

Analyse Vibratoire Appliquée à l'étude d'une Machine Tournante (Moto-Pompe)

Derdour Fatima Zohra^{#1}, KHOCHEMANE Lakhder^{*2}

^{#1,*2} Département de génie mécanique
Université 20 Août 1955
Skikda

Boite postale N°26 route d'El-Hadaiek 21000, Skikda, Algérie

¹ fatimazohraderdour@yahoo.fr

² lakhdarkhochmane@yahoo.fr

Résumé —L'objectif de notre travail au niveau du complexe de RA1K de Skikda, Algérie est fixé pour déterminer et détecter les causes réelles d'apparition des vibrations présentées dans la motopompe 100MP-14-B puis la proposition des remèdes efficaces. L'analyse vibratoire nous a permis d'établir un diagnostic basé sur les mesures qu'on a effectué sur la motopompe, les résultats montrent que l'analyse fréquentielle indique la présence d'un défaut majeur, sur le palier n°3, « défaut de force hydraulique » ce dernier présente le phénomène de cavitation. En effet, les paramètres et les grandeurs hydrauliques calculés confirment l'existence de ce phénomène la cavitation. D'après nos résultats nous avons proposé quatre solutions possibles pour remédier à ce problème.

Mots clés —pompe centrifuge; analyse vibratoire ;cavitation ; NPSH.

I. INTRODUCTION

L'exploitation du pétrole nécessite des moyens matériels, notamment les groupes motopompes. Les équipements tendent à se dégrader avec le temps sous l'action des causes multiples. Ces détériorations peuvent provoquer l'arrêt de toute la chaîne de production, diminuer le rendement, mettre en péril la sécurité des personnes, diminuer la qualité, augmenter les coûts de revient du produit fini. Pour remédier à ce problème, on est obligé d'appliquer une politique de maintenance. Le choix des méthodes de maintenance dépend des conditions d'exploitation de la machine, du coût et de l'état des installations en question [1].

Parmi les outils de la maintenance conditionnelle, l'analyse vibratoire, a pour objectif de détecter la défaillance d'une part, et prévoir le temps résiduel de fonctionnement d'autre part [1]. La notion de détection a pour objectif de mettre en évidence l'existence d'une anomalie à un stade précoce. Le diagnostic basé sur les mesures vibratoires ne peut se faire que si les signaux vibratoires captés sont porteurs de l'information sur l'état de fonctionnement des composants mécaniques [2].

II. MATERIELS UTILISES

A. Capteur de Vibration Utilisé« Accéléromètre»

On utilise comme type de capteur de genre – Piézoélectrique – accéléromètre car ce type fourni plus d'avantages, on peut extraire l'accélération, la vitesse et le déplacement au même temps.

C'est un accéléromètre de type piézoélectrique raccordé au collecteur analyseur MOVIPACK [2].



Fig. 1. Accéléromètre de type piézoélectrique

B. Analyseur « MOVIPACK »

Le MOVIPACK est un appareil de mesure des vibrations, permettant d'apprécier l'état des machines, d'établir les diagnostics des défauts dans le cadre de la maintenance conditionnelle [2].



Fig. 2. Vibromètre «MOVIPACK»

C. Logiciel d'analyse

DIVA est un logiciel de supervision d'un parc machines dédié à la maintenance. Il traite les informations collectées de manière périodique « Off Line »ou/et en continu« On Line ». Ces informations peuvent être des mesures de vibration, des résultats d'analyses d'huile ou des paramètres du procédé.

DIVA est un outil industriel de productivité. Il donne une information simple et synthétique à son utilisateur qui pourra

prendre la bonne décision au bon moment, sans se noyer dans les méandres de l'informatique [2].

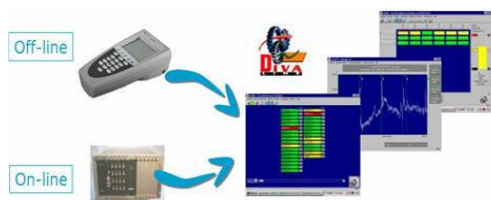


Fig. 3. Logiciel DIVA [2]

III. ETUDE EXPERIMENTALE

A. Points de Mesures

Le nombre de points de mesure sur une machine dépend du nombre de paliers, la motopompe 100-MP-14B contient quatre paliers (deux pour la pompe et deux pour le moteur). La mesure de l'amplitude de vibration s'effectue selon deux directions : radiale oblique et axiale.

