

ÉLECTRICITÉ

FASCICULE II

PROPAGATION
ÉLECTRICITÉ CORPUSCULAIRE
MILIEUX MATÉRIELS
RADIOÉLECTRICITÉ

PAR

M. ROUAULT

*AVEC LA COLLABORATION
DE*

P. MERGAULT

COURS A L'USAGE DE LA LICENCE





180
EX.1

A.53-180 F.2 EX.1

A L'USAGE DE LA LICENCE



ÉLECTRICITÉ

par

Marcel ROUAULT

Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris
(Centre d'Orsay)

Avec la collaboration pour les exercices de

Pierre MERGAULT

Maître de Recherches au C.N.R.S.
Chef de Travaux à la Faculté des Sciences de Paris

=====
FASCICULE II
=====

MASSON & C^{ie}, Éditeurs,
120, boul. Saint-Germain, PARIS-VI^e

=====
1965
=====

TABLE DES MATIÈRES

FASCICULE I

INTRODUCTION	I
--------------------	---

Préliminaires mathématiques

CHAPITRE PREMIER. — <i>Notions de calcul vectoriel.</i>	1
1. — Scalars et vecteurs	1
2. — Opérations sur les vecteurs	3
3. — Champs scalaires ou vectoriels	6
4. — Opérateurs différentiels	6
5. — Intégrales vectorielles	10

PREMIÈRE PARTIE.

Électrostatique

CHAPITRE II. — <i>Le champ électrique.</i>	13
1. — Charges électriques	13
2. — Champ électrique	17
3. — Potentiel électrique	19
4. — Relation champ-potentiel	20
5. — Propriétés du champ électrique	21
<i>Exercices</i>	21
CHAPITRE III. — <i>Équations du champ électrique.</i>	24
1. — Théorème de GAUSS	24
2. — Induction électrostatique	26
3. — Equations locales du champ électrique	27
4. — Conditions de passage	28
5. — Couches superficielles. Origine du potentiel	29
<i>Exercices</i>	30
CHAPITRE IV. — <i>Énergie électrostatique.</i>	33
1. — Equilibre d'une charge électrique. Théorème d'EARNSHAW	33
2. — Forces électrostatiques agissant sur une distribution continue de charges électriques	33
3. — Travail des forces électrostatiques	34
4. — Energie électrostatique d'une distribution continue de charges	35
5. — Energie électrostatique d'un gaz de particules	37
6. — Localisation de l'énergie électrostatique	37
7. — Conditions d'équilibre d'un système électrostatique	38
<i>Exercices</i>	39

CHAPITRE V. — <i>Étude de distribution de charges électriques.</i>	42
1. — Le dipôle électrique	42
2. — Champ produit à grande distance par un ensemble de charges électriques. Moments de multipôles.	44
3. — Énergie et système de forces dans un champ extérieur	46
<i>Exercices</i>	48
CHAPITRE VI. — <i>Conducteurs.</i>	51
1. — Notions sur l'interprétation corpusculaire de l'électrisation	51
2. — Équilibre d'un conducteur	52
3. — Équilibre d'un système de conducteurs	55
<i>Exercices</i>	59
CHAPITRE VII. — <i>Problème de l'équilibre des conducteurs.</i> ...	61
1. — Méthode des images électriques	61
2. — Méthode de séparation des variables	62
3. — Méthode des fonctions analytiques des variables complexes	63
4. — Méthodes numériques à deux variables	68
5. — Relation entre charges et potentiels dans un système de conducteurs en équilibre	69
6. — Propriétés de la matrice des C_{ij}	70
7. — Condensateurs	72
8. — Énergie d'un système de conducteurs	73
9. — Calcul des forces électrostatiques entre conducteurs	75
<i>Exercices</i>	76
DEUXIÈME PARTIE.	
<i>Magnétostatique</i>	
INTRODUCTION	82
CHAPITRE VIII. — <i>Le courant électrique.</i>	84
1. — Généralités	84
2. — Vecteur densité de courant	85
3. — Champ et courant électrique dans un conducteur homogène	86
4. — Distribution des courants et du potentiel dans un conducteur homogène	87
5. — Loi d'OHM	88
6. — Générateurs	90
<i>Exercices</i>	92
CHAPITRE IX. — <i>Le champ magnétique.</i>	94
1. — Actions mutuelles de deux courants (actions électrodynamiques d'Ampère)	94
2. — Induction magnétique	97
3. — Potentiel-vecteur	99
4. — Propriétés du pseudo-vecteur induction magnétique B	101
<i>Exercices</i>	102
CHAPITRE X. — <i>Excitation du champ magnétique.</i>	105
1. — Equation de POISSON du potentiel-vecteur	105

