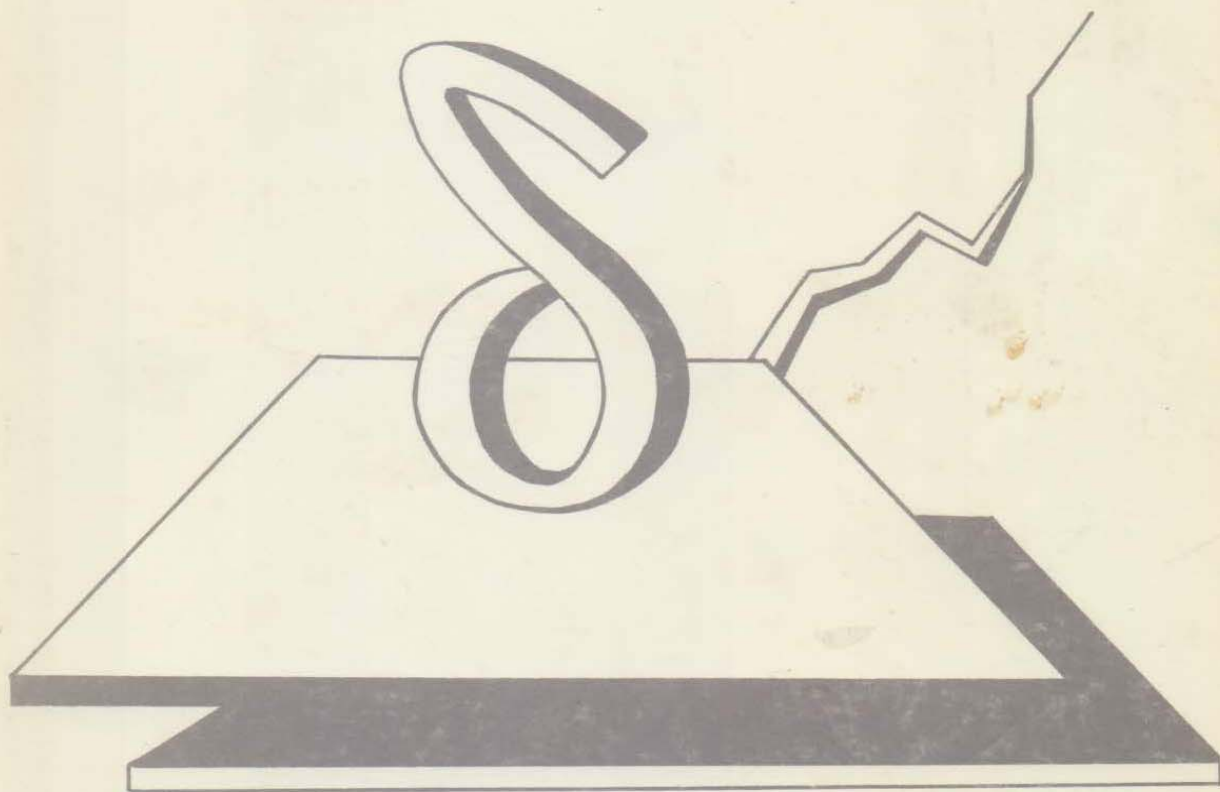


# ÉLECTROMAGNÉTISME CLASSIQUE ET THÉORIE DES DISTRIBUTIONS

Louis PINCHARD



ellipses

# TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	XVI
PRINCIPAUX SYMBOLES UTILISES	XVIII
<b>PREMIERE PARTIE : METHODES MATHEMATQUES</b>	<b>1</b>
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES DISTRIBUTIONS	3
1. Définitions et propriétés élémentaires	3
11. Distributions scalaires	3
111. Espace des fonctions-test $\mathcal{D}(\mathbb{R}^n)$	3
112. Distributions sur $\mathbb{R}^n$	4
i) Définition	4
ii) Translatée	5
iii) Continuité des distributions pour des fonctions-test dépendant d'un paramètre	5
iv) Distributions régulières	6
v) Valeur principale	6
113. Espaces de distributions particuliers	6
i) Distributions d'ordre fini	6
ii) Distributions à support borné	7
iii) Distributions tempérées	7
iv) Inclusion des espaces de fonction-test et de distributions	8
v) Espace $\mathcal{D}'(O)$ (distributions sur un ouvert de $\mathbb{R}^n$ )	8
114. Convergence des distributions	8
i) Convergence faible dans $\mathcal{D}'(\mathbb{R}^n)$	8
ii) Convergence dans le cas d'un paramètre	9
12. Distributions vectorielles	10
121. Distribution de $\vec{\mathcal{D}}'(\mathbb{R}^n)$	10
122. Espace des fonctions-test $\vec{\mathcal{D}}(\mathbb{R}^n)$	10
123. Action des distributions vectorielles sur les fonctions-test vectorielles	11
13. Produit d'une distribution par une fonction	11
131. Définition du produit d'une distribution par une fonction	11
i) Définition générale	11

