

GUIDE THÉORIQUE ET PRATIQUE

L'opticien-lunetier

3^e édition

Coordonnatrice Caroline Kovarski

Tout-en-un :
les cours et
les applications
cliniques

Les bonnes
pratiques



Lavoisier
TEC & DOC

L'opticien-lunetier

Chez le même éditeur

Dans la collection « Guide théorique et pratique »

Le technicien d'analyses biomédicales. 2^e édition, Béraud J, Coord. 2014

Le préparateur en pharmacie. 2^e édition, Gazengel JM, Orecchioni AM, Coord. 2013

Dans la collection « Réussir son BTS opticien-lunetier »

Analyse de la vision

Tome 1 : vision monoculaire. Cazeaud P, 2013

Tome 2 : vision binoculaire. Cazeaud P, Vettese S, 2014

Exercices d'analyse de la vision. 2^e édition, Kovarski C, Daniel F, Lusson N, 2011

Exercices d'économie et gestion d'entreprise. 3^e édition, Analka T, Fekete JC, Thébaud G, 2010

Exercices d'étude technique des systèmes optiques. 2^e édition, Grienche L, Crozat N, Hurtevent F, 2011

Exercices d'optique géométrique et physique. 2^e édition, Gaudron B, Louvet R, 2013

Exercices de technologie et prise de mesures. Viards I, 2008

Dans la collection « Optique et vision »

Contactologie. 2^e édition, Barthélémy B, Thiébaud T, Coord. 2012

Avancées en ophtalmologie : apport de la conquête spatiale. Corbé C, Coord. 2012

Les lentilles de contact : optimisation de l'adaptation, utilisation et entretien. Michaud L, Breton L, Gagnon F, Simard P, 2012

Instruments d'optique ophtalmique. Hormière J, 2010

Éclairage d'intérieur et ambiances visuelles. Damelincourt JJ, Zissis G, Corbé C, Paule B, 2010

Traiter la presbytie. Gilg AN, 2009

Dans la collection « Professions Santé »

Les anomalies de la vision chez l'enfant et l'adolescent. Kovarski C, Coord. 2014

GUIDE THÉORIQUE ET PRATIQUE

L'opticien-lunetier

3^e édition

Caroline Kovarski

Coordonnatrice


TEC & DOC

editions.lavoisier.fr

Direction éditoriale : Emmanuel Leclerc
Édition : Gilda Masset
Couverture : Isabelle Godenèche
Fabrication : Estelle Perez
Composition : STDI, Lassay-les-Châteaux
Impression et reliure : LEGO, Italie

Illustration de couverture :
Junger Mann beim Optiker oder Brillengeschäft
© Kzenon - Fotolia.com

1^{re} édition, 2005

2^e édition, 2009

© 2014, Lavoisier, Paris
ISBN : 978-2-7430-1996-9
ISSN : 2270-3810

Préface

Alors que la création d'un brevet de technicien supérieur opticien-lunetier date de 1954, il n'existait pas à ce jour d'ouvrage de synthèse susceptible d'aider les candidats à préparer leur examen. *L'Opticien-lunetier, guide théorique et pratique* est donc le premier ouvrage qui propose aux étudiants comme aux professionnels une synthèse de l'ensemble des domaines de compétence de l'opticien.

Les premiers pas

C'est en 1904 que fut créée une section de formation à la lunetterie dans le cadre de l'École pratique d'industrie de Morez, qui formait depuis 1895 des professionnels en mécanique, horlogerie, menuiserie et ébénisterie.

Jusqu'en 1917, date de la création de l'Institut d'optométrie à Paris, l'École pratique a seule assuré la formation nationale des opticiens-lunetiers.

Mais à partir de 1936, date de la création de l'École d'optique de Lille, et surtout de 1940, lorsque l'École d'optique appliquée met en place une section d'optique-lunetterie, la formation des opticiens s'élargit à de nombreux établissements publics et privés. Cent ans après l'ouverture de la première section, on dénombre près de cinquante établissements spécialisés dans la formation au métier de l'optique-lunetterie.

Bien entendu, cette profession s'est réglementée : lois des 5 juin 1944, 17 novembre 1952 et 5 novembre 1953 puis création d'un brevet de technicien supérieur opticien-lunetier le 29 janvier 1954.

L'évolution

Depuis, cette profession n'a cessé d'évoluer sous la pression de l'industrie dont les produits, verres et montures, ont énormément progressé, eux-mêmes tirés vers le haut par les besoins accrus des consommateurs demandeurs d'une qualité de vision optimale associée à une esthétique irréprochable.

Les moyens pour satisfaire à ces exigences se sont développés, qu'il s'agisse de ceux permettant d'évaluer la vision des sujets ou de ceux permettant de traduire ces besoins en un produit fini, une paire de lunettes constituée de sa monture et de ses verres.

Toutes ces nouvelles technologies nécessitent pour l'opticien une remise à niveau constante de ses connaissances. C'est ainsi que le référentiel du BTS a lui-même évolué pour couvrir, en six parties distinctes, toute la palette des connaissances maintenant nécessaires à l'opticien moderne.

L'ouvrage que Caroline Kovarski a coordonné avec une vingtaine d'auteurs détaille de façon extrêmement complète ces six grandes parties de la formation actuelle des opticiens-lunetiers.

La profession d'opticien et l'Europe

Pour unifier les différences de niveaux existant entre les professionnels européens et pour leur permettre une libre circulation, les instances européennes ont chargé le *European Council of Optometry and Optics* (ECOO), association qui représente les structures professionnelles de l'optique (opticiens-optométristes de tous les états membres), de mettre sur pied un programme d'enseignement, de le promouvoir et d'organiser un diplôme européen (DE) sous la surveillance du *World Council of Optometry* (WCO). Vingt-trois pays s'y sont engagés.

Ce DE est constitué de trois parties A, B et C qui peuvent se passer indépendamment. Chaque partie est constituée de deux épreuves, une épreuve théorique (QCM) et une épreuve pratique.

Les épreuves pratiques contiennent deux parties distinctes :

- des tests (pour évaluer la capacité des étudiants en matière de pratique clinique) ;
- une étude de cas (QCM illustrés) pour l'analyse clinique.

La partie A regroupe les sciences de l'optique (géométrie, physiologique, neurosciences et la lunetterie). La partie B regroupe les sciences cliniques (optométrie et contactologie). La partie C regroupe les sciences cliniques du dépistage oculaire.

Le BTS OL constitue donc le niveau de base du DE. Il est notamment indispensable pour préparer la partie A à 80 % mais aussi pour préparer la partie B à 50 %. Il est cependant nécessaire de parfaire cette formation par un enseignement complémentaire en sciences générales et neurosciences pour la partie A, en optométrie et en contactologie pour la partie B. Quant à la partie C, elle n'est pas abordée dans l'enseignement du BTS OL et doit être intégralement traitée.

Caroline Kovarski et ses coauteurs ont su réaliser cet ouvrage qui s'appuie sur le référentiel du BTS OL et s'attache à présenter tous les savoirs nécessaires pour en préparer l'examen. Ils ont su actualiser les notions les plus anciennes tout en exposant les plus récentes. Ils sont à féliciter pour cette importante contribution.

Ce livre constitue donc un document de travail indispensable pour les étudiants qui se présentent au BTS OL, un ouvrage de base dans le cadre de la préparation des deux premières parties du DE et également une référence pour les praticiens opticiens-optométristes dans leur travail au quotidien.

Bernard Barthélémy

Ancien maître de conférence associé à Paris XI en contactologie,
il est délégué France et Europe francophone auprès de l'IACLE,
délégué France auprès de l'ECOO
et membre du Board Organisation Management (BOM).

Thérèse Thiébaud

Ancienne directrice-adjointe de l'Institut et Centre d'optométrie,
elle a créé en 1989 l'École supérieure internationale d'optométrie.
Elle est membre du IACLE (International Association of Contact Lens Educators)
depuis sa création.

Liste des auteurs

[Taylor Anelka](#), professeur certifié, lycée Fresnel, Paris ; responsable du Bachelor de Manager en optique (BMO), ISO, Paris

[Bernard Barthélémy](#), ancien maître de conférences, responsable d'enseignement de contactologie à l'IUT Marseille et dans les établissements préparant le diplôme européen : institut Emmanuel d'Alzon, FS²O-AEPO Paris et ISO Strasbourg

[Jérôme Bret](#), opticien, Villetaneuse ; membre du jury des validations d'expérience (VAE), collège professionnel

[Philippe Blanc](#), Audioc-Optic 2000, département formation

[Patrick Bonne](#), professeur agrégé d'économie et gestion, lycée Fresnel, Paris

[Jessica Buhler](#), responsable produits et marketing, Maurice frères

[Michel Camus](#), IEP Paris, docteur d'État, Cabinet d'études techniques Michel Camus

[Brigitte Capelle](#), professeur agrégé de physique, école d'optique-lunetterie, Lille ; lycée Jean Perrin, Lambersart

[Pierre-Yves Cazeaud](#), opticien-audioprothésiste ; professeur certifié, Institut et centre d'optométrie (ICO), Bures-sur-Yvette

[Jean-Luc Chiapello](#), professeur agrégé, lycée du Rempart ; intervenant, université Paul Cézanne, Marseille

[Christophe Choquet](#), opticien, responsable de formation et professeur d'analyse de la vision et d'optométrie, Centre de formation Pasteur, Betheny

[Bruno Delhoste](#), opticien, Bayonne

[Gilles Demetz](#), président-directeur général Demetz SA, Villier-sur-Marne

[Bruno Fantony](#), consultant en lentilles de contact et optométrie, Espagne

[Caroline Faucher](#), optométriste et professeur agrégé à l'École d'optométrie de l'Université de Montréal, Québec, Canada

[Jean-Christian Fekete](#), professeur agrégé, Science-Po, Paris+, licence de Droit Panthéon – Assas II, Paris

[Christophe Fontvieille](#), enseignant-chercheur, Opto Plus, Lambesc

[David Gabay](#), enseignant, responsable de la filière BTS OL, ORT, Strasbourg

[Bénédicte Gaudron](#), professeur agrégé, lycée Fresnel, Paris

[Jean-Pierre Gervais](#), professeur certifié hors classe, lycée Fresnel, Paris

[Alain Gomez](#), directeur technique et directeur des relations médicales Lissac, Paris

[Didier Gormand](#), ancien directeur des formations en optométrie, université Paris-Sud 11, faculté des sciences, Orsay

[Laurent Grienche](#), professeur certifié, école d'optique-lunetterie, Lille

[Dominique Grondin](#), professeur agrégé de mercatique et communication, Papara, Polynésie

[Joseph Hormière](#), docteur-ingénieur, ancien professeur certifié de physique, Institut et centre d'optométrie (ICO), Bures-sur-Yvette

[Fabrice Hurtevent](#), professeur agrégé, lycée Anne Veaute, Castres

[Caroline Kovarski](#), chercheur associé, université Lumière Lyon2 ; professeur certifié, lycée Fresnel ; intervenante au CFA Paris et à l'ISO, Paris

[Laurent Laloum](#), ophtalmologiste, Paris

[Pierre Lautard](#), opticien-optométriste, Avignon ; professeur, lycée Emmanuel d'Alzon, Nîmes

[Rémi Louvet](#), professeur, Institut et centre d'optométrie (ICO), Bures-sur-Yvette

Marie Marland, professeur certifié honoraire, lycée Fresnel, Paris
Éva Martin, Trade Marketing Manager, Transitions Optical
Jean-Pierre Meillon, opticien, FAAO, consultant, Vision Contact, Paris
Langis Michaud, OD, MSc, FAAO, FBCLA professeur titulaire à l'École d'optométrie de l'Université de Montréal, Québec, Canada
Yves-Henri Navarre, professeur certifié, lycée Fresnel, Paris
Geneviève Prévost, opticienne-optométriste, Gif-sur-Yvette
Vincent Quiniou, ingénieur de l'École nationale supérieure des mines de Paris
Isabelle Riviere, opticienne-formatrice, IES-Institut
Olivier Sauvage, opticien, Cognac
René Serfaty, opticien-optométriste, Boulogne-Billancourt
Thérèse Thiébaud, ancienne directrice adjointe et professeur, Institut et centre d'optométrie (ICO), Bures-sur-Yvette
Isabelle Viards, professeur, lycée Fresnel, Paris
François Vilhelm, opticien-optométriste, Seclin
Karina Weintraub-Lejzerowicz, ancien professeur, Institut et centre d'optométrie (ICO), Bures-sur-Yvette

Remerciements

La coordonnatrice tient à remercier les sociétés et organismes suivants :

ACEP, Architectures-Face à Face, BBGR, Bourgeois, Briot International/Weco France, Carl Leiss Vision France/Sola, CLM Communication/« L'essentiel de l'optique », Ciba Vision, Codir SA, Coming, Cottet, Cristallin, EBC, Essilor, Essilor Academy, Eschenbach Optik SARL, Etex France, Fax International, Hoya, Ipro International, IVS-Activisu, 3M/Peltor, Laboratoires Alcon, Lycée Fresnel, Nidek, Ocular Sciences, Optic 2000, société O2R, Technolens, Telesensory, Transitions Optical, ainsi que les personnes suivantes :

Céline Adrey, Jean-Charles Allary, Philippe Allieri, Pascal Arthuis, Bernard Barthélémy, Danielle Baud, Philippe Bensaid, Francis Berny, Patrick Boisgontier, Catherine Blanc, Joël Bourbon, Chantal Bruet, Martine Cabirol, Henri Cohen, Céline Coroas, Christelle Danion, Jean-Charles Davico, Christian Dazy, Laurent Destas, André Dreumont, Grégory Drivet, Jean-Luc Dubié, Carmen Ducottey, Olivier Dupont, Sébastien Fangeat, Bruno Fantony, Laurence Feuillu, Pascal Gallissot, Henrich Gentner, Daniel Girod, Pascal Godin, Didier Gormand, Gilles Hebert, Christophe Houdas, Pascal Jaulent, Valérie Joly, Xavier Lacroix, Gérard Larnac, Michel Lati-mier, Josiane Lebreton-Paulin, Jean-Philippe Lefèvre, Pierre Lesueur, Bradedine Madani, Myriam Maigrot, Catherine Martin, Thibault Mattlinger, Dominique Meslin, Xavier Morvan, Guy Moul-nier, Éric Pareillet, Michel Pavillon, Patricia Peley, Michel Poux, Peggy Preteceille, Michaella René, Pascal Rétif, Annie Rodriguez, Jean-Paul Roosen, Jean-Luc Roubinet, Adrien Sarfati, Jean-Philippe Sayag, Jean-Pierre Sgrillo, Laure Steve, Thérèse Thiebaut, Thierry Thomas, Annie Truong, Bernardo Vasquez, Christian Veremtschück, Philippe Verplaeste, François Vital-Durand, Daniel Wild,

et l'ensemble de ses étudiants pour leur participation active.

Cette liste n'est pas exhaustive et toutes les personnes non citées ayant apporté leur collabora-tion sont également remerciées.

