

TABLE DES MATIERES

Préface	3
Avant-Propos	4
Chapitre I. L'ACOUSTIQUE ET SES APPLICATIONS	9
1. Les grands domaines de l'acoustique.....	9
2. Eléments d'histoire de l'acoustique.....	11
2.1. Quelques millénaires avant Jésus-Christ	11
2.2. Quelques siècles avant Jésus-Christ	12
2.3. Un millénaire et demi plus tard	14
3. Notion d'onde mécanique	17
3.1. Introduction	17
3.2. Ondes de compression et ondes de cisaillement.....	17
3.3. Fréquence d'une onde	19
3.4. Caractéristiques physiques d'une onde	19
3.5. Transmission acoustique	21
4. Mouvements acoustiques. Domaine audible	22
4.1. Les ordres de grandeur	22
4.2. Les variables fondamentales	24
4.3. Les effets dissipatifs	25
4.4. Les niveaux sonores	26
5. Propagation en milieu solide isotrope et anisotrope.....	28
5.1. Génération d'ondes élastiques dans un solide.....	29
5.2. Comportement linéaire d'un solide élastique.....	29
5.3. Différents types d'ondes : exemple des ondes sismiques.....	31
5.4. Différents types d'ondes : retour au cas général	32
Chapitre II. ELEMENTS DE PHYSIOLOGIE DE L'OREILLE, DE PERCEPTION ; GENE ET ENVIRONNEMENT SONORE	35
1. Niveaux sonores et perception.....	35
1.1. Les niveaux sonores	35
1.2. Les courbes isosoniques	37
1.3. Les diagrammes de pondération.....	38
2. Physiologie de l'oreille.....	39
2.1. L'oreille externe.....	39
2.2. L'oreille moyenne	40
2.3. L'oreille interne	41
3. Notions sur la gêne due au bruit	43
3.1. Niveau sonore équivalent	43
3.2. Les cartes de bruit et les points noirs du bruit routier et ferroviaire	44
3.4. Plans de gêne sonore et d'exposition au bruit	45
4. Perception et acoustique des salles	47
4.1. Les sons	47
4.2. La perception.....	47
Chapitre III. FORMULATION ANALYTIQUE DE PROBLEMES DE L'ACOUSTIQUE EN MILIEU FLUIDE : LES LOIS FONDAMENTALES	53
1. Paramètres et variables thermomécaniques	54
1.1. Les paramètres thermodynamiques d'un fluide	54
1.2. Les variables thermomécaniques d'un fluide.....	54
1.3. Etat thermodynamique d'un fluide	56
2. Les différentes sources acoustiques	59
2.1. Les sources de volume	59
2.2. Les sources de surface.....	60
3. Les équations fondamentales de l'acoustique en milieu fluide	60
3.1. Notion de dérivée particulière	61
3.2. L'équation d'Euler (traduction de l'inertie)	63
3.3. L'équation de conservation de la masse : traduction de l'élasticité (compressibilité en fluide)	66
3.4. Loi de comportement d'un fluide : le coefficient de compressibilité.....	70

