

# OSCILLATEURS, VIBRATIONS MÉCANIQUES

Exemples  
d'applications  
et exercices  
corrigés

Analyse  
et endommagements  
induits

Bernard Lamy



# Table des matières

<b>Chapitre I. Les oscillateurs à un degré de liberté</b>	<b>9</b>
1. Eléments principaux des oscillateurs	9
1.1. Élément amortisseur	9
1.2. Élément de masse	10
1.3. Élément élastique	10
2. Les oscillations harmoniques	10
2.1. Représentation géométrique	10
2.2. Equations du mouvement	11
2.3. Loi de force	11
2.4. Énergie de l'oscillateur	12
2.5. Exemples d'oscillateurs harmoniques	13
3. Les oscillations amorties	17
3.1. Système masse-ressort avec frottement fluide	17
3.2. Analogie électrique	20
3.3. Système masse-ressort avec frottement solide	21
4. Les oscillations forcées	24
4.1. Système mécanique masse-ressort amorti et forcé	25
4.2. Système électrique (R, L, C) série	36
4.3. Exemples haut parleur et microphone électrodynamique	38
<b>Chapitre II. Les oscillateurs à deux degrés de liberté</b>	<b>43</b>
1. Couplage libre par élasticité	43
1.1. Oscillateurs couplés symétriques	43
1.2. Modes propres	47
1.3. Oscillateurs couplés différents	50
1.4. Analogie électrique, couplage capacitif	53
2. Oscillations mécaniques couplées forcées	54
2.1. Oscillations couplées forcées sans frottement	54
2.2. Oscillations couplées forcées avec frottement visqueux	56
3. Couplage par inertie	58
3.1. Oscillateurs mécaniques	58
3.2. Analogie électrique	60

<b>Chapitre III. Les oscillateurs à N degrés de liberté</b>	<b>63</b>
1. Mise en équation et résolution	63
1.1. Système d'équations	63
1.2. Méthodes de résolution	64
1.3. Les modes propres, notion d'onde	65
2. Exemples à trois et N degrés de liberté	67
2.1. Système libre non amorti à trois degrés de liberté	67
2.2. Système libre non amorti à N degrés de liberté	68
2.3. Système forcé à N degrés de liberté	70
2.4. Cas particulier, système forcé à trois degrés de liberté	72
3. Limites de la méthode de Newton	74
3.1. La dépendance au système de coordonnées	74
3.2. Utilisation de la base polaire	76
3.3. Mise en équation du pendule simple	77
3.4. Mise en équation du pendule double	79
3.5. Bilan	82
<b>Chapitre IV. Apport de la méthode de Lagrange</b>	<b>83</b>
1. Formulation de Lagrange	83
1.1. Coordonnées généralisées	83
1.2. Contrainte holonome	84
1.3. Degrés de liberté	84
1.4. Equations de Lagrange	85
1.5. Apport de l'additivité des énergies	89
2. Applications et exemples	98
2.1. Systèmes à un degré de liberté	98
2.2. Systèmes à deux degrés de liberté	103
<b>Chapitre V. Vibrations des structures</b>	<b>111</b>
1. Types de vibrations	112
1.1. Vibrations périodiques des machines	112
1.2. Vibrations aléatoires des machines	113
1.3. Analyse des vibrations	113
2. Vibrations des rotors de machines	117
2.1. Historique	117
2.2. Mouvements du rotor	120

Table des matières	7
<hr/>	
3. Vibrations d'autres éléments de machines	129
3.1. Le turboréacteur	130
3.2. Le compresseur et ses aubages	131
3.3. Aéroélasticité, interactions écoulement-structure	133
3.4. Implications	137
<b>Chapitre VI. Endommagement vibratoire des structures</b>	<b>139</b>
1. Les contraintes variables	139
2. La fatigue	141
2.1. Fatigue endurance, fatigue oligocyclique	141
2.2. Courbe d'endurance, limite de fatigue	142
2.3. Loi d'endommagement linéaire de Palmgreen Miner	143
2.4. Evolution non linéaire du dommage	144
2.5. La fatigue oligocyclique	145
3. Influence de la contrainte moyenne	148
3.1. Diagramme de Goodman	148
3.2. Autres représentations	149
4. Couplage fatigue-fluage	151
4.1. Cumulation et interaction linéaires	152
4.2. Cumulation et interaction non linéaires	153
5. Compléments et applications	154
5.1. Modèles d'endommagement non linéaire	154
5.2. Durée de vie d'une aube de compresseur	156
5.3. Calcul d'un tirant de réglage	157
5.4. Formulation de la loi de Manson-Coffin	160
<b>Annexe 1. Rappels mathématiques</b>	<b>161</b>
<b>Annexe 2. Démonstration de Lagrange et exercices</b>	<b>171</b>
<b>Annexe 3. Equilibrage des machines tournantes</b>	<b>189</b>
<b>Annexe 4. Le turboréacteur, origine et développements</b>	<b>199</b>
<b>Annexe 5. Effets des vibrations sur le corps humain</b>	<b>205</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>211</b>
<b>Index</b>	<b>215</b>