

ETUDE DU PHENOMENE DE L'ABRASION D'UNE POMPE ALGERIENNE POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DANS LE GRAND SUD ALGERIEN.

Khodjet Kesba O¹, Kettab A²

¹ Laboratoire de pompes et stations de pompage. Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique. BP.31 09000 Blida -Algérie- okhodjet@yahoo.fr

² Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau - LRS-EAU/ Ecole Nationale Polytechnique (E.N.P)- Alger-

RESUME : L'alimentation en eau potable dans les villes sahariennes du grand Sud Algérien connaît une perturbation constante liée non pas à la disponibilité de la ressource en eau, mais plutôt à sa qualité engendrant une érosion abrasive des pompes en un temps record engendrant des perturbations graves dans la distribution d'eau potable. Pour étudier le phénomène, un banc d'essais est conçu au laboratoire, permettant d'identifier l'évolution de l'usure par abrasion de l'organe. Les conditions naturelles sont établies ; l'eau potable utilisée est chargée de sable fin dont la nature minéralogique est un mélange de silice et de quartz, caractéristique fréquente des eaux de cette région posant problématique. Les essais ont montré après un temps de fonctionnement de 60 heures, une usure palpable avec une perte de masse de l'organe principal de la pompe qu'est la roue, confirmant les travaux réalisés de par le monde dans ce domaine. L'effet mécanique de l'eau sableuse sur l'organe le plus exposé est évident. L'usure prématurée se fait hors point de barbotage.

Mots clés : Usure, érosion, abrasion, performances , caractéristiques .

STUDY OF THE PHENOMENON OF THE ABRASION OF AN ALGERIAN PUMP FOR THE DRINKING WATER SUPPLY IN THE GREAT ALGERIAN SOUTH.

ABSTRACT : The drinking water supply in the Saharan cities of the great Algerian South knows a constant disturbance not dependant on the availability of the water resource, but rather on its quality generating an abrasive erosion of the pumps in a record time generating serious disturbances in the distribution of drinking water. To study the phenomenon, a test bench is designed at the laboratory, making it possible

to identify the evolution of wear by abrasion of the body. The natural conditions are; the drinking water used is charged with fine sand of diameter from 0,6 to 1,4 mm whose mineralogical nature is a mixture of silica and quartz, frequent characteristic of water of this area posing problematic.

Characteristics and constitution of the selected pump: it is a pump of Algerian manufacture, it is of the type 80 NVA 230-8, centrifuges radial mono cellular with horizontal axis, simple volute (smooth diffuser), whose closed wheel is placed cantilever of 06 paddles. The tests showed after an operating time of 06 hours, a palpable wear with a loss of mass of the principal body of the pump which is the wheel, confirming works completed all over the world in this field. Abrasive wear is not a phenomenon which appears with the simple presence of sand; but it takes account in particular of the hardness of eroded materials, of the geometrical orientation of the abrasive particles, the diameters of the particles, speeds of the abrasive particles and the influence of environment. The mechanical effect of sandy water on the most exposed body is obvious. Premature wear is done except point of splashing and that the influence of the singularities on the internal flows is not taken into account, so as to obtain the maximum of information on the real conditions of wear of this model hydraulic pump. The diagnosis of the state of the centrifugal pumps, by the in situ test of the performances, especially proves extremely interesting by the prediction of abrasive erosion for the submerged pumps. This method of measuring appeared simple and effective and made it possible to obtain tangible and promising results. The interpretation of figures 3, 4, 5 and 6 show the evolution of the curves characteristic of the pump for various rates of erosion according to the duration to abrasion. A functional relation is required, the parabolic model seems best adjusted the experimental values for the various tests where more than 97% of the total variation is explained within sight of the coefficient of determination R^2 for an error of 1st degree $\alpha = 5\%$.

