

## Contrôle Vibratoire des Pompes Alimentaires de la Centrale Thermique de Jerada

**R. ZARROUK<sup>1</sup>, H. EL MAATI<sup>2</sup>, M. EL AMRANI<sup>3</sup>, B. EL JABRI<sup>4</sup>**

1. Laboratoire Electronique et Systèmes, FS Oujda + zarroukredouan1@gmail.com
2. Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable, Jerada +elmaati@onee.ma
3. Laboratoire Electronique et Systèmes, FS Oujda +mostafa\_elamrani@yahoo.fr
4. Laboratoire de Génie Industriel et Production Mécanique, ENSAO+bassimeljabri@gmail.com

### Résumé

Dans la centrale thermique de Jerada, les pompes alimentaires sont classées dans la catégorie des machines vitales dont l'indisponibilité entraîne immédiatement la perte de la production de l'électricité. Elles peuvent être aussi le siège d'incidents voir d'accidents graves menaçant directement la sûreté de fonctionnement de la machine ainsi que la sécurité du personnel. L'inspection en service est une solution très efficace pour décroître la probabilité d'un tel accident ; et en particulier le contrôle vibratoire qui peut détecter, à un âge très précoce, les éventuels défauts mécaniques, hydrauliques et électriques susceptibles d'exister dans les motopompes. Dans cette communication, nous présentons différentes techniques d'analyse vibratoire, que nous avons appliqué à ces pompes, dans l'objectif d'effectuer un diagnostic efficace.

**Mots clefs :** Contrôle et diagnostic des motopompes, analyse spectrale, analyse d'enveloppe.

### 1. Introduction

Pour répondre à la consommation croissante d'électricité au Maroc, il est nécessaire d'assurer sa production de façon efficace et continue. Pour atteindre cet objectif, il est indispensable de fiabiliser et de garder en bon état de fonctionnement les installations stratégiques des unités de production et en particulier les groupes turboalternateurs et les pompes alimentaires qui constituent les principales installations de la centrale thermique de Jerada.

La maintenance de ces installations stratégiques vise à atteindre deux objectifs essentiels : l'un d'ordre sécuritaire assurant la sûreté de fonctionnement des machines et la sécurité des personnes et l'autre d'ordre économique limitant les indisponibilités intempestives. Signalons, par exemple, que malgré la redondance des pompes de la centrale, elles ont causé, durant les 10 dernières années, des pertes énormes en production, synonyme d'un chiffre de plusieurs millions de dirhams en manque à gagner [1].

Parmi toutes les techniques de maintenance conditionnelle, le contrôle vibratoire est la technique la mieux adaptée aux

machines tournantes. Non seulement, il nous renseigne sur l'état de santé de la machine, mais en plus, il peut détecter l'organe défectueux et même souvent le type de défaut. En effet, les signaux vibratoires générés par ces machines contiennent des informations précieuses sur leur état de santé. Le traitement de ces signaux peut, alors, donner un diagnostic assez précis des machines.

Il existe plusieurs techniques d'analyse qui dépendent directement du type de traitement du signal utilisé. Ces traitements sont souvent complémentaires et nécessaires pour un bon diagnostic. Nous avons appliqué trois types d'analyses à nos pompes alimentaires dans le but d'optimiser leurs contrôles, à savoir l'analyse globale, l'analyse fréquentielle et l'analyse d'enveloppe.

### 2. Techniques d'analyse vibratoire des machines tournantes

Le contrôle vibratoire est basé sur l'exploitation du signal mesuré à l'aide d'un accéléromètre placé au voisinage de l'organe à surveiller. Il existe une multitude de méthodes temporelles, fréquentielles et tempo-fréquentielles. Ces méthodes sont complémentaires pour un meilleur diagnostic. Ici, nous rappelons le principe des méthodes les plus usuelles et qui ont servi au contrôle de notre pompe alimentaire [2].

L'analyse globale est une technique de contrôle très simple. Elle consiste à mesurer le signal vibratoire dans la bande fréquentielle [10Hz-1KHz], puis déduire son écart-type  $\sigma$ .

