

Premiers cycles • Licence

J.-P. PÉREZ

# Optique

Fondements et applications

*avec 220 exercices  
et problèmes résolus*

préface  
M. Françon

*5<sup>e</sup> édition*

Enseignement  
de la  
Physique

MASSON 

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	xv
<b>Programme d'optique des Classes Préparatoires aux Grandes Écoles</b> . . . . .	xviii
<b>Programme d'optique des concours ENSI-DEUG A</b> . . . . .	xix
<b>Constantes physiques, notations et symboles</b> . . . . .	xx
<b>1. Introduction à l'optique. Notion de rayon lumineux</b> . . . . .	1
I. — Introduction historique . . . . .	1
II. — Principe de Huygens . . . . .	2
III. — Diffraction. Rayon lumineux . . . . .	4
IV. — Construction de Huygens . . . . .	5
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	6
<b>2. Principe de Fermat et ses conséquences</b> . . . . .	9
I. — Principe de Fermat . . . . .	9
II. — Conséquences immédiates . . . . .	11
II. — Lois de Snell-Descartes . . . . .	12
IV. — Théorème de Malus-Dupin . . . . .	16
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	17
<b>3. Formation des images en optique géométrique</b> . . . . .	20
I. — Stigmatisme rigoureux . . . . .	20
II. — Stigmatisme approché . . . . .	24
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	26
<b>4. Approximation de Gauss : exemple du dioptré sphérique</b> . . . . .	28
I. — Tracé des rayons dans un dioptré sphérique . . . . .	28
II. — Dioptré sphérique dans l'approximation de Gauss . . . . .	29
III. — Vergence d'un dioptré sphérique . . . . .	31
IV. — Relation de conjugaison dans un dioptré sphérique . . . . .	32
V. — Matrices fondamentales . . . . .	33
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	35
<b>5. Systèmes centrés : éléments cardinaux</b> . . . . .	37
I. — Matrice de transfert d'un système centré . . . . .	37
II. — Vergence . . . . .	38
III. — Matrice de conjugaison . . . . .	39
IV. — Éléments cardinaux . . . . .	41
V. — Détermination des éléments cardinaux . . . . .	44
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	46

<b>6. Systèmes centrés : formules de conjugaison et constructions</b> . . . . .	48
I. — Relation de conjugaison homographique . . . . .	48
II. — Formules de Descartes . . . . .	49
III. — Formules de Newton . . . . .	50
IV. — Constructions géométriques . . . . .	52
V. — Discussion graphique . . . . .	54
VI. — Application au dioptré sphérique . . . . .	55
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	56
<b>7. Œil, instruments d'optique. Pupilles et diaphragmes</b> . . . . .	58
I. — L'œil . . . . .	58
II. — Caractéristiques optiques des instruments . . . . .	62
III. — Diaphragmes et pupilles . . . . .	63
III. — Résolution . . . . .	65
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	67
<b>8. Lentilles. Application à la loupe</b> . . . . .	68
I. — Lentilles épaisses . . . . .	68
II. — Application à la loupe . . . . .	71
III. — Lentilles minces . . . . .	72
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	75
<b>9. L'aberration chromatique. L'achromatisme. Doublets et oculaires</b> . . . . .	80
I. — L'aberration chromatique . . . . .	80
II. — Achromatisme . . . . .	82
III. — Doublets de lentilles minces . . . . .	83
IV. — Oculaires . . . . .	87
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	88
<b>10. Aberrations géométriques ou monochromatiques</b> . . . . .	90
I. — Classification des aberrations géométriques . . . . .	90
II. — L'aberration sphérique . . . . .	92
III. — L'aberration de coma . . . . .	93
IV. — L'astigmatisme et la courbure de champ . . . . .	94
V. — La distorsion . . . . .	96
VI. — Polynômes de Zernike . . . . .	96
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	97
<b>11. Association de deux systèmes centrés quelconques. Microscope composé</b> . . . . .	98
I. — Association de deux systèmes centrés quelconques . . . . .	98
II. — Le Microscope composé . . . . .	99
III. — Différents types de microscopes . . . . .	102
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	104
<b>12. Systèmes centrés dioptriques afocaux. Télescope réfracteur</b> . . . . .	105
I. — Propriétés des instruments afocaux . . . . .	105
II. — Exemples simples de systèmes afocaux . . . . .	106
III. — Télescope réfracteur ou lunette astronomique . . . . .	108
IV. — Lunettes terrestres . . . . .	112
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	113
<b>13. Systèmes catoptriques : miroirs et cavités optiques</b> . . . . .	116
I. — Rappels sur les miroirs . . . . .	116
II. — Miroir sphérique dans l'approximation de Gauss . . . . .	117

