



Avec les Nuls, tout devient facile !

Près de 300
illustrations et
schémas !

La Physique

POUR
LES NULS

André Deiber
Daniel Husson
Jean-Louis Izbicki
Roland Lehoucq
Dominique Meier
(sous la dir. de)

Agrégés de sciences physiques



La Physique pour les Nuls

© Éditions First-Gründ, 2009. Publié en accord avec Wiley Publishing, Inc.

« Pour les Nuls » est une marque déposée de Wiley Publishing, Inc.

« For Dummies » est une marque déposée de Wiley Publishing, Inc.

Cette œuvre est protégée par le droit d'auteur et strictement réservée à l'usage privé du client. Toute reproduction ou diffusion au profit de tiers, à titre gratuit ou onéreux, de tout ou partie de cette œuvre est strictement interdite et constitue une contrefaçon prévue par les articles L 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. L'éditeur se réserve le droit de poursuivre toute atteinte à ses droits de propriété intellectuelle devant les juridictions civiles ou pénales.

ISBN : 9782754009157

ISBN Numérique : 9782754040228

Dépôt légal : 4^e trimestre 2009

Édition : Marie-Anne Jost-Kotik

Correction : Jacqueline Rouzet

Mise en page : Stéphane Angot

Couverture : Stéphane Angot

Production : Emmanuelle Clément

Illustrations intérieures : SaT

Dessins de partie : Marc Chalvin

Éditions First-Gründ

60, rue Mazarine

75006 Paris – France

Tél. : 01 45 49 60 00

Fax : 01 45 49 60 01

E-mail : firstinfo@first.com

Internet : www.editionsfirst.fr

À propos des auteurs

Dominique Meier est « l'instigateur » de cet ouvrage. Agrégé de sciences physiques, il est professeur en classes préparatoires au lycée Kléber de Strasbourg. Dans le cadre de la recherche il est rattaché au laboratoire ondes et milieux complexes (LOMC) à l'université du Havre. Il est l'auteur de nombreux ouvrages scientifiques, de manuels du second cycle des lycées au troisième cycle universitaire. Le site internet de référence est : www.toutelaphysique.fr.

Jean-Louis Izbicki est agrégé de sciences physiques et docteur d'état. Il est professeur à l'université du Havre et son domaine de recherche concerne les ondes acoustiques. Il est actuellement directeur de la Fédération Acoustique du Nord Ouest (FANO).

Daniel Husson est docteur en physique des particules et agrégé de sciences physiques. Il est maître de conférences à l'université de Strasbourg (université Louis-Pasteur). Il est aussi auteur d'un ouvrage de vulgarisation, *Les Quarks, histoire d'une découverte*, chez Ellipses.

André Deiber est agrégé de sciences physiques. Il est professeur en classes préparatoires au lycée Kléber de Strasbourg et auteur de plusieurs ouvrages scientifiques ainsi que de nombreux articles dans des bulletins scientifiques sur la didactique de la physique dans l'enseignement supérieur.

Roland Lehoucq est docteur d'État en astrophysique et agrégé de sciences physiques. Il est astrophysicien et travaille dans ce cadre au service d'astrophysique du CEA de Saclay. C'est un des spécialistes français de la topologie cosmique. Il a été le rédacteur de la rubrique « Idées de physique » dans la revue *Pour la science*. Il est auteur de nombreux ouvrages de vulgarisation avec entre autres : *D'où viennent les pouvoirs de Superman ?* (EDP Sciences, 2003) et *SF : la science mène l'enquête* (Le Pommier, 2007).

Dédicace

Ce livre est dédié à tous les scientifiques d'hier, de demain et d'aujourd'hui ; à tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre font partager, au reste de l'humanité, notre passion commune, la science.

Remerciements

Un grand merci à :

- ✓ Jean-Daniel Hihi, Thierry Meyer et Jean-Pierre Simond, professeurs, pour leur travail de relecture.
- ✓ Michèle Kopcia et Jean-Baptiste Poincot pour leur relecture et leurs conseils toujours judicieux.
- ✓ Marc Venturi, lecteur et relecteur patient et attentif, pour ses remarques et ses conseils.
- ✓ SaT pour la qualité de ses dessins, sa patience et sa disponibilité.
- ✓ Alain Roos pour ses relectures et ses idées originales.
- ✓ Fabien Meier pour ses interventions dans les domaines historique et littéraire.
- ✓ Tous ceux qui nous ont aidés dans cette entreprise, collègues, étudiants des classes préparatoires et de l'université.

