

Influence des défauts des ailettes de turbomachines sur les vibrations des paliers

Rima BOUHALI^{1*}, Kamel TADJINE², Hocine BENDJAMA³

¹Laboratoire de Mécanique Industrielle LMI

²Laboratoire en Risques Industriels, Contrôle non Destructif et sûreté de fonctionnement
Département de Génie mécanique, Faculté des Sciences de l'Ingénierat. Université Badji Mokhtar –
Annaba. Sidi Amar, 23000 Annaba, Algérie

³Centre de Recherche Scientifique et Technique en Soudage et Contrôle CSC/URASM, Bp. 64 Chéraga,
16000Alger, Algérie

*rimabouhali.conf@gmail.com

Résumé - Dans les turbomachines, l'échange d'énergie s'effectue dans le rotor (roue aubagée) et résulte du travail des forces aérodynamiques sur les aubes produites par l'écoulement du fluide autour de celles-ci. Les défauts des ailettes de ces roues aubagées ont une influence néfaste sur certains grandeurs physiques, tels que les vibrations. Ces défauts peuvent entraîner un arrêt non planifié pouvant paralyser la ligne de production et conduire ainsi à une perte financière importante. L'objectif de cette étude est d'identifier ces défauts en utilisant l'analyse spectrale. Les résultats obtenus montrent un pic à la fréquence de rotation qui reflète bien un défaut de balourd.

Mots Clés : turbomachines, défauts des aubes, transformée de Fourier, analyse vibratoire.

Nomenclature

$S(w)$ spectre,
 t temps,

$s(t)$ signal temporel

1. Introduction

Les turbomachines sont considérées comme les pièces maitresses dans différentes domaines. Dans ces machines, l'échange d'énergie s'effectue dans le rotor (roue aubagée) et résulte du travail des forces aérodynamiques sur les aubes produites par l'écoulement du fluide autour de celles-ci. Un défaut d'une seule aube peut entraîner un arrêt non planifié de ces machines tournantes.

La défaillance des aubes peut être provoquée par fatigue, stress excessif, charge, et facteurs environnementaux. Ce problème a été la préoccupation de chercheurs [1, 2, 3] qui ont étudié les défaillances des aubes dans les turbines. Cyrus et Gabriles [4] ont traité les causes, les modes de défaillances, et la maintenance des avaries des ailettes. Abdelrahman et al. [5, 6] ont abordé les techniques de maintenance conditionnelle par le biais des méthodes d'analyse du signal afin de surveiller l'état des aubes dans les turbomachines. Dans un travail similaire Abdelrhman et al. [7] ont employé l'analyse en ondelette pour détecter les défauts des aubes dans un rotor à multi étages. Une autre étude a été proposée par Bingbing et bin [8] qui consiste à appliquer la résonance stochastique adaptative pour identifier le défaut de fissure d'une ailette dans le ventilateur centrifuge.

Dans ce contexte, l'analyse spectrale est appliquée sur des signaux vibratoires du défaut des aubes. Deux genres de défauts ont été matérialisés sur une roue aubagée en l'occurrence : la

déformation et l'usure. Les signaux de vibration ont été recueillis au niveau du palier d'un banc d'essais dans les directions radiales et axiales moyennant un logiciel d'acquisition.

2. Étude expérimentale et méthode d'analyse utilisée

3.1. Description du système

Le Contrôle vibratoire nécessite différents types d'équipement et de techniques pour un diagnostic fiable et précis. Dans la partie expérimentale de cette étude, les essais ont été effectués moyennant un banc d'essai et un logiciel d'acquisition Vibrotest (Schenck 60). Le banc d'essai se compose principalement d'un palier à roulement, un arbre et une roue aubagée avec 10 aubes rectangulaires (Fig. 1 et 2). Le système est conduit par un moteur à induction délivrant une puissance nominale de 0.75 Kw et tournant à une vitesse de rotation maximale de 3000 tr/mn (50 Hz). Les dimensions de la roue, de l'aube et de l'arbre sont listées dans le tableau 1.

