

# Table des matières

L'album photos du livre	
<i>Physique conceptuelle</i>	xvi
À l'étudiant	xviii
Au professeur	xix
Remerciements	xxii

## 1 La science 2

<b>1.1</b> Mesures scientifiques	3
<i>Comment Ératosthène a mesuré la circonférence de la Terre</i>	3
<i>Diamètre de la Lune</i>	4
<i>Distance Terre-Lune</i>	5
<i>Distance Terre-Soleil</i>	6
<i>Diamètre du Soleil</i>	7
<i>Les mathématiques – Le langage de la science</i>	8
<b>1.2</b> Méthode scientifique	8
<i>La démarche scientifique</i>	8
<b>1.3</b> Science, art et religion	12
■ PSEUDOSCIENCE	13
<b>1.4</b> Science et technologie	14
■ ÉVALUATION DES RISQUES	14
<b>1.5</b> Physique – La science fondamentale	15
<b>1.6</b> Perspectives	16

### PARTIE 1

## Mécanique 19

### 2 Première loi de Newton – Principe d'inertie 20

<b>2.1</b> Aristote au sujet du mouvement	21
<i>Copernic et le mouvement de la Terre</i>	22
■ ARISTOTE (384 - 322 AV. J.-C.)	23
<b>2.2</b> Les expériences de Galilée	23
<i>La Tour penchée de Pise</i>	23
<i>Les plans inclinés</i>	23
■ GALILÉE (1564-1642)	24
<b>2.3</b> Première loi de Newton	26
■ ESSAI PERSONNEL	27

<b>2.4</b> Force résultante – Force nette et vecteurs	28
<i>Vecteurs force</i>	29
<b>2.5</b> Loi de l'équilibre	30
■ MISE EN PRATIQUE DE LA PHYSIQUE	31
<b>2.6</b> Force normale	32
<b>2.7</b> Équilibre des objets en mouvement	33
<b>2.8</b> Mouvement de la Terre	34

### 3 Mouvement rectiligne 40

<b>3.1</b> La description d'un mouvement et les repères (référentiels)	41
<b>3.2</b> Vitesse	42
<i>Vitesse instantanée</i>	42
<i>Vitesse moyenne</i>	42
<b>3.3</b> Vecteur vitesse	43
<i>Vecteur vitesse constant</i>	44
<i>Vecteur vitesse variable</i>	44
<b>3.4</b> Accélération	44
<i>Accélération et les plans inclinés de Galilée</i>	46
<b>3.5</b> Chute libre	47
<i>À quelle vitesse ... ?</i>	47
<i>À quelle distance ... ?</i>	48
■ DURÉE TOTALE D'UN SAUT	51
<i>À quelle vitesse la vitesse change ?</i>	51
<b>3.6</b> Vecteurs vitesses résultants	52

### 4 Deuxième loi de Newton 59

<b>4.1</b> Force et Accélération	60
<b>4.2</b> Force de frottement	61
<b>4.3</b> Masse et Poids	63
<i>La masse résiste à l'accélération</i>	65
<b>4.4</b> Deuxième loi de Newton	65
<b>4.5</b> Chute libre – Accélération égale à $g$	66
<b>4.6</b> Chute non libre – Accélération inférieure à $g$	65

### 5 Troisième loi de Newton 76

<b>5.1</b> Forces et interactions	77
<b>5.2</b> Troisième loi de Newton	78
<i>Définir son système</i>	79