Préface

Énergie, écologie, électronique, nanophysique, nucléaire, autant de mots qui ont envahi le quotidien de tout un chacun. Mais que signifient ces termes ? Comment ne pas étouffer sous cette avalanche terminologique ? Comment comprendre ce que sont les enjeux réels de notre société ?

La science progresse vite, très vite et ses applications déferlent sur nos sociétés devenant ainsi des boîtes noires magiques occultant totalement les fondements scientifiques qui y président. Le grand public se sent souvent dépassé par cette évolution. Jamais la complexité n'a paru si grande, et pourtant l'envie de comprendre est de plus en plus pressante.

Ce livre, *La Physique pour les Nuls*, permet au profane de s'initier à la science, de partager, au travers de son histoire, un peu de sa vie. Les grandes idées de la physique sont présentées et abordées de façon claire et humoristique au travers de petits paragraphes indépendants. L'ouvrage se lit, se picore, se déguste, un peu comme un pain surprise, avec à chaque étage une thématique particulière et un plaisir renouvelé !

L'ouvrage relève un défi et non des moindres, celui du partage scientifique, de la vulgarisation sans pour autant compromettre la rigueur et la précision propre à la matière. Puisse-t-il convaincre son lecteur et lui ouvrir grand les portes de la science physique !

Christian Amatore
Membre de l'Institut, Académie des Sciences

Sommaire

.....

<i>Introduction</i>	1
À propos de ce livre	2
À qui s'adresse ce livre ?	2
Comment ce livre n'est pas organisé	3
Première partie : Une progression toute mécanique	3
Deuxième partie : La physique s'enrichit.....	3
Troisième partie : Toujours plus loin.....	4
Quatrième partie : Vers les applications	4
Cinquième partie : À demain, si vous le voulez bien !	4
Sixième partie : La partie des Dix.....	4
Les icônes utilisées dans ce livre.....	5
Et maintenant, par où commencer ?	5
<i>Première partie : Une progression toute mécanique</i>	7
Chapitre 1 : La science antique	9
Commençons par le début.....	10
L'Univers en questions	10
Thalès, le premier étalon	10
Les quatre éléments.....	12
La Terre s'arrondit.....	12
Ça sonne bien.....	12
Rond, c'est parfait	13
Aristote justifie	13
La Terre détrônée.....	14
Aristarque, précurseur de Copernic	15
La taille de la Lune	15
De la Terre à la Lune	16
Mesure de la distance Terre-Soleil.....	18
Les premiers stades de la mesure	20
Sous la poussée d'Archimède.....	21
Ça balance pas mal à Syracuse.....	21
À la recherche du point G.	23
Qu'est-ce qui est le plus lourd.....	25
Rien n'est plus chaud qu'un bon foyer.....	26
L'éclipse scientifique.....	27



Chapitre 2 : De Ptolémée à Newton : la mécanique céleste 29

La (re)construction de notre Univers	29
Le modèle de Ptolémée	30
Le Soleil tente de prendre sa place	30
L'idée de Copernic.....	32
Dans le tiroir à cause de l'affaire des Placards.....	33
Voir plus loin que le bout de son nez	33
La construction du premier grand observatoire	34
Un catalogue d'étoiles	35
Un motif pour un avis.....	35
Un coup de Mars et ça repart... ..	36
L'aire l'inspire.....	37
Et la troisième... ..	37
La Terre commence à tourner.....	38
« Infortuné Giordano Bruno »	38
L'inertie pointe le bout de son principe	39
Galilée, un géant de taille.....	40
Pas de repos pour le mouvement.....	41
Le principe de l'inertie selon Galilée.....	41
Chute, c'est grave !.....	43
Un boulet de canon.....	46
« Et pourtant, elle tourne ! ».....	46
Newton impose ses lois.....	47
La force est avec lui	47
Et un, l'inertie.....	48
Et deux, ça accélère	50
Une balle suffit	50
Et trois, les actions mutuelles	50
La troisième loi en situation.....	51
La gravitation universelle.....	51
En suivant la balle	51
La Lune tombe sur la Terre ?.....	52
Halley, Halley, on l'encourage.....	53
La loi de la gravitation universelle	53
La chute des graves 2, le retour.....	54
La Lune et le Soleil font marées... ..	55
Des lois universelles	57
Hooke s'accroche	58
Des lois aux applications.....	59
Comment les fusées s'envoient en l'air	59
Les satellites en orbite	59
Ces perturbations qui font avancer... ..	60
Ça commence à tourner	61
L'imposture centrifuge.....	61
Bien claquer la porte	62
Pourquoi les motos penchent... ..	63

