

# Table des matières

<b>AVANT-PROPOS</b>	<b>iii</b>
<b>1 OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCTION	1
1.2 ÉLÉMENTS CARDINAUX D'UN SYSTÈME CENTRÉ	3
1.3 RELATION DE LAGRANGE-HELMOLTZ	6
1.3.1 Autre forme de la relation de Lagrange-Helmoltz	6
1.3.2 Relation entre distances focales - Vergence	7
1.4 RELATIONS DE CONJUGAISON - Points nodaux	8
1.4.1 Relations de Newton	8
1.4.2 Relations de Descartes	8
1.4.3 Points nodaux	9
1.5 ASSOCIATION DE SYSTÈMES CENTRÉS	11
1.5.1 Vergence de l'association	11
1.5.2 Position du point principal objet $H'$ par rapport à $H'_2$	12
1.5.3 Vergence frontale image	12
1.5.4 Formules dans l'espace objet	13
1.5.5 Position des foyers	13
1.6 DIOPTRE SPHÉRIQUE	14
1.6.1 Plans principaux	14
1.6.2 Vergence	14
1.6.3 Relations de conjugaison - dioptries et miroirs	15
1.7 LENTILLE MINCE	16
1.7.1 Détermination de certaines caractéristiques d'une lentille	16
1.7.2 Caractéristiques d'une lentille mince	17
1.8 VERGENCE DE DEUX LENTILLES MINCES COLLÉES	19
1.9 DOUBLET - OCULAIRE	21
1.9.1 Symbole - paramètre - éléments cardinaux	21
1.9.2 Définitions - caractéristiques	21
1.9.3 Cas particuliers	22
1.10 ACHROMATISME APPARENT	23
1.10.1 Lentille	23
1.10.2 Doublet accolé	23
1.10.3 Doublet non accolé	24
1.11 INSTRUMENT SUBJECTIF - Puissance - Grossissement	25
1.11.1 Objet à distance finie - Puissance	25
1.11.2 Objet à l'infini ou à distance finie - Grossissement	26
1.12 CHAMP TRANSVERSAL	28
1.12.1 Diaphragme d'ouverture - pupilles	28
1.12.2 Diaphragme de champ - lucarnes - rayon moyen	29
1.12.3 Exercice : Oculaire de Ramsden	31
1.12.4 Problème corrigé	31

1.13	SYSTÈMES AFOCAUX . . . . .	40
1.13.1	Définition . . . . .	40
1.13.2	Lunette astronomique . . . . .	40
1.14	LE MICROSCOPE . . . . .	43
1.14.1	Objectif . . . . .	43
1.14.2	Oculaire . . . . .	44
1.14.3	Microscope . . . . .	44
1.15	ACCOMMODATION . . . . .	48
1.16	CHAMP LONGITUDINAL . . . . .	49
1.17	FORMULAIRE . . . . .	52
1.17.1	Dioptre sphérique . . . . .	52
1.17.2	Système centré . . . . .	52
1.17.3	Association de deux systèmes centrés . . . . .	52
1.18	EXERCICE SUR LES CHAMPS TRANSVERSAUX . . . . .	53
1.18.1	Énoncé . . . . .	53
1.18.2	Corrigé . . . . .	54
<b>2</b>	<b>OPTIQUE PHYSIQUE</b> . . . . .	<b>67</b>
2.1	INTRODUCTION . . . . .	67
2.2	VIBRATIONS LUMINEUSES . . . . .	68
2.3	INTERFÉRENCES . . . . .	70
2.3.1	Superposition de deux vibrations . . . . .	70
2.3.2	Représentation de Fresnel . . . . .	72
2.3.3	Interférences localisées . . . . .	72
2.4	FRANGES D'ÉGALE INCLINAISON . . . . .	74
2.4.1	Présentation qualitative . . . . .	74
2.4.2	Calcul du système d'interférence . . . . .	75
2.4.3	Exercice corrigé . . . . .	77
2.5	TRAITEMENT ANTIREFLET . . . . .	79
2.5.1	Introduction . . . . .	79
2.5.2	Traitement antireflet . . . . .	80
2.5.3	Exercice corrigé - coefficient de réflexion d'une lame de verre traitée . . . . .	81
2.6	FRANGES D'ÉGALE ÉPAISSEUR . . . . .	83
2.6.1	Localisation des franges . . . . .	83
2.6.2	Calcul du système d'interférences . . . . .	84
2.6.3	Observation des franges localisées . . . . .	84
2.6.4	Anneaux de Newton . . . . .	85
2.6.5	Exercices corrigés . . . . .	86
2.7	DIFFRACTION . . . . .	89
2.7.1	Existence du phénomène de diffraction . . . . .	89
2.7.2	Principe de Huygens-Fresnel . . . . .	89
2.7.3	Diffraction à l'infini par une fente fine . . . . .	89
2.7.4	Diffraction à l'infini par une ouverture circulaire . . . . .	92
2.7.5	Pouvoir séparateur des instruments d'optique . . . . .	93
2.8	RÉSEAUX DE DIFFRACTION . . . . .	95
2.8.1	Introduction . . . . .	95
2.8.2	Étude des réseaux . . . . .	95
2.8.3	Calcul de l'intensité diffractée . . . . .	97
2.8.4	Réseau éclairé par une lumière polychromatique - Pouvoir dispersif - Pouvoir de résolution théorique . . . . .	99
2.8.5	Exercice corrigé . . . . .	100
2.9	POLARISATION . . . . .	102
2.9.1	Introduction . . . . .	102