3.5.	Synthèse des trois lois fondamentales de l'acoustique	72
3.6.	L'équation de propagation	73
4.	Hypothèses conduisant à une simplification des équations fondamentales de l'acoustique en milieu fluide (linéarité, homogénéité du fluide, ...)	74
4.1.	Définitions	74
4.2.	Linéarisation des équations fondamentales de l'acoustique	76
4.3.	Equations fondamentales de l'acoustique dans l'hypothèse de fluide homogène, au repos et indépendant du temps	77
4.4.	Linéarisation des équations fondamentales de l'acoustique dans l'hypothèse de fluide homogène, au repos et indépendant du temps	77
4.5.	Le potentiel des vitesses (cas des équations fondamentales de l'acoustique linéaire dans l'hypothèse de fluide homogène, au repos et indépendant du temps, hors des sources)	81
5.	Les problèmes aux limites de l'acoustique	83
5.1.	Divers types de conditions aux frontières	84
5.2.	Linéarisation des conditions aux frontières	85
5.3.	Conditions aux frontières usuelles en acoustique linéaire, en hypothèse de fluide homogène au repos, ne dépendant pas du temps	86
5.4.	Problème acoustique bien posé	91
6.	Densité et flux d'énergie, loi de conservation de l'énergie	92
6.1.	Densité totale d'énergie acoustique instantanée et flux d'énergie instantané	92
6.2.	Equation de conservation de l'énergie acoustique	94
6.3.	Vecteur intensité acoustique	96
6.4.	Puissance moyenne d'une source	99
Chapitre IV. : SOLUTIONS FONDAMENTALES EN COORDONNEES CARTESIENNES -		
Problèmes linéaires de l'acoustique en fluide homogène, indépendant du temps et au repos		101
1.	Solutions de problèmes à une dimension	103
1.1.	Les équations de l'acoustique en problème unidimensionnel (hors des sources)	103
1.2.	La solution générale de l'équation de propagation	104
1.3.	Les ondes planes progressives et les ondes planes stationnaires	106
1.4.	Définition et propriétés générales d'une onde plane	110
1.5.	Les ondes planes monochromatiques	112
1.6.	Interaction d'une onde plane monochromatique avec une paroi d'admittance non nulle, en incidence normale	115
1.7.	Champ acoustique dans un tube de longueur finie (cas unidimensionnel)	119
2.	Solutions de problèmes à trois dimensions	122
2.1.	Recherche des solutions à variables séparées	123
2.2.	Réflexion et transmission à l'interface entre deux milieux fluides différents	128
2.3.	Guide bidimensionnel	141
2.4.	Propagation dans les pavillons	154
Chapitre V. SOLUTIONS FONDAMENTALES EN COORDONNEES CYLINDRIQUES -		
Problèmes linéaires de l'acoustique en fluide homogène, indépendant du temps et au repos		161
1.	Solutions à variables séparées	161
1.1.	Equation des ondes en coordonnées cylindriques (hors des sources)	161
1.2.	Solutions à variables séparées de l'équation des ondes	162
2.	Ondes progressives à caractère cylindrique : rayonnement d'un cylindre infiniment long en régime harmonique	168
2.1.	Rayonnement d'un cylindre infiniment long en régime harmonique	168
2.2.	Vibreux d'ordre 1 : cylindre oscillant, corde vibrante	171
3.	Diffraction d'une onde plane sur un cylindre dont la surface est caractérisée par son impédance acoustique	172
3.1.	Ecriture du problème bien posé dans le milieu fluide	173
3.2.	Solution du problème posé	174
4.	Champ acoustique dans un conduit cylindrique infini	176
4.1.	Ecriture du problème bien posé	176
4.2.	Forme de solution du problème posé	177
4.3.	Solution du problème	177
4.4.	Modes propagatifs et évanescents	179
4.5.	Cas d'une onde stationnaire en ψ	181
4.6.	Vitesse de phase et vitesse de groupe	182
4.7.	Flux d'énergie portés par les modes dans la direction du guide	183