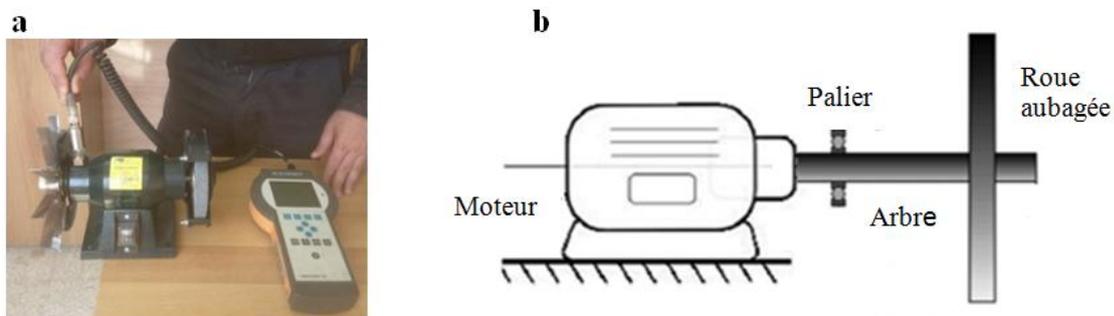


Figure 1 : (a) Le banc d'essai et (b) sa description schématique

Où la figure 1.a représente le composant utilisé pour les essais et la figure 1.b représente sa description schématique.

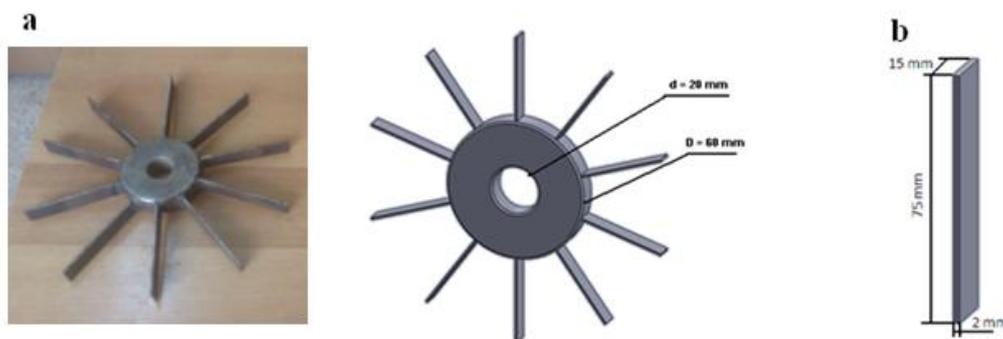


Figure 2 : (a) La roue aubagée et (b) l'aube

Tableau 1 : Dimension de l'aube, la roue et l'arbre

Pièce	Propriétés	Valeur
Aube	Matériau	Acier
	Largeur	20 mm
	Longueur	75 mm
	Epaisseur	2 mm
Roue	Matériau	Acier
	Epaisseur	20 mm
	Diamètre extérieur	60 mm
	Diamètre Intérieur	20 mm
Arbre	Matériau	Acier
	Diamètre	20 mm

Le figure 2.a représente l'image de la roue confectionnée au laboratoire et la figure 2.b représente le dessin descriptif de la roue et de l'ailette où le dessin est réalisée avec l'aide du logiciel solidworks.

3.2. Description du système

Le défaut d'aube est l'une des causes les plus communes de la vibration dans les turbomachines. La défaillance sur une ailette provoque un déséquilibre de masse. Ce dernier est une condition où le centre de masse ne coïncide pas avec le centre de gravité, due à la distribution inégale de la masse. Le défaut d'aube est simulé dans notre application par une petite (Fig. 3.a), une grande déformation (Fig. 3.b), ainsi qu'une réduction de masse des deux ailettes (Fig. 3.c), et les deux défauts à la fois la réduction de masse des deux aubes et la déformation d'une seul aube (Fig. 3.d).