2.9.2	Les différents types de polarisation de la lumière . . . . .	102
2.9.3	Obtention d'une lumière polarisée linéairement . . . . .	104
2.9.4	Loi de Malus . . . . .	105
2.10	BIRÉFRINGENCE . . . . .	106
2.10.1	Introduction . . . . .	106
2.10.2	Rappel sur la construction de Huygens pour la réfraction dans les milieux isotropes	107
2.10.3	Construction de Huygens pour la réfraction dans les milieux biréfringents uniaxes	108
2.10.4	Utilisation de lames cristallines biréfringentes . . . . .	110
2.10.5	Application . . . . .	113
2.10.6	Exercice corrigé . . . . .	113
<b>3</b>	<b>ANNALES</b>	<b>115</b>
3.1	SESSION 2005 . . . . .	115
3.1.1	Énoncé . . . . .	115
3.1.2	Commentaires à la lecture de l'énoncé . . . . .	116
3.1.3	Correction . . . . .	117
3.2	SESSION 2004 . . . . .	124
3.2.1	Énoncé . . . . .	124
3.2.2	Commentaires à la lecture de l'énoncé . . . . .	125
3.2.3	Solution . . . . .	125
3.3	SESSION 2003 . . . . .	131
3.3.1	Énoncé . . . . .	131
3.3.2	Commentaires à la lecture de l'énoncé . . . . .	132
3.3.3	Correction . . . . .	133
3.4	SESSION 2002 . . . . .	138
3.4.1	Énoncé . . . . .	138
3.4.2	Commentaires à la lecture de l'énoncé . . . . .	140
3.4.3	Correction . . . . .	140
3.5	SESSION 2001 . . . . .	146
3.5.1	Énoncé . . . . .	146
3.5.2	Commentaires à la lecture de l'énoncé . . . . .	147
3.5.3	Correction . . . . .	147
3.6	SESSION 2000 - MICROSCOPE . . . . .	152
3.6.1	Énoncé . . . . .	152
3.6.2	Commentaires à la lecture de l'énoncé . . . . .	154
3.6.3	Correction . . . . .	154
3.7	SESSION 1999 . . . . .	161
3.7.1	Énoncé . . . . .	161
3.7.2	Commentaires à la lecture de l'énoncé . . . . .	162
3.7.3	Correction . . . . .	163
3.8	SESSION 1998 - ÉTUDE D'UNE LUNETTE VISEUR . . . . .	168
3.8.1	Énoncé . . . . .	168
3.8.2	Commentaires à la lecture de l'énoncé . . . . .	169
3.8.3	Correction . . . . .	169
3.9	SESSION 1997A - ÉTUDE D'UNE LUNETTE ASTRONOMIQUE (PARTIE) . . . . .	175
3.9.1	Énoncé . . . . .	175
3.9.2	Commentaires à la lecture de l'énoncé . . . . .	176
3.9.3	Correction . . . . .	176

