

Licences • Masters



JOSÉ-PHILIPPE PÉREZ
ROBERT CARLES
ROBERT FLECKINGER

Électromagnétisme

Fondements et applications

*Avec 300 exercices
et problèmes résolus*

4^e édition

DUNOD

Table des matières

Avant-propos	x
Les grands noms de l'électromagnétisme	xii
Constantes physiques, notations et symboles	xvii
Description de l'ouvrage	xxii
L'électromagnétisme en vingt questions	xxviii
 1. Charges électriques. Distributions de charges	
I. — Électrisation. Charge électrique	1
II. — Distributions de charges	5
<i>Exercices et problèmes</i>	10
 2. Loi de Coulomb. Champ électrostatique. Théorème de Gauss	
I. — Loi de Coulomb	13
II. — Champ électrostatique	15
III. — Théorème de Gauss	19
<i>Exercices et problèmes</i>	25
 3. Énergie potentielle. Potentiel électrostatique	
I. — Interaction d'une charge avec un système de charges	29
II. — Potentiel créé par un ensemble de charges	32
III. — Énergie électrostatique d'un système de charges	38
IV. — Énergie d'une distribution continue de charge	41
<i>Exercices et problèmes</i>	45
 4. Symétrie des distributions de charges et symétrie des champs	
I. — Premières considérations sur les symétries	49
II. — Invariances des sources	53
III. — Exemples d'utilisation des symétries	56
IV. — Symétries et principe de Curie	62
<i>Exercices et problèmes</i>	68

5. Dipôles électrostatiques

I. — Dipôle électrostatique	70
II. — Dipôle dans un champ électrostatique	73
III. — Approximation dipolaire	76
IV. — Moments dipolaires des atomes et des molécules	80
<i>Exercices et problèmes</i>	83

6. Milieux conducteurs. Loi d'Ohm

I. — Électrocinétique	86
II. — Caractère conservatif de la charge	91
III. — Conducteur en régime stationnaire	93
IV. — Loi d'Ohm	96
<i>Exercices et problèmes</i>	104

7. Conductivité électrique

I. — Différents types de courants électriques	107
II. — Théorie élémentaire de la conductivité	109
III. — Structure de bandes et conductivité des solides	116
<i>Exercices et problèmes</i>	122

8. Conducteurs en équilibre électrostatique

I. — Champ produit par un conducteur en équilibre	125
II. — Distributions d'équilibre d'un conducteur	130
III. — Équilibre d'un système de deux conducteurs	134
IV. — Équilibre des conducteurs	139
V. — Applications	141
<i>Exercices et problèmes</i>	143

9. Effet Joule. Générateurs et récepteurs électriques

I. — Puissance électrique	147
II. — Effet Joule	149
III. — Bilan d'énergie d'un convertisseur	150
IV. — Force électromotrice et courant électromoteur	153
V. — Loi d'Ohm généralisée	154
VI. — Exemples de générateurs et de récepteurs	160
<i>Exercices et problèmes</i>	164

10. Condensateurs en électrostatique. Aspect énergétique

I. — Condensateur. Charge et capacité	168
II. — Capacité de condensateurs de forme simple	169
III. — Condensateurs réels	172
IV. — Groupements de condensateurs	173
V. — Énergie d'un condensateur	175
VI. — Actions sur les armatures d'un condensateur	177
<i>Exercices et problèmes</i>	180

11. Champ électromagnétique. Propriétés

I. — Champ électromagnétique	185
II. — Loi de Biot et Savart	188
III. — Propriétés du champ magnétique	192
IV. — Potentiel vecteur	198
V. — Équations de passage du champ magnétique	200
VI. — Solénoïde	201
VII. — Équations du champ électromagnétique stationnaire	204
<i>Exercices et problèmes</i>	206

12. Symétries des distributions de courants et symétries des champs

I. — Premières considérations sur les symétries	209
II. — Invariances des sources	213
III. — Exemples d'utilisation des symétries	215
IV. — Dipôle magnétique	220
V. — Symétries d'un système magnétostatique	225
<i>Exercices et problèmes</i>	227

13. Électrodynamique des régimes stationnaires

I. — Conducteur au repos dans un champ $(\mathbf{E}, \mathbf{B})$ stationnaire	231
II. — Loi d'Ohm dans un conducteur en mouvement	235
III. — Actions sur un conducteur. Force de Laplace	238
IV. — Travail électromoteur et travail des forces de Laplace	242
V. — Actions sur un dipôle magnétique rigide	249
<i>Exercices et problèmes</i>	251

14. Induction électromagnétique

I. — Approche expérimentale	256
II. — Lois de l'induction	258
III. — Relation de Maxwell-Faraday	259
IV. — Circuit mobile dans un champ magnétique	263
V. — Circuit de constitution variable	267
<i>Exercices et problèmes</i>	270

15. Inductances propres et mutuelles des circuits électriques

I. — Inductance mutuelle de deux circuits	274
II. — Inductance propre d'un circuit	277
III. — Auto induction	279
IV. — Inductance d'un ensemble de deux circuits couplés	280
V. — Transformateurs	282
<i>Exercices et problèmes</i>	284

16. Équations de Maxwell. Approximation des régimes quasi stationnaires

I. — Équation de Maxwell-Ampère	287
II. — Équations de Maxwell dans le vide	289
III. — Potentiel électromagnétique	291
IV. — Régimes quasi stationnaires	293
V. — Milieu conducteur dans l'ARQS	295
VI. — Effets de capacité	296
<i>Exercices et problèmes</i>	298