Par comparaison de cette valeur à des seuils prédéfinis par des normes ou par l'expérience, on arrive à évaluer l'état de santé de la machine : bon, permis, juste tolérable et non tolérable.

L'analyse spectrale est utilisée pour diagnostiquer les machines tournantes. Son principe consiste à mesurer le signal vibratoire, puis calculer son spectre.

Sachant que la plupart des anomalies affectant les machines tournantes (balourd, désalignement, fixation, défauts électromagnétique, ...) donnent naissance à des vibrations dont les fréquences correspondent aux fréquences d'apparition des forces qui induisent ces anomalies, la

comparaison du spectre mesuré avec les signatures spectrales des défauts, révèle la présence de ces défauts.

L'analyse de phase est une technique complémentaire à l'analyse spectrale. Elle permet de séparer les défauts provenant des efforts rotatifs de ceux provenant des efforts directionnels. Le principe consiste à mesurer, simultanément, deux signaux à l'aide de deux capteurs placés perpendiculairement sur un même palier. On calcule le signal fréquentiel de chaque mesure, puis on déduit le déphasage à la fréquence de rotation de l'arbre. Si ce déphasage est proche de  $90^\circ$ , alors le défaut est lié à un effort rotatif. S'il est proche de  $0^\circ$  ou de  $180^\circ$ , alors le défaut est lié à un effort directionnel.

C'est une technique très utilisée pour séparer le défaut de balourd du défaut de fixation qui ont la même signature spectrale. Elle est aussi utilisée pour déterminer le type de balourd : balourd statique ou balourd dynamique.

L'analyse d'enveloppe est une technique qui met en évidence les défauts qui conduisent à une modulation d'amplitude des signaux vibratoires, tels que les défauts d'engrenage, les défauts de roulement et les défauts des moteurs électriques.

Bien que cette modulation produit, dans le spectre, des bandes latérales autour des fréquences principales du système : fréquence d'engrènement, fréquence d'encoche, etc, ces bandes sont très peu visibles à cause de leurs faibles énergies ; il nécessite une démodulation d'amplitude pour les mettre en évidence.

L'analyse d'enveloppe consiste à mesurer le signal temporel filtré autour de la porteuse (la porteuse est la fréquence d'encoche dans le cas des moteurs électriques, la fréquence d'engrènement dans le cas des engrenages et la fréquence de résonance dans le cas des roulements), puis de calculer sa transformée de Hilbert. L'enveloppe est tout simplement l'amplitude de cette transformée. Le spectre de l'enveloppe contiendrait des raies de modulation dont la position révèle le type de défaut donnant naissance à cette modulation [2].

### 3. Description de la pompe alimentaire

Le groupe motopompe de la centrale thermique de Jerada est constitué par (voir figure 1) :

- un moteur électrique synchrone de type ATD 2000 tournant à une fréquence de rotation  $F_r=50\text{Hz}$ . Le nombre d'encoches du rotor est 38 ce qui donne une fréquence d'encoche  $F_e = 1900\text{Hz}$  ;
- deux ventilateurs emmanchés sur l'arbre du moteur dont le rôle est de fournir suffisamment d'air de refroidissement. Le nombre de pales de chaque ventilateur est de 8 ce qui fait une fréquence de passage des pales :  $F_{\text{pales}} = 400\text{Hz}$  ;
- Un accouplement rigide qui relie le moteur électrique à la pompe ;
- Une pompe de type baril accouplée au moteur électrique. Il s'agit d'une pompe centrifuge, multicellulaire et horizontale, de 10 étages et

fonctionne à la vitesse de 3000tr/mn soit une fréquence de rotation de 50Hz. Chaque étage contient 9 aubes, soit une fréquence d'aubage  $F_a = 450\text{Hz}$  ;

- une pompe de lubrification, en bout d'arbre.

