

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 Echantillonnage 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/ Règlementation | 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 |