

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 – AMÉTROPIES DE L’ŒIL	3
1.1 Objectifs	3
1.2 Description morphologique de l’œil	4
1.3 Définitions et modèle simplifié de l’œil	7
1.4 Emmétropie	10
1.5 Myopie	14
1.6 Hypermétropie	20
1.7 Presbytie	26
1.8 Astigmatisme.....	29
1.9 Solution de rechange en lentilles cornéennes	32
1.10 Analyse de l’influence de la distance vertex	34
1.11 Récapitulation	40
Résumé.....	46
Questions.....	48
Exercices	49
Solutions détaillées des exercices 4, 11, 20 et 28	274
CHAPITRE 2 – ABERRATIONS	55
2.1 Objectifs	55
2.2 Aberration sphérique.....	56
2.2.1 Description générale	56
2.2.2 Cas d’un miroir sphérique concave	58
2.2.3 Cas d’un dioptré convexe	64
2.2.4 Cas d’une lentille plan convexe.....	67
2.2.5 Observations générales	75
2.2.6 Contrôle des aberrations sphériques.....	76
2.3 Autres aberrations géométriques.....	77
2.3.1 Coma	78
2.3.2 Astigmatisme des faisceaux obliques	79
2.3.3 Courbure de champ	80
2.3.4 Distorsions	81
2.3.5 Aberrations géométriques et lunetterie	83

2.4	Aberration chromatique	83
2.4.1	Chromatisme et constringence	84
2.4.2	Recherche d'achromatisme.....	88
2.4.3	Test bichrome	90
	Résumé.....	92
	Questions.....	94
	Exercices	95
	Solutions détaillées des exercices 7 et 10.....	285
CHAPITRE 3 – INSTRUMENTS.....		97
3.1	Objectifs	98
3.2	Loupe.....	99
3.3	Microscope.....	105
3.4	Viseur	109
3.5	Lunette afocale.....	114
3.5.1	Lunette astronomique	115
3.5.2	Jumelles à prismes	118
3.5.3	Lunette de Galilée	121
3.5.4	Télescope	125
3.6	Radiuscope	128
3.7	Frontofocomètre	132
3.8	Ophthalmomètre	135
3.9	Biomicroscope.....	145
3.10	Pupillomètre	147
3.11	Appareil photographique.....	148
3.12	Projecteur	155
	Résumé.....	157
	Questions.....	160
	Exercices.....	162
	Solutions détaillées des exercices 1, 5, 11, 17, 23, 26, 29 et 37.....	288
CHAPITRE 4 – SYSTÈMES CENTRÉS.....		171
4.1	Objectifs	171
4.2	Éléments cardinaux	172
4.2.1	Foyers	172
4.2.2	Plans principaux	173
4.2.3	Points nodaux	174

4.3	Constructions graphiques.....	176
4.3.1	Objet étendu et système convergent.....	177
4.3.2	Objet étendu et système divergent.....	178
4.3.3	Rayon quelconque	179
4.4	Conjugaison et grandissement	180
4.5	Lentilles épaisses.....	183
4.6	Combinaisons de lentilles minces.....	189
4.7	L'œil comme système centré	201
4.8	Grandeur de l'image rétinienne	211
	Résumé.....	216
	Questions.....	218
	Exercices	219
	Solutions détaillées des exercices 11, 13, 16, 23 et 25	300
CHAPITRE 5 – REVÊTEMENTS ANTIREFLETS		229
5.1	Objectifs	229
5.2	Nature ondulatoire de la lumière	230
5.3	Description d'une onde	232
5.4	Superposition d'ondes.....	233
5.5	Onde réfléchie à la surface d'un dioptre.....	237
5.6	Revêtements antireflets à une seule couche	241
5.7	Revêtements antireflets multicouches.....	248
	Résumé.....	252
	Questions.....	254
	Exercices	255
	Solutions détaillées des exercices 1 et 7.....	307
CHAPITRE 6 – POLARISATION		257
6.1	Objectifs	257
6.2	Lumière naturelle et lumière polarisée	258
6.3	Polarisation par absorption sélective	259
6.4	Polarisation par réflexion.....	262
6.5	Polarisation par diffusion.....	264
6.6	Quelques applications de la polarisation	265
	Résumé.....	268
	Questions.....	269
	Exercices	270
	Solutions détaillées des exercices 4 et 7.....	310

