

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Ferhat Abbas- Sétif

Institut d'optique et de Mécanique de Précision

Département : Mécanique de précision

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision

Mémoire de Master

Contribution au diagnostic des défauts des arbres tournants

Présenté par : BOUGUETOFF Takoua

Encadré Par : Dr. FEDALA Semchedine

Devant le jury :

- (Président) : Mr. BENLAYADI Seghir
- (Examineur) : Pr. FELKAOUI Ahmed

Soutenu le : 04/07/2023

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Etude bibliographique	3
I.1 Introduction	3
I.2 Défauts des arbres tournants	3
I.2.1 Balourd	3
I.2.2 Types de balourd	4
I.2.3 Désalignement	5
I.2.4 Types de désalignement.....	5
I.3 Techniques de surveillance des défauts	6
I.3.1 La thermographie infrarouge	6
I.3.2 L'émission acoustique	6
I.3.3 Les ultrasons	7
I.3.4 L'analyse des courants électriques	7
I.3.5 L'analyse vibratoire	7
I.4 Surveillance par analyse vibratoire	7
I.5 Méthodes de traitement de signal.....	10
I.5.1 Représentation temporelle	10
I.5.2 Indicateurs scalaires.....	10
I.5.3 Analyse spectrale	11
I.5.4 Analyse d'enveloppe	12
I.5.5 Analyses Temps-Fréquence.....	12
I.5.6 Analyses des ondelettes	13
I.6 Diagnostic par reconnaissance de forme	13
I.6.1 Phase d'analyse.....	14
I.6.2 Phase de choix de méthode de classification.....	15
I.6.4 Réduction de la dimensionnalité.....	15

I.6.5 Extraction des données	16
I.6.6 Sélection des données	16
I.7 Méthodes de classification des signaux	17
I.7.1 Les K plus proches Voisins (K-PPV)	17
I.7.2 Les Machine à Vecteurs de Supports (SVM)	18
I.7.3 Les réseaux de neurones artificiels RNA.....	19
I.8 Les études précédentes	25
I.9 Conclusion.....	26
Chapitre II : Présentation de la base de données (MaFaulDa)	27
II.1 Introduction.....	27
II.2 Représentation de la base de données	27
II.2.1 Etat normal (sans défaut).....	28
II.2.2 Balourd	28
II.2.3 Désalignement parallèle horizontal	29
II.2.4 Désalignement parallèle vertical	29
II.3 Système d'acquisition de données	30
II.4 Base de données	30
II .5 Conclusion	32
Chapitre III : Intégration et classification des signaux	33
III.1 Introduction	33
III.2 Signaux simulés.....	33
III.2.1 Simulation d'un défaut de balourd.....	33
III.2.2 Simulation d'un défaut de désalignement.....	36
III.2.3 Simulation d'un défaut d'engrenage	38
III.3 Présentation des signaux réels	40
III.3.1 Signal d'accélération.....	40
III.3.2 Signal de vitesse.....	41

III.3.3 Signal de déplacement	43
III.4 Analyse des signaux	44
III.4.1 Signal d'accélération.....	44
III.4.2 Signal de vitesse.....	44
III.4.3 Signal de déplacement	45
III.4.4 Défaut de balourd.....	46
III.5 Calcul des indicateurs.....	47
III.5.1 Indicateurs temporels	48
III.5.2 Indicateurs fréquentiels	48
III.6 Construction de vecteur forme	48
III.7 Classification par réseaux de neurones artificiels (RNA)	48
III.8 Résultats et interprétation	49
III.8.1 Phase de détection.....	49
III.8.2 Phase d'identification.....	51
III.9 Conclusion	53
Conclusion générale	54
Références	56