Chapitre VI. SOLUTIONS FONDAMENTALES EN COORDONNEES SPHERIQUES -	
Problèmes linéaires de l'acoustique en fluide homogène, indépendant du temps et au repos 185	
1.	Solutions à variables séparées186
1.1.	Equation des ondes en coordonnées sphériques (hors des sources)186
1.2.	Solutions à variables séparées de l'équation des ondes187
2.	Ondes progressives à caractère sphérique : rayonnement d'une sphère vibrant avec une symétrie axiale en espace infini196
2.1.	Sphère vibrant avec une symétrie axiale196
2.2.	Rayonnement de la sphère pulsante197
2.3.	Rayonnement de la sphère oscillante201
2.4.	Retour au cas général de la sphère vibrant avec une symétrie axiale205
3.	Diffraction d'une onde plane par une sphère dont la surface est caractérisée par son impédance acoustique211
3.1.	Le problème dans le milieu fluide211
3.2.	Solution du problème posé212
4.	Champs monopolaire et dipolaire - fonction de Green213
4.1.	Champ monopolaire214
4.2.	Champ dipolaire217
Chapitre VII. FORMULATION INTEGRALE DES PROBLEMES AUX LIMITES DE L'ACOUSTIQUE EN MILIEUX FLUIDES 221	
1.	La fonction de Green222
1.1.	Introduction222
1.2.	Problèmes élémentaires de l'acoustique, solutions224
1.3.	Fonction de Green en espace semi infini : méthode de la source image226
1.4.	Fonction de Green en espace clos : développement modal229
2.	La formulation intégrale234
2.1.	Introduction234
2.2.	L'équation intégrale dans le domaine fréquentiel235
2.3.	Equation intégrale dans le domaine temporel239
3.	Rayonnement de sources de frontières en espace semi infini (intégrale de Rayleigh) - application au rayonnement des haut-parleurs, des transducteurs,240
3.1.	Problème posé240
3.2.	Choix de la fonction de Green241
3.3.	Champ acoustique rayonné242
3.4.	Cas du disque ayant une vitesse vibratoire indépendante du point243
4.	Couplage fluide/structure : exemple de la transparence acoustique de paroi249
4.1.	Introduction249
4.2.	Le champ acoustique amont ($z < 0$)251
4.3.	Le champ acoustique aval ($z > 0$)253
4.4.	Le champ vibratoire de la plaque ($z = 0$)255
4.5.	La transparence259
Chapitre VIII. ONDES ELASTIQUES DANS LES SOLIDES ISOTROPES - APPLICATION AU CONTROLE NON DESTRUCTIF PAR ULTRASONS 265	
1.	Ondes de volume en élasticité isotrope265
1.1.	Tenseur des contraintes et des déformations265
1.2.	Comportement linéaire d'un solide élastique276
1.3.	Equation de propagation des ondes élastiques280
1.4.	Découplage de l'équation de propagation284
2.	Interaction d'une onde plane oblique monochromatique avec une interface plane292
2.1.	Nature des ondes réfléchies et transmises293
2.2.	Equations de continuité295
2.3.	Conservation de la fréquence et de la projection des vecteurs d'onde sur l'interface295
2.4.	Angles critiques - ondes évanescentes297
2.5.	Coefficients de réflexion et de transmission300
3.	Application au Contrôle Non Destructif (CND) par ultrasons302
3.1.	Les transducteurs ultrasonores302
3.2.	L'échographie ultrasonore305
3.3.	Mesure de vitesses de propagation308
3.4.	Utilisation des ondes de Lamb en termes de CND311

Annexe A1. A PROPOS DU DOMAINE DE FOURIER	314
1. Champ monochromatique et transformée de Fourier d'un champ quelconque.....	314
2. Etablissement par transformée de Fourier de l'équation de Helmholtz dans le cas d'un signal quelconque	315
Annexe A2. COMPLEMENTS SUR LA NOTION D'IMPEDANCE DE PAROI	318
1. Conditions aux frontières sur une paroi à réaction locale (champ quelconque).....	318
2. Interprétation physique de l'impédance complexe de paroi.....	320
2.1. Paroi purement résistive	320
2.2. Paroi purement réactive.....	322
2.3. Analogie mécanique.....	323
2.4. Cas général - bilan énergétique	323
Annexe A3. VITESSES DE PHASE ET DE GROUPE	325
1. Notion de dispersion.....	325
2. Définitions générales des vitesses de phase et de groupe pour un milieu et/ou des ondes dispersifs	326
2.1. Forme générale de la pression acoustique et de l'équation de dispersion	326
2.2. Vitesse de phase	326
2.3. Vitesse de groupe	327
3. Cas particulier d'un milieu infini non dispersif.....	331
3.1. Vitesse de phase	331
3.2. Vitesse de groupe	332
4. Ondes dispersives dans le cas particulier d'un milieu limité (guide) en fluide non dispersif.....	333
4.1. Vitesse de phase	333
4.2. Vitesse de groupe	334
5. Vitesse de groupe d'un mode guidé dans un milieu dispersif quelconque.....	335
5.1. Vitesse de la modulation	335
5.2. Vitesse de groupe	336
6. Influence de la dispersion sur la propagation d'un signal complexe (cas 1D)	337
6.1. Hypothèses	337
6.2. Décomposition de la source en somme de Fourier.....	338
6.3. Etalement du signal	339
Annexe A4. FONCTIONS DE BESSEL CYLINDRIQUES	340
1. Solution de l'équation de Bessel lorsque ν est non entier.....	340
2. Solution de l'équation de Bessel lorsque ν est entier	340
3. Solution de l'équation de Bessel lorsque ν est quelconque	341
4. Zéros des dérivées des fonctions de Bessel de première espèce.....	342
5. Equations et fonctions de Bessel modifiées	343
Annexe A5. FONCTIONS DE BESSEL SPHERIQUES	344
BIBLIOGRAPHIE	347
INDEX ALPHABETIQUE	348