ii) Produit de distributions scalaires ou vectorielles par des fonctions scalaires ou vectorielles	12
132. Cas des suites de fonctions et des suites de distributions	12
14. Support d'une distribution	13
141. Généralités	13
i) Définition	13
ii) Distributions équivalentes	13
142. Exemples	14
i) Distributions à support ponctuel, linéique ou surfacique	14
ii) Sources du potentiel	14
iii) Distributions à support le cône d'ondes d'avenir	15
15. Transformation de Fourier et séries de Fourier des distributions	15
151. Transformation de Fourier des distributions	15
152. Séries de Fourier des distributions	16
i) Distributions périodiques et distributions sur le cercle	16
ii) Décomposition d'une distribution périodique en série de Fourier	17
2. Dérivation des distributions	18
21. Généralités	18
211. Notion de dérivée d'une distribution	18
212. Propriétés générales	18
22. Propriétés particulières	19
221. Suites de distributions, et distributions dépendant d'un paramètre	19
i) Dérivée d'une suite de distributions	19
ii) Dérivée d'une distribution par rapport à un paramètre	19
222. Fonctions présentant une discontinuité sur une surface	19
223. Transformée de Fourier des distributions dérivées	20
3. Convolution des distributions	20
31. Généralités	20
311. Produit direct (ou tensoriel) des distributions	20
i) Définitions et propriétés	20
ii) Distributions indépendantes d'une variable	21
312. Convolution	22
i) Définition	22
ii) Conditions suffisantes d'existence	22
iii) Convolution des distributions vectorielles	23
iv) Algèbre de convolution	24
32. Propriétés du produit de convolution	24
321. Propriétés générales	24
322. Produit de convolution, transformée de Fourier et séries de Fourier	24
i) Transformée de Fourier d'un produit de convolution	24
ii) Série de Fourier d'un produit de convolution de distributions sur le cercle	25
323. Convolution et dérivation	25
324. Equations différentielles (ou aux dérivées partielles) et convolution	26
i) Equations aux dérivées partielles et convolution usuelle	26
ii) Equations aux dérivées partielles et convolution de Volterra	26
iii) Tableau récapitulatif	27

325. La convolution comme combinaison linéaire de translatées	27
326. Convolution et filtre linéaire	28
33. Régularisation des distributions par convolution	28
331. Effets régularisants de la convolution	29
i) Convolution par des fonctions	29
ii) Convolution par des distributions	30
332. Approximation des distributions par des suites de fonctions	30
i) Généralités	30
ii) Suites régularisantes usuelles	31
iii) Approximation des fonctions continues par des suites de fonctions dérivables	32
iv) Approximation des distributions à support borné	32
v) Moyenne sphérique d'une distribution	32
4. Changement de variables pour les distributions	33
4.1. Notions générales	33
411. Cas des distributions scalaires	33
412. Cas de distributions vectorielles	34
42. Distributions de Dirac sur une variété	35
421. Morceau élémentaire de variété à bord	35
i) Définition	35
ii) Dimension et bord	35
422. Système de coordonnées locales attachées à une variété	36
423. Distributions de Dirac sur des variétés (ou distributions "concentrées")	37
424. Distributions $\delta(D)$ et formes différentielles extérieures	38
i) Formes différentielles à coefficients distributions ("courants")	38
ii) Forme différentielle relative à $(D)$ ("courant" sur $(D)$ )	39
iii) Exemples	40
CHAPITRE II : DISTRIBUTIONS UTILISEES EN ELECTROMAGNETISME	43
1. Distributions de Dirac $\delta(D)$ dans $\mathbb{R}^3$	43
11. Définitions et propriétés fondamentales	43
111. Types de variétés considérées	43
i) Notations	43
ii) Orientation	44
112. Distributions de Dirac $\delta(D)$ dans $\mathbb{R}^3$	44
i) Définitions	44
ii) Effet d'un changement de variable	45
iii) Formes différentielles extérieures associées aux distributions de Dirac dans $\mathbb{R}^3$	45
113. Potentiels et champs newtoniens	46
i) Expression sous forme d'intégrale	46
ii) Comportement des fonctions potentiel et champ	48
12. Régularisation des distributions $\delta(D)$ dans $\mathbb{R}^3$	48
121. Propriété générale	48
122. Intégration sur un volume, des régularisées de $\delta(D)$	49
i) Notion d'angle solide relatif à une surface	49
ii) Intégration sur un volume, d'une suite régularisante usuelle	50

