

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
<b>Chapitre 1. Guides d'ondes</b> . . . . .	7
1.1. Les divers types de guides d'ondes . . . . .	7
1.2. Description d'une onde guidée . . . . .	8
1.2.1. Équation de propagation et expressions des champs . . . . .	8
1.2.2. Classification des modes de propagation . . . . .	12
1.3. Modes TE et TM dans un guide conducteur creux . . . . .	14
1.3.1. Guide d'ondes rectangulaire . . . . .	15
1.3.1.1. Ondes TM ( $H_z = 0, E_z \neq 0$ ) . . . . .	16
1.3.1.2. Ondes TE ( $E_z = 0, H_z \neq 0$ ) . . . . .	25
1.3.2. Coefficient d'atténuation dans un guide d'ondes à pertes . . . . .	31
1.3.3. Propagation entre deux plans parallèles . . . . .	36
1.3.3.1. Ondes TM ( $H_z = 0, E_z \neq 0$ ) . . . . .	36
1.3.3.2. Ondes TE ( $E_z = 0, H_z \neq 0$ ) . . . . .	39
1.3.4. Guide d'ondes cylindrique . . . . .	40
1.3.4.1. Modes TM ( $H_z = 0, E_z \neq 0$ ) . . . . .	40
1.3.4.2. Modes TE ( $E_z = 0, H_z \neq 0$ ) . . . . .	43
1.4. Guides d'ondes diélectriques . . . . .	44
1.4.1. Propagation entre deux plans diélectriques parallèles . . . . .	44
1.4.1.1. Solutions TM . . . . .	45
1.4.1.2. Solutions TE . . . . .	50
1.4.2. Fibre optique à saut d'indice . . . . .	52
1.4.3. Modes à symétrie azimutale . . . . .	53
1.4.4. Modes avec dépendance azimutale . . . . .	55
1.4.5. Modes de propagation dans les fibres à faible guidage . . . . .	62
1.4.5.1. Relation de dispersion . . . . .	62

1.4.5.2. Dégénérescence des modes . . . . .	63
1.4.5.3. Expressions des composantes des champs . . . . .	63
1.4.5.4. Construction des modes linéairement polarisés $LP_{mn}$ . . . . .	65
1.5. Cavités résonantes . . . . .	68
1.5.1. Cavité résonante métallique rectangulaire . . . . .	68
1.5.2. Cavité résonante cylindrique . . . . .	73
<b>Chapitre 2. Lignes de transmission . . . . .</b>	<b>79</b>
2.1. Lignes de transmission à plaques parallèles . . . . .	79
2.2. Formulation générale . . . . .	81
2.3. Modélisation des lignes de transmission sans pertes . . . . .	87
2.4. Modélisation d'une ligne de transmission avec pertes . . . . .	88
2.5. Équations d'onde et solutions sinusoïdales . . . . .	90
2.6. Effets des pertes dans les lignes de transmission . . . . .	94
2.6.1. Limite des faibles pertes . . . . .	95
2.6.2. Lignes sans distorsion . . . . .	96
2.6.3. Solutions à impédance arbitraire en sortie de ligne . . . . .	97
2.7. Effet de résonance dans une ligne de transmission . . . . .	103
2.8. Aspect énergétique dans une ligne de transmission . . . . .	104
<b>Chapitre 3. Rayonnement électromagnétique . . . . .</b>	<b>107</b>
3.1. Potentiels retardés . . . . .	107
3.1.1. Équations d'ondes inhomogènes . . . . .	107
3.1.2. Solutions des équations d'ondes inhomogènes . . . . .	109
3.1.3. Solutions par analyse de Fourier . . . . .	110
3.2. Rayonnement par une source oscillante localisée . . . . .	114
3.2.1. Rayonnement par un dipôle électrique . . . . .	121
3.2.2. Rayonnements du moment magnétique et du quadripôle électrique . . . . .	128
3.2.3. Rayonnement multipolaire d'ordre $l \geq 2$ . . . . .	135
3.2.4. Énergie et moment angulaire des champs multipolaires . . . . .	141
3.3. Rayonnement par une source étendue . . . . .	144
<b>Chapitre 4. Rayonnement par des charges ponctuelles . . . . .</b>	<b>153</b>
4.1. Potentiel de Liénard-Wiechert . . . . .	153
4.2. Champs d'une charge ponctuelle en mouvement . . . . .	155
4.3. Rayonnement d'une charge en mouvement uniforme . . . . .	160
4.4. Rayonnement d'une charge en mouvement lent . . . . .	161
4.5. Rayonnement par une charge relativiste . . . . .	162
4.5.1. Vitesse et accélération parallèles . . . . .	163
4.5.2. Accélération perpendiculaire à la vitesse . . . . .	167

