

Table des matières

Avant-propos	1
Chapitre 1. Équations de l'acoustique linéaire	5
1.1. Validité des hypothèses de linéarisation et de fluide parfait	5
1.2. Équations de la mécanique des fluides linéarisées	7
1.3. Équation des ondes	10
1.3.1. Le cas particulier des gaz parfaits	10
1.3.2. Le potentiel de vitesse acoustique	11
1.3.3. Conditions de validité de la linéarisation des équations	13
1.4. Énergie acoustique, intensité acoustique et puissance d'une source	13
1.4.1. Définition de l'énergie acoustique et de l'intensité acoustique	13
1.4.2. Sources acoustiques	15
1.5. Ondes monochromatiques	17
1.5.1. Définition d'une onde monochromatique	17
1.5.2. Énergie et intensité acoustiques moyennes	19
1.6. Conditions aux limites	20
1.6.1. Interface fluide-solide ou fluide-fluide	20
1.6.2. Impédance acoustique	22
1.7. Exercices	23
Chapitre 2. Ondes planes et ondes sphériques	25
2.1. Ondes planes	25
2.1.1. Ondes planes dans le domaine temporel	25
2.1.2. Ondes planes monochromatiques	29
2.1.3. Ondes planes évanescentes	32
2.1.4. Espace spectral et spectre angulaire d'ondes planes	33

2.1.5. Holographie acoustique de champ proche	34
2.2. Ondes sphériques	35
2.2.1. Intensité et puissance moyennes	38
2.2.2. Ondes sphériques monochromatiques	38
2.3. Ondes cylindriques	40
2.4. Exercices	42

Chapitre 3. Niveaux acoustiques et analyse spectrale 47

3.1. Énergie, puissance moyenne	48
3.2. Niveaux acoustiques	49
3.3. Densités spectrales d'énergie et de puissance	50
3.4. Fonctions de corrélation	51
3.5. Signaux aléatoires	52
3.6. Signaux aléatoires et corrélations, quelques exemples	54
3.7. Bandes de fréquences	56
3.8. Courbes isosoniques et pondérations	60
3.9. Caractérisation des signaux acoustiques non stationnaires	64
3.9.1. Niveaux statistiques	64
3.9.2. Niveau équivalent, niveaux « day », « evening » et « night »	64
3.9.3. Signaux transitoires : <i>Sound Exposure Level</i> et densité spectrale d'énergie	66
3.10. Exercices	68

Chapitre 4. Réflexion et transmission d'ondes planes et d'ondes sphériques 71

4.1. Réflexion et transmission d'ondes planes en incidence normale	72
4.2. Réflexion d'une onde plane monochromatique sur une surface impédante	74
4.3. Milieux multicouches	77
4.3.1. Transfert d'impédance	77
4.3.2. Transmission à travers trois milieux	78
4.3.3. Transmission d'une onde monochromatique à travers une paroi mince	79
4.4. Réflexion et transmission d'ondes planes monochromatiques en incidence oblique à l'interface entre deux fluides	80
4.5. Transmission d'ondes en incidence oblique sur une paroi mince	86
4.6. Couplage piston-tube résonant	90
4.7. Réflexion d'ondes sphériques monochromatiques sur une interface plane : sources images	93
4.8. Exercices	97