iii) Intégration sur un volume, des régularisées de $\delta(D)$	51
123. Flux à travers une surface, des régularisées de $\delta(D)$	51
i) Cas d'une variété de dimension 1 (arc de courbe (C))	52
ii) Cas d'une variété de dimension 2 (surface)	53
124. Application de l'expression de Maxwell pour les forces électrostatiques, au calcul de la limite de régularisées	54
13. Approximation des distributions $\delta(D)$ par des combinaisons linéaires de distributions	55
131. Approximation de $\delta(D)$ par des combinaisons linéaires de distributions de Dirac à support ponctuel	55
132. Approximation de $\delta(D)$ par des combinaisons linéaires de distributions de Dirac à support linéique	56
i) Propriété d'approximation.	56
ii) Notion de circuit	57
iii) Types de circuits utilisés en électromagnétisme	58
2. Applications des propriétés de la dérivation des distributions dans $\mathbb{R}^3$	58
21. Dérivation dans $\mathbb{R}^3$	58
211. Opérateur $\vec{\nabla}$ (nabla)	58
i) Propriétés principales	58
ii) Opérateur $\vec{\nabla}$ et formes différentielles extérieures	59
212. Cas des fonctions discontinues sur une surface de $\mathbb{R}^3$	60
i) Propriétés générales	60
ii) Cas où l'équation de la surface de discontinuité dépend d'un paramètre	61
iii) Propriétés du laplacien dans $\mathbb{R}^3$	61
213. Solution élémentaire de l'équation de Poisson	61
i) Laplacien de $\nabla^2(1,r)$	61
ii) Fonction de Green de l'équation de Poisson dans le cas de solutions nulles à l'infini	62
214. Etude de la continuité du potentiel et du champ de simple couche	62
i) Potentiel	62
ii) Champ	63
22. Dérivation dans $\mathbb{R}^3$ en coordonnées curvilignes orthogonales	63
221. Cas du gradient	63
222. Cas de la divergence	64
223. Cas du rotationnel	64
224. Cas du laplacien	65
23. Dérivation des distributions $\delta(D)$	65
231. Relations entre les dérivées des distributions de Dirac de support (D) et les distributions de Dirac de support ( $\partial D$ )	65
i) Cas où $\dim(D) = 1$	65
ii) Cas où $\dim(D) = 2$	65
iii) Cas où $\dim(D) = 3$	66
232. Application à l'angle solide	66
233. Dérivation de $\delta(D)$ et différentiation extérieure	67

i) Tableau relatif à la dérivation de $\delta(D)$	67
ii) Tableau relatif à la différentiation des formes $\Omega_{(D)}$	68
234. Distribution $\delta_{(0)}$ , dérivation et convolution	69
i) Identités	69
ii) Expression du gradient, de la divergence et du rotationnel sous forme de limite	69
235. Double couche et double ligne	70
i) Double couche	70
ii) Double ligne	72
236. Distribution $H \nabla(1,r) \delta_{(S_{r=ct})}$	73
i) Propriétés	73
ii) Fonction de Green de l'équation des ondes	74
237. Potentiels retardés	75
24. Distributions dérivant d'un potentiel. Développement en série des distributions	76
241. Distributions dérivant d'un potentiel	76
242. Développement en série de Taylor des distributions	77
i) Cas des distributions de $\mathbb{R}$	77
ii) Cas des distributions de $\mathbb{R}^3$	77
<b>DEUXIEME PARTIE : GENERALITES SUR L'ELECTROMAGNETISME</b>	<b>79</b>
CHAPITRE III : EQUATIONS GENERALES DE L'ELECTROMAGNETISME AU SENS DES DISTRIBUTIONS	81
1. Sources et champs	81
11. Equations de Maxwell	81
111. Enoncés	81
i) Sources électromagnétiques simples et champs de conservation	81
ii) Champ électromagnétique	82
112. Cas des régimes statiques	83
i) Electrostatique	83
ii) Magnétostatique	83
12. Conditions aux limites	83
121. Conditions aux limites sur une surface de discontinuité fixe dans l'espace	84
i) Hypothèses sur les sources et les champs	84
ii) Expression des conditions aux limites	84
122. Cas d'une frontière en mouvement	85
13. Propriétés électromagnétiques des milieux	86
131. Relations fondamentales	86
132. Equations de Maxwell pour les milieux non polarisés et non aimantés	86
2. Potentiels	87
21. Définition des potentiels	87
211. Potentiel vecteur magnétique	87
212. Potentiel scalaire électrique	87
22. Equations de Poisson	88
221. Condition de jauge de Lorentz	88

