

**TOUT EN
FICHES**

**MÉMO VISUEL DE
PHYSIQUE**

3^e ÉDITION

Sous la direction de
Giancarlo Faini
Hervé Courtois
Sylvia Matzen
Charlotte Py
Pierre Seneor

DUNOD

Direction artistique : Nicolas Wiel
Conception graphique de couverture : Elizabeth Riba
Mise en page : Soft Office
Uniformisation des illustrations et mise en page des fiches :
Bernadette Coléno

© Dunod, 2017, 2020, 2025
11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-088469-8

TABLE DES MATIÈRES

Comment utiliser cet ouvrage	XII
Avant-propos	XIII
Remerciements	XIV
Constantes	XV
Conversions et ordres de grandeur	XVI

PARTIE 1 – MÉCANIQUE CLASSIQUE

CHAPITRE 1 – LA CINÉMATIQUE DU POINT

FICHE 1	Les référentiels dans l'espace et le temps	2
FICHE 2	La vitesse et l'accélération	3
FICHE 3	Les expressions dans le repère cartésien	4
FICHE 4	Les expressions dans les repères polaire et cylindrique	5
FICHE 5	Les expressions dans le repère sphérique	6
FICHE 6	Les expressions dans le repère de Frenet	7
FICHE 7	Le changement de référentiel	8
FICHE 8	La composition des vitesses et des accélérations	9
FICHE 9	Application aux référentiels en translation	10
FICHE 10	Application aux référentiels en rotation autour d'un axe fixe	11

CHAPITRE 2 – LA DYNAMIQUE DU POINT ET DES SYSTÈMES DE POINTS

FICHE 11	La 1 ^{re} loi de Newton : le principe d'inertie et les référentiels galiléens	13
FICHE 12	La 2 ^e loi de Newton : le principe fondamental de la dynamique	14
FICHE 13	La 3 ^e loi de Newton : le principe de l'action et de la réaction	15
FICHE 14	La force d'attraction gravitationnelle	16
FICHE 15	Les forces de frottement	17
FICHE 16	Le travail d'une force	19
FICHE 17	Les forces conservatives	20
FICHE 18	Les forces d'inertie ou pseudo-forces	21
FICHE 19	L'énergie potentielle	22
FICHE 20	L'énergie cinétique	23
FICHE 21	L'énergie mécanique	24
FICHE 22	Le moment d'une force	25
FICHE 23	Le théorème du moment cinétique	26
FICHE 24	Les oscillations harmoniques	27
FICHE 25	Les oscillations amorties	28

TABLE DES MATIÈRES

FICHE 26	Les oscillations forcées et le phénomène de résonance	29
FICHE 27	La description d'un système de points	30
FICHE 28	La mécanique d'un système de points	31
FICHE 29	Collisions de systèmes de points	33
FICHE 30	Manifestations de la rotation de la Terre.	34
FICHE 31	Les marées	36
FICHE 32	Forces centrales et lois de Kepler.	37
FICHE 33	La relativité.	38

CHAPITRE 3 – LA MÉCANIQUE DES FLUIDES

FICHE 34	Les forces de pression	40
FICHE 35	La loi de l'hydrostatique	41
FICHE 36	La poussée d'Archimède	42
FICHE 37	L'écoulement d'un fluide parfait: conservation du débit et relation de Bernoulli	43
FICHE 38	Portance et traînée : de l'avion à l'éolienne	44
FICHE 39	L'écoulement d'un fluide visqueux: lois de Stokes et Poiseuille	46

PARTIE 2 – THERMODYNAMIQUE

CHAPITRE 4 – LES SYSTÈMES THERMODYNAMIQUES

FICHE 40	Les systèmes et les variables d'état	48
FICHE 41	La température et la thermométrie	50
FICHE 42	La pression et les manomètres	51
FICHE 43	L'équation d'état et la fonction d'état	52
FICHE 44	Les gaz et les phases condensées	53
FICHE 45	Les gaz parfaits et les mélanges de gaz parfaits	54
FICHE 46	Les gaz réels	55
FICHE 47	La théorie cinétique des gaz parfaits.	56
FICHE 48	L'étude microscopique du gaz parfait.	57