2. — Relation de Maxwell-Ampère. Pseudo-vecteur excitation magnétique	105
3. — Théorème d'Ampère	106
4. — Champ produit par un circuit fermé. Potentiel pseudo-scalaire magnétique	107
5. — Propriétés des nappes de courant	108
6. — Dipôles magnétiques	110
7. — Champ à grande distance d'une distribution volumique de courants-sources	111
<i>Exercices</i>	112
CHAPITRE XI. — Forces et travail dans le champ magnétique.	115
1. — Forces magnétiques	115
2. — Travail des forces magnétiques lors du déplacement d'un circuit ..	116
3. — Systèmes des forces magnétiques agissant sur un circuit placé dans un champ	118
4. — Induction mutuelle de 2 circuits	119
5. — Interactions de deux ou plusieurs circuits	121
<i>Exercices</i>	122
TROISIÈME PARTIE.	
Électromagnétisme. Phénomènes quasi-stationnaires	
INTRODUCTION	125
CHAPITRE XII. — Induction électromagnétique.	127
1. — Lois qualitatives de l'induction (Faraday, 1839)	127
2. — Forces électromotrice d'induction dans un circuit mobile dans un champ fixe	128
3. — Lois quantitatives de l'induction	130
4. — Calcul d'une <i>f.é.m.</i> d'induction	132
<i>Exercices</i>	133
CHAPITRE XIII. — Énergie électromagnétique.	136
1. — Énergie d'un système de courants	136
2. — Localisation de l'énergie magnétique	138
3. — Expression de l'énergie magnétique des circuits	139
<i>Exercices</i>	140
CHAPITRE XIV. — Les circuits oscillants.	142
1. — Régime propre d'un circuit	142
2. — Énergie d'un circuit oscillant non amorti	144
3. — Circuits oscillants couplés	145
<i>Exercices</i>	147
CHAPITRE XV. — Le courant alternatif.	149
1. — Généralités	149
2. — Méthodes d'étude des courants alternatifs	149
3. — Étude du régime sinusoïdal forcé d'un circuit	151

4. — Circuits résonnant et antirésonnant	154
5. — Puissance d'un courant alternatif	156
6. — Courants de Foucault	158
<i>Exercices</i>	160
CHAPITRE XVI. — Réseaux électriques.	161
1. — Définition et méthodes générales d'étude	161
2. — Lois de Kirchhoff	161
3. — Résolution des équations de Kirchhoff	163
4. — Théorèmes généraux	165
5. — Quadripôles	168
6. — Calcul de quadripôles	170
7. — Filtres	172
<i>Exercices</i>	175
CHAPITRE XVII. — Notions de courant alternatif industriel. ..	183
1. — Transformateurs	183
2. — Etude du transformateur par la méthode des quadripôles	185
3. — Usages des transformateurs	186
4. — Réalisation d'un transformateur	187
5. — Les courants polyphasés	188
6. — Transport d'énergie en triphasé	190
7. — Champ tournant	191
<i>Exercices</i>	195

FASCICULE II

INTRODUCTION AU FASCICULE II	V
------------------------------------	---

QUATRIÈME PARTIE

Propagation du champ électromagnétique.