5.3	Action-Réaction entre des objets de masses différentes	81	8.3	Le moment de force	143
	■ LA PHYSIQUE EN PRATIQUE : TIR À LA CORDE	83	8.4	Centre de masse et centre de gravité <i>Localisation du centre de gravité</i> <i>Système en équilibre</i>	144 146 147
5.4	Les vecteurs et la troisième loi de Newton	84	8.5	Force Centripète	149
5.5	Résumé des trois lois de Newton	87		■ MISE EN PRATIQUE : SEAU D'EAU	150
<b>6</b>	<b>Quantité de mouvement</b>	<b>92</b>	8.6	Force centrifuge <i>Force centrifuge dans un référentiel en rotation</i> <i>Simulation de la gravité</i>	151 152
6.1	Quantité de mouvement	93	8.7	Moment Angulaire	153
6.2	Impulsion	94	8.8	Conservation du moment angulaire	155
6.3	Impulsion et quantité de mouvement <i>Cas 1 : Augmentation de la quantité de mouvement</i> <i>Cas 2 : Diminution de la quantité de mouvement sur une longue durée de temps</i> <i>Cas 3 : Diminution de la quantité de mouvement sur une courte durée de temps</i>	95 95 96 97	<b>9</b>	<b>Gravitation</b>	<b>164</b>
6.4	Impulsion - Rebond	98	9.1	Loi de la gravitation universelle	165
6.5	Conservation de la quantité de mouvement ■ LOIS DE CONSERVATION	99 101	9.2	Constante universelle de gravitation, $G$	167
6.6	Collisions	101	9.3	Gravitation et distance : loi du carré inverse	168
6.7	Collisions plus complexes	104	9.4	Poids et apesanteur	170
<b>7</b>	<b>Énergie</b>	<b>111</b>	9.5	Marées océaniques <i>Les marées terrestres et atmosphériques</i> <i>Les renflements de marée sur la Lune</i>	171 174 174
7.1	Travail <i>La Puissance</i> <i>Énergie mécanique</i>	112 114 115	9.6	Champs gravitationnels <i>Champ gravitationnel à l'intérieur d'une planète</i> <i>La théorie de la gravitation d'Einstein</i>	175 177 177
7.2	Énergie potentielle	115	9.7	Trous noirs	177
7.3	Énergie cinétique	116	9.8	Gravitation universelle	179
7.4	Théorème de l'énergie cinétique	117	<b>10</b>	<b>Mouvements des projectiles et des satellites</b>	<b>186</b>
7.5	Conservation de l'énergie ■ ÉNERGIE ET TECHNOLOGIE ■ LA PHYSIQUE EN APPLICATION <i>Énergie recyclée</i>	119 120 121 121	10.1	Mouvement des projectiles <i>Projectiles lancés horizontalement</i> <i>Projectiles lancés sous différents angles</i>	187 188 189
7.6	Machines	122		■ TRAVAIL PRATIQUE DE PHYSIQUE : DES BILLES SUSPENDUES À HAUTEUR	191
7.7	Efficacité énergétique	123		■ TEMPS DE VOL RÉÉVALUÉ	194
7.8	Sources d'énergie ■ SCIENCE DE PACOTILLE (SCIENCE NON FONDÉE)	125 128	10.2	Projectiles rapides – Satellites	194
<b>8</b>	<b>Mouvement de rotation</b>	<b>136</b>	10.3	Orbites circulaires des satellites	196
8.1	Mouvement circulaire ■ ROUES DES TRAINS DE CHEMIN DE FER	137 139	10.4	Orbites elliptiques ■ SURVEILLANCE MONDIALE PAR SATELLITE	198 199
8.2	Moment d'inertie	140	10.5	Lois de Kepler du mouvement planétaire ■ TROUVER VOTRE VOIE	200 201

10.6	Conservation de l'énergie et mouvement des satellites	201
10.7	Vitesse de libération	202

**PARTIE 2**  
**Propriétés de la matière 213**

**11 La nature atomique de la matière 214**

11.1	L'hypothèse atomique ■ TOMBER AU RALENTI DANS LE MONDE D'ALICE	215 216
11.2	Caractéristiques des atomes	216
11.3	Atomes en images	218
11.4	Structure atomique <i>Les éléments</i>	219 220
11.5	Tableau périodique des éléments <i>Tailles relatives des atomes</i>	221 221
11.6	Isotopes	224
11.7	Composés et mélanges	225
11.8	Molécules	226
11.9	Antimatière <i>Matière noire</i>	227 228

**12 Les Solides 232**

12.1	Structure cristalline ■ ÉNERGIE CRISTALLINE	233 235
12.2	Masse volumique	235
12.3	Élasticité	236
12.4	Tension et compression ■ LA PHYSIQUE EN PRATIQUE : LA FORCE DU BÂTON	237 239
12.5	Arcades ■ PROCÉDÉ DE FABRICATION ADDITIVE OU IMPRESSION EN 3D	240 241
12.6	Mise à l'échelle	242

**13 Les liquides 250**

13.1	Pression	251
13.2	Pression dans un liquide	252
13.3	Flottabilité	255
13.4	Principe d'Archimède	256
13.5	Qu'est-ce qui fait couler ou flotter un objet ?	257

13.6	Flottaison ■ MONTAGNES FLOTTANTES	258 260
13.7	Principe de Pascal	261
13.8	Tension superficielle	262
13.9	Capillarité	264

