

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
<b>Chapitre 1. Champ électrostatique dans le vide</b> . . . . .	7
1.1. Charge électrique . . . . .	7
1.2. Force électrostatique . . . . .	8
1.2.1. Distribution sur une ligne (linéique) ou une courbe (curviligne) . . . . .	10
1.2.2. Distribution sur une surface (surfaique) . . . . .	14
1.2.3. Distribution sur un volume (volumique) . . . . .	15
1.3. Champ électrique . . . . .	18
1.3.1. Distribution à symétrie sphérique . . . . .	22
1.3.1.1. Sphère chargée en volume . . . . .	22
1.3.1.2. Sphère chargée en surface . . . . .	24
1.3.2. Modèle de Thomson . . . . .	25
1.3.3. Symétrie d'un champ électrique . . . . .	26
1.3.4. Lignes et tubes de champ . . . . .	31
1.4. Potentiel électrique . . . . .	34
1.5. Surfaces équipotentielles . . . . .	41
1.6. Théorème de Gauss . . . . .	44
1.6.1. Forme intégrale . . . . .	45
1.6.2. Forme différentielle . . . . .	49
1.6.3. Théorème de Helmholtz-Hodge . . . . .	50
1.6.4. Applications . . . . .	53
1.6.5. Maximum et minimum de potentiels . . . . .	62
1.7. Champ électrique à la traversée d'une nappe chargée . . . . .	63
1.8. Modèle de l'atome d'hydrogène . . . . .	68

<b>Chapitre 2. Conducteurs en équilibre</b> . . . . .	<b>71</b>
2.1. Conducteurs . . . . .	71
2.2. Équilibre électrostatique . . . . .	72
2.3. Pression électrostatique . . . . .	78
2.4. Influence entre conducteurs en équilibre électrostatique . . . . .	81
2.4.1. Influence partielle . . . . .	81
2.4.2. Théorème des éléments correspondants . . . . .	83
2.4.3. Mise à la terre . . . . .	84
2.4.4. Influence totale . . . . .	85
2.4.5. Coefficients d'influence électrostatique . . . . .	87
2.5. Condensateurs . . . . .	92
2.5.1. Définition et capacité du condensateur . . . . .	92
2.5.2. Condensateur à armatures rapprochées . . . . .	96
2.5.3. Exemples de condensateurs . . . . .	97
2.5.4. Associations de condensateurs . . . . .	104
2.5.5. Condensateurs à diélectriques . . . . .	107
2.6. Énergie emmagasinée dans un condensateur . . . . .	110
2.7. Forces d'attraction entre les armatures d'un condensateur . . . . .	113
2.7.1. Calcul de la force à partir de la pression . . . . .	113
2.7.2. Calcul de la force à partir de l'expression de l'énergie . . . . .	116
<b>Chapitre 3. Electrocinétique</b> . . . . .	<b>121</b>
3.1. Conduction dans les solides . . . . .	121
3.2. Densité et intensité de courant . . . . .	122
3.3. Conservation de la charge . . . . .	128
3.4. Première loi de Kirchhoff, approximation des régimes quasi stationnaires . . . . .	130
3.5. Modèle de conduction dans un gaz chargé . . . . .	131
3.5.1. Équation de dérive-diffusion . . . . .	132
3.5.2. Loi d'Ohm locale . . . . .	137
3.5.3. Supraconducteurs . . . . .	139
3.6. Résistance . . . . .	140
3.6.1. Résistance entre deux électrodes parallèles . . . . .	140
3.6.2. Association de résistances . . . . .	144
3.6.3. Effet Joule . . . . .	146
3.7. Circuits électriques en régime continu . . . . .	148
3.7.1. Caractéristiques d'un dipôle . . . . .	150
3.7.2. Association de dipôles . . . . .	153
3.7.3. Résolution des circuits électriques en régime continu . . . . .	154
3.8. Temps de relaxation . . . . .	165
3.8.1. Décharge d'une sphère uniformément chargée . . . . .	165

