

## Table des matières

<b>I. Equation d'onde classique à une dimension</b>	<b>13</b>
1. Résolution de l'équation d'onde de d'Alembert	13
2. Ondes progressives. Ondes stationnaires	14
3. Méthode de résolution dite des variables séparées	16
<b>II. Ondes électromagnétiques dans le vide</b>	<b>19</b>
1. Les équations de Maxwell	19
2. Potentiels $V$ et $A$	20
3. Equations de Poisson	21
4. Equations de propagation du champ électromagnétique et des potentiels	22
5. Structure d'une onde électromagnétique plane progressive	23
6. Etude d'une onde électromagnétique plane progressive monochromatique (OEPPM)	25
6.a. Vitesse de phase. Vecteur d'onde	26
6.b. Etats de polarisation	26
6.c. Etude directe de la structure	28
<i>Application 1 : Décomposition d'une OEPPM polarisée elliptiquement en deux OEPPM polarisées circulairement de sens contraire</i>	30
7. Etude énergétique	31
<i>Application 2</i>	32
<i>Application 3 : Exemple d'une onde non plane</i>	33
<b>III. Rayonnement dipolaire électrique</b>	<b>37</b>
1. Solution des potentiels retardés	38
2. Potentiels créés par un dipôle oscillant	39
2.a. Potentiel scalaire $V$	39
2.b. Potentiel-vecteur $A$	40
<i>Application 1 : Justification de la formule (3.4.)</i>	41
3. Champ électromagnétique rayonné par un dipôle oscillant	42
3.a. Champ magnétique $B$	42
3.b. Champ électrique $E$	42
<i>Application 2 : Calcul du champ électrique rayonné</i>	43
4. Analyse de l'onde électromagnétique rayonnée	44
5. Puissance rayonnée par un dipôle oscillant	45
<i>Application 3 (extrait ENS Cachan 91) : Pourquoi le ciel est-il bleu ?</i>	47

<b>IV. Ondes électromagnétiques dans un milieu</b>	<b>51</b>
1. Excitations électrique et magnétique	52
2. Nouvelle formulation des équations de Maxwell	53
3. Equations de Maxwell dans un milieu homogène, linéaire et isotrope	54
4. Etude d'un diélectrique	54
<i>Application 1 : Le modèle de l'électron élastiquement lié</i>	56
<i>Commentaire : Propriétés optiques d'un diélectrique</i>	59
5. Etude d'un conducteur métallique	61
5.a. Conductivité électrique d'un métal	61
5.b. Densité volumique de charges libres	63
5.c. Propriétés du conducteur parfait	64
5.d. Propagation d'une OEPPM dans un conducteur métallique réel non magnétique	65
<i>Application 2 : Calcul du champ magnétique dans un conducteur métallique réel</i>	67
6. Etude d'un plasma	68
<i>Application 3 (extrait Centrale 94) : Propagation d'ondes électromagnétiques dans un plasma.</i>	68
<i>Indice de l'ionosphère</i>	72
<i>Commentaire : Propriétés de l'ionosphère terrestre</i>	72
<i>Application 4 (extrait ENS Cachan 91) : Oscillations libres d'un plasma</i>	73
<b>V. Réflexion des ondes électromagnétiques</b>	<b>77</b>
1. Conditions de passage du champ électromagnétique à l'interface entre deux milieux	77
1.a. Composantes normales	77
1.b. Composantes tangentielles	78
2. Réflexion normale d'une OEPPM polarisée rectilignement sur un conducteur parfait plan	80
2.a. Caractéristiques de l'onde réfléchie	81
2.b. Courants surfaciques	82
2.c. Superposition des deux ondes	82
2.d. Pression de radiation	84
<i>Application 1 : Approche corpusculaire de la pression de radiation</i>	86
3. Propagation d'une onde électromagnétique dans un guide d'ondes métallique rectangulaire	87
3.a. Etude du champ électrique	88
3.b. Relation de dispersion	90
3.c. Etude du champ magnétique	91
3.d. Transmission de l'énergie	92
<i>Application 2 : Vitesse de propagation de l'énergie électromagnétique</i>	92
<i>Application 3 (d'après Centrale 85) : Réflexions internes</i>	93
<i>Application 4 : Etude d'une cavité résonante</i>	96
4. Réflexion et réfraction à l'interface entre deux diélectriques	98
4.a. Lois de Snell-Descartes	99
4.b. Réflexion et réfraction en incidence normale	100
<i>Application 5 : Pouvoirs de réflexion et de transmission à l'interface vide-conducteur réel</i>	103

<b>VI. Phénomènes de propagation dispersifs</b>	<b>107</b>
1. Battements	107
2. Paquet d'ondes	109
3. Relation entre vitesse de groupe et vitesse de phase	111
<i>Application : Equation d'onde de Klein-Gordon</i>	112
4. Absorption	112
<b>VII. Oscillateurs mécaniques couplés</b>	<b>115</b>
1. Relation de dispersion	116
2. Approximation continue	118
<i>Commentaire : Vitesse du son dans un solide cristallin</i>	119
3. Modes de vibration	119
<i>Application : Pendules couplés</i>	120
<b>VIII. Ondes transversales dans une corde vibrante</b>	<b>123</b>
1. Equation d'onde	124
2. Solutions stationnaires	125
<i>Application 1 (extrait ESEM T-TA 91) : Etude des cordes d'une guitare</i>	127
3. Approche énergétique de la vibration d'une corde	130
<i>Application 2 (d'après ENS Ulm C 87) : Aspects énergétiques d'une corde vibrante</i>	130
4. Spectre sonore d'une corde vibrante	133
<i>Application 3 (d'après S<sup>f</sup> Cyr 87) : Spectres sonores d'un piano et d'un clavecin</i>	134
<i>Commentaire : A propos de la gamme naturelle</i>	136
<b>IX. Acoustique</b>	<b>139</b>
1. Le modèle du fluide continu parfait	139
2. Equations de continuité et d'Euler	140
2.a. Equation de continuité	141
2.b. Equation d'Euler	142
3. Equations de propagation des ondes sonores	143
3.a. Equation de continuité	144
3.b. Equation d'Euler	144
3.c. Vitesse du son	145
3.d. Etablissement des équations de propagation	146
3.e. Solutions	147
<i>Application 1 : Relation entre surpression et dilatation</i>	149
3.f. Impédance acoustique caractéristique	149
4. Réflexion des ondes acoustiques	150
4.a. Tuyau sonore fermé par une paroi rigide	150

4.b. Tuyau sonore ayant une extrémité ouverte	151
4.c. Impédance acoustique complexe	152
<i>Application 2 : Réflexion et transmission dues à un changement de section</i>	154
<i>Application 3 : Impédance acoustique d'une cavité</i>	156
5. Aspects énergétiques en acoustique	157
6. Propagation d'une onde plane dans un pavillon	159
6.a. Equations de propagation	160
6.b. Pavillon exponentiel	162
<i>Application 4 : Vitesse de phase et vitesse de groupe dans un pavillon exponentiel</i>	163
7. Ondes sphériques	164
<b>X. Propagation dans une ligne électrique</b>	<b>167</b>
1. Equation des télégraphistes	168
2. Impédance complexe en un point de la ligne	170
3. Ligne sans perte	170
<i>Application (extrait Centrale 93) : Onde de courant dans une ligne électrique</i>	172
<b>Problème récapitulatif (X 91) : Ondes de spin</b>	<b>177</b>
Enoncé	177
Corrigé	180
<i>Commentaire : Le moment magnétique de l'atome</i>	182
<i>Commentaire : Le ferromagnétisme</i>	184