**14 Les gaz 271**

14.1	L'atmosphère	272
14.2	Pression atmosphérique <i>Le baromètre</i>	273 275
14.3	Loi de Boyle	277
14.4	Flottabilité de l'air	278
14.5	Principe de Bernoulli <i>Applications du principe de Bernoulli</i> ■ LA PHYSIQUE EN PRATIQUE	280 281 282
14.6	Plasma <i>Le plasma au quotidien</i> <i>Plasma et Énergie</i>	283 284 284

**PARTIE 3**  
**Chaleur 291**

**15 Température, chaleur et dilatation 292**

15.1	Température	293
15.2	Chaleur <i>Mesure de la chaleur</i>	295 297
15.3	Capacité calorifique spécifique	297
15.4	Capacité calorifique spécifique élevée de l'eau	298
15.5	Dilatation thermique <i>Expansion de l'eau</i> ■ LA VIE DANS LES MILIEUX EXTRÊMES	300 302 303

**16 Transfert de chaleur 310**

16.1	Conduction	311
16.2	Convection ■ LA PHYSIQUE EN PRATIQUE	312 315
16.3	Rayonnement <i>Émission d'énergie radiante</i> <i>Absorption de l'énergie rayonnante</i> <i>Reflexion de l'énergie rayonnante</i> <i>Refroidissement nocturne par rayonnement</i>	315 316 317 318 318

16.4	La loi de Newton sur le refroidissement	319
16.5	Effet de serre	320
16.6	Changement climatique	321
16.7	Énergie solaire	322
	■ LA PHYSIQUE EN PRATIQUE	323
16.8	Contrôle du transfert de chaleur	323
<b>17</b>	<b>Changements de phase d'un corps pur</b>	<b>328</b>
17.1	États de la matière	329
17.2	Évaporation	329
17.3	Condensation	331
	Condensation dans l'atmosphère	332
	Brouillard et nuages	333
17.4	Ébullition	333
	Geysers	334
	L'ébullition est un processus de refroidissement	334
	Ébullition et solidification (congélation) en même temps	335
17.5	Fusion et solidification	335
	Alternance gel-dégel	336
17.6	Énergie et changements de phase	336
	LA PHYSIQUE EN PRATIQUE	340
<b>18</b>	<b>Thermodynamique</b>	<b>345</b>
18.1	Thermodynamique	346
18.2	Zéro absolu	346
	Énergie interne	348
18.3	Premier principe de la thermodynamique	348
18.4	Processus adiabatiques	350
18.5	La météorologie et le premier principe	350
18.6	Deuxième principe de la thermodynamique	353
	Moteurs thermiques	353
	■ THERMODYNAMIQUE SPECTACULAIRE	355
18.7	Tendance des énergies à se disperser	356
18.8	Entropie	358

## PARTIE 4

## Le son 365

## 19 Vibrations et ondes 366

19.1	Vibrations	367
	Vibration d'un pendule	368
19.2	Description d'une onde	368
19.3	Mouvement ondulatoire	370
	■ LA PHYSIQUE EN PRATIQUE	371
	Ondes transversales	371
	Ondes longitudinales	371
19.4	Vitesse d'une onde	372
19.5	Interférence des ondes	373
	Ondes stationnaires	374
19.6	Effet Doppler	375
19.7	Vagues d'étrave	377
19.8	Ondes de choc	377

## 20 Le son 384

20.1	Nature du son	385
	Origine du son	385
	Les conducteurs du son	386
20.2	Son dans l'air	386
	■ HAUT-PARLEUR	388
	Vitesse du son dans l'air	388
	■ LA PHYSIQUE EN PRATIQUE	389
	L'énergie dans les ondes sonores	389
20.3	Réflexion du son	389
20.4	Réfraction du son	390
20.5	Vibrations forcées	392
	Fréquence propre	392
20.6	Résonance	392
20.7	Interférence	394
20.8	Battement	395
	■ ÉMISSIONS DE RADIO	396

## 21 Sons musicaux 401

21.1	Bruit et musique	402
21.2	Hauteur	403
21.3	Intensité sonore et la sonie	404
21.4	Qualité	405
21.5	Instruments de musique	406
21.6	Analyse de Fourier	407
21.7	De l'analogique au numérique	409