CHAPITRE 5 – LES PRINCIPES DE LA THERMODYNAMIQUE

FICHE 49	Les transformations thermodynamiques	58
FICHE 50	L'énergie interne, l'énergie totale, l'enthalpie et les capacités thermiques . . .	59
FICHE 51	Les coefficients thermoélastiques	60

TABLE DES MATIÈRES

FICHE 52	Transfert thermique et coefficients calorimétriques	61
FICHE 53	Énergies et capacités thermiques d'un gaz parfait	62
FICHE 54	Énergies et capacités thermiques d'une phase condensée	63
FICHE 55	Le travail des forces de pression	64
FICHE 56	Le 1 ^{er} principe de la thermodynamique pour un système fermé	65
FICHE 57	Le 1 ^{er} principe de la thermodynamique pour un système ouvert	66
FICHE 58	Le 2 ^e principe et les identités thermodynamiques	67
FICHE 59	L'interprétation statistique de l'entropie	69
FICHE 60	Transformations réversibles d'un gaz parfait	70
FICHE 61	Transformations irréversibles d'un gaz parfait (détentes)	71
FICHE 62	Les fonctions et potentiels thermodynamiques U, H, F et G	72
FICHE 63	Le potentiel chimique et le mélange monophasé	74

CHAPITRE 6 – LES TRANSITIONS DE PHASE

FICHE 64	Les changements d'état d'un corps pur	76
FICHE 65	L'enthalpie massique de changement d'état	77
FICHE 66	Les équilibres entre phases	78
FICHE 67	Les changements d'état de l'eau	80
FICHE 68	Variations des fonctions d'état d'un corps pur diphasé liquide-vapeur	81

CHAPITRE 7 – LES CYCLES THERMODYNAMIQUES

FICHE 69	Généralités et rendements des machines dithermes	82
FICHE 70	Le cycle de Carnot	83
FICHE 71	Les cycles moteurs à combustion interne	85
FICHE 72	Les cycles moteurs à changement d'état	86
FICHE 73	Les cycles récepteurs	87

CHAPITRE 8 – LES TRANSFERTS DE MASSE ET DE CHALEUR

FICHE 74	Les transferts par diffusion : modélisation générale	88
FICHE 75	La diffusion particulaire	89
FICHE 76	La diffusion thermique par conduction	90
FICHE 77	La diffusion thermique par convection	92
FICHE 78	Les transferts thermiques radiatifs	94
FICHE 79	Les résistances thermiques	96
FICHE 80	La thermoélectricité	97

TABLE DES MATIÈRES

PARTIE 3 – ONDES ET MATIÈRE

CHAPITRE 9 – LES ONDES

FICHE 81	Qu'est-ce qu'une onde?	100
FICHE 82	La propagation des ondes	102
FICHE 83	Les ondes sinusoïdales	103
FICHE 84	Les ondes sphériques	104
FICHE 85	Les ondes planes	105
FICHE 86	L'impédance d'un milieu	106
FICHE 87	Le changement de milieu	107
FICHE 88	Les ondes acoustiques	108
FICHE 89	Ondes stationnaires, modes propres, résonnance	109

CHAPITRE 10 – LA MÉCANIQUE QUANTIQUE

FICHE 90	Le photon	110
FICHE 91	Ondes et particules	111
FICHE 92	L'équation de Schrödinger	112
FICHE 93	L'effet tunnel et la microscopie tunnel	113

CHAPITRE 11 – PHYSIQUE DE LA MATIÈRE

FICHE 94	Les atomes	114
FICHE 95	Les postulats de Bohr et l'atome d'hydrogène	116
FICHE 96	Éléments de physique atomique	117
FICHE 97	Éléments de physique nucléaire	118
FICHE 98	La radioactivité	120
FICHE 99	Particules élémentaires et interactions fondamentales	121
FICHE 100	La structure des solides	122
FICHE 101	Les propriétés mécaniques des solides	124
FICHE 102	Les propriétés électroniques des solides	125
FICHE 103	Les différents états électroniques des solides	126

PARTIE 4 – OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE ET OPTIQUE ONDULATOIRE

