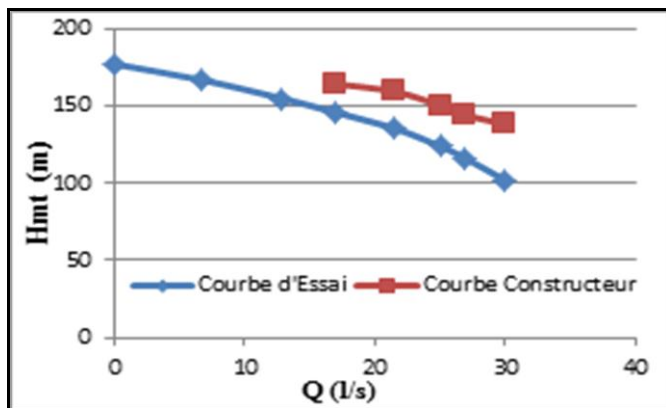


Fig. 3 : Courbes Hmt = f (Q) des résultats pour la pompe N°3 (KSB type UPA 250-28-5)

Selon une autre investigation réalisée par M'Sadak et al [18] sur une pompe centrifuge horizontale équipée de quatre turbines, les résultats obtenus ont bien dévoilé que la Hmt et le débit sont liés au régime de rotation de la pompe. En effet, pour une pression donnée, le débit croît avec l'augmentation du régime, et de même à un débit donné, la Hmt est plus élevée quand le régime augmente.

La forme des courbes caractéristiques des pompes a une grande incidence sur la sensibilité de la variation de la hauteur manométrique pour une plage de variation du débit de l'installation. Lorsque on utilise la pompe pour répondre à des débits variables au niveau de l'exploitation, il serait toujours bénéfique de recourir pour les groupes ayant les caractéristiques plates de la fonction "charge en fonction de débit" [7].

3. Courbes caractéristiques : $P = f(Q)$

Les courbes de la puissance en fonction du débit, des pompes mises à l'essai, sont illustrées par les figures 4 et 5. Pour la pompe immergée, on ne dispose pas de la courbe du constructeur qui représente la puissance en fonction du débit.

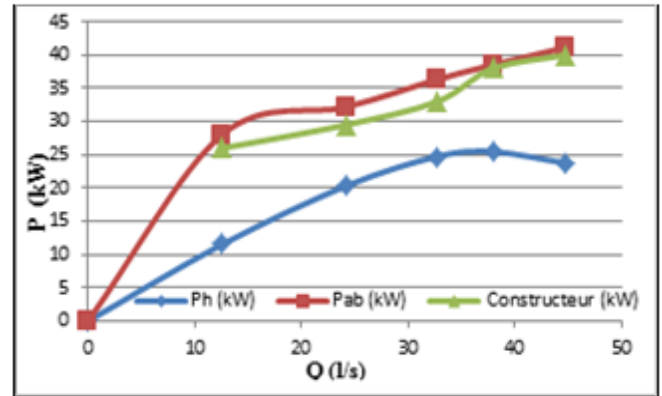


Fig. 4 : Courbes $P = f(Q)$ des résultats pour la pompe N°1 (KSB type WKL 100/4)

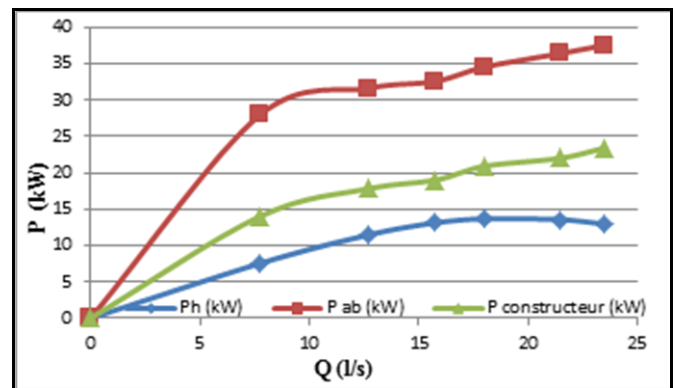


Fig. 5 : Courbes $P = f(Q)$ des résultats pour la pompe N°2 (KSB type WKL 80/6)

Toutes les courbes de $P=f(Q)$ sont d'allure parabolique et vérifient le fait que la puissance augmente avec le débit pour avoir un maximum au niveau du point de débit nominal de la pompe. La courbe de la puissance absorbée par la pompe est au-dessus de celle de la puissance hydraulique d'une certaine marge égale à l'inverse du rendement de la pompe ($P_{abs}=P_h/\eta$).

