



# Mémoire de fin d'études

PRESENTE EN VEU DE L'OBTENTION

DU DIPLOME DE : LICENCE

Filière : physique

Option : physique des matériaux

## THEME

# Les instruments optiques, principes et applications

Préparer par : Korbaâ Samia

Kamel Meriem

Soutenu le : 10/06/2015

Diriger par : Dr. B. MOULA

Jury par : Mr. Mameri Samir

Mr. Regaigui Gasmi

## SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

### CHAPITRE I : PRINCIPES DE BASE DE L'OPTIQUE

#### GEOMETRIQUE ET PHYSIQUE

I. Introduction.....	2
II. La lumière.....	2
II.1. Définition de la lumière visible .....	2
II.2. Caractéristiques et définitions des milieux optiques .....	2
II.2.1. Milieu Transparent .....	2
II.2.2. Milieu homogène .....	3
II.2.3. Milieu isotrope .....	3
II.2.4. Indice de réfraction.....	3
III. Lois fondamentales de l'optique géométrique .....	4
III.1. Optique géométrique .....	4
III.2. Principes de l'optique géométrique .....	4
III.2.1. Principe de Fermat.....	4
III.2.2. Principe de Huygens .....	5
III.2.3. Lois de Snell-Descartes (Loi de réflexion et de réfraction) .....	5
III.3.1. Réflexion .....	5
III.3.2. Réfraction.....	6
IV. Cadre d'approximation de l'optique géométrique .....	8
IV.1. Définitions .....	8
IV.1.1. Stigmatisme rigoureux .....	8

<b>IV.1.2. Stigmatisme approché.....</b>	<b>8</b>
<b>V. Systèmes optiques .....</b>	<b>9</b>
<b>V.1. Définitions.....</b>	<b>9</b>
<b>V.1.1. Image réelle.....</b>	<b>9</b>
<b>V.1.2. Image virtuelle.....</b>	<b>9</b>
<b>V.1.3. Foyer image et objet.....</b>	<b>9</b>
<b>V.1.4. Plan focal image .....</b>	<b>10</b>
<b>V.1.5. Grossissement « G ».....</b>	<b>10</b>
<b>V.1.6. Grandissement « g » .....</b>	<b>10</b>
<b>V.2. Systèmes planaires .....</b>	<b>11</b>
<b>V.2.1. Miroir plan .....</b>	<b>11</b>
<b>V.2.2. Dioptré plan .....</b>	<b>11</b>
<b>V.2.3. Lame à faces parallèles .....</b>	<b>11</b>
<b>V.3. Systèmes centrés .....</b>	<b>12</b>
<b>V.3.1. Miroirs sphériques .....</b>	<b>12</b>
<b>V.3.2. Dioptré sphérique .....</b>	<b>12</b>
<b>VI. Optique physique .....</b>	<b>13</b>
<b>VI.1. Définitions .....</b>	<b>13</b>
<b>VI.1.1. Notion de la lumière blanche .....</b>	<b>13</b>
<b>VI.1.2. Les ondes lumineuses .....</b>	<b>13</b>
<b>VI.1.2.1. Caractéristiques d'une onde lumineuse.....</b>	<b>13</b>
<b>VI.1.2.2. Principe de superposition.....</b>	<b>14</b>
<b>VI.1.2.3. Interférences des ondes lumineuses .....</b>	<b>14</b>

## CHAPITRE II : LES INSTRUMENTS OPTIQUE

I. Introduction.....	17
II. Généralité et définitions .....	17
II.1. Les matériaux optiques .....	17
III. Relations de conjugaison.....	20
IV. Les instruments optiques .....	20
IV.1. Définition .....	20
IV.2. description de l'œil humain .....	20
V. Instruments pour objets rapproché .....	22
V.1. La loupe .....	22
V.2. Microscope optique .....	24
VI. Instruments pour objets éloignés .....	25
VI.1. Lunette astronomique .....	25
VI.2. Télescope .....	26
VII. Enregistreur d'image .....	28
VII.1. Appareil photographie .....	28
VIII. Optique moderne.....	29
VIII.1. L'interférométrie .....	29

## CHAPITRE III :LES APPLICATIONS DES INSTRUMENTS OPTIQUE

I. Introduction .....	30
II. Applications des lentilles (correction de la vision).....	30
II.1. Myopie.....	30

<b>II.2. L'hypermétropie.....</b>	<b>30</b>
<b>II.3. L'astigmatisme.....</b>	<b>31</b>
<b>II.4. La presbytie.....</b>	<b>31</b>
<b>III.Applications du microscope optique.....</b>	<b>32</b>
<b>III.1.Histologie ou cytologie.....</b>	<b>32</b>
<b>III.2.Microscopie chirurgicale.....</b>	<b>33</b>
<b>III.3.Les applications pour l'industrie pharmaceutique.....</b>	<b>34</b>
<b>IV.Applications d'un télescope.....</b>	<b>34</b>
<b>IV.1.Observation Terrestre.....</b>	<b>34</b>
<b>IV.2.Observation astronomique.....</b>	<b>35</b>
<b>IV.3.Autres applications.....</b>	<b>35</b>
<b>V. Application de l'interféromètre.....</b>	<b>36</b>
<b>V.1.L'interférométrie optique dans l'astronomie moderne.....</b>	<b>37</b>
<b>V.2.Mesure des grands rayons de courbure.....</b>	<b>37</b>
<b>V.3.Lecture optique des pistes des CD.....</b>	<b>38</b>

# *Introduction générale*

## INTRODUCTION GENERALE

L'optique est principalement l'ensemble des phénomènes perçus par l'œil à cause de la lumière, ce dernier a été étudié très tôt dans l'histoire des sciences, au point que tous les fondements sur lesquels reposent l'optique géométrique et l'optique ondulatoire qui sont connus depuis le *XIX<sup>e</sup>* siècle.

L'optique géométrique ou l'optique des rayons lumineux est souvent présentée à partir de quelques lois appelée « les lois fondamentales de l'optique géométrique ».

Les lois de réflexion de la lumière par un miroir étaient connues par les grecs, celle de la réfraction ne furent établies que tardivement, par le savant ALHAYTHAM (Elhzen en Latin) au *XI<sup>e</sup>* siècle, puis trouvées séparément par W. Snell en 1657, et par R. Descartes en 1637. Elles sont connues en France sous le nom de « lois de Descartes ». En 1657, P. de Fermat a retrouvé ces lois à partir de son principe.

L'aspect ondulatoire n'apparaît qu'en 1665 avec R. Hook, qui émet l'idée que la lumière est une vibration de haute fréquence qui se propage.

Cette idée est développée par C. Huygens, mais malheureusement contrariée par I. Newton, adapté d'une théorie corpusculaire.

Ce n'est qu'au début du *XIX<sup>e</sup>* siècle que T. Young reprend la théorie ondulatoire pour étudier le phénomène d'interférence.

Après avoir construit la théorie électromagnétique (1876), J.C. Maxwell a conclu que la lumière dans le domaine visible, est une onde électromagnétique.

Parallèlement, une révolution de l'alchimie a été construite des composants optiques (lentilles, miroirs, prismes...). L'application des lois fondamentales de l'optique géométrique et physique à ces derniers et à leur association assiste à une naissance de « l'optique instrumentale » classique et moderne.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre d'un terme de recherche qui consiste à étudier le phénomène d'optique et ces applications dans les différents domaines.

Le présent travail comporte trois chapitres :

Le premier chapitre, évoque les lois de l'optique géométrique et physique.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de quelques instruments optiques réalisés à partir de l'application des lois du chapitre précédent.

Le troisième chapitre est destiné à la présentation des différents domaines d'application des instruments optiques.

Le travail s'achève par une conclusion générale.

# *Chapitre I*

*Principe de base de l'optique  
géométrique et physique*

## I. Introduction

La lumière est le principal moyen pour découvrir le monde qui nous entoure : c'est peut-être pourquoi sa nature a fait embarrasser les philosophes et les scientifiques parmi les plus longs de l'histoire des sciences.

Ils ont fait beaucoup de recherches pour comprendre les phénomènes lumineux et déterminer leur nature. L'interprétation de ces derniers représentés plus en détail, celle des philosophes grecs comme Aristote qui faisait jouer un rôle essentiel à un milieu entre l'œil et l'objet, celle de René-Descartes, puis Newton décrivait la lumière comme ensemble hétérogène de corpuscules de types différents. A cette conception corpusculaire de la lumière s'opposait une conception ondulatoire, comme celle de Christian Huygens ou de Robert Hook qui concédait la lumière comme une vibration transversale. En fin, Max Planck en 1900 et Albert Einstein définissent la physique quantique supposaient une nouvelle Théorie donne la place à une dualité assez surprenante, « La dualité onde- corpuscule ».

## II. La lumière

La lumière est une forme d'énergie, tout comme l'électricité et la chaleur. Elle est composée de minuscules particules que l'on appelle « photons » et se place sous forme d'onde. Il existe plusieurs formes des ondes électromagnétiques (les infrarouges, les ultraviolet, les rayons X, les rayons gamma et la lumière visible). Ces types sont différenciés par la longueur d'onde ou la quantité d'énergie qu'elles transportent. Ces derniers sont classés dans ce qu'on appelle le spectre électromagnétique. [1]

### II.1. Définition de la lumière visible

C'est la lumière que nous connaissons. Sa longueur d'onde est de 400 nm à 700 nm. Elle n'occupe qu'une toute petite portion du spectre électromagnétique. [1]

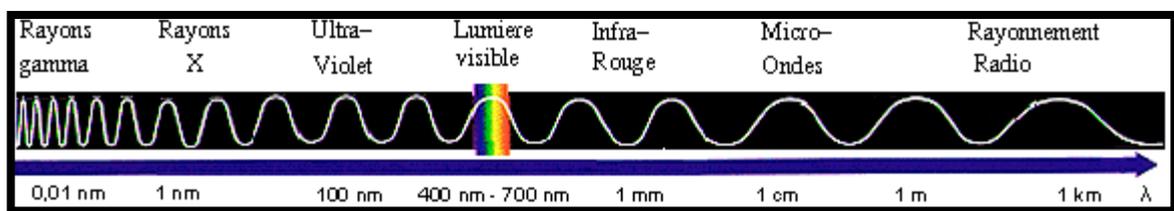


Figure I.1 : Position de la lumière visible dans le spectre électromagnétique

La lumière se propage dans le vide et les autres milieux transparents.

### II.2. Caractéristiques et définitions des milieux optiques

#### II.2.1. Milieu Transparent

Le milieu dit transparent s'il laisse passer la lumière sans atténuation (L'eau, Le verre...), il est absorbant s'il ne laisse passer qu'une partie de la lumière (verre fumé...). En réalité tous les

milieux matériels sont plus ou moins absorbants, à la limite il est opaque s'il ne laisse pas passer la lumière (pratiquement, tous les métaux le sont). [2]

### II.2.2. Milieu homogène

On dit qu'un milieu est homogène lorsque sa composition est la même en tous ses points, il est dit inhomogène dans le cas contraire. [2]

### II.2.3. Milieu isotrope

Le milieu dit isotrope lorsque ses propriétés sont les mêmes dans toutes les directions, dans le cas contraire il est dit anisotrope. [2]

La permittivité " $\epsilon$ " du milieu est différente de celle " $\epsilon_0$ " du vide alors que, dans le cas d'un milieu non magnétique, sa permittivité " $\mu$ " très peu différente de celle " $\mu_0$ " du vide. Dans un milieu transparent, homogène et isotrope, " $\epsilon$ " est une fonction de la fréquence " $\vartheta$ ". La vitesse " $v$ " de propagation de la lumière dans le milieu s'écrit alors :  $v(\vartheta) = 1/\sqrt{\epsilon(\vartheta)\mu_0}$  [2]

### II.2.4. Indice de réfraction

Le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide à celle dans le milieu considéré est un nombre sans dimension noté « n » appelé : « indice de milieu »  $n(\vartheta) = \frac{c}{v(\vartheta)}$

La dépendance en fréquence de l'indice caractérise « le pouvoir dispersif » du milieu.

$$n = n(\vartheta) \quad \text{Ou} \quad n = n(\omega) \quad \text{ou} \quad n = n(\lambda)$$

En général « n » est une fonction décroissante de la longueur d'onde. Soit  $\lambda_0$  et  $\lambda$  les longueurs d'onde d'une même radiation, de pulsation " $\omega$ ", dans le vide et dans un milieu d'indice « n », la période de la vibration est fixe, puisqu'elle est donnée par :  $T = 2\pi / \omega$  donc :

$$\lambda_0 = c.T \quad \text{et} \quad \lambda = v.T \quad \text{d'où} \quad n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$$

L'indice « n » d'un milieu dépend également de la Température. Sa variation est donnée avec une bonne approximation, par la formule de Gladstone :

$$\frac{n-1}{\rho} = \text{Constante}$$

$\rho$  : La masse volumique du milieu à la température  $\theta$  .

$$\rho = \frac{\rho_0}{1+k}$$

$k$ : le coefficient de dilatation cubique moyen entre 0 et  $\theta^\circ\text{C}$ .

Soit :  $(n-1)(1+k\theta) = \text{constante}$ .