222. Equations de Poisson dans le cas général	88
223. Equation de continuité générale	89
23. Equations de Poisson particulières	89
231. Milieux ne comportant que des charges simples et des courants.	89
232. Régimes statiques	90
233. Potentiel de Hertz	90
3. Forces et énergie. Formulation différentielle de l'électro-magnétisme	91
31. Relations concernant les forces et l'énergie	91
311. Forces électromagnétiques	91
312. Cas des régimes statiques	92
32. Energie	92
321. Puissance dissipée	92
322. Energie électromagnétique spatiale	92
323. Vecteur de Poÿnting	93
324. Equation de continuité énergétique	93
33. Equations de l'électromagnétisme et formes différentielles extérieures	93
331. Expression des grandeurs électromagnétiques comme formes différentielles extérieures de $\mathbb{R}^3$	94
332. Expression des lois de l'électromagnétisme	94
CHAPITRE IV : FORMULATION INTEGRALE DES EQUATIONS DE L'ELECTRO-MAGNETISME ET THEORIE DES DISTRIBUTIONS	97
1. Formulation intégrale des équations de l'électromagnétisme	97
11. Grandeurs électromagnétiques de type "résultat expérimental"	98
111. Résultats liés aux sources : charge électrique $Q$ et intensité du courant électrique $I$	98
112. Résultats liés aux champs : tension électrique $\Theta$ et flux magnétique $\Phi$	99
12. Formulation intégrale des équations de l'électromagnétisme	100
121. Loi de conservation des charges et des courants	100
122. Lois de l'induction	100
i) Relations entre tension et flux magnétique	100
ii) Conservation du flux magnétique	101
123. Lois relatives à l'énergie	102
2. Formulation intégrale et distributions	103
21. Généralités	103
211. Exemple du champ électrique	103
212. Principe d'une formulation "fonctionnelle" de l'électromagnétisme	104
i) Notions de "schéma fonctionnel"	104
ii) Equivalence entre formulation intégrale et formulation fonctionnelle	105
iii) Signification géométrique des détecteurs	105
213. Propriétés du schéma fonctionnel	106
i) Conventions	106
ii) Unicité des grandeurs définies	106
iii) Dérivation dans le cadre du schéma fonctionnel	107
22. Formalisation fonctionnelle de l'électromagnétisme	107
221. Axiomatique fonctionnelle de l'électromagnétisme	108

222. Tableau récapitulatif de l'électromagnétisme	108
<b>TROISIEME PARTIE : ELECTROSTATIQUE</b>	<b>113</b>
CHAPITRE V : ELECTROSTATIQUE DES MILIEUX CONSTITUES DE CHARGES SIMPLES	115
1. Généralités	115
11. Potentiel et champ	115
111. Equations générales (rappel)	115
112. Solution de l'équation de Poisson	116
12. Forces et énergie	116
121. Equations générales	116
122. Forme locale de l'énergie	117
2. Répartitions de charges simples	118
21. Distributions charge et déplacement	118
211. Définitions	118
i) Conventions	118
ii) Ensembles discrets et ensembles continus de charges simples	119
212. Théorème de Gauss	119
i) Flux du vecteur déplacement à travers une surface	120
ii) Théorème de Gauss dans le cas ponctuel	120
iii) Théorème de Gauss dans le cas de répartitions quelconques	121
iv) Cas particuliers	122
22. Potentiels et champs	123
221. Cas ponctuel (charge simple ponctuelle) : $\dim(D) = 0$	123
i) Potentiel	123
ii) Champ	123
222. Cas général : $1 \leq \dim(D) \leq 3$	124
i) Expression sous forme d'intégrale	124
ii) Développement de Taylor des fonctions potentiel et champ	124
3. Etude de cas particuliers	125
31. Cas d'une surface électrisée	125
311. Potentiel	125
312. Champ	126
i) Discontinuité du champ à la traversée de la couche	126
ii) Valeur de la fonction champ à l'intérieur de la couche	126
iii) Expression des valeurs-limites du champ au voisinage de la surface	127
32. Cas d'un volume électrisé	127
321. Expression du potentiel et du champ volumiques	127
322. Comportement des fonctions potentiel et champ volumiques	128
i) Cas où $\rho$ est une fonction bornée sur ( $U_S$ )	128
ii) Cas où $\rho$ est une fonction de $\mathcal{D}(\mathbb{R}^3)$	128
iii) Cas où $\rho$ est à support non borné	128
323. Equation de Poisson dans le cas volumique	129
33. Potentiel à l'intérieur d'une cavité	129
331. Intégrale de l'énergie	129