3.8.2. Charge et décharge à l'interface entre deux matériaux . . . . .	167
3.8.3. Modélisation d'une électrode ohmique . . . . .	170
3.9. Terre-atmosphère comme condensateur sphérique . . . . .	174
3.10. Charge d'espace . . . . .	175
3.10.1. La diode à vide, conducteur non ohmique . . . . .	176
3.10.2. Charges spatiales dans les matériaux . . . . .	179
<b>Chapitre 4. Champ magnétique dans le vide . . . . .</b>	<b>183</b>
4.1. Force sur une charge mobile . . . . .	183
4.1.1. Origine théorique de la loi de Lorentz . . . . .	183
4.1.2. Force de Lorentz . . . . .	185
4.1.3. Mouvement d'une charge dans un champ magnétique uniforme . . . . .	186
4.1.3.1. Mouvement dans le repère de Frénet . . . . .	186
4.1.3.2. Mouvement en coordonnées cartésiennes . . . . .	188
4.1.4. Transformation de $\vec{E}$ et $\vec{B}$ dans un changement de référentiels . . . . .	189
4.1.5. Effet Hall . . . . .	189
4.2. Champ magnétique, loi de Biot et Savart . . . . .	191
4.2.1. Propriétés de symétrie du champ magnétique . . . . .	194
4.2.2. Exemples de calculs du champ magnétique . . . . .	195
4.3. Conservation du flux magnétique . . . . .	206
4.4. Force de Laplace . . . . .	207
4.4.1. Définitions . . . . .	207
4.4.2. Force de Laplace entre deux conducteurs . . . . .	208
4.4.3. Travail de la force de Laplace . . . . .	211
4.4.4. Théorème de Maxwell . . . . .	213
4.4.5. Expression de l'énergie potentielle magnétique . . . . .	215
4.5. Théorème d'Ampère . . . . .	215
4.5.1. Équation de Maxwell-Ampère . . . . .	215
4.5.2. Forme intégrale de l'équation de Maxwell-Ampère . . . . .	217
4.5.3. Quelques applications du théorème d'Ampère . . . . .	218
4.6. Continuité du champ magnétique à l'interface d'une nappe . . . . .	224
4.7. Potentiel vecteur $\vec{A}$ . . . . .	226
4.7.1. Unicité de $\vec{A}$ . . . . .	226
4.7.2. Potentiel vecteur d'une distribution de courant . . . . .	228
4.7.3. Potentiel vecteur et flux magnétique . . . . .	236
4.8. Potentiel magnétique scalaire . . . . .	239
<b>Chapitre 5. Moments électriques et magnétiques . . . . .</b>	<b>243</b>
5.1. Dipôle électrique . . . . .	243
5.1.1. Potentiel et champ créés par un dipôle électrique . . . . .	244
5.1.2. Surfaces équipotentielles et lignes de champ . . . . .	247

5.1.3. Moment dipolaire d'une distribution de charges . . . . .	247
5.2. Moment multipolaire électrostatique . . . . .	249
5.2.1. Développement à l'ordre 3 en $\frac{1}{r}$ . . . . .	249
5.2.2. Forme tensorielle du développement multipolaire . . . . .	254
5.2.3. Développement multipolaire et fonctions sphériques . . . . .	256
5.2.4. Décomposition sur les harmoniques sphériques . . . . .	257
5.2.5. Dipôle dans un champ électrique extérieur uniforme . . . . .	260
5.2.6. Dipôle dans un champ électrique extérieur non uniforme . . . . .	261
5.2.7. Énergie potentielle . . . . .	264
5.3. Moment dipolaire magnétique . . . . .	265
5.3.1. Expressions du moment magnétique . . . . .	265
5.3.2. Champ magnétique créé par un moment magnétique . . . . .	271
5.3.3. Développement multipolaire du potentiel vecteur . . . . .	273
5.3.4. Interaction du moment magnétique avec un champ extérieur . . . . .	274
5.3.5. Couple agissant sur le circuit . . . . .	275
5.3.6. Rapport gyromagnétique . . . . .	276
5.3.7. Moment magnétique de l'atome d'hydrogène . . . . .	277

**Chapitre 6. Problèmes aux limites pour les potentiels statiques dans le vide . . . . . 279**

6.1. Introduction . . . . .	279
6.1.1. Équation de Laplace . . . . .	279
6.1.2. Théorème d'unicité . . . . .	281
6.2. Équation de Laplace 1D . . . . .	281
6.3. Équation de Laplace 2D . . . . .	282
6.3.1. Coordonnées cartésiennes 2D . . . . .	283
6.3.1.1. Solutions à constante de séparation nulle, $k^2 = 0$ . . . . .	283
6.3.1.2. Solutions à constante de séparation non nulle, $k^2 \neq 0$ . . . . .	286
6.3.1.3. Méthode générale de résolution . . . . .	287
6.3.2. Coordonnées polaires . . . . .	293
6.3.3. Coordonnées sphériques avec symétrie axiale le long de $Oz$ . . . . .	306
6.3.4. Résolution numérique 2D . . . . .	312
6.3.5. Résolution dans le plan complexe . . . . .	316
6.3.5.1. Fonction à variable complexe (résultats et rappels) . . . . .	316
6.3.5.2. Potentiel complexe . . . . .	325
6.3.5.3. Forme complexe du théorème de Gauss . . . . .	329
6.3.5.4. Capacité . . . . .	333
6.3.5.5. Transformation conforme . . . . .	336
6.3.5.6. Théorème de cartographie de Riemann . . . . .	337
6.3.5.7. Problèmes de Dirichlet et Neumann par les transformations conformes . . . . .	348

---

6.4. Équation de Laplace 3D . . . . .	355
6.4.1. Coordonnées cartésiennes 3D . . . . .	355
6.4.2. Coordonnées cylindriques . . . . .	356
6.4.3. Coordonnées sphériques . . . . .	362
6.4.4. Coordonnées cylindrico-paraboliques . . . . .	369
6.4.5. Coordonnées paraboloidales . . . . .	370
<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>373</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>379</b>
<b>Sommaire de <i>Introduction à l'électrodynamique classique 2</i> . . . . .</b>	<b>385</b>
<b>Sommaire de <i>Introduction à l'électrodynamique classique 3</i> . . . . .</b>	<b>389</b>