## PARTIE 5

## Électricité et Magnétisme 415

## 22 Électrostatique 416

22.1	Électricité	417
	Forces électriques	418
22.2	Charges électriques	418
22.3	Conservation de la charge	419
	■ TECHNOLOGIE ÉLECTRONIQUE ET ÉTINCELLES	420
22.4	Loi de Coulomb	421
22.5	Conducteurs et isolants	422
	Semi-conducteurs	422
	Supraconducteurs	423
22.6	Électrisation	423
	Électrisation par frottement et contact	423
	Électrisation par induction	424
22.7	Polarisation électrique	426
22.8	Champ électrique	427
	■ FOUR À MICRO-ONDES	428
	Blindage électrique	429
22.9	Potentiel électrique	430
	Stockage d'énergie électrique	432
	Générateur de Van de Graaff	433

## 23 Courant électrique 440

23.1	Flux de charge et courant électrique	441
23.2	Sources de tension	442
23.3	Résistance électrique	443
23.4	Loi d'Ohm	444
	La loi d'Ohm et le choc électrique	445
23.5	Courant continu et courant alternatif	447
	Convertir le courant alternatif en courant continu	447
23.6	Vitesse et source des électrons dans un circuit	448
23.7	Puissance électrique	450
23.8	Lampes	451
23.9	Circuits électriques	451
	Montage d'un circuit en série	452
	■ PILES À COMBUSTIBLE	452
	Montage d'un circuit en parallèle	453
	Circuit en parallèle et surcharge	454
	Fusibles de sécurité	455

## 24 Magnétisme 462

24.1	Magnétisme	463
24.2	Pôles magnétiques	464
24.3	Champ magnétique	465
24.4	Domaines magnétiques	466
24.5	Courant électrique et champ magnétique	468
	■ LA PHYSIQUE EN PRATIQUE	468
24.6	Électro-aimants	468
	Électro-aimants supraconducteurs	469
24.7	Force magnétique	470
	Déplacement des particules chargées	470
	Fils conducteurs de courant	470
	Compteurs d'électricité	471
	Moteurs électriques	472
24.8	Champ magnétique de la Terre	472
	Rayons cosmiques	474
24.9	Biomagnétisme	475
	■ IRM : IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE	475

## 25 Induction électromagnétique 480

25.1	Induction électromagnétique	481
25.2	Loi de Faraday	483
25.3	Générateurs et courant alternatif	484
25.4	Production d'énergie	485
	Turbogénérateur	485
	Générateur MHD	486
25.5	Transformateurs	486
25.6	Auto-induction	489
25.7	Transfert de puissance	490
25.8	Induction de champ	490

## PARTIE 6

## Lumière 499

## 26 Propriétés de la lumière 500

26.1	Ondes électromagnétiques	502
26.2	Vitesse de l'onde électromagnétique	502
26.3	Spectre électromagnétique	503
	■ ANTENNES FRACTALES	504
26.4	Matériaux transparents	505
26.5	Matériaux opaques	507
	Les ombres	508
26.6	Perception de la lumière – L'œil	510

**27 Les couleurs** 518

27.1 La couleur dans notre monde 519  
 27.2 Réflexion sélective 519  
 27.3 Transmission sélective 521  
 27.4 Mélange de lumières colorées 521  
     Couleurs primaires 522  
     Couleurs complémentaires 523  
 27.5 Mélange de pigments colorés 523  
 27.6 Pourquoi le ciel est bleu 525  
 27.7 Pourquoi les couchers de soleil sont rouges 526  
     ■ LA PHYSIQUE EN PRATIQUE 527  
 27.8 Pourquoi les nuages sont blancs 528  
 27.9 Pourquoi l'eau est bleue verdâtre 528

**28 Réflexion et réfraction** 533

28.1 Réflexion 534  
     Principe du moindre temps 534  
 28.2 Loi de la réflexion 535  
     Miroirs plans 536  
     Réflexion diffuse 537  
 28.3 Réfraction 538  
     Indice de réfraction 540  
     Mirage 540  
 28.4 Cause de la réfraction 541  
 28.5 Dispersion et arc-en-ciel 543  
 28.6 Réflexion totale interne 545  
 28.7 Lentilles 547  
     Formation de l'image par une lentille 548  
     ■ LA PHYSIQUE EN PRATIQUE 549  
 28.8 Défauts de la lentille 551

**29 Les ondes lumineuses** 558

29.1 Principe de Huygens 559  
 29.2 Diffraction 561  
 29.3 Superposition et interférence 563  
 29.4 Interférence dans les couches minces 566  
     Couleurs d'interférence 567  
     ■ LA PHYSIQUE EN PRATIQUE 568  
 29.5 Polarisation 569  
     Visualisation en 3D 571  
 29.6 Holographie 573