Table des matières

Préface	V
Liste des auteurs	VII
Sigles et abréviations utilisés	XXIX
Opticien-lunetier : les exigences du brevet de technicien supérieur	XXXI

1^{re} partie

ÉCONOMIE ET GESTION D'ENTREPRISE

Chapitre 1

L'entreprise	3
1. Le fait d'entreprendre	3
2. Typologie des entreprises.....	4
2.1. Type d'activité	5
2.2. Effectif salarié	5
3. Le statut juridique.....	5
3.1. Avec ou sans la personnalité morale.....	6
3.2. À responsabilité limitée ou responsabilité illimitée.....	12
3.3. Société de capitaux ou société de personnes.....	13
3.4. Société commerciale ou société civile	13
3.5. Les statuts atypiques	14
4. Fonctions de l'entreprise	17
4.1. Fonction production.....	18
4.2. Fonction logistique-approvisionnement et gestion de stock	22
4.3. Fonction mercatique	25
4.4. Ressources humaines – Organisation du travail dans l'entreprise	25

Chapitre 2

Système d'information de l'entreprise – Gestion de l'entreprise d'optique-lunetterie	27
1. Bilan et compte de résultat	27
1.1. Bilan	28

1.2.	Analyse du bilan	32
1.3.	Compte de résultat	35
2.	Amortissement	46
2.1.	Amortissement linéaire	46
2.2.	Amortissement dégressif	48
2.3.	Amortissement variable	49
2.4.	Obligations de l'entreprise en matière d'amortissements	50
3.	Investissements à réaliser et leurs financements	50
3.1.	Placement (prêt)	51
3.2.	Emprunt	52
3.3.	Décision d'investissement proprement dite	54
4.	Analyse du coût de revient et du résultat – Méthode du coût complet	59
5.	Gestion des stocks	60
5.1.	Généralités	60
5.2.	Gestion des stocks et fonctionnement de l'entreprise	61
5.3.	Différents types de stocks en lunetterie	62
5.4.	Méthodes d'approvisionnement – Formule de Wilson	66
5.5.	Quelques ratios à connaître	68
6.	Gestion des achats	69
7.	Calculs de rentabilité – Seuil de rentabilité	70
7.1.	Principes	70
7.2.	Application	73
7.3.	Corrigé	73
8.	Bons de commande, de livraison, factures, devis, réductions commerciales et financières	74
9.	TVA	76
9.1.	Principes	76
9.2.	Calculs	77
10.	Budget de trésorerie	77
10.1.	Application	78
10.2.	Corrigé	79
11.	Fiscalité de l'entreprise	80
11.1.	Choix entre impôt sur le revenu (IR) et impôt sur les sociétés (IS)	80
11.2.	Critère de choix	81
11.3.	Impôt sur les sociétés	81
11.4.	Contribution économique territoriale (CET)	81
11.5.	Taxe foncière	81
11.6.	Taxe d'apprentissage	82
11.7.	Contribution de formation continue	82

Chapitre 3

Mercatique et communication commerciale	83	
1. Esprit et démarche mercatiques	83	
1.1.	Démarche mercatique	83
1.2.	Présentation du plan de marchéage	85
1.3.	Concept de produit	85
1.4.	Adaptation du produit aux besoins	88
1.5.	Le produit, réponse stratégique aux besoins	92

1.6.	Fixation des prix.....	96
1.7.	Stratégie de prix.....	100
2.	Structure de la distribution	104
2.1.	Urbanisme commercial.....	104
2.2.	Marché de l'optique.....	105
2.3.	Commerce indépendant.....	110
2.4.	Commerce intégré.....	113
2.5.	Commerce et législation.....	115
2.6.	Politique de distribution.....	115
3.	Connaissance du marché	119
3.1.	Les besoins, le marché et ses composantes.....	119
3.2.	Le consommateur et son comportement.....	122
3.3.	« Consommation ».....	124
3.4.	Segmentation.....	125
3.5.	Études de marché.....	127
3.6.	Études quantitatives.....	129
3.7.	Autres types d'études quantitatives.....	132
3.8.	Études qualitatives.....	133
3.9.	L'opticien et l'étude de son marché.....	133
3.10.	Prévision de la demande.....	134
4.	Espace de vente	138
4.1.	Implantation du point de vente.....	138
4.2.	Éléments clés du magasin.....	142
4.3.	Gestion et présentation de l'assortiment.....	144
5.	L'action vente	147
5.1.	Vente dite « anonyme ».....	147
5.2.	Vente « relationnelle ».....	148
6.	Développement des ventes	148
6.1.	Communication commerciale.....	148
6.2.	Véhicules de la communication.....	150
6.3.	Autres médias – Hors-média.....	151
6.4.	Publicité.....	155
6.5.	Promotion des ventes.....	158

Chapitre 4

Les hommes dans l'entreprise – Droit social	161
1. Organisation du travail dans l'entreprise	161
1.1. Une approche plus qualitative des ressources humaines.....	161
1.2. Structure organisationnelle des entreprises (organigrammes).....	162
1.3. Aspects techniques de la fonction « ressources humaines ».....	163
2. Introduction au droit du travail	168
2.1. Contrat de travail.....	169
2.2. Déroulement du contrat de travail.....	174
2.3. Fin du contrat de travail.....	178
2.4. Rémunération.....	183
2.5. Représentation du personnel.....	184
2.6. Droit de grève et règlement des conflits collectifs de travail.....	189
2.7. Négociation collective.....	191
2.8. Conseil de prud'hommes.....	192

Chapitre 5

Cadre juridique de l'activité	193
1. Notions de droit civil et commercial	193
1.1. Droit civil.....	193
1.2. Droit commercial.....	201
2. Réglementation commerciale	205
2.1. Commerçant.....	205
2.2. Fonds de commerce.....	207
3. Structures juridiques	215
3.1. Tableau comparatif.....	215
3.2. SARL : informations complémentaires.....	218
4. Régimes matrimoniaux	219
4.1. Objet du régime matrimonial.....	219
4.2. Principaux régimes matrimoniaux.....	219
5. Vente - Contrats de vente et moyens de paiement	221
5.1. Contrat.....	221
6. Réglementation relative au métier d'opticien	228
6.1. Droit d'exercice de la profession d'opticien.....	228
6.2. Champ d'activité de l'opticien.....	229
6.3. Prise en charge.....	230
6.4. Le décret du 13 avril 2007.....	230

Chapitre 6

Traitement de l'information	233
1. Généralités	233
1.1. Qu'est-ce que l'informatique ?.....	233
1.2. Anatomie d'un ordinateur.....	234
1.3. Logiciels.....	236
1.4. Réseaux et Internet.....	238
2. L'informatique et l'opticien	239
2.1. Logiciels de gestion.....	239
2.2. Logiciels d'aide à la vente.....	240
2.3. Logiciels d'aide au choix de l'équipement.....	240

2^e partie

OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE ET PHYSIQUE

Chapitre 7

Lois fondamentales et postulats de l'optique géométrique	245
1. Émission de lumière	245
2. Propagation d'un signal dans un milieu	245
3. Description d'une onde	245
4. Principe de Huygens-Fresnel	246

Chapitre 8

Postulats de l'optique géométrique	247
1. Propagation rectiligne de la lumière.....	247
2. Principe du retour inverse.....	248
3. Relation de Descartes : réfraction, réflexion.....	248
3.1. Réfraction.....	248
3.2. Réflexion.....	249

Chapitre 9

Image d'un point lumineux formée par un système optique	251
1. Image d'un point objet.....	251
2. Définition du stigmatisme rigoureux.....	251
3. Conditions de stigmatisme.....	252
4. Notions d'objets et d'images réels et virtuels.....	252
5. Systèmes simples rigoureusement stigmatiques.....	253
6. Extension du stigmatisme.....	254
7. Aplanétisme.....	254

Chapitre 10

Étude de l'approximation de Gauss	255
1. Nouvelle définition d'un rayon.....	255
2. Image d'un objet positionné sur l'axe.....	255
3. Image d'un objet en dehors de l'axe.....	256
4. Stigmatisme approché.....	257
5. Approximation de Gauss.....	257

Chapitre 11

Réflexion – Miroirs plans – Miroirs sphériques	259
1. Définitions et propriétés fondamentales.....	259
2. Image d'un objet plan.....	260
3. Déplacement de l'image d'un point fixe.....	261
4. Rotation d'un rayon réfléchi.....	262
5. Association de deux miroirs plans.....	263
6. Stigmatisme rigoureux et approché des miroirs sphériques.....	264
7. Étude des miroirs sphériques dans l'approximation de Gauss.....	265
8. Relations de conjugaison – Formule de Lagrange-Helmholtz.....	266
8.1. Origine au centre.....	266
8.2. Origine au sommet.....	266
8.3. Origine aux foyers.....	267
8.4. Foyers.....	267
8.5. Constructions.....	267
8.6. Image d'un objet AB.....	268
8.7. Construction de la marche d'un rayon quelconque.....	269
8.8. Formule de Lagrange-Helmholtz.....	269
8.9. Association de miroirs.....	270

Chapitre 12

Réfraction – Dioptré plan – lame à faces parallèles – Prisme	273
1. Définition, stigmatisme rigoureux et approché	273
2. Image d'un objet plan	274
2.1. Cas général : l'objet n'est pas parallèle au dioptré plan	274
2.2. Cas particulier : l'objet est parallèle au dioptré plan.....	275
3. Relations de conjugaison.....	276
4. Définition de la lame à faces parallèles.....	276
5. Déplacement latéral du rayon lumineux.....	277
6. Définition du prisme.....	278
7. Marche d'un rayon dans une section principale.....	278
8. Formules du prisme et conditions d'émergence.....	279
8.1. Définition des conventions de signe	279
8.2. Formules du prisme	280
8.3. Conditions d'émergence	280
9. Étude de la déviation – Minimum – Mesure de l'indice.....	280

Chapitre 13

Dioptrés sphériques.....	283
1. Définition du dioptré sphérique – Stigmatisme rigoureux et approché	283
2. Image d'un objet plan – Construction géométrique.....	285
2.1. Vergence.....	285
2.2. Foyers principaux	285
2.3. Détermination graphique de l'image d'un objet plan	286
3. Relations de conjugaison (sommet, centre, Newton)	287
4. Formule de Lagrange-Helmholtz.....	288
5. Grandissements transversal, angulaire et axial	288

Chapitre 14

Systèmes centrés.....	291
1. Généralités – Systèmes à foyers – Systèmes afocaux.....	291
2. Plans principaux – Foyers – Distances focales – Points cardinaux – Vergence	292
3. Image d'un objet plan, construction géométrique.....	294
3.1. Cas d'un objet à distance finie.....	294
3.2. Cas d'un objet à l'infini	295
4. Réalité/virtualité.....	296
5. Relations de conjugaison, grandissements	297
5.1. Origines en H et H'	297
5.2. Origines en F et F' (formules de Newton).....	297
5.3. Cas d'un objet à l'infini	298
6. Cas où les milieux extrêmes sont identiques	298
7. Association de systèmes centrés dioptriques.....	298

8. Détermination des éléments cardinaux	299
8.1. Méthode des foyers	299
8.2. Méthode de Gullstrand	300
9. Lentille mince, lentille épaisse	301
9.1. Définition et caractérisation	301
9.2. Différents types de lentilles	301
9.3. Conditions de minceur et conséquences	302
9.4. Formules des lentilles minces	302
9.5. Constructions avec les lentilles minces	303
9.6. Lentille mince immergée et semi-immergée	303
9.7. Doublets de lentilles minces	304
9.8. Lentilles épaisses	304
10. Systèmes afocaux	306
10.1. Condition pour qu'une association de systèmes centrés à foyers soit afocale	307
10.2. Relations de conjugaison et de grandissement	307
10.3. Constructions	308
11. Systèmes catadioptriques – Systèmes équivalents	308

Chapitre 15

Généralités sur les instruments d'optique	311
1. Classification et caractéristiques des instruments d'optique	311
2. Relation image/objet	313
2.1. Grandissement transversal	313
2.2. Distance focale	314
2.3. Puissance	315
2.4. Grossissement	317
3. Champs en largeur	320
3.1. Champ des instruments et choix des espaces optiques	321
3.2. Recherche de la pupille et de la lucarne	322
3.3. Champ de pleine lumière, moyen et total	324
3.4. Champ de contour et transfert d'énergie	328
3.5. Diaphragmation du champ d'un instrument	328
3.6. Instrument à plusieurs diaphragmes	330
3.7. Position de l'œil derrière un instrument	330
4. Présentation des principaux instruments d'optique	331
4.1. Appareil photographique	331
4.2. Projecteurs	333
4.3. Loupes et oculaires	334
4.4. Microscope	336
4.5. Lunettes et télescopes	337

Chapitre 16

Photométrie	343
1. Grandeurs spectrales	344
2. Émission d'un rayonnement – Sources lumineuses	344
3. Rayonnement à spectre continu et à spectre discontinu	345
4. Sensibilité spectrale de l'œil	345

5. Systèmes d'unités énergétiques et lumineuses	346
5.1. Les différentes unités	346
5.2. Conversion des unités énergétiques en unités lumineuses.....	347
6. Autres récepteurs.....	348
7. Grandeurs géométriques.....	348
7.1. Angle solide.....	348
7.2. Étendue géométrique	350
8. Grandeurs photométriques.....	351
8.1. Flux.....	351
8.2. Intensité.....	351
8.3. Luminance	352
8.4. Exitance	353
8.5. Éclairement.....	353
8.6. Exposition.....	354
9. Relations photométriques.....	354
9.1. Transmission des systèmes optiques.....	354
9.2. Loi de Bouguer.....	355
9.3. Diffuseur orthotrope.....	355
9.4. Éclairement d'une image réelle	356
9.5. Luminance d'une image virtuelle	357
10. Détecteurs de flux et capteurs d'images.....	357
10.1. Détecteurs de flux	357
10.2. Capteurs d'images	358
11. Photométrie des détecteurs de flux et des capteurs d'images	358
11.1. Détecteurs de flux	358
11.2. Capteurs d'image.....	358

Chapitre 17

Aberrations	361
1. Aberrations chromatiques	362
1.1. Dispersion des verres.....	362
1.2. Dispersion du prisme et interprétation du nombre d'Abbe	363
1.3. Chromatisme de position	364
1.4. Chromatisme de grandeur	365
1.5. Achromatisme d'un doublet objectif mince.....	366
1.6. Achromatisme d'un doublet oculaire.....	367
2. Aberrations géométriques	368
2.1. Les deux types d'aberrations géométriques.....	368
2.2. Aberration sphérique	369
2.3. Coma	371
2.4. Astigmatisme oblique	371
2.5. Courbure de champ	372
2.6. Distorsion	373
3. Optimisation de la qualité des images	373

Chapitre 18

Interférences	375
1. Phénomènes vibratoires	375

1.1.	Vibration lumineuse	375
1.2.	Représentation vectorielle	376
2.	Composition de deux vibrations	376
2.1.	Méthode trigonométrique	377
2.2.	Méthode vectorielle	377
2.3.	Application : interférences non localisées à deux ondes avec les fentes d'Young	378
3.	Cohérence spatiale et temporelle	381
4.	Interférences localisées	382
4.1.	Lames à faces parallèles	382
4.2.	Coin d'air	388
4.3.	Anneaux de Newton	390
5.	Traitement antiréfléchissant des surfaces	393
5.1.	Condition portant sur l'épaisseur	393
5.2.	Condition portant sur l'indice	393
5.3.	Application numérique	394

