

Table des matières

Avant-propos	11
Chapitre 1. Un peu d'histoire	13
1.1. La production du son	13
1.2. La propagation du son	16
1.3. La réception du son	18
1.4. L'aéroacoustique	19
Chapitre 2. Éléments de mécanique des milieux continus	21
2.1. Mécanique des milieux déformables	22
2.1.1. Milieu continu	22
2.1.2. Cinématique des milieux déformables	22
2.1.3. Tenseur des déformations (ou tenseur de Green)	24
2.2. Lois de conservation	25
2.2.1. Conservation de la masse	26
2.2.2. Conservation de l'impulsion	26
2.2.3. Conservation de l'énergie	27
2.3. Lois de comportement	27
2.3.1. Elasticité	28
2.3.2. Thermoélasticité, effets des variations de température	31
2.3.3. Viscoélasticité	33
2.3.4. Milieu fluide	40
2.4. Principe de Hamilton	41
2.5. Caractéristiques de matériaux	41
Chapitre 3. Petit nécessaire de mathématiques	43
3.1. Théorie de la mesure – Intégrale de Lebesgue	44
3.1.1. Algèbre de Boole	44

3.1.2. Mesure sur une tribu	45
3.1.3. Convergence et intégration de fonctions mesurables	46
3.1.4. Espace fonctionnel – Fonctionnelle	48
3.1.5. La mesure comme fonctionnelle linéaire	49
3.2. Les distributions	49
3.2.1. L'espace \mathcal{D} des fonctions test	49
3.2.2. Définition des distributions	50
3.2.3. Opérations sur les distributions	52
3.2.4. Généralisation à plusieurs dimensions	55
3.2.5. Produit tensoriel de distributions	59
3.3. La convolution	60
3.3.1. Définition et premières propriétés	60
3.3.2. Algèbre de convolution – Fonction de Green	62
3.3.3. Les opérateurs de convolution en physique	62
3.3.4. La fonction de Green	63
3.4. Méthodes modales	64
3.4.1. Modes propres d'un système conservatif	64
3.4.2. Modes propres d'un système non conservatif	67
Chapitre 4. Acoustique des fluides	77
4.1. Equations de l'acoustique	78
4.1.1. Equations de conservation	78
4.1.2. Perturbation des équations générales	79
4.1.3. Etablissement de l'équation des ondes	81
4.1.4. Potentiel des vitesses	81
4.2. Propagation – Solutions générales	82
4.2.1. Mouvement unidimensionnel	82
4.2.2. Mouvement tridimensionnel	82
4.3. Régime permanent – Equation de Helmholtz	83
4.3.1. Solutions générales	84
4.3.2. Noyaux de Green	88
4.3.3. Groupe d'ondes – Vitesse de phase et vitesse de groupe	90
4.4. Equations aux discontinuités	92
4.4.1. Interface entre milieux propagatifs	92
4.4.2. Interface entre un milieu propagatif et non propagatif	94
4.5. Impédance : mesure et modèle	95
4.5.1. Tube de Kundt	95
4.5.2. Le modèle de Delany-Bazley	97
4.6. Milieu homogène anisotrope	99
4.7. Milieu à célérité lentement variable	100
4.8. Milieux en mouvement	101

4.8.1. Milieu homogène en mouvement uniforme	101
4.8.2. Interface plane entre milieux en mouvement	102
4.8.3. Interface cylindrique entre milieux en mouvement	104
4.8.4. Rayonnement acoustique d'une surface en mouvement	106
Chapitre 5. Rayonnement, diffraction, espace clos	115
5.1. Rayonnement acoustique	116
5.1.1. Un exemple simple	116
5.2. Rayonnement acoustique de sources ponctuelles	117
5.2.1. Sources multipolaires en régime harmonique	117
5.2.2. Champ lointain	120
5.3. Rayonnement de sources réparties	121
5.3.1. Potentiels de couches	121
5.3.2. Représentation de Green de la pression, introduction à la théorie de la diffraction	123
5.4. Rayonnement acoustique d'un piston dans un plan	128
5.4.1. Rayonnement en champ lointain du piston circulaire – Directivité	131
5.4.2. Rayonnement dans l'axe du piston circulaire	134
5.5. Rayonnement acoustique d'une structure rectangulaire bafflée	135
5.6. Rayonnement acoustique de sources en mouvement	140
5.6.1. Sources compactes et non compactes	140
5.6.2. Sources en mouvements uniforme et non uniforme	144
5.7. Propagation sonore en milieu borné	146
5.7.1. Fréquences propres et fréquences de résonance	147
5.7.2. Le résonateur de Helmholtz	148
5.7.3. Exemple en dimension 1	149
5.7.4. Exemple en dimension 3	150
5.7.5. Propagation d'un son pur dans une enceinte circulaire	152
5.8. Eléments d'acoustique des salles	157
5.8.1. Notion de puissance acoustique	157
5.8.2. Indice de directivité	158
5.8.3. Durée de réverbération	158
5.8.4. Champ réverbéré	161
5.8.5. Niveau de pression dans les salles	162
5.8.6. Fréquence de recouvrement et distance de réverbération	163
5.9. Propagation sonore dans un guide d'onde	165
5.9.1. Solution générale dans un guide d'onde	165
5.9.2. Interprétation physique, théorie des modes	166
5.9.3. Fonction de Green	169
5.9.4. Changement de section	169
5.9.5. Propagation dans un conduit en présence d'écoulement	172