Chapitre 5. Sources acoustiques et fonctions de Green	103
5.1. Sources acoustiques volumiques	104
5.2. Fonctions de Green de l'équation des ondes	105
5.3. Solution générale de l'équation des ondes en espace libre	106
5.3.1. Sources monopolaires : champ lointain et sources compactes . . .	107
5.3.2. Sources dipolaires	110
5.3.3. Sources quadripolaires	113
5.4. Fonctions de Green de l'équation de Helmholtz	114
5.4.1. Sources monopolaires	115
5.4.2. Sources dipolaires et quadripolaires	115
5.5. Fonctions de Green monodimensionnelles et bidimensionnelles	117
5.5.1. Fonction de Green bidimensionnelle de l'équation des ondes . . .	117
5.5.2. Fonction de Green unidimensionnelle de l'équation des ondes . .	118
5.5.3. Fonctions de Green de l'équation de Helmholtz en dimensions un et deux	119
5.6. Réciprocité des fonctions de Green	121
5.7. Fonctions de Green dans un milieu en mouvement uniforme subsonique	122
5.7.1. Fonction de Green de l'équation de Helmholtz convectée	125
5.8. Sources en mouvement et effet Doppler	125
5.8.1. Source de débit en mouvement arbitraire	125
5.8.2. Forces ponctuelles en mouvement arbitraire	129
5.8.3. Sources en mouvement de translation uniforme	130
5.9. Exercices	132
Chapitre 6. Formulations intégrales pour le rayonnement et la diffraction	135
6.1. Rayonnement d'une sphère oscillant radialement	136
6.1.1. Régime harmonique : impédance de rayonnement	137
6.2. Rayonnement acoustique d'une plaque vibrant en flexion	140
6.2.1. Puissance rayonnée et impédance de rayonnement	144
6.2.2. Rayonnement de plaques finies	146
6.3. Formulation de Kirchhoff-Helmholtz	147
6.3.1. Fréquences irrégulières	151
6.3.2. Écriture de l'intégrale de surface en termes de pression et vitesse	152
6.3.3. Extrapolation du champ acoustique	154
6.4. Fonctions de Green adaptées	154
6.5. Formulation intégrale associée à l'équation des ondes	155
6.5.1. Réponse à une surpression initiale dans un volume sphérique . . .	157
6.6. Rayonnement de structures vibrantes planes : intégrale de Rayleigh . .	159
6.6.1. Rayonnement d'un piston circulaire	161

6.7. Intégrale de Rayleigh dans le domaine temporel	166
6.8. Exercices	167
Chapitre 7. Diffraction et diffusion par des obstacles	169
7.1. Diffraction par un écran	170
7.2. Diffusion par un obstacle cylindrique rigide	175
7.2.1. Sections de diffusion	179
7.3. Obstacles de forme arbitraire : diffusion de Rayleigh	183
7.4. Diffusion par des obstacles non rigides et approximation de Born	186
7.4.1. Diffusion par des inhomogénéités	186
7.4.2. Approximation de Born	189
7.4.3. Validité de l'approximation de Born	191
7.5. Exercices	192
Chapitre 8. Propagation guidée	195
8.1. Propagation dans un guide de section arbitraire constante	195
8.1.1. Modes propagatifs et modes évanescents	197
8.2. Conduit rectangulaire	198
8.2.1. Vitesses de phase et de groupe	199
8.2.2. Modes et paires d'ondes planes	201
8.3. Conduit circulaire	202
8.4. Source ponctuelle en conduit et fonction de Green	205
8.5. Propagation dans un conduit dont les parois sont absorbantes	207
8.6. Influence d'un écoulement sur la propagation modale	210
8.7. Exercices	214
Chapitre 9. Propagation unidimensionnelle dans les conduits	217
9.1. Guides de section constante par morceaux : matrices de transfert	218
9.1.1. Transfert d'impédance	218
9.1.2. Élargissements brusques	218
9.1.3. Chambres d'expansion	221
9.1.4. Embranchements et filtres acoustiques	224
9.1.5. Perte par transmission et perte par insertion	226
9.1.6. Corrections de longueur	227
9.1.7. Résonateurs de Helmholtz	228
9.2. Équation de Webster des pavillons	232
9.2.1. Propagation dans un conduit de section lentement variable	232
9.2.2. Familles de pavillons : pavillons exponentiels	233
9.3. Exercices	237

Chapitre 10. Acoustique des espaces clos et acoustique des salles	239
10.1. Cavités de forme simple	240
10.2. Approche modale	241
10.2.1. Densité spectrale des fréquences propres	245
10.2.2. Réponse acoustique d'une salle à une source ponctuelle	246
10.3. Approche énergétique : théorie de Sabine	247
10.3.1. Bilan énergétique global	248
10.3.2. Champ diffus	248
10.3.3. Niveau stationnaire et temps de réverbération	251
10.3.4. Formule d'Eyring	252
10.4. Influence de l'absorption atmosphérique	253
10.5. Coefficient d'absorption en incidence aléatoire	254
10.6. Fréquence de Schröder	254
10.7. Distance critique d'une salle	255
10.8. Salles couplées : perte par transmission à travers une cloison	256
10.9. Mesures dans la salle réverbérante de l'École Centrale de Lyon	257
10.10. Approche géométrique de l'acoustique des salles	259
10.11. Effets subjectifs	263
10.12. Exercices	268
Annexe 1. Éléments de mécanique des fluides et de thermodynamique	275
Annexe 2. Rappels mathématiques	287
Liste des abréviations et symboles	299
Bibliographie	303
Index	307