Chapitre 19

Polarisation	395	
1. État de polarisation	395	
1.1.	Nature de la vibration lumineuse	395
1.2.	Lumière naturelle	396
1.3.	Lumière polarisée	396
2. Polarisation par réflexion	399	
2.1.	Loi de Brewster	399
2.2.	Conséquence de la loi de Brewster	400
3. Polariseur, analyseur	400	
3.1.	Polariseur	400
3.2.	Analyseur	401
4. Loi de Malus	401	
4.1.	Énoncé de la loi de Malus	401
4.2.	Justification de la loi de Malus	402
4.3.	Application de la loi de Malus	402
5. Introduction à la biréfringence	403	
5.1.	Définition	403
5.2.	Rayons ordinaire et extraordinaire	404
5.3.	Construction des rayons	405
5.4.	Conséquences	407
6. Lame biréfringente – polariseur – analyseur	408	
6.1.	Lignes neutres	408
6.2.	Effet d'une lame biréfringente sur une vibration	409

Chapitre 20

Diffraction/réseaux	415	
1. Description du phénomène	415	
1.1.	Présentation	415
1.2.	Exemples de figures de diffraction	415
1.3.	Condition d'observation des phénomènes de diffraction	417
1.4.	Principe de Huygens-Fresnel	417

2. Diffraction par une fente fine	418
2.1. Calcul de l'onde diffractée à l'infini	418
2.2. Intensité diffractée	420
3. Diffraction par une ouverture circulaire, tache d'Airy	421
3.1. Intensité diffractée	421
3.2. Application aux instruments d'optique	424
4. Notions de diffraction par les réseaux	426
4.1. Présentation	426
4.2. Formule fondamentale du réseau	427
4.3. Intensité diffractée	430
4.4. Cas d'un réseau par réflexion	431
4.5. Déviation minimale d'un réseau	432
4.6. Réseaux en lumière polychromatique – Dispersion	434

Chapitre 21

Pouvoir séparateur	437
1. Définitions et étude des facteurs définissant le pouvoir séparateur	438
1.1. Définitions	438
1.2. Pouvoir séparateur de l'instrument d'optique	438
1.3. Influence de la diffraction	439
1.4. Pouvoir séparateur du détecteur d'image	440
2. Limite de séparation des instruments objectifs	443
3. Limite de séparation des instruments subjectifs	444
3.1. Instruments d'observation d'objets proches	444
3.2. Instruments d'observation d'objets éloignés	446
4. Profondeur de champ	448
4.1. Tache de diffusion	448
4.2. Profondeur de foyer	449
4.3. Profondeur de champ des instruments objectifs	450
4.4. Hyperfocale	452
4.5. Profondeur de champ des instruments subjectifs	453

3^e partie

ÉTUDE TECHNIQUE DES SYSTÈMES OPTIQUES

Chapitre 22

Construction mécanique	457
1. Contacts de surfaces	457
1.1. Surfaces mécaniques	457
1.2. Contacts entre les surfaces	459
2. Coupes et sections	460
2.1. Règles et conventions	460
2.2. Coupes particulières	462
2.3. Applications	463
3. Schématisation des mécanismes	464
3.1. Définition et hypothèses	464
3.2. Mouvements élémentaires – Degrés de liberté – Degrés de liaison ..	465

3.3.	Principales liaisons	465
3.4.	Réalisation technique des liaisons.....	471
3.5.	Méthode de schématisation	494
3.6.	Applications	500
4.	Transmission du mouvement	517
4.1.	Transmission sans modification de la nature du mouvement.....	517
4.2.	Transmission avec modification de la nature du mouvement.....	522

Chapitre 23

Études techniques des systèmes optiques	529	
1. Projection orthogonale	529	
1.1.	Principe	529
1.2.	Normes, conventions et usage.....	530
1.3.	Droites particulières	532
1.4.	Plans particuliers.....	534
1.5.	Conventions d'écriture	536
1.6.	Applications immédiates.....	537
2. Réflexion sur les miroirs plans	539	
2.1.	Lois de la réflexion.....	539
2.2.	Miroir plan.....	541
2.3.	Constructions associant plusieurs miroirs plans	543
2.4.	Dièdres droits.....	548
2.5.	Trièdres objets et images	553
2.6.	Exercice d'application sur les miroirs plans.....	553
3. Réfraction	556	
3.1.	Lois de la réfraction	556
3.2.	Marche réelle et marche paraxiale.....	556
3.3.	Application immédiate.....	557
4. Lames à faces parallèles	559	
4.1.	Notations.....	559
4.2.	Espaces optiques.....	560
5. Prismes	561	
5.1.	Utilisation	561
5.2.	Conjugaison.....	561
5.3.	Méthode rapide pour tracer les images à travers un prisme	565
5.4.	Prisme dans l'espace	566
5.5.	Application : jumelle à prismes.....	568
5.6.	Cas particulier du prisme « en toit »	571
6. Systèmes centrés sphériques	573	
6.1.	Marche réelle d'un rayon lumineux	573
6.2.	Marche paraxiale	576
7. Miroirs sphériques	589	
7.1.	Lois de la réflexion – Marche réelle.....	589
7.2.	Lois de la réflexion – Marche paraxiale.....	590
7.3.	Système catadioptrique.....	591
8. Vues obliques	592	
8.1.	But.....	592
8.2.	Technique	592
8.3.	Application.....	593

9. Rabattements.....	595
9.1. But.....	595
9.2. Technique.....	595
9.3. Relèvement.....	596
9.4. Application.....	597
10. Surfaces optiques.....	598
10.1. Utilisation en optique.....	598
10.2. Plan.....	598
10.3. Sphère.....	602
10.4. Cylindre.....	606
10.5. Cône.....	608
10.6. Tore.....	610
11. Systèmes centrés astigmatés.....	613
11.1. Constitution.....	613
11.2. Construction d'images et de rayons.....	615
11.3. Faisceaux astigmatés.....	619
11.4. Sections d'un faisceau astigmaté.....	619
11.5. Tracé de rayons lumineux dans l'œil astigmaté.....	624
11.6. Mesure d'un verre astigmaté dans le frontofocomètre.....	629
12. Champs transversaux.....	632
12.1. Définitions et terminologies.....	633
12.2. Construction des trois champs principaux.....	634
12.3. Plans d'observation des champs à l'infini.....	636
12.4. Détermination des champs pour des systèmes à trois diaphragmes ou plus.....	636
12.5. Faisceau utile.....	637
12.6. Applications.....	638

Chapitre 24

Applications au domaine de l'opticien.....	651
1. Pupillomètre.....	651
1.1. Présentation.....	651
1.2. Principe d'utilisation.....	651
1.3. Mode opératoire.....	651
1.4. Étude mécanique.....	652
1.5. Étude optique.....	658
2. Frontofocomètre.....	664
2.1. Présentation.....	664
2.2. Principe d'utilisation.....	665
2.3. Étude mécanique.....	666
2.4. Étude optique.....	673

4^e partie

ANALYSE DE LA VISION

Chapitre 25

Anatomie et physiologie oculaires	691
1. Anatomie	691
1.1. Anatomie détaillée du globe oculaire et de ses annexes	691
1.2. Neuro-anatomie de la rétine, de l'encéphale et des voies visuelles..	709
2. Physiologie oculaire	713
2.1. Neurophysiologie : le message sensoriel et son élaboration	713
2.2. Physiologie musculaire	714
2.3. Système lacrymal	717
3. Performance et évolution du système visuel	722
3.1. Photométrie visuelle	722
3.2. Seuils de perception	724
3.3. Perception des détails	725
3.4. Perception de l'intensité lumineuse	725
3.5. Champ visuel	726
3.6. Vision des couleurs	738
3.7. Acuité visuelle	741

Chapitre 26

Optique physiologique	753
1. Vision monoculaire	753
1.1. Œil immobile	753
1.2. Œil en mouvement	870
2. Vision binoculaire	872
2.1. Vision binoculaire normale	872
2.2. Anomalie de la vision binoculaire et de la motilité oculaire	901
3. Connaissances complémentaires	933
3.1. Notions sommaires sur les techniques chirurgicales de correction des amétropies	933
3.2. Notions sommaires sur les pathologies oculaires	945

Chapitre 27

Optométrie	971
1. Optométrie théorique	971
1.1. Méthodes objectives	971
1.2. Kératométrie	982
1.3. Échelles d'acuité	1003
1.4. Tests d'astigmatismes	1003
1.5. Tests duochromes	1003
1.6. Tests de vision binoculaire	1003
1.7. Étude de la vision des couleurs et de la perception des contrastes...	1003
1.8. Basse vision	1004
2. Optométrie pratique	1005
2.1. Étude de cas et tests préliminaires	1007
2.2. Emmétropisation en vision de loin	1009

2.3. Compensation en vision de près.....	1011
2.4. Étude de la vision binoculaire.....	1013
2.5. Interprétation	1016
Annexe 1	1023
Fiches de test	1023
Annexe 2	1185
Être et rester un professionnel au service de sa clientèle	1185

Chapitre 28

Lentilles de contact	1189
1. Introduction	1189
1.1. Historique des lentilles de contact	1189
1.2. Rappel physiologique.....	1193
1.3. Métrologie de la cornée.....	1193
2. Étude générale des lentilles de contact	1193
2.1. Description des différents types et géométrie.....	1194
2.2. Matériaux utilisés.....	1200
2.3. Procédés de fabrication.....	1209
2.4. Métrologie et contrôle	1214
3. Aspect technique de l'adaptation	1220
3.1. Indication et contre-indications d'emploi	1220
3.2. Critères de choix	1229
3.3. Tests préalables.....	1252
3.4. Adaptation des lentilles de contact	1263
3.5. Contrôle de l'adaptation.....	1300
3.6. Formulation de la commande.....	1305
4. Entretien des lentilles de contact	1306
4.1. Étude des différents produits et des procédés.....	1306
4.2. Risques encourus en cas de mauvais entretien	1318
4.3. Conseil d'utilisation	1319
5. Étude de l'influence du port des lentilles	1321
5.1. Dioptrique	1321
5.2. Étude de l'impact de la lentille sur les structures oculaires.....	1323

5^e partie

ÉTUDE – RÉALISATION – MAINTENANCE D'ÉQUIPEMENT

Chapitre 29

Conception des verres	1327
1. Matières	1327
1.1. Verre minéral	1327
1.2. Verres organiques.....	1328

2. Techniques de fabrication des différents verres correcteurs.....	1331
2.1. Verre minéral blanc	1331
2.2. Verres minéraux photochromiques.....	1336
2.3. Verres organiques thermodurcissables.....	1336
2.4. Verres organiques thermoplastiques.....	1338
2.5. Verres organiques photochromiques.....	1338
3. Caractéristiques optiques et physiques.....	1340
3.1. Propriétés optiques.....	1340
3.2. Propriétés physiques.....	1342
3.3. Réglementation européenne	1342
4. Géométries des surfaces.....	1345
4.1. Verres sphériques.....	1345
4.2. Verres astigmatés.....	1345
4.3. Verres multifocaux (doubles foyers, triples foyers et progressifs).....	1347
5. Puissances.....	1353
5.1. Verres sphériques.....	1353
5.2. Verres toriques.....	1356
5.3. Verres multifocaux.....	1360
5.4. Réglementation européenne	1363
5.5. Normalisation.....	1364
6. Réduction d'épaisseur.....	1365
6.1. Flèche d'un dioptre sphérique.....	1365
6.2. Épaisseur au bord et épaisseur au centre	1366
7. Traitements sur verres ophtalmiques	1366
7.1. Traitement sous vide.....	1366
7.2. Traitements antireflets.....	1370
7.3. Traitement durci sur verres organiques	1373
7.4. Évolution des traitements en optique-lunetterie	1373
8. Teintes.....	1374
8.1. Verres minéraux.....	1374
8.2. Verres organiques.....	1374
8.3. Verres photochromiques.....	1375
8.4. Teintes.....	1375
8.5. Basse vision et filtres colorés.....	1376
9. Sécurisation sur verres minéraux	1376
9.1. Trempe thermique	1376
9.2. Trempe chimique	1376
10. Autre procédé de traitement.....	1377
11. Décentrement et effet prismatique	1377
11.1. Prisme	1377
11.2. Relations dans un prisme	1378
11.3. Puissance d'un prisme	1379
11.4. Prescription et rédaction d'une ordonnance.....	1380
11.5. Effet prismatique dans un verre optique.....	1380
11.6. Règle de Prentice	1381
11.7. Calcul du décentrement à effectuer	1382
11.8. Association de deux prismes.....	1385
11.9. Centrage d'un verre prismatique	1386
11.10. Réglementation européenne	1386

Chapitre 30

Conception des montures	1387
1. Matières et caractéristiques physiques et mécaniques	1387
1.1. Montures plastiques synthétiques	1387
1.2. Matières naturelles	1391
1.3. Montures métalliques	1393
2. Fabrication des montures	1397
2.1. Montures plastiques	1397
2.2. Montures métalliques	1400
3. Conception, production et contrôle	1407
3.1. Conception	1407
3.2. Production	1407
3.3. Contrôle et rhabillage	1407
4. Nomenclature des montures	1408
4.1. Références	1408
4.2. Tailles	1408
4.3. Utilisation	1410
4.4. Matière constituant la monture	1411
4.5. Terminologie	1411
5. Traitements de surface	1413
5.1. Traitement galvanique	1413
5.2. Traitement organique	1415
5.3. Traitement PVD (<i>physical vapor deposition</i>)	1415
5.4. Traitements de surface du titane	1416
6. Corrosion des montures	1416
6.1. Corrosion atmosphérique	1416
6.2. Corrosion due à la transpiration	1416
7. Rhabillage des montures	1417

Chapitre 31

Matériels	1419
1. Fonctionnement et utilisation du matériel de mesure et de contrôle des verres	1419
1.1. Frontofocomètre	1419
1.2. Sphéromètre	1432
1.3. Neutralisation	1434
2. Fonctionnement et utilisation du matériel nécessaire au montage	1434
2.1. Reproducteur de calibre	1434
2.2. Centreur	1434
2.3. Meuleuses automatiques	1442
2.4. Meules manuelles	1448
2.5. Tensiscope	1449
2.6. Raineuses	1451
2.7. Perceuses	1455
3. Fonctionnement et utilisation du matériel et de l'outillage nécessaires au montage, à la transformation et à la réparation des montures	1456
3.1. Instruments de mesure	1456
3.2. Instruments de façonnage	1458

3.3. Bac à ultrasons	1460
3.4. Autres outils	1461

Chapitre 32

Notions de pratique	1465
1. Montage	1465
1.1. Techniques et règles de montage des différents verres	1465
1.2. Techniques de montage des différentes montures	1466
1.3. Techniques de remontage	1468
1.4. Évaluation de l'état des montures	1469
1.5. Travail sur les montures	1469
2. Réparations	1469
2.1. Techniques de montage de charnières	1469
2.2. Techniques de brasage à l'argent	1471