<b>4</b>	<b>EXAMENS BLANCS</b>	<b>183</b>
4.1	EXAMEN BLANC N°1	183
4.1.1	Énoncé	183
4.1.2	Correction	184
4.2	EXAMEN BLANC N°2	188
4.2.1	Énoncé	188
4.2.2	Solution	189
4.3	EXAMEN BLANC N°3	196
4.3.1	Énoncé	196
4.3.2	Correction	197
4.4	EXAMEN BLANC N°4	203
4.4.1	Énoncé	203
4.4.2	Correction	204
4.5	EXAMEN BLANC N°5	209
4.5.1	Énoncé	209
4.5.2	Correction	210
4.6	EXAMEN BLANC N°6	215
4.6.1	Énoncé	215
4.6.2	Correction	216

# Chapitre 1

## OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

### 1.1 INTRODUCTION

L'optique géométrique est une approximation d'une théorie électromagnétique plus générale. En optique géométrique, on suppose que la longueur d'onde de la lumière tend vers zéro. On peut alors introduire la notion de rayon lumineux qui se propage en ligne droite dans un milieu homogène d'indice  $n$ . La longueur d'onde de la lumière n'intervient en optique géométrique que parce que les milieux sont dispersifs, c'est-à-dire que leur indice dépend de la longueur d'onde.

On peut démontrer qu'il n'y a pas de stigmatisme rigoureux, c'est-à-dire qu'un instrument d'optique (système optique centré qui possède un axe de révolution), quel qu'il soit, ne fournit pas une image ponctuelle d'un objet ponctuel sauf dans de rares conditions qui, en général, présentent peu d'intérêt. Dans les conditions de Gauss où les rayons lumineux sont peu inclinés sur l'axe du système et s'écartent peu de cet axe, on peut démontrer que tout se passe comme s'il y avait stigmatisme rigoureux. Les conditions de Gauss étant très particulières, on parle alors de stigmatisme approché.

Les conditions de Gauss sont les seules qui sont étudiées en BTS opticien lunetier.

Dans les conditions de Gauss, il y a aplanétisme, c'est-à-dire que l'image d'un objet perpendiculaire à l'axe est perpendiculaire à l'axe. En conséquence, du fait du stigmatisme approché, pour trouver l'image d'un objet perpendiculaire à l'axe, il suffit de tracer le cheminement de deux rayons lumineux émis par l'extrémité  $B$  de l'objet qui est hors de l'axe. Pour faciliter le travail, les deux rayons peuvent être choisis dans le plan défini par le point  $B$  et l'axe du système. L'intersection de ces deux rayons donne l'image  $B'$  de  $B$ . L'image de l'objet est alors obtenue en traçant la perpendiculaire à l'axe du système passant par  $B'$ . En définitive, en optique de Gauss, on ne fait que des dessins dans un plan.

Ces rappels de cours sont divisés en quatre parties.

La première concerne les généralités de l'optique géométrique et tout d'abord la définition des éléments cardinaux et des distances focales d'un système centré. Ensuite est évoquée la relation de Lagrange Helmholtz, approximation dans le cadre de l'optique de Gauss de la condition des sinus d'Abbe. Elle permet de retrouver facilement la relation entre les distances focales et les indices des milieux objet et image. Les relations de conjugaison de Newton et de Descartes viennent ensuite. Tout système centré, sauf le simple dioptré sphérique, est une association de systèmes centrés. Les relations de Gullstrand, relatives à de telles associations terminent la première partie.

La deuxième partie est relative aux systèmes optiques simples, le dioptré sphérique, la lentille mince, le doublet de lentilles minces collées ou non et à la condition d'achromatisme apparent.

## *BTS Opticien-Lunetier*

La troisième partie traite des instruments optiques subjectifs et de leurs principales propriétés, grossissement et puissance. La luminosité de l'instrument n'est pas étudiée. Par contre la notion de champ transversal, relative également à un instrument objectif, est développée et illustrée par un exercice corrigé.