CHAPITRE 12 – OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

FICHE 104	Le principe de Fermat	130
FICHE 105	Les lois de la réfraction	131
FICHE 106	L'indice de réfraction	133
FICHE 107	Les fibres optiques	134
FICHE 108	Le prisme	135
FICHE 109	La couleur	136
FICHE 110	Le phénomène de mirage	137
FICHE 111	Conditions de Gauss et notion d'image optique	138
FICHE 112	Les foyers, plans focaux et plans principaux	139
FICHE 113	La relation de conjugaison d'un système mince	140
FICHE 114	Les miroirs	141
FICHE 115	Les lentilles minces	142
FICHE 116	La construction géométrique de l'image d'un objet	144
FICHE 117	La formation d'une image par un miroir	145
FICHE 118	La formation d'une image par une lentille	146
FICHE 119	La mesure de la distance focale d'une lentille	147
FICHE 120	Le microscope et le télescope	148
FICHE 121	L'œil humain	149

CHAPITRE 13 – OPTIQUE ONDULATOIRE : INTERFÉRENCES ET DIFFRACTION

FICHE 122	Notion de cohérence : temporelle et spatiale	150
FICHE 123	Interférences à deux ondes : source ponctuelle monochromatique	152
FICHE 124	Le dispositif des fentes de Young	154
FICHE 125	L'interféromètre de Michelson	155
FICHE 126	Interférence à deux ondes : source polychromatique	157
FICHE 127	La diffraction des ondes lumineuses	159
FICHE 128	Diffraction et limite de résolution	160
FICHE 128	La lithographie en micro-nano-électronique	161
FICHE 129	La diffraction par une ouverture rectangulaire	162
FICHE 130	La diffraction par deux fentes minces	163
FICHE 131	La diffraction par N fentes : le réseau	164
FICHE 132	La polarisation de la lumière	166
FICHE 133	Illustrations et applications de la polarisation	167

TABLE DES MATIÈRES

PARTIE 5 – ÉLECTRICITÉ, ÉLECTRO-MAGNÉTISME ET ÉLECTRONIQUE

CHAPITRE 14 – L'ÉLECTROSTATIQUE

FICHE 134	Charges électriques et force de Coulomb	170
FICHE 135	Champ et potentiel électrostatiques créés par des charges ponctuelles	171
FICHE 136	Expressions du champ et du potentiel électrostatiques	172
FICHE 137	Lien entre champ et potentiel électrostatiques	173
FICHE 138	Le dipôle électrostatique	174
FICHE 139	Théorème de Gauss et applications	176
FICHE 140	La détermination de la charge élémentaire de l'électron	178

CHAPITRE 15 – LA MAGNÉTOSTATIQUE

FICHE 141	Sources et lignes de champ magnétique	179
FICHE 142	La loi de Biot et Savart	181
FICHE 143	Le théorème d'Ampère	182
FICHE 144	Les solénoïdes	183
FICHE 145	La force de Lorentz	184
FICHE 146	Cyclotrons et synchrotrons	185
FICHE 147	La force de Laplace sur un conducteur parcouru par un courant	186
FICHE 148	Le moment magnétique	187
FICHE 149	Effet Hall, résonance magnétique nucléaire	188

CHAPITRE 16 – L'ÉLECTROMAGNÉTISME

FICHE 150	Induction magnétique : lois de Lenz et de Faraday	189
FICHE 151	Circuit fixe dans un champ magnétique variable : inductance propre et inductance mutuelle	190
FICHE 152	Circuit fixe dans un champ magnétique variable : applications	191
FICHE 153	Circuit mobile dans un champ magnétique constant	192
FICHE 154	Machines synchrone et asynchrone	193
FICHE 155	Les opérateurs vectoriels	194
FICHE 156	Les équations de Maxwell	195
FICHE 157	La solution des équations de Maxwell sous forme d'ondes planes	196
FICHE 158	Énergie électromagnétique et vecteur de Poynting	197