6^e partie

DÉTERMINATION – ESSAIS – ADAPTATION D'ÉQUIPEMENT

Chapitre 33

Prise de mesures	1477
1. Position primaire	1477
1.1. Définition	1477
1.2. Ports de tête	1478
1.3. Posture	1479
1.4. Origines d'un port de tête particulier	1480
1.5. Positions secondaires	1480
2. Lignes de référence du visage	1481
2.1. Lignes de références du visage	1482
2.2. Plan de monture	1483
3. Observations générales du visage	1484
3.1. Aspect général	1484
3.2. Forme générale	1484
4. Éléments du visage	1488
4.1. Nez	1488
4.2. Sourcils	1491
4.3. Pommettes	1492
4.4. Fente palpébrale	1493
4.5. Tempes	1494
4.6. Oreilles	1495
5. Visage moyen	1497
5.1. Visage moyen	1497
5.2. Dissymétries	1499
5.3. Variation en fonction de l'origine ethnique	1499
6. Mesure des écarts pupillaires	1500
6.1. Écart pupillaire en vision de loin	1500
6.2. Mesure des écarts anatomiques : la méthode de Viktorin	1500
6.3. Mesure de l'écart physique	1503

7. Mesures sur le visage	1506
7.1. Préliminaire aux méthodologies de prises de mesures.....	1506
7.2. Mesures sur le visage.....	1507
7.3. Mise en page des mesures sur le schéma en trois vues	1513
8. Prise de mesures électroniques.....	1515
8.1. Avantages et inconvénients.....	1515
8.2. Principe de fonctionnement.....	1516
8.3. Composition générale	1516
8.4. Exemples.....	1517

Chapitre 34

Monture	1521
1. Choix de monture	1521
1.1. Aspects techniques du choix.....	1521
1.2. Aspect esthétique.....	1527
1.3. Analyse du choix de monture	1530
1.4. Monture de l'enfant	1530
1.5. Peau	1531
1.6. Problèmes dermatologiques.....	1534
2. Diamètre des verres	1535
2.1. Détermination du diamètre de commande.....	1535
2.2. Diamètre et épaisseur des verres.....	1536
3. Rhabillage et ajustage d'une monture.....	1539
3.1. Rhabillage.....	1539
3.2. Ajustage	1544
4. Protection des yeux et du visage en milieu industriel	1548
4.1. Types de risques	1548
4.2. Normalisation européenne	1549
4.3. Types de protecteurs de l'œil.....	1551
4.4. Caractéristiques des filtres et matériaux	1551
5. Vision et sport	1552
5.1. Performance visuelle et performance sportive	1552
5.2. Des lunettes adaptées	1554
5.3. Des verres adaptés : le cas des montures fortement galbées	1562
5.4. Verres polarisants	1564

Chapitre 35

Verres	1567
1. Généralités sur le choix de verres	1567
1.1. Analyse des activités du client	1567
1.2. Choix de l'équipement	1568
1.3. Choix de la monture	1568
1.4. Prix du verre	1568
1.5. Rédaction de la commande	1569
2. Centrage d'un verre unifocal en vision de loin.....	1569
2.1. Mesures nécessaires pour le centrage.....	1569
2.2. Éléments de réflexion concernant le centrage.....	1570
2.3. Prise des mesures	1572
2.4. Ancien centrage.....	1574

3. Choix de la matière et choix de l'indice	1575
3.1. Verres minéraux	1575
3.2. Verres organiques	1580
3.3. Verres polycarbonates	1582
3.4. Comparaison verre organique, verre minéral	1583
4. Aberrations et optimisation d'un verre ophtalmique	1586
4.1. Aberration	1586
4.2. Optimisation	1589
5. Équipement du presbyte en lunettes	1592
5.1. Rappel sur la presbytie	1592
5.2. Position du problème	1593
5.3. Possibilités d'équipement	1593
5.4. Étude des divers équipements possibles	1596
6. Fabrications spéciales	1610
6.1. Précalibrage	1611
6.2. Diamètre minimum	1613
6.3. Verre à bords tranchants	1614
6.4. Cas particuliers	1615
7. Fortes corrections	1615
7.1. Forte myopie	1615
7.2. Correction de l'aphaque par des verres ophtalmiques	1622
8. Corrections prismatiques	1624
8.1. Prisme provisoire de type « <i>press-on</i> »	1624
8.2. Correction par verres prismatiques	1625

QCM

QCM 1 ^{re} partie	1631
QCM 2 ^e partie	1637
QCM 3 ^e partie	1657
QCM 4 ^e partie	1659
QCM 5 ^e partie	1679
QCM 6 ^e partie	1685
Bibliographie	1693
Index	1701

Signes et abréviations utilisés

A-C	accommodation-convergence	EG	écart gauche
ACL	aberration chromatique longitudinale	EOG	électro-oculogramme
AG	assemblée générale	ERG	électrorétinogramme
AK	kératomie astigmat	EURL	entreprise unipersonnelle à responsabilité limitée
ALK	kératoplastie lamellaire automatisée	FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
ALR	astigmatisme avec la règle (ou selon la règle)	FIFO	<i>first in, first out</i>
AMR	angle minimum de résolution	FRNG	fonds de roulement net global
ARN	accommodation relative négative	GAF	glaucome à angle fermé
ARP	accommodation relative positive	GIE	groupement d'intérêt économique
ATNC	agent transmissible non conventionnel	GMA	glycidylméthacrylate
AV	acuité visuelle	GPAO	glaucome primaire à angle ouvert
BFR	besoin en fonds de roulement	GPC	conjonctivite à papille géante
BTS	brevet de technicien supérieur	HEMA	hydroxyéthylméthacrylate
BUT	<i>break up time</i> (temps de bris lacrymal)	HK	kératomie hexagonale
CA	chiffre d'affaires ; conseil d'administration	IAD	<i>ion assisted deposition</i>
CAB	cellulose acétoburylate	IPM	inclinaison du plan de montage
CAF	capacité d'autofinancement	IR	infrarouge
CAMP	coût d'achat moyen pondéré	IS	impôt sur les sociétés
CCD	charge coupled device (dispositif de transfert de charge)	ISO	<i>International Standards Organisation</i>
CCR	cylindre croisé par retournement	KPS	kératite ponctuée superficielle
CE	comité d'entreprise ; communauté européenne	LASEK	kératomileusis épithélial au laser
CEL	compte d'épargne logement	LASIK	kératomileusis <i>in situ</i> au laser
CFE	centre de formalités des entreprises	LR	lentille rigide
CGL	corps genouillé latéral	LRD	ligne de regard de l'œil droit
CHSCT	comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail	LRG	ligne de regard de l'œil gauche
CIE	commission internationale de l'éclairage	LRPG	lentille rigide perméable aux gaz
CK	kératoplastie par conduction	LRPO	lentille rigide perméable à l'oxygène
CLE	exérèse en cristallin clair	LS	limite de séparation
CLR	astigmatisme contraire à la règle	LSH	lentille souple hydrophile
CMD	cercle de moindre diffusion	MA	acide méthacrylique
CMUP	coût moyen unitaire pondéré	NIBUT	<i>non invasive break up time</i>
CP	cours préparatoire	NVP	N vinyl pyrrolidone
CS	conseil de surveillance	OD	œil droit
DAA	diacétone acrylamide	ODG	œil droit et œil gauche
DF	double foyer	OG	œil gauche
DMLA	dégénérescence maculaire liée à l'âge	OL	opticien-lunetier
DP	délégué du personnel	ON	ouverture numérique
DRCI	délai de récupération du capital investi	PEL	plan d'épargne logement
DS	délégué syndical	PEPS	premier entré, premier sorti
DVO	distance verre-œil	PEV	potentiel évoqué visuel
DVP	décollement du vitré postérieur	PIB	produit intérieur brut
EBE	excédent brut d'exploitation	PIO	pression intra-oculaire
ED	écart droit	PL	champ de pleine lumière
		PMMA	polyméthacrylate de méthyle
		PPA	<i>punctum proximum</i> d'accommodation
		PPC	<i>punctum proximum</i> de convergence

PRK	kératectomie photoréfractive	SNC	société en nom collectif ; système nerveux central
PRP	potentiel récepteur précoce	SR	seuil de rentabilité
PS	pouvoir séparateur	TF	triple foyer
PTK	photokératectomie thérapeutique	TIR	taux interne de rentabilité
RCS	registre du commerce et des sociétés	TRI	taux de rendement interne
RK	kératotomie radiaire	TPE	très petite entreprise
R/V	rouge/vert	TVA	taxe sur la valeur ajoutée
SA	société anonyme	URSSAF	Union pour le recouvrement des cotisations de sécurité sociale et d'allocations familiales
SAM	sens des aiguilles d'une montre	UV	ultraviolet
SARL	société anonyme à responsabilité limitée	va	verre additionnel
SAS	société par actions simplifiée	VA	valeur ajoutée
SCA	société en commandite par actions	VAN	valeur actualisée nette
SCI	société civile immobilière	VG	vraie grandeur
SCS	société en commandite simple	VI	vision intermédiaire
SEAL	lésion arciforme de la cornée supérieure	VL	vision de loin
SEC	sous-ensemble cinématique	VMP	valeurs mobilières de placement
SI	système international	VP	vision de près
SIAM	sens inverse des aiguilles d'une montre	YAG	yttrium, aluminium, garnet
SIM	système d'information marketing		
SNA	système nerveux autonome		

Opticien-lunetier : les exigences du brevet de technicien supérieur

Introduction

L'ensemble de la formation dispensée aux futurs opticiens-lunetiers a pour objectifs, dans le cadre de l'exercice de la profession (défini par le Code de la santé publique, article L. 505 et suivants) de développer les compétences suivantes :

- se situer avec précision au sein des professions de santé dans le strict cadre de leurs compétences effectives d'auxiliaires médicaux ;
- collaborer efficacement avec les ophtalmologistes et les orthoptistes en respectant les limites d'intervention et les décisions de réorientation ;
- proposer et réaliser un équipement permettant d'offrir au client une compensation confortable respectant la prescription médicale ;
- communiquer dans les domaines scientifiques et techniques avec l'ensemble des professionnels concernés ;
- participer avec profit (communiquer, se former, s'informer) à des manifestations professionnelles nationales et internationales (compte tenu des différentes situations d'exercice rencontrées).

La mise en œuvre de ces principales compétences, dans le cadre de l'exercice de la profession, nécessite l'acquisition d'un ensemble complet de connaissances permettant à l'opticien-lunetier d'exercer avec maîtrise ses activités.

L'exécution, en cours de formation, d'actes relevant de la seule compétence des ophtalmologistes participe à la bonne formation des futurs opticiens-lunetiers mais ne vise en aucun cas à développer l'apprentissage de techniques en vue de leur application dans le cadre de l'exercice de la profession.

L'ensemble des enseignants amené à dispenser cette formation veillera avec un soin particulier à en informer les étudiants et à préciser lors de ces activités leur objectif strictement formatif, l'exercice de la profession d'opticien-lunetier devant respecter le Code de la santé publique (article L. 505 et suivants).

► **Remarque** : les textes ci-après ne se rapportent qu'aux matières techniques. Ils sont complétés par des enseignements en Français, langue vivante étrangère et mathématiques.

Le référentiel de septembre 1997 a été complété par le compte-rendu des trois journées relatives à la réforme du BTS OL du 19 février 1998.

1. Économie et gestion d'entreprise

1.1. L'entreprise

1.1.1. Définition et modes d'analyse, typologies, insertion dans le tissu économique (branche, secteur, filière)

1.1.2. Problèmes fondamentaux de la création et du fonctionnement

- positionnement de l'entreprise sur les marchés et choix du produit ;
- détermination des ressources nécessaires à la création et au fonctionnement ;
- mise en place d'une organisation et prise en compte des interdépendances des différentes fonctions ;
- relations avec l'environnement : rapports avec les administrations et les organismes professionnels.

1.2. Système d'information de l'entreprise

1.2.1. Coûts : composantes, analyse, prévision

- charges directes et indirectes ;
- charges fixes et charges variables ;
- marges sur coûts variables ;
- établissement de devis (notion d'imputation rationnelle des charges fixes) ;
- introduction à l'analyse des écarts.

1.2.2. Notions de gestion budgétaire

1.2.3. Notions relatives au choix et au financement de l'investissement

1.2.4. Synthèse des informations au niveau de l'entreprise : notions de bilan et de compte de résultat

1.3. Mercatique et communication commerciale

1.3.1. Esprit et démarche mercatique

1.3.2. Structure de la distribution

- formes de commerce et leur évolution.

1.3.3. Connaissance du marché

- informations générales sur le marché ;
- zone de chalandise ;
- clientèle actuelle et potentielle : les typologies de clients, les comportements d'achat, la segmentation.

1.3.4. Espace de vente

- assortiment ;
- politique de prix, de marque ;
- méthodes et techniques de vente ;
- critères de choix du positionnement de l'espace de vente.

1.3.5. Action vente

- découverte du client ;
- présentation et comportement du vendeur ;
- entretien de vente ;
- opérations matérielles et administratives liées à la vente.

1.3.6. Développement des ventes

- fixation des objectifs ;
- actions d'information de la clientèle ;
- techniques de développement des ventes.

1.4. Les hommes dans l'entreprise

1.4.1. Relations sociales

1.4.2. Politique du personnel

1.4.3. Valorisation des ressources humaines

1.5. Cadre juridique de l'activité

1.5.1. Notions de droit civil, commercial et fiscal

- notion de contrat : le contrat de vente ;
- notion de responsabilité ;

- protection de la propriété industrielle ;
- formes juridiques d'entreprise ;
- principe de la TVA et de l'imposition des bénéfices.

1.5.2. Droit social

- organisation des relations collectives (syndicats, conventions collectives) ;
- organisation des relations individuelles (le contrat de travail),
- réglementation du travail et contrôle de son application (salaire, durée du travail, congés, conditions de travail, CHSCT, inspection du travail) ;
- représentation du personnel ;
- conflits du travail, conseils de prud'hommes, conflits collectifs ;
- problèmes relatifs à l'emploi et à la formation ;
- protection sociale.