La quatrième partie rassemble des compléments comme la description très sommaire de certains instruments optiques, en particulier les systèmes afocaux et le microscope, l'accommodation de l'œil et le champ longitudinal d'un instrument objectif. On y trouve également un formulaire et un problème corrigé sur le calcul des champs transversaux d'une lunette.

## 1.2 ÉLÉMENTS CARDINAUX D'UN SYSTÈME CENTRÉ

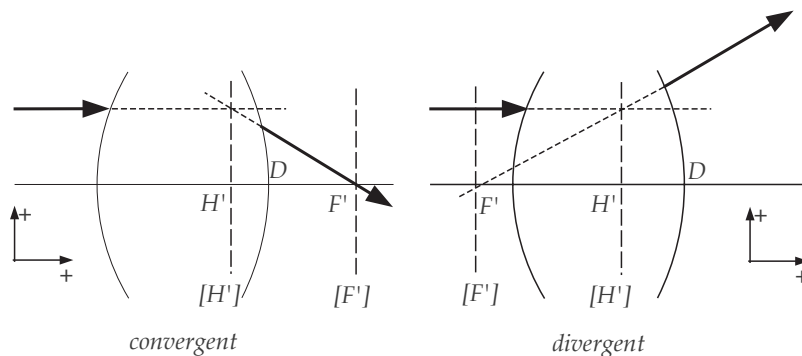
Un système optique centré ( $S$ ) possède un axe de révolution. Le long de cet axe, les distances sont comptées positivement de la gauche vers la droite (dans le sens normal de propagation des rayons lumineux). Perpendiculairement à cet axe, les distances sont comptées positivement du bas vers le haut, comme dans un repère cartésien. On peut schématiser un système centré par deux grandes parenthèses, l'une ouvrante, l'autre fermante. Compte tenu du sens de propagation de la lumière, l'espace objet, d'indice  $n$ , est situé en avant du système, l'espace image, d'indice  $n'$ , est situé après le système.

Dans les conditions de Gauss, on définit les éléments cardinaux qui caractérisent le système et permettent de tracer le cheminement de n'importe quel rayon lumineux.

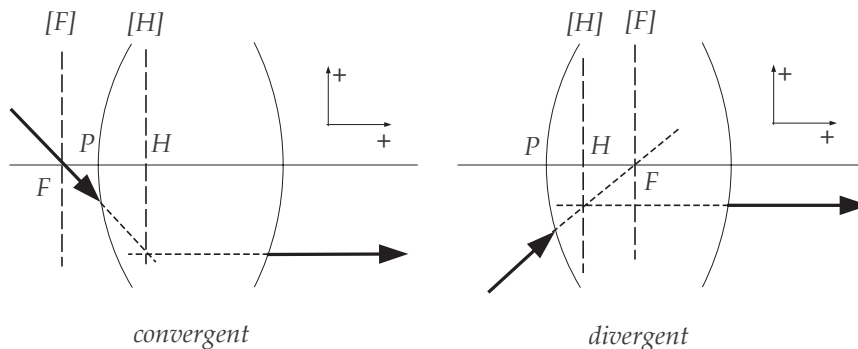
Par définition, un rayon incident parallèle à l'axe dans l'espace objet :

- coupe l'axe du système dans l'espace image au foyer image  $F'$  si le système est convergent,
- semble provenir du foyer image  $F'$  si le système est divergent.

Le plan passant par  $F'$  et perpendiculaire à l'axe est le plan focal image  $[F']$ . L'intersection du rayon incident parallèle à l'axe et du rayon correspondant émergent du système appartient au plan principal image  $[H']$  dont l'intersection avec l'axe du système est le point principal image  $H'$ .



Le point principal image et le foyer image appartiennent optiquement à l'espace image. Ils sont réels s'ils sont positionnés géométriquement dans l'espace image. Dans le cas contraire, ils sont virtuels.



Par définition, un rayon émergent parallèle à l'axe dans l'espace image :

- provient du foyer objet  $F$  qui est un point de l'axe dans l'espace objet, si le système est convergent,
- correspond à un rayon incident qui semble se diriger vers le foyer objet  $F$ , point de l'axe du système qui appartient à l'espace objet, si le système est divergent.

