

Formations & Techniques

PHYSIQUE DES BRUITS ET RAYONNEMENTS

Modélisations
et applications

Clément Santamaria



La côte de l'ouvrage : 2-534-34

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 1 – LE BRUIT ACOUSTIQUE

1.1 Éléments d'acoustique	13
1.1.1 Le phénomène sonore	13
1.1.2 Équation de propagation.....	14
1.1.3 Solutions de l'équation de propagation.....	16
1.1.4. Propagation et conditions météorologiques.....	17
1.1.5 Intensité acoustique et niveau sonore.....	18
1.1.6 Addition de niveaux sonores	20
1.1.7 Directivité d'une source ponctuelle.....	23
1.1.8 Courbe isosonique	24
1.1.9 Le décibel pondéré A, dB(A).....	24
1.2 Analyse spectrale	25
1.2.1 Représentation fréquentielle	25
1.2.2 Décomposition en série de Fourier.....	26
1.2.3 Représentation fréquentielle. Exemples.....	26
1.2.4 Transformée de Fourier d'un signal.....	27
a/ Définition.....	27
b/ Intérêt pratique.....	27
1.2.5 Échantillonnage d'un signal.....	29
a/ Définition	29
b/ Exemple d'échantillonnage	30
c/ Règle de Shannon.....	31
d/ Transformée de Fourier discrète.....	31
e/ Transformée de Fourier rapide	32
f/ Utilisation du logiciel Scilab©.....	32
1.3 Le bruit en acoustique	33
1.3.1 Définition.....	33
1.3.2 Analyse spectrale et bande de fréquence.....	33
1.3.3 Analyse par bande d'octave	34
1.3.4 Analyse par tiers d'octave	34
1.3.5 Bandes passantes normalisées.....	34
1.3.6 Notion d'intervalle en musique	35
1.3.7 Description mathématique d'un bruit	36
a/ Densité spectrale d'énergie	36
b/ Densité spectrale de puissance.....	37
c/ Cas d'un signal échantillonné.....	37
d/ Modèle du bruit blanc	38
e/ Modèle du bruit rose	39

6 Table des matières

f/ Intérêt du bruit rose.....	39
1.3.8 Génération d'un bruit avec Scilab©.....	40
a/ Loi gaussienne.....	40
b/ Utilisation de Scilab©.....	40
1.3.9 Evolution temporelle d'un bruit	42
a/ Sonogramme.....	42
b/ Utilisation du logiciel audacity©.....	42
1.4 Sources de bruit	43
1.4.1 Bruit lié au contact pneumatique-chaussée	43
a/ Origine mécanique	43
b/ Origine aérodynamique.....	43
c/ Phénomènes d'amplification	43
1.4.2 Bruit de roulement d'un véhicule ferroviaire.....	43
1.4.3 Bruit d'un turboréacteur.....	44
1.4.4 Mur du son	45
1.4.5 L'effet Doppler.....	48
1.4.6 Cas de l'éolienne.....	49
1.4.7 Le bruit utilisé comme une arme.....	50
1.5 Acoustique d'une salle	50
1.5.1 Absorption d'une salle	50
1.5.2 Formule de Sabine. Formule d'Eyring.....	51
1.6 Dispositifs anti-bruit	52
1.6.1 Filtrage par une paroi.....	52
1.6.2 Utilisation des interférences	54
a/ Principe.....	54
b/ Rappels sur les interférences.....	54
c/ Cas de deux sources acoustiques	55
1.6.3 Contrôle actif.....	57
1.6.4 Applications.....	58
a/ Casque anti-bruit actif	58
b/ Le cas de l'I.R.M	60
Exercices.....	61
CHAPITRE 2 - LE RAYONNEMENT ÉLECTROMAGNÉTIQUE	
2.1 Les ondes électromagnétiques	65

