

physique

XXI

TOME B

ÉLECTRICITÉ et MAGNÉTISME

Marc Séguin

Julie Descheneau
Benjamin Tardif



de boeck

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
--------------	---

Chapitre 1

CHAMP ÉLECTRIQUE 5

1.1 La charge électrique	7
La charge électrique et la force électrique	8
Le coulomb	9
Le principe de conservation de la charge	10
La charge par contact	11
La quantification de la charge	12
Tableau : Charge électrique	12
Isolants et conducteurs	13
L'induction électrostatique	14
L'attraction entre un objet chargé et un objet neutre	14
La charge par induction électrostatique	15
La foudre	17



MARC SÉGUIN

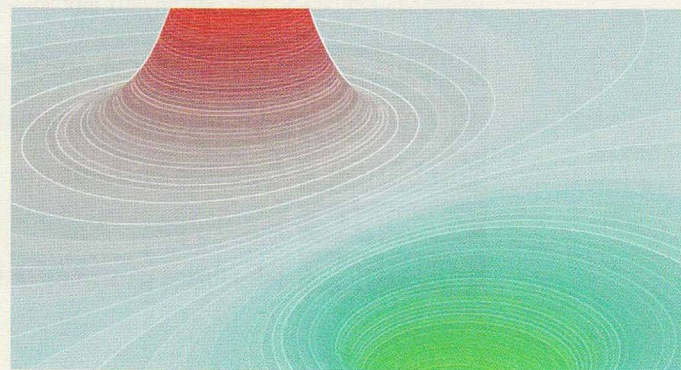
1.2 La loi de Coulomb	21
La superposition des forces électriques	23
Méthode de résolution : La superposition des forces	25
La force électrique, la force gravitationnelle et la force nucléaire	25
L'équilibre statique d'une particule soumise à une force électrique	27
1.3 La définition du champ électrique	31
Tableau : Champ électrique	34
1.4 Le champ électrique généré par une particule chargée	37
L'orientation du champ électrique	38
Le champ électrique à l'extérieur d'une distribution de charge possédant une symétrie sphérique	40
La force électrique, le champ électrique et le vecteur unitaire radial	41
1.5 Le champ électrique généré par plusieurs particules	43
Erreurs conceptuelles fréquentes :	
Force et champ électriques	46
À quel endroit la superposition est-elle nulle ?	48
Les lignes de champ électrique	49
1.6 Les dipôles électriques	55
Le dipôle électrique idéalisé	56
L'importance du moment dipolaire électrique	59

1.7 Le champ électrique généré par une TRIUC	61
1.8 Le champ électrique d'une tige par intégration	65
Le champ électrique généré par un arc de cercle chargé	73
Les tiges non uniformément chargées	74
Méthode de résolution :	
Le calcul du champ électrique par intégration	76
1.9 Le champ électrique généré par une PPIUC	79
1.10 Le champ électrique d'une plaque par intégration	85
Le champ d'une PPIUC à partir du champ d'une TRIUC	85
Le champ d'une PPIUC à partir du champ d'un anneau de charge	89
Le champ électrique d'une distribution sphérique de charge	92
1.11 Le théorème de Gauss	97
Le flux électrique	97
Le théorème de Gauss	100
La démonstration des équations de la TRIUC et de la PPIUC	101
Le champ électrique généré par une distribution sphérique de charge	104
La définition générale du flux électrique	106
Méthode de résolution : La détermination du champ électrique à l'aide du théorème de Gauss	108
1.12 Les conducteurs en équilibre électrostatique	111
La cage de Faraday	115
1.13 Le champ électrique à proximité d'un conducteur	117
Démonstration de l'équation du module du champ électrique à proximité d'un conducteur	119
1.14 Le mouvement d'une particule dans un champ électrique uniforme	123
1.15 Une brève histoire de la force électrique	128
1.16 Synthèse du chapitre	131

