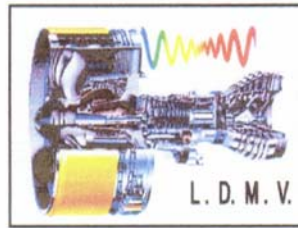




Faculté des Sciences de l'Ingénieur  
Département : Maintenance Industrielle  
Laboratoire Dynamique des Moteurs et Vibroacoustique



## Mémoire de Magister

### ***THEME :***

**DIAGNOSTIC DES MACHINES TOURNANTES, ETUDE NUMERIQUE ET  
EXPERIMENTALE**

Présenté par : LALOUCHE Ahmed

Soutenu le: 25 - 04- 2006

Devant le jury composé de :

<b>A. BOUABDALLAH</b>	<b>Professeur</b>	<b>USTHB</b>	<b>Président</b>
<b>S. RECHAK</b>	<b>Professeur</b>	<b>ENP. El Harrach</b>	<b>Directeur de thèse</b>
<b>A. NOUR</b>	<b>Professeur</b>	<b>UMBB. Boumerdes</b>	<b>Examineur</b>
<b>B. NECIB</b>	<b>Professeur</b>	<b>UMM. Constantine</b>	<b>Examineur</b>
<b>M.O. SI-CHAIB</b>	<b>M C</b>	<b>USTHB Boumerdes</b>	<b>Examineur</b>

## الملخص:

إن العملية المهمة و المكلفة و التي تؤدي إلى ضياع الوقت والمال في إطار متابعة وإصلاح الآلات الدورانية، هي تشخيص واكتشاف العيوب الخاصة بهذه الآلات. لذا فإن تحليل الاهتزازات هي الطريقة الأكثر استعمالاً في إطار تشخيص عيوب الآلات. هذه الطريقة تعتمد أساساً على التحليل الطيفي بتحويلات "فوريي"، هذه الأخيرة تعطي نتائج جيدة في حالة ابتعاد المحاور ووجود عيوب في الدوار.

إن تشخيص إي عيب ما، في الآلات الدورانية بسبب عيب في المتدحرجة من أجل إيضاح أثر استعمال الحمولة من عدمها في التجربة. الأطياف المتحصل عليها توضح جلياً أثر الحمولة في اكتشاف عيوب المدحرجات وجسامتها. إن التحليل بواسطة تحويلات "فوريي" لوحدها تبين بعض الحصر في طريقة تشخيص العيوب لهذا وجب استعمال التكبير الذي يسمح لنا بتعيين القمة التي تبين عيب المدحرجة عندئذ كان من الواجب استعمال طريقة اكتشاف الحزمة التي تسمح لنا بإيضاح الأطياف الكاشفة للعيوب.

**كلمات المفتاح :** الآلات الدوارة، تشخيص، الصدم، تحويلات "فوريي"، اكتشاف الحزم، تحليل طيفي، مدحرجات.

## Résumé :

La tâche la plus importante et la plus coûteuse en terme de temps et de coûts dans la surveillance et la maintenance des machines tournantes est la détection et le diagnostic de défaut. L'analyse vibratoire est la méthode la plus utilisée dans le diagnostic de défauts de machine. Le principe de cette méthode est basé sur l'analyse spectrale par la transformée de Fourier. Cette dernière donne de bons résultats notamment pour le désalignement et le défaut de rotor.

Pour mettre en évidence l'effet de la charge sur la nature et la gravité du défaut, un diagnostic de ce dernier sur un roulement d'une machine tournante est effectué avec charge et sans charge. Les spectres obtenus montrent l'influence de la charge sur ces roulements : un aperçu plus précis sur les défauts existant ainsi que l'amplification de ces derniers.

L'analyse des défauts par la FFT s'est avérée très limitée. Pour cela, on a utilisé le principe " Zoom " pour permettre la détermination des pics correspondent aux défauts de roulement.

Cependant, il est impératif d'utiliser la détection d'enveloppe afin de pouvoir extraire les fréquences caractéristiques de ces défauts.