Donc : « n » est une fonction décroissante de la température. [2]

**Remarque :** On considère que  $n \geq 1$  pour ramener des milieux transparents, homogènes et isotropes. [2]

### III. Lois fondamentales de l'optique géométrique

#### III.1. Optique géométrique

L'optique géométrique par définition est l'étude de la lumière où les ondes lumineuses peuvent être représentées par des rayons lumineux. [3]

#### III.2. Principes de l'optique géométrique

##### III.2.1. Principe de Fermat

La lumière se propage d'un point à un autre sur une trajectoire telle que la durée du parcours soit minimale. Deux points distants de « ds » sur une courbe quelconque « C » dans un milieu homogène d'indice « n ». Le chemin optique est défini par :  $dl = nds$

$$l(MM') = \int_M^{M'} nds$$

Sachant que :

$$V = \frac{c}{n} \text{ et } dt = \frac{ds}{V}$$

$$\Rightarrow dl = nds = \frac{C}{V} ds = cdt$$

$$\Rightarrow L(MM') = C \int_M^{M'} dt = C(t_{M'} - t_M)$$

Le chemin optique est donc proportionnel au temps de parcours. [4]

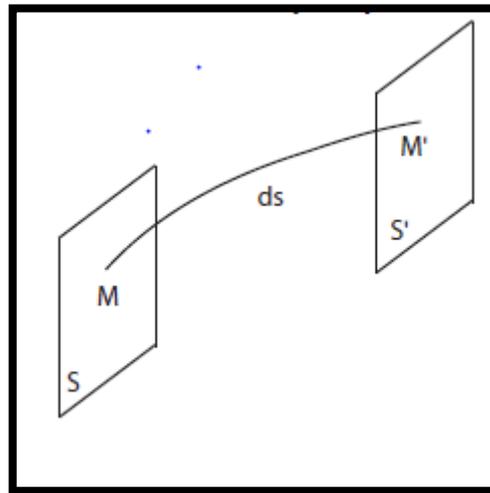


Figure .I. 2: Chemin optique de Fermat

#### 1<sup>ère</sup> conséquence du principe:

La lumière suit une trajectoire à chemin optique stationnaire (constant), c.à.d. le chemin avec le temps de parcours minimal. Dans un milieu homogène :

$$n = cte \Rightarrow L_{AB} = \overline{AB}. [4]$$

#### 2<sup>ème</sup> conséquence:

$$\text{Le vecteur inverse de la lumière } L_{AB} = \int_A^B nds = \int_A^B n(-ds) = \int_B^A nds$$

$$\Rightarrow L_{AB} = L_{BA}$$

La trajectoire suivie par la lumière ne dépend pas du sens de parcours. [4]

### 3<sup>ème</sup> conséquence:

Changement de direction, par réflexion ou réfraction d'un Rayon lumineux rectiligne, à la traversée d'un dioptré. [4]

### III.2.2. Principe de Huygens

On peut prédire la transmission tridimensionnelle des ondes. Incluant la lumière, grâce au principe de Huygens, qui stipule que tous les points d'un front d'onde servent de sources ponctuelles à de petites ondes sphériques secondaires. Après un temps « t », la nouvelle position du front d'onde sera celle de la surface tangente à ces petites ondes secondaires.

On peut dériver la loi de la réfraction à partir du principe de Huygens en supposant que l'indice de réfraction dans tout milieu est  $n = \frac{c}{v}$ , où « v » est le module de la vitesse de la lumière dans le milieu et « c » est le module de la vitesse de la lumière dans le vide. [3]

#### ❖ Front d'onde

Cette notion est mieux comprise dans le cadre de l'optique ondulatoire. Il nous suffit de le considérer comme la surface atteinte par la lumière à un instant donné. (Les vagues à la surface de l'eau). [5]

### III.3. Lois de Snell-Descartes (Loi de réflexion et de réfraction)

#### III.3.1. Réflexion

On parle de réflexion lorsqu'un rayon lumineux change brutalement de direction tout en restant dans le même milieu de propagation. L'expérience montre les lois de réflexion suivantes:

- 1- Le rayon incident, le rayon réfléchi et la normale à la surface sont dans le même plan appelé "plan d'incidence".
- 2- Les angles d'incidence et de réflexion sont égaux:  $i_1 = i_2$

**Remarque :** le sens des angles est arbitraire, on choisit donc un sens positif et on s'y tient par contre, Les angles sont toujours orientés à partir de la normale. [6]

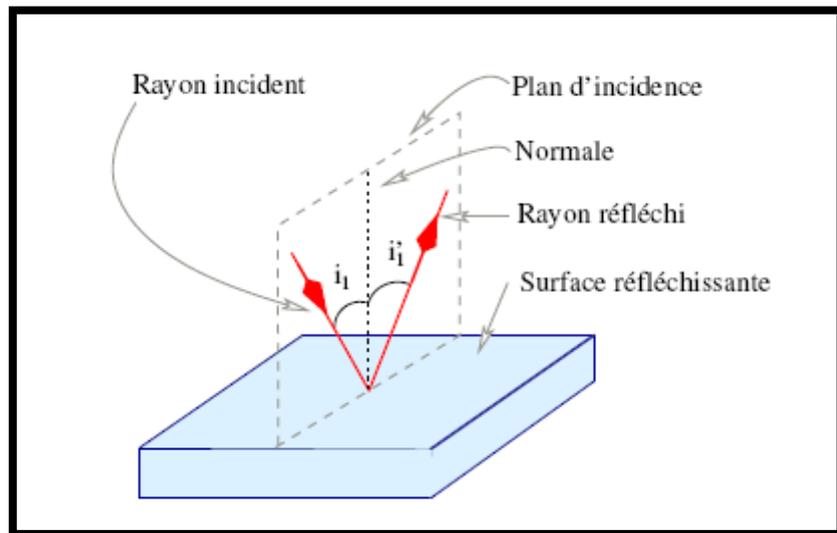


Figure .J.3 : Réflexion d'un rayon lumineux à travers un dioptr



Figure .J.4 : Réflexion d'un paysage sur un lac

### III.3.2. Réfraction

On parle de Réfraction lorsqu'il y'a un changement de la direction de propagation de la lumière quand celle-ci traverse un dioptr.

L'expérience montre que la réfraction obéit aux lois suivantes:

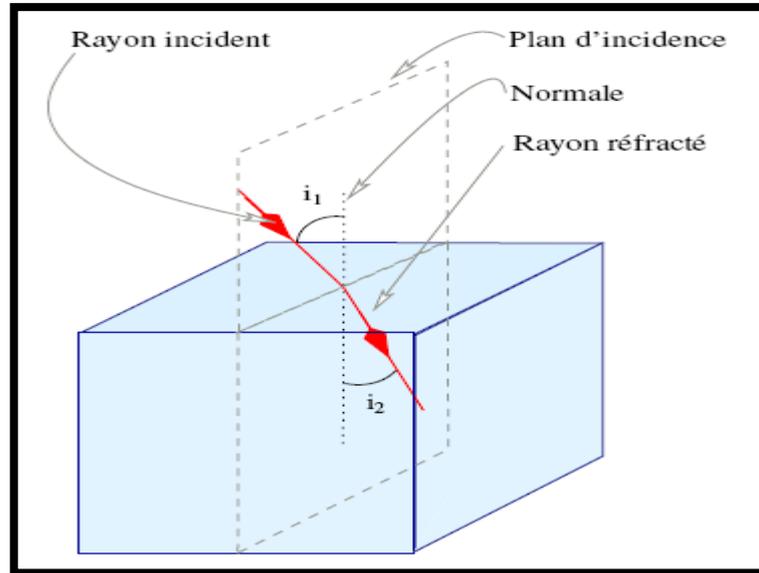
- 1- Le rayon incident, le rayon réfracté et la normale à la surface sont dans le même plan d'incidence.
- 2- Les angles d'incidence  $i_1$  et de réfraction  $i_2$  sont liés par la loi de "Snell-Descartes":

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

Ou  $n_1$  et  $n_2$  sont les indices absolus de réfraction. [6]

**Remarque:**

Si:  $n_2 > n_1$  on dit que le milieu (2) est plus réfringent, en passant de milieu (1) au milieu (2), la lumière s'approche alors de la normale. [6]



**Figure .I.5 :** Réfraction d'un rayon lumineux à travers un dioptre



**Figure I.6 :** Double réfraction par l'eau et le verre

❖ **Discussion autour des lois de Snell-Descartes:**

Les angles d'incidence  $i_1$  et de réflexion  $i_2$  peuvent prendre toutes les valeurs comprise entre  $0^\circ$  et  $90^\circ$ . Les valeurs de l'angle réfracté  $i_2$  sont liées à celles de  $i_1$  et de  $n_2/n_1$ . [6]

**-Propagation vers un milieu plus réfringent**

Réfraction limite le rayon réfracté  $i_2 < i_1$  existe et atteint une valeur limite donnée par :

$$i_1 = 90^\circ \quad \sin i_2 = n_1/n_2$$

Dans ce cas on parle de réfraction limitée. [6]

### **-Propagation vers un milieu moins réfringent**

Réflexion totale : Le rayon réfracté  $i_2 > i_1$  n'existe plus pour une incidence supérieure à une valeur limite fixée par :  $\sin i_1 = n_2 / n_1$

Dans ce cas on parle de réflexion totale.

Si les angles sont faibles,  $\sin \theta \sim \theta$  la loi de Snell-Descartes prend la forme approché, dite loi de Kepler  $n_1 i_1 = n_2 i_2$ . [6]

## **IV. Cadre d'approximation de l'optique géométrique**

Les lois de l'optique géométrique étudiées sont valables tant que les instruments utilisés sont de grande taille par rapport à la longueur d'onde. [7]

### **IV.1. Définitions**

#### **IV.1.1. Stigmatisme rigoureux**

Un système optique (s) est rigoureusement stigmatique pour le couple de points (A, A') si tous les rayons issus de A passent par A' après avoir été dévié par le système. Les points A et A' sont dits conjugués par rapport à (s).

L'image d'un point de l'axe par un système centré est forcément sur l'axe. En effet, comme l'axe optique est un axe de symétrie, la normale au système au point d'incidence sur l'axe est colinéaire à l'axe n'est pas dévié car il est confondu avec la normale. [7]

#### **IV.1.2. Stigmatisme approché**

Un instrument optique peut donner d'un objet ponctuel une image non ponctuelle, à condition que la tache image obtenue soit de taille plus petite que la cellule élémentaire du détecteur. Dans ce cas, l'observateur aura l'impression de voir un point. On parlera alors de « stigmatisme approché ». [7]

#### **❖ Conditions de Gauss**

Dans le cas où l'image d'un point n'est pas un point unique et il n'y a pas stigmatisme rigoureux. On ne peut même pas parler de stigmatisme approché car les rayons se croisent en des endroits très différents. Donc, il suffit d'énoncer certaines conditions pour que le stigmatisme approché soit vérifié : on les appelle « conditions de Gauss ».

- Les rayons lumineux font un angle petit avec l'axe du système.
- Les rayons rencontrent les systèmes optiques au voisinage de leur sommet situé sur l'axe optique si le système est centré.
- L'angle d'incidence des rayons sur les systèmes optiques est petit. [7]

## V. Systèmes optiques

### V.1. Définitions

#### V.1.1. Image réelle

Lorsque tout rayon issu d'un point A passe réellement par un point A' après traversée d'un système optique, on dit que A' est une image réelle. Donc, il faut en général mettre un écran pour la voir. L'image est dite « nette » lorsque tous les rayons issus d'un point objet A convergent en un point image A' sur l'écran. Sinon, l'image est « floue ». [8]

#### V.1.2. Image virtuelle

Lorsque tout rayon issu d'un point P semble venir d'un point P' après traversée d'un système optique, on dit que P' est une image virtuelle. C'est le cas représenté ci-dessous avec un miroir (le système optique ici est le miroir : la « traversée » du système optique est à prendre au sens large : ici c'est la réflexion sur le miroir). [8]

#### V.1.3. Foyer image et objet

##### ❖ Foyer image

On note F' le point de l'axe optique appartenant au Plan Focal Image : il correspond au point d'intersection des rayons arrivant sur la lentille parallèles entre eux et parallèles à l'axe optique. F' est appelé le foyer image. [8]

##### ❖ Foyer objet

Il est symétrique de F' par rapport au système optique. Tous les rayons issus de ce point et atteignant la lentille en ressortent parallèles entre eux et parallèles à l'axe optique. Et noté F. [8]

**Remarque :** L'intersection des plans focaux image et objet avec l'axe optique définissent respectivement le foyer principal image F' et le foyer principal objet F. Ainsi :

- Le foyer principal objet F est le point objet de l'axe dont l'image se trouve à l'infini.
- Le foyer principal image F' est l'image du point objet situé à l'infini sur l'axe optique. [8]

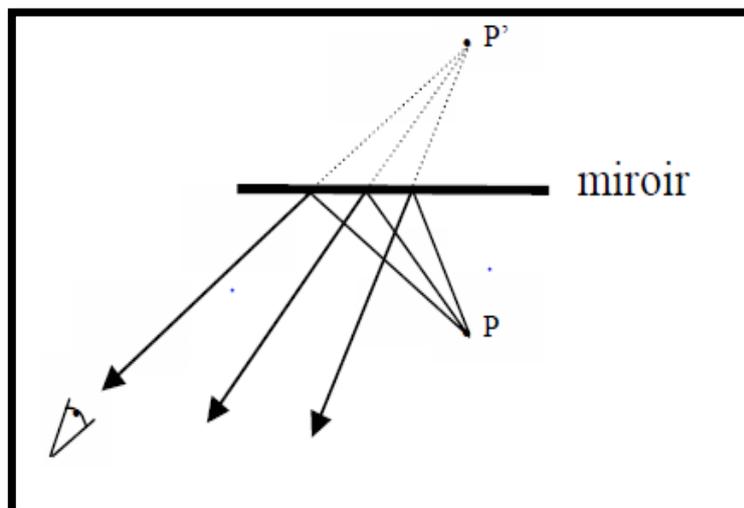


Figure .I.7 : Représentation d'une image virtuelle

### V.1.4. Plan focal image

Si l'on place un objet plan à une distance infinie d'une lentille mince convergente, celle-ci fournit une image réelle nette de cet objet dans le plan appelé **plan focal image** de la lentille. La distance entre le plan de la lentille et son plan focal est la **distance focale**  $f$ . [8]

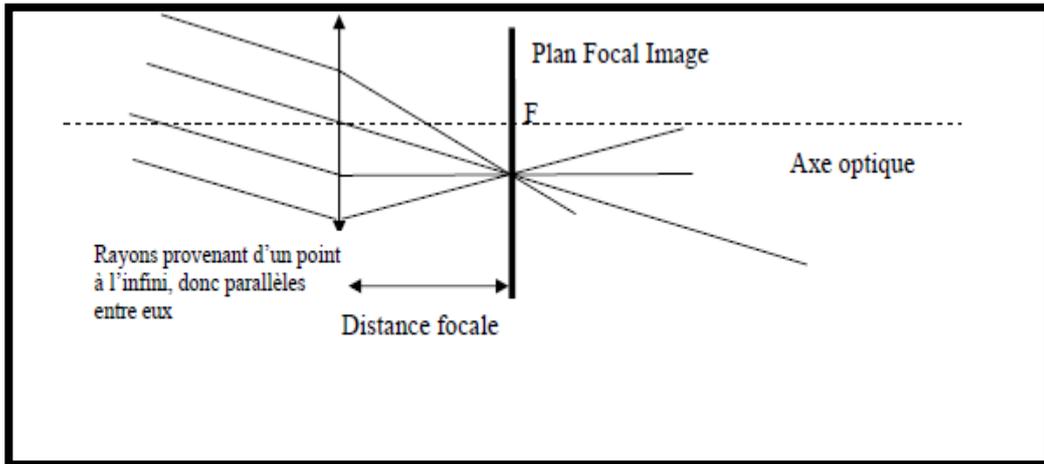


Figure .I.8 : Représentation d'un plan focal image

### V.1.5. Grossissement « G »

Le grossissement d'un instrument est le rapport de l'angle «  $\alpha$  » sous lequel on voit l'objet à travers l'instrument à l'angle «  $\beta$  » sous lequel on le voit à l'œil nu.

$$G = \frac{\alpha}{\beta}$$

Le grossissement est donc une grandeur qui caractérise l'instrument d'optique visuel : à travers l'instrument, on voit un objet « G fois plus gros » que sans l'instrument.