Tables des figures

Figure I.1- Balourd statique	4
Figure I.2- Balourd dynamique	4
Figure I.3- Représentation spectrale de défaut de balourd.....	5
Figure I.4- Désalignement parallèle (a), Représentation spectrale (b).....	5
Figure I.5- Désalignement angulaire (a), Représentation spectrale (b).....	6
Figure I.6- Désalignement combiné	6
Figure I.7- Proximètre à courants de Foucault	9
Figure I.8- Vélocimètre	9
Figure I.9- Accéléromètre piézo-électrique.....	10
Figure I.10- Analyse spectrale d'un signal vibratoire provenant d'une boîte de vitesses.....	12
Figure I.11- Système de diagnostic par reconnaissance de forme	15
Figure I.12- Classification par k-ppv	18
Figure I.13- Séparation de deux classes par SVM	19
Figure I.14- Structure générale de réseau de neurone	20
Figure I.15- Réseau de neurone de type MLP	23
Figure I.16- Réseau de neurone de type RBF	24
Figure II.1- Configuration expérimentale utilisée pour produire la base de données MaFaulDa	27
Figure II.2- Système d'acquisition de données.....	28
Figure III.1 Signal simulé d'accélération : représentation temporelle (a), représentation spectrale (b).	34
Figure III.2 Signal de vitesse : présentation temporelle (a), présentation spectrale (b).	35
Figure III.3 Signal de déplacement : représentation temporelle (a), représentation spectrale (b).	36
Figure III.4 Signal simulé d'accélération : représentation temporelle (a), représentation spectrale (b).	36
Figure III.5 Signal de vitesse : représentation temporelle (a), représentation spectrale (b).	37
Figure III.6 Signal de déplacement : présentation temporelle (a), présentation spectrale (b)..	37
Figure III.7 Signal simulé d'accélération : représentation temporelle (a), représentation spectrale (b).	38
Figure III.8 Signal de vitesse après filtrage : représentation temporelle (a), représentation spectrale (b).	39

Figure III.9 Signal de déplacement : représentation temporelle (a), représentation spectrale (b).	39
Figure III.10 Signal d'accélération en (g): représentation temporelle (a), représentation spectrale (b).	41
Figure III.11 Signal d'accélération en (mm/s ²): représentation temporelle (a), représentation spectrale (b).	41
Figure III.12 Signal de vitesse sans filtrage : représentation temporelle (a), représentation spectrale (b).	42
Figure III.13 Signal de vitesse avec filtrage: représentation temporelle (a), représentation spectrale (b).	42
Figure III.14 Signal de déplacement sans filtrage: représentation temporelle (a), représentation spectrale (b).	43
Figure III.15 Signal de déplacement avec filtrage: représentation temporelle (a), représentation spectrale (b).	43
Figure III.16- Présentation spectrale des différents états	44
Figure III.17- Présentation spectrale des signaux d'accélération pour différents cas de défaut	45
Figure III.18- Présentation spectrale des signaux de vitesse pour différents cas de défaut	45
Figure III.19- Spectre des signaux d'accélération de défaut de balourd.....	46
Figure III.20- Spectre des signaux de vitesse, défaut de balourd 6g et 35g.....	47
Figure III.21- Spectre des signaux de déplacement de défaut de balourd 6g et 35g.....	47
Figure III.22- Architecture de réseau MLP de la phase de détection.....	50

Liste des tableaux

Tableau II.1- Nombre de mesures par poids de balourd	29
Tableau II.2- Nombre de mesures par degré (désalignement horizontal)	29
Tableau II.3- Nombre de mesures par degré (désalignement vertical)	29
Tableau III.1- Résultat de matrice de confusion de classification à deux classes (sans défaut et avec défaut)	50
Tableau III.2- Résultat de matrice de confusion de classification à deux classes (sans défaut et avec défaut)	50
Tableau III.3- Résultat de matrice de confusion de classification à deux classes (sans défaut et avec défaut)	51
Tableau III.4- Résultat de matrice de confusion de classification à trois classes	51
Tableau III.5- Résultat de matrice de confusion de classification à trois classes	52
Tableau III.6- Résultat de matrice de confusion de classification à trois classes.	52

Introduction générale

Les arbres tournants sont d'une importance vitale dans divers secteurs industriels, notamment l'énergie, la fabrication et l'exploitation minière. Ainsi, la maintenance adéquate de ces arbres est cruciale pour éviter les pannes et maintenir un fonctionnement efficace. Négliger cette maintenance pourrait entraîner des réparations coûteuses et des pertes de productivité. Il est donc essentiel de leur accorder une attention appropriée afin de prévenir tout problème et d'optimiser leur performance.

Il existe deux types de maintenance, dans le cadre de la maintenance préventive, une surveillance régulière de l'état de fonctionnement des arbres tournants est essentielle pour anticiper les problèmes potentiels. Cela permet de détecter les signes précurseurs de défauts tels que l'usure, les déséquilibres, le désalignement et les fissures. Grâce à cette surveillance, il est possible de prendre des mesures correctives appropriées avant que ces problèmes conduisent à des pannes. L'analyse, l'inspection et la réparation sont des actions clés dans ce processus de maintenance pour assurer un fonctionnement optimal des arbres tournants et éviter des arrêts de production imprévus ainsi que des coûts élevés de réparation.

Le diagnostic classique par les techniques de surveillance joue un rôle essentiel dans la maintenance préventive des arbres tournants. Ces techniques incluent la surveillance des vibrations, l'analyse d'huile, l'émission acoustique, la thermographie et d'autres méthodes d'analyse.