**Mots clés :** machines tournantes, diagnostic, choc, la transformée de Fourier, la détection d'enveloppe, analyse spectrale, roulements.

## Abstract:

The most important and the most expensive spot in term of time and costs in the surveillance and the maintenance of rotating machinery are the detection and the diagnosis of defect. The vibratory analysis is the method the most used in the diagnosis of defects of machine. The principle of this method is based on the spectrum analysis by the transformed of Fourier. This last one gives good results such as the misalignment and the defect of rotor.

The diagnosis of a defect of rotating machine due to a defect of movement. To put in evidence of the attempts with load (responsibility) and without load (responsibility) were made. The obtained spectres revealing well in evidence the influence of the load (responsibility) on the detection of the defects of movements and on the gravity of defects.

The analyses by the FFT to her only watch of the limitations of the method of the detection of the defect. For that purpose, we used "Zoom" for whom allowed us to determine peaks correspond to the defects of movement.

However, it is imperative to use the envelope detection to allow making take out the characteristic frequencies of the defects.

**Keywords:** rotating machinery, diagnosis, shock, the Fourier transform, the envelope detection, the spectrum analysis, and bearing.

# *Table des matières*

# Table des matières

<b>LA NOMENCLATURE</b> .....	
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	
<b>LISTES DES TABLEAUX</b> .....	
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	
<b>CHAPITRE I : Diagnostic de Défauts des Machines Tournantes, Etude Bibliographique</b>	
1.1 Introduction .....	4
1.2 Etude bibliographique .....	5
1.3 Identification des défauts vibratoires.....	9
1.3.1 Déséquilibre massique du rotor ou défaut de balourd .....	9
1.3.2 Défaut d'alignement .....	10
1.3.3 Défaut de transmission par courroies .....	11
1.3.4 Défauts induit par des contraintes radiales non tournantes .....	12
1.3.5 Défaut induit par un frottement rotor/stator : .....	13
1.3.6 Défauts spécifiques aux roulements .....	13
1.3.7 Modes de défauts de roulement .....	15
1.3.8 Défauts d'engrenage .....	22
1.3.9 Défauts spécifiques aux paliers hydrodynamiques.....	24
1.3.10 Défauts dus à une anomalie électromagnétique .....	25
1.3.11 Défauts induits par desserrage.....	25
1.4 Techniques d'analyse et méthodes de diagnostic .....	26
1.4.1 Méthodes classiques (stationnaires, non paramétriques).....	27
1 Analyse par la transformée de Fourier (FFT) .....	27
2 Méthodes complémentaires .....	27
3 Analyse des signaux électriques .....	30
1.4.2 Méthodes non stationnaires et non linéaires.....	31
a Représentations temps fréquence et ondelettes .....	31
b Analyse cyclostationnaire.....	33
1.4.3 Méthodes de diagnostic par reconnaissance des formes .....	33

1.5 D'autres techniques d'analyse et de diagnostic.....	35
1.5.1 La racine des moindres carrées.....	35
1.5.2 Le Kurtosis .....	35
Conclusion	

## **CHAPITRE II : Le Diagnostic des Machines Tournantes et le Traitement de Signal**

### **Partie 1 : Diagnostic et Définitions**

2.1 Définition .....	36
2.2 Différentes étapes du diagnostic .....	37
2.1 Prise de mesure .....	37
2.2 Recherche de phénomène de modulation .....	37
2.3 Recherche des chocs .....	38
2.4 Détermination des fréquences de répétitions.....	38
2.5 Identification de l'origine cinématique des chocs et des phénomènes de Modulation. ....	38
2.6 Détermination des déphasages relatifs. ....	38
2.7 Analyse du mouvement de la ligne d'arbre.....	38
2.8 Identification des anomalies. ....	38
2.9 Fiabilité du diagnostic. ....	39
2.10 Disparité des données de référence. ....	39
2.11 Disparité du matériel d'analyse.....	39
2.3 Application du traitement de signal à l'analyse des vibrations des machines tournantes .....	39