1.6. Traitement de l'information dans le cadre des activités professionnelles

- 1.6.1. Notions relatives aux outils d'aide à la décision
- 1.6.2. Opérations sur fichiers (manuels ou informatiques)
- 1.6.3. Saisie, diffusion, stockage d'informations en utilisant des supports divers et en recourant à des logiciels
- 1.6.4. Communication professionnelle
- 1.6.5. Logiciels de traitement de texte, gestionnaire de base de données, tableurs
- 1.6.6. Méthodes et outils de la planification

2. ■ Optique géométrique et physique

2.1. Lois fondamentales de l'optique

- 2.1.1. Émission de lumière
- 2.1.2. Propagation d'un signal dans un milieu
- 2.1.3. Description d'une onde
- 2.1.4. Principe de Huygens-Fresnel
- 2.1.5. Principe de Fermat

2.2. Postulats de l'optique géométrique

- 2.2.1. Propagation rectiligne de la lumière
- 2.2.2. Principe du retour inverse
- 2.2.3. Relation de Descartes : réfraction, réflexion
- 2.2.4. Théorème de Malus

2.3. Image d'un point lumineux formée par un système optique

- 2.3.1. Image d'un point objet
- 2.3.2. Définition du stigmatisme rigoureux
- 2.3.3. Condition de stigmatisme
- 2.3.4. Notions d'objets et d'images réels et virtuels
- 2.3.5. Systèmes simples rigoureusement stigmatiques
- 2.3.6. Extension du stigmatisme
- 2.3.7. Aplanétisme
- 2.3.8. Relation d'Abbe

2.4. Étude de l'approximation de Gauss

- 2.4.1. Nouvelle définition d'un rayon
- 2.4.2. Image d'un objet positionné sur l'axe
- 2.4.3. Image d'un objet en dehors de l'axe
- 2.4.4. Stigmatisme approché
- 2.4.5. Approximation de Gauss

2.5. Réflexion, miroirs plans, miroirs sphériques

- 2.5.1. Définitions, propriétés fondamentales
- 2.5.2. Image d'un objet plan
- 2.5.3. Déplacement de l'image d'un point fixe
- 2.5.4. Rotation d'un rayon réfléchi
- 2.5.5. Association de deux miroirs plans
- 2.5.6. Stigmatisme rigoureux et approché de deux miroirs sphériques
- 2.5.7. Étude des miroirs sphériques dans l'approximation de Gauss
- 2.5.8. Relations de conjugaison, formule de Lagrange-Helmholtz

2.6. Réfraction, dioptre plan, lame à faces parallèles, prisme

- 2.6.1. Définition, stigmatisme rigoureux et approché
- 2.6.2. Image d'un objet plan
- 2.6.3. Relations de conjugaison
- 2.6.4. Définition de la lame à faces parallèles
- 2.6.5. Déplacement latéral du rayon lumineux
- 2.6.6. Définition du prisme
- 2.6.7. Marche d'un rayon dans une section principale
- 2.6.8. Formules du prisme, conditions d'émergence
- 2.6.9. Étude de la déviation, minimum, mesure de l'indice

2.7. Dioptres sphériques

- 2.7.1. Définition, stigmatisme rigoureux et approché
- 2.7.2. Image d'un objet plan, construction géométrique
- 2.7.3. Relations de conjugaison (sommet, centre, Newton)
- 2.7.4. Formule de Lagrange-Helmholtz
- 2.7.5. Grandissements transversal, angulaire, axial

2.8. Systèmes centrés

- 2.8.1. Généralités, systèmes à foyers, systèmes afocaux
- 2.8.2. Plans principaux, foyers, distances focales, points cardinaux, vergence
- 2.8.3. Relations de conjugaison, grandissements
- 2.8.4. Image d'un objet plan, construction géométrique
- 2.8.5. Association de systèmes centrés dioptriques
- 2.8.6. Détermination des éléments cardinaux, formule de Gullstrand
- 2.8.7. Lentille mince, lentille épaisse
- 2.8.8. Systèmes catadioptriques, systèmes équivalents

2.9. Généralités sur les instruments d'optique

- 2.9.1. Classification et caractéristiques des instruments d'optique
- 2.9.2. Grandissement, puissance, grossissement

- 2.9.3. Champ des instruments, choix des espaces optiques
- 2.9.4. Recherche de la pupille, de la lucarne
- 2.9.5. Champ de pleine lumière, moyen et total
- 2.9.6. Champ de contour, transfert d'énergie
- 2.9.7. Diaphragmation du champ d'un instrument
- 2.9.8. Instrument à plusieurs diaphragmes
- 2.9.9. Position de l'oeil derrière un instrument
- 2.9.10. Présentation des principaux instruments d'optique

2.10. Radiométrie, photométrie

- 2.10.1. Grandeurs spectrales
- 2.10.2. Émission d'un rayonnement, sources lumineuses
- 2.10.3. Rayonnement à spectre continu, à spectre discontinu
- 2.10.4. Sensibilité spectrale de l'oeil
- 2.10.5. Système d'unités lumineuses et énergétiques
- 2.10.6. Autres récepteurs
- 2.10.7. Photométrie géométrique
- 2.10.8. Flux, intensité, luminance, éclairement
- 2.10.9. Relations photométriques
- 2.10.10. Collecteur de flux ; capteur d'images
- 2.10.11. Photométrie des collecteurs de flux, des capteurs d'images

2.11. Aberrations

- 2.11.1. Définition, classification
- 2.11.2. Aberration chromatique de position et de grandeur
- 2.11.3. Dispersion, constringence
- 2.11.4. Recherche de l'achromatisme (système mince, doublet)
- 2.11.5. Notions d'aberrations géométriques

2.12. Interférences

- 2.12.1. Phénomènes vibratoires
- 2.12.2. Composition de deux vibrations
- 2.12.3. Cohérence spatiale et temporelle
- 2.12.4. Interférences localisées (lame à faces parallèles, coin d'air, anneaux de Newton)
- 2.12.5. Traitement anti-réfléchissant des surfaces

2.13. Polarisation

- 2.13.1. État de polarisation
- 2.13.2. Polarisation par réflexion
- 2.13.3. Polariseur, analyseur
- 2.13.4. Loi de Malus
- 2.13.5. Introduction à la biréfringence
- 2.13.6. Lamme biréfringente, polariseur, analyseur

2.14. Diffraction, réseaux

- 2.14.1. Description du phénomène
- 2.14.2. Diffraction par une ouverture circulaire, tache d'airy

- 2.14.3. Diffraction par une fente fine
- 2.14.4. Notions de diffraction par réseaux

2.15. Pouvoir séparateur, limite de résolution

- 2.15.1. Définitions
- 2.15.2. Études des facteurs déterminant le pouvoir séparateur
- 2.15.3. Calcul de la limite de résolution oeil – instrument
- 2.15.4. Profondeur de champ

3. Étude technique des systèmes optiques

L'enseignement dispensé dans le cadre de l'étude technique des systèmes optiques doit permettre, outre la synthèse et la concrétisation des enseignements scientifiques et professionnels, de développer chez le futur technicien supérieur opticien-lunetier des connaissances technologiques solides permettant :

- d'analyser les attentes de la clientèle, l'assister pour définir précisément ses besoins, évaluer la faisabilité technique des solutions envisagées et conseiller dans le choix d'une solution appropriée ;
- de dialoguer avec les fournisseurs et les informer des attentes de la clientèle et des besoins techniques liés à l'exercice de la profession ;
- d'analyser et comparer les matériels et les produits concernés du marché ;
- d'évaluer l'intérêt professionnel des innovations technologiques ;
- d'analyser et exploiter les documentations techniques professionnelles ;
- de prévoir et assurer une maintenance des matériels utilisés et des produits commercialisés ;
- d'utiliser rationnellement et efficacement les matériels liés à l'exercice de la profession.

Domaine et supports d'étude :

- l'œil et ses amétropies ;
- les systèmes compensateurs ;
- les matériels utilisés et commercialisés par l'opticien-lunetier.

Cet enseignement se fera en étroite coordination avec les formations dispensées en :

- optique géométrique et physique ;
- analyse de la vision ;
- étude, réalisation, maintenance d'équipements ;
- détermination, essais, adaptation d'équipements.

À partir des documents techniques (plan, schéma, nomenclature, cahier des charges fonctionnel, bibliothèque de données informatisées ou non, notice de maintenance...) et des documents commerciaux associés, l'étudiant devra compléter et développer ses connaissances technologiques afin d'être capable :

- d'analyser et d'exploiter les documents fournis ;
- d'expliquer la structure et le fonctionnement du système optique présenté ;
- de rédiger une notice technique ;
- d'évaluer les performances et la conformité vis-à-vis du cahier des charges du produit étudié.

Pour traiter ces applications, l'étudiant sera amené progressivement à choisir la méthode de résolution la plus adaptée aux résultats attendus et il sera largement fait appel aux possibilités des moyens informatiques de conception et de calcul.

3.1. Outils de la communication technique

3.1.1. Dessin

- dessin technique ;
- perspectives ;

- vue éclatée ;
- nomenclature.

3.1.2. Schéma

- schéma technologique ;
- schéma cinématique ;
- schéma optique.

3.1.3. Analyse fonctionnelle structurée

- typologie des fonctions ;
- caractérisation des entrées-sorties d'un bloc fonctionnel ;
- modélisation de la structure d'un système (diagrammes représentatifs).

3.1.4. Outils de description des systèmes

- cahier des charges fonctionnel.

3.2. Technologies du domaine mécanique

3.2.1. Liaisons mécaniques

- liaisons de base (encastrement, pivot, pivot glissant, glissière, hélicoïdale, rotule) ;
- principaux composants.

3.2.2. Actionneurs mécaniques

- différents types de vérins.

3.2.3. Transmission de puissance

- accouplements d'arbres ;
- poulies/courroies ;
- trains d'engrenages ;
- embrayages et freins.

3.2.4. Transformations de mouvement

- système bielle manivelle ;
- excentriques et cames ;
- roue et vis tangente.

3.3. Technologies du domaine de l'optique

3.3.1. Principales fonctions optiques

- former une image (objectif) ;
- dévier un faisceau (prismes, miroirs) ;
- filtrer un faisceau ;
- polariser un faisceau ;
- diaphragmer un faisceau ;
- comparer (réticule), mesurer (micromètre) ;
- séparer un faisceau (lames traitées, prismes) ;
- recevoir une image (écran, cellule, dépoli, oeil) ;
- transporter, redresser une image (véhicule, prismes) ;
- observer une image (oculaire, loupe) ;
- traiter une image.

3.3.2. Structure des systèmes optiques

- transmission optique ;
- système centré ;

- système dioptrique ;
- système catadioptrique.

3.3.3. Composants optiques

- matériaux (performances optiques) ;
- lentilles minces, épaisses (dioptries plans, sphériques, cylindriques, toriques) ;
- prismes ;
- miroir ;
- lames à faces parallèles.

4. Analyse de la vision

4.1. Anatomie et physiologie oculaire

4.1.1. Anatomie

- anatomie détaillée du globe oculaire et de ses annexes ;
- neuro-anatomie de la rétine, de l'encéphale et des voies visuelles.

4.1.2. Physiologie oculaire

- neurophysiologie, le message sensoriel et son élaboration ;
- physiologie musculaire :
 - mécanismes de protection ;
 - mécanismes d'accommodation et de convergence ;
 - mécanismes de fixation ;
- système lacrymal.

4.1.3. Performances et évolution du système visuel

- photométrie visuelle ;
- seuils de perception ;
- perception de l'intensité lumineuse ;
- champ visuel ;
- vision des couleurs :
 - notions sommaires sur la trivariance visuelle ;
 - colorimétrie et anomalies de la vision colorée ;
- acuité visuelle.

4.2. Optique physiologique

4.2.1. Vision monoculaire

4.2.1.1. Œil immobile

▶ ÉTUDE OPTIQUE DE L'ŒIL THÉORIQUE DANS LES CONDITIONS DE GAUSS

- biométrie ;
- image rétinienne, tache de diffusion ;
- accommodation - parcours d'accommodation.

▶ AMÉTROPIES SPHÉRIQUES

- classification et causes ;
- vision de l'amétrope non compensé :
 - pseudo-image et acuité visuelle ;
 - parcours d'accommodation ;
- compensation des amétropies sphériques :
 - principe ;
 - les deux systèmes : lunettes, lentilles ;

- influence du système compensateur sur :
 - l'image rétinienne ;
 - l'accommodation nécessaire et le parcours d'accommodation.

► ŒIL ASTIGMATE

- causes, classification ;
- vision de l'astigmatisme non compensé ;
- vision de l'astigmatisme compensé :
 - principe de compensation : lunettes, lentilles ;
 - influence de l'accommodation sur la qualité de la compensation (accommodation, parcours, astigmatisme résiduel de près) ;
 - image rétinienne et son extériorisation (anamorphoses, déclinaisons).

► PRESBYTIE

- définition - causes ;
- principe de la compensation ;
- divers équipements ;
- parcours d'accommodation VL et VP.

► ŒIL APHAQUE ET ŒIL PSEUDOPHAQUE

- notions sommaires sur les techniques chirurgicales ;
- compensation de l'œil aphaque et de l'œil pseudophaque ;
- influence du système compensateur ;
- principe du calcul de la puissance d'un implant.

► AMBLYOPIE ORGANIQUE

- causes ;
- principe de compensation ;
- différents systèmes d'aide.

4.2.1.2. Œil en mouvement

- mouvements de l'œil ;
- champ de regard ;
- influence de la compensation.

4.2.2. Vision binoculaire

4.2.2.1. Vision binoculaire normale

- développement de la vision binoculaire et proprioception ;
- unification spatiale (correspondance rétinienne) ;
- les trois degrés de la VB et leur interprétation ;
- perception de l'espace : acuité stéréoscopique ;
- mouvements des yeux en vision binoculaire et influence de la compensation ;
- perception du mouvement ;
- liaison accommodation-convergence.

4.2.2.2. Anomalies de la vision binoculaire : définition, causes, mise en évidence et mesure, moyens d'amélioration

- anisométrie (non compensée et compensée) ;
- hétérophories et disparités de fixation ;
- amblyopie fonctionnelle ;
- aniséiconie ;
- notions sommaires sur les strabismes.

4.2.3. Connaissances complémentaires

- 4.2.3.1. *Notions sommaires sur les techniques chirurgicales de correction des amétropies*
- 4.2.3.2. *Notions sommaires sur les pathologies oculaires*

4.3. Optométrie théorique

4.3.1. Méthodes objectives

- skiascopie statique et dynamique (principe) ;
- kératométrie ;
- réfractométrie ;
- ophtalmoscopie.

4.3.2. Échelles d'acuité

- les différentes échelles ;
- influence des conditions d'utilisation.

4.3.3. Tests d'astigmatisme

- principe des tests et des méthodes de recherche de l'astigmatisme subjectif ;
- principe d'utilisation des cylindres croisés pour la vérification.

4.3.4. Tests duochromes

- aberrations chromatiques de l'oeil ;
- applications en optométrie : tests duochromes.

4.3.5. Tests de vision binoculaire

4.3.6. Étude de la vision des couleurs et de la perception des contrastes

- tests de vision colorée les plus courants et leur utilisation ;
- tests utilisés pour la mesure de la sensibilité au contraste.

4.3.7. Basse vision

- méthodes de mesure de l'acuité visuelle résiduelle ;
- les divers systèmes d'aide visuelle pouvant être proposés.

4.4. Optométrie pratique

4.4.1. Étude de cas et tests préliminaires

4.4.2. Emmétropisation en vision de loin

En fin de formation, l'étudiant devra connaître et savoir utiliser les matériels et tests les plus courants. Il devra connaître les différentes méthodologies de recherche pour choisir la plus appropriée au cas présenté. Il devra être capable d'analyser les résultats obtenus aux différents tests pour en tirer une conclusion correcte.