332. Formule du potentiel	130
333. Problèmes de Dirichlet et de Neumann	131
i) Problème de Dirichlet	131
ii) Problème de Neumann	131
34. Potentiel logarithmique et champ associé	132
341. Equation de Poisson dans $\mathbb{R}^2$	132
342. Expression du potentiel et du champ dérivé	133
343. Propriétés particulières du potentiel logarithmique et du champ dérivé	134
i) Répartition de charges simples sur une surface cylindrique indéfinie	134
ii) Répartition de charges simples sur un volume cylindrique indéfini	134
4. Régularisation des répartitions de charge	135
41. Régularisation de la charge ponctuelle	135
411. Cas général	135
i) Potentiel	135
ii) Champ	135
412. Particule ponctuelle assimilée à une sphère pleine de faibles dimensions	136
i) Potentiel	136
ii) Champ	137
413. Particule ponctuelle assimilée à une sphère creuse de faibles dimensions	137
i) Potentiel	137
ii) Champ	138
414. Particule ponctuelle assimilée à une gaussienne	138
i) Régularisation de la charge	138
ii) Régularisation du potentiel et du champ	138
42. Régularisation de la simple couche électrisée	139
421. Continuité du potentiel et du champ régularisés	139
422. Etude du potentiel et du champ au voisinage de la couche	140
43. Régularisation des lignes et des volumes électrisés	141
431. Cas d'une courbe	141
432. Cas d'un volume	141
5. Forces et énergie en électrostatique	142
51. Loi de Coulomb. Forces électrostatiques exercées par une répartition surfacique sur elle-même	142
511. Loi de Coulomb	142
512. Forces exercées une répartition surfacique sur elle-même	142
i) Expression de Maxwell pour les forces électro-statiques dans le cas volumique	142
ii) Forces exercées par une surface électrisée sur elle-même	143
52. Energie propre d'une particule électrisée	144
521. Energie propre d'une répartition de charges, volumique	144
522. Expression générale de l'énergie propre d'une particule assimilée à un volume sphérique électrisé, de faibles dimensions	145
523. Cas particuliers	145

i) Particule assimilée à une boule uniformément électrisée	145
ii) Particule assimilée à une répartition de charge gaussienne	145
iii) Particule assimilée à une sphère creuse uniformément électrisée	146
CHAPITRE VI : ELECTROSTATIQUE DES MILIEUX POLARISES	147
1. Généralités sur l'électrostatique des milieux purement polarisés	147
11. Potentiel scalaire et champ	147
111. Equations générales (rappel)	147
112. Solution de l'équation de Poisson	148
12. Potentiel vecteur et déplacement	148
121. Définition	148
122. Courants fictifs de polarisation et équation de Poisson pour le potentiel vecteur	148
123. Expression du potentiel vecteur	149
13. Forces et énergie	149
131. Force	149
132. Energie électrostatique	149
2. Répartitions de doublets	150
21. Distribution polarisation	150
211. Polarisation des milieux constitués de doublets	150
212. Notations	150
22. Doublet, double ligne, double couche	151
221. Doublet	151
i) Notion de doublet	151
ii) Les répartitions de doublets comme limites d'ensembles finis de doublets ponctuels	152
iii) Définitions du doublet ponctuel à partir de charges simples	152
222. Double ligne et double couche	154
i) Double ligne	154
ii) Double couche	155
23. Charges de polarisation dans le cas de doublets tangentiels	156
231. Cas linéique	156
232. Cas surfacique	156
233. Cas volumique	157
234. Evaluation de la quantité de charges de polarisation	158
i) Cas général	158
ii) Cas de doublets tangentiels linéiques, surfaciques, ou de doublets volumiques	159
235. Charges de polarisation et formes différentielles extérieures	159
i) Forme différentielle $\Omega_{(2),\vec{P}}$ relative à la polarisation	160
ii) Expression de $d\Omega_{(2),\vec{P}}$ (soit $\Omega_{(3),\vec{\nabla},\vec{P}}$ ) en fonction de $\Omega_{(D)}$ et $\Omega_{(\partial D)}$	160
3. Potentiels et champs	161
31. Doublet électrostatique ponctuel	161
311. Expression du potentiel et du champ du doublet	161
312. Régularisation du champ du doublet	161
i) Régularisation du champ	161