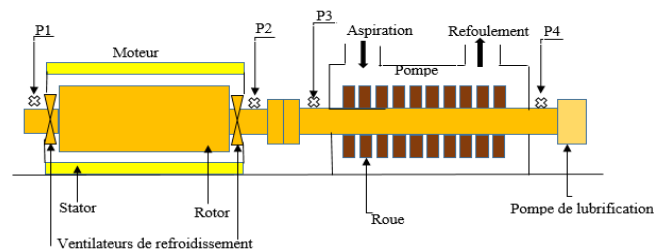


Figure 1 : Schéma synoptique de la pompe alimentaire

### 4. Contrôle vibratoire de la pompe alimentaire

Quatre points de mesure ont été choisis pour le contrôle de la pompe alimentaire : P1, P2, P3 et P4 (voir figure 1). Sur tous ces points, nous avons pris une mesure globale pour savoir s'il y a défaut ou pas. Les niveaux RMS mesurés indiquent que la pompe est en mauvais état. Nous avons, alors, appliqué l'analyse fréquentielle et l'analyse d'enveloppe pour le diagnostic.

Au point P1 :

- Nous avons mesuré des spectres dans les directions radiale horizontale, radiale verticale et axiale dans la bande fréquentielle [0- 2.5KHz] avec un nombre de ligne NL = 800 afin de contrôler les défauts qui se manifestent en basses et moyennes fréquences tels que le balourd, les jeux, le frottement, la courbure d'arbre, la fixation du moteur, les défauts du ventilateur, etc ;
- Nous avons effectué, également, une détection d'enveloppe autour de la fréquence d'encoche du moteur  $F_e=1900\text{Hz}$  afin de contrôler :
  - ✓ les défauts statoriques tels que le défaut de centrage, l'ovalisation du corps du stator, le défaut d'enroulement, le déséquilibre de phase, les spires ou tôles en court-circuit ou desserrées, etc ;

- ✓ les défauts rotoriques tels que l'excentricité dynamique d'entrefer, barres cassées ou fissurées, tôles ou spires en court-circuit, etc.

Au point P2, nous avons pris les mêmes mesures qu'au point P1 afin de contrôler les mêmes défauts cités précédemment en plus du désalignement.

Au point P3, nous avons mesuré des spectres dans les directions radiale horizontale, radiale verticale et axiale dans la bande fréquentielle [0- 2KHz] avec un nombre de ligne NL = 800 afin de contrôler les défauts relatifs à l'arbre, à l'accouplement et à la pompe.

Au point P4, nous avons pris les mêmes mesures qu'au point P3 afin de contrôler les mêmes défauts en plus du désalignement entre la pompe principale et la pompe de lubrification.

## 5. Résultats et discussions

Lors du contrôle de la pompe alimentaire, l'acquisition des signaux a été effectuée par le système Vibxpert alors que la visualisation et le traitement des signaux ont été assurés par le logiciel V\_System[3].

Nous ne présentons, dans la suite, que quelques résultats significatifs.

Au point P2, le spectre mesuré dans la direction radiale horizontale est visualisé sur la figure 2. On remarque que : les raies 50Hz, 100Hz, 150Hz et 200Hz ont une grande amplitude : parmi les défauts probables on trouve le balourd et la fixation. Pour lever cette indétermination, nous avons effectué une analyse de phase. Le déphasage mesuré à la fréquence de rotation est de  $90^\circ$  ce qui prouve l'existence d'un balourd ;

La raie 100 Hz est prépondérante : les défauts générant de telle raie sont le désalignement parallèle et la variation d'entrefer ou variation du courant du stator. Pour une détermination exacte du défaut, nous avons effectué un zoom autour de la fréquence d'encoche  $F_e=1900\text{Hz}$  (voir figure 3). Des petites raies sont présentes autour de la fréquence d'encoche qui indiquent la présence de phénomène de modulation. Nous avons, alors, effectué une détection d'enveloppe autour de  $F_e$ . Le spectre de l'enveloppe obtenue est visualisé sur la figure 4, sur lequel on voit une raie prépondérante à 100Hz et une raie à 50Hz, ce qui indique la présence d'un défaut statorique et d'un défaut rotorique de type excentricité dynamique d'entrefer [2 ;4]. Puisque l'amplitude de la raie 100 Hz est nettement supérieure à celle de la raie 50Hz, le défaut statorique est donc plus avancé que le défaut rotorique.