4.4.3. Compensation en vision de près

- sujet non presbyte ;
- sujet presbyte.

4.4.4. Étude de la vision binoculaire

En fin de formation, l'étudiant devra connaître et savoir utiliser les tests lui permettant :

- la réalisation de l'équilibre perceptif et accommodatif ;
- d'étudier la vision simultanée et la fusion ;
- de mesurer les phories, une disparité de fixation ;
- de mettre en évidence une anisétropie ;
- de mettre en évidence et d'évaluer la stéréocularité ;
- d'analyser le fonctionnement de la liaison accommodation-convergence.

4.4.5. Interprétation

En fin de formation, l'étudiant devra être capable, à partir des gênes, des besoins, de l'ancienne compensation et de l'ensemble des résultats obtenus aux tests de proposer une compensation confortable au client.

4.5. Lentilles de contact

4.5.1. Introduction

- historique de l'optique de contact ;
- rappels physiologiques (cornée, paupières, larmes) ;
- métrologie de la cornée.

4.5.2. Étude générale des lentilles de contact

- description des différents types et géométries ;
- les différents matériaux utilisés ;
- les procédés de fabrication ;
- métrologie et contrôle.

4.5.3. Aspects techniques de l'adaptation

- indications et contre-indications d'emploi ;
- critères de choix (anatomiques, optiques) ;
- les tests préalables ;
- adaptation de la lentille sur l'œil ;
- contrôle de l'adaptation : essais de géométrie, essais de tolérance ;
- formulation de la commande.

4.5.4. Entretien des lentilles de contact

- étude des différents produits (principes actifs) et des procédés ;
- risques encourus en cas de mauvais entretien ;
- conseils d'utilisation.

4.5.5. Étude de l'influence du port de lentilles

- dioptrique ;
- sur les structures oculaires (larmes, cornée...).

5. Étude, réalisation, maintenance d'équipement

5.1. Composants

5.1.1. Verres : sphériques, astigmatés, asphériques, à simple foyer, multifocaux et progressifs

- matières : fabrication et utilisation ;
- caractéristiques physiques et optiques ;
- différentes géométries des surfaces : fabrication, contrôle et utilisation ;
- puissances : définitions, mesures et contrôle ;
- réduction d'épaisseur : précalibrage, verres à facettes et ouverture optique réduite ;
- différents traitements de surface : fabrication et utilisation ;
- teintes : fabrication et utilisation ;
- sécurisation, renforcement du verre : traitements thermique, chimique, etc. ;
- décentrement et effets prismatiques : les différentes solutions techniques pour la réalisation.

5.1.2. Montures : plastiques et métalliques

- matières : techniques de réalisation, qualité et utilisation ;
- caractéristiques physiques et mécaniques ;
- fabrication des montures ;

- conception, production, contrôle ;
- nomenclature des montures ;
- traitements de surface : fabrication et utilisation ;
- corrosion des montures ;
- rhabillage des montures.

5.1.3. Matériels

- fonctionnement et utilisation du matériel de mesure et de contrôle des verres ;
- fonctionnement et utilisation du matériel de montage : les meules diamantées, rainueuses, machines automatiques, perceuses, etc. ;
- fonctionnement et utilisation du matériel et de l'outillage nécessaires au montage, à la transformation et à la réparation des montures.

5.2. Acquisitions pratiques nécessaires à la réalisation des montages et maintenance d'équipement

L'étudiant devra maîtriser :

- les techniques de mesure et de contrôle : des puissances, de l'axage et des effets prismatiques ;
- les techniques et règles d'utilisation des meuleuses automatiques, du matériel et de l'outillage utilisés lors du montage ;
- les techniques et règles de montage des verres suivant :
 - leur type ;
 - leur matière ;
 - leur épaisseur ;
 - les formes des calibres ;
 - l'existence ou non d'un calibre ;
- les techniques de montage des différentes montures :
 - montures métalliques ;
 - montures plastiques (recommandations de montage en fonction des matériaux) ;
 - montures glaces ;
 - montures mixtes ;
 - et tout autre nouveauté ;
- les techniques de remontage de verre à l'aide d'une meuleuse automatique ;
- les techniques de remontage et rectification manuelle des verres (utilisation des meules à main).

L'étudiant devra savoir apprécier l'état des montures :

- juger de leurs qualités et défauts ;
- apprécier les possibilités de remise en état.

L'étudiant devra maîtriser les techniques et règles d'utilisation du matériel et de l'outillage nécessaires :

- à la rectification ;
- à la modification ;
- et au rhabillage des montures.

6. Détermination – Essais – Adaptation d'équipement

6.1. Connaissances théoriques

6.1.1. Anatomie de la tête en relation avec les montures

- les os du crâne ;
- les os de la face ;
- les muscles de la tête ;
- le système nerveux ;
- le système sanguin ;
- la peau.

6.1.2. Pathologie

- de la peau ;
- traumatologie due aux lunettes mal adaptées ou mal ajustées ;
- notions de pharmacologie (remarque : ces notions sont abordées dans la partie 4, « Analyse de la vision »).

6.1.3. Morphologie

- typologie ;
- étude des différents éléments du visage et de leur relation avec les montures ;
- valeurs moyennes ;
- dissymétrie faciale ;
- posture ;
- port de tête.

6.1.4. Technique

- verres correcteurs ;
- mesures nécessaires au montage en fonction du type de verre choisi ;
- principes et fonctionnement du matériel de prise de mesures ;
- incidence du type de verre sur le choix de la monture ;
- techniques d'ajustage ;
- incidence du type de verre sur l'ajustage ;
- incidence de l'ajustage sur le confort visuel et postural.

6.2. Acquisitions pratiques

L'étudiant devra mettre en œuvre les techniques de communication nécessaires à l'établissement d'une relation de confiance et de collaboration avec son client.

L'étudiant devra savoir lire et interpréter les prescriptions.

L'étudiant devra savoir rédiger :

- une commande ;
- une fiche de synthèse ;
- une fiche de montage ;
- les documents nécessaires à la prise en charge ;
- un courrier destiné à un autre spécialiste de la santé.

L'étudiant devra choisir ou être capable d'aider au choix d'une monture en fonction de ses observations :

- morphologiques ;
- esthétiques ;
- techniques.

L'étudiant devra connaître et savoir utiliser le matériel de prise de mesures nécessaire :

- à la commande des verres ;
- au montage des verres ;
- à la réalisation d'une monture sur mesure ;
- à la transformation et modification d'une monture ;
- au contrôle des équipements.

L'étudiant devra connaître et savoir utiliser l'outillage nécessaire :

- au préajustage avant prise de mesures ;
- à l'ajustage de la lunette à la livraison ;
- aux rectifications de cet ajustage afin d'optimiser le confort visuel et postural du client.

L'étudiant devra donner les conseils pour :

- l'adaptation au nouvel équipement ;
- la bonne utilisation de l'équipement ;
- l'entretien de l'équipement.

5^e partie

**Étude – Réalisation
– Maintenance d'équipement**

Introduction

L'ensemble des informations traitées dans cette partie dresse un descriptif des différents matériaux, de leur mode de fabrication et de leurs traitements. Il est complété par une revue des principaux matériels utilisés par l'opticien. Compte tenu de l'évolution permanente des technologies, il est capital pour tout bon professionnel de s'informer régulièrement. Cette partie n'est donc en aucun cas exhaustive.

L'épreuve de réalisation technique dure 30 minutes. Trois sujets différents sont proposés au candidat. En début d'épreuve, il tire au sort l'un des trois, se voit donner une péniche comprenant une monture ou des éléments de monture, des verres et un sujet et dispose alors de 30 minutes pour procéder à la réalisation conformément au sujet.

L'épreuve de contrôle d'équipement dure 30 minutes. En début d'épreuve, le candidat tire au sort un numéro d'équipement. Il lui sera alors remis une péniche comprenant un équipement terminé, une fiche de montage correspondante et une fiche de contrôle à remplir, ainsi que tout le matériel dont il peut avoir besoin pour le contrôle (frontofocomètre, tensiscope, catalogues des fournisseurs, échantillons de verres teintés...). Il doit alors procéder au contrôle de l'équipement et rédiger la fiche de contrôle.

Conception des verres sphériques, astigmatés, asphériques, simple foyer, multifocaux et progressifs

*Isabelle Riviere, Isabelle Viards, Yves-Henri Navarre,
Alain Gomez, Jessica Buhler, Éva Martin*

L'œil humain peut présenter plusieurs défauts de réfraction : la myopie, l'hypermétropie, l'astigmatisme et, avec l'âge, la presbytie. Ces défauts, sources de déficit visuel, sont le plus souvent corrigés par verres de lunettes (*cf.* partie 4, « Analyse de la vision »).

Le verre de lunetterie a pour rôle de compenser les différents défauts de l'œil en respectant l'intégralité de la fonction visuelle. Les matériaux qui le constituent doivent posséder des propriétés qui permettent d'obtenir cette compensation optimale.

1. Matières

1.1. Verre minéral

1.1.1. Généralités et composition

Le verre contient environ 60 % de silice (SiO_2) et environ 40 % d'oxydes divers. C'est sa composition et son mode de fabrication qui confèrent au verre ses propriétés. C'est une substance :

- amorphe¹ ;
- isotrope² ;
- inoxydable ;

1. Non cristallisée.

2. Dont les propriétés physiques sont identiques dans toutes les directions.

- difficilement rayable ;
- très stable à température ambiante ;
- de faible résistance mécanique¹.

Le verre minéral devient solide sans se cristalliser par un abaissement régulier de sa température, après sa mise à température à environ 1 500 °C : c'est la **vitri-fication**. La composition, ou mélange vitrifiable, est introduite dans un four sous forme de matières premières très pures.

1.1.2. Familles de verres

1.1.2.1. Verre minéral d'indice $n \approx 1,5$

Le « *crown* » contient 60 à 70 % de silice, ainsi que des oxydes de calcium, de sodium et bore. Il fait partie de la famille des sodocalciques. Il est de faible indice et de constringence élevée :

- indice : $n_c \approx 1,525$;
- constringence : $\gamma \approx 59$;
- masse volumique : $MV \approx 2,6 \text{ g/cm}^3$.

1.1.2.2. Verre minéral d'indice $n \approx 1,6$

L'augmentation de l'indice est obtenue par adjonction de titane ou de bore, famille des borosilicates :

- $\gamma \approx 41$;
- $MV \approx 2,63 \text{ g/cm}^3$.

Le verre « *flint* » est un verre d'indice élevé et de faible constringence.

1.1.2.3. Verres de hauts indices

Les verres hauts indices 1,7 – 1,8 – 1,9 sont obtenus, aujourd'hui, par adjonction d'oxyde de titane et d'autres éléments tels que le niobium, le zirconium, et le lanthane dont la fonction est l'ajustement des propriétés optiques :

- $n \approx 1,7$; $\gamma \approx 42$; $MV \approx 3,21 \text{ g/cm}^3$;
- $n \approx 1,8$; $\gamma \approx 35$; $MV \approx 3,65 \text{ g/cm}^3$;
- $n \approx 1,9$; $\gamma \approx 30$; $MV \approx 3,99 \text{ g/cm}^3$.

1.2. Verres organiques

Depuis les années 1950, les verres minéraux ne sont plus les seules substances amorphes du marché. Des matières organiques constituées majoritairement de carbone, d'hydrogène et d'oxygène sont aussi utilisées comme verre optique. Comparativement aux verres minéraux, ces verres sont beaucoup plus légers, leur résistance mécanique est supérieure mais ils sont facilement rayables et leur structure est moins stable dans le temps.

1. Fragile à la casse. Sensible aux chocs thermiques et mécaniques.

1.2.1. Verres organiques thermodurcissables¹

1.2.1.1. Organique 1,5 ou CR39[®]

Une grande partie des verres en matière organique encore vendus aujourd'hui ont pour base le bis-allyldiglycol carbonate, qui est un liquide thermodurcissable connu sous le nom de « CR39[®] »² qui est devenu un nom générique.

Le monomère qui sert à la fabrication du CR39[®] est le bis-allyldiglycol carbonate. Il se présente sous forme de liquide et est durci par polymérisation³ sous l'action de la chaleur à l'aide d'un initiateur de polymérisation radicalaire (généralement un peroxyde organique).

Le CR39[®] est un polymère réticulé, dont les chaînes de polymères sont liées entre elles par des liaisons chimiques et forment un réseau tridimensionnel, ce qui lui confère :

- son infusibilité ;
- sa résistivité au solvant (son insolubilité) ;
- sa stabilité dimensionnelle (indéformable à chaud).

Ses caractéristiques sont les suivantes :

- $n \approx 1,5$;
- $MV \approx 1,32 \text{ g/cm}^3$;
- $\gamma \approx 58$.

1.2.1.2. Organiques hauts indices $n \approx 1,6$ et $n \approx 1,7$

L'augmentation de l'indice est obtenue par deux procédés :

- soit par modification de la structure électronique de la molécule par adjonction de structures aromatiques ;
- soit par ajout dans la molécule d'atomes lourds (des halogènes, comme le chlore, le brome) ou le soufre.

Le procédé de fabrication de ces verres est analogue à celui du CR39[®] (le durcissement est généralement obtenu par irradiation UV de forte intensité suivie d'une post-cuisson thermique). Ils présentent des propriétés semblables au carbonate de diallylglycol. Néanmoins, ils sont plus sensibles à la chaleur et à la rayure, mais leur absorption dans l'UV est généralement supérieure.

1. Matériau ayant la propriété de durcir au-dessus d'une certaine température, et de ne plus pouvoir ensuite être déformé à chaud.

2. Marque déposée par Pittsburg Plate Glass Industries. CR39[®] = Columbia Resib n° 39. La société Columbia qui a inventé le CR39[®] a été rachetée par PPG dans les années 1950.

3. Réaction qui, à partir de monomères (molécules de faible masse moléculaire), induit la formation de liaisons pour constituer une macromolécule (le polymère).

1.2.2. Verres organiques thermoplastiques¹

1.2.2.1. Polycarbonate

Les premiers verres organiques étaient en PMMA ou Plexiglas[®]. Ils présentaient une résistance à l'abrasion insuffisante et une résistance aux chocs médiocre. Ils furent abandonnés au profit du CR39[®] (dans les années 1950). Si le polycarbonate est utilisé depuis relativement longtemps pour les solaires bas de gamme, c'est seulement depuis 1985 qu'il est employé comme produit optique (solaire ou non).

Le polymère se présente sous forme de granulés. Le polycarbonate, est un polymère qui est obtenu par polycondensation², notamment par la réaction des dérivés sodés d'un di-alcool aromatique, le bisphénol A sur du phosgène.

Il présente une résistance aux chocs dix fois supérieur au CR39[®], une bonne coupure UV, une faible masse volumique et une bonne résistance à la chaleur. En revanche, il est très sensible aux rayures (il est toujours recouvert d'un vernis protecteur), et aux solvants comme l'acétone. Il se colore difficilement par imprégnation et sa constringence est relativement faible. Hormis la fin de la finition, le polycarbonate peut se meuler à sec. Les nouvelles machines automatiques sont munies d'une meule spéciale, à gros grains, pour le polycarbonate (il encrasse et altère la meule prévue pour l'organique traditionnel).