Quand l'objet est de petites dimensions et proche, on détermine le diamètre apparent de l'objet à la distance minimum de vision distincte égale par convention à 25 cm. On a donc :

$\tan \beta = \text{Taille de l'objet} / 25 \text{ cm}$ . Le grossissement obtenu s'appelle alors le **grossissement commercial**. [9]

$$G_c = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{\alpha}{\arctg\left(\frac{AB}{0.25}\right)}$$

### V.1.6. Grandissement « g » : c'est le rapport entre deux longueurs. [9]

- ❖ **Le grandissement transversal "  $g_t$  " :** Le rapporte entre la longueur de l'image « A'B' » et la longueur de l'objet conjuguée « AB ».

$$g_t = \frac{A'B'}{AB}$$

❖ Le grandissement axial " $g_a$ " :

Le rapport d'un petit déplacement de l'image «A'» le long de l'axe optique au petit déplacement conjugué de l'objet «A». [9]

## V.2. Systèmes planaires

### V.2.1. Miroir plan

On a vu que l'image est à l'intersection de tous les rayons (ou de leur prolongement) provenant de l'Objet et passant par le système. Il suffit donc de construire deux de ces rayons et l'image sera à leur intersection si elle est réelle ou à l'intersection de leur prolongement si elle est virtuelle. [7]

Soit A un objet réel. On réalise la construction (figure. I.9) de deux rayons en utilisant les lois de Descartes sur le miroir. Les rayons réfléchis ne se croisent pas mais ils semblent provenir de A' : un observateur qui regarde dans le miroir aura l'impression de voir l'image en A'. Le point A' est à l'intersection des prolongements des rayons réfléchis. A' est l'image virtuelle symétrique de A par rapport au miroir. [7]

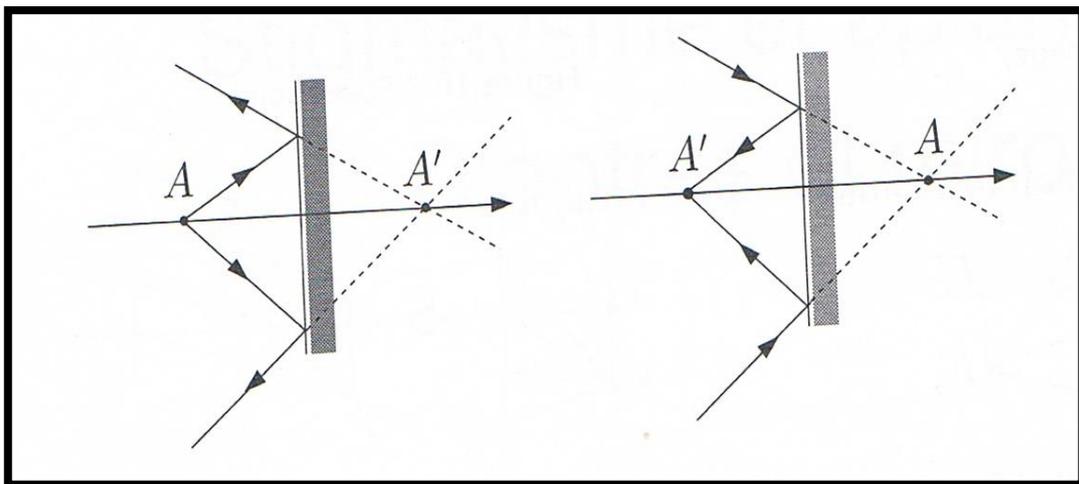


Figure .I.9 : Représentation du miroir plan

### V.2.2. Dioptré plan

On appelle dioptré plan toute surface plane séparant deux milieux transparents d'indices différents. [10]

### V.2.3. Lame à faces parallèles

Une lame à faces parallèles est constituée par un milieu transparent et homogène limité par deux surfaces planes et parallèles. Chacune de ces surfaces est placée soit dans le même milieu soit dans des milieux différents. [2]

### V.3. Systèmes centrés

#### V.3.1. Miroirs sphériques

Un miroir sphérique est une portion de sphère réfléchissante. Il existe deux types de miroirs : Le miroir « concave » et de miroir « convexe ». [7]

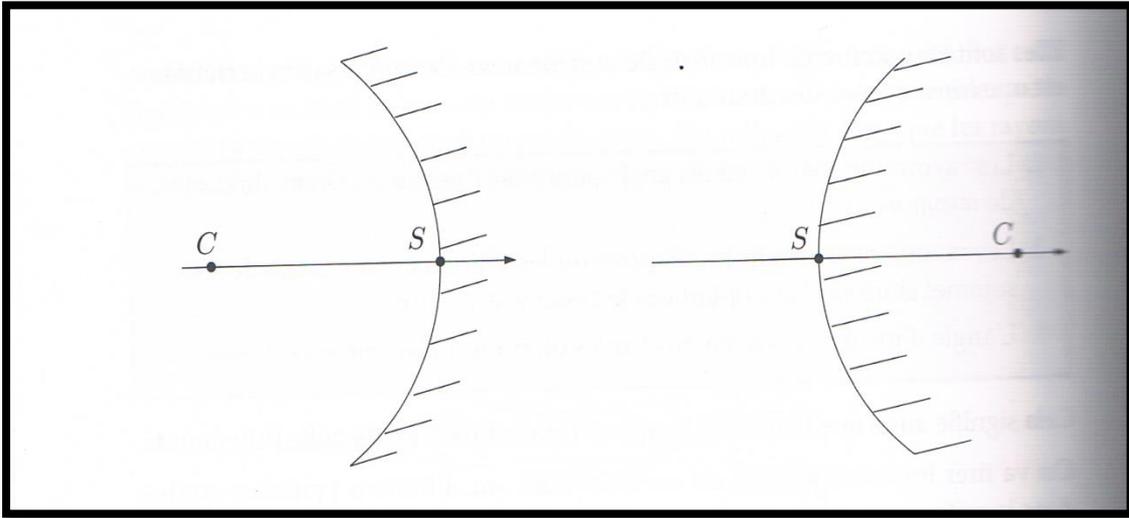


Figure J.10 : Miroirs sphériques convexe et concave

#### V.3.2. Dioptré sphérique

Un dioptré sphérique est une portion de surface sphérique réfringente séparant deux milieux homogènes et transparents d'indices différents.

Il est caractérisé par son axe «  $\Delta$  », son centre «  $c$  », son rayon de courbure «  $\rho$  », son sommet «  $S$  » et les indices «  $n_1$  » et «  $n_2$  » des deux milieux qu'il sépare. [10]

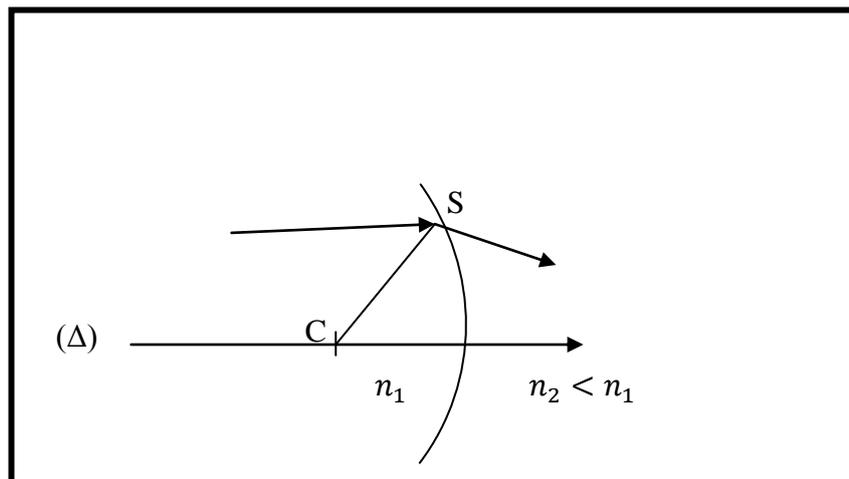


Figure J.11 : Dioptré sphérique

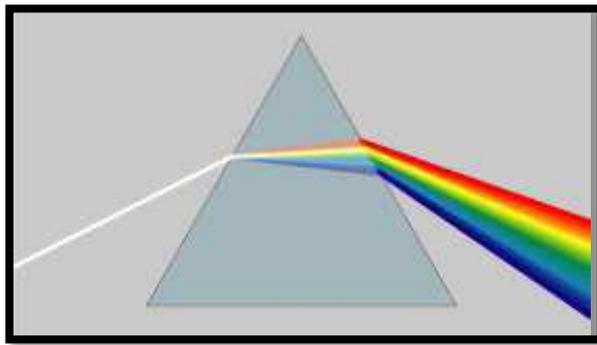
## VI. Optique physique

### VI.1. Définitions

#### VI.1.1. Notion de la lumière blanche

La lumière blanche est un mélange de la lumière colorée qui produit le même effet dans l'œil que la lumière solaire.

Si on utilise une lumière poly chromatique, les milieux qui forment le système optique ont des indices différents pour diverses longueurs d'onde. On observe alors des images colorées de positions et de tailles différentes, cet effet s'appelle « Aberration Chromatique ». [5]



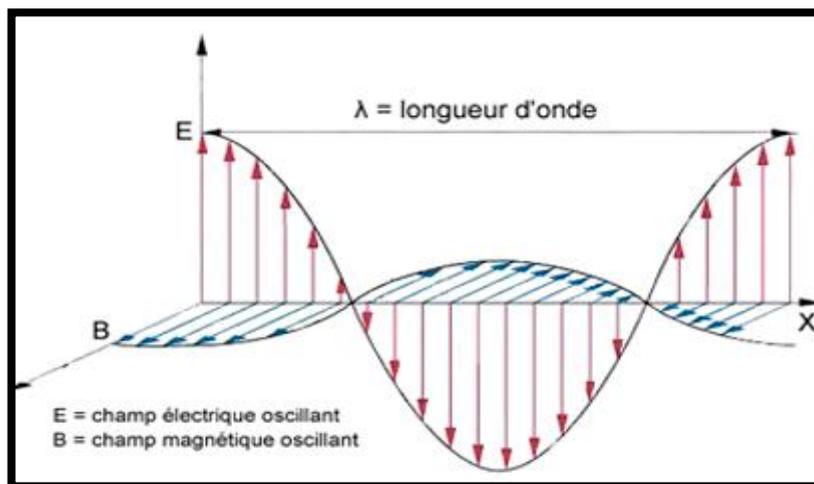
**Figure .I.12 :** Composantes de la lumière blanche

#### VI.1.2. Les ondes lumineuses

La lumière est une onde électromagnétique transversale visible par l'être humain. [11]

##### VI.1.2.1. Caractéristiques d'une onde lumineuse

Les ondes lumineuses se propagent en ligne droite, lorsqu'elles rencontrent un obstacle, elles peuvent être réfléchies, réfractées (déviées) ou absorbées. Il est possible de définir un ensemble de caractéristiques.



**Figure .I.13 :** Représentation des caractéristiques des ondes

$\vec{k}$  : Vecteur d'onde et représente la direction de propagation de l'onde.

$\vec{E}$  : représente le champ électrique de l'onde.

$\vec{B}$  : représente le champ magnétique de l'onde.

$\lambda$  : Longueur d'onde, elle indique la distance (en mètre) entre deux périodes de l'onde.

$T$  : Période du signal (en seconde).

$\omega$  : Pulsation de l'onde (en radian par seconde). [12]

### VI.1.2.2. Principe de superposition

Des expériences simples montrent que deux ondes davantage peuvent traverser un même espace indépendamment l'une de l'autre. Ceci signifie que le déplacement d'une particule à un moment donné n'est que la simple somme des déplacements des particules s'appelle la superposition. [13]

$$y(x, t) = \sum_i^N y_i(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) + \dots + y_N(x, t)$$

### VI.1.2.3. Interférences des ondes lumineuses

Lorsque deux ou plusieurs ondes lumineuses se superposent, on ne peut généralement pas décrire d'une manière simple les phénomènes observés.