Au point P4, le spectre mesuré dans la direction radiale horizontale est représenté sur la figure 5. On remarque l'apparition d'une résonance située après la fréquence 100Hz, soit deux fois la fréquence de rotation de l'arbre ; et autres résonances situées après la fréquence de passage des aubes de la pompe  $F_a = 450 \text{ Hz}$  et ses harmoniques. Il s'agit de la signature spectrale d'un défaut de cavitation [2 ; 5].

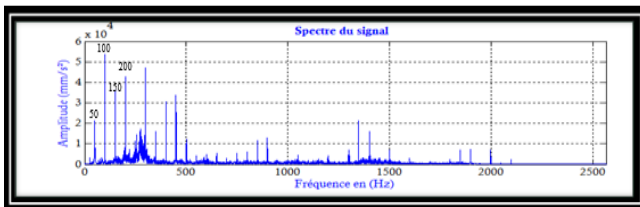


Figure 2 : Spectre mesuré, au point P2, dans la direction radiale horizontale

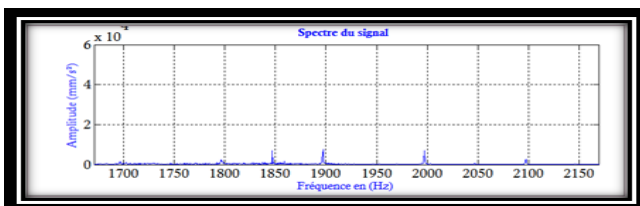


Figure 3 : Spectre zoomé autour de la fréquence d'encoche  $F_e = 1900\text{Hz}$

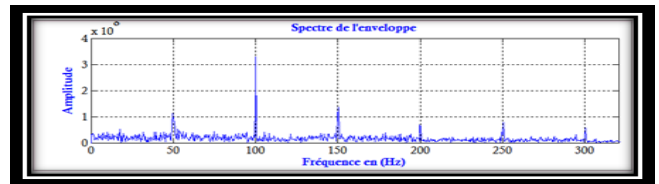


Figure 4 : Spectre de l'enveloppe mesuré autour de  $F_e = 1900\text{Hz}$



Figure 5 : Spectre mesuré, au point P4, dans la direction radiale horizontale

## 6. Conclusion

La pompe alimentaire constitue, pour la centrale thermique de Jerada, le "cœur" battant puisqu'elle alimente en continu la chaudière en eau traitée nécessaire pour la production de la vapeur surchauffée qui fait tourner la turbine. Son inspection en continue s'avère nécessaire. Nous avons, alors, choisi l'analyse vibratoire qui est une technique de maintenance conditionnelle très efficace tant pour le contrôle que pour le diagnostic des machines tournantes.

L'application de l'analyse spectrale et l'analyse de phase à la motopompe contrôlée a révélé l'existence d'un balourd, au niveau de l'arbre moteur, alors que la combinaison de l'analyse spectrale à l'analyse d'enveloppe a révélé l'existence d'un défaut statorique et un défaut rotorique de type excentricité dynamique d'entrefer. L'analyse spectrale montre également la présence d'un défaut de cavitation au niveau de la pompe.

## Références

- [1] H. EL Maati, Contribution des Techniques Avancées de la Maintenance à l'Optimisation de la Production. Application à la Centrale Thermique de Production de l'Energie Electrique, Thèse, Université Mohammed premier, Oujda, 2016.
- [2] A. Boulenger, P. Christian, Surveillance des machines par analyse des vibrations, Dunod, France, 2009.
- [3] R. Zarrouk, M. EL Amrani, B. El Kihel, V\_System : Système d'Acquisition, d'Analyse et de Traitement de Signaux Vibratoires, Conférence internationale, Les matériaux innovants & leurs applications, Oujda, Maroc, 2016.
- [4] M. Ammar, Surveillance et Diagnostic des Défauts des Machines Electriques : Application aux Moteurs Asynchrones, Thèse, Université 20 Aout - Skikda- 1 - Faculté de Technologie, 2012.
- [5] D. Fatima Zohra, K. Lakhder, Analyse Vibratoire Appliquée à l'étude d'une Machine Tournante (Moto-POMPE), International Journal of Scientific Research & Engineering Technology (IJSET) Vol.3(2015) pp.78-83.