CHAPITRE 17 – L'ÉLECTRODYNAMIQUE

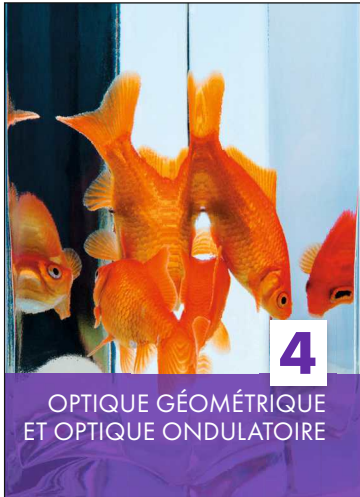
FICHE 159	Vision microscopique de l'électrodynamique	198
FICHE 160	Le modèle de Drude	199
FICHE 161	Dipôles : types, conventions et caractéristiques	200
FICHE 162	Les différents régimes, notations complexes, association de dipôles	201
FICHE 163	Dipôles passifs usuels : les résistors	202
FICHE 164	Dipôles passifs usuels : les condensateurs	203
FICHE 165	Dipôles passifs usuels : les bobines	204
FICHE 166	Dipôles actifs : sources de tension ou de courant	205
FICHE 167	Dipôles récepteurs avec force contre-électromotrice, point de fonctionnement	206
FICHE 168	Exemples de circuit d'étude électro-cinétique	207
FICHE 169	Instruments usuels de mesure en électro-cinétique	208
FICHE 170	Loi des mailles et loi des nœuds (lois de Kirchhoff)	209
FICHE 171	Les théorèmes de l'électrodynamique	210
FICHE 172	Puissance et énergie dans un circuit électrique	211
FICHE 173	Régime transitoire : le circuit RC	212
FICHE 174	Régime transitoire : le circuit RL	213
FICHE 175	Régime transitoire : le circuit RLC	214
FICHE 176	Le circuit RLC en régime sinusoïdal	215
FICHE 177	Le diagramme de Fresnel	216
FICHE 178	Analogie mécanique-électrodynamique, quadripôle	217
FICHE 179	Les filtres électroniques	218

CHAPITRE 18 – L'ÉLECTRONIQUE

FICHE 180	La jonction PN	219
FICHE 181	Caractéristique I-V de la diode à la jonction PN	220
FICHE 182	Étude statique et dynamique de la diode	222
FICHE 183	Le transistor bipolaire	223
FICHE 184	Régimes statique et dynamique du transistor bipolaire	224
FICHE 185	Paramètres hybrides et amplificateur à transistor	225
FICHE 186	L'amplificateur opérationnel (AO)	226
FICHE 187	Le transistor à effet de champ	227
FICHE 188	L'énergie photovoltaïque	228

Index	231
Crédits photographiques	236

COMMENT UTILISER CET OUVRAGE



5 parties Les grands axes de la physique

 Renvois
entre fiches

**Plus de 180 fiches
réparties en 5 parties**
Les notions essentielles du cours
pour réviser rapidement

**600 schémas et photos
en couleurs**
pour illustrer chaque notion
importante

Et aussi...

- Une liste des constantes, unités et ordres de grandeur
- Un index complet

FICHE 78

LES TRANSFERTS THERMIQUES RADIATIFS

► **Le rayonnement thermique émis par un corps noir**

■ **Modèle du corps noir** : un corps noir est un objet idéal qui absorbe toute l'énergie électromagnétique reçue, sans en réfléchir ni en transmettre. Sous l'effet de l'agitation thermique, un corps noir émet un rayonnement électromagnétique polychromatique dont le spectre ne dépend que de la température.

■ **Loi de Planck** : l'émission spectrale M_λ d'un corps noir de température de surface T suit la loi de Planck :

$$M_\lambda = \frac{2\pi^5 k^4}{15} \frac{T^4}{e^{hc/\lambda kT}} \quad (\text{W m}^{-2} \text{ nm}^{-1})$$

■ **Loi de Wien** : la plage spectrale d'émission du rayonnement thermique se déplace vers les courtes longueurs d'onde quand la température de la surface émettrice augmente.

Il existe une longueur d'onde λ_{max} pour laquelle l'énergie émise par rayonnement est maximale à T donnée.

$\lambda_{\text{max}} T = 2.898 \cdot 10^{-3} \quad (\text{m K})$

Le spectre du rayonnement thermique s'étend d'environ 100 nm à 100 µm (ultraviolet - infrarouge moyen).

Le corps humain (à 300 K) émet un maximum d'énergie à $\lambda_{\text{max}} = 10 \mu\text{m}$ (non visible) tandis que le rayonnement du soleil (à 6 000 K) devient perceptible à l'œil ($\lambda_{\text{max}} = 480 \text{ nm}$).