Chapitre 2

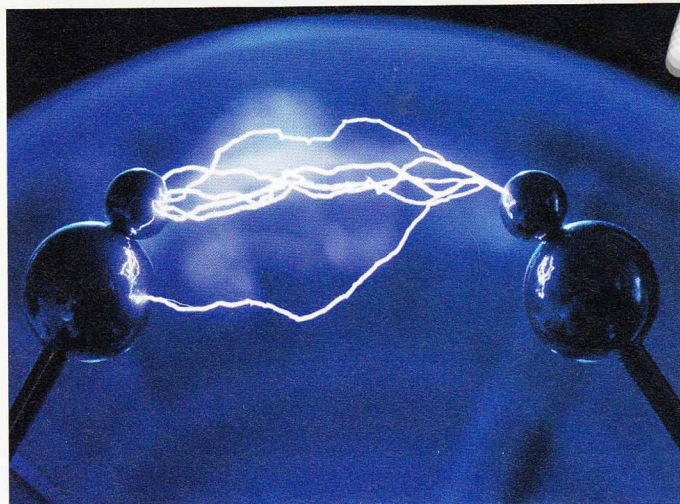
POTENTIEL ÉLECTRIQUE 137

2.1 L'énergie potentielle électrique d'un système de particules chargées	139
L'énergie potentielle électrique d'un système de N particules	142
2.2 Le potentiel électrique généré par des particules chargées	145
Tableau : Potentiel électrique	146
Le potentiel électrique généré par une particule chargée	147
Les surfaces équipotentielles et la superposition des potentiels	148
La représentation du potentiel par un graphique $V(x, y)$	153
L'électronvolt	154



MARC SÉGUIN

2.3	Le mouvement d'une particule chargée sous l'effet d'autres particules chargées	159
	Le travail nécessaire pour déplacer une particule	164
2.4	La différence de potentiel dans un champ électrique uniforme	167
2.5	Les relations générales entre le potentiel et le champ électrique	175
	La variation du potentiel électrique dans un champ électrique quelconque	176
	La détermination du champ électrique à partir du potentiel électrique	179
2.6	Le potentiel électrique par intégration	183
2.7	Le potentiel électrique et les conducteurs	189
	L'effet de pointe	191



ISTOCKPHOTO

2.8	Les condensateurs	195
	La capacité d'un condensateur	196
	Tableau : Capacité	198
	Charger un condensateur à l'aide d'une pile	199
	L'énergie emmagasinée dans un condensateur	200
	La densité d'énergie dans un champ électrique	201
	Les diélectriques	202
2.9	Synthèse du chapitre	207

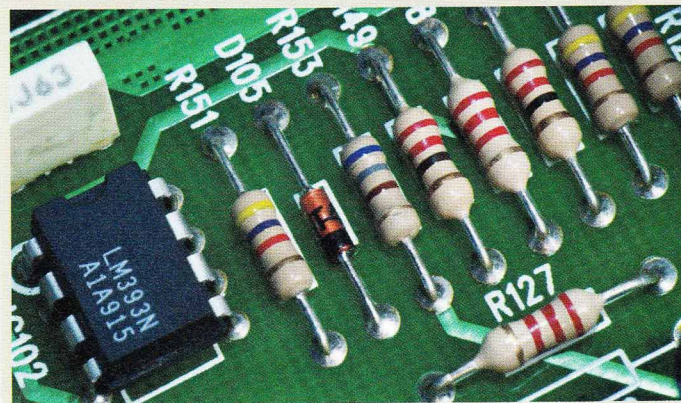
Chapitre 3

CIRCUITS ÉLECTRIQUES

211

3.1	L'électromotance, le courant et la résistance	213
	L'électromotance	215
	Le courant électrique	216
	Tableau : Courant électrique	217
	La résistance	218
	Les résisteurs	218
	Tableau : Résistance	219
	La loi d'Ohm	219
	Erreurs conceptuelles fréquentes :	
	Piles et courant	220
3.2	La résistivité	223
	Tableau : Résistivité	226
3.3	La vitesse de dérive	229

3.4	La puissance électrique	235
	Analogie mécanico-gravitationnelle d'un circuit pile-résisteur	237
	Le kilowatt-heure	238
	La physique de la bouilloire	238
3.5	Les lois de Kirchhoff	243
	La loi des nœuds de Kirchhoff	244
	La loi des mailles de Kirchhoff	245
	La méthode générale de Kirchhoff	246
3.6	La résistance équivalente	253
	La résistance équivalente en série	254
	La résistance équivalente en parallèle	254
	Les circuits comportant des résisteurs en série et en parallèle	256
	La résistance équivalente et l'équation $R = \rho \ell / A$	259



