

SCIENCES MÉCANIQUES

de l'étudiant au chercheur

Exercices d'Acoustique

Corrigés détaillés. Rappels de cours

Tome I : exercices de base

Michel BRUNEAU
Philippe GATIGNOL
Patrick LANCELEUR
Catherine POTEL

Catherine POTEL, Philippe GATIGNOL
Directeurs de Collection

CÉPADUÈS-ÉDITIONS
111, rue Nicolas Vauquelin
31100 Toulouse – France
Tél. : 05 61 40 57 36 – Fax : 05 61 41 79 89
www.cepades.com
Courriel : cepades@cepades.com
Coordonnées GPS en WGS 84
N 43° 34'43,2"
E 001° 24'21,5"

Table des matières

Avant-propos	V
---------------------------	----------

Chapitre 1. Généralités

1 Rappels introductifs - Premières notions sur le signal sonore 1

R1 Le son : niveaux, fréquences.....	1
R1.1 Niveaux sonores	1
R1.2 Perception de la hauteur des sons, intervalles de fréquences.....	3
EXERCICE 1.1 : Niveaux sonores en multi-exposition.....	4
EXERCICE 1.2 : Bandes d'octave.....	6
EXERCICE 1.3 : Bandes de tiers d'octave.....	7

2 Hypothèses et équations fondamentales..... 9

R2 Les équations de l'acoustique en milieu fluide.....	9
R2.1 Introduction.....	9
R2.2 Les paramètres et variables thermomécaniques	10
R2.3 Les équations fondamentales linéaires de l'acoustique en milieu fluide idéal	11
R2.4 L'équation de propagation - L'équation de Helmholtz	13
R2.5 Potentiel des vitesses.....	15
R2.6 Conditions aux limites	16
EXERCICE 2.1 : Equation de propagation dans une direction n.....	19
EXERCICE 2.2 : Sens de propagation d'une onde	22
EXERCICE 2.3 : Représentations spatiale et temporelle d'un signal.....	27
EXERCICE 2.4 : Réflexion d'un signal sur une interface.....	29
EXERCICE 2.5 : Ondes stationnaires	36
EXERCICE 2.6 : Pression réelle à partir de la pression complexe	38

3 Le signal temporel - Grandeurs énergétiques 40

R3 Moyennes temporelles et grandeurs énergétiques	40
R3.1 Signaux aléatoires et moyennes temporelles	40
R3.2 Champs monochromatiques - Notations complexes	41
R3.3 Signaux périodiques - Séries de Fourier - Spectre.....	43
R3.4 Grandeurs énergétiques et grandeurs moyennes.....	45
EXERCICE 3.1 : Harmoniques d'un signal -Décomposition en série de Fourier d'un créneau.....	48
EXERCICE 3.2 : Grandeurs acoustiques moyennes pour une onde plane ou pour une onde à symétrie sphérique	51
EXERCICE 3.3 : Les grandeurs énergétiques et leurs moyennes pour les champs monochro- matiques.....	57

Chapitre 2. Problèmes unidimensionnels

Généralités sur l'acoustique unidimensionnelle..... 63

R1 Définition et équations de propagation 63

R2 Représentations des champs unidimensionnels 65

R3 Impédance et admittance relatives (ou spécifiques) 66

1 Guides d'ondes rectilignes de longueur finie 67

EXERCICE 1.1 : Tubes acoustiques élémentaires 68

EXERCICE 1.2 : Tube fermé par des parois d'admittances non nulles 81

2 Mesures en espaces clos 93

EXERCICE 2.1 : Détermination de l'impédance d'un matériau (tube de Kundt) 93

EXERCICE 2.2 : Identification de sources 97

3 Problèmes d'interfaces 103

EXERCICE 3 : Adaptation d'impédances..... 103

Chapitre 3. Problèmes bidimensionnels en coordonnées cartésiennes

1 Interfaces et parois..... 117

R1 Interaction d'une onde plane monochromatique avec une interface 117

R1.1 Les «lois» de Snell-Descartes 118

R1.2 Coefficients de réflexion et de transmission..... 122

EXERCICE 1.1 : Phénomènes énergétiques lors de la rencontre d'une onde plane avec une interface 123