M'Sadak et al [18] ont rapporté aussi que la puissance est proportionnelle au débit. En effet, pour les pompes centrifuges, cette grandeur est pratiquement toujours croissante avec le débit [19].

4. Courbes caractéristiques : $\eta = f(Q)$

Les courbes $\eta = f(Q)$ des essais réalisés (figures 6, 7 et 8) sont décalées vers la gauche par rapport à celle du constructeur, ce qui confirme que le rendement de la pompe décroît avec le temps.

La courbe du rendement du groupe est au-dessus de celle du rendement de la pompe, vérifiant ainsi l'expression du rendement du groupe comme étant le produit des rendements

de la pompe, du moteur, et de la transmission (dans le cas étudié, la transmission du mouvement est directe entre la pompe et son moteur et le rendement de la transmission est alors égal à 1).

M'Sadak et al [18] ont ramené encore que le rendement atteint son maximum pour le débit nominal de la pompe, au-delà de ce point, le rendement décroît rapidement.

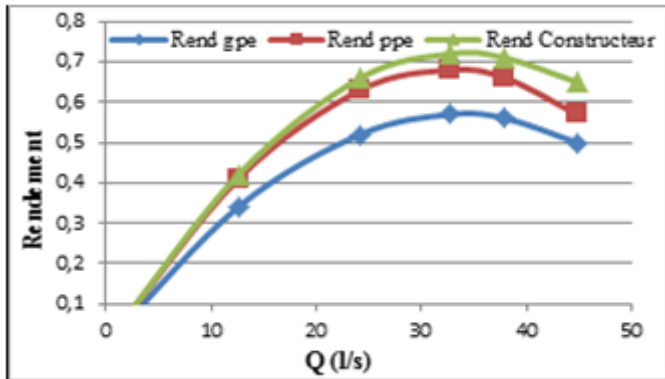


Fig. 6 : Courbes $\eta = f(Q)$ des résultats pour la pompe N°1 (KSB type WKL 100/4)

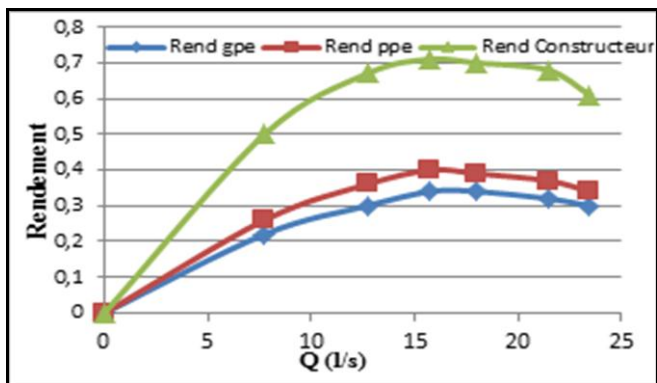


Fig. 7 : Courbes $\eta = f(Q)$ des résultats pour la pompe N°2 (KSB type WKL 80/6)

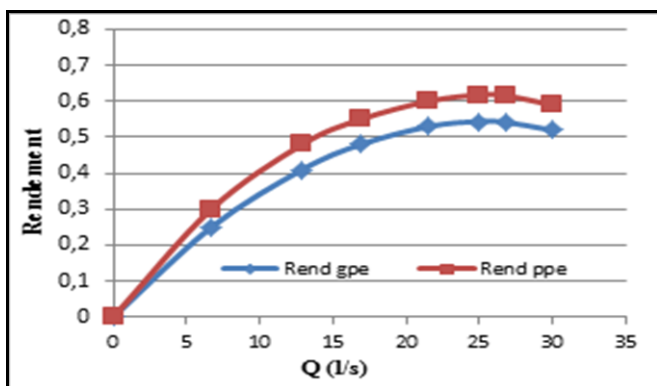


Fig. 8 : Courbes $\eta = f(Q)$ des résultats pour la pompe N°3 (KSB type UPA 250-28-5)

Après entretien et/ou réparation et essais sur banc, les pompes montrent généralement une chute de la Hmt pour un débit donné. Or, pour un utilisateur comme la SONEDE qui privilégie la pression au débit (pour pouvoir assurer un refoulement au réservoir à une certaine hauteur), le point de fonctionnement de la pompe sera décalé vers la gauche, en réduisant ainsi le débit pour maintenir la pression constante. Ce déplacement du point de fonctionnement coïncide favorablement avec la zone du maximum de rendement. La diminution du débit instantané est compensée par un temps de pompage plus long qui se traduit forcément par une consommation supplémentaire d'énergie.

