

20276

STABILITÉ DES MACHINES TOURNANTES ET DES SYSTÈMES

Roland Bigret

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	7
PROPOS INDUSTRIELS	11
1. INTRODUCTION - PRÉSENTATION	13
Stabilité, Instabilité des machines tournantes	14
Bases	14
Des modèles pour les machines tournantes	15
Des exemples industriels	15
Maintenance et disponibilité	15
Des systèmes en instabilité	15
De la roue aux machines tournantes	17
2. DÉFINITIONS ET CARACTÈRES DE LA STABILITÉ ET DE L'INSTABILITÉ	20
3. STABILITÉ ET INSTABILITÉ LOCALES D'UN SYSTÈME LINÉAIRE SIMPLE	
Rotor sur deux rotules rigides avec force tangentielle	24
4. STABILITÉ ET INSTABILITÉ LOCALES D'UN SYSTÈME LINÉAIRE SIMPLE	
Rotor sur deux films d'huile anisotropes (coussinets ronds)	31
4.1. Cas général	31
4.2. Cas particuliers	45
4.2.1. Pulsation de l'instabilité égale à la moitié de la vitesse de rotation ..	45
4.2.2. Eléments historiques	52
4.2.3. Conservation des débits	53
4.2.4. Comparaisons entre les raideurs et les coefficients d'amortissement ..	54
4.3. Résumé	60
5. STABILITÉ ET INSTABILITÉ GLOBALES D'UN SYSTÈME	
NON LINÉAIRE SIMPLE	61
5.1. Remarques	67
6. DE L'OPTIMISATION ENTRE LA STABILITÉ ET LE RÉGIME FORCÉ DÛ AU	
BALOURD	81
7. STABILITÉ ET INSTABILITÉ DUES AUX FROTTEMENTS INTERNES	
DANS LES ROTORS	87
7.1. Théorie de base	87
7.2. Remarques	90
8. STABILITÉ ET INSTABILITÉ DUES À L'ANISOTROPIE (RAIDEURS)	
DES ROTORS	94
9. INSTABILITÉ DUE AU FROTTEMENT NON LINÉAIRE D'UN ROTOR SUR SON	
ENVELOPPE	101
9.1. Position	101
9.2. Formulation	101
9.3. Instabilité - Cycles limites	104
9.4. Contact d'un disque sur une structure non rotative	104

10. INSTABILITÉ DUE AU CONTACT PARTIEL D'UN ROTOR SUR SON ENVELOPPE	107
10.1 Position	107
10.2. Formulation	107
10.3. Instabilité	108
10.4 Résumé	113
11. INSTABILITÉ D'UN ROTOR EXCITÉ PAR SON BALOURD	114
11.1. Position.	114
11.2. Formulation.	114
11.3. Instabilité	116
11.4. Résumé.	118
12. FROTTEMENT DUE AU FROTTEMENT D'UN ROTOR SUR UN STATOR FROTTEMENT PROVOQUANT UNE DÉFORMATION THERMIQUE	119
12.1. Position.	119
12.2. Etude théorique	121
12.2.1. Caractérisation	121
a) Comportement mécanique	121
b) Comportement thermique	125
c) Synthèse	126
d) Résolution	127
12.3. Exemple	131
12.4. Résumé.	133
13. EXEMPLES INDUSTRIELS	135
13.1. Turbo-alternateur de 600 MW à 3000 tr/min	135
13.2. Domaines d'instabilité d'un rotor guidé par un roulement à billes et un film d'huile	143
13.3. Lignage et instabilité.	144
13.3.1. Rotor sur 3 paliers	144
13.3.2. Rotor sur 4 paliers	146
13.3.3 Remarque	
13.4. Instabilité due au frottement dans un compresseur centrifuge	149
13.5. Stabilité et vibrations d'une pompe centrifuge	150
13.6. De l'instabilité à la stabilité d'un turbocompresseur barrel d'ammoniac	156
13.7. Formes des garnitures d'étanchéité d'un compresseur et instabilité	157
13.8. Instabilité d'un ensemble rotor-coussinets-paliers-fondation	158
13.9. Pulsations propres complexes d'un rotor sur film d'huile	163
13.10. Etude de la stabilité d'un rotor par le critère de Nyquist.	167
13.11. Système bielle-manivelle - Influence de l'inertie variable	169
13.12. Instabilité due à un séisme	172
14. INSTABILITÉ ET DISPONIBILITÉ	183
14.1. Définitions.	184
14.2. Instabilité	184
14.3. Résumé.	185