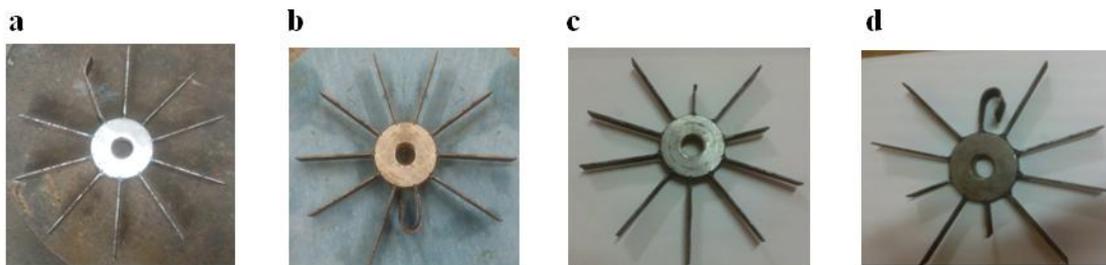


Figure 3 : Les défauts d'aubes simulés : (a) petite déformation, (b) grande déformation, (c) réduction de masse des deux ailettes, (d) les deux à la fois (déformation et réduction)

3.3. L'analyse spectrale

En traitement du signal, la transformée de Fourier (TF) permet de transformer un signal en une somme de série de fonction sinus et cosinus.

Pour obtenir le spectre $S(w)$ de $s(t)$, on applique l'intégral de Fourier :

$$S(w) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)e^{-iwt} dt \quad (1)$$

Cette transformation permet de passer de passer du domaine temporel au domaine fréquentiel afin de mettre en évidence les propriétés du signal.

3. Résultats et discussion

Les signaux vibratoires avec les quatre défauts (petite déformation, grande déformation, réduction de masse et les deux à la fois) ont été mesurés dans la direction radiale (horizontale, verticale) et dans la direction axiale. Le moteur tourne à 3000 tr/mn. Les figures 4, 5, 6, et 7 représentent les spectres fréquentielles des différents défauts.

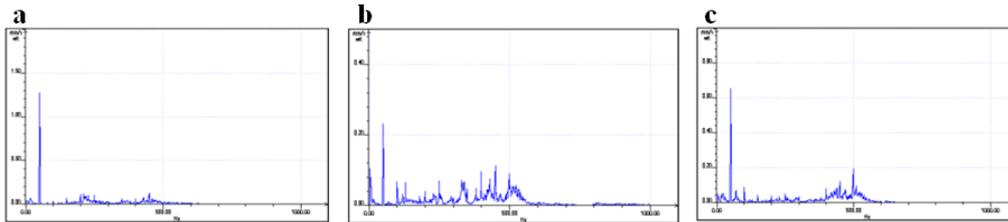


Figure 4 : Spectres du défaut avec petite déformation : (a) horizontale, (b) verticale et (c) axiale

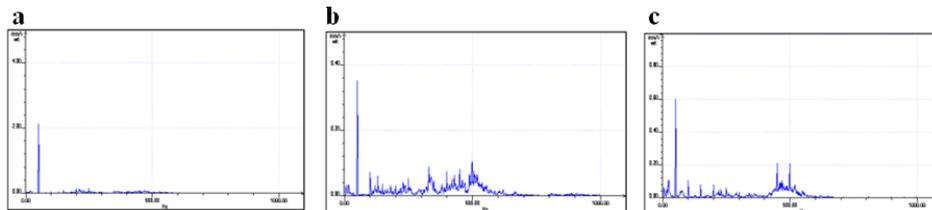


Figure 5 : Spectres du défaut avec grande déformation : (a) horizontale, (b) verticale et (c) axiale

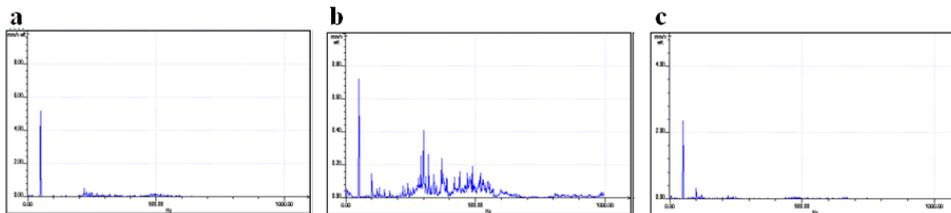


Figure 6 : Spectres du défaut avec réduction de masse des deux ailettes : (a) horizontale, (b) verticale et (c) axiale