Chapitre 3 : Au-delà des étoiles : l'astrophysique.....	65
L'astrophysique, une science jeune.....	65
Le legs des Anciens.....	65
L'ère moderne	67
Les atomes trahis par la lumière	67
Naissance de l'astrophysique.....	69
Les couleurs du ciel	70
Les instruments du futur	74
Le Soleil et les étoiles.....	76
Entre l'envol et la chute	76
Il fait chaud, au fond !.....	77
Un équilibre miné par le rayonnement.....	78
De quelle loi je me chauffe ?!.....	79
Étoile, petite étoile	81
Des étoiles au cœur fragile	83
Les supernovae, semeuses cosmiques.....	84
Poussières d'étoiles	85
L'Univers a une histoire !.....	85
J'ai l'Univers qui se dilate... ..	86
... et l'espace qu'est pas droit !.....	86
De la lumière fossile.....	87
... que l'on observe effectivement !.....	88
Le chaudron cosmique.....	88
L'atome, écume de la matière.....	92
De la matière sombre.....	92
Approche confirmée	94
Que contient l'Univers ?	95
 Chapitre 4 : Les milieux continus	 99
Continu ou pas.....	99
Pourquoi une « mécanique des milieux continus » ?	100
Il y a longtemps.....	101
Faut pas pousser	101
La Renaissance	102
Des problèmes difficiles à résoudre mais pas à comprendre.....	102
Les fondements.....	102
Mathématiques et physique.....	103
Une application biologique.....	103
Non linéaire, vous avez dit non linéaire ?	104
Osons la viscosité.....	106
Dur, dur d'être... un mécanicien des fluides !	107
L'acoustique	108
Quelques repères historiques très anciens	108
Mais finalement comment ça marche ?	109
Quelques mots à l'oreille	110

Quelle est la relation avec l'hydrodynamique ?	111
Sommes-nous sur la même longueur d'onde ?	111
Un cas pathologique mais stationnaire	112
Résonance	113
Non, John, t'es pas tout seul	113
Onde acoustique dans un solide	114

Deuxième partie : La physique s'enrichit 115

Chapitre 5 : Ça chauffe de Carnot à Planck : la thermodynamique 117

Commençons par prendre la température.....	117
Développement du thermomètre	118
Un, puis deux points fixes pour « accrocher » l'échelle.....	120
L'échelle se monte d'abord à l'envers	121
Le thermomètre de Celsius.....	121
Le thermomètre à gaz et les origines de la température absolue.....	122
La notion de pression avant 1664	122
La nature n'a plus horreur du vide !.....	123
Perrier, c'est pas fou !	124
Pascal met la pression.....	124
Personne n'est parfait, sauf le gaz.....	127
Le règne des machines à vapeur	128
Denis Papin, un homme à vide de progrès	129
Nécessité d'un cycle	130
C'est en pompant qu'il y est arrivé	130
« Y a dû y avoir des fuites » (A. Bashung)	131
C'est la Watt qu'elle préfère.....	131
Un peu d'unité.....	133
Naissance de la thermodynamique.....	133
Parce que Lazare fait bien les choses.....	134
Le fils est le père de la thermodynamique.....	134
Carnot, un homme de principes	135
Il faut se procurer du froid.....	135
Le premier principe reste inconnu.....	137
De la chaleur entre maths et physique.....	137
Joule, un expérimentateur de génie	138
Joule fait des bilans.....	138
L'idée de la conservation	139
La conservation se propage	141
William Thomson, un homme qui vaut de Lord	141
Pourquoi faire des économies d'énergie !	143
Clausius clarifie et met de l'ordre.....	144
Naissance de l'entropie	145
L'inaccessible zéro... ..	147
« The last but not the least »	148

Vers la thermodynamique statistique.....	149
Et... entre deux chocs, tu fais quoi ?	149
Maxwell construit un pont entre micro et macro.....	150
Boltzmann décolle grâce au H.....	151
La lumière vient du corps noir.....	152
Le prof et l'élève font la loi	152
Wien écrit le début.....	154
La température prend des couleurs.....	154
Rayleigh écrit la fin	155
Planck, un homme continûment discret	155
Le rayonnement du corps noir	156