The method suggested is developed in the works “ KHODJET-KESBA and Al in 1995 and 1997. It is based only on the loss of the performances which remains one of the principal consequences of abrasive erosion in the pumps. This last has a direct influence on the performances of the pump and consequently on the system pump-pipe. Indeed, the displacement of the point of operation of the system of pumping under the influence of new hydrodynamic conditions, corresponding to the various rates of erosion, inside and outside the optimal zone of operation (η_{opt}) could lead us to the quantification of the threshold of erosion by the analysis of the loss of mass. One quantitatively deduces the incurred risks from them if one makes

function the prototype machine under the conditions of the test. It comes out from this study:

- A consequent wear on the operation of the pump;
- An existence of correlation between the rate of erosion and the losses of performance: it is the curve $(\eta-t) - (MT)$ which clarifies this correlation better;
- A variation of the options of the operation of the pump in the system of pumping and implicitly the lifespan of the faded bodies;
- A comparison of the results of a natural and artificial erosion;
- A determination of the various types of materials resistant to wear by abrasive erosion according to criteria which are essential.

Key words: wear, erosion, abrasion, performances, characteristics.

SYMBOLES ET CARACTERISTIQUES

D_r	: diamètre de refoulement au niveau de la pompe.	80 mm
NVA	: pompe monocellulaire radiale à axe horizontal.	
D_0	: diamètre de l'ouïe.	93 mm
D_1	: diamètre intérieur.	80 mm
D_2	: <i>diamètre extérieur de la roue fermée.</i>	230 mm
d_m	: diamètre du moyeu.	56 mm
b_1	: <i>épaisseur des aubes à l'entrée.</i>	06 mm
b_2	: l'ouverture du canal des aubes de la roue fermée.	08 mm
e_1	: épaisseur du flasque avant.	02 mm
β_1	: angle d'entrée des aubes.	22°
β_2	: angle de sortie des aubes.	32°
m	: masse de la roue neuve.	3345 g
m_1	: masse de la roue érodée.	X g
Q	: débit de la pompe.	m^3/h
P_a	: pression d'entrée à l'aspiration de la pompe.	bar
P_r	: pression de sortie au refoulement.	bar
P_u	: puissance utile.	kw
P_{abs}	: puissance absorbée.	kw
I	: Intensité du courant.	A
η	: rendement de la pompe.	%

INTRODUCTION

Jusqu'à ces dernières années, l'entretien des machines et le remplacement des pièces soumises à l'usure ne peuvent être envisagées qu'à la suite d'une défaillance.

Dans le Grand Sud algérien, le pompage des eaux souterraines entraîne des eaux chargées en éléments fins (sable fin), provoquant une usure prématurée par abrasion se répercutant négativement sur la distribution en eau potable.

Il est à noter que le Sud Algérien est alimenté en eau potable uniquement par les forages. Compte tenu de cette problématique, nous avons jugé utile d'étudier ce phénomène d'érosion abrasive en utilisant une pompe de production nationale, pour une prévention de l'usure et une réduction des coûts d'investissements engendrés causant des nuisances au consommateur et un retard pour les industriels.

Les vibrations, les bruits, les usures prématurées et les chutes des performances ne peuvent être identifiés que par une surveillance périodique. L'étude ainsi menée au laboratoire "pompes et stations de pompage" de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique, a concerné l'essai de cavitation et le diagnostic des usures prématurées ainsi occasionnées dans le corps de la pompe. La présence de cavitation est inévitable n mais la prévention des dégâts potentiels reste nécessaire (Lecoffre *et al*, 1999).

VISUALISATION DU PHENOMENE DE L'USURE

Ce phénomène a causé des dégâts considérables dans diverses régions algériennes comme le montre la figure 1. Celle-ci décrit les différentes étapes de développement de la cavitation par érosion et par abrasion des différentes roues utilisées lors du pompage.