ISTOCKPHOTO

3.7	La mise à la terre	263
	La mise à la terre	264
	Le potentiel dans une branche ouverte	267
	Le retour des résisteurs court-circuités	269
3.8	Les instruments de mesure	271
	L'ohmmètre	272
	L'ampèremètre et le voltmètre	272
3.9	Les piles réelles	277
3.10	Le diviseur de tension et le diviseur de courant	283
	Le diviseur de tension	283
	Le diviseur de courant	284
3.11	L'électricité domestique et le courant alternatif	287
	L'électromotance et le courant efficaces	288
	Les lignes de transmission	291
	L'électricité résidentielle	292
	Le danger des chocs électriques	293
3.12	La charge et la décharge d'un condensateur	297
	La décharge d'un condensateur	299
	La charge d'un condensateur	302
	Les circuits comportant des condensateurs non chargés ou complètement chargés	306
3.13	La capacité équivalente	311
	La capacité équivalente en parallèle	311
	La capacité équivalente en série	313
3.14	Le champ électrique dans un circuit	319
	Le champ électrique et la densité de courant	320
	L'origine du champ électrique dans un circuit	322
3.15	Une brève histoire des circuits électriques	324
3.16	Synthèse du chapitre	327

Chapitre 4

FORCE MAGNÉTIQUE 333

4.1 Le champ magnétique	335
Les pôles magnétiques	336
La détermination de l'orientation du champ magnétique	338
La détermination du module du champ magnétique	339
Le champ magnétique en perspective	344
Tableau : Champ magnétique	344



ISTOCKPHOTO

4.2 La trajectoire d'une particule dans un champ magnétique	347
Le mouvement hélicoïdal	349
Le cyclotron	351
Le sélecteur de vitesse	352
Le spectromètre de masse	353
4.3 La force sur un fil dans un champ magnétique uniforme	357
La force sur un fil rectiligne dans un champ magnétique uniforme	357
La force sur un fil non rectiligne dans un champ magnétique uniforme	360
4.4 L'effet Hall	363
4.5 Le moment de force magnétique	367
Le moment dipolaire magnétique	369
Un moteur électrique rudimentaire	371
4.6 Le champ magnétique généré par un long fil rectiligne	375
Le champ magnétique généré par un fil rectiligne « infini »	376
La superposition des champs magnétiques	377
La force magnétique entre deux fils rectilignes	378
La définition de l'ampère	379
La force magnétique par intégration	380
4.7 La loi de Biot-Savart et le champ magnétique généré par un fil rectiligne fini	384
La forme vectorielle de la loi de Biot-Savart	387
4.8 Le champ magnétique généré par une boucle de courant	389
La loi de Biot-Savart appliquée à une boucle de courant	391
Le champ magnétique généré par une fraction de boucle	394
4.9 Le champ magnétique généré par un solénoïde	397
Le champ magnétique à l'intérieur d'un long solénoïde	398
La démonstration de l'équation du solénoïde	398

4.10 Le théorème d'Ampère	401
La circulation magnétique	401
Le théorème d'Ampère	402
La définition générale de la circulation magnétique	404
4.11 Les aimants permanents	407
Aimants naturels et aimants induits	409
Les pôles magnétiques d'une boucle parcourue par un courant	410
4.12 Une brève histoire de la force magnétique	412
4.13 Synthèse du chapitre	415

Chapitre 5

INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE 419

5.1 La loi de Lenz	421
Un cadre qui traverse une région de champ magnétique uniforme	422
Le générateur linéaire : un cadre dont l'aire varie	423
Un aimant permanent qui s'approche ou s'éloigne d'un cadre	424
Les pôles magnétiques induits	425
5.2 La loi de Faraday	429
La définition du flux magnétique	429
La loi de Faraday	430
Le champ électrique induit et la formulation générale de la loi de Faraday	435
5.3 L'électromotance induite dans une tige	440
Un cadre qui traverse une région de champ magnétique uniforme, prise 2	443
5.4 Le moteur linéaire	445
5.5 Le transformateur	451
5.6 Les inducteurs	455
L'inductance d'un long solénoïde	457
L'énergie emmagasinée dans un inducteur	459
La densité d'énergie dans un champ magnétique	460
5.7 La croissance et la décroissance du courant dans un circuit RL	463
La croissance du courant	464
La décroissance du courant	466
5.8 Les oscillations des circuits LC et RLC	469
Les oscillations d'un circuit RLC	475
5.9 La réactance	479
Un condensateur alimenté par une source de tension alternative	480
Un inducteur alimenté par une source de tension alternative	482
Le filtrage des hautes ou des basses fréquences	483
5.10 Les circuits RLC alimentés par une tension alternative	486
La résonance dans un circuit RLC en série	489
Les vecteurs de Fresnel et les circuits RLC	490
5.11 Les équations de Maxwell	495
L'équation de Maxwell-Ampère	497
Les ondes électromagnétiques	499
5.12 Synthèse du chapitre	501