EXERCICE 1.2 : Réflexion d'une onde plane sur une paroi impédante – Impédances équivalentes..... 132

2 Guides d'ondes bidimensionnels..... 139

R2 Les ondes guidées entre deux parois rigides 139

EXERCICE 2.1 : Contenu énergétique d'une onde guidée 141

EXERCICE 2.2 : Réflexion/transmission d'une onde guidée sur une section interfaciale .. 145

EXERCICE 2.3 : Guide bidimensionnel à parois réactives 150

EXERCICE 2.4 : Ondes modales dans un conduit stratifié à deux fluides 155

3 Les cavités rectangulaires..... 160

R3 Retour sur les problèmes aux valeurs propres 160

EXERCICE 3 : Fréquences propres d'une cavité rectangulaire à parois rigides..... 160

Chapitre 4. Ondes guidées dans les conduits en géométrie tridimensionnelle

Introduction au concept de guides, des exemples	167
1 Les guides cylindriques de section quelconque	168
R1 Ondes guidées en fluide léger dans un conduit à parois rigides.....	168
EXERCICE 1.1 : Guide à paroi réactive.....	173
EXERCICE 1.2 : Guide à deux fluides	185
2 Cas du guide de section rectangulaire.....	197
EXERCICE 2.1 : Ondes monochromatiques dans un guide de section rectangulaire de longueur infinie.....	197
EXERCICE 2.2 : Source monochromatique couplée à un guide d'ondes de section rectangulaire de longueur finie	203

Chapitre 5. Les ondes en coordonnées cylindriques

Rappels introductifs – Formes du champ physique.....	219
R1 Les solutions harmoniques.....	219
R1.1 Solutions en θ	220
R1.2 Solutions en z	221
R1.3 Solutions en r	221
R2 Quelques exemples de solutions.....	224
R3 Modes propres dans les conduits cylindriques à paroi rigide.....	225
R3.1 Choix de la fonction $R(r)$ - Nature discrète des solutions.....	225
R3.2 Fréquences de coupure	226
R3.3 Description des premiers modes.....	227
R3.4 Calcul de l'intensité acoustique d'un mode.....	228
1 Conduits circulaires creux ou annulaires	229
EXERCICE 1.1 : Modes guidés en conduit infini.....	229
EXERCICE 1.2 : Modes stationnaires en conduit fini	231
EXERCICE 1.3 : Conduit à paroi impédante.....	233
EXERCICE 1.4 : Conduit annulaire.....	236
2. Conduits circulaires avec parois méridiennes	238
EXERCICE 2.1 : Tube avec paroi méridienne rigide	238
EXERCICE 2.2 : Conduit partiellement obstrué.....	247

Chapitre 6. Les ondes en coordonnées sphériques.....	251
1 Rappels introductifs.....	251
R1 Forme des champs acoustiques en géométrie sphérique	251
R1.1 L'équation des ondes en coordonnées sphériques.....	251
R1.2 Solutions à variables séparées en représentation complexe.....	252
2 Solutions à symétrie sphérique	254
R2 Forme générale des solutions.....	254
R2.1 Equation des ondes.....	255
R2.2 Solution harmonique divergente	255
R2.3 Le monopôle acoustique	255
EXERCICE 2.1 : Impédance de rayonnement et puissance moyenne.....	256
EXERCICE 2.2 : Flux de puissance d'une source monopolaire.....	259
EXERCICE 2.3 : Intensité d'une source ponctuelle en présence d'une paroi	262
EXERCICE 2.4 : Limite de perception.....	264
EXERCICE 2.5 : Ondes stationnaires internes.....	267
3 Les sources multipolaires	270
R3 Dipôle et multipôles - Applications.....	270
R3.1 Nouvelles solutions de l'équation des ondes	270
R3.2 Approximations de type champ lointain	272
EXERCICE 3.1 : Sources polaires équivalentes	276
EXERCICE 3.2 : Sources monopolaires déphasées.....	278
EXERCICE 3.3 : Puissance d'émission d'un dipôle	281
EXERCICE 3.4 : Sphère rigide oscillante	283
Bibliographie.....	291