Annexe 1 – Solutionnaire	273
Annexe 2 – Réponses aux questions et aux exercices.....	313
Annexe 3 – Formulaire	327
Médiagraphie	333
Index	335
Planches I à IV.....	337

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Chapitre 1

Figure 1.1	Morphologie de l'œil (coupe horizontale).....	4
Figure 1.2	Test de détection de la tache aveugle	6
Figure 1.3	Cible pour évaluer la limite de résolution de l'œil.....	6
Figure 1.4	Modèle simplifié de l'œil.....	8
Figure 1.5	Perte d'accommodation avec l'âge	10
Figure 1.6	Punctum remotum d'un œil emmétrope	11
Figure 1.7	Extrémité lointaine du domaine de vision distincte	13
Figure 1.8	Extrémité rapprochée du domaine de vision distincte.....	13
Figure 1.9	Œil myope.....	14
Figure 1.10	Vision améliorée du myope par l'utilisation d'un sténopé.....	15
Figure 1.11	Principe de correction de la myopie	16
Figure 1.12	Augmentation de la distance minimale de vision distincte avec le port d'une orthèse chez le myope.....	17
Figure 1.13	Détermination de l'orthèse en lunetterie.....	18
Figure 1.14	Détermination de la distance minimale de vision distincte	19
Figure 1.15	Œil hypermétrope.....	21
Figure 1.16	Principe de correction de l'hypermétropie	21
Figure 1.17	Diminution de la distance minimale de vision distincte avec le port d'une orthèse chez l'hypermétrope.....	22
Figure 1.18	Comparaison des domaines de vision distincte pour des yeux non corrigés de même âge	23
Figure 1.19	Correction de l'hypermétropie.....	24
Figure 1.20	Vision rapprochée avec une orthèse	25
Figure 1.21	Principe de correction de la presbytie.....	27
Figure 1.22	Correction pour un emmétrope presbyte ($A_m = 3,00 \delta$).....	28
Figure 1.23	Rayons de courbure d'un tore.....	29
Figure 1.24	Cylindre à axe vertical	30
Figure 1.25	Cylindre à axe horizontal.....	30
Figure 1.26	Effet d'une lentille torique sur un faisceau lumineux	31
Figure 1.27	Vision d'une personne astigmat.....	31
Figure 1.28	Correction de la presbytie par l'analyse d'un système de lentilles accolées....	33
Figure 1.29	Myopie et distance vertex	34
Figure 1.30	Puissance de l'orthèse corrigeant une myopie en fonction de la distance vertex.....	35
Figure 1.31	Myopie mal corrigée.....	36

Figure 1.32	Hypermétropie et distance vertex	37
Figure 1.33	Puissance de l'orthèse corrigeant une hypermétropie en fonction de la distance vertex.....	37
Figure 1.34	Myope presbyte et vertex.....	39
Figure 1.35	Détermination de l'orthèse corrigeant la myopie	40
Figure 1.36	Détermination de la distance minimale de vision distincte	41
Figure 1.37	Ménisque divergent corrigeant une myopie	42
Figure 1.38	Paramètres caractérisant un ménisque divergent.....	42
Figure 1.39	Lien entre la sagittale et le rayon de courbure.....	43
Figure 1.40	Distance minimale de vision distincte dans la partie supérieure de l'orthèse bifocale.....	44
Figure 1.41	Distance maximale de vision distincte dans la partie inférieure de l'orthèse bifocale.....	45
Tableau 1.1	Variation de la puissance de l'orthèse d'un myope selon la distance vertex ...	35
Tableau 1.2	Variation de la puissance de l'orthèse d'un hypermétrope selon la distance vertex	37