Chapitre 6 : Des charges et décharges : l'électricité 157

Les premières étincelles de l'électricité	157
Une Terre électrique	158
Ça crache des étincelles.....	158
Conducteurs et isolants	159
Un coup d'épée dans l'eau électrisée	160
La première châtaigne.....	161
Nollet ou l'abbé attitude.....	161
On refait en grand devant Louis XV	162
L'électricité traverse la Tamise... ..	163
Un test de virilité électrique.....	164
Charges en stock	165
L'eau électrique reste dans le vocabulaire.....	165
On le sent passer mais on n'en meurt pas.....	166
L'air devient électrique.....	166
On crève le nuage avec une pointe	166
Les Français ont le coup de foudre	167
Richmann inaugure la chaise électrique	167
L'expérience du cerf-volant : version américaine	168
Le maître des orages.....	168
La baguette du diable	169
Un avocat plein d'avenir	169
Le coup de foudre relie les opposés	170
Champ et potentiel électriques.....	170
Nous vivons dans un gigacondensateur.....	170
180 volts de la tête aux pieds !.....	171
Il y a des fuites... compensées par les orages	171
Tempête au sein d'un nuage.....	172
Le nuage fait fuir les électrons du sol	173
L'éclair jaillit	174
L'effet des pointes	174
Une loi qui balance, Coulomb	175
L'homme de toutes les forces	175
Une balance à microforces	176
Les forces électriques.....	177
Des forces qui agissent.....	178

Le champ électrique	178
Éliminer la force au bénéfice du champ !	178
On teste le champ	179
L'environnement électrique d'une charge.....	179
L'électrostatique chez vous	180
Même pas chargé, ça attire.....	180
L'électrostatique dans votre photocopieuse... ..	182
... et dans votre jet d'encre	183
Galvani et Volta tombent pile	184
Une révolution technologique de premier plan	184
Galvani fait sauter les grenouilles.....	184
Un poisson électrique bien connu.....	185
Volta empile les disques.....	185
La « force » d'une pile	186
La chimie : moteur de l'électricité.....	187

Chapitre 7 : Dans le sens du courant : l'électrodynamique..... 189

Deux domaines sans relation apparente	189
Oersted lance un pont	191
L'aiguille aimantée perd le nord.....	191
La découverte de l'électroaimant.....	192
Avec Ampère, ça circule.....	192
Les électrons sont comme les saumons.....	192
Surveillez le bras gauche du bonhomme.....	192
Suivez la boussole pour tracer la ligne.....	193
Une boussole des courants	194
L'écoulement du courant	195
Le débit d'électricité.....	195
Une pompe à charges	196
Pourquoi un électron devrait-il se bouger ?	197
Il y a des nœuds dans les mailles	200
Ohm fait de la résistance	200
Joule laisse la puissance à Watt.....	202
Des circuits de plus en plus complexes	203
L'électricité devient mouvement.....	204
Laplace y va de sa force.....	205
Des fils qui s'attirent... ou se repoussent	205
Le moteur électrique	206
Les courants fuyitifs.....	207
Des courants qui ne durent qu'un temps.....	208
Henry voit des étincelles	209
Avez-vous vu la bobine de Ruhmkorff ?	209
Lenz modère les excités	209
L'induction chez vous	210
Produire l'énergie électrique.....	210
Transporter l'énergie électrique.....	213

On chauffe sans feu.....	215
Des courants qui freinent.....	216
Maxwell, unificateur et visionnaire !.....	217
Maxwell, pas la peine d'en rajouter !	217
Vers de nouveaux horizons	217

Chapitre 8 : Pour en connaître un rayon : l'optique.....219

Les précurseurs	220
La « camera obscura » d'Ibn Alhazen.....	220
L'artisan taille le verre.....	221
Les lentilles, c'est bon pour la vue.....	222
Les mathématiques s'invitent en optique	223
Kepler en connaît un rayon... ..	223
L'homme n'est pas le seul à réfléchir.....	224
Réfraction	226
Le diamant brille de mille feux.	227
La loupe.....	228
Deux modèles pour la lumière	228
Propagation rectiligne	229
L'éther, mais pas celui du pharmacien	230
Une balle qui rebondit ou qui franchit l'obstacle.....	230
Pour tourner, il faut changer de vitesse	231
Des problèmes à l'horizon	232
La diffraction	232
Les milieux anisotropes.....	233
La lumière se disperse.....	234
Newton, le seigneur des anneaux... ..	235
Le boom des instruments d'optique à lentilles.....	236
Galilée travaille pour l'armée vénitienne	236
Galilée voit loin	236
Les observations astronomiques de Galilée.....	237
Kepler invente la sienne.....	238
La démesure	239
Des monstres dans les lunettes astronomiques	240
La lunette déréglée appelée microscope.....	240
Les miroirs se courbent	241
Dans les rétroviseurs ou les supermarchés.....	241
Le télescope	242
La lumière choisit son chemin	243
Où vas-tu, dis donc... ..	243
Fermat l'extrémiste	244
Les mirages.....	245
Un test pour séparer les concurrents	246