**30 Émission de lumière** 576

30.1 Émission de lumière 577  
 30.2 Excitation 578

30.3 Spectre d'émission 580  
 30.4 Incandescence 581  
 30.5 Spectre d'absorption 583  
 30.6 Fluorescence 584  
 30.7 Phosphorescence 585  
 30.8 Lampes à incandescence 586  
     Lampe fluorescente 587  
     Lampe fluorescente compacte 587  
     Diode électroluminescente 587  
 30.9 Lasers 588

**31 Quanta de lumière** 596

31.1 Naissance de la théorie quantique 597  
 31.2 Quantification et constante de Planck 598  
 31.3 Effet photoélectrique 599  
 31.4 Dualité onde-particule 601  
 31.5 Expérience à double fente 602  
 31.6 Particules sous forme d'ondes :  
     Diffraction d'électrons 604  
 31.7 Principe d'incertitude 606  
 31.8 Complémentarité 609  
     ■ LA PRÉDICTIBILITÉ ET LE CHAOS 610

**PARTIE 7**

**Physique atomique et nucléaire** 615

**32 L'atome et le quantum** 616

32.1 Découverte du noyau atomique 617  
 32.2 Découverte de l'électron 618  
 32.3 Spectre atomique : indices sur la structure atomique 620  
 32.4 Modèle atomique de Bohr 621  
 32.5 Niveaux énergétiques quantifiés :  
     Ondes électroniques 622  
 32.6 Mécanique quantique 624  
 32.7 Principe de correspondance 625  
     ■ BOSON DE HIGGS 626

**33 Noyau atomique et radioactivité** 629

33.1 Rayons X et radioactivité 630  
 33.2 Rayonnements alpha, bêta et gamma 631

33.3 Radioactivité naturelle 633  
     Unités de mesure des radiations 633  
     Doses de rayonnement 634  
     Marqueurs radioactifs 635  
 33.4 Le noyau atomique et la force forte 636  
 33.5 Demi-vie radioactive 639  
 33.6 Détecteurs de rayonnement 640  
 33.7 Transmutation des éléments 642  
     Transmutation naturelle 642  
     Transmutation artificielle 644  
 33.8 Datation radiométrique 644  
     ■ IRRADIATION DES ALIMENTS 646

**34 La fission et la fusion nucléaires** 651

34.1 Fission nucléaire 653  
 34.2 Réacteurs à fission nucléaire 655  
     ■ PLUTONIUM 657  
 34.3 Réacteur surgénérateur 658  
 34.4 Énergie fissile 658  
 34.5 Équivalence masse-énergie 659  
     ■ LA PHYSIQUE ET LA SÉCURITÉ AÉROPORTUAIRE 663  
 34.6 Fusion nucléaire 663  
 34.7 Contrôle de la fusion 666

**PARTIE 8**

**Relativité** 671

**35 Théorie de la relativité restreinte** 672

35.1 Relativité du mouvement 673  
     Expérience Michelson et Morley 674  
 35.2 Postulats de la théorie de la relativité restreinte 675  
 35.3 Simultanéité 676  
 35.4 Espace-temps et dilatation du temps 677  
     ■ LA MONTRE QUE VOUS PORTIEZ TOUT LE TEMPS ET L'HORLOGE DU VILLAGE ! 681  
     Le jumeau voyageur 682

35.5 Addition des vitesses 687  
     Voyage dans l'espace 688  
     ■ SAUTER DES CENTAINES D'ANNÉES 689  
 35.6 Contraction des longueurs 689  
 35.7 Quantité de mouvement relativiste 691  
 35.8 Masse, énergie et  $E = mc^2$  692  
 35.9 Principe de correspondance 695

**36 Théorie de la relativité générale** 700

36.1 Principe d'équivalence 701  
 36.2 Déviation de la lumière par un champ gravitationnel 703  
 36.3 Gravitation et temps : décalage vers le rouge gravitationnel 705  
 36.4 Gravitation et espace : mouvement de Mercure 707  
 36.5 Gravitation, espace et nouvelle géométrie 708  
 36.6 Ondes gravitationnelles 710  
 36.7 Gravitation newtonienne et einsteinienne 710

**Épilogue** 715

**ANNEXE A**  
 Conversions de mesures et d'unités 717

**ANNEXE B**  
 En savoir plus sur le mouvement 722

**ANNEXE C**  
 Graphiques 726

**ANNEXE D**  
 Applications vectorielles 729

**ANNEXE E**  
 Croissance exponentielle et le temps de doublement 733

**Réponses** S-1

**Glossaire** G-1

**Crédits photographiques** C-1

**Index** I-1