Prenons le cas de deux ondes provenant d'une même source lumineuse ponctuelle et monochromatique. Dans la région de superposition, l'intensité lumineuse varie d'un point à un autre entre des maxima qui dépassent la somme des intensités de deux ondes prises séparément et des minima qui peuvent être nuls. Ceci constitue le phénomène d'interférence où la nature ondulatoire de la lumière joue un rôle essentiel.

L'observation d'interférences en optique est plus délicate et fait apparaître de façon fondamentale la notion de cohérence entre les vibrations qui doivent interférer. [14]

#### ❖ Addition des vibrations lumineuses : Termes d'interférence

Considérons différents rayons lumineux arrivant au même point M de l'espace. Le champ  $E^\rho(M, t)$  est donné en ce point par la Somme des champs  $E_j^\rho(M, t)$  associés aux différents rayons:

$$E^\rho(M, t) = \sum_j E_j^\rho(M, t)$$

Nous nous limitons ici au cas où les différents termes  $E_j^\rho(M, t)$  correspondent à des vibrations monochromatiques de même pulsation  $\omega$  et de même état de polarisation caractérisé par le vecteur unitaire  $\vec{u}^\rho$  tel que :

$$E_j^\rho(M, t) = \underline{s}_j(M, t) \vec{u}^\rho$$

Avec :

$$\underline{s}_j(M, t) = a_j(M, t) \exp[i(\varphi_j(M, t) - \omega t)]$$

Et :

$$\underline{s}(M, t) = \sum \underline{s}_j(M, t) = \sum_j a_j(M) \exp[i(\varphi_j(M) - \omega t)]$$

Ou encore :

$\underline{a}(M) \sum a_j(M) \exp[i(\varphi_j(M))]$  L'amplitude complexe de  $\underline{s}(M, t)$ . Notons que les termes de phases  $\varphi_j$  jouent ici un rôle décisif.

A partir de l'expression de  $\underline{s}(M, t)$  on calcule l'intensité au point M à un instant t donné :

$$I(M) = \underline{s}(M) \cdot \underline{s}^*(M)$$

Après le calcul, on obtient le résultat suivant:

$$I(M) = \sum_j a_j^2 + \sum_j \sum_{l < j} 2a_j a_l \cos[\varphi_j(M) - \varphi_l(M)]$$

En posant  $I_j = a_j^2$  on écrira la dernière formule de manière équivalente. Mais peut être plus parlante.

$$I(M) = \sum_j I_j(M) + \sum_j \sum_{l < j} 2\sqrt{I_j(M) \cdot I_l(M)} \cos[\varphi_j(M) - \varphi_l(M)]$$

Le premier terme correspond à la somme des intensités, et la deuxième correspond au terme d'interférences.

Intéressons-nous maintenant au cas de deux vibrations lumineuses issues de deux sources  $S_1$  et  $S_2$  et calculons l'intensité lumineuse résultante de leur superposition lumineuse résultante de leur superposition en un point M d'un écran d'observation :

$$\underline{S}(M, t) = \underline{S}_1(M, t) + \underline{S}_2(M, t)$$

**On a directement**

$$I(M) = I_1(M) + I_2(M) + 2\sqrt{I_1(M)I_2(M)} \cos[\varphi_2(M) - \varphi_1(M)]$$

Pour mettre en évidence les interférences dans le domaine lumineux, il faut qu'en chaque point M de l'écran, le terme  $\varphi_2(M) - \varphi_1(M)$  demeure constant dans le champ afin d'obtenir un phénomène stable. Lorsqu'il en est ainsi, les sources  $S_1$  et  $S_2$  des vibrations lumineuses sont dites cohérentes ou synchrones.

Soit deux sources lumineuses  $S_1$  et  $S_2$  ponctuelles monochromatiques et synchrones (cohérentes). Les vibrations de  $S_1$  et  $S_2$  en un point M sont de la forme:

$$E_1^\rho(M, t) = E_{10}^\rho(M) \cos[\omega t - \varphi_1(M)] \text{ et } E_2^\rho(M, t) = E_{20}^\rho(M) \cos[\omega t - \varphi_2(M)]$$

**Avec:**

$$\varphi_1 = 2\pi/\lambda d_1 \quad \text{et} \quad \varphi_2 = 2\pi/\lambda d_2$$

**Alors:**

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi/\lambda (d_2 - d_1) = 2\pi/\lambda \delta$$

Ou la quantité  $\delta = d_2 - d_1$  est appelée la différence de marche entre les deux rayons.

Les lieux des points de même intensité  $I$  sont obtenus pour :

$$\varphi_2 - \varphi_1 = Cte$$

Ils constituent des hyperboloïdes de révolution de foyers  $S_1$  et  $S_2$ . Ainsi, des hyperboloïdes de maximale sont d'amplitude minimale sont obtenus pour :

$$\phi = 2K\pi \text{ Ou } \delta = d_1 - d_2 = K\lambda$$

Et des hyperboloïdes d'amplitude minimale sont obtenus pour :

$$\phi = (2K+1)\pi \text{ ou } \delta = (K+1/2)\lambda$$

### ❖ Etude de la figure d'interférence

On a :

$$S = \overline{S_2M} - \overline{S_1M} = d_2 - d_1; \overline{S_1S_2} = 2a, \overline{O O'} = d; \overline{OM} = x$$

Pour  $d \gg x$  et  $d \gg a$ , et en faisant un développement limité, on trouve

$$\delta = d_2 - d_1 \approx 2ax/d$$

Ainsi, les franges brillantes sont obtenue pour:

$$\delta = (K' + 1/2)\lambda = \frac{2ax_{K'}}{d} \text{ ou } x_{K'} = (K' + 1/2)\lambda d/2a$$

Le terme  $i = \lambda d/2a$  et appelé interfrange; il représente la distance entre deux franges homologues consécutives. La quantité  $P = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{2ax}{\lambda d} = x/i$  est appelée ordre d'interfrange.

La frange centrale correspond donc à un ordre d'interférence nul. Il convient de préciser que l'observation des interférences lumineuses nécessite un certain nombre de conditions :

- Les sources  $S_1$  et  $S_2$  doivent être synchrones, c'est-à-dire que les deux sources vibrent à la même fréquence :  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$
- Les vibrations de  $S_1$  et  $S_2$  doivent être cohérentes, c'est-à-dire que:

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = Cst.$$

- Les deux vibrations doivent être inclinées ou presque parallèles. L'un des dispositifs les plus utilisés pour obtenir des interférences est celui des trous d'Young. Son importance historique a été importante car il a permis, pour la première fois, d'évaluer des longueurs d'ondes lumineuses.

**Remarque :** Le même raisonnement peut être appliqué dans le cas des interférences à ondes multiples. [14]

# *Chapitre II*

## *Les instruments optiques*

## I. Introduction

La vision est un ensemble de mécanismes physiologiques complexes par lesquels l'homme peut appréhender à distance, son environnement proche ou lointain.

Les hommes ont découvert les propriétés de la lumière pour ensuite concevoir de nombreux instruments qui utilisent ses propriétés. Certains, de ces instruments nous ont permis de découvrir des mondes jusqu'à l'inconnu, et d'autres ont amélioré notre qualité de vie.

## II. Généralité et définitions

### II.1. Les matériaux optiques

#### ❖ Les verres

Un verre est un solide amorphe (non cristallin), composé principalement de silice, combinée à d'autres composés en proportions choisies pour que le verre ait des propriétés physiques déterminées (indice de réfraction, dispersion, couleur, transparence, température de fusion,...). Il y a des milliers de types de verre avec des propriétés optiques caractéristiques. Comme le crown glass et le verre de quartz...

Le verre est le matériau le plus utilisé en optique (lentilles, lunettes, microscopes et appareils photographiques...). Il doit être parfaitement transparent, donc extrêmement pur et homogène. Les surfaces doivent être aussi parfaites que possible les lunettes et les prismes sont souvent fabriqués avec du verre à base d'oxyde. Pour améliorer la performance des systèmes optiques, on traite les surfaces en déposant une couche transparente d'indice et d'épaisseur convenablement choisie afin de réduire la réflexion (traitement antireflet) ou l'augmenter (miroirs diélectriques).

Certains verres, dits photochromiques, émettent un rayonnement laser, s'ils reçoivent la lumière ordinaire, ils sont utilisés dans les lasers. Le verre est actuellement employé pour fabriquer les fibres optiques très utilisées en télécommunication, médecine, industrie et recherche scientifique. [15]

#### ❖ Les cristaux solides

Les cristaux se désignent par les structures atomiques bien définies et périodiques dans toutes les directions de l'espace. Un corps cristallin peut être « monocristal » visible à l'œil nu est de forme géométrique extérieure qui reflète parfois sa structure atomique caractéristique. Il n'est pas alors isotrope, ses propriétés mécaniques et électromagnétiques dépendent de la direction. [15]

### ❖ Les cristaux liquides

Certain liquides sont mésomorphes. Ils ont des propriétés optiques qui résultent de l'action du champ électrique de l'onde lumineuse sur l'orientation des molécules. La transparence de certains cristaux liquides peut varier, ils deviennent alors plus foncés d'où l'utilisation des cristaux liquides pour l'affichage sur les écrans des ordinateurs, des téléviseurs, des calculatrices, .... [15]

### ❖ Les miroirs

Un miroir est un élément réfléchissant qui pourrait être par exemple, un morceau de verre noir ou une surface métallique finement polie. Dans le passé, les miroirs étaient souvent faits de verre recouvert d'une couche d'argent, choisi du fait de ces bonnes performances de réflexion dans l'UV et dans l'IR. Aujourd'hui, on utilise plutôt de l'aluminium déposé sur un substrat très finement poli par évaporation sous vide. On peut aussi déposer de l'aluminium et des couches de protection en monoxyde de silicium ou en fluorure de magnésium.

On a deux types de miroirs (plans et sphériques). [16]

### ❖ Les lentilles

Une lentille est formée par l'association de deux dioptries dont l'un au moins est sphérique, l'autre pouvant être, à la limite, plan.

Il existe six formes possibles de lentilles :

-lentille biconvexe.

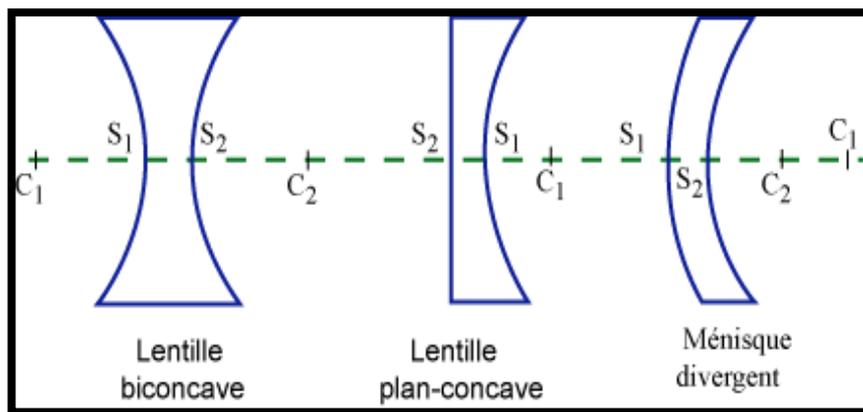
-lentille biconcave.

-lentille plan-convexe.

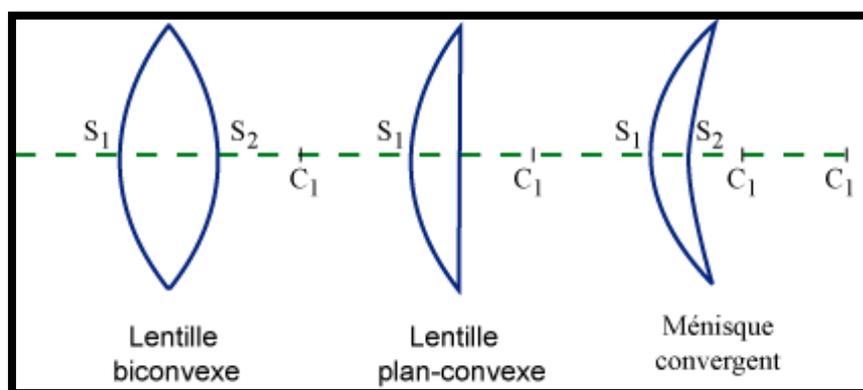
-lentille plan-concave.

-ménisques à bords minces.

-ménisques à bords épais.



**Figure .II.1 :** Lentilles divergentes



**Figure .II.2 :** Lentilles convergentes

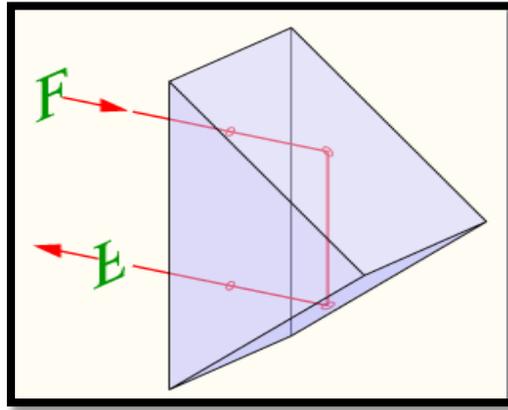
**Remarque :** Si la lentille est plus mince aux bords qu'au milieu elle est «convergente», sinon elle est «divergente».

Les lentilles convergentes font converger les faisceaux parallèles de lumière. Elles grossissent les objets assez proches. [17]

#### ❖ Le prisme

Le prisme est un milieu réfringent, transparent, homogène et isotrope limité par deux dioptries plans qui se coupent suivant une droite appelée « arête » de prisme. On caractérise le prisme par l'angle A du dièdre formé par les deux plans et par son indice « n » de réfraction.