Chapitre 9 : Lumières, top modèles	247
La machinerie des ondes	247
L'horloge de l'onde.....	248
Il n'est pas la même heure de phase partout	249
Deux ondes se rencontrent.....	249
Young fait des bulles colorées	250
La lumière vient des trous	250
Forever Young.....	250
Young descend sous le micromètre	252
Fresnel ressuscite Huygens	254
La diffraction et les limites de l'optique géométrique.....	254
Un phénomène ondulatoire.....	255
La diffraction au fond des yeux	256
Fresnel découpe les trous en morceaux.....	256
Fresnel met la diffraction en équations.....	257
La direction de vibration de la lumière	257
Une société savante sur le RER B.....	258
Où l'on voit resurgir le spath d'Islande	258
Malus joue son bonus.....	259
Arago sèche à la lumière.....	259
On revient à la corde oscillante.....	260
Polar(isation) avec vos lunettes (noires).....	261
Le ciel est aussi polarisé.....	262
Les étranges propriétés de l'éther	263
Le test critique : la vitesse de la lumière.....	263
D'abord dans l'air	264
La mort du corpuscule de lumière.....	264
On affine la mesure dans l'air.....	265
Maxwell soulève le voile.....	266
Les différents modèles de la lumière	266
La lumière cherche son chemin.....	267
La lumière essaye tous les chemins.....	268

Troisième partie : Toujours plus loin

Chapitre 10 : La nature atomisée	271
Des atomes ? Non merci !.....	271
Des Idées pas toujours aimables... ..	272
Des grains et des Jeux	272
Résistances électriques et autres.....	273
Les rayons cathodiques se mettent au X.....	274
Petit tube... mais gros succès.....	274
Des ampères réduits en miettes	275

Le Philanthrope et le Mathématicien.....	275
Entretien avec Monsieur X.....	276
Dynasties : les Becquerel et les Curie.....	277
Un « jour sans soleil »	277
Un crépitement inexorable	278
Rêveries d'alchimiste.....	278
L'horloge absolue	279
Trente milliards de becquerels	280
Le prix du danger	281
Une légende nationale	282
Les atomes existent, on les a comptés !.....	283
Du pollen dans mon portefeuille ?.....	284
La preuve par le Nombre	284
La mole.....	285
Le pudding était trop indigeste.....	286
Un redoutable paradoxe.....	286
Le CERN des années 1900	286
Coup de sonde, coup de génie.....	287
Un petit pois qui en fait des tonnes	287
Premières retombées	289
Poupées russes	289
Une neutralité à peine bienveillante	289

Chapitre 11 : Le Quantique de la nouveauté 293

Premiers craquements.....	293
Lord Kelvin ne voit rien venir	294
Deux nuages vraiment très noirs.....	294
Einstein souffle sur les braises.....	294
Un monde binaire, déjà	295
Des pinceaux de molécules	295
Une loterie d'un genre particulier	296
Allons bon, des vecteurs.....	297
La nature dans tous ses états.....	297
Des spectres hauts en couleurs	298
Le code-barres des étoiles	299
L'atome ? Un grand instable	300
Bohr met les pieds dans le plat	301
Le quantum s'incruste.....	302
Malaise chez les chats	303
Muet comme une tombe ?	303
Des vacances de ski plutôt réussies	304
« Il » joue aux dés... Et alors ?	305
Le Cercle des pères fondateurs.....	306
Prix Nobel pour... un double jeu.....	306
Un prince de la physique.....	308
Werner, Félix, Paul et les autres.....	309

Touche pas à mon code !	311
Quand l'EPR n'était pas un réacteur	311
Téléportation, mais de quoi au juste ?	312
La loi du Très Grand Nombre	313
La menace quantique	313

Chapitre 12 : Un élastique nommé espace-temps : la relativité 315

Trois cents ans de réflexion	316
Le bûcher des vanités	316
La royale lenteur de la lumière	317
La pluie qui tombe des étoiles	318
La plus mauvaise idée de tous les temps	319
Prix Nobel pour un flop	320
Poincaré tente une « Hypothèse »	320
Einstein relativise, mais à dose restreinte	321
Le métronome de lumière	321
Et le temps devint élastique	322
Deux jumeaux avaient une Rolex	324
Une conséquence mégatonnique	326
Pour généraliser, un peu de géométrie	327
Graviter sans gravité	328
L'inertie n'est pas la pesanteur !	328
Les courbes ? De simples droites !	329
Déformations professionnelles	330
L'éclipse de la science newtonienne	331
L'équation de l'Univers	332
La relativité se niche partout !	332
« Ô Temps, suspens ton vol ! » (Lamartine)	333
Une expansion obligatoire	334
La RG dans ma voiture !	335
Frémissements dans la campagne italienne	335

Chapitre 13 : Élémentaire, mon cher Watson ?