L'érosion par abrasion est principalement d'origine mécanique. C'est l'effet le plus destructeur réduisant la durée de vie des organes principaux de la machine. Ce phénomène ne se manifeste pas à la simple présence du sable ; il tient compte de la dureté des matériaux érodés, de l'orientation géométrique, des diamètres et des vitesses des particules abrasives et de l'influence de l'ambiance (Franc *et al*, 1995).



Roues fermées de la pompe centrifuge : $D_2 = 230\text{mm}$,
 $D_1 = 200\text{mm}$, attaquées par l'érosion de cavitation



Roue fermée de la pompe multicellulaire immergée. Roue fermée de la pompe centrifuge
attaquées par le phénomène de cavitation par abrasion



Roue fermée de la pompe centrifuge multicellulaire à axe horizontal en bronze
attaquée par le phénomène de cavitation par érosion abrasive

Figure 1. Conséquences de l'érosion abrasive sur les roues

MATERIELS ET METHODES

La pompe étudiée est de fabrication algérienne, type **80 NVA 230-8**, centrifuge, radiale monocellulaire à axe horizontal, à simple volute (diffuseur lisse), dont la roue fermée est placée en porte-à-faux, de 06 aubes. Elle aspire de l'eau potable chargée de sable dans une proportion de **15 kg/m³**. Le banc d'essai est donné en Figure 2.

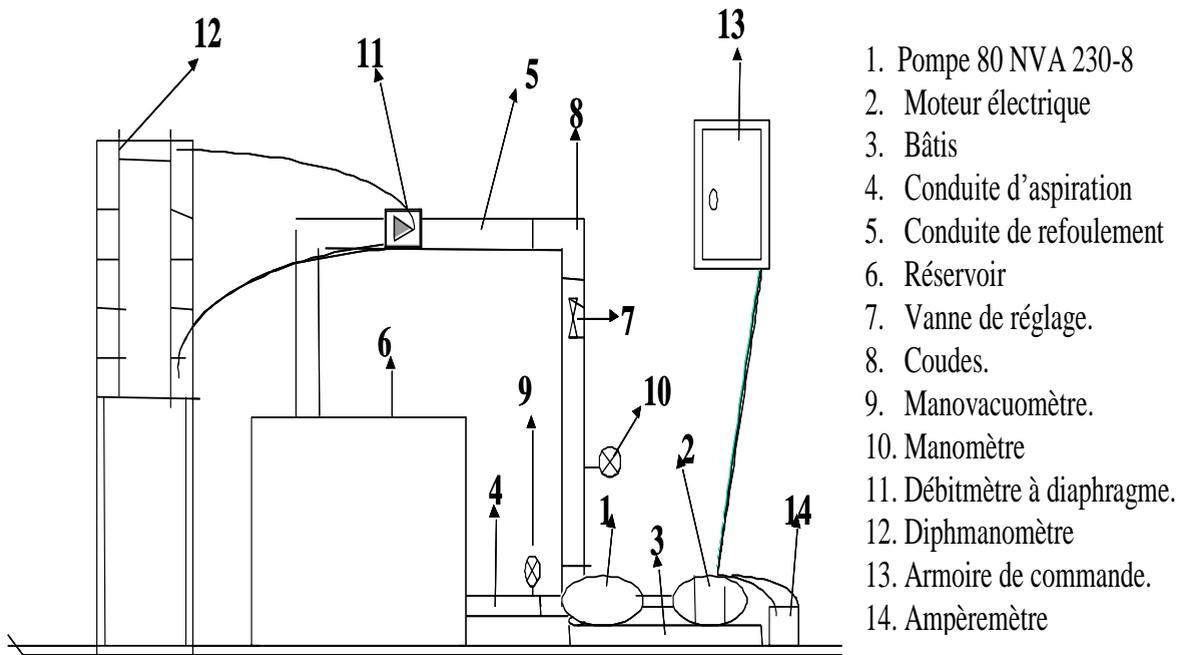


Figure 2. Banc d'essai technologique

L'expérimentation a permis d'étudier le phénomène de l'usure et notamment la chute des performances hydrauliques et le degré d'érosion. Elle a consisté à :

- Faire fonctionner une pompe en régime abrasive, au voisinage de la limite d'apparition de l'abrasion, sur une boucle d'essai et quantifier de l'érosion par abrasion
- Elaborer des courbes de chute des performances hydrauliques de la pompe. En outre, le point optimum des différents résultats obtenus pour les quatre essais est considéré.