2.1.1. Définitions et propriétés	65
a/ Force de Lorentz	65
b/ Notion de champ électromagnétique	65
c/ Traduction mathématique des équations de Maxwell	66
d/ Résolution des équations de Maxwell dans le vide.....	67
e/ Notion d'onde plane	68
f/ Polarisation d'une onde E.M	69
2.1.2 Applications de la polarisation	70
a/ Polariseur-analyseur. Loi de Malus	70
b/ Polarisation rotatoire. Loi de Biot.....	72
2.1.3 Notion d'indice	73
a/ Cas idéalisé d'un milieu matériel non absorbant.....	73
b/ Coefficients de réflexion et de transmission en incidence normale	73
c/ Couche antireflets	74
2.1.4 Notion d'épaisseur de peau	75
2.1.5 Énergie électromagnétique.....	77
a/ Densité d'énergie. Vecteur de Poynting.....	77
b/ Débit d'absorption spécifique (DAS).....	78
2.2 Modélisation quantique	79
2.2.1 Introduction à la mécanique quantique.....	79
a/ L'hypothèse du photon	79
b/ La dualité onde-corpuscule	80
c/ Le champ électromagnétique et le photon.....	82
2.2.2 Absorption et diffusion des photons.....	82
2.3 Eau et ondes électromagnétiques.....	82
2.3.1 Domaine des micro-ondes	82
a/ Permittivité complexe	83
b/ Energie dissipée.....	84
c/ Profondeur de pénétration.....	86
2.3.2 Domaine du visible	87
a/ Indice complexe	87
b/ Variation avec l'épaisseur traversée.....	88
c/ Couleur de l'océan.....	90
d/ Aide au diagnostic.....	90
2.4 Atmosphère et ondes électromagnétiques	91
2.4.1 La ionosphère	91
2.4.2 Notion de plasma.....	91

8 Table des matières

2.4.3 Indice de plasma et condition d'une réflexion	93
2.5 Géophysique et électromagnétisme	94
2.5.1 Radar à pénétration de sol (RPS)	94
2.5.2 Utilisation des équations de Maxwell	95
2.6 Electromagnétisme et téléphones portables	98
2.6.1 Caractérisation de l'exposition	98
2.6.2 Débit d'absorption spécifique (DAS)	99
2.6.3 Normes	100
2.6.4 Principales conclusions du rapport de l'ANSES 2013	101
2.7 Les puces RFID	102
2.7.1 Principe	102
2.7.2 Champ proche et champ lointain	103
2.7.3 Zones de fonctionnement	103
2.7.4 Méthode de protection	104
2.8 Modélisation d'une antenne	105
2.8.1 Dipôle de Hertz	105
a/ Notion de dipôle électrostatique	105
b/ Cas de la molécule d'eau	105
c/ Dipôle oscillant	105
d/ Conséquences	106
e/ Dipôle de Hertz	106
2.8.2 Caractéristiques d'une antenne	107
2.8.3 Modèle équivalent d'une antenne	109
2.8.4 Autres antennes	109
2.9 Les LED	109
2.9.1 La problématique de l'éclairage	109
2.9.2 Bandes d'énergie et semi-conducteurs	110
2.9.3 Semi-conducteurs dopés	111
2.9.4 Jonction P-N	112
2.9.5 Principe de fonctionnement d'une LED	113
a/ Génération de lumière blanche	113
b/ Synthèse additive	113
c/ Utilisation de luminophores	114
2.10 Définition d'une couleur	115

2.10.1 Coordonnées chromatiques	115
2.10.2 Unités de mesure.....	118
2.11 Rayonnement par effet LASER.....	118
2.11.1 Origine.....	118
2.11.2 Propriétés du rayonnement	120
a/ Monochromaticité et directivité	120
b/ Faisceau gaussien.....	120
c/ Cohérence spatiale et temporelle	121
2.11.3 Classification.....	121
a/ Laser solide	121
b/ Laser à gaz	122
c/ Laser à excimère.....	123
d/ Laser à colorant	123
2.11.4 Exemples d'utilisations.....	123
a/ Dermatologie	123
b/ Applications industrielles	123
Exercices.....	125
 CHAPITRE 3 - RAYONNEMENTS NATURELS	
3.1 Le rayonnement cosmique	129
3.1.1 Caractéristiques du rayonnement	129
3.1.2 L'activité solaire.....	131
3.2 Le rayonnement thermique	131
3.2.1 Caractéristiques du rayonnement thermique	131
a/ Définition.....	131
b/ Comportement d'une surface.....	132
c/ Relations entre les différents flux	132
3.2.2 Définition et propriétés du corps noir.....	132
a/ Définition d'un corps noir.....	132
b/ Loi de Planck.....	133
c/ Loi de Wien	134
d/ Loi de Stephan	134
3.2.3 Rayonnement d'une surface réelle.....	135
a/ Ecart à la loi de corps noir	135
b/ Emissivité des matériaux.....	136
c/ Emissivité des minéraux et des végétaux	136