La physique des particules 337

Au commencement, tout était simple... ..	338
Quatre particules pour un Univers	338
Les dessous de la radioactivité « bêta »	338
Allons bon, un « petit neutre » à présent !	339
« Mais qui a commandé ce truc ? »	340
Le vide ? Il est plein comme un œuf !	341
Paul Dirac ou le génie taciturne	341
Ce vide-là est-il bien sérieux ?	342
Richard Feynman ou le génie extraverti	343
Vous prendrez bien une pincée d'antihydrogène ?	345
Mais à quoi servent donc ces accélérateurs ?	346
Transformation réussie !	346
Des alchimistes à l'hôpital	346

La formule 1 du microscope.....	347
Les ondes de matière.....	348
Marteaux-pilons pour le vide	349
Des forces ? Non, des symétries !	350
« Exit » les anges pousseurs.....	350
Place à l'ange d'Erlangen	351
Deux forces ? Trois ? Quatre ?.....	352
Retour vers le futur.....	353
Premières images de l'unité.....	354
Des quarks au Grand Tout	356
Des pépins dans le nucléon.....	356
Un puzzle à douze pièces.....	357
Et cette « particule de Dieu » ?	359

Quatrième partie : Vers les applications... .. 361

Chapitre 14 : Avec le temps, va... : la mesure du temps..... 363

Le temps du physicien.....	364
« Ce qu'indique l'aiguille de ma montre ».....	364
La gravitation ralentit les horloges	365
On retourne le temps dans les équations... ..	365
Onde, retourne d'où tu viens !	366
L'horloge du système solaire.....	367
Pourquoi vingt-quatre heures dans une journée ?.....	367
Il est midi au Soleil, mais pas aux étoiles.....	368
Le jour solaire n'a pas toujours vingt-quatre heures	369
La durée des saisons	369
La Terre ralentit... et la Lune a déjà fini.....	370
Un effet collatéral des marées.....	371
La Terre ne tourne pas rond !.....	371
On prépare le terrain pour le pendule.....	372
Le temps part en fumée ou ruisselle.....	372
Il faut réguler le débit du temps	373
On lâche des morceaux de temps	375
Il fallait des horloges de secours	375
Du monastère au beffroi.....	376
L'horloge devient portable.....	376
La fusée de l'horloge.....	376
Le balancement du temps.....	377
Des lustres au pendule.....	378
Le temps se met en équation	378
L'harmonie de l'oscillateur	379
Huygens révolutionne l'horlogerie.....	379
Une idée qui a du ressort.....	380
Huygens au lit	381

Lucioles et pacemaker : même combat !.....	381
Le temps cristallin.....	382
Le quartz et sa paire de faces qui se déforment.....	383
On boucle le quartz sans bigoudis.....	384
On divise par deux et on recommence.....	384
Le quartz c'est très bien, mais cela ne suffit pas.....	385
Les horloges à l'heure de l'atome.....	386
L'atome : une horloge immuable.....	387
L'atome régule l'horloge à quartz.....	387
Les mètres du temps.....	389
Talleyrand, le mètre et le pendule.....	389
Le mètre de la lumière.....	390
Donne-moi l'heure, je te dirai où tu es.....	391
Jupiter redessine la carte de France.....	391
« L'impossible problème des longitudes » (Voltaire).....	392
Les complications de la relativité.....	393
GPS, Glonass ou Galileo : le temps est distance.....	393
Il faut synchroniser les horloges.....	393
Simultané ? Pour qui exactement ?.....	394
On a beau courir après le grain de lumière (photon).....	394
Traverser l'atmosphère n'est pas sans embûches.....	396

Chapitre 15 : Des puces partout : l'électronique..... 399

Sciences fondamentales et appliquées.....	399
Des tubes populaires.....	400
Juste avant la première bifurcation.....	400
Jouons avec le courant électrique (attention quand même !).....	401
Au travail, Fleming : vers la première bifurcation.....	402
La transmission d'information.....	403
Lee De Forest.....	404
Un retour aux matériaux.....	405
Une première application de l'électronique : un calculateur.....	406
Naissance de la microélectronique.....	407
Le premier transistor.....	408
Intégrons les composants.....	409
Microprocesseur mais macro-efficacité.....	410
L'analogique et le numérique.....	410
Le traitement du signal.....	413
Un débouché de la microélectronique : l'informatique.....	414
La puissante sœur de l'électronique.....	414