Cette méthode demande beaucoup de temps et d'énergie. Ainsi, notre choix a porté sur un essai accéléré de 196 heures de fonctionnement en tenant compte non seulement du dosage important de sable mais aussi du temps.

Après un certain temps de fonctionnement, la pompe est arrêtée et 15 Kg de sable tenus en suspension sont ajoutés dans le réservoir d'eau.

Dans chaque essai, quatre pas de temps sont considérés 0^h , 60^h , 165^h , 196^h . Après chacun de ces pas, la roue est pesée et le degré d'érosion déterminé.

Cette expérimentation a permis d'identifier deux types de courbes, à savoir :

- Les courbes caractéristiques de la pompe hauteur manométrique, puissance absorbée et rendement en fonction du débit [$H = f(Q)$, $P_{abs} = f(Q)$, $\eta = f(Q)$] pour chaque essai (figures 3a, b, c et d)
- La courbe caractéristique pour chacune des performances des quatre essais (fig. 4, 5).

CHUTE DES PERFORMANCES

Les pompes centrifuges utilisées pour le transfert des liquides sont affectées par les solides en suspension contenus, lors des opérations de dragage, de pompage des eaux à partir des oueds, d'évacuation des eaux usées et de pompage des eaux souterraines dans le grand Sud Algérien. Ces types de pompage sont des exemples de manutention de solides en suspension, affectant les caractéristiques mécaniques et hydrauliques (Lery, 1977).