Chapitre 2

Figure 2.1	Observation expérimentale de l'aberration sphérique	57
Figure 2.2	Aberration sphérique produite par un miroir concave.....	58
Figure 2.3	Détermination d'un miroir de forme parabolique.....	60
Figure 2.4	Comparaison des formes sphérique et parabolique	62
Figure 2.5	Détermination des segments caractérisant l'aberration sphérique d'un dioptré	64
Figure 2.6	Aberration sphérique produite par une lentille plan convexe, la première face étant convexe	69
Figure 2.7	Aberration sphérique d'une lentille plan convexe, la première face étant plane	72
Figure 2.8	Choix de la forme de la lentille selon l'utilisation	75
Figure 2.9	Aberrations sphériques longitudinale et transversale	75
Figure 2.10	Comparaison d'un ménisque à première face sphérique ou asphérique	77
Figure 2.11	Coma associée à un faisceau faiblement incliné par rapport à l'axe optique ..	78
Figure 2.12	Astigmatisme des faisceaux obliques	79
Figure 2.13	Courbure de champ	80
Figure 2.14	Schéma de principe expliquant le phénomène de distorsion.....	81
Figure 2.15	Distorsions en coussinet et en barillet	82
Figure 2.16	Dispositif pour contrôler les distorsions	82
Figure 2.17	Lumière blanche décomposée par un prisme	84

Figure 2.18	Séparation des diverses couleurs à la sortie d'une lentille convergente	85
Figure 2.19	Courbes de dispersion de deux types de verre.....	85
Figure 2.20	Illustration d'un doublet achromatique.....	90
Figure 2.21	Test bichrome et situations rétinienne.....	91
Tableau 2.1	Aberration sphérique d'un miroir concave.....	60
Tableau 2.2	Aberration sphérique d'un dioptr.....	67
Tableau 2.3	Aberration sphérique d'une lentille plan convexe, la première face étant convexe.....	71
Tableau 2.4	Aberration sphérique d'une lentille plan convexe, la première face étant plane.....	74
Tableau 2.5	Caractéristiques dispersives de certains verres.....	87

Chapitre 3

Figure 3.1	Grandeur de l'image rétinienne	99
Figure 3.2	Deux situations permettant de définir le grossissement commercial d'une loupe.....	101
Figure 3.3	Angle sous-tendu par un objet tenu à 25,0 cm devant l'œil.....	103
Figure 3.4	Angle sous-tendu par l'image vue sans accommodation	103
Figure 3.5	Angle sous-tendu par l'image vue avec une accommodation de $4,00 \delta$	104
Figure 3.6	Schéma de principe d'un microscope	105
Figure 3.7	Microscope commercial.....	107
Figure 3.8	Principe de fonctionnement d'un viseur	110
Figure 3.9	Utilisation d'un viseur pour examiner une image virtuelle.....	114
Figure 3.10	Principe de fonctionnement d'une lunette astronomique	116
Figure 3.11	Lunette astronomique en utilisation standard.....	116
Figure 3.12	Ajustement de l'oculaire d'une lunette astronomique pour obtenir une image finale réelle.....	118
Figure 3.13	Marche des rayons dans une jumelle à prismes.....	119
Figure 3.14	Principe de fonctionnement d'une lunette de Galilée.....	122
Figure 3.15	Lunette de Galilée en utilisation standard	123
Figure 3.16	Lunette de Galilée utilisée par un myope pour observer un objet situé à une distance finie.....	124
Figure 3.17	Télescope de type Newton	125
Figure 3.18	Télescope de type Cassegrain.....	126
Figure 3.19	Image du miroir parabolique.....	126
Figure 3.20	Agencement du miroir plan et de l'oculaire	127
Figure 3.21	Radiuscope commercial	128
Figure 3.22	Principe de fonctionnement d'un radiuscope	129