■ **Loi de Stefan-Boltzmann** : l'émission d'un corps noir suit la loi de Stefan-Boltzmann :

$$M = \sigma T^4 = \left(\frac{\pi^5 k^4}{15} \right) T^4 \quad (\text{W m}^{-2})$$

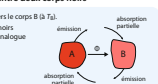
avec $M = \int M_\lambda d\lambda$ et $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ la constante de Stefan-Boltzmann.

► **Le modèle du transfert thermique radiatif entre deux corps noirs**

On note Φ le flux alébrétique radiatif du corps A (à T_A) vers le corps B (à T_B). Le transfert thermique radiatif global entre deux corps noirs de température proche peut être modélisé par une loi analogue à celle de la convection thermique :

$$\Phi = h_p \sigma (T_A - T_B) \quad (\text{W})$$

avec h_p le coefficient d'échange radiatif ($\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$)



La physique, du grec «*η φυσική*», signifie la connaissance de la nature. La physique a été la première science à s'attacher à l'explication du fonctionnement de toute chose, là où d'autres sciences se réduisaient souvent à la collecte et à la classification des données. Aujourd'hui, on peut toujours considérer que la physique a diffusé vers les autres disciplines une méthodologie particulière dans l'approche de la connaissance.

Le domaine de la physique englobe le large éventail allant de l'infiniment petit jusqu'à l'infiniment grand, en passant par les objets à échelle humaine. Au-delà de l'explication de notre monde, la physique nous permet de construire des objets et systèmes pratiques, et envisage de nouvelles applications de la science. Bien que parfois accueillie avec appréhension à l'école, la physique ouvre nos esprits à des domaines aussi fascinants que le monde quantique, la réalité des trous noirs, la cryptographie ou encore la téléportation...

L'équipe qui a rédigé cet ouvrage a fait le pari de condenser en 188 fiches les grands concepts de la physique, sans pour autant prétendre à l'exhaustivité. Les grands axes que sont la mécanique, la thermodynamique, les ondes et la matière, l'optique, l'électromagnétisme et l'électricité sont abordés. Des choix ont été faits pour couvrir au mieux les programmes de classes préparatoires et de licence tout en ne retenant que l'essentiel des notions de base nécessaires pour en comprendre les différents axes.

Cet ouvrage est conçu comme un outil de révision, permettant à tous de revenir de façon efficace et synthétique sur les connaissances essentielles. Sa structure n'est pas progressive comme le serait un cours, mais vise plutôt à une synthèse, en regroupant différents aspects d'un même concept ou objet sur une fiche unique. De plus, l'aspect visuel a été privilégié, au travers de nombreux schémas et illustrations.

L'équipe a tenu à illustrer les notions fondamentales d'une bonne partie des fiches de cet ouvrage par des exemples d'applications dans la vie de tous les jours mais aussi en lien avec d'autres disciplines telles que l'astronomie, la cosmologie, l'ingénierie, la chimie, la biologie, les sciences médicales ou encore de l'environnement. Au-delà de l'intérêt particulier d'une application, ceci met en évidence le fort caractère interdisciplinaire de la physique et son enracinement dans notre réalité quotidienne.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier particulièrement le travail précieux de relecture, de corrections et modifications qui a été fait par :

Hélène Carrère, maître de conférences à l'INSA de Toulouse, laboratoire de physique et chimie des nano-objets (LPCNO);

Antoine Morin, professeur agrégé en classes préparatoires PCSI/PSI au lycée de l'Essouriau (CPGE en partenariat avec l'université Paris-Sud);

Vincent Reynaud, professeur agrégé en classes préparatoires PCSI/PSI au lycée de l'Essouriau (CPGE en partenariat avec l'université Paris-Sud);

Philippe Tamarat, professeur à l'université de Bordeaux, laboratoire photonique, numérique et nanosciences (LP2N).

Les auteurs remercient également Sylvie Zanier, professeure agrégée à l'université Grenoble Alpes, pour les très belles photos d'expériences d'optique qu'elle leur a fournies, ainsi que Gilles Patriarche et Jean-Christophe Harmand, directeurs de recherche au centre de nanosciences et de nanotechnologies (C2N-CNRS-UPSud), pour les images de microscopie à transmission de nanofils de semiconducteurs.