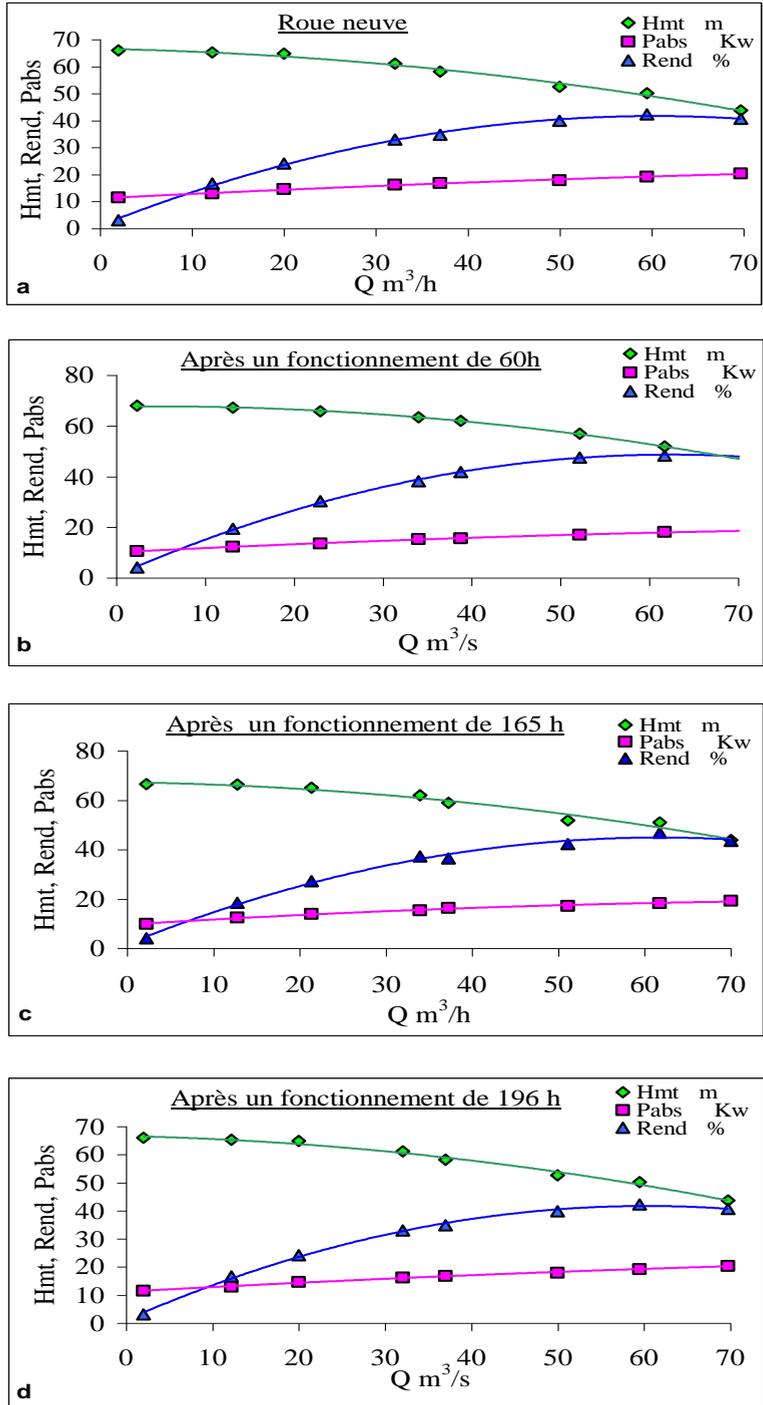


Figure 3. Courbes caractéristiques

L'abrasion provoque des destructions d'ordre mécanique causant de fortes perturbations dans l'écoulement. La présence du sable dans le fluide pompé génère du bruit et des vibrations influant sur la chute des performances des pompes (hauteur manométrique ΔH , débit ΔQ , rendement $\Delta \eta$, perte de masse Δm).

Leur formulation est :

$$\Delta H = (H - H_1) H^{-1} \quad (1)$$

$$\Delta Q = (Q - Q_1) Q^{-1} \quad (2)$$

$$\Delta \eta = (\eta - \eta_1) \eta^{-1} \quad (3)$$

$$\Delta m = (m - m_1) m^{-1} \quad (4)$$

Le taux d'érosion ($E_i = \Delta m$) exprimant la perte en masse de la matière de la roue en pourcentage de sa masse initiale (c'est à dire à l'état neuf), est aussi calculé.

Pour des durées égales à 0, 60, 165 et 196 h, le taux d'érosion est respectivement égal à 0, 7.86, 14.55 et 21.55 %.

Tableau 1 Chute des performances hydrauliques

T	(h)	0	60	165	196
Δm	(g)	0	7,86	14,56	21,55
ΔQ	(m ³ /h)	0	0,36	0,71	4,37
ΔH_{mt}	(m)	0	0,73	2,45	4,05
$\Delta \eta$	(%)	0	2,15	5,06	14,42

ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

L'interprétation des figures 3 et 4 montrent l'évolution des courbes caractéristiques de la pompe pour différents taux d'érosion en fonction du temps d'exposition à l'abrasion. Une relation fonctionnelle est recherchée, le modèle parabolique semble le mieux ajusté les valeurs expérimentales pour

les différents essais où plus de 97% de la variation totale est expliquée au vu du coefficient de détermination R^2 pour une erreur de 1^{ère} espèce $\alpha = 5\%$ (Dagnellie, 1992). La formulation du modèle régressif est donnée dans le tableau 2.