En générale le prisme est plongé dans l'air le prisme est utilisé soit pour changer le sens ou la dériction de propagation d'un rayon lumineux à la suit de réfraction ou de réflexion, soit pour analyser une lumière polychromatique grâce à ses propriétés dispersives. [2]



**Figure .II.3 :** Marche d'un rayon lumineux à travers un prisme

Si l'on associe plusieurs systèmes optiques l'un après l'autre dans le sens de propagation de la lumière. L'image fournie par le système qui précède est l'objet pour le système qui suit. L'image finale se détermine en appliquant successivement les relations de conjugaison. [2]

### III. Relations de conjugaison

Dans un système optique, l'objet et son image, sont appelés éléments conjugués. La relation mathématique qui lie leurs positions par rapport au système optique en fonction des paramètres de cet instrument et des indices de réfraction des milieux où ils se trouvent, est appelée « formule de conjugaison » du système optique. [11]

## IV. Les instruments optiques

### IV.1. Définition

Un instrument optique est l'ensemble des appareils utilisés par l'œil humain pour observer les objets qui nous entoure en détails.

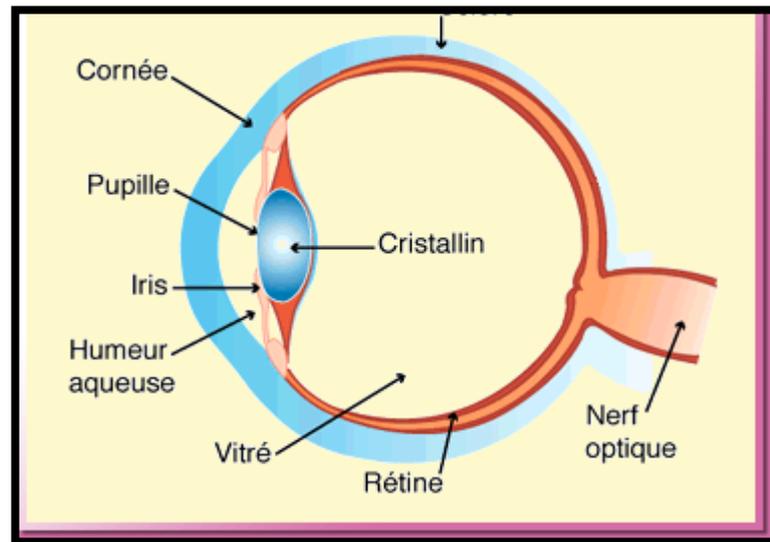
L'œil est l'instrument fondamental utilisé dans la vision naturel des objets qui nous entoure. [11]

### IV.2. description de l'œil humain

L'œil est un instrument optique complexe, comprenant les principales caractéristiques suivantes :

- La cornée joue un rôle d'un dioptre sphérique.
- L'iris : diaphragme qui permet de contrôler la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil. Son pigment détermine la couleur de l'œil.
- La pupille représente l'ouverture de l'iris.

- Le cristallin agit comme une lentille convergente de distance focale variable.
- La rétine joue le rôle d'un plan d'observation.
- La fovéa, ou tache jaune, est la partie de rétine capable d'analyser l'image de manière la plus fine.
- Le nerf optique transmet les informations au cerveau qui les interprète. [18]



**Figure .II.4 :** Description de l'œil humain

#### - Quelques défauts de l'œil

Le fonctionnement de l'œil peut présenter quelques anomalies par rapport à l'œil emmétrope. Citons en quelques unes :

- ❖ **Myopie :** anomalie de l'œil dans laquelle l'image d'un objet éloigné se forme en avant de la rétine. L'œil est trop convergent. On peut corriger la myopie en plaçant devant l'œil une lentille divergente. [19]
- ❖ **Hypermétropie :** anomalie de l'œil dans laquelle l'image d'un objet éloigné se forme en arrière de la rétine. L'œil n'est pas assez convergent. En plaçant une lentille convergente adaptée on corrige l'hypermétropie. [19]
- ❖ **Astigmatisme :** anomalie de l'œil dans laquelle un même point d'un objet donne une tache image. La cornée de l'œil a une forme irrégulière, la vision des objets est déformée. L'astigmatisme rend notamment la lecture difficile. [19]
- ❖ **Presbytie :** la presbytie n'est pas à proprement parler une anomalie de l'œil, il s'agit d'un vieillissement normal du cristallin qui l'empêche d'accommoder de manière satisfaisante. Le punctum proximum s'éloigne avec l'âge. [19]



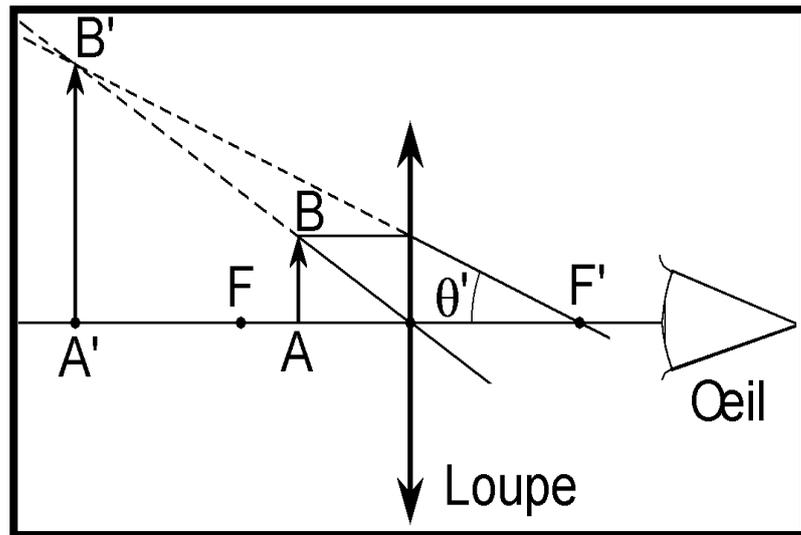


Figure. II.6 : Principe de base d'une loupe

#### ❖ Grossissement

Le grossissement  $G$  d'un appareil est défini par :

$$G = \frac{\theta}{\theta'}$$

Où «  $\theta'$  » est l'angle sous lequel on voit en détail dans l'image alors que «  $\theta$  » est l'angle maximum sous lequel l'œil nu peut le voir. Ici l'image est virtuelle et vue à l'infini sous l'angle :

$$\theta' = \frac{h}{f'}$$

$f'$ : Distance focale image

$h$ : La hauteur

Alors qu'un œil nu verrait ce détail sous l'angle.

$$\theta = \frac{h}{dm}$$

$dm$ : La distance entre l'œil et l'instrumente optique

Ainsi, une loupe présente un grossissement dit : « commercial »

$$G_c = \frac{dm}{f'} \quad [21]$$

## V.2. Microscope optique

### ❖ Définition

Un microscope est un instrument de très fort grossissement qui résulte de l'association de deux systèmes convergents. Il sert à observer de petits objets rapprochés. [22]

### ❖ Principes de base

#### ➤ Objectif

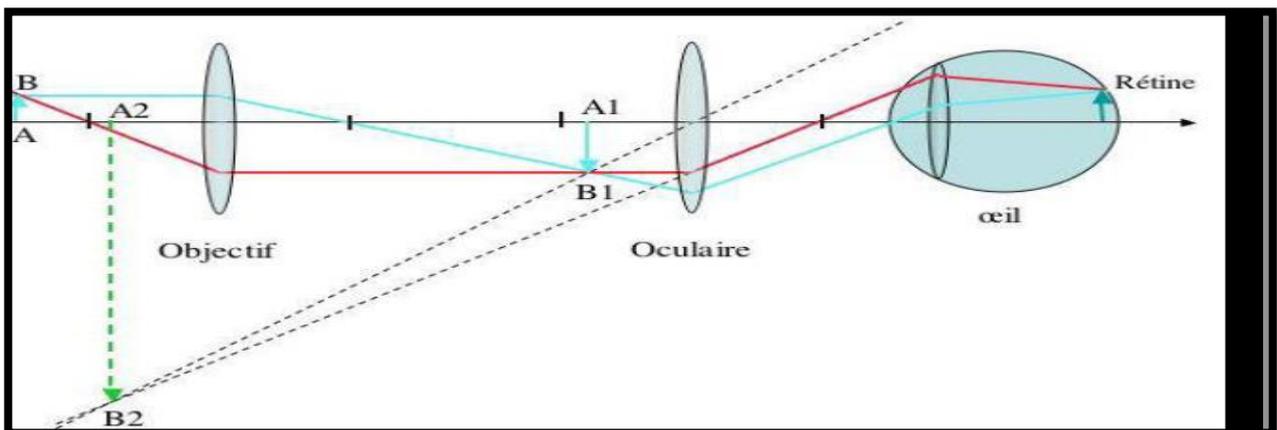
Le microscope a un objectif convergent dont le rôle est d'agrandir l'objet observé. Pour cela on cherchera à rapprocher l'objet du plan focal objet de l'objectif.

#### ➤ Oculaire

Son oculaire se comporte comme une loupe et qui permet de grossir l'image intermédiaire.

Par construction, l'objectif et l'oculaire sont solidaires dans un tube que l'on peut translater minutieusement à l'aide d'une molette.

L'objectif donne de l'objet  $AB$  observée une image réelle  $A_1B_1$  renversée et très agrandie qui joue pour l'oculaire le rôle d'objet réel. L'oculaire donne de cet objet une image virtuelle  $A_2B_2$  agrandie, vue par l'observateur. L'oculaire est utilisé comme loupe. Enfin, l'œil forme une image de l'objet  $A_2B_2$  sur la rétine. [21]



**Figure. II.7 :** Principe de base d'un microscope

### ❖ Grossissement

Le grossissement commercial,  $G_c$  est le rapport entre l'angle «  $\alpha'$  » lorsque l'image est placée à l'infini et l'angle «  $\alpha$  » sous lequel on voit l'objet à l'œil nu à la distance  $d_m$  (i.e. au punctum proximum), soit :

$$G_c = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

$$\alpha' = \frac{A_2B_2}{f'_2} \quad \text{et} \quad \alpha = \frac{AB}{d_m}$$

-« AB » : l'objet

-«  $A_2B_2$  » : L'image virtuelle

Où l'on reconnaît le grandissement transversale de l'objectif  $|g_t| = A'B'/AB$  ainsi que le grossissement de l'oculaire  $G_{oc}$ . Le grossissement commercial est donc le produit du grandissement de l'objectif et du grossissement commercial de l'oculaire.

$$G_c = g_t \cdot G_{oc}$$

$$G_c = \frac{\Delta d_m}{f'_1 f'_2} \quad [21]$$

## VI. Instruments pour objets éloignés

Lorsqu'on observe certains corps très éloignés à l'œil, leur détails paraissent, en générale, flous quand ils ne sont pas invisible (diamètre apparents inférieurs à l'acuité visuelle de l'œil). Pour les observer, on a conçu des appareils optiques qui permettent d'augmenter les diamètres apparents de leurs images et par conséquent de les rendre visibles ; ces appareils sont appelés **lunettes** et **télescopes**. Ils sont formés essentiellement d'un organe collecteur du rayonnement émis par les objets à visualiser et des équipements complémentaires. Selon que l'organe collecteur est une lentille ou un miroir, l'instrument est appelé lunette ou télescope. [11]

### VI.1. Lunette astronomique

#### ❖ Définition

La lunette astronomique est un instrument optique constitué de deux lentilles convergentes ayant le même axe optique elle est utilisée pour observer des objets plus éloignés. [23]

#### ❖ Principes de base

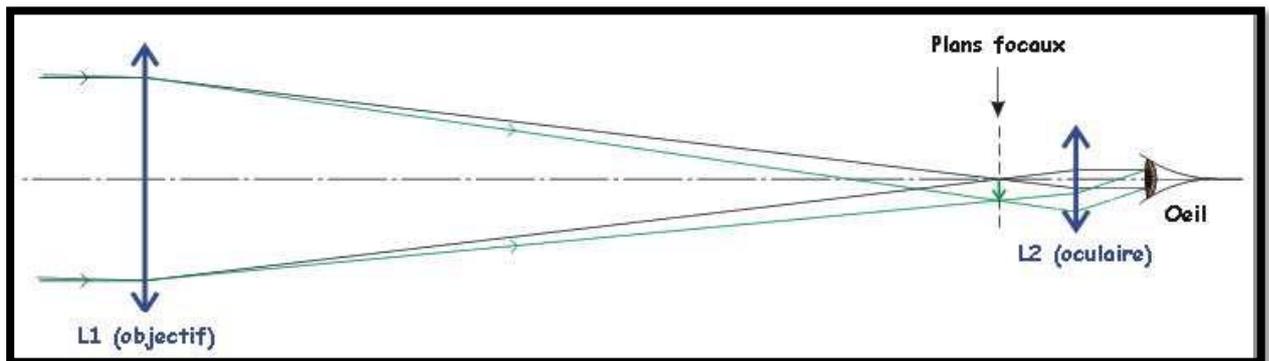
Dans son principe, la lunette a un objectif dont le rôle est de ramener l'image d'un astre sur terre. [21]

➤ **Objectif**

L'objectif est une lentille convergente de grande focale qui projette l'astre dans son plan focal. [21]

➤ **Oculaire**

Son oculaire joue le rôle d'une loupe. L'oculaire permet de grossir l'image que donne l'objectif. [21]



**Figure .II.8 :** Principe de base d'une lunette astronomique

❖ **Grossissement**

Si l'on note " $\alpha$ " le diamètre apparent de l'astre, c'est-à-dire l'angle sous lequel est vu l'astre depuis la terre, on a :

$$\alpha = \frac{h}{f'_1}$$

-Avec « h » la taille de l'image intermédiaire. L'image est virtuelle et vue sous l'angle :

$$\alpha' = \frac{h}{f'_2}$$

Le grossissement de la lunette vaut alors :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f'_1}{f'_2} \quad [21]$$

## VI.2.Télescope

❖ **Définition**

Le télescope est un instrument d'observation (terrestre et astronomique), il se décompose d'une combinaison de lentilles et des miroirs parfaitement alignés qui permet de :

- Concentrer le plus possible de la lumière à un point précis.