Chapitre 16 : L'invasion des ondes..... 417

Pour émettre, il faut bouger.....	417
Des charges accélérées.....	417
Il faut secouer les électrons.....	418
L'onde emporte de l'énergie.....	418

Une onde à deux champs.....	419
La chorégraphie des champs	419
Les vibrations des champs.....	421
La puissance des ondes	424
Transmettre l'information par les fils	426
3 longs, 3 courts, 3 longs.....	426
Une liaison sous-marine transocéanique	427
Le son court le long du fil	428
On tire le maximum de la ligne... ..	429
Communiquer par radio.....	429
Le train de l'émission s'emballe	429
Hertz ouvre la brèche.....	430
Et Popov s'engouffre dans la brèche... suivi de près par Marconi	431
La réception s'améliore.....	433
Le son s'imprime dans l'onde radio.....	435
Les ondes radio passent (presque) partout	436
Les métaux réfléchissent les ondes	437
Un plasma autre que sanguin.....	439
Des ondes qui chauffent.....	441
Un effet collatéral des radars	441
La molécule d'eau adore danser.....	441
Pour chauffer, il faut secouer à la bonne fréquence.....	442
Pour voir dans le brouillard.....	443
L'ancêtre du radar, le « Telemobiloskop »	443
Le glaive et le bouclier électromagnétique.....	443
Des puces envahissantes	444
Chapitre 17 : Tout entendre : l'acoustique	447
Effet piézoélectrique	448
Les débuts de l'acoustique sous-marine	449
Les ondes acoustiques dans les solides.....	450
Un matériau isotrope.....	451
Onde P, onde longitudinale, onde de compression : même combat	451
Onde S, onde transversale, onde de cisaillement : même combat	452
L'onde de Rayleigh	453
Des ondes guidées.....	454
Et pour les autres matériaux ?	455
Les applications.....	456
Évaluation et contrôle non destructif.....	456
Acoustique ultrasonore et médecine.....	457
Cavitation acoustique.....	458
Un dialogue de sourds ?	460
L'acoustique US aujourd'hui et demain	460
Vous captez ?.....	460
C'est renversant !.....	461
L'acoustique SM est correcte	461

Chapitre 18 : Stimulé au laser	463
Une photoncopieuse	464
L'atome s'excite... ..	464
... puis se déexcite	465
L'émission ça stimule.....	465
On clone les photons.....	466
Il faut faire comme les Shadocks... ..	467
Tous les moyens sont bons pour pomper	468
Le maser (ce n'est pas une faute de frappe !)	469
Et la lumière laser fut.....	470
Solution géniale cherche problème à résoudre	470
Le photon est passé par ici, il repassera par là	471
Les miroirs ajoutent des wagons au train d'ondes.....	472
Un couteau suisse technologique.....	472
Lecture et gravure au laser	473
Les photons jouent les facteurs.....	474
De l'énergie hypercondensée	480
Pointeur laser.....	480
Des flashes ultracourts.....	482
Que la force (du laser) soit avec vous !.....	484
Le choc des photons, le poids des particules.....	484
Un réfrigérateur optique... ..	485
Une mélasse optique pour piéger des atomes	486
Hologramme : l'image en 3D !.....	486
Le laser est témoin du divorce.....	487
Des miroirs en coin	487
Une hécatombe de photons en route	488
 Chapitre 19 : Tout voir : la lumière.....	 491
Au début, il y a le soleil	491
La lumière du jour est polychromatique.....	492
Des sources en réseau.....	494
On diffuse la lumière.....	495
Les capteurs optiques	495
L'œil	496
Capteurs CCD.....	497
Le cerveau voit des couleurs... ..	498
Dis-moi ce que tu absorbes... ..	498
Reproduire les couleurs	499
À chaque atome sa signature	500
Des raies sombres dans l'arc-en-ciel.....	500
La lumière, messenger des étoiles.....	501
Qui émet, absorbe !.....	501
Les lois de Kirchhoff	502

G

galaxie 93
 Galilée (Galileo Galilei) 40,
 67, 118, 236, 323, 390
 gaz
 dégénéré 82
 parfait 127
 Gerlach, Walther 296
 gluon 359, 552, 555
 gravitation 53
 Guericke, Otto Von 128, 158

H

Halley, Edmund 53, 370
 Heisenberg 309, 310, 311, 343
 Helmholtz, Hermann 141
 Henry, Joseph 209
 Herschel 70
 Hertz, Heinrich Rudolf 266,
 307, 417, 571
 Higgs, boson de 350, 360, 552
 Hipparque 65
 Hooke, Robert 58, 105
 Hubble, Edwin 86, 593
 Huygens, Christian, 246, 284,
 379, 570