4.5.3. Cas général . . . . .	174
4.6. Distribution par fréquence de l'énergie rayonnée . . . . .	179
4.7. Charge en mouvement circulaire instantanée . . . . .	186
4.8. Particule en mouvement circulaire . . . . .	192
4.9. Diffusion de Thomson du rayonnement . . . . .	198
4.10. Rayonnement de Tcherenkov . . . . .	206
<b>Chapitre 5. Diffraction de Kirchhoff . . . . .</b>	<b>211</b>
5.1. Problème de la valeur initiale – représentation intégrale de Kirchhoff . . . . .	211
5.1.1. Fonction de Green pour l'équation d'onde dépendante du temps . . . . .	211
5.1.2. Problème de Cauchy . . . . .	214
5.1.3. Solution de Poisson . . . . .	216
5.1.4. Représentation de Kirchhoff du champ . . . . .	217
5.2. Intégrale de Kirchhoff pour la diffraction . . . . .	217
5.3. Forme vectorielle de l'intégrale de Kirchhoff . . . . .	222
5.4. Principe de Babinet des écrans complémentaires . . . . .	227
5.5. Diffraction par une ouverture circulaire . . . . .	231
5.6. Diffusion par une sphère conductrice dans la limite des courtes longueurs d'onde . . . . .	242
<b>Chapitre 6. Théorie de la relativité restreinte . . . . .</b>	<b>253</b>
6.1. Postulats de la relativité restreinte et transformation de Lorentz . . . . .	253
6.2. Contraction des longueurs de FitzGerald-Lorentz, dilatation du temps et temps propre . . . . .	260
6.3. Loi d'addition des vitesses . . . . .	262
6.4. Formalisme quadridimensionnel . . . . .	267
6.4.1. Diagramme de Brehme-Lorentz . . . . .	267
6.4.2. Transformations et groupe de Lorentz . . . . .	272
6.4.3. Coordonnées contravariantes . . . . .	275
6.4.4. Coordonnées covariantes . . . . .	276
6.4.5. Changement de base . . . . .	277
6.4.6. Quadrivecteurs vitesse, impulsion et accélération . . . . .	279
6.4.7. Tenseurs . . . . .	282
6.4.8. Dérivation, analyse vectorielle et intégration . . . . .	285
6.5. Dynamique relativiste . . . . .	287
6.5.1. Lagrangien relativiste pour une particule libre . . . . .	287
6.5.2. Quadrivecteur énergie-impulsion . . . . .	289
6.5.3. Application aux collisions . . . . .	292
6.5.4. Quadrivecteur force de Minkowski . . . . .	295

<b>Chapitre 7. Formulation covariante</b> . . . . .	<b>299</b>
7.1. Un mot sur la théorie des champs . . . . .	299
7.1.1. Passage d'un système discret vers un système continu . . . . .	299
7.1.2. Système continu . . . . .	300
7.1.3. Équations d'Euler-Lagrange . . . . .	301
7.1.4. Formalisme d'Hamilton . . . . .	303
7.1.5. Invariance de jauge . . . . .	305
7.1.6. Symétrie infinitésimale . . . . .	305
7.1.7. Tenseur énergie-impulsion d'un champ . . . . .	306
7.1.8. Tenseur de moment angulaire . . . . .	308
7.1.9. Interaction électromagnétique . . . . .	308
7.2. Particule libre dans un champ . . . . .	309
7.2.1. Quadrivecteur potentiel . . . . .	309
7.2.2. Équation de la dynamique relativiste . . . . .	310
7.2.3. Tenseur champ électromagnétique . . . . .	313
7.2.4. Force de Lorentz . . . . .	315
7.2.5. Changement de référentiels pour le champ . . . . .	316
7.2.6. Invariants du champ électromagnétique . . . . .	320
7.2.7. Premier groupe d'équations de Maxwell . . . . .	321
7.3. Sources du champ : deuxième groupe d'équations de Maxwell . . . . .	322
7.3.1. Action d'interaction entre un champ et un courant . . . . .	323
7.3.2. Action du champ libre (auto-interaction du champ) . . . . .	324
7.3.3. Magnétisation et polarisation . . . . .	327
7.4. Tenseur énergie-impulsion . . . . .	327
7.4.1. Loi de conservation . . . . .	330
7.4.2. Composante temporelle : conservation de l'énergie . . . . .	330
7.4.3. Composantes spatiales : conservation de la quantité de mouvement . . . . .	331
7.5. Masse électromagnétique . . . . .	334
7.6. Force de réaction de rayonnement par le bilan d'énergie . . . . .	336
7.7. Modèle d'Abraham-Lorentz . . . . .	341
7.8. Équation du mouvement d'Abraham-Lorentz . . . . .	349
7.9. Équation de rayonnement de Dirac . . . . .	350
7.10. Et l'histoire continue... . . . . .	351
 <b>Bibliographie</b> . . . . .	 <b>353</b>
 <b>Index</b> . . . . .	 <b>359</b>
 <b>Sommaire de Introduction à l'électrodynamique classique 1</b> . . . . .	 <b>365</b>
 <b>Sommaire de Introduction à l'électrodynamique classique 2</b> . . . . .	 <b>367</b>