### **Partie 2 : Elément du Traitement de Signal**

1 Définitions .....	41
1.1 Les signaux vibroacoustiques .....	41
1.2 Signaux stochastiques stationnaires .....	41
1.3 Signaux ergodiques .....	41
1.4 Caractère des signaux vibroacoustiques .....	42
1.5 Traitement des signaux vibroacoustiques .....	42
1.6 Représentation du signal .....	42

2	Transformation de Fourier .....	43
2.1	Théorème de Fourier .....	43
2.2	Condition de Dirichlet .....	43
2.3	Procédure de transformation de Fourier .....	44
2.4	Signification physique de la transformation de Fourier .....	46
2.5	Transformée de Fourier discrète T.F.D .....	47
3	Impulsion de Dirac .....	48
3.1	Transformé de Fourier de l'impulsion de Dirac .....	48
3.2	Peigne de Dirac .....	49
4	L'échantillonnage .....	50
4.1	Théorème d'échantillonnage .....	50
4.2	Echantillonnage idéal .....	50
4.3	Echantillonneur Moyenneur .....	53
4.4	Echantillonneur Bloqueur .....	53
4.5	Etendue des fréquences .....	53
5	Fenêtres de Troncatures.....	54
5.1	Introduction .....	54
5.2	Rappel des conditions que doit satisfaire la fenêtre utiliser .....	54
5.3	Type de fenêtres usuelles et leurs caractéristiques .....	54
5.3.1	La Fenêtre rectangulaire .....	55
5.3.2	La fenêtre temporelle naturelle .....	55
5.3.3	La fenêtre de Hanning .....	56
5.3.4	La fenêtre de Hamming .....	56
6	Le filtrage .....	57
6.1	Théorème de SHANON pour l'échantillonnage des signaux de spectres passe-bas.....	57
6.2	Filtrage temporel .....	58
6.3	Filtrage fréquentiel .....	58
6.4	Filtrage numérique .....	58
	Conclusion	

**CHAPITRE III : Etude Expérimentale**

3.1	Introduction .....	61
3.2	Description du banc d'essai .....	61
3.3	Cinématique du roulement .....	62
3.3.1	Hypothèse .....	62
3.3.2	Notations et Descriptifs .....	63
3.3.3	Cinématique de la bille .....	63
3.4	Conception et réalisation du banc d'essai .....	72
3.5	Installation de mesure .....	72
3.5.1	Instrumentation utilisée .....	73
3.5.2	Les capteurs .....	75
3.6	Déroulement d'expérience .....	76
	Conclusion	

**CHAPITRE IV : Résultats Expérimentaux**

4.1	Introduction .....	78
4.2	Résultats expérimentaux.....	79
4.2.1	Premier cas : roulement neuf ou sans défauts.....	79
4.2.2	Deuxième cas : roulement avec un défaut de bague externe.....	80
4.2.3	Troisième cas : roulement avec un défaut de bille .....	81
4.2.4	Quatrième cas : roulement avec un défaut au niveau de la cage .....	82
4.2.5	Cinquième cas : roulement avec un défaut de jeu bague externe/palier.....	83
4.2.6	Sixième cas : roulement avec un défaut de la bague externe soumis à la charge de l'arbre .....	85
	Conclusion	

**CHAPITRE V : Discussion des Résultats**

5.1	Introduction .....	87
5.2	Détection de défauts du roulement par la transformée de Fourier .....	87
5.2.a	Analyse des signaux expérimentaux par la transformée de Fourier .....	88
5.2.b	Discussion des résultats des signaux analysés par la FFT.....	95
5.3	Analyse des signaux expérimentaux par la détection d'enveloppe.....	99

5.3.1	Description de la méthode .....	99
5.3.2	Analyse des signaux expérimentaux .....	100
5.3.3	Discussion des résultats .....	105
Conclusion		
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>		<b>107</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>		
<b>ANNEXES</b>		