Figure 3.23	Détermination approximative de l'indice de réfraction d'une lentille avec un radiuscope.....	130
Figure 3.24	Principe de fonctionnement d'un frontofocomètre.....	132
Figure 3.25	Frontofocomètre commercial.....	132
Figure 3.26	Tracé des rayons dans un frontofocomètre mesurant la puissance d'une lentille divergente.....	134
Figure 3.27	Tracé des rayons dans un frontofocomètre mesurant la puissance d'une lentille convergente.....	135
Figure 3.28	Ophthalmomètre commercial.....	135
Figure 3.29	Intérieur d'un ophthalmomètre commercial.....	136
Figure 3.30	Principe de fonctionnement d'un ophthalmomètre.....	136
Figure 3.31	Cercle lumineux situé à l'avant d'un ophthalmomètre.....	139
Figure 3.32	Grandeur de l'image avec une lentille convergente.....	139
Figure 3.33	Diaphragme à quatre ouvertures accolé à l'objectif de l'ophthalmomètre.....	140
Figure 3.34	Image typique observée dans un ophthalmomètre.....	140
Figure 3.35	Dispositif de mise au point de l'ophthalmomètre.....	141
Figure 3.36	Illustration du rôle des prismes d'un ophthalmomètre pour déterminer la grandeur de l'image.....	142
Figure 3.37	Puissance prismatique en lien avec l'ophthalmomètre.....	145
Figure 3.38	Principe de fonctionnement d'un biomicroscope.....	146
Figure 3.39	Biomicroscope.....	146
Figure 3.40	Pupillomètre.....	147
Figure 3.41	Principe de fonctionnement d'un pupillomètre.....	148
Figure 3.42	Principe de fonctionnement de la camera obscura.....	148
Figure 3.43	Camera obscura versus appareil 35 mm.....	149
Figure 3.44	Film de format 35 mm.....	149
Figure 3.45	Coupe schématique d'un appareil photographique 35 mm.....	150
Figure 3.46	Angle de champ d'un objectif photographique.....	151
Figure 3.47	Influence de l'ouverture du diaphragme sur la profondeur de champ.....	152
Figure 3.48	Principe de fonctionnement d'un projecteur.....	155

Chapitre 4

Figure 4.1	Foyers d'un système centré.....	173
Figure 4.2	Définition des plans principaux d'un système centré.....	173
Figure 4.3	Plans principaux d'une lentille mince.....	174
Figure 4.4	Définition des points nodaux.....	175
Figure 4.5	Points nodaux associés à une lentille mince.....	176
Figure 4.6	Détermination de l'image par construction graphique (système convergent).....	177

Figure 4.7	Détermination de l'image par construction graphique (système divergent) ..	178
Figure 4.8	Construction graphique d'un rayon quelconque (système convergent)	179
Figure 4.9	Construction graphique d'un rayon quelconque (système divergent)	179
Figure 4.10	Établissement des formules de conjugaison	180
Figure 4.11	Convention de signe pour les systèmes centrés dans l'hypothèse où la lumière voyage de gauche à droite	183
Figure 4.12	Détermination graphique des éléments cardinaux d'une lentille épaisse.....	184
Figure 4.13	Détermination graphique des éléments cardinaux d'un système constitué de deux lentilles convergentes.....	192
Figure 4.14	Détermination de l'image par méthode graphique	194
Figure 4.15	Détermination graphique des éléments cardinaux d'un système constitué de deux lentilles minces	195
Figure 4.16	Emplacement des éléments cardinaux d'un microscope	197
Figure 4.17	Détermination graphique des éléments cardinaux d'un microscope.....	198
Figure 4.18	Éléments cardinaux d'un frontofocomètre au moment de l'examen d'une lentille convergente.....	200
Figure 4.19	Image de la mire du frontofocomètre	201
Figure 4.20	Dioptries constitutifs de l'œil.....	202
Figure 4.21	Détermination graphique des éléments cardinaux de l'œil à l'aide d'un diagramme accessoire.....	204
Figure 4.22	Schémas de principe montrant le rôle de l'orthèse dans la correction des amétropies.....	206
Figure 4.23	Système centré résultant de l'association orthèse-œil	208
Figure 4.24	Représentation des résultats de l'exemple 4.6.....	210
Figure 4.25	Représentation des éléments cardinaux de l'œil.....	211
Figure 4.26	Grandeur de l'image rétinienne d'un œil myope selon la distance vertex de l'orthèse	212
Figure 4.27	Grandeur de l'image rétinienne d'un œil hypermétrope selon la distance vertex de l'orthèse.....	212
Figure 4.28	Images rétiniennes en lunetterie ou en lentilles cornéennes.....	213