Ses caractéristiques sont les suivantes :

- $n_e = 1,59$;
- $MV = 1,2 \text{ g/cm}^3$;
- $\gamma = 31$.

1.2.2.2. PNX[®]

Le PNX^{®3} est un matériau⁴ commercialisé par Hoya depuis juin 2003. Comme le polycarbonate, il est très léger, sensible à la rayure et résistant au choc. Il est possible de le colorer par imprégnation. Sa constringence est meilleure. Il ne réagit pas à l'acétone. Il ne présente pas de contrainte interne.

Il faut toutefois faire attention de bien régler la machine automatique sur le mode « polycarbonate » et « verre fragile » lors du meulage de verres en PNX[®], au risque que la matière rentre en fusion. Son mode de fabrication est analogue à celui du polycarbonate, ce sont les composants qui diffèrent.

Ses caractéristiques sont les suivantes :

- $n_e = 1,53$;
- $MV = 1,11 \text{ g/cm}^3$;
- $\gamma = 43$.

1. Matériau polymère qui se ramollit sous l'action de la chaleur et se solidifie en se refroidissant de manière réversible.

2. Réaction qui, à partir de molécules d'espèces chimiques différentes, conduit à la formation de polymère par réaction spontanée (sans initiateurs chimiques aux UV).

3. Nom déposé par Hoya.

4. Inventé par PPG et appelé Trivex[®]. C'est un copolymère polyméthane polyuréé.

2. ■ Techniques de fabrication des différents verres correcteurs

2.1. Verre minéral blanc

Les ébauches de verres ou palets bruts sont obtenues selon un procédé continu de fabrication, par pressage direct d'une paraison de verre en fusion (cf. figure 29.1)

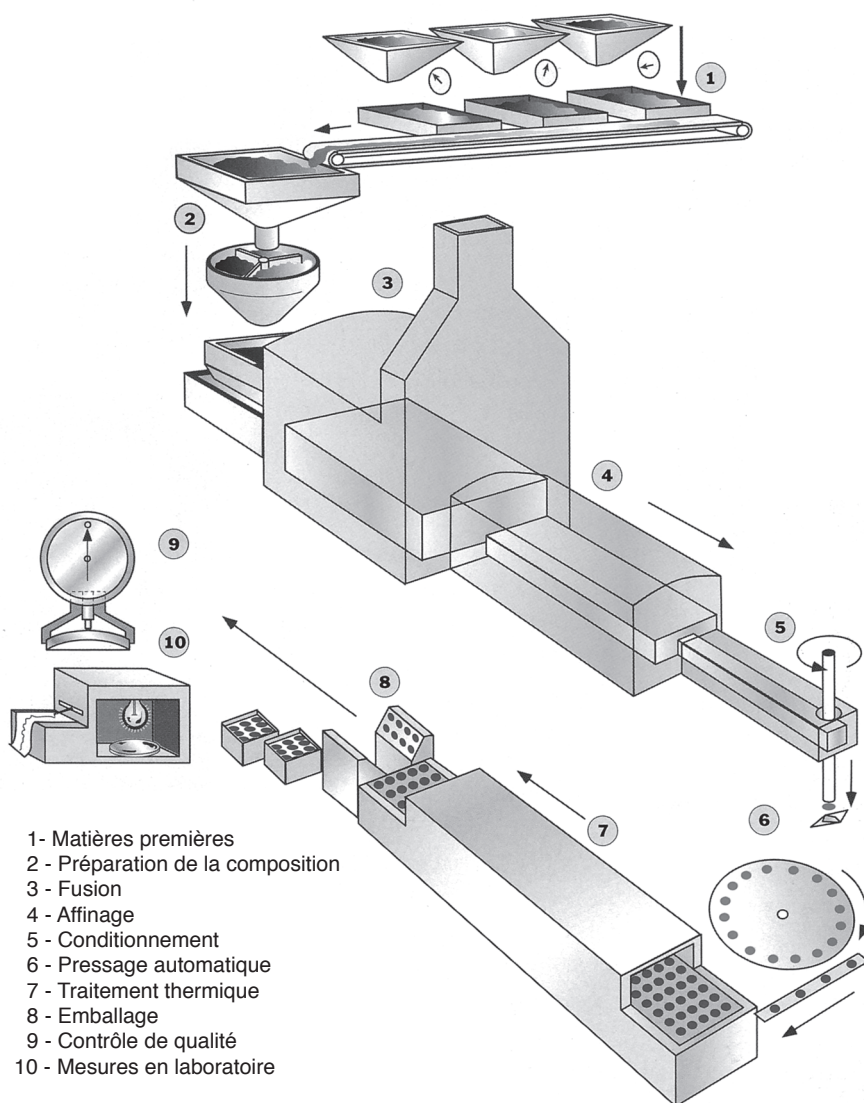


Figure 29.1. Ligne de production des moulages bruts pour lunetterie

Source : Corning.

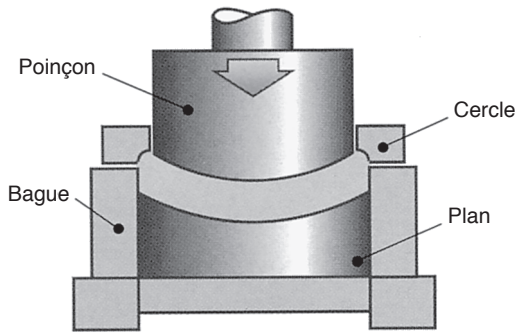


Figure 29.2. Outillage de fabrication d'un moulage de lunetterie

Source : Corning.

Il existe une gamme très étendue de moulages qui permet de réaliser les différents verres du marché (cf. figures 29.2 et 29.3).

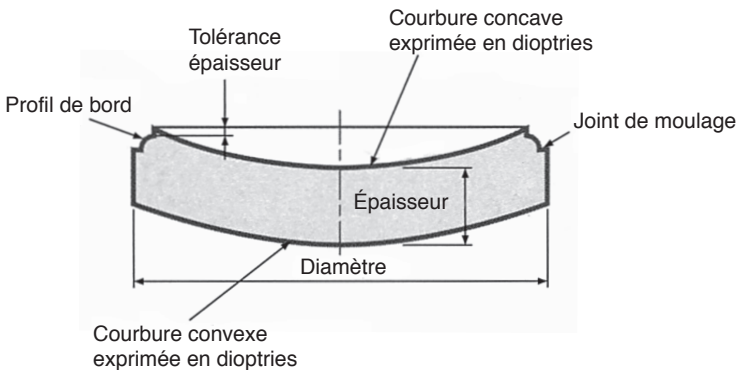


Figure 29.3. Principales caractéristiques d'un moulage

Source : Corning.

Les palets bruts sont ensuite usinés.

2.1.1. Verres sphériques

L'usinage ou le surfacage des verres (face avant et arrière) est réalisé en trois phases (cf. figure 29.4) :

- l'**ébauchage** : c'est l'opération qui consiste à usiner le verre pour lui donner ses côtes finales approchées. L'ébauchage se fait sur un moulage choisi en fonction de la courbure du verre à réaliser, du diamètre et de l'épaisseur ;

- le **doucissage** : cette opération permet de finaliser l'ébauchage, sans modification des rayons de courbure. Le verre est abrasé sur une contreforme en fonte douce. La partie abrasive, fixée sur la contreforme, est formée de palet constitué de grains très fins de diamant noyés dans un liant de bronze fritté. À la fin du doucissage, le verre est lisse mais dépoli et présente les caractéristiques voulues en diamètre, courbures et épaisseur ;

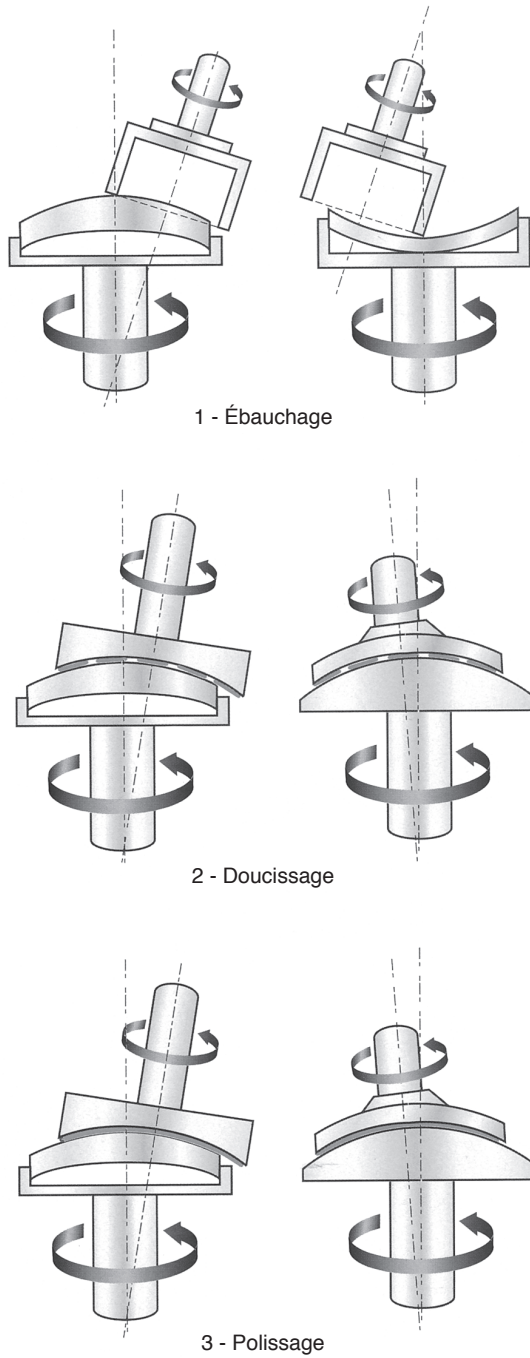


Figure 29.4. Principe de surfacage (convexe et concave)
 Source : « Matériaux », *Cahiers d'optique oculaire*, Essilor®.

– le **polissage** : c'est l'opération de finition qui donne au verre sa transparence. Elle est analogue à la précédente, mais l'abrasif est plus fin (oxyde de cérium ou de titane) et la contreforme est recouverte de feutre à polir ou d'une feuille de polyuréthane spécial, pour les verres de série.

2.1.2. Verres toriques

Les surfaces toriques sont aujourd'hui réalisées sur la face concave (arrière) du verre. La face convexe (sphérique) du verre torique est totalement surfacée, puis le verre est fixé sur un outil (cf. figure 29.5) par l'intermédiaire d'un métal à bas point de fusion.

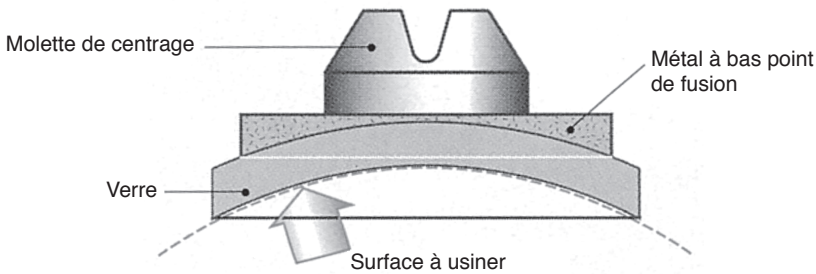


Figure 29.5. Bossage de fixation et de centrage pour usinage de la face concave
Source : Corning.

Pour ébaucher la surface torique, on utilise une meule diamantée qui génère une surface à deux rayons de courbures. Pour réaliser les opérations de doucissage et de polissage, on utilise une forme convexe présentant des rayons de courbures identiques à ceux de l'ébauche (complémentaires du tore). Le verre est animé d'un mouvement tel que les rayons de courbures complémentaires restent parallèles.

Au niveau de la fabrication, on distingue :

- les **verres de stock** totalement surfacés par usinage en série ;
- les **semi-finis**¹ (certains verres toriques, asphériques, multifocaux et progressifs).

2.1.3. Doubles foyers fusionnés

Pour les doubles foyers fusionnés (cf. figure 29.6), l'addition des verres multifocaux fusionnés est obtenue par adjonction d'oxyde de baryum $n = 1,588$ à $1,750$. Les étapes de la fabrication des doubles foyers sont les suivantes :

1. Verres dont la face convexe est usinée en série, et dont la face concave est usinée par la suite selon la prescription, à la commande.

1) **préparation du moulage** servant à la correction vision de loin, indice $n = 1,523$, dans lequel on va réaliser une dépression (face avant) qui recevra la lentille additionnelle de vision de près ;

2) **surfaçage** :

- ébauchage de la dépression sur la face avant ;
- doucissage de la dépression ;
- polissage de la dépression ;
- repérage de la dépression ;

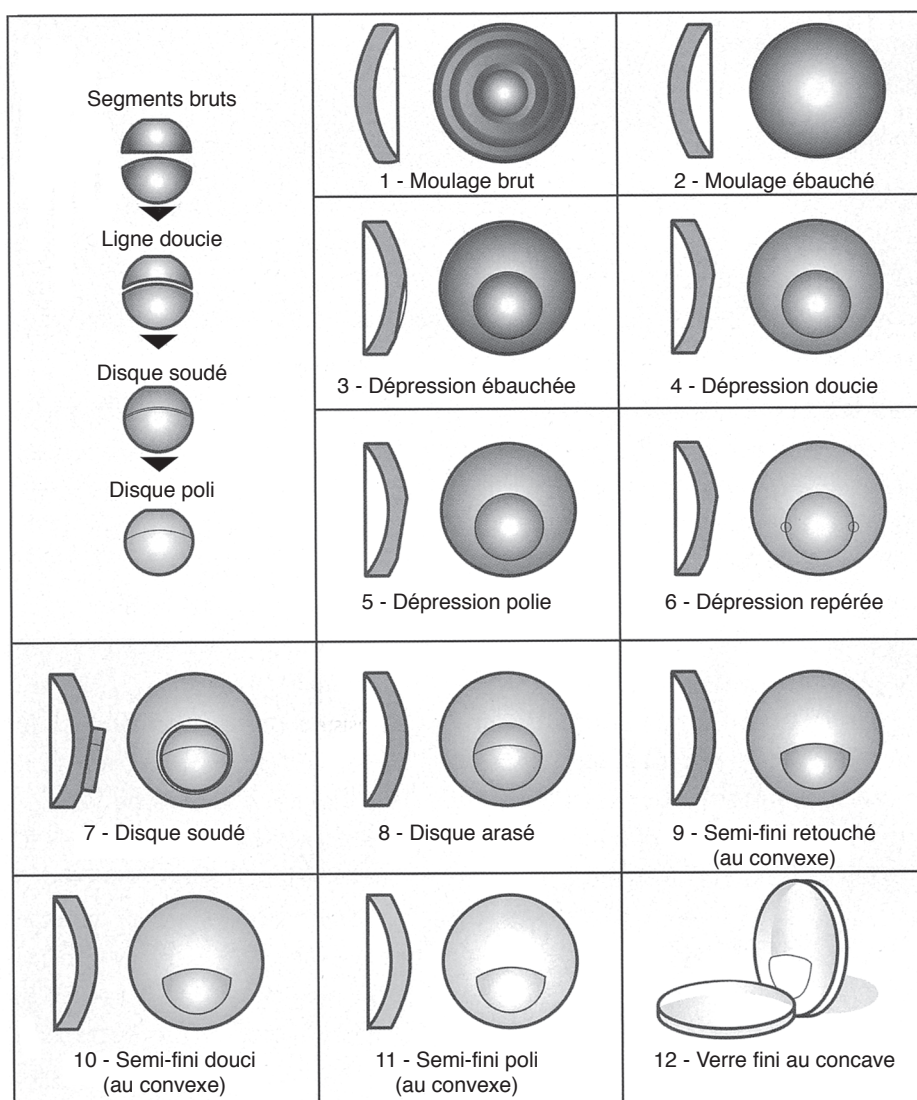


Figure 29.6. Étapes de fabrication d'un bifocal fusionné

Source : Corning.