La motopompe 100-MP-14B appartient au « groupe III », installée sur une fondation rigide avec une puissance de 133.86KW [2].

B. Niveau Global de Vibration

L'évolution dans le temps de l'amplitude de vitesse de vibration sera représentée par plusieurs courbes.

Les courbes présentées montrent la pente de la dégradation, qui permettra l'estimation d'une date de défaillance.

1) Relevé des Mesures :

Du 26/08/2009 A 01/04/2010

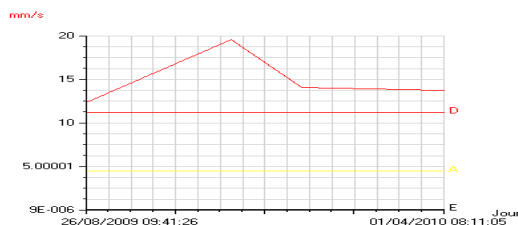


Fig. 4. Courbe de tendance de palier n° 3, radial oblique

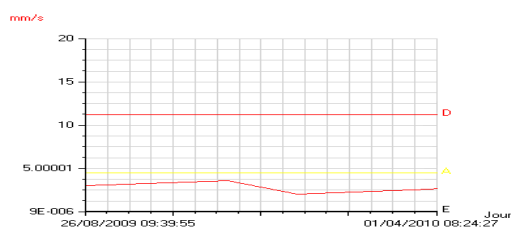


Fig. 5. Courbe de tendance de palier n°3, axial

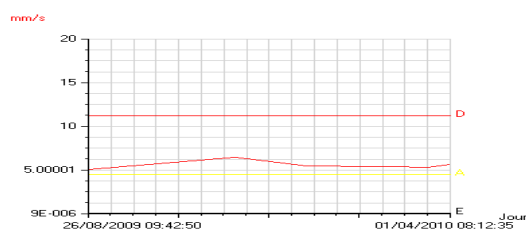


Fig. 6. Courbe de tendance de palier n°4, radial oblique

1) *Interprétation des Courbes de Tendance*: Les figures (4), (5) et (6) représentent l'évolution de l'indicateur V_{eff} mesuré sur les paliers n°3 et n°4 de la motopompe 100-MP-14B selon les deux directions radiale oblique, et axiale selon les figures:

Figure 4: la vitesse efficace est supérieure au seuil de danger, Figure 5: la vitesse efficace est inférieure au seuil d'alarme, Figure 6: la vitesse efficace est supérieure au seuil d'alarme.

C. Analyse des spectres de vibration de la motopompe 100-MP-14B

1) Relevé des Spectres

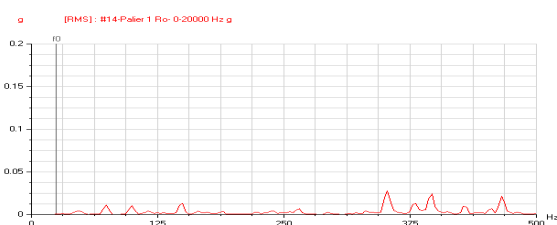


Fig. 7. Spectre de vibration de la motopompe 100-MP-14B ; point de mesure : palier n°1, radial oblique

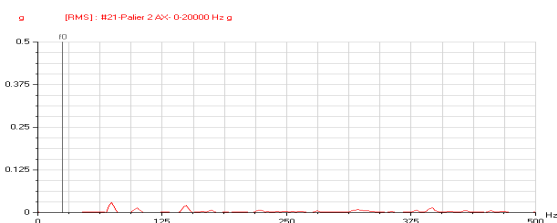


Fig. 8. Spectre de vibration de la motopompe 100-MP-14B ; point de mesure : palier n°2, axialement