Tableau 2 Formulation des modèles pour les différents essais

Essais	Hauteur manométrique $H_{mt} = f(Q)$	Rendement $Rend = f(Q)$	Puissance absorbée $P_{abs} = f(Q)$
1	$-0,0048Q^2 + 0,0277Q + 69,054$ $R^2 = 0,99$	$-0,0123Q^2 + 1,5456Q + 1,9292$ $R^2=0,99$	$-0,001Q^2 + 0,1886Q + 9,536$ $R^2 = 0,98$
2	$-0,0047Q^2 + 0,0353Q + 67,693$ $R^2 = 0,99$	$-0,0123Q^2 + 1,5317Q + 1,0385$ $R^2=0,99$	$-0,0008Q^2 + 0,174Q + 10,12$ $R^2 = 0,99$
3	$-0,0039Q^2 - 0,0571Q + 67,301$ $R^2 = 0,97$	$-0,0113Q^2 + 1,399Q + 1,7608$ $R^2=0,99$	$-0,0012Q^2 + 0,2164Q + 9,641$ $R^2 = 0,99$
4	$-0,0037Q^2 - 0,0689Q + 66,626$ $R^2 = 0,99$	$-0,0111Q^2 + 1,3444Q + 1,1719$ $R^2=0,99$	$-0,0006Q^2 + 0,1691Q + 11,23$ $R^2=0,99$

En figure 3a, le pouvoir manométrique le plus important est développé par la roue neuve (l'eau n'est pas chargée). Lorsque celle-ci est chargée de particules solides dures et après une durée suffisante de fonctionnement de la pompe dans un régime abrasif, une chute remarquable de la hauteur manométrique est observée, suite d'une érosion continue de la roue (fig. 3b, c et d). Cette chute est due essentiellement à la modification de la géométrie de la roue (triangle des vitesses) par la dégradation du profil de l'aubage entraînant inévitablement des perturbations. En effet, les nouveaux paramètres géométriques des aubes de la roue ont un impact appréciable sur l'allure des courbes caractéristiques (Khodjet Kesba *et al*, 1997). Cette chute est interprétée par un lissage homogène de la roue.

Aussi, d'autres courbes rassemblant une seule caractéristique pour les quatre phases de fonctionnement de la pompe, sont tracées (fig. 4). Une chute de la hauteur manométrique et du rendement est à noter, à l'encontre de la courbe des puissances (figure 4), qui a tendance à augmenter suite à la consommation progressive de l'énergie électrique demandée par la pompe perturbée à travers le moteur.

Une courbe montrant la perte de masse de la roue à différents temps de fonctionnement : chute de débit, hauteur, rendement et masse, est montrée par la figure 5.

La méthode proposée est développée dans les travaux (Khodjet Kesba *et al*, 1995, 1997). Elle est basée uniquement sur la perte des performances qui reste l'une des principales conséquences de l'érosion abrasive dans les pompes.

Cette dernière a une influence directe sur les performances de la pompe et par conséquent sur le système pompe – conduite. En effet, le déplacement du point de fonctionnement du système de pompage sous l'influence de nouvelles conditions hydrodynamiques, correspondants aux différents taux d'érosion, au sein et en dehors de la zone optimale de fonctionnement ($\eta_{opt.}$) pouvait nous conduire à la quantification du seuil d'érosion par l'analyse de la perte de masse. On en déduit quantitativement les risques encourus si l'on fait fonctionner la machine prototype dans les conditions de l'essai (figures 3a et 3b).