Chapitre 5

Figure 5.1	Photographie d'une pellicule savonneuse maintenue à la verticale	230
Figure 5.2	Illustration de ce qu'on recueille sur un écran en faisant passer un faisceau laser dans une fente étroite (diffraction).....	231
Figure 5.3	Représentation d'une onde dans l'espace et dans le temps	233
Figure 5.4	Intensité résultant de la superposition d'ondes cohérentes et incohérentes ..	234
Figure 5.5	Superposition d'ondes en phase.....	235
Figure 5.6	Superposition d'ondes en opposition de phase.....	236

Figure 5.7	Superposition d'ondes en opposition de phase, mais d'amplitudes différentes.....	236
Figure 5.8	Illustration des ondes réfléchié et transmise (jonction air-verre).....	238
Figure 5.9	Effets de la réflexion d'une source lumineuse sur la face interne de l'orthèse.....	239
Figure 5.10	Effets de la réflexion d'une source lumineuse sur la face externe de l'orthèse.....	239
Figure 5.11	Effet de réflexions multiples sur des verres amincis.....	240
Figure 5.12	Superposition de l'image de l'oeil aux objets observés.....	240
Figure 5.13	Représentation symbolique des ondes réfléchies à chaque dioptre du revêtement antireflet.....	243
Figure 5.14	Ondes réfléchies par un dioptre d'indice élevé (1,70) muni d'un revêtement antireflet de fluorure de magnésium.....	246
Figure 5.15	Comparaison de l'intensité réfléchié avec et sans revêtement antireflet monocouche.....	248
Figure 5.16	Quelques trajets possibles tenant compte des réflexions multiples.....	249
Figure 5.17	Spectre de la lumière réfléchié par un verre d'indice 1,62 recouvert d'un revêtement antireflet à trois couches.....	250
Figure 5.18	Spectre de la lumière réfléchié par un verre d'indice 1,62 recouvert d'une couche de fluorure de magnésium dont l'épaisseur est ajustée pour une efficacité maximale à 550 nm.....	251
Tableau 5.1	Indices de réfraction de quelques matériaux utilisés dans la fabrication des revêtements multicouches.....	248

Chapitre 6

Figure 6.1	Représentation du champ électrique d'un rayon lumineux sortant de la page.....	258
Figure 6.2	Convention pour représenter la lumière polarisée et non polarisée.....	258
Figure 6.3	Effet d'un filtre polariseur sur une lumière incidente non polarisée.....	259
Figure 6.4	Effet d'un filtre polariseur sur la lumière incidente déjà polarisée.....	260
Figure 6.5	Combinaison de filtres polariseurs idéaux.....	261
Figure 6.6	Polarisation partielle et complète de la lumière réfléchié.....	263
Figure 6.7	Condition de polarisation du rayon incident pour éliminer toute réflexion... ..	263
Figure 6.8	Diffusion par l'atmosphère.....	264
Figure 6.9	Polarisation par diffusion.....	265
Figure 6.10	Filtre polariseur et calculatrice.....	266
Figure 6.11	Perception tridimensionnelle.....	267