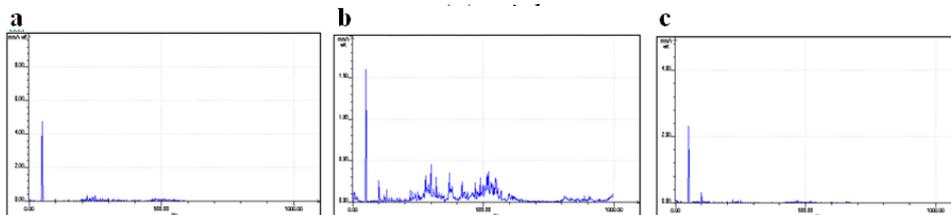


Figure 6 : Spectres du défaut les deux à la fois (déformation et réduction de masse) : (a) horizontale, (b) verticale et (c) axiale

Tous les résultats obtenus montrent un pic à la fréquence de rotation du rotor (50 Hz) avec des amplitudes plus ou moins différents selon le défaut (voir Tableau 2).

Tableau 2 : Les amplitudes de vitesse dans les trois directions pour chaque cas d'essai

Essais \ Direction	horizontale	Verticale	Axiale
Petite déformation	1.3	0.24	0.66
Grande déformation	2.2	0.36	0.60
Deux diminutions de masse	5.2	0.72	2.4
Grande déformation et deux diminutions de masse	4.8	1.6	2.4

L'amplitude fréquentielle est plus claire dans la direction radiale (horizontale et verticale) où elles sont augmentées avec le degré du défaut que la direction axiale où les amplitudes sont presque constantes ceci implique que les défauts des aubes ne sont pas apparents dans la

direction axiale. Le pic détecté représente un déséquilibre de masse dans la structure qui signifie clairement un défaut de balourd qui apparaît dans la direction radiale.

4. Conclusion

Cette contribution a pour but de surveiller le défaut des aubes dans les rotors des turbomachines. Ces essais ont été réalisés sur une roue aubagée d'un banc d'essai, matérialisée avec quatre défauts différents. Les mesures de vibration ont été acquises à l'aide d'un vibrottest suivant les directions radiale et axiale. Les résultats obtenus montrent un pic à la fréquence de rotation du rotor qui se traduit par un déséquilibre signifiant bien un défaut de balourd que l'entreprise peut prendre en considération dans une étude AMDEC (Analyse de Modes de Défaillance, de leurs Effet et de leur Criticité).

Références

1. Y.S. Choi, K.H. Lee, Investigate of blade failure in a gas turbine, *Mechanical Science and Technology*. 24 (10) (2010) 1969-1974.
1. G. Das, S.G. Chowdhury, A. K. Ray, S. K. Das, D. K. Bhattacharya, Turbine blade failure in a thermal power plant, *Engineering failure analyse*, Vol.10 (2003) 85-91.
2. V. N. Bhushana Rao, I. N. Niranjan Kumar, K. Bala Prasad, Failure analysis of gas turbine blades in a gas turbine engine used for marine applications, *Engineering, Science and Technology*. 6 No.1 (2014) 43-48.
3. C. B. Meher-Homji, G. Gabriles, Gas turbine blade failure-causes, avoidance, and troubleshooting, proceedings of the 27th Turbomachinery symposium, université Texas A&M. (1998) 129-180.
4. M. Abdelrahman, L. M. Hee, M. S. Leong, and S. Al-Obaidi, Condition monitoring of blade in turbomachinery: a review, *advances in Mechanical Engineering*. 6, 210717 (2014) 1-10.
5. M. Abdelrahman, M. S. Leong, S. A. M. Saeed, and S. M. A. Al-Obaidi, A Review of vibration monitoring as a diagnostic tool or turbine blade faults, *Applied Mechanics and Materials*. 229-231 (2012) 1459-1463.
6. M. Abdelrahman, M. S. Leong, L. M. Hee, and W. K. Ngui, Application of wavelet analysis in blade faults diagnosis for multi-stages rotor system, *Applied Mechanics and Materials*, 393 (2013) 959-964.
7. Hu, B. Li, Blade crack detection of centrifugal fan using adaptive stochastic resonance, *Shock and Vibration*, 2015, ID 954932, 12 p.