10 *Table des matières*

3.2.4 Le rayonnement solaire	137
a/ Notion d'albédo	137
b/ Constante solaire	137
c/ La Terre et le rayonnement solaire	138
3.2.5 Absorption par les molécules atmosphériques	139
a/ Origine du phénomène.....	139
b/ Exemple du dioxyde de carbone.....	140
c/ Spectre du système Terre-atmosphère	141
3.2.6 Rayonnements et changement climatique.....	142
3.3 Vitrage et rayonnements.....	143
3.3.1 Rôle d'un vitrage.....	143
3.3.2 Influence de l'émissivité.....	143
3.4 Phénomènes d'irisation.....	144
3.5 Le rayonnement ultraviolet	149
3.6 Le fond diffus cosmologique	150
Exercices.....	152
CHAPITRE 4 - RAYONNEMENTS IONISANTS	
4.1 Rayonnements d'origine radioactive.....	155
4.1.1 Définition des rayonnements ionisants	155
4.1.2 La radioactivité	156
a/ Définitions	156
b/ Radioactivité alpha.....	156
c/ Radioactivité bêta.....	157
d/ Capture électronique	157
e/ Radioactivité gamma.....	158
f/ Conversion interne.....	159
4.1.3 Quantification de la radioactivité	159
a/ Notion d'activité.....	159
b/ Loi de décroissance radioactive	160
c/ Période radioactive	161
c.1 Durée de vie moyenne	161
c.2 Période radioactive	162
c.3 Exemples	162

c.4 Période biologique.....	163
4.2 Éléments de dosimétrie.....	163
4.2.1 Dose absorbée D.....	163
4.2.2 Equivalent biologique de dose absorbée H.....	164
4.2.3 Dose efficace E.....	164
4.2.4 Exposition du public.....	165
a/ Exposition moyenne.....	165
b/ Réglementation	166
4.2.5 Millésime et radioactivité.....	166
4.3 Atténuation du rayonnement.....	168
4.3.1 Pouvoir de pénétration.....	168
a/ Cas de la radioactivité α	168
b/ Radioactivité β^-	168
c/ Radioactivité β^+	169
d/ Radioactivité γ	169
4.3.2 Coefficient d'atténuation.....	169
4.3.3 Transfert linéique d'énergie.....	171
4.3.4 Notion de kerma.....	172
4.4 Processus d'interaction.....	172
4.4.1 Origine de l'atténuation d'un rayonnement.....	172
4.4.2 Diffusion Compton.....	173
4.4.3 Production de paires.....	174
4.4.4 Comparaison des différents processus dans les tissus.....	175
4.5 Les examens médicaux.....	176
4.5.1 Matériaux utilisés en détection.....	176
4.5.2 La radiographie.....	176
4.5.3 La tomographie par rayon X.....	178
4.5.4 Tomographie par émission de positons (TEP)	180
4.5.5 L'irradiation d'origine médicale.....	181
4.6 Le rayonnement cosmique.....	182
4.7 Le cas du radon.....	182
4.7.1 Origine du Radon.....	182
4.7.2 Chaîne radioactive	183

12 *Table des matières*

4.7.3 Exposition au Radon	183
a/ Répartition.....	183
b/ Mécanismes.....	184
4.7.4 Risques sanitaires	184
a/ Résultats statistiques.....	184
b/ Solutions.....	185
4.7.5 Rayonnements ionisants et cigarettes	185
4.8 Origine de la nocivité.....	186
4.8.1 Transfert linéique d'énergie	186
4.8.2 Radiolyse de l'eau.....	187
4.8.3 Conséquences biologiques.....	188
4.8.4 Irradiation des aliments et du matériel.....	189
4.8.5 Utilisation en radiothérapie	190
4.9 Le cas des ultraviolets.....	190
4.9.1 Production.....	190
4.9.2 Utilisation en stérilisation	191
4.10 Scanners corporels.....	191
4.10.1 Scanners à rayons X	191
4.10.2 Scanners à ondes millimétriques	192
4.11 Les brûlures radiologiques	192
4.12 Sources de rayons X.....	194
4.12.1 Production de rayons X.....	194
4.12.2 Rayonnement synchrotron.....	195
4.12.3 Sources de particules lourdes.....	196
Exercices.....	197
SOLUTIONS DES EXERCICES.....	199
BIBLIOGRAPHIE.....	207
INDEX.....	209