- Grossir l'objet observé par l'utilisation de lentille. [24]

### ❖ Principes de base

Il est composé d'un collimateur (miroir sphérique en générale), constitué d'un miroir concave, jouant le rôle d'objectif et d'un oculaire de faible distance focale.

L'objet à visualiser étant très éloigné, donc à l'infini, le miroir concave forme une image réelle, de cet objet, dans son plan focal image qui est ensuite observée, après réflexion sur un miroir, au moyen d'un oculaire. [11]

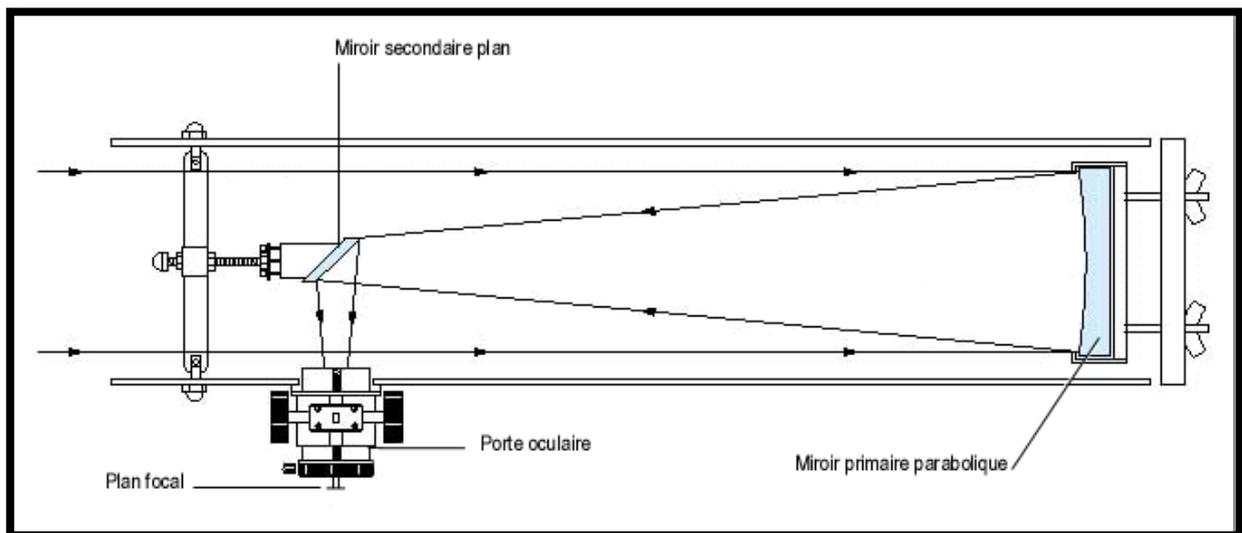


Figure. II.9: Principe du télescope

### ❖ Grossissement

Le grossissement du télescope peut s'écrire :

$$G = \frac{\text{diamètre apparent de l'objet à travers le télescope}}{\text{diamètre apparent de l'objet}}$$

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

En représentant le télescope sous la forme de deux lentilles placées l'une derrière l'autre, on peut démontrer que le grossissement  $G$  du télescope est donné par la relation :

$$G = \frac{\text{distance focale de l'objectif}}{\text{distance focale de l'oculaire}} \quad [21]$$

## VII. Enregistreur d'image

### VII.1.Appareil photographie

#### ❖ Définition

L'appareil photographique, appelé aussi caméra qui signifie chambre en latin, est l'instrument d'optique le plus répandu. Il ressemble à l'œil, comme le montre le tableau suivant, dans lequel il explicite la correspondance entre les divers éléments. Notons cependant que la mise au point dans un appareil photographique diffère de l'accommodation oculaire, puisqu'elle s'opère en modifiant la distance qui sépare l'objectif du détecteur. [25]

Œil	Appareil photographique
Dioptre et cristallin	Objectif
Iris	Diaphragme
Pupille	Ouverture
Rétine	Détecteur
Accommodation	Mise au point

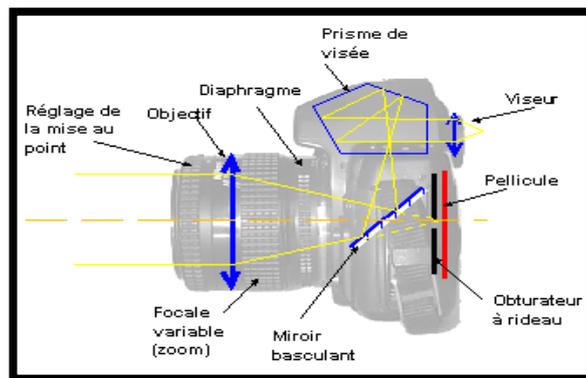


Figure. II.10:Eléments constitutifs d'un appareil photographique

#### ❖ Eléments constitutifs

L'appareil photographique est constitué principalement d'un ensemble de plusieurs lentilles qui forment l'image réelle d'un objet sur un détecteur sensible aux radiations lumineuses. Le système optique est associé à un boîtier qui joue le rôle de la chambre noire et dans lequel on trouve : le détecteur (film sensible ou CCD), un obturateur, un système optique de visée et de mise au point et une cellule photo-électrique d'évaluation d'un flux lumineux incident. La figure 11 représente les éléments essentiels d'un appareil photographique, muni d'un dispositif de visée de type réflex. Ce dernier permet de voir l'image détecter. Il comprend un miroir basculant, un penta prisme en toit, une lentille oculaire. [25]

### ❖ Grandissement

L'appareil photographique se décompose d'une association des lentilles avec un grandissement appelé « le grandissement longitudinal » représente le rapport entre un plan objet «  $\Delta$  », et un plan image «  $\Delta'$  ».

$$g_l = \frac{\Delta'}{\Delta}$$

Rappelons que pour une lentille, le grandissement longitudinal est relié au grandissement transversal.

$$g_l = g_t^2.[11]$$

## VIII. Optique moderne

### VIII.1. L'interférométrie

L'interférométrie est l'étude et l'utilisation du phénomène d'interférence dû aux propriétés ondulatoire de la lumière. Le phénomène d'interférence se produit lorsque deux ou plusieurs mouvements oscillatoires cohérents (de même fréquence et de phase relative fixe) coexistent dans l'espace et dans le temps, et se superposent. De manière générale, deux méthodes de réalisation de franges d'interférences existent: par division du front d'onde et par division d'amplitude (interféromètres de Michelson, Mach-Zehnder, Jamin, etc.). La dernière méthode présente un grand intérêt où l'utilisation des miroirs supplémentaire permet de séparer les rayons, que l'on peut ainsi manipuler avant de les recombinaison.

#### ❖ Principe

- **problème de l'antenne unique:** résolution spatiale  $\theta \sim \lambda/D$  (D: diamètre du télescope).
- **Idée:** remplacer le diamètre du télescope par la distance entre deux télescopes.
- **En interférométrie:** un télescope va échantillonner le champ d'onde électromagnétique.
- **Une seule source ponctuelle:** champ électromagnétique cohérent.
- une source qui comprend deux sous sources ponctuelles émet deux champs d'onde séparés qui n'interagissent pas  $\Rightarrow$  ils sont incohérents.
- cela est reconnu par un interféromètre.
- il faut mesurer la cohérence des signaux.
- en principe un interféromètre ne fonctionne que correctement si le champ électromagnétique peut être décrit par une onde de longueur d'onde, fréquence, phase etc.... bien définis.
- **résolution spatiale:**  $\theta \sim \lambda/B$  (B: ligne de base maximum)

# *Chapitre III*

## *Les applications des instruments optiques*

## I. Introduction

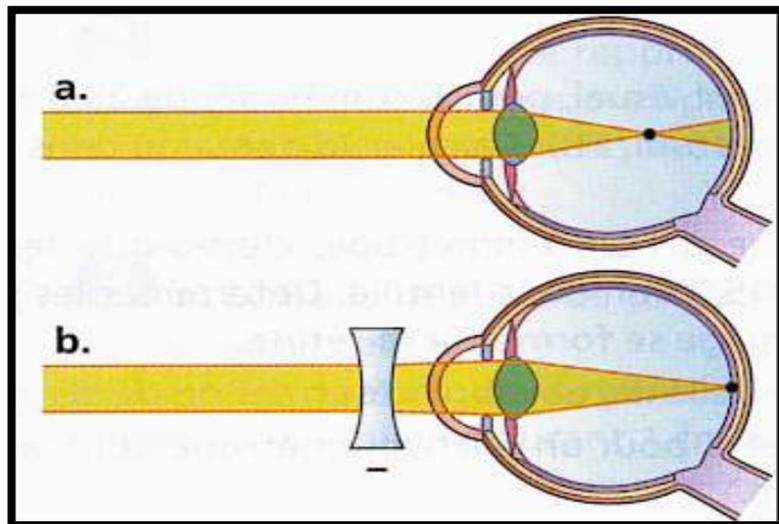
L'optique instrumentale a connu une évolution considérable, à cause de sa nécessité et de ces applications dans la majorité des domaines de notre vie.

## II. Applications des lentilles (correction de la vision)

Certaines personnes ont une mauvaise vision à cause de la forme anormale de leur globe oculaire ou de leur cornée, ou du durcissement de leur cristallin. On peut corriger ces problèmes avec des lunettes, des verres de contact ou une chirurgie au laser. [26]

### II.1. Myopie

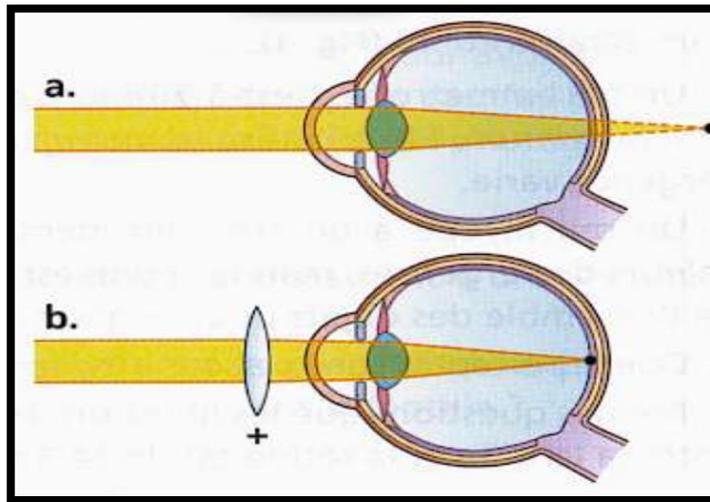
Le verre des lunettes ou les lentilles (divergentes) vont réorienter les rayons lumineux pour que l'image se forme sur la rétine. [26]



**Figure.III.1 : a. L'œil myopie - b. corrigé de la vision par une lentille divergente**

### II.2. L'hypermétropie

La correction d'un œil hypermétropie soit par le port de lunettes ou de lentilles dont le verre réoriente les rayons lumineux pour que l'image se forme sur la rétine (convergentes). [26]

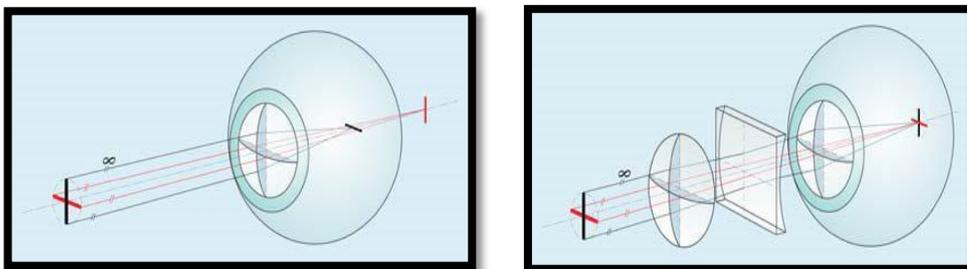


**Figure. III.2:** a. L'œil hypermétropie - b. Correction de la vision par lentille convergente

### II.3. L'astigmatisme

Dans l'œil astigmatique, les rayons provenant d'un objet lointain ne sont pas focalisés en un seul point. De ce fait, l'image sur la rétine est déformée.

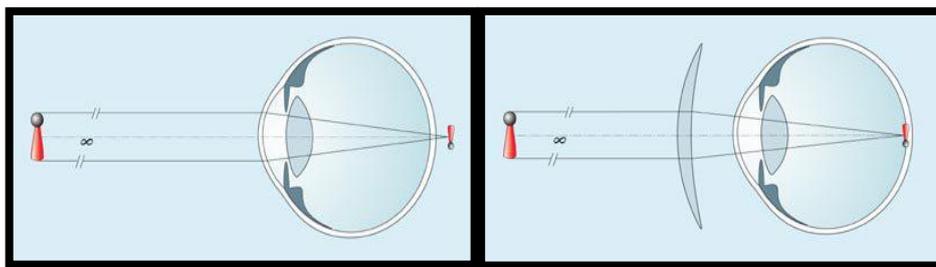
L'astigmatisme se corrige grâce à un verre torique aux courbures différentes selon les axes considérés pour compenser le défaut de courbure de la cornée. Les verres toriques, par exemple, présentent des différences d'épaisseur dans les bords. [26]



**Figure. III.3 :** L'œil astigmatisme et sa correction par lentille

### II.4. La presbytie

La presbytie peut être corrigée par le port de lunettes (verres progressifs) ou lentilles de contact bi ou multifocales. [26]



**Figure. III. 4 :** L'œil presbytie et sa correction avec la lentille

### III. Applications du microscope optique

Le microscope est un instrument d'optique très important, il est utilisé plus tôt pour l'observation proche. Il a beaucoup d'applications dans des différents domaines.