Cependant, avec l'avancement technologique récent, le diagnostic automatisé basé sur des systèmes de surveillance automatisés qui utilisent des algorithmes d'analyse avancés basés sur l'intelligence artificielle pour surveiller en continu les arbres tournants et détecter les anomalies. Ces systèmes peuvent fournir des alertes en temps réel, permettant ainsi une intervention rapide et précise pour éviter les pannes majeures.

Dans cette étude, nous suggérons de combiner l'utilisation des techniques de traitement du signal avec des méthodes de diagnostic basées sur la reconnaissance de formes utilisant des réseaux de neurones. L'objectif est de détecter et d'identifier les défauts des arbres tournants, tels que le balourd et les désalignements par l'intégration numérique des signaux d'accélération en signaux de vitesse et des signaux de déplacement.

Dans ce contexte, le premier chapitre de ce mémoire sera consacré à une recherche bibliographique sur les principaux défauts liés aux arbres tournants, les techniques de détection

de défauts tel que les méthodes temporelles et fréquentielles, les différents indicateurs, ainsi les techniques de surveillance et enfin l'approche de diagnostic basé sur la reconnaissance de forme et les différentes techniques de classification pour réaliser le diagnostic des défauts d'arbres tournants.

Le deuxième chapitre de cette étude abordera la présentation de la base de données utilisée, connue sous le nom de Machine Fault Database (MaFaulDa). Cette base de données a été créée par le laboratoire Signal Multimedia and Telecommunications (SMT) de l'Université Fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ) au Brésil. Les aspects de sa création, du banc d'essais utilisé, de la catégorisation des défauts, des conditions expérimentales et de l'enregistrement des données seront décrits en détail.

Le troisième chapitre de cette étude portera sur la partie expérimentale, où nous présenterons l'approche proposée pour le diagnostic des défauts liés aux arbres tournants. Nous discuterons également des résultats obtenus et engagerons des discussions à leur sujet.

A la fin, on termine par une conclusion générale.

Résumé

L'objectif principal de ce mémoire est l'intégration numérique des signaux d'accélération afin d'identifier la meilleure grandeur pour détecter et spécifier les défauts des arbres tournants. L'approche proposée a été validée sur des signaux simulés et sur des signaux réels de la base de données des défauts liés aux arbres tournants (Machines FaultDatabase MaFaultDa). Dans ce contexte, il existe quatre catégories opérationnelles qui sont prises en compte, à savoir l'état normal, le balourd, le désalignement vertical et le désalignement horizontal. L'ensemble de données étudié contient 880 signaux d'accélération. Ces signaux sont après intégrés en signaux de vitesse ensuite en signaux de déplacement. Les vecteurs formes utilisés sont composés d'indicateurs scalaires et fréquentiels. Au total 36 indicateurs pour chaque grandeur. La classification est réalisée par les réseaux de neurones artificiels de type MLP.

Abstract

The main objective of this thesis is the numerical integration of acceleration signals to identify the most suitable parameter for detecting and specifying faults in rotating shafts. The proposed approach has been validated on both simulated signals and real signals obtained from the Machine Fault Database (MaFaultDa) related to rotating shaft faults. In this context, there are four operational categories that are taken into account, namely normal state, unbalance, vertical misalignment, and horizontal misalignment. The dataset under study contains 880 acceleration signals, which are then integrated into velocity signals and displacement signals. The feature vectors used consist of scalar indicators as well as frequency-based indicators, totaling 36 indicators for each parameter. The classification method employed is the artificial neural networks Multi-Layer Perceptron (MLP).

ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الأطروحة هو التكامل العددي لإشارات التسارع من أجل تحديد أفضل عامل لاكتشاف وتحديد عيوب الأعمدة الدوارة. تم التحقق من صحة النهج المقترح على إشارات محاكاة وتم تطبيقه على إشارات حقيقية مأخوذة من قاعدة بيانات الأعطال المتعلقة بالأعمدة الدوارة Machine Fault Database MaFaultDa

في هذا السياق ، هناك أربع فئات تشغيلية يتم أخذها بعين الاعتبار ، وهي الحالة العادية وعدم التوازن واختلال المحاذاة الرأسية واختلال المحاذاة الأفقية. تحتوي مجموعة البيانات المراد دراستها على 880 إشارة تسريع. ثم يتم دمج هذه الإشارات في إشارات السرعة ثم في إشارات الإزاحة. تتكون نواقل الشكل المستخدمة من مؤشرات عديدة أيضاً من مؤشرات التردد. ما مجموعه 36 مؤشراً لكل عامل. التصنيف عن طريق الشبكات العصبية الاصطناعية من نوع MLP