

Premiers cycles • Licence

JOSÉ-PHILIPPE PÉREZ

# Optique

Fondements et applications

*Avec 250 exercices  
et problèmes résolus*

*7<sup>e</sup> édition*

DUNOD



# Table des matières

Avant-propos . . . . .	xiii
Les grands noms de l'optique . . . . .	xvii
Constantes physiques, notations et symboles . . . . .	xxv
Description de l'ouvrage . . . . .	xxix
L'optique en vingt questions . . . . .	xxxix
<b>1. Introduction à l'optique. Notion de rayon lumineux</b>	
I. — Introduction historique . . . . .	1
II. — Principe d'Huygens . . . . .	2
III. — Diffraction. Rayon lumineux . . . . .	4
IV. — Construction d'Huygens . . . . .	5
Exercices et problèmes . . . . .	7
<b>2. Fondements de l'optique géométrique</b>	
I. — Loi fondamentale de l'optique des rayons lumineux . . . . .	9
II. — Lois de Snell-Descartes . . . . .	12
III. — Principe de Fermat . . . . .	18
Exercices et problèmes . . . . .	23
<b>3. Formation des images en optique géométrique</b>	
I. — Image d'un point en optique géométrique . . . . .	28
II. — Stigmatisme approché. Cas d'un système centré . . . . .	33
Exercices et problèmes . . . . .	36
<b>4. Approximation de Gauss. Dioptre sphérique</b>	
I. — Tracé des rayons lumineux dans un dioptre sphérique . . . . .	37
II. — Dioptre sphérique dans l'approximation de Gauss . . . . .	39
III. — Vergence d'un dioptre sphérique . . . . .	40
IV. — Relation de conjugaison d'un dioptre sphérique . . . . .	41
V. — Matrices de réfraction et de translation . . . . .	44
Exercices et problèmes . . . . .	47



<b>5. Éléments cardinaux des systèmes centrés</b>	
I. — Matrice de transfert d'un système centré . . . . .	48
II. — Vergence . . . . .	49
III. — Matrice de conjugaison . . . . .	50
IV. — Éléments cardinaux . . . . .	52
V. — Détermination des éléments cardinaux . . . . .	55
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	57
<b>6. Formules de conjugaison et constructions</b>	
I. — Relation homographique ou règle <i>abcd</i> . . . . .	59
II. — Formules de Descartes . . . . .	60
III. — Formules de Newton . . . . .	62
IV. — Constructions géométriques . . . . .	63
V. — Discussion graphique . . . . .	66
VI. — Application au dioptré sphérique . . . . .	67
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	69
<b>7. Œil. Instruments d'optique. Pupilles et diaphragmes</b>	
I. — L'œil . . . . .	71
II. — Caractéristiques optiques des instruments . . . . .	76
III. — Diaphragmes et pupilles . . . . .	78
IV. — Résolution théorique . . . . .	80
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	82
<b>8. Lentilles. Application à la loupe</b>	
I. — Lentilles épaisses . . . . .	84
II. — Application à la loupe . . . . .	87
III. — Lentilles minces . . . . .	88
IV. — Application à la projection sur un écran . . . . .	91
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	93
<b>9. L'aberration chromatique et l'achromatisme. Doublets de lentilles minces</b>	
I. — L'aberration chromatique . . . . .	97
II. — L'achromatisme . . . . .	99
III. — Doublets de lentilles minces . . . . .	100
IV. — Oculaires . . . . .	104
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	106
<b>10. Aberrations géométriques des systèmes centrés</b>	
I. — Classification des aberrations géométriques . . . . .	107
II. — L'aberration sphérique . . . . .	108
III. — L'aberration de coma . . . . .	110
IV. — L'astigmatisme et la courbure de champ . . . . .	111
V. — Distorsion . . . . .	113
VI. — Calcul des aberrations . . . . .	113
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	115



**11. Association de deux systèmes centrés. Microscope composé**

I. — Association de deux systèmes centrés . . . . .	117
II. — Le microscope composé . . . . .	118
III. — Différents types de microscopes . . . . .	121
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	126

**12. Systèmes centrés dioptriques afocaux. Télescope réfracteur**

I. — Propriétés des instruments afocaux . . . . .	129
II. — Exemples simples de systèmes afocaux . . . . .	130
III. — Télescope réfracteur ou lunette astronomique . . . . .	132
IV. — Lunettes terrestres . . . . .	136
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	138

**13. Miroirs et cavités optiques**

I. — Rappels sur les miroirs . . . . .	140
II. — Miroirs sphériques dans l'approximation de gauss . . . . .	142
III. — Cavités optiques . . . . .	148
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	152

**14. Systèmes catadioptriques. Télescope réflecteur**

I. — Télescope réflecteur . . . . .	155
II. — Systèmes catadioptriques équivalents à un miroir . . . . .	162
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	166

**15. Photométrie. Photodétecteurs**

I. — Grandeurs photométriques . . . . .	170
II. — Conservation de l'étendue optique . . . . .	174
III. — Sources lumineuses . . . . .	176
IV. — Photodétecteurs . . . . .	180
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	188