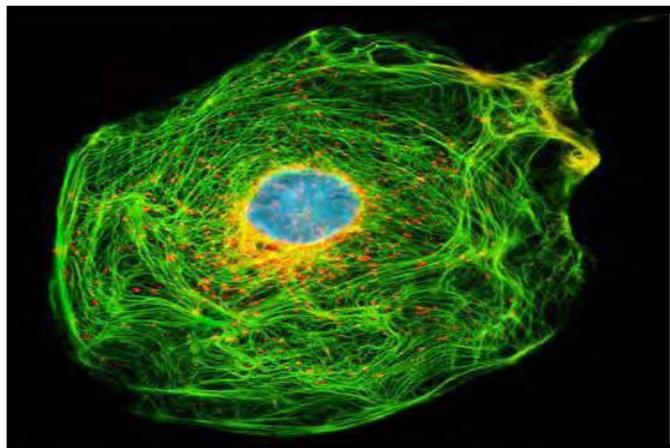
#### III.1.Histologie ou cytologie

L'histologie est l'étude des tissus ; la cytologie est celle des cellules. Les deux méthodes d'analyse sont très proches et utilisent les mêmes outils. Il s'agit d'examiner directement, ou à l'aide de marqueurs, la texture, la forme ou les propriétés de ces composants. L'examen s'opère à l'aide d'un microscope. Les tissus placés sur une lame peuvent être révélés :

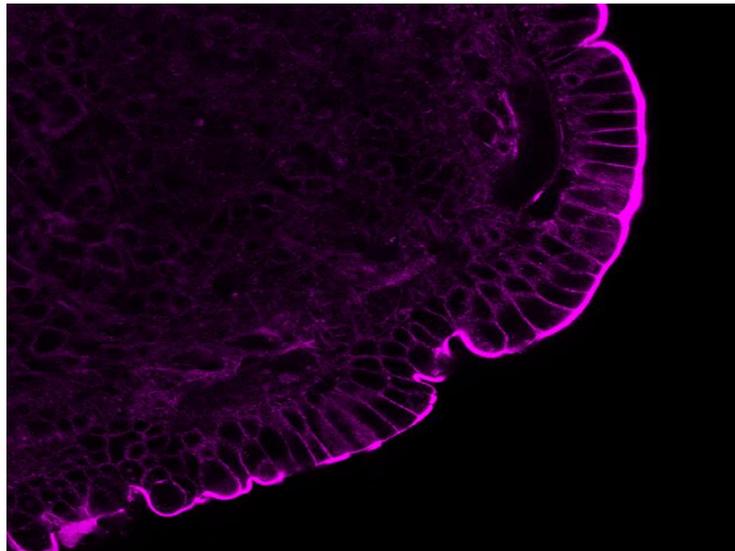
- à l'aide d'un éclairage spécifique
- à l'aide de traceurs enzymatiques
- par des anticorps marqués, en général d'un traceur fluorescent (immunohistochimie)
- par des nanosphères fluorescentes – QD : Quantum Dots – qui augmentent sensiblement la sensibilité de détection tout en restant amorphe à l'égard des tissus.

Ce marché se développe avec l'apparition de techniques de dosage cinétique permettant de tester l'efficacité in situ d'un médicament sur les cellules malades. Les techniques de QD semblent à cet égard particulièrement prometteuses et devraient permettre des observations in vivo au travers de l'épiderme. Un autre axe d'amélioration est l'augmentation de la finesse de résolution permettant d'observer les détails à l'échelle de la cellule. Il a ainsi été démontré que l'on pouvait détecter le comportement des parois cellulaires, au sein de neurones (effet synaptique, péri synaptique ou extra synaptique de perméation des protéines inductrices). Pour cela, on utilise des éclairages laser femto seconde qui permettent de visualiser la protéine élémentaire.

On l'a vu, la microscopie confocal permet de visualiser par tranches (en pseudo 3D). La fluorescence Raman est également utilisée pour déterminer la qualité des tissus traversés lors de l'observation en microscopie confocal. [27]



**Figure. III.5 :** Image d'une cellule sous microscope à fluorescence



**Figure. III.6 :** Image d'une cellule sous microscope confocal

### III.2. Microscopie chirurgicale

Un des développements récents concerne la microscopie confocale à balayage laser *in vivo* dans les lésions pigmentées bénignes et malignes. À l'heure actuelle, le seul moyen de diagnostiquer un cancer de la peau est d'enlever la lésion en partie ou en totalité. Ce mode opératoire peut entraîner l'ablation inutile de certaines lésions ou, au contraire, la non-exérèse d'une lésion cancéreuse. Les scientifiques tentent donc de mettre au point des techniques non invasives qui facilitent le diagnostic précoce. Le microscope confocal au laser permet de visualiser des tissus vivants à l'échelon cellulaire. Tout comme un appareil d'IRM (Imagerie par Résonance Magnétique) ou un tomodensitomètre (« scanner ») captent les structures anatomiques macroscopiques, le microscope confocal permet d'obtenir *in vivo*, de façon rapide et non invasive, des images de la peau humaine montrant le détail de la morphologie cellulaire et nucléaire. Cette technologie est une véritable « fenêtre » ouverte sur les tissus vivants et permet un examen pathologique non invasif des tissus. Grâce au laser, on pourra sans doute bientôt diagnostiquer un cancer sans passer par la biopsie. Un second développement concerne l'émergence de la stéréomicroscopie qui est incontournable dès lors que l'appréciation de la profondeur et du contraste deviennent des éléments essentiels du diagnostic ou du traitement. Ces instruments sont également utilisés en recherche biotechnologique où l'on procède à des manipulations très délicates d'organismes sensibles. Le marché de la microscopie est aujourd'hui dominé par les acteurs japonais et allemands, soit par ordre d'importance Nikon, Zeiss, Olympus et Leica. D'autres acteurs peuvent être cités comme Bio-Rad Microscopy Labs., Inc. ou Hamamatsu Photonics KK. [27]

### III.3. Les applications pour l'industrie pharmaceutique

#### ❖ Le criblage moléculaire

L'un des défis de l'industrie pharmaceutique est aujourd'hui de remplir ses tuyaux avec de nouveaux médicaments en développement. L'une des stratégies adoptées est de revisiter des molécules connues, archivées dans des chimiothèques, en testant celles-ci sur de nouvelles cibles pharmacologiques ou sur des tests in vitro ou ex vivo pour de nouvelles indications non envisagées lors des développements initiaux.

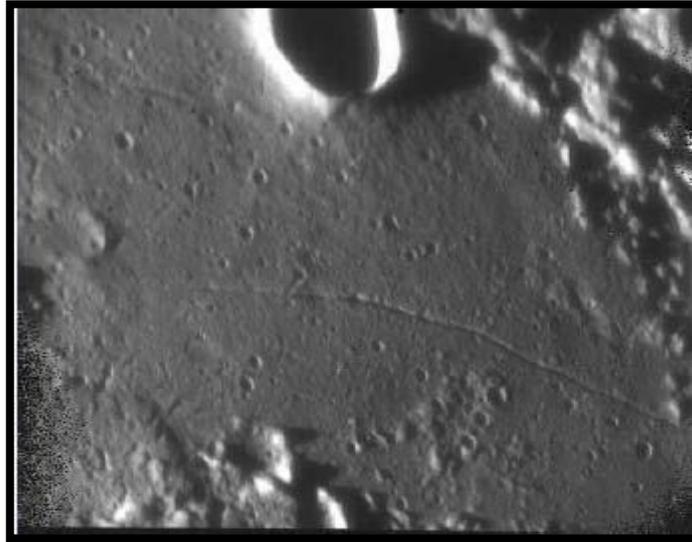
Une autre stratégie consiste, en aveugle, à confronter des nouvelles combinaisons de synthèse chimique à une certaine cible biologique clé. Tout ceci nécessite des expériences en batteries que les méthodes actuelles de robotisation facilitent ; ainsi sont nées les premières plateformes de screening moléculaire à haut débit qui permettent de tester des dizaines de milliers de molécules en quelques semaines contre des milliers actuellement. Elles ont permis de multiplier par dix les capacités de criblage moléculaire (synthèse, séparation, activité). Ces technologies nécessitent la maîtrise de la miniaturisation (certains développements incluent l'usage des biopuces), la gestion de l'interface microélectronique, micromécanique et biologie. S'est développée en parallèle la science de la bioinformatique, pour décoder les résultats de toutes ces combinaisons. Au départ et toujours actuellement développés par de jeunes pousses (telles Novaleads qui travaille à la mise au point d'une nouvelle technologie de criblage moléculaire sur cellules vivantes) ces technologies sont intégrées progressivement dans les plus grands groupes pharmaceutiques ou organismes de recherche. Le marché mondial du HTS (High Throughput Screening) était en 2003 de 1,8 milliard de dollars, un quart correspondant à des équipements portant des systèmes photoniques (spectrophotomètres, caméra CCD...). Les réactifs représentent la part la plus significative du marché. [27]

### IV. Applications d'un télescope

Depuis plusieurs années, le télescope a permis de réaliser des découvertes majeures comme celle des observations terrestres et astronomiques (lune, étoiles et planètes...).

#### IV.1. Observation Terrestre

Le télescope LX90 offre une haute résolution excellente pour l'observation terrestre. Mais observer des objets terrestres implique de pointer plus ou moins parallèlement à la surface de la terre, à travers les turbulences dues à la chaleur. Ces ondes de chaleurs provoquent fréquemment une dégradation de la qualité de l'image. L'observation soit tôt le matin, avant que le sol ait accumulé de la chaleur, la meilleure condition d'observation qu'en fin de journée comme l'observation de la lune. Où la lumière solaire l'éclaire de manière à en faire mieux ressortir les reliefs. À la pleine Lune aucun relief n'est perceptible, car aucune ombre n'est portée, rendant sa surface plate et assez inintéressante. [28]



**Figure. III.7 :** Image de la surface de la lune observée par un télescope

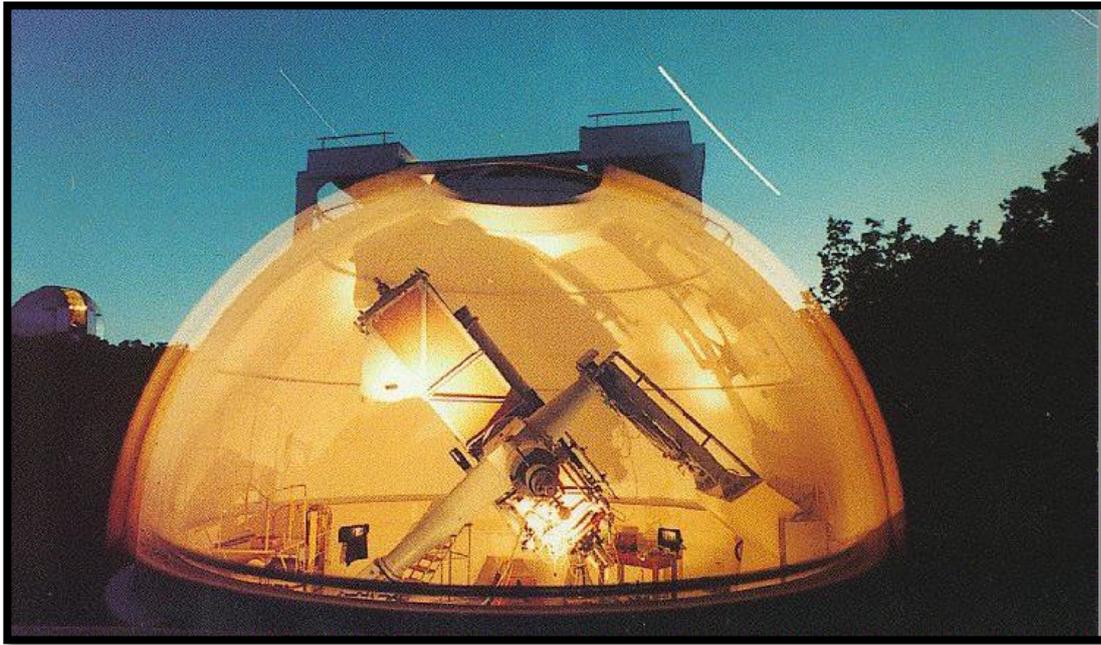
#### **IV.2.Observation astronomique**

Le grand défi de l'astronomie est aujourd'hui de s'affranchir des perturbations atmosphériques afin d'obtenir des images nettes à la limite de diffraction. La qualité des optiques du télescope joue un rôle extrêmement important autant que la compréhension des phénomènes qui se produisent entre la source astronomique et le signal réceptionné par le télescope. [28]

#### **IV.3.Autres applications**

##### **❖ Télescope de 80 cm de l'OHP**

Un prototype du contrôleur de télescope fonctionne en autonome (sans PC) depuis 1997 au télescope de 80 cm de l'OHP (Figure 8). Il est également connecté à un PC pour assurer le guidage automatique du télescope. La caméra de guidage est une caméra vidéo reliée au PC via une carte de digitalisation (carte SECAD). Un stagiaire informaticien a écrit un logiciel (SUET) permettant l'intégration, l'acquisition et l'analyse des images. Le programme calcule la position de l'étoile-guide par ajustement gaussien, en déduit le sens et la durée des corrections nécessaires, et envoie les rappels au contrôleur de télescope. Le fonctionnement du système est très satisfaisant. [28]



**Figure. III.8 :** Représentation d'un télescope de 80 cm de l'OHP

#### ❖ **Télescope Boule OVLA**

Enfin, le pilotage de la monture boule du télescope prototype OVLA est certainement l'une des plus belles applications.