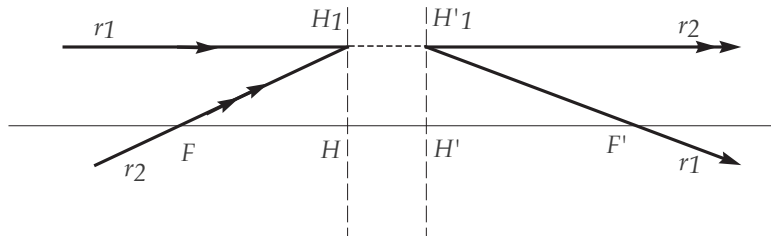
Le plan passant par  $F$  et perpendiculaire à l'axe est le plan focal objet  $[F]$ . L'intersection du rayon émergent parallèle à l'axe et du rayon incident correspondant appartient au plan principal objet  $[H]$  dont l'intersection avec l'axe du système est le point principal objet  $H$ . Le point principal objet et le foyer objet appartiennent optiquement à l'espace objet. Ils sont réels s'ils sont positionnés géométriquement dans l'espace objet. Dans le cas contraire, ils sont virtuels.

La distance focale objet est  $f = \overline{HF}$ , négative si le système est convergent mais positive si le système est divergent. La distance focale image est  $f' = \overline{H'F'}$ , positive si le système est convergent mais négative si le système est divergent.

Par définition,  $\overline{PF}$  est la distance frontale objet,  $P$  étant le sommet du premier dioptré du système. La distance frontale image est  $\overline{DF'}$ ,  $D$  étant le sommet du dernier dioptré du système.

Une méthode expérimentale, la méthode de Cornu, permet de positionner les éléments cardinaux  $F$ ,  $H$ ,  $H'$  et  $F'$  par rapport aux sommets du premier et du dernier dioptré d'un système centré.

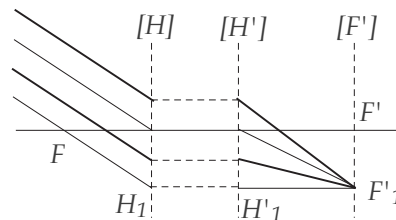
La figure ci-dessous montre que les plans principaux objet et image sont conjugués l'un de l'autre et correspondent à un grandissement transversal  $g_y = +1$ .



On considère deux rayons  $r_1$  et  $r_2$ . Le rayon  $r_1$  est incident parallèle à l'axe, le rayon  $r_2$  est émergent parallèle à l'axe. Ils se propagent, l'un dans l'espace objet, l'autre dans l'espace image à la même distance de l'axe. Le rayon  $r_1$  émerge du système en passant par  $H'_1$  du plan principal image et par le foyer image  $F'$ . Le rayon  $r_2$  provient du foyer objet  $F$  et passe par  $H_1$  du plan principal objet. Les deux rayons passent par  $H_1$  et  $H'_1$ . L'image de  $H_1$  est donc  $H'_1$ . Les plans principaux sont conjugués. Les deux rayons étant à la même distance de l'axe l'un dans l'espace objet, l'autre dans l'espace image, le grandissement transversal est  $+1$ .

Tout rayon incident qui coupe le plan principal objet en un point  $H_1$  émerge du système par le point  $H'_1$  du plan principal image tel que  $\overline{HH_1} = \overline{H'H'_1}$ . Cette règle est très utile pour tracer le cheminement des rayons lumineux dans un système centré défini par ses éléments cardinaux.

Les rayons parallèles d'un faisceau incident se dirigent vers (ou semblent provenir d') un même point du plan focal image si le système est convergent (divergent). Par exemple, pour un système convergent, on peut tracer la schéma ci-dessous :



Pour déterminer la position du point  $F'_1$  du plan focal image  $[F']$ , on considère le rayon incident qui passe par le foyer objet  $F$ . Il intercepte le plan principal objet  $[H]$  en un point  $H_1$ , émerge du système parallèle à l'axe à partir du point  $H'_1$  du plan principal image  $[H']$  et se dirige donc vers  $F'_1$ .