ii) Notion de champ effectif	162
iii) Energie propre du doublet	162
32. Potentiel de double ligne et de double couche	162
321. Expression des potentiels de double ligne et de double couche comme limites	162
322. Etude du potentiel scalaire et du champ de double couche	163
i) Potentiel	163
ii) Champ	164
33. Expression du potentiel d'une répartition de doublets dans les cas linéique, surfacique et volumique	165
331. Cas linéique	165
332. Cas surfacique	166
333. Cas volumique	166
i) Propriétés générales	166
ii) Cas des diélectriques parfaits	167
<b>QUATRIEME PARTIE : MAGNETOSTATIQUE</b>	<b>169</b>
CHAPITRE VII : MAGNETOSTATIQUE DES COURANTS PERMANENTS	171
1. Généralités	171
11. Potentiel et champs	171
111. Equations générales (rappel)	171
112. Solution de l'équation de Poisson	172
12. Forces et énergie magnétostatiques	172
121. Equations générales	172
122. Forme locale de l'énergie magnétostatique	173
2. Circuits fermés en régime permanent	173
21. Distributions courant et excitation magnétique	174
211. Distribution courant en régime permanent	174
i) Définition	174
ii) Propriétés d'orientation de la densité de courant $\vec{j}$ par rapport à la variété (D)	174
iii) Propriétés de conservation de la densité de courant	175
212. Approximation d'un courant quelconque par des ensembles de courants filiformes	176
213. Intensité du courant dans un circuit fermé et expression de la conservation	177
i) Existence de la limite	177
ii) Valeur de la limite	178
214. Théorème d'Ampère	179
i) Circulation de l'excitation sur une portion de courbe	179
ii) Théorème d'Ampère pour un circuit filiforme	180
iii) Théorème d'Ampère pour un circuit filiforme comportant plusieurs spires	181
iv) Théorème d'Ampère dans le cas général	181
215. Circuit fermé ponctuel ou "tourbillon"	183
i) Notion de circuit fermé ponctuel	183

ii) Circuits filiformes et circuits ponctuels	184
22. Potentiels et champs	186
221. Propriétés générales sous forme d'intégrales	186
i) Expression du potentiel et du champ sous forme d'intégrales	186
ii) Développement de Taylor des fonctions potentiel et champ	186
222. Courants linéiques	187
223. Courants surfaciques ou "nappes"	188
i) Etude de la continuité du potentiel et du champ	188
ii) Solénoïde	188
224. Courants volumiques	190
225. Potentiel magnétique logarithmique et champ associé	190
3. Forces et énergie en magnétostatique des courants	191
31. Forces magnétiques	192
311. Distribution force relative à un ensemble de circuits filiformes	192
312. Loi des actions électrodynamiques d'Ampère	192
32. Energie propre des particules dotées d'un moment magnétique	194
321. Energie propre d'un circuit usuel	194
322. Energie propre du courant ponctuel régularisé	194
i) Régularisation du courant ponctuel	194
ii) Energie propre	195
CHAPITRE VIII : MAGNETOSTATIQUE DES MILIEUX AIMANTES	197
1. Généralités	197
11. Potentiel et champ magnétiques	197
111. Equations générales	197
112. Expression du potentiel vecteur et du champ magnétiques	198
12. Potentiel scalaire magnétique et excitation	198
121. Définition du potentiel scalaire	198
122. Charges fictives d'aimantation et équation de Poisson du potentiel scalaire	198
123. Expression du potentiel scalaire magnétique	199
13. Forces et énergie d'aimantation	199
131. Forces	199
132. Energie	199
2. Répartition de dipôles	200
21. Distribution aimantation	200
211. Aimantation des milieux constitués de dipôles	200
212. Notations	201
213. Notion de dipôle magnétique	201
i) Définition	201
ii) Ensembles de dipôles	201
22. Courants d'aimantation	202
221. Cas surfacique et volumique	202
i) Cas surfacique	202
ii) Cas volumique	203
222. Courants d'aimantation et formes différentielles extérieures	203
i) Expression de la forme différentielle aimantation	203