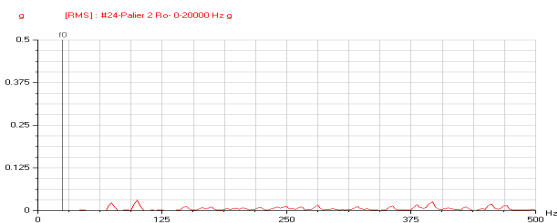


Fig. 9. Spectre de vibration de la motopompe 100-MP-14B; point de mesure : palier n°2, radial oblique

2) *Interprétation des Spectres en Fréquence du Palier n°1 Et n°2*: Les figures 7, 8 et 9 représentent les spectres en fréquence [0-500Hz] du signal délivré par un accéléromètre fixé sur le palier n°1 et n°2 de la motopompe 100-MP-14B ; ceci en date du 29/03/2010, dans les deux sens, axial et radial oblique du palier n°1 et n°2, nous ne voyons pas clairement l'importance de l'amplitude.

3) *Relevé des Spectres*

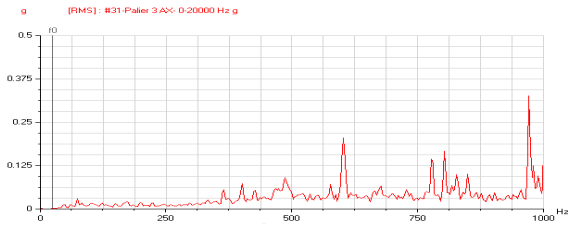


Fig. 10. Spectre de vibration de motopompe 100-MP-14B ; point de mesure : palier n°3, axialement

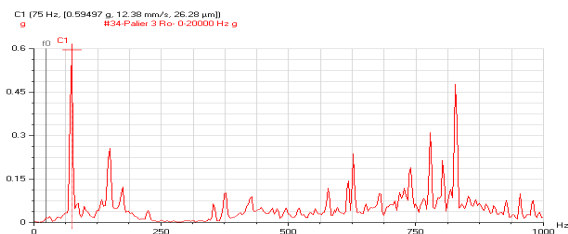


Fig. 11. Spectre de vibration de motopompe 100-MP-14B; point de mesure, palier n°3, radial oblique

4) *Interprétation des Spectres en Fréquence du Palier n°3*: Les figures 10 et 11 représentent les spectres en fréquence [0-1000Hz] du signal délivré par un accéléromètre fixé sur le palier n°3 de la motopompe 100-MP-14B ; en date du 29/03/2010. Dans le sens axial du palier n°3, nous ne voyons pas clairement l'importance de l'amplitude ; par contre, dans le sens radial oblique nous voyons mieux un pic d'une amplitude importante.

5) *Relevé des Spectres*

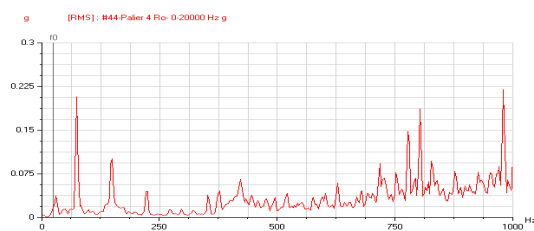


Fig. 12. Spectre de vibration de la motopompe 100-MP-14B ; point de mesure : palier n°4, radial oblique

6) *Interprétation des Spectres en Fréquence du Palier n°4*: La figure 12 représente le spectre en fréquence [0-1000 Hz] du signal délivré par un accéléromètre fixé sur le palier n°4 de la motopompe 100-MP-14B, ceci en date du 29/03/2010. Dans ce cas nous remarquons des pics avec des amplitudes moins peu importantes.

Pour les spectres en question, nous cherchons les fréquences caractéristiques des défauts.