CHAPITRE XVIII. — Les équations de Maxwell	197
1. — Équations des champs stationnaires et quasi-stationnaires	197
2. — Le courant de déplacement (Maxwell)	198
3. — Les équations de Maxwell	199
4. — Propagation du champ électromagnétique	200
5. — Propagation de l'énergie	204
<i>Exercices</i>	206
CHAPITRE XIX. — Propagation libre	208
1. — Propagation du champ électrique par onde plane	208
2. — Propagation de l'énergie par ondes planes	211
3. — Réflexion. Ondes stationnaires	212
4. — Propagation d'une onde plane dans un diélectrique imparfait. ...	214
5. — Champ électromagnétique d'un dipôle oscillant	215
6. — Rayonnement de dipôle électrique	217
<i>Exercices</i>	219

CHAPITRE XX. — Lignes de transmission	221
1. — Propagation dans un conducteur. Effet pelliculaire	221
2. — Lignes de transmission	225
3. — Propagation le long d'une ligne sans perte	226
4. — Réflexion à l'extrémité d'une ligne. Ondes stationnaires	229
5. — Lignes en basse fréquence	231
<i>Exercices</i>	232
CHAPITRE XXI. — Guides d'ondes	236
1. — Guides d'ondes	236
2. — Onde polarisée se propageant dans la direction des génératrices du guide	236
3. — Propagation d'ondes planes dans le guide d'onde	239
4. — Diverses formes d'onde pouvant se propager dans un guide	242
5. — Les cavités résonnantes	243
<i>Exercices</i>	244
CHAPITRE XXII. — Théorie électromagnétique et relativité	248
1. — Mécanique classique et relativité	248
2. — Les référentiels en électromagnétisme	250
3. — Le principe de la relativité restreinte	252
4. — Éléments de dynamique relativiste	255
5. — Conclusion	259
<i>Exercices</i>	259

CINQUIÈME PARTIE.

Électricité corpusculaire.

CHAPITRE XXIII. — Ionisation et charge élémentaire	261
1. — Structure discontinue de l'électricité dans les phénomènes d'élec- trolyse	261
2. — Ionisation des gaz	262
3. — Mobilité et nature des ions gazeux	264
4. — Charge des ions gazeux	265
5. — Mesures précises de e . Expérience de Millikan	267
6. — Ionisation par choc	270
7. — L'unité corpusculaire d'énergie. L'électron-volt	273
<i>Exercices</i>	274
CHAPITRE XXIV. — Les particules atomiques. Électrons et ions	276
1. — Décharge dans les gaz à basse pression	276
2. — Rayons cathodiques	277
3. — Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique ou magnétique	279
4. — L'électron, constituant universel de la matière	281
5. — Les ions positifs gazeux et leur charge spécifique	284
6. — Les spectrographes de masse. L'échelle universelle des masses atomiques	286
7. — Les accélérateurs de particules	287
<i>Exercices</i>	290

CHAPITRE XXV. — L'onde associée aux particules atomiques.	295
1. — L'onde de Louis de Broglie	295
2. — La diffraction des électrons	297
3. — L'optique électronique	300
4. — Lentilles électrostatiques	302
<i>Exercices</i>	304
CHAPITRE XXVI. — Champ électromagnétique d'un électron en mouvement.	306
1. — Champ magnétique quasi-stationnaire	306
2. — Rayonnement d'un électron oscillant	308
3. — Diffusion d'une onde électromagnétique par des électrons	308
<i>Exercices</i>	311
SIXIÈME PARTIE.	
Milieux matériels.	
CHAPITRE XXVII. — Les diélectriques.	313
1. — Expériences et hypothèses fondamentales	313
2. — Champ produit par un morceau de diélectrique polarisé	314
3. — Champ électrostatique en présence d'un diélectrique polarisé	315
4. — Diélectriques linéaires homogènes et isotropes	317
5. — Influence d'un champ électrostatique sur un diélectrique libre ..	319
6. — L'énergie électrostatique dans un diélectrique	322
7. — Forces subies par un diélectrique dans un champ extérieur	324
8. — Forces électrostatiques dans un diélectrique fluide. Electrostriction	325
<i>Exercices</i>	327
CHAPITRE XXVIII. — Théorie de la polarisation des diélectriques.	331
1. — Plan d'étude	331
2. — Champ électrique local	331
3. — Polarisation et structure du solide	332
4. — Distribution des moments de dipôle dans un champ appliqué	334
5. — Hystérésis diélectrique	336
6. — Rigidité diélectrique	338
7. — Ferroélectricité	339
8. — Diélectriques anisotropes	339
9. — Piezoélectricité	341
<i>Exercices</i>	343
CHAPITRE XXIX. — Champ magnétique dans les milieux matériels.	348
1. — Expérience et hypothèse fondamentales	348
2. — Potentiel-vecteur produit par un morceau de matière magnétique.	349
3. — Définition des grandeurs magnétiques en présence d'un milieu magnétique	350