ii) Expression de $d\Omega_{(1)}, \vec{\Gamma}$ (soit $\Omega_{(2)}, \vec{\nabla} \times \vec{A}$ ) en fonction de $\Omega_{(D)}$ et $\Omega_{(\partial D)}$	204
iii) Expression de $d\Omega_{(1)}, \vec{\Gamma}$ en fonction de $\delta_{(D)}$ et $\delta_{(\partial D)}$	204
223. Répartitions diverses	205
i) Dipôles normaux linéiques	205
ii) Dipôles tangentiels surfaciques	206
3. Potentiels et champs de diverses répartitions	206
31. Potentiel et champ du dipôle	206
311. Expression du potentiel et du champ magnétique	206
312. Régularisation du dipôle	206
i) Régularisation du champ magnétique	206
ii) Champ magnétique effectif	207
32. Répartitions surfaciques de dipôles magnétiques	207
321. Cas général	207
322. Feuillet magnétique (répartition surfacique uniforme de dipôles normaux)	208
i) Potentiel vecteur et champ magnétiques	208
ii) Potentiel scalaire et excitation magnétiques	208
33. Répartitions volumiques de dipôles magnétiques	209
331. Cas général	209
332. Dia et para-magnétisme	209
<b>CINQUIÈME PARTIE : ELECTRODYNAMIQUE</b>	<b>211</b>
CHAPITRE IX : ELECTRODYNAMIQUE	213
1. Généralités	213
11. Equations de l'électromagnétisme	213
111. Equations générales (rappels)	213
i) Sources	213
ii) Milieux	213
iii) Champs et potentiels	214
iv) Equations des potentiels	214
v) Energie	214
112. Equations de Maxwell harmoniques	214
i) Sources	214
ii) Champs	214
iii) Potentiels	215
iv) Equations de Poisson harmoniques (Helmholtz)	215
113. Equations de Poisson pour les champs	215
114. Conditions aux limites sur un front d'onde.	215
12. Solutions de l'équation de Poisson	216
121. Solution de l'équation de Poisson pour des sources à support borné	216
i) Cas général	216
ii) Cas de sources à variable de temps séparée	217
122. Problème de Cauchy pour l'équation de Poisson	217
123. Solutions nulles à l'infini, de l'équation de Poisson à second membre périodique	218
124. Ondes monochromatiques	219

2. Potentiels créés par des sources électromagnétiques couplées	220
21. Sources ponctuelles	221
211. Sources électromagnétiques ponctuelles fixes	221
i) Cas d'une charge ponctuelle immobile dans l'espace et variable dans le temps	221
ii) Doublet ponctuel immobile, de moment variable dans le temps (doublet électromagnétique)	222
212. Sources ponctuelles simples mobiles	223
i) Expression générale des sources	223
ii) Potentiels de Liénard et Wiechert	224
213. Charge ponctuelle en mouvement circulaire uniforme	226
i) Sources et potentiels	226
ii) Sources et potentiels d'une particule en mouvement "rapide" sur un cercle de "faible" rayon	227
22. Sources sur des variétés non ponctuelles	229
221. Sources simples couplées	229
222. Potentiels créés par des sources électromagnétiques simples sur des variétés	232
i) Cas général	232
ii) Cas de sources volumiques	232
223. Exemples	233
i) Antenne filiforme	233
ii) Sphère pleine parcourue par des courants radiaux	234
3. Conducteurs	236
31. Equations générales	236
311. Loi d'Ohm	236
312. Conducteur en régime variable placé dans le vide	237
i) Sources	237
ii) Champs	238
32. Conducteur en régime permanent	239
321. Conducteur relié aux bornes d'un générateur	239
322. Résistance et conductance d'un conducteur	241
33. Conducteur en régime statique	242
331. Lois générales	242
332. Capacité d'un conducteur à l'équilibre électrostatique	244
BIBLIOGRAPHIE	245
INDEX	246