3) **fusion de la lentille additionnelle** : la lentille est de forme ronde et présente deux parties complémentaires (pour les bifocaux). Un segment est réalisé selon l'indice du verre vendu ($\approx 1,5$ ou $\approx 1,6$) et l'autre segment, celui de l'addition, en indice plus élevé :

- les deux segments sont positionnés dans la dépression et la fusion de l'ensemble est réalisée dans un four tunnel ;
- le surfaçage complet de la face bifocale est finalisé, ainsi que celui de la face concave ;
- on effectue les contrôles qualités.

Ces verres peuvent être stockés en semi-finis (pour les toriques) ou finis (pour les sphériques).

► **Remarque** : pour les trifocaux, la fabrication est identique, la lentille additionnelle est en trois parties.

2.1.4. Verres progressifs

Pour les verres progressifs, deux techniques sont utilisées :

- le surfaçage, en copiant le modèle de la surface progressive ;
- le **thermoformage** : la surface progressive est réalisée dans un matériau réfractaire. Le verre est chauffé et épouse en se ramollissant la surface progressive, la surface progressive est alors transférée sur la face polie du verre.

2.2. Verres minéraux photochromiques

Lorsque le verre est en fusion, il y a ajout d'halogénures d'argent. Un recuit à environ 600 °C est alors indispensable afin d'obtenir les propriétés photochromiques. Cette méthode présente les mêmes inconvénients qu'un minéral teinté dans la masse (variation de la teinte selon l'épaisseur du verre), c'est pourquoi les photochromiques minéraux d'indice 1,7 peuvent être obtenus par polymérisation sur la face avant du verre d'une fine couche de minéral 1,6.

2.3. Verres organiques thermodurcissables

La fabrication des verres organiques thermodurcissables se déroule en plusieurs étapes. On mélange d'abord le monomère filtré et dégazé avec l'initiateur. Le mélange est introduit dans des moules.

Les moules sont constitués de deux parois de verre ou de métal entouré d'un joint à usage unique qui détermine l'épaisseur au bord du verre. Les deux parois sont maintenues par un clip. Le joint peut être remplacé par un film adhésif.

La polymérisation s'effectue dans une étuve dont la température s'élève de 65 à 115 °C pendant plusieurs heures et pour certaines matières (verres de moyen et haut indices) sous rayonnement UV pendant quelques minutes.

Une fois l'ensemble refroidit, on procède au démontage.

Selon la forme du moule ; toutes les géométries de verres peuvent être fabriquées par ce procédé, qu'ils soient finis ou semi-finis.

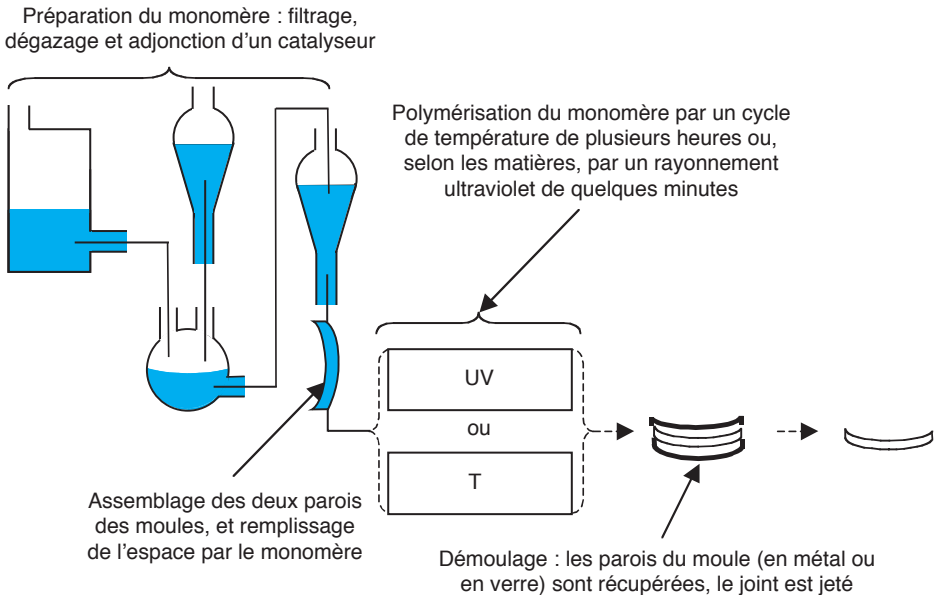


Figure 29.7. Principe de fabrication des verres en résine thermodurcissable

Source : « Matériaux », *Cahiers d'optique oculaire*, Essilor®.

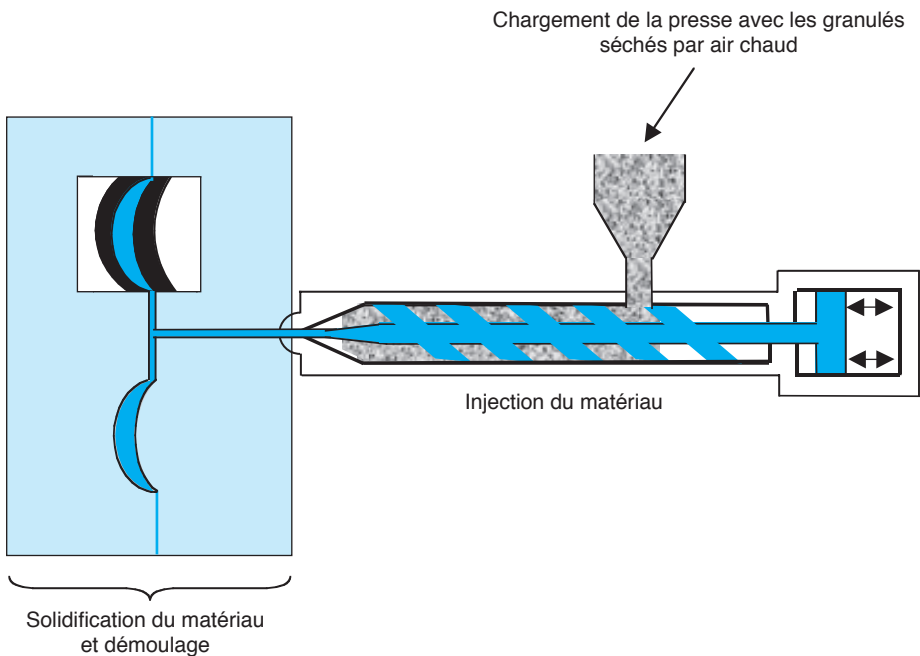


Figure 29.8. Principe de fabrication des verres polycarbonates

Source : « Matériaux », *Cahiers d'optique oculaire*, Essilor®.

2.4. Verres organiques thermoplastiques

Le monomère sous forme de granulés est ramolli par chauffage à environ 300 °C et injecté par des canaux dans plusieurs moules en verre ou en métal (Inox). La vis d'extrusion procède à la plastification et joue le rôle de piston. Après refroidissement, on démoule l'ensemble des verres en ouvrant la presse.

Selon la forme du moule, toutes les géométries de verres peuvent être fabriquées par ce procédé, qu'ils soient finis ou semi-finis.

► **Remarque :** le polycarbonate et le PNX[®] doivent être systématiquement durcis (*cf.* paragraphe 6, « Réduction d'épaisseur »).

2.5. Verres organiques photochromiques

Les procédés chimiques pour la réalisation des verres photochromiques organiques reposent dans leur grande majorité sur le traitement de la face avant des verres en lui appliquant une couche de pigments photochromiques. Selon les fabricants, il existe deux types de procédé : l'imprégnation et le traitement en surface.

Les verres organiques sont plongés dans un bain et des molécules photochromiques sont introduites à environ 0,15 mm d'épaisseur sur le dioptre avant. Lorsqu'elles sont exposées à un rayonnement ultraviolet, la surface des verres s'assombrit. Une autre méthode consiste à ajouter les substances photosensibles réagissant aux ultraviolets aux différents monomères, il s'agit d'un traitement dans la masse.

1) Le procédé d'imprégnation est exclusivement utilisé par la société Transitions Optical[®], pionnière, en 1990, de la technologie de traitement sur la face avant des verres organiques. Ce procédé concerne les verres d'indices inférieurs à 1,56 et passe par trois étapes clés :

- application des pigments photochromiques sur la face avant du palet semi-fini par le procédé de *spin-coating* (figure 29.9 schéma a) ;
- pénétration en profondeur (environ 150 µm) des pigments photochromiques dans le substrat grâce à l'effet de la chaleur (dépôt des verres dans un four à haute température – figure 29.9 schéma b) ;
- application d'une couche de protection afin de protéger la surface du verre lors des expéditions aux verriers (figure 29.9 schéma c).

2) Le procédé du traitement en surface concerne les verres de haut indice ainsi que le polycarbonate car ce sont des matériaux ne laissant pas les pigments photochromiques pénétrer aussi profondément le substrat. Ce procédé implique des étapes de préparation de la surface à traiter et également l'application d'un revêtement multicouches :

- accroche des pigments photochromiques associés à un revêtement à la surface du verre ;
- condition importante : le revêtement incluant les pigments photochromiques (épaisseur allant de 10 à 30 µm) doit bien adhérer au substrat, être assez souple pour l'activation/désactivation rapide des molécules photochromiques mais aussi

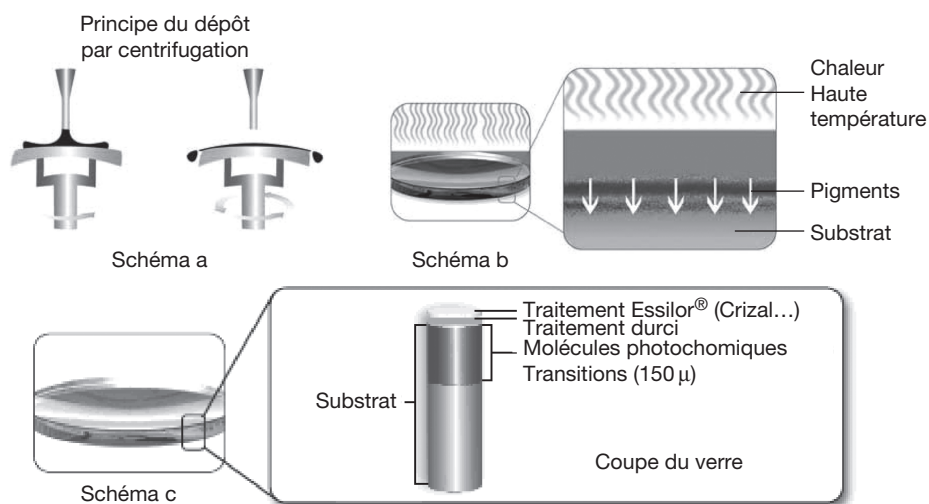


Figure 29.9. Procédé d'imprégnation

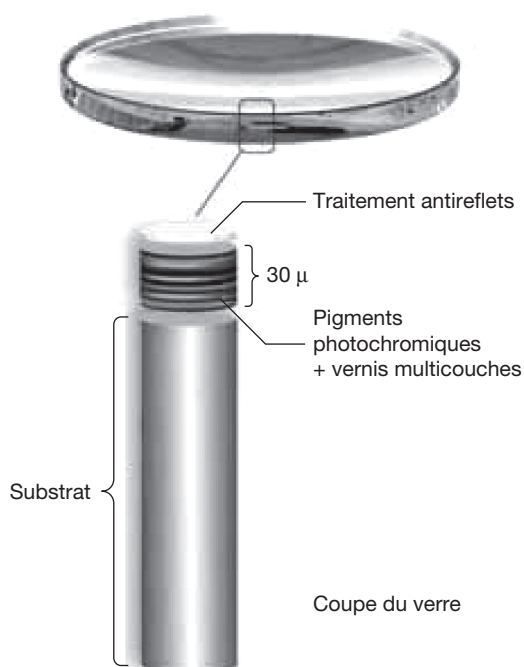


Figure 29.10. Exemple Transbonding

assez solide et résistant pour constituer une bonne base à l'ajout ultérieur d'un traitement durci ou antireflet.

Le leader mondial des verres photochromiques organiques fait évoluer au fil des années ses pigments et molécules. Depuis 2011, elles sont capables de réagir à la fois aux UV et à la lumière visible. Ceci permet une activation du verre derrière

un pare-brise de voiture qui coupe les UV et une teinte beaucoup plus foncée à l'extérieur car les deux réactions s'accumulent (Transitions® XTRActive®).

3) Une autre méthode consiste à ajouter les substances photosensibles réagissant aux ultraviolets aux différents monomères. Il s'agit d'un traitement dans la masse (procédé Japonais/INDO/Rodenstock). Ce procédé, contrairement aux verres photochromiques minéraux, n'induit pas de variation selon l'épaisseur des verres grâce à des coefficients d'extinction molaire élevée des molécules photochimiques.

3. ■ Caractéristiques optiques et physiques

Cf. partie 2, « Optique géométrique et physique » et partie 6, chapitre 35, « Verres ».

3.1. Propriétés optiques

Le verre correcteur est transparent. Il laisse passer les rayons lumineux en modifiant leurs directions : c'est ce qu'on appelle la réfraction.

3.1.1. Indice de réfraction

Les indices de réfraction des matériaux utilisés en optique varient de 1,5 à 1,9. Plus l'indice est élevé, plus la déviation du rayon est importante à géométrie de verre égale¹ :

- pour les verres minéraux, l'indice varie de $\approx 1,5$ à $1,9$;
- pour les verres en résines thermodurcissables, l'indice varie de $\approx 1,5$ à $1,7$;
- pour les verres en polycarbonate, l'indice est de $1,59$;
- pour le PNX®, l'indice est de $1,53$.

3.1.2. Phénomène de dispersion

Le phénomène de dispersion correspond à la décomposition de la lumière blanche lors de la réfraction de celle-ci. Ce phénomène est dû à la variation de l'indice de réfraction avec la longueur d'onde.

La **constringence** ou le **nombre d'Abbe** caractérise l'aptitude d'un verre à disperser plus ou moins la lumière. La constringence des verres de lunetterie varie de 60 à 30.

1. « n » est d'autant plus élevé que la longueur d'onde est courte.