IV. IDENTIFICATION DU DEFAUT

A. *Caractéristique de la Pompe 100-MP-14B*

TABLEAU I

CARACTERISTIQUE DE FONCTIONNEMENT

Caractéristique de fonctionnement de la pompe 100-MP-14B			
Débit	650 m ³ /h	Puissance absorbée estimée	125 CV
Pression d'aspiration	Normal 1,87 Bar	Tension de vapeur	1,65 Bar
Pression de refoulement	6,92 Bar	NPSH disponible	3 m
Pression différentielle	5,05 Bar	NPSH requis	2,8 m
Hauteur différentielle	6,67 m	Vitesse de rotation	1480 tr/mn

B. *Les Hypothèses*

TABLEAU II

TROIS HYPOTHESES POSSIBLES

Hypothèses	mauvais serrage	désalignement	problème hydrodynamique
Fr	1, 2, rarement 3*fr dans la direction radiale	2,3*fr dans les deux sens radial et axial	Nombre des aubes*fr
Observation	Le problème de vibration persiste sur le lieu de travail de la motopompe même si le bon serrage s'effectue par l'équipe spécialisée	On n'a pas de valeur importante dans le sens axial	Le nombre des aubes = 03 Le pic le plus important correspond à une fréquence de 75 HZ c'est à dire 3*fr. (Voir figure 11).

V. CAVITATION

A. *Physique du Phénomène*

La cavitation est la vaporisation d'un fluide soumis à une pression inférieure à sa pression de vapeur. Ce phénomène se manifeste par la formation, au sein de l'écoulement, de bulles de vapeur. Dans les pompes, ces structures de vapeur apparaissent dans les zones de faible pression à l'entrée des aubes de roue et sont transportées dans les zones à plus haute pression. Sous l'action du gradient de pression, elles implorment dès que la pression locale dans l'écoulement

redevient supérieure à la pression de vapeur. Ces implosions produisent des micro-jets [3].

B. Paramètres Caractérisant la Cavitation

1) *La Pression: la cavitation commence dès que la $P < P_v$ [3] :*

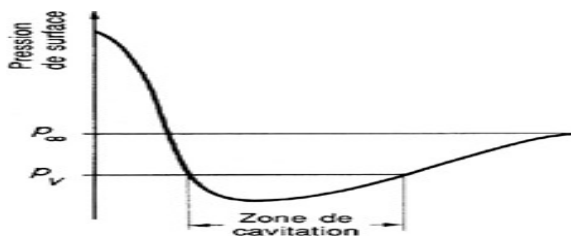


Fig. 13. Présentation de la plage de sécurité [3]

2) *La Hauteur de Charge Nette a L'aspiration (NPSH) [3] :*

• **NPSH disponible**

$$NPSH_{dis} = \frac{P_{asp} - P_v}{\rho g} - (\Delta H_{asp} - H_{asp}) \quad (1)$$

• **NPSH requis**

$$NPSH_{requis} = P_{asp} + E_c - P_{min} \quad (2)$$

C. Condition de Bon Fonctionnement

Le problème se pose de choisir la marge de sécurité qu'il est nécessaire de se donner entre $NPSH_{requis}$ et le $NPSH_{disponible}$ de la pompe pour garantir un fonctionnement sans vibrations et sans dégradations [4].

$$NPSH_{dis} - NPSH_{requis} \geq 0.5 \quad (3)$$

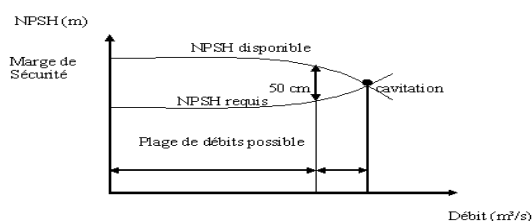


Fig. 14. Présentation de la plage de sécurité

D. Calcul Pratique du $(NPSH)_{dis}$

Le $(NPSH)_{dis}$ pour un débit considéré, exprimé en mètre, est égal à:

$$NPSH_{dis} = \frac{P}{\rho g} + Z_a - \Delta H_A^B - \frac{P}{\rho g} \quad (4)$$

1) *Calcul des Pertes de Charge:*

$$\Delta H_{Aasp}^B = \Delta H_{Aloc}^B + \Delta H_{A lin}^B \quad (5)$$

TABLEAU III
 RESULTATS DES PERTES DE PRESSION

ΔH_{Aasp}^B	$\Delta H_{Aasp}^B = \Delta H_{Aloc}^B + \Delta H_{A lin}^B$	0.56 (m)
$\Delta H_{A lin}^B$	$\Delta H_{A lin}^B = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$	0.06 (m)
ΔH_{Aloc}^B	$\Delta H_{Aloc}^B = K \times \frac{V^2}{2g}$	0.5 (m)