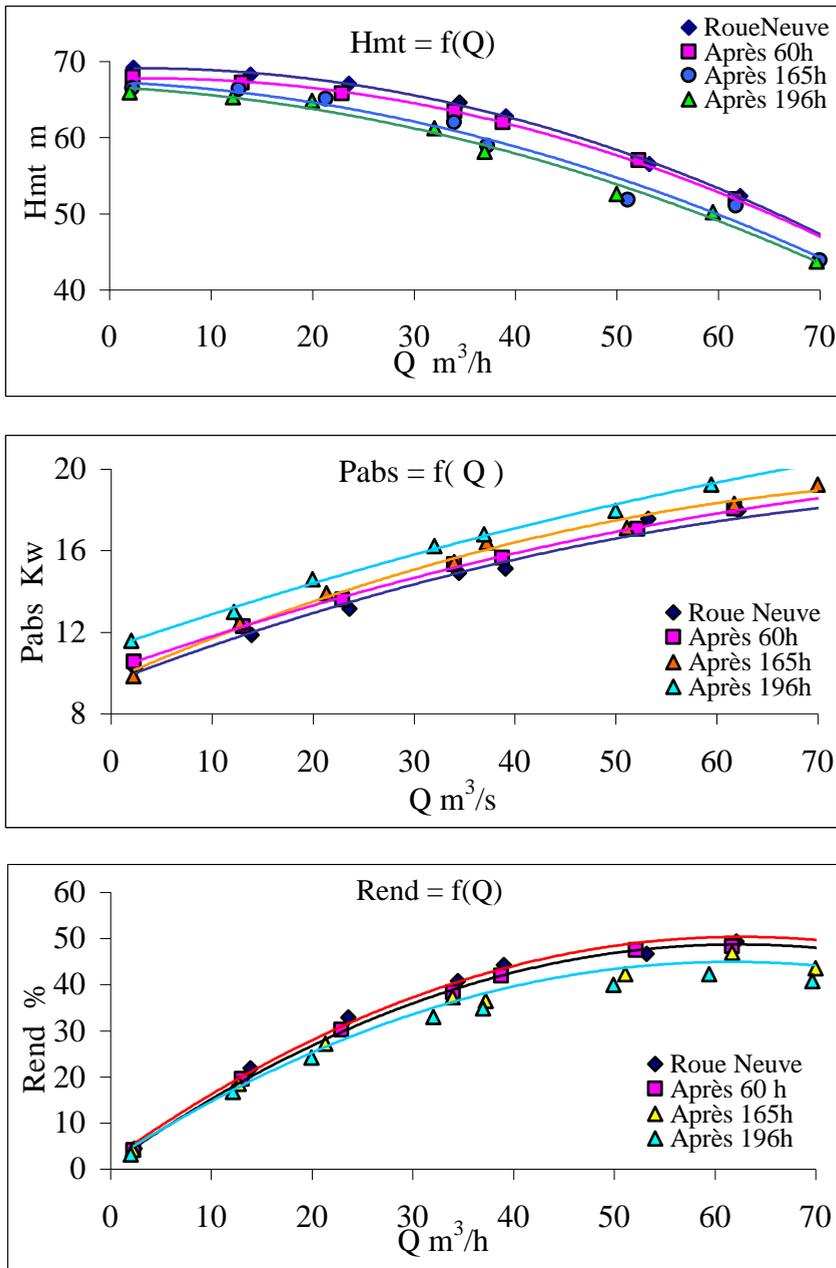


Figure 4. Comparaison des quatre essais

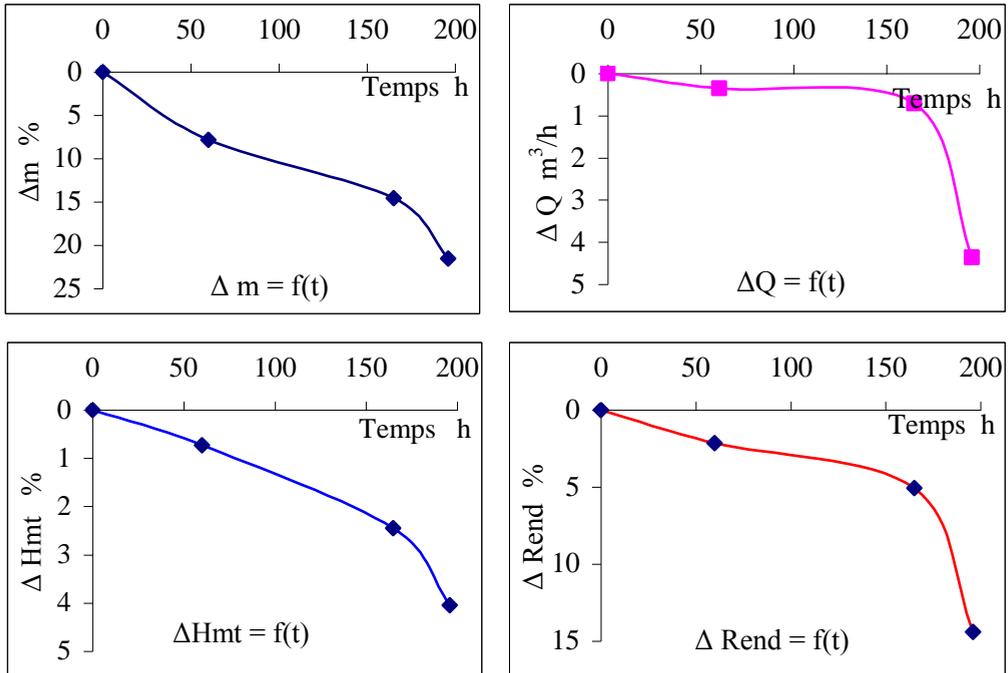


Figure 5. Courbes des chutes de performances

CONCLUSION

A travers ces travaux, la complexité du phénomène de l'érosion d'abrasion et la gravité de ses conséquences sont présentés.

Parmi toutes les méthodes étudiées, aucune ne peut prédire l'érosion par abrasion et ne peut déterminer les valeurs du taux d'érosion d'une manière exacte.

Elles sont aussi difficiles à appliquer sur le terrain. Leur intérêt reste limité en raison de leur application très réduite et dans des gammes d'utilisation très étroite.

Le diagnostic de l'état des pompes centrifuges, par le test in situ des performances, s'avère fort intéressant par la prédiction de l'érosion abrasive surtout pour les pompes immergées. Cette méthode de mesurage s'est révélée simple et efficace et a permis d'obtenir des résultats tangibles et prometteurs.

Il ressort de cette étude :

- Une usure conséquente sur le fonctionnement de la pompe ;

- Une existence de corrélation entre le taux d'érosion et les pertes de performances : c'est la courbe $(\eta - t) - (m - t)$ qui explicite mieux cette corrélation ;