La souplesse et la modularité du contrôleur de télescope nous ont permis de contrôler sans difficultés majeures l'entraînement et le pointage automatique de la monture boule. Pour cela, on ajoute un module permettant la lecture d'un inclinomètre double-axes servant de codeur. De plus, grâce aux équations matricielles générales décrites précédemment, le microcontrôleur peut calculer les vitesses d'entraînement de toutes les montures, avec très peu de code à modifier.

Cette polyvalence est extrêmement utile, surtout pour le télescope-boule qui peut simuler le mouvement d'un équatorial (pour annuler la rotation de champ), d'un alt-azimutal (pour stabiliser l'azimut de plus grande pente) ou encore d'un alt-alt (pour stabiliser le faisceau coudé). [28]

#### **V. Application de l'interféromètre**

L'interféromètre est un instrument de l'optique moderne basé sur l'optique ondulatoire. Il a beaucoup d'applications.

### V.1.L'interférométrie optique dans l'astronomie moderne

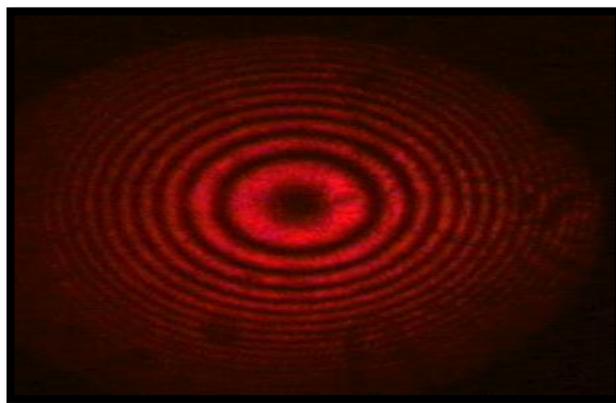
En superposant l'onde venue de deux télescopes différents, on peut mettre en évidence de très faibles différences de chemin optique, ce qui donne accès à des détails très fins de l'image. Cela a été réalisé pour la première fois en 1975 par Antoine Labeyrie avec deux télescopes de 1.5 m espacés de 12 m. Depuis, ce même principe a été appliqué à une échelle plus grande, dans toute une gamme de longueur d'onde. Les deux télescopes de 10 mètres de Keck, situés à Hawaï, peuvent être utilisés en mode interférométrique, avec un écartement de 85 mètres, les quatre télescopes de 8.2 m de VLTI, développés par ESO et situés au Chili, sont séparés de 200 m environ. La mise en œuvre des techniques interférométriques dans le domaine optique constitue un défi technologique majeur dont les principales difficultés ont aujourd'hui été résolues. [29]

### V.2.Mesure des grands rayons de courbure

Sur un montage issu de l'expérience de Newton, on observe les franges en anneaux données entre un plan optique et une sphère de grand rayon de courbure (plusieurs dizaines de mètres sur des diamètres pouvant aller jusqu'à 150 mm). Sur le montage, un microscope équipé d'un système de translation permet de pointer les anneaux successifs. Du diamètre  $D_k$  de ces anneaux on déduit un rayon de courbure  $R$  de la surface testée d'après la relation :

$$R = (D_k^2 - D_1^2)/(8k\lambda)$$

La figure (9) montre la photographie des anneaux observés avec un rayon de courbure de 370m sur un diamètre de 150 mm. Le rayon  $R$  est mesuré avec une incertitude égale à 10m correspondant à un peu plus de 0.5 interfrange. [30]



**Figure.III.9 :** Anneaux de Newton observés à l'interférométrie de Fizeau entre un dioptre de 150 mm de diamètre et 370 m de rayon de courbure et un plan de référence.

### V.3.Lecture optique des pistes des CD

Les disques compacts (CD) sont des supports numériques sur lesquels l'information est stockée sous la forme d'une succession de micro-cuvettes séparées par des régions plates. Un fin faisceau de lumière cohérente (un laser As Ga à 780 nm, dans l'infrarouge donc) est envoyé sur le support, et l'intensité du faisceau réfléchi est fortement modifiée si une cuvette est présente. En effet, la profondeur des cuvettes est choisie au quart de la longueur d'onde utilisée (la profondeur est alors de  $780/1.55/4 \sim 125\text{nm}$ , ou il a fallu prendre en compte l'indice  $n=1.55$  du matériau de protection qui remplit la cuvette), si bien que la lumière réfléchie par le fond est en opposition de phase avec celle réfléchie par les bords, ce que conduit à des interférences destructives. La quantité de lumière réfléchie varie donc au passage d'une cuvette, ce qui est traduit en un signal électrique contenant l'information. [29]



**Figure. III.10 :** Représentation des CD

*Conclusion générale*

## CONCLUSION GENERALE

Le présent travail nous a permis de contribuer à comprendre les principes de fabrication des instruments optiques.

Dans cette perspective, nous avons fait une étude théorique sur les lois de l'optique, et nous avons essayé d'expliquer les principes de base des différents instruments comme nous avons accédé à plusieurs applications de ses instruments.

D'après notre étude, l'optique a été utilisée à plusieurs domaines comme la correction de la vision. Il a aussi développé notre connaissance sur l'univers en donnant une idée sur l'existence des planètes, des étoiles, et nous a informé sur la structure microscopique des atomes et des cellules.

Le but principal de notre travail est de fournir un document simple qui permettra au lecteur de construire sa connaissance sur le domaine de l'optique qui construit une partie intéressante de notre vie quotidienne.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. André Grandchamps Astronome, « la lumière », 2005 – Planétarium de Montréal.
- [2]. Mme Zeineb Ben AHEMED, Mr Habib BOUCHRIHA Mme Samia KADDOUR, « Module d'optique géométrique », Université virtuelle de Tunis. 2006
- [3]. Davide Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, « physique 3. Ondes, Optique et physique moderne », ISBN 2-89461-853-0
- [4]. Laurence Bergougnoux, « Optique -2- principes », Polytech. Univ –mrs. Fr/Bergougnoux/
- [5]. Tamer Becherrawy, « optique géométrique », De Boeck et Lariciers, à, 2006.
- [6]. Sidi M. Khefif, « Chapitre 2. Loi de réflexion et de réfraction », département de physique EPST Tlemcen 20 Janvier 2013.
- [7]. Marie-Noëlle Sanz, Anne-Emmanuelle Badel, François Clausset, «Physique tout-en-un- 1<sup>re</sup> année », ISBN 2100079506, Paris 2003.
- [8]. Sébastien Forget, « optique instrumental », Université paris Nord ,2007-2008
- [9]. Claude VÉRET, instruments optiques d'observation et de mesure, Faculté des Sciences de Paris, 10/10/1993.
- [10]. Université Bordeaux 1, « MIS103 Optique Géométrique », Année 2006-2007.
- [11]. MS. MAALEM, « l'optique géométrique et ses application », ISBN: 9961-929-05-5.
- [12]. bye-Hecht. wesle, «Interference lumnas optics », Publishing Company ISBN-0201-1161111
- [13] P. brendes. M. Sauzeix, « optique PM.PC.PT » Bréal 2005, France, dépôt, Janvier 2005
- [14]. Mémoire : - Proposé et dirigé par : Pr.Abdelfattah Barhadadi.  
- Réalisé par : Mr.Abdellatif Kasmi.
- « Cycle de préparation à l'agrégation des science physique option physique »  
Département de physique juin 2006.
- [15]. Richard Taillet, « Optique physique », ISBN2-8041-5036-4 ,2006.
- [16]. Eugene Hecht, ISBN : 2-7440-7063-7 ,2005 Pearson éducation France.
- [17]. Robert Taton, « base de l'optique et principes des instruments », éditions Eyrolles 1975.
- [18]. Alexandra Fragola, Samuel Gresillon, «Optique instrumentale ».
- [19]. Stephane GALVAN, « optique », 1983, 29 Rue Abou Nouas, Hydra, Alger.
- [20]. Hamid Touma, « les instruments d'optique », Université Mohamed. V, 2012.
- [21]. Jimmy ROUSSEL, « optique géométrique », 2 janvier 2014
- [22]. Raphaël Frey, Nicolas Blanc, « le microscope optique »,07 décembre 2005, école polytechnique fédérale de Lausanne.
- [23]. Agnès MAUREL, « Optique géométrique », édition Belin, paris cedex 06.

- [24]. Sylvain Picard, «Le télescope, un instrument d'observations astronomiques », Membre Club d'Astronomie Amateur de Longueuil (CAAL), Membre Société d'Astronomie du Planétarium de Montréal(SAPM).
- [25]. José-Philippe Pérez, « Optique fondements et applications », EAN978-2-10-048497-3, 2011, Dunod, Paris.
- [26]. O. Jacquin, « Optique géométrique application à la photographie », Année 2004-2005 DEUG SMa2.
- [27]. Jean Jerphagnon, « les marchés de l'optique-photonique », rue Rosenwald 75015 Paris Dépôt légal décembre 2004 ISSN 1763-9247.
- [28]. Olivier LARDIÈRE, « Contrôle des télescopes automatiques et des grands interféromètres stellaires terrestres et spatiaux : cas du télescope prototype OVLA à monture sphérique et optique active », Université de Provence, 16 juin 2000.
- [29]. P. Brenders. M. Sauzeix, « Optique PM, PC, PS, PT », Bréal 2005 France, dépôt : janvier 2005.
- [30]. R. S. Sirhi, T. Eiju, K. Mastuda, T. H. Barnes, « Multiple beam lateral shear interferometer for optical testing », App. Opt, Vol.34, 1995.

## Liste des figures

<b>Figure .I.1 :</b> Position de la lumière visible dans le spectre électromagnétique.....	2
<b>Figure .I. 2:</b> Chemin optique de Fermat.....	4
<b>Figure .I.3 :</b> Réflexion d'un rayon lumineux à travers un dioptre.....	6
<b>Figure .I.4 :</b> Réflexion d'un paysage sur un lac.....	6
<b>Figure .I.5 :</b> Réfraction d'un rayon lumineux à travers un dioptre.....	7
<b>Figure I.6 :</b> Double réfraction par l'eau et le verre.....	7
<b>Figure .I.7 :</b> Représentation d'une image virtuelle.....	9
<b>Figure .I.8 :</b> Représentation d'un plan focal image.....	10
<b>Figure .I.9 :</b> Représentation du miroir plan.....	11
<b>Figure .I.10 :</b> Miroirs sphériques convexe et concave.....	12
<b>Figure .I.11 :</b> Dioptre sphérique.....	13
<b>Figure .I.12 :</b> Composantes de la lumière blanche.....	13
<b>Figure .I.13 :</b> Représentation des caractéristiques des ondes.....	13
<b>Figure .II.1 :</b> Lentilles divergentes.....	19
<b>Figure .II.2 :</b> Lentilles convergentes.....	19
<b>Figure .II.3 :</b> Marche d'un rayon lumineux à travers un prisme.....	20
<b>Figure .II .4:</b> Description de l'œil humain.....	21
<b>Figure .II.5 :</b> Représentation des défauts de l'œil.....	22
<b>Figure. II.6 :</b> Principe de base d'une loupe.....	23
<b>Figure.II.7 :</b> Principe de base d'un microscope.....	24
<b>Figure .II.8 :</b> Principe de base d'une lunette astronomique .....	26
<b>Figure. II.9:</b> Principe du télescope.....	27
<b>Figure .II.10:</b> Éléments constitutifs d'un appareil photographique.....	28
<b>Figure.III.1 :</b> <b>a.</b> L'œil myopie - <b>b.</b> corrigé de la vision par une lentille divergente.....	30
<b>Figure. III.2:</b> <b>a.</b> L'œil hypermétropie - <b>b.</b> Corrège de la vision par lentille convergente.....	31
<b>Figure. III.3 :</b> L'œil astigmatisme et sa correction par lentille.....	31
<b>Figure. III. 4 :</b> L'œil presbytie et sa correction avec la lentille.....	31
<b>Figure. III.5 :</b> Image d'une cellule sous microscope à fluorescence.....	32
<b>Figure. III.6 :</b> Image d'une cellule sous microscope confocal.....	33
<b>Figure. III.7 :</b> Image de la surface de la lune observée par un télescope.....	35
<b>Figure. III.8 :</b> Représentation d'un télescope de 80 cm de l'OHP.....	36
<b>Figure.III.9 :</b> Anneaux de Newton observés à l'interférométrie de Fizeau entre un dioptre de 150 mm de diamètre et 370 m de rayon de courbure et un plan de référence.....	37
<b>Figure. III.10 :</b> Représentation des CD.....	38

## **Résumé**

Dans notre vie quotidienne, on utilise souvent les instruments optiques pour visualiser les objets de très grands ou très petits dimensions. Ces instruments sont basés sur les lois de l'optique géométrique et physique. L'utilité des ces instruments résulte de leur utilisations dès les différents domaines tels que l'astronomie, la médecine, la recherche scientifique et plusieurs autres domaines.

**Mots clés :** instruments optiques, optique physique, optique géométrique

## **Abstract**

In our daily life, we often use optical instruments to view the objects of very large or very small dimensions. These instruments are based on laws of geometrical and physical optics. The usefulness of such instruments results from their uses of different areas such as astronomy, medicine, scientific research and many other areas.

**Keywords :** optical instruments, physical optics, geometrical optics

## **ملخص:**

في حياتنا اليومية. نستعمل بعض الوسائل البصرية لرؤية الأجسام ذات الأبعاد الكبيرة و الصغيرة. هذه الوسائل تعتمد على قوانين علم البصريات الفيزيائية و الهندسية. أهميتها تظهر في مختلف مجالات استعمالها مثل: علم الفلك و الطب و البحث العلمي و غيرها...

**الكلمات المفتاحية:** الوسائل البصرية، علم البصريات في الفيزياء، علم البصريات الهندسي.