**16. Appareil photographique ou caméra**

I. — Description de l'appareil photographique . . . . .	191
II. — Caractéristiques d'un objectif photographique . . . . .	193
III. — Résolution et mise au point . . . . .	195
IV. — Éclairement du plan image . . . . .	198
V. — Exemples d'objectifs photographiques . . . . .	198
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	200

**17. Équation iconale. Fibres optiques**

I. — Équation iconale . . . . .	202
II. — Fibres optiques à gradient d'indice . . . . .	206
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	211



**18. Vibrations monochromatiques. Vibrations quasi monochromatiques**

I. — Vibrations monochromatiques . . . . .	214
II. — Vibrations quasi monochromatiques . . . . .	216
III. — Addition de vibrations monochromatiques . . . . .	219
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	223

**19. Ondes progressives et ondes stationnaires**

I. — Ondes progressives. Équation de propagation . . . . .	226
II. — Onde plane et onde sphérique . . . . .	229
III. — Ondes monochromatiques planes . . . . .	231
IV. — Ondes monochromatiques quasi planes . . . . .	232
V. — Aspect énergétique de la propagation . . . . .	232
VI. — Ondes stationnaires . . . . .	235
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	238

**20. Ondes lumineuses. États de polarisation**

I. — Propagation de la lumière dans le vide . . . . .	242
II. — Propagation de la lumière dans un milieu matériel . . . . .	243
III. — Intensité d'une onde lumineuse . . . . .	246
IV. — Réflexion et réfraction d'une onde . . . . .	248
V. — États de polarisation des ondes lumineuses . . . . .	250
VI. — Production d'une lumière polarisée . . . . .	256
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	260

**21. Diffraction : principe d'Huygens-Fresnel. Approximation de Fraunhofer**

I. — Principe d'Huygens-Fresnel . . . . .	262
II. — Diffraction de Fraunhofer par un diaphragme plan . . . . .	264
III. — Importance de l'approximation de Fraunhofer . . . . .	269
IV. — Diffraction par une ouverture rectangulaire . . . . .	270
V. — Applications . . . . .	274
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	278

**22. Interférence de deux ondes. Cohérence mutuelle**

I. — Superposition de deux ondes monochromatiques . . . . .	282
II. — Cohérence mutuelle . . . . .	286
III. — Systèmes interférentiels . . . . .	289
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	295

**23. Cohérence temporelle et cohérence spatiale**

I. — Longueur et largeur de cohérence . . . . .	299
II. — Degré de cohérence temporelle . . . . .	304
III. — Degré de cohérence spatiale . . . . .	309
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	314



**24. Franges d'égalé inclinaison ou anneaux d'Haidinger**

I. — Interférence avec une lame d'épaisseur constante . . . . . 318  
 II. — Anneaux d'Haidinger . . . . . 321  
 III. — Applications . . . . . 326  
*Exercices et problèmes* . . . . . 328

**25. Franges d'égalé épaisseur ou franges de Fizeau**

I. — Franges de Fizeau . . . . . 331  
 II. — Applications . . . . . 335  
*Exercices et problèmes* . . . . . 338

**26. Spectromètre à prisme**

I. — Étude générale du prisme . . . . . 340  
 II. — Spectromètre à prisme . . . . . 343  
 III. — Prisme magnétique . . . . . 346  
*Exercices et problèmes* . . . . . 348

**27. Réseaux plans. Spectromètres à réseaux**

I. — Définition et réalisation des réseaux plans . . . . . 351  
 II. — Diffraction de Fraunhofer par un réseau de fentes . . . . . 352  
 III. — Propriétés des réseaux . . . . . 357  
 IV. — Spectromètres à réseau . . . . . 358  
 V. — Différents types de réseaux plans . . . . . 361  
 VI. — Extension aux réseaux tridimensionnels . . . . . 363  
*Exercices et problèmes* . . . . . 368

**28. Interférence d'ondes multiples. Interféromètre de Fabry-Pérot**

I. — Interférence d'ondes multiples issues d'une lame . . . . . 372  
 II. — Interféromètre de Fabry-Pérot . . . . . 375  
 III. — Filtres interférentiels . . . . . 378  
*Exercices et problèmes* . . . . . 379

**29. Lasers. Applications à l'holographie et l'optique non linéaire**

I. — Émission de lumière par les atomes . . . . . 382  
 II. — Fonctionnement des lasers . . . . . 383  
 III. — Différents types de lasers . . . . . 385  
 IV. — Propriétés des faisceaux lasers . . . . . 387  
 V. — Holographie . . . . . 389  
 VI. — Optique non linéaire . . . . . 393  
*Exercices et problèmes* . . . . . 397