ANNEXE GÉNÉRALE		507
G1	L'alphabet grec	507
G2	Le système international d'unités	507
G2.1	Les préfixes du système international	507
G2.2	Les unités fondamentales du système international	507
G2.3	Les unités dérivées du système international	507
G2.4	Les unités du SI utilisées dans cet ouvrage	508
G3	Les constantes universelles	508
G4	Données d'usage fréquent	509
G5	Les propriétés des matériaux	509



ISTOCKPHOTO

G6	Les principaux isotopes des éléments	510
G7	Les chiffres significatifs	512

ANNEXE MATHÉMATIQUE		513
Relations mathématiques d'usage fréquent		513
M1	Les opérations de base	514
M1.1	L'addition, la soustraction, la multiplication et la division	514
M1.2	Les systèmes d'équations	514
M1.3	Le zéro et l'infini	515
M2	Les exposants et la notation scientifique	515
M2.1	Les exposants	515
M2.2	Exposants nuls et négatifs	516
M2.3	La notation scientifique	516
M2.4	Exposants non entiers et racine carrée	516
M2.5	La multiplication des binômes	516
M2.6	Les solutions de l'équation quadratique	516
M3	Les logarithmes	517
M3.1	Le logarithme en base 10	517
M3.2	Le logarithme naturel	518
M3.3	Les identités logarithmiques	518
M4	La géométrie de base	518
M4.1	Les angles	518
M4.2	Les triangles et les quadrilatères	519
M4.3	Le cercle et la sphère	520
M4.4	L'équation d'une droite	520

M5	Les fonctions trigonométriques	520
M5.1	La définition du sinus et du cosinus	520
M5.2	Valeurs particulières du sinus et du cosinus	521
M5.3	Les signes du sinus et du cosinus	521
M5.4	Les autres fonctions trigonométriques	522
M5.5	Les fonctions trigonométriques inverses	523
M5.6	Les identités trigonométriques	524
M5.7	Les lois des sinus et des cosinus	526

M6	Les approximations utiles	526
M6.1	L'approximation du binôme	526
M6.2	Les approximations du petit angle	527
M6.3	L'approximation du triangle isocèle mince	527

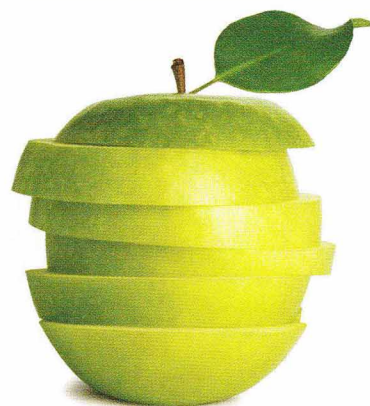
M7	Les vecteurs	527
M7.1	Les vecteurs et les scalaires	527
M7.2	L'addition graphique des vecteurs	528
M7.3	Les composantes d'un vecteur	528
M7.4	La multiplication d'un vecteur par un scalaire	528
M7.5	Les vecteurs unitaires $\vec{i}$, $\vec{j}$ et $\vec{k}$	528
M7.6	La forme polaire et la forme cartésienne	529
M7.7	De la forme polaire à la forme cartésienne	529
M7.8	De la forme cartésienne à la forme polaire	530
M7.9	Le module d'un vecteur en trois dimensions	530
M7.10	L'addition et la soustraction des vecteurs	530
M7.11	L'écriture des vecteurs	531

M8	Le produit scalaire	531
-----------	----------------------------	------------

M9	Le produit vectoriel	531
-----------	-----------------------------	------------

M10	La dérivée	532
M10.1	La définition de la dérivée	532
M10.2	Les règles de dérivation	533

M11	L'intégrale	534
------------	--------------------	------------



ISTOCKPHOTO

RÉPONSES DES EXERCICES	536
INDEX	553