- Une variation des optima du fonctionnement de la pompe dans le système de pompage et implicitement la durée de vie des organes altérés ;
- Une détermination des différents types de matériaux résistants à l'usure par érosion abrasive selon les critères qui s'imposent.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Dagnellie P, 1992 : Théories et méthodes statistiques. Tome 2. Presses agronomiques de Gembloux, Belgique. 463p.
- Franc J.P., Avellan F., Belahadji B., Billard J.Y., Briancon L, Marjollet D.H. Fruman., Karimi A., Kueny J.L., Michel J.M., 1995. La cavitation, mécanismes physiques et aspects industriels. Presses Universitaires de Grenoble. 581 p.
- Khodjet -Kesba O., Kettab A., 1997. *Conditions d'usure d'une machine tournante par érosion abrasive*. 3^{ième} Congrès de mécanique. Faculté des sciences. Tétouan. Maroc. pp14 -19.
- Khodjet -Kesba O., kettab A, 1995. *Interprétation pratique des performances des pompes sous l'influence de l'érosion par cavitation*. Acte du quatrième Séminaire National de mécanique. Oran -Algérie- pp.28-34.
- Lery J.P, 1977. LES stations de pompage d'eau. Revue I.P.E.Technique et documentation. 445 p.
- Lecoffre. Y, Franc J.P., 1999. Erosion de cavitation : méthodes pratiques de prédiction au stade du projet. La Houille Blanche N°2. pp13 – 19. France.