4. — Milieux magnétiques linéaires homogènes et isotropes	352
5. — Diamagnétisme et paramagnétisme	353
6. — Forces subies par un morceau de matière magnétique	354
<i>Exercices</i>	356
CHAPITRE XXX. — Théorie de l'aimantation induite	360
1. — Moments magnétiques élémentaires de la matière	360
2. — Théorie de Langevin du diamagnétisme	362
3. — Théorie de Langevin du paramagnétisme	363
4. — Théorie quantique du paramagnétisme	365
<i>Exercices</i>	366
CHAPITRE XXXI. — Ferromagnétisme	367
1. — Milieux ferromagnétiques	367
2. — Courbes d'aimantation des ferromagnétiques	369
3. — Théorie du ferromagnétisme	370
4. — Circuits magnétiques	373
5. — Aimants permanents	376
6. — Forces agissant sur les barreaux aimantés	377
7. — Les masses magnétiques, intermédiaires de calcul des champs ...	379
<i>Exercices</i>	381
CHAPITRE XXXII. — Les électrons libres des solides	386
1. — Dynamique des électrons libres d'un cristal	386
2. — Notions élémentaires de mécanique ondulatoire	387
3. — Les niveaux d'énergie des électrons libres des métaux	389
4. — Distribution des électrons libres entre les niveaux d'énergie	392
5. — Émission thermoélectronique	395
6. — Effet photoélectrique	397
7. — Phénomènes de contact entre deux métaux	398
<i>Exercices</i>	402
CHAPITRE XXXIII. — Conductibilité des solides	403
1. — Électrons libres et conductibilité des solides	403
2. — Propagation des électrons dans un potentiel périodique	406
3. — Action d'un champ électrique sur les électrons semi-libres	410
4. — Conducteurs et isolants au zéro absolu	412
5. — Influence de la température. Semi-conducteurs	413
6. — Phénomènes de contact entre semi-conducteurs	415
<i>Exercices</i>	418
SEPTIÈME PARTIE.	
Radioélectricité.	
CHAPITRE XXXIV. — Tubes électroniques	425
1. — Généralités	425
2. — Diode	426
3. — Triode	429

4. — Tubes à grille-écran	432
5. — Transistors	433
<i>Exercices</i>	435
CHAPITRE XXXV. — Éléments de montages radioélectriques.	440
1. — Redresseurs	440
2. — Oscillateur à triode	442
3. — Modulation des oscillations	446
4. — Détection d'une modulation d'amplitude	447
5. — Amplificateur	448
6. — Antennes	450
7. — Propagation d'une onde dans une atmosphère ionisée	452
<i>Exercices</i>	453
Tableau des Unités	461
Quelques constantes physiques	462
Bibliographie	463
Index alphabétique des matières	465
Réponses aux exercices	1
<i>Fascicule I</i> : Ch. II (1); Ch. III (3); Ch. IV (6); Ch. V (7); Ch. VI (9); Ch. VII (11); Ch. VIII (18); Ch. IX (19); Ch. X (22); Ch. XI (25); Ch. XII (28); Ch. XIII (29); Ch. XIV (31); Ch. XV et XVI (33); Ch. XVII (43);	
<i>Fascicule II</i> : Ch. XVIII (47); Ch. XIX (49); Ch. XX (52); Ch. XXI (56); Ch. XXII (58); Ch. XXIII (60); Ch. XXIV (61); Ch. XXV (66); Ch. XXVI (67); Ch. XXVII (68); Ch. XXVIII (74); Ch. XXIX (78); Ch. XXX et XXXI (84); Ch. XXXII et XXXIII (88); Ch. XXXIV (93); Ch. XXXV (97).	