I

indice de réfraction 226
 infrarouge 70
 interférences 250, 268, 480,
 570
 ionisants, rayonnements 281,
 282, 461

J

Joule, James 138, 140, 202,
 533

K

Kastler, Alfred 467
 Kepler, Johannes 35, 53, 84,
 238
 Kirchhoff, Gustav 152, 203,
 500

L

lampe spectrale 299
 Langevin, voyageur de 325,
 333
 Laplace, Pierre-Simon 205,
 258, 390
 laser 491, 383, 464, 494
 lepton 357, 358
 levier 22
 libre parcours moyen 150
 loi des aires 37
 longueur d'onde 111, 249,
 253, 347, 422, 498
 Lord Kelvin (William
 Thomson) 79, 142, 294, 427
 Lord Rayleigh (John William
 Strutt) 153, 453
 lumière, émission de 69

M

magnéton de Bohr 302
 Malus, Étienne 259, 261
 Marconi, Guglielmo 402, 431,
 572
 marées 55
 masse volumique 26,
 matière
 nucléaire 288, 289, 347,
 352, 552, 555
 sombre 93, 95
 Maxwell, James Clerk 150,
 217, 266, 323, 420, 591
 mécanique (milieu
 continu) 101
 méson 312, 587

Michelson, Albert Abraham
 320, 579
 microélectronique 407
 mole 285
 moment d'une force 22,62,
 377
 moteur 515
 muons 74, 333, 334, 345

N

Nernst, Walther Hermann
 148
 neutrino 91, 553
 Newton, Isaac 29, 47, 53, 67,
 219, 235, 350, 492, 590, 599
 nucléaire, matière 288, 289,
 347, 352, 552, 555
 nucléosynthèse
 primordiale 90
 stellaire 79

O

Oersted, Hans Christian 191,
 516
 Ohm, Georg 200
 onde
 électromagnétique 417,
 572, 579
 gravitationnelle 75
 longitudinale 451
 longueur d' 111, 249, 253,
 347, 422, 498
 transversale 452
 optique adaptative 72

P

Papin, Denis 129, 514
 Pascal, Blaise 102, 124, 407
 pendule 364, 378, 390
 périmètre de la Terre 20
 Perrin, Jean 79, 241, 273, 283,
 284, 598, 602
 phase 248, 268, 487, 494

photoélectrique, effet 156,
267, 295, 497, 592
piézoélectricité 383, 448, 574
Planck, Max 155, 294, 310,
599
plasma 439, 505, 555
polarisation de la
lumière 247, 262, 267
polonium 283, 286, 290, 576,
587
positon 343, 345, 347, 349,
354, 554
positron 74
premier principe de la
thermodynamique 137
pression 122, 125
principe
de l'inertie 39
des actions mutuelles 50
fondamental de la
dynamique 50
premier principe de la
thermodynamique 137
second principe de la
thermodynamique 135,
145, 148
troisième principe de la
thermodynamique 148

Q

quanta lumineux 273, 294, 466

R

radioactivité artificielle 594
radium 281, 282, 286, 576,
586
raies spectrales 96, 294, 500,
501
Rayleigh, Lord (John William
Strutt) 153, 453
rayon(s)
cosmiques 73, 74
lumineux 221, 229, 237,
250, 478

rayonnement 152, 156
fossile 87
redressement 403
référentiel 41, 43
résonance 113
Roentgen, Wilhelm 276, 277,
506
Rutherford, Ernest 286-289,
301, 346, 577, 593

S

Schrödinger (équation, chat)
304, 305, 306, 341, 344
second principe de la
thermodynamique 135, 145,
148
simultanéité 325, 326, 393
Snell, Willebrord 224
soleil
évolution du 81
nucléosynthèse 79
physique du 76-79
structure du 77
soliton 114
spectre
atome 69
visible 70
spectroscopie 67
Stefan, Joseph 152
Stern, Otto 295, 345
suaire de Turin 280
supernova 83, 84
synchrotron (rayonnement)
300

T

téléportation 293, 312
téléscope 72, 74
température 118, 142, 143,
154
tenseur 332
Thalès 10, 11
thermomètre 119, 121
Thomson, Joseph John 598

tomographie 347
travail 117, 142, 144
troisième principe de la
thermodynamique 148
TSF 404

U

unification des forces 352,
355, 359, 555, 556
univers,
composition 89
contenu 96
expansion 86
géométrie 86

V

vecteur, 48
Volta, Alessandro 184, 518
volume 42-43, 118, 128

W

Watt, James 131, 202
Wien, Wilhelm 154

Y

Young, Thomas 247, 250