<b>30. Optique de Fourier</b>	
I. — Systèmes optiques linéaires . . . . .	400
II. — Approximation de Fresnel de la diffraction . . . . .	402
III. — Formation des images en éclairage cohérent . . . . .	408
IV. — Filtrage en éclairage cohérent . . . . .	414
V. — Formation des images en éclairage incohérent . . . . .	418
VI. — Filtrage en éclairage incohérent . . . . .	426
VII. — Application à l'interférométrie . . . . .	431
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	436
<b>31. Faisceaux gaussiens</b>	
I. — Propagation d'un faisceau gaussien . . . . .	446
II. — Faisceau gaussien et faisceau sphérique . . . . .	451
III. — Applications . . . . .	460
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	463
<b>32. Propagation de la lumière dans les milieux anisotropes</b>	
I. — Théorie électromagnétique des milieux anisotropes . . . . .	466
II. — Milieux uniaxes . . . . .	475
III. — Lames cristallines . . . . .	481
IV. — Biréfringence provoquée . . . . .	486
V. — Mesure d'une biréfringence . . . . .	490
VI. — Production et analyse d'une lumière polarisée . . . . .	493
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	497
<b>33. Polarisation rotatoire ou biréfringence circulaire</b>	
I. — Mise en évidence expérimentale et lois de biot . . . . .	499
II. — Interprétation de la polarisation rotatoire . . . . .	502
III. — Applications . . . . .	508
IV. — Polarisation rotatoire en lumière blanche . . . . .	509
V. — Polarimètres et saccharimètres . . . . .	511
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	514
<b>34. Introduction au traitement numérique des images et à la couleur</b>	
I. — Différents types de traitement numérique . . . . .	516
II. — Transformations ponctuelles . . . . .	517
III. — Transformations locales . . . . .	520
IV. — Transformations globales . . . . .	523
V. — Codage et compression . . . . .	529
VI. — Représentation colorée des images . . . . .	531
<i>Exercices et problèmes</i> . . . . .	537



**Annexe 1. Rappels mathématiques** . . . . . 539

    I. — Rappels de trigonométrie . . . . . 539

    II. — Diamètres apparents . . . . . 540

    III. — Division harmonique . . . . . 541

    IV. — Fonctions hyperboliques . . . . . 542

    V. — Développements limités au voisinage de zéro . . . . . 544

    VI. — Nombres complexes . . . . . 546

    VII. — Matrices . . . . . 548

    VIII. — Tabulations de fonctions . . . . . 553

**Annexe 2. Analyse de Fourier** . . . . . 555

    I. — Séries de Fourier de fonctions périodiques . . . . . 555

    II. — Transformation de Fourier . . . . . 559

    III. — Extension au cas des distributions . . . . . 565

**Annexe 3. Simulation en optique** . . . . . 572

    I. — Structures de données et fonctions de base . . . . . 572

    II. — Systèmes optiques centrés . . . . . 577

    III. — L'œil . . . . . 583

    IV. — Propagation dans les milieux non homogènes . . . . . 589

    V. — Faisceaux Gaussiens . . . . . 597

    VI. — Facteurs de visibilité en optique ondulatoire . . . . . 599

**Réponses aux vingt questions** . . . . . 607

**Solutions des exercices et problèmes** . . . . . 609

**Bibliographie** . . . . . 683

**Index** . . . . . 685



José-Philippe Pérez



7<sup>e</sup> édition

# OPTIQUE

## Fondements et applications

### Avec 250 exercices et problèmes résolus

Cette nouvelle édition rassemble, dans un seul volume, les fondements de l'optique (géométrique et ondulatoire). Il est structuré en 34 chapitres comportant plusieurs compléments et applications, tels l'optique de Fourier, les faisceaux gaussiens, la polarisation, ainsi qu'une introduction au traitement numérique des images. Cette édition a été actualisée, plus particulièrement, dans les domaines de la présentation de l'optique géométrique, la résolution spatiale des microscopes actuels (champ proche, tunnel, force atomique), la diffraction par les réseaux cristallins et la simulation en optique (complément sur le site Web de l'auteur).

Ce manuel est découpé en leçons progressives, quasi autonomes, illustrées par des exemples concrets et plus de 250 exercices et problèmes résolus dont la moitié, celle qui offre une ouverture supplémentaire, est corrigée sur le site Web de l'auteur. Cet ouvrage s'adresse principalement aux étudiants de la licence (européenne) de physique et aux élèves des classes préparatoires. Par sa présentation didactique, sa description des instruments d'optique, ce livre intéressera également les candidats au CAPES et à l'agrégation.

JOSÉ-PHILIPPE PÉREZ est agrégé de physique et docteur ès sciences. Professeur à l'université Paul-Sabatier, il enseigne notamment en licence de physique et à la préparation à l'agrégation de physique.

#### Le cours de Physique de José-Philippe Pérez

Mécanique	avec 300 exercices et problèmes résolus
Électromagnétisme	avec 300 exercices et problèmes résolus
Électronique	avec 300 exercices et problèmes résolus
Optique	avec 250 exercices et problèmes résolus
Thermodynamique	avec 200 exercices et problèmes résolus
Relativité	avec 150 exercices et problèmes résolus

MATHÉMATIQUES

PHYSIQUE

CHIMIE

ÉLECTRONIQUE

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

INFORMATIQUE

SCIENCES DE LA VIE

SCIENCES DE LA TERRE



ISBN 2 10 048497 4



www.dunod.com