III. — Cavités optiques . . . . .	123
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	125
<b>14. Systèmes catadioptriques. Télescope réflecteur</b> . . . . .	127
I. — Télescope réflecteur . . . . .	127
II. — Systèmes catadioptriques équivalents à un miroir . . . . .	133
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	137
<b>15. Photométrie. Détecteurs</b> . . . . .	141
I. — Grandeurs photométriques . . . . .	141
II. — Conservation de l'étendue optique et de luminance . . . . .	144
III. — Sources de rayonnement lumineux . . . . .	147
IV. — Détecteurs de rayonnement lumineux . . . . .	149
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	155
<b>16. L'appareil photographique</b> . . . . .	158
I. — Description de l'appareil photographique . . . . .	158
II. — Caractéristiques optiques d'un objectif photographique . . . . .	159
III. — Résolution. Influence du grain de l'émulsion . . . . .	162
IV. — Mise au point . . . . .	162
V. — Éclairement du plan image . . . . .	164
VI. — Exemples d'objectifs photographiques . . . . .	165
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	167
<b>17. Optique géométrique en milieu non homogène. Fibres optiques</b> . . . . .	169
I. — Équation iconale . . . . .	169
II. — Loi fondamentale de l'optique géométrique . . . . .	170
III. — Conséquences . . . . .	171
IV. — Trajectoire d'un rayon lumineux . . . . .	171
V. — Analogie entre l'optique et la mécanique . . . . .	175
VI. — Fibres optiques et lentilles à gradient d'indice . . . . .	176
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	180
<b>18. Vibrations monochromatiques et quasi monochromatiques</b> . . . . .	184
I. — Vibrations monochromatiques . . . . .	184
II. — Addition de vibrations monochromatiques isochrones . . . . .	185
III. — Vibrations quasi monochromatiques . . . . .	188
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	192
<b>19. Ondes progressives et ondes stationnaires</b> . . . . .	195
I. — Ondes progressives. Équation de propagation . . . . .	195
II. — Onde plane et onde sphérique . . . . .	198
III. — Ondes planes monochromatiques ou ondes harmoniques . . . . .	199
IV. — Ondes monochromatiques quasi planes . . . . .	200
V. — Aspect énergétique de la propagation . . . . .	201
VI. — Ondes stationnaires . . . . .	203
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	207
<b>20. Ondes lumineuses. États de polarisation</b> . . . . .	210
I. — Propagation de la lumière dans le vide . . . . .	210
II. — Propagation de la lumière dans un milieu matériel . . . . .	211
III. — Intensité d'une onde monochromatique plane . . . . .	213
IV. — Réflexion et réfraction d'une onde monochromatique plane . . . . .	215
V. — États de polarisation des ondes lumineuses . . . . .	216