Chapitre 6. Propagation d'ondes dans les milieux élastiques	175
6.1. Equation de propagation des ondes mécaniques	176
6.2. Ondes libres	177
6.2.1. Ondes volumiques	177
6.2.2. Cas de l'onde plane	178
6.2.3. Ondes de surface	179
6.3. Noyaux de Green en régime harmonique	184
6.4. Approximation corps mince pour les structures planes	185
6.4.1. Poutres rectilignes	186
6.4.2. Plaques planes	193
6.5. Approximation corps mince pour les structures cylindriques	205
6.5.1. Cylindre	206
6.5.2. Anneau	219
Chapitre 7. Vibration de structures minces	225
7.1. Vibrations de poutres	225
7.1.1. Vibrations de compression de poutre	225
7.1.2. Vibrations de flexion des poutres	229
7.2. Vibrations de plaques	239
7.2.1. Plaque infinie	239
7.2.2. Plaque finie	246
7.2.3. Plaque finie quelconque	262
7.3. Vibrations de coques cylindriques	266
7.3.1. Coque infinie	266
7.3.2. Coque finie	270
Chapitre 8. Rayonnement acoustique de plaques minces	281
8.1. Premières notions de vibroacoustique : un exemple simple	282
8.1.1. Equations du mouvement	283
8.1.2. Rayonnement acoustique	284
8.1.3. Approximation « fluide léger »	286
8.1.4. Transmission du son	287
8.1.5. Régime transitoire	296
8.2. Ondes libres dans une plaque indéfinie immergée dans un fluide	299
8.2.1. Racines de l'équation de dispersion	301
8.2.2. Approximation fluide léger	303
8.3. Transmission d'une onde plane par une plaque mince	304
8.4. Rayonnement d'une plaque indéfinie sous excitation ponctuelle	308
8.4.1. Equation intégrô-différentielle en u	308
8.4.2. Transformée de Fourier de u	309
8.4.3. Calcul de $u(r)$	310
8.4.4. Pression acoustique rayonnée	311

8.5. Vibration et rayonnement acoustique de plaques finies	312
8.5.1. Enoncé du problème	312
8.5.2. Méthodes exactes	313
8.5.3. Approximation fluide léger	318
8.5.4. Approximation d'ordre élevé	324
8.6. Couplage en fluide lourd : estimation des résonances	331
8.6.1. Plaque rectangulaire encastrée couplée en fluide lourd	332
8.6.2. Localisation des résonances d'une plaque couplée	346
8.7. Vibrations d'une plaque mince sous écoulement turbulent	349
8.7.1. Densité interspectrale : modèles simples	350
8.7.2. Représentation de Green de la plaque couplée	353
8.8. Couplage aéroélastique, ballotement	357
8.8.1. Ballotement	357
8.8.2. Instabilité convective	359
8.8.3. Instabilité de Kelvin-Helmholtz	363
Chapitre 9. Les modèles théoriques de base	
de l'aéroacoustique	365
9.1. L'équation de Lighthill	367
9.2. Rappels sur la turbulence	378
9.3. Le modèle de Proudman pour la turbulence homogène et isotrope	384
9.4. Le modèle de Lilley pour la turbulence homogène et isotrope	387
9.5. Les modèles récents et quelques validations expérimentales	390
9.6. L'équation de Powell-Howe pour le son généré par la vorticité	400
Chapitre 10. Quelques situations plus proches	
de la réalité	407
10.1. Le modèle de Ribner pour les jets	407
10.2. Problèmes et modèles spécifiques aux interactions	
avec les parois (couches limites)	421
10.3. Bruit généré par une flamme	430
10.4. Bruit généré par des pales ou des hélices en mouvement	
– Méthode de Kirchhoff	436
10.4.1. Bruit généré par un corps solide en mouvement,	
dans le domaine temporel	437
10.4.2. Bruit généré par un ensemble de pales en rotation	
et de pales fixes en cascade, dans le domaine fréquentiel	444
10.4.3. Bruit généré par l'interaction pale-tourbillon, en utilisant	
la méthode de calcul du son généré par la vorticité	452
10.5. Bruit généré et se propageant dans l'atmosphère réelle – Prise	
en compte de la stratification thermique et d'obstacles éventuels	457

10.5.1. Propriétés caractéristiques de la couche limite atmosphérique et incidences sur la propagation sonore	458
10.5.2. Modèles de la propagation d'ondes sonores dans l'atmosphère	468
Chapitre 11. Mise en œuvre et utilisation de simulations numériques	477
11.1. Les méthodes hybrides	478
11.2. Les simulations numériques directes/simulations des grandes échelles	480
11.3. Conclusion	491
Bibliographie	493
Index	509