2) *Calcul des Facteurs de Pertes de Charge Locales (K)*

TABLEAU IV
 COEFFICIENT DES PERTES DE CHARGE LOCALES[5]

Elément	Type		Valeur de K
Coude	90°		K= 0.16
Vanne	GATE VALVE		K=0.144
Réduction	$\theta=130^\circ$		K=0.28
T	$\alpha : 90^\circ$		K=0.91
Type d'aspiration			K=0.78

3) *NPSH Disponible : $NPSH_{dis} = 2.62m$. Le $NPSH_{dis}$ (2,62m) < $NPSH_{requis}$ (2,8m), ce qui implique qu'il y a un problème de cavitation.*

VI. SOLUTIONS

Pour éviter ce phénomène de cavitation, il faut que la pression totale à l'entrée de la pompe dépasse la tension de vapeur d'une quantité minimale appelée $NPSH_{requis}$ qui dépend uniquement de la conception de la pompe.

Dans notre cas il y a un déficit, donc il faut augmenter la pression à l'entrée.

Pour atteindre objectif fixé il est nécessaire d'adopter les démarches suivantes tel que:

- Affûtage à l'entrée des aubes pour réduire la surface de choc qui diminue le $NPSH_{requis}$ avec petit de changement sur la courbe débit et hauteur [6].
- Installation d'une roue inductrice ou hélice de gavage. Cette roue de pompe axiale est placée devant l'aspiration de la roue centrifuge. Ces deux roues sont montées sur le même arbre, entraînées par la même vitesse [6]. L'élévation de la pression générée par l'inducteur permet à la roue centrifuge de fonctionner sans cavitation avec $NPSH_{disponible}$ très supérieur à $NPSH_{requis}$. L'inducteur peut réduire $NPSH_{requis}$ à environ 50 à 60% de la valeur nominale.
- Substitution de la pompe, par une autre similaire, et ayant une $NPSH_{requis} = 2m$.
- Modification des conditions d'aspiration :
 - Réduction des pertes de charges dans la tuyauterie d'aspiration.
 - Diminution de la température d'aspiration (action sur T_v)
 - Augmentation de la pression d'aspiration.

- [4] Sayah, Pompes centrifuges, école d'ingénieurs de boumerdes(dans le cadre de la formation en industrie),2006.
- [5] Crane, Flow of Fluids through valves, fittings, and pipe Metric édition -Si Units Crane 1986.
- [6] Jean-Francois Lapray, Pompes centrifuges, centrifuges hélico-centrifuges et axiales : cavitation Techniques Ingénieur traitée génie mécanique, Paris, 1994.

VII. CONCLUSION

Après étude bibliographique relative aux installations de la chaîne de production jugées importantes, notre choix à été forcément limité à la motopompe 100-MP-14B qui est le maillon principale dans toute la chaîne de production cette dernière a fait l'objet de notre étude.

C'est à travers une bonne acquisition et un bon traitement des signaux, issus du comportement vibratoire des machines, qu'on peut avoir des descripteurs, qui servent comme un outil très puissant pour le diagnostic de l'état mécanique de ces machines et offrant ainsi pour la maintenance les avantages suivants:

- Surveillance de fonctionnement de la machine et prévention de la défaillance,
- Anticipation de la maintenance et réduction des coûts des arrêts,
- Réparation de la machine seulement quand il est nécessaire.

L'analyse des spectres vibratoires, et leur interprétation nous ont permis de dire qu'on est en présence d'une pompe cavitante. Pour résoudre ce problème de cavitation, il est recommandé d'appliquer les solutions proposées.

REFERENCES

- [1] Laiche et A. Fouar, Analyse vibratoire appliqué à l'étude des machines tournantes (moto- pompe et compresseur, PFE) , Université de Boumerdès, 2007.
- [2] Schenck, Vibrations - Equilibrage sur site - Applications à la maintenance conditionnelle, Lioux, France1994.
- [3] Imène Mejri-Chtioui, Analyse de l'écoulement instationnaire cavitant dans les inducteurs, L'école nationale supérieure d'arts et métiers centre de Paris, Thèse De Doctorat, 2006.