VI. — Production d'une lumière polarisée . . . . .	222
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	226
<b>21. Diffraction : principe de Huygens-Fresnel. Approximation de Fraunhofer</b> . . . . .	228
I. — Principe de Huygens-Fresnel . . . . .	229
II. — Diffraction d'une onde par un diaphragme plan . . . . .	230
III. — Importance physique de l'approximation de Fraunhofer . . . . .	235
IV. — Diffraction par une ouverture rectangulaire . . . . .	237
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	241
<b>22. Interférence de deux ondes. Cohérence mutuelle</b> . . . . .	245
I. — Superposition de deux ondes monochromatiques isochrones . . . . .	245
II. — Cohérence mutuelle . . . . .	249
III. — Systèmes interférentiels . . . . .	251
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	255
<b>23. Cohérence temporelle et cohérence spatiale</b> . . . . .	260
I. — Cohérence temporelle . . . . .	260
II. — Cohérence spatiale . . . . .	266
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	272
<b>24. Franges d'égale inclinaison ou anneaux d'Haidinger</b> . . . . .	275
I. — Interférence avec une lame mince d'épaisseur constante . . . . .	275
II. — Influence d'une lame sur une onde . . . . .	276
III. — Anneaux d'Haidinger . . . . .	278
IV. — Applications . . . . .	281
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	283
<b>25. Franges d'égale épaisseur ou franges de Fizeau</b> . . . . .	286
I. — Surface de localisation . . . . .	286
II. — Franges d'égale épaisseur . . . . .	287
III. — Applications . . . . .	290
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	293
<b>26. Spectromètre à prisme. Prisme magnétique</b> . . . . .	295
I. — Étude générale du prisme . . . . .	295
II. — Spectromètre à prisme . . . . .	298
III. — Prisme magnétique . . . . .	301
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	303
<b>27. Réseaux plans. Spectromètres à réseaux</b> . . . . .	305
I. — Définition et réalisation des réseaux . . . . .	305
II. — Diffraction de Fraunhofer par un réseau de fentes . . . . .	306
III. — Propriétés des réseaux . . . . .	311
IV. — Spectromètres à réseaux . . . . .	312
V. — Différents types de réseaux réels . . . . .	314
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	317
<b>28. Interférence à ondes multiples. Interféromètre de Fabry-Pérot</b> . . . . .	321
I. — Superposition des ondes multiples issues d'une lame . . . . .	321
II. — Interféromètre de Fabry et Pérot . . . . .	323
III. — Filtres interférentiels . . . . .	326
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	327

<b>29. Les lasers. Applications à l'holographie et à l'optique non linéaire</b>	329
I. — Émission de lumière par les atomes	329
II. — Principe de fonctionnement des lasers	330
III. — Différents types de lasers	332
IV. — Propriétés des faisceaux lasers	335
V. — Holographie	337
VI. — Optique non linéaire	340
<i>Exercices et problèmes</i>	343
<b>30. Optique de Fourier</b>	346
I. — Systèmes optiques linéaires	346
II. — Approximation de Fresnel de la diffraction	348
III. — Formation des images en éclairage cohérent	351
IV. — Filtrage des fréquences spatiales en éclairage cohérent	357
V. — Formation des images en éclairage incohérent	361
VI. — Filtrage des fréquences spatiales en éclairage incohérent	369
<i>Exercices et problèmes</i>	372
<b>31. Propagation de la lumière dans les milieux anisotropes</b>	379
I. — Systèmes optiques linéaires	379
II. — Milieux uniaxes	388
III. — Lames cristallines	394
IV. — Biréfringence provoquée	398
IV. — Mesure d'une biréfringence	403
<i>Exercices et problèmes</i>	407
<b>32. Polarisation rotatoire ou polarisation circulaire</b>	409
I. — Mise en évidence expérimentale et lois de Biot	409
II. — Interprétation de la polarisation rotatoire	412
III. — Applications	418
IV. — Polarisation rotatoire en lumière blanche	419
V. — Polarimètres et saccharimètres	421
<i>Exercices et problèmes</i>	424
<b>33. Introduction au traitement numérique des images et à la couleur</b>	425
I. — Différents types de traitement numérique	425
II. — Transformations ponctuelles	426
III. — Transformations locales	429
IV. — Transformations globales	432
V. — Codage et compression	437
VI. — Représentation colorée des images	439
<i>Exercices et problèmes</i>	445
<b>Annexe 1. Rappels mathématiques</b>	447
I. — Diamètres apparents	447
II. — Division harmonique	448
III. — Développements limités au voisinage de zéro	449
IV. — Nombres complexes	450
V. — Matrices	453
VI. — Tabulations de fonctions	455
<b>Annexe 2. Analyse de Fourier</b>	457
I. — Séries de Fourier des fonctions périodiques	457
II. — Transformation de Fourier	461