17. Électrodynamique des régimes quasi stationnaires

I. — Effets d'induction dans un conducteur	301
II. — Effet de capacité	306
III. — Électrodynamique des circuits dans l'ARQS	309
<i>Exercices et problèmes</i>	316

18. Énergie électromagnétique. Énergie magnétique d'un système de courants

I. — Énergie électromagnétique dans le vide	320
II. — Stockage d'énergie électromagnétique dans l'ARQS	323
III. — Création d'énergie électromagnétique dans l'ARQS	327
IV. — Bilan dans des circuits fixes	330
V. — Conversion électromécanique	333
<i>Exercices et problèmes</i>	341

19. Ondes électromagnétiques dans le vide

I. — Équations de propagation du champ et du potentiel	347
II. — Ondes planes et ondes sphériques	350
III. — Ondes planes monochromatiques	354
IV. — Polarisation d'une onde plane monochromatique	356
V. — Énergie associée à une onde électromagnétique	361
VI. — Superposition d'ondes	366
<i>Exercices et problèmes</i>	370

20. Champ électromagnétique rayonné par un dipôle oscillant

I. — Potentiel produit par un dipôle oscillant	373
II. — Champ produit par un dipôle oscillant	375
III. — Rayonnement à grande distance	377
IV. — Rayonnement dipolaire d'un électron atomique	380
V. — Rayonnement d'une antenne rectiligne	384
VI. — Dipôle magnétique oscillant	386
<i>Exercices et problèmes</i>	389

21. Polarisation des milieux matériels : aspect macroscopique en régime stationnaire

I. — Polarisation des milieux matériels	392
II. — Vecteur polarisation volumique	393
III. — Équation de Maxwell-Gauss dans un milieu matériel	396
IV. — Potentiel et champ créés par un milieu polarisé	398
V. — Milieux diélectriques linéaires	402
<i>Exercices et problèmes</i>	407

22. Aimantation des milieux matériels : aspect macroscopique en régime stationnaire

I. — Aimantation des milieux matériels	410
II. — Vecteur aimantation volumique	411
III. — Équation de Maxwell-Ampère dans un milieu matériel	414
IV. — Potentiel et champ créés par un milieu aimanté	416
V. — Milieux magnétiques linéaires	420
<i>Exercices et problèmes</i>	425

23. Équations de Maxwell et énergie dans les milieux matériels : cas général

I. — Polarisation et aimantation dans le cas général	428
II. — Équations de Maxwell dans un milieu matériel	433
III. — Forces électromagnétiques sur un milieu matériel	435
IV. — Énergie électromagnétique dans un milieu matériel	440
V. — Bilan d'énergie dans un milieu linéaire parfait	442
VI. — Bilan d'énergie dans un matériau dissipatif	445
VII. — Bilans d'énergies dans une machine	448
<i>Exercices et problèmes</i>	451

24. Étude microscopique de la polarisation en régime stationnaire

I. — Mécanismes microscopiques de polarisation	454
II. — Champ local et champ macroscopique	462
III. — Polarisation des fluides	463
IV. — Polarisation des solides	466
<i>Exercices et problèmes</i>	470

25. Étude microscopique du paramagnétisme et du diamagnétisme

I. — Origines microscopiques du magnétisme	473
II. — Interaction d'un moment magnétique avec un champ	476
III. — Paramagnétisme	479
IV. — Diamagnétisme	483
<i>Exercices et problèmes</i>	485

26. Ferromagnétisme

I. — Aspect macroscopique	488
II. — Interprétation microscopique	494
III. — Domaines de Weiss et aimantation macroscopique	497

IV. — Interprétation quantique	499
V. — Circuits magnétiques	502
VI. — Effets gyromagnétiques	509
<i>Exercices et problèmes</i>	511
27. Supraconductivité	
I. — Conductivité parfaite et supraconductivité	515
II. — Propriétés magnétiques des supraconducteurs	518
III. — Courant supraconducteur d'intensité non nulle	523
IV. — Théorie élémentaire de la supraconductivité	526
V. — Matériaux supraconducteurs et applications	530
<i>Exercices et problèmes</i>	532
28. Dispersion. Absorption	
I. — Équations de Maxwell dans un milieu matériel	536
II. — Modèle de Drude-Lorentz	537
III. — Polarisation des milieux en régime sinusoïdal	542
IV. — Propagation d'une onde dans un milieu LHI	547
V. — Dispersion dans un milieu transparent	549
VI. — Bilan d'énergie électromagnétique. Absorption	554
<i>Exercices et problèmes</i>	558
29. Réflexion et réfraction des ondes électromagnétiques	
I. — Propagation dans un milieu matériel limité	561
II. — Réflexion sur un conducteur en incidence normale	567
III. — Réflexion et transmission entre deux diélectriques	574
<i>Exercices et problèmes</i>	583
30. Propagation guidée	
I. — Ondes TEM dans un câble coaxial	585
II. — Analyse dans le cadre de l'ARQS	587
III. — Guide d'ondes	594
<i>Exercices et problèmes</i>	605
Annexe 1. Dérivées et différentielles	609
I. — Dérivées	609
II. — Différentielles	611
III. — Systèmes de coordonnées	613
Annexe 2. Flux et circulation d'un vecteur	616
I. — Flux d'un champ de vecteur	616
II. — Circulation d'un champ de vecteur	621
III. — Opérateurs différentiels du second ordre	623
IV. — Relations d'analyse vectorielle	625

Annexe 3. Simulation en électromagnétisme	628
I. — Électrostatique d'une distribution de charges	628
II. — Champ électrique par temps d'orage	635
III. — Champ magnétique terrestre	641
Réponses aux vingt questions	648
Solutions des exercices et problèmes	650
Bibliographie	728
Index	730