15. STABILITÉ DE FONCTION DES MACHINES TOURNANTES	186
15.1. Position	186
15.2. Formulation	187
15.3. Constante de temps	188
15.4. Gain	190
15.5. Stabilité - Instabilité	190
15.6. Exemple	192
15.7. Résumé	194
16. MACHINE COMMANDEE PAR BIELLES	195
16.1. Formulation	195
16.2. Equation de Mathieu - Domaines de stabilité	196
17. PENDULE	199
18. SOLIDE SUR VÉRIN - SOLIDE DANS UN FLUX	201
18.1. Solide sur vérin hydrostatique	201
18.2. Solide dans un flux	202
19. POMPES, ET COMPRESSEURS	203
19.1. Vibrations d'origine hydraulique dans les pompes	203
19.2. Vibrations d'origine aérodynamique dans les compresseurs	205
19.2.1. Caravelle des airs	205
19.2.2. Instabilité et vibration des ailettes	206
19.3. Résumé	209
20. INSTABILITÉ EN THERMODYNAMIQUE	210
20.1. Equations des gaz	210
20.2. Approche par les lois (principes - postulats) de la thermodynamique	213
21. CAPTEURS DE DÉPLACEMENTS À COURANTS DE FOUCAULT	216
21.1. Principe	216
21.2. Instabilité linéaire d'un système à caractéristique non linéaire	218
21.3. Ensemble électronique	221
21.4. Résumé	222
22. SUMÔ	223
23. TANTALE ET VAN DER POL	225
23.1. Tantale	225
23.2. Oscillations de la relaxation. Van der Pool	229
23.3. Des gouttes	233
23.4. Ouvertures !	234
24. LE PONT DE TACOMA	235
24.1. Tacoma	235
24.2. Au pas ?	235
24.3. La rupture	237
24.4. Dix ans pour reconstruire	239
24.5. Suites	239

25. UNE ROQUETTE	240
26. NAVIRE	246
27. RÉSUMÉ	251
Instabilité aux risques	251
Définitions - Méthodes	251
Archétypes des machines tournantes	252
Les machines tournantes. Exemples industriels	254
Disponibilité	254
Des systèmes	255
De la roue aux machines tournantes	255
Instabilité intrinsèque	255
Fragilité des limites des systèmes	256
Stabilité - Modèle - Chaos	257

ANNEXES

A1. STABILITE - INSTABILITÉ - ROTOR	261
A1.1. Des bases	261
A1.1.1 Définitions	261
A1.1.2 Stabilité locale et stabilité globale	264
A1.1.3 Cycles limites - Auto-excitation	265
A1.1.4 Résumé	268
A1.2. Stabilité et instabilité d'un rotor rigide en rotation autour d'un point fixe	270
A2. LES LABYRINTHES D'ÉTANCHÉITÉ	274
A2.1. Définitions	274
A2.2. Impédance	276
A2.2.1 Définition	276
A2.2.2 Impédance à vitesse de rotation nulle	277
A2.2.3 Impédance à vitesse de rotation non nulle	279
A2.2.4 Remarques	281
A3. ÉQUATIONS DE HILL ET DE MATHIEU - STABILITÉ ET INSTABILITÉ DES SYSTÈMES REPRÉSENTÉS PAR CES ÉQUATIONS	283
A3.1. Equation de hill	283
A3.2. Equations de mathieu	286
A3.2.1 Théorie	286
A3.2.2 Applications	291
A3.2.3 Remarque	292
A3.3. Résumé	293
A3.3.1 L'équation différentielle de Hill	293
A3.3.2 L'équation différentielle de Mathieu	294
A4. INSTABILITÉ DES VENTILATEURS ET DES COMPRESSEURS	296
A4.1. Formulation pour l'étude des conditions de stabilité	296
A4.2. Définition d'un système pour la protection contre l'instabilité	299

A5. INSTABILITÉ DES SYSTÈMES STRUCTURE-FLUIDE	306
A5.1. Ensemble solide-ressort-amortisseur soumis à un courant fluide	306
A5.2. Structure déformable soumise à un courant fluide	309
A5.2.1 Equations	309
A5.2.2 Détermination du domaine d'instabilité	313
A5.3. Tourbillons	316
A5.4. Soupapes	317
A5.5. Résumé.	318
A6. LES LIAISONS DANS LES MACHINES TOURNANTES	319
A6.1. Position.	319
A6.2. Fonctions	320
A6.3. Trois liaisons	321
A6.3.1 Les liaisons à fluide	321
A6.3.2 Les liaisons à roulements	328
A6.3.3 Les liaisons magnétiques.	330
A6.4. Résumé.	332
A7. FROTTEMENT DE GLISSEMENT - FROTTEMENT DE ROULEMENT	
DÉPLACEMENT D'UN SOLIDE SUR ROULEAUX	334
A7.1. Bases du frottement (rappels)	335
A7.2. Déplacement d'un solide sur 2 rouleaux.	340
A7.3. Déplacement d'un solide sur n rouleaux.	341
A7.4. Résumé.	342
A8. ROTOR SOUMIS À UNE FORCE TANGENTIELLE SANS AMORTISSEMENT	343
A8.1. Système et formulation	343
A8.2. Mouvements libres ($f = 0$).	344
A8.3. Mouvements forcés	353
A8.4. Récapitulatif.	358
BIBLIOGRAPHIE	361