**L'optique en vingt questions** . . . . . 471

**Réponses aux questions** . . . . . 472

**Solutions des exercices et problèmes** . . . . . 474

**Les grands noms de l'optique** . . . . . 589

**Bibliographie** . . . . . 592

**Index alphabétique** . . . . . 595

**Exercices et problèmes**

**30. Optique de Fourier**

I. — Systèmes optiques linéaires . . . . . 242

II. — Approximation des rayons de Fourier . . . . . 242

III. — Formation des images en éclairage cohérent . . . . . 249

IV. — Filtrage des fréquences spatiales en éclairage cohérent . . . . . 251

V. — Formation des images en éclairage incohérent . . . . . 251

VI. — Filtrage des fréquences spatiales en éclairage incohérent . . . . . 252

**31. Propagation de la lumière dans les milieux anisotropes**

I. — Systèmes optiques linéaires . . . . . 272

II. — Milieux uniaxes . . . . . 277

III. — Lames cristallines . . . . . 277

IV. — Birefringence provoquée . . . . . 277

V. — Mesure d'une birefringence . . . . . 277

VI. — Anneaux d'Haidinger . . . . . 403

VII. — Applications . . . . . 407

**32. Polarisation totale ou polarisation circulaire**

I. — Mise en évidence expérimentale et lois de Biot . . . . . 282

II. — Interprétation de la polarisation totale . . . . . 282

III. — Applications . . . . . 282

IV. — Polarisation totale en lumière blanche . . . . . 287

V. — Polarimètres et saccharimètres . . . . . 292

**33. Introduction au traitement numérique des images et à la conception**

I. — Différents types de traitement numérique . . . . . 292

II. — Transformations ponctuelles . . . . . 292

III. — Transformations locales . . . . . 292

IV. — Transformations globales . . . . . 292

V. — Codage et compression . . . . . 292

VI. — Représentation colorée des images . . . . . 292

**Annexe 1. Rapports métriques**

I. — Diamètres apparents . . . . . 212

II. — Division harmonique . . . . . 212

III. — Développement limité au voisinage de zéro . . . . . 212

IV. — Nombres complexes . . . . . 212

V. — Matrices . . . . . 212

VI. — Tabulations de fonctions et de constantes . . . . . 212

**Annexe 2. Analyse de Fourier**

I. — Séries de Fourier des fonctions périodiques . . . . . 232

II. — Transformation de Fourier . . . . . 232

J.-P. PÉREZ

# Optique

## Fondements et applications

*Avec 220 exercices et problèmes résolus*

Ce cours d'optique géométrique et ondulatoire rassemble, en un seul volume, les fondements de l'optique et décrit diverses applications concrètes.

Il est construit en 33 chapitres structurés et illustrés de nombreux exercices et problèmes résolus.

Cet ouvrage fait partie de ceux que l'on acquiert dès le début de ses études et que l'on conserve comme ouvrage de référence.

Il s'adresse aux étudiants qui sont en DEUG Sciences ou en classes préparatoires scientifiques.

Il sera également très utile aux étudiants des licences de physique et aux candidats aux concours d'enseignement.

*José-Philippe Pérez est professeur à l'université Paul-Sabatier de Toulouse. Agrégé et docteur ès sciences, il enseigne en DEUG, en licence et en préparation à l'agrégation.*

### LE COURS DE PHYSIQUE DE J.-P. PÉREZ

<b>Mécanique</b>	avec 250 exercices et problèmes résolus
<b>Électromagnétisme</b>	avec 300 exercices et problèmes résolus
<b>Optique</b>	avec 220 exercices et problèmes résolus
<b>Thermodynamique</b>	avec 175 exercices et problèmes résolus
<b>Relativité</b>	avec 100 exercices et problèmes résolus



LEXIS  
NUMÉRIQUE

ISBN : 2-225-85213-8