Selon GRUNDFOS [20], la perte de rendement d'une pompe peut apparaître en raison des facteurs suivants :

- cavitation ;
- augmentation de la perte de charge due aux dépôts dans l'eau qui se fixent sur la surface de la pompe et de la tuyauterie ;
- usure due au sable et autres particules dans l'eau ;
- alimentation électrique défectueuse.

Conclusion

Les résultats acquis lors de cette étude relative aux technologies en usage de pompage de l'eau ont montré notamment que les électropompes usées présentent, après leur remise en état, des caractéristiques équivalentes aux caractéristiques annoncées par les constructeurs, et que le maintien de la pression de service engendre une légère diminution de débit, qui est généralement redressé par un temps de fonctionnement plus long au niveau des infrastructures hydrauliques correspondantes.

Références bibliographiques

1. R.E Griffin, H.G Hargreaves, D Lattimore, W Clyma, J Keller, D Velder, L.W Fitzgerald. *L'irrigation par pompage*, Guide-Plan No 3, Aménagement des Eaux : Projet de Synthèse, **1982**, 26.
2. Anonyme. *Arrosage Alimentation en eau domestique*, Dossier de Formation, JETLY, Ed. 01, **2007**, 62.
3. J Royer, Th Djiako, E Schiller, B Sada Sy. *Manuel de Cours à l'intention des Ingénieurs et des Techniciens*, IEPF/Université d'Ottawa, Canada/EIER/CREPA, **1998**.
4. CEMAGREF. Ouvrage Collectif, France, **1992**, 324.
5. U.S EPA. *Municipal Wastewater Treatment Technology Recent Developments*, US.EPA Noyes Data Corporation, New Jersey, U.S.A, **1992**, 178-193.
6. *Burton environmental engineering*. RCG Hagler, Bailly, Inc. et Metcalf & Eddy, Inc, **1993**.

7. R Lebcir, Kh Mamouny, JL Sasseville. *La demande électrique pour le traitement de l'eau potable*, Rapport scientifique No. 405 INRS-Eau. Université du Québec, **1994**, 92. (<http://espace.inrs.ca/1230/1/R000405v2.pdf>)
8. J.P Luc, J Tarhouni, R Calvez, M Liman, C Sablayrolles. *Actes Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée*, 2004, Rabat, Maroc. IAV Hassan II, **2005**.
9. Anonyme. *Le pompage, Action contre la Faim*, **sd**, 47.
10. Grundfos sp. *Manuel d'Ingénierie*, **sd**. (http://www.sfegeforages.fr/images/files/informations_techniques/grundfos_-_manuel_d_ing_nierie_pompes_sp.pdf)
11. Anonyme. *Les pompes centrifuges*, **sd**. (http://eduscol.education.fr/rnchimie/gen_chim/triboulet/rtf/typepomp.pdf)
12. E.L Grant. In: *McGraw-Hill series in sanitary sciences and water resources engineering*, New York, **1964**.
13. O.J Helweg, V.H Scott, J.C Scalmanini. *American Water Works Association*, University de Toronto, **1983**.
14. KSB. Product catalogue, **sd**, [Online] Available: <https://www.ksb.com/ksb-en/>
15. Anonyme. *Calcul des performances d'une pompe*, Pedrollo, France, **2008**, 1.
16. A Biaiche. *Optimisation de la consommation énergétique en irrigation localisée*, Agriculture du Maghreb, No 37 Juillet-Août, **2009**, 1.
17. A Ladouani, A Nemdili. *Forsch Ingenieurwes*, 2013, 77, 59-69.
18. Y M'Sadak, A Manai, K Ben Ali, M.E Hamzak, *Journal of Water Science and Environment Technologies*
19. , (02), N°02, **2017**, 206-212.
20. ENSPM. *Technologie et Fonctionnement des Pompes Centrifuges*, Formation industrie-IFP training, 2005, 49.
21. GRUNDFOS. *Hydraulique de Base et Rendement, Calculer le Rendement d'une Pompe*, **sd**,10. (https://fr.grundfos.com/content/dam/french/trainingevents/Ecademy/BasicHydraulics_Pumpperformance/Calculer%20le%20rendement%20d'une%20pompe%20-%20Grundfos.pdf)