



جامعة وهران للعلوم والتكنولوجيا محمد بوضياف
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf

Faculté de Physique

Département de Physique Energétique

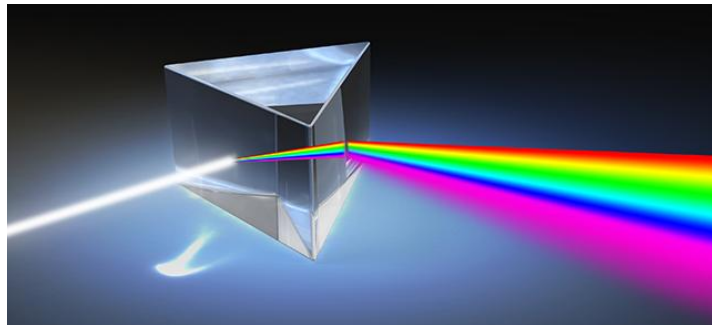
Polycopié de Cours

Destiné aux étudiants en 1ère & 2ème année Licence,

Option : Sciences de la Matière (SM) et Sciences de la nature et de la vie (SNV)

Titre :

Optique géométrique



Elaboré par :

Dr. Sid Ahmed BELDJILALI

Maître de Conférences B

USTO-MB

Année universitaire : 2015/2016

TABLE DES MATIERES

Préface	05
Chapitre I : Notions fondamentales sur la lumière	06
I. Les Phénomènes lumineux	07
I. 1. Source lumineuse	07
I. 2. Les types de milieux	07
I. 3. Système optique	07
I. 4. Faisceaux lumineux	08
I. 5. Objectives de l'optique géométrique	09
I. 6. Lois de Snell-Descartes	09
I. 7. Caractères réels et virtuels des espaces	10
I. 8. Stigmatisme	11
Chapitre II : Miroir plan & dioptré plan	13
II. 1. Miroir plan	14
II. 1. 1. Loi de Snell-Descartes pour la réflexion	14
II. 1. 2. Relation de conjugaison	14
Exercices	15
II. 2. Dioptré plan	16
II. 2. 1. Loi de Snell-Descartes pour la réfraction	16
Exercices	18
II. 2. 2. Prisme	19
Exercices	21
Chapitre III : Miroir sphérique	22
III. Miroir sphérique	23

III. 1. Relations de conjugaison	24
III. 2. Foyer Image F'	25
III. 3. Foyer Objet F	25
III. 4. Grandissement	25
III. 5. Les Caractéristiques de l'image	26
Exercices	27
Chapitre IV : Dioptré sphérique	28
IV. Dioptré sphérique	29
IV. 1. Relations de conjugaison	29
IV. 2. Grandissement	31
IV. 3. Foyer Image F'	32
IV. 4. Foyer Objet F	32
Exercices	32
Chapitre V : Lentilles minces	34
V. Lentilles minces	35
V. 1. Formule de Conjugaison	35
a- Lentille épaisse	36
b- Lentille mince	36
c- Lentille mince d'indice n	36
d- Lentille mince d'indice n dans l'air	36
V. 2. Foyer Image F'	37
V. 2. Foyer Objet F	37
V. 4. Les différents types de lentilles	38
Exercices	39

Chapitre VI : L'Œil	40
VI. L'œil	41
VI. 1. Biophysique de la vision	41
a- L'indice optique	42
b- Ponctum Proximum	43
c- Ponctum Remotum	44
d- Formation de l'image par l'œil	44
VI. 2. Schéma optique de l'œil	45
VI. 3. Les défauts de l'œil	47
VI. 4. Les instruments d'optique	48
Exercices	49
Bibliographie	50

PREFACE

L'optique est la branche de la physique qui traite de la lumière et de ses propriétés, du rayonnement électromagnétique, de la vision ainsi que les systèmes utilisant ou émettant de la lumière. L'optique géométrique introduite par Alhazen s'est développée sur la base d'observations simples et repose sur deux principes et des lois empiriques :

- la propagation rectiligne dans un milieu homogène et isotrope ;
- le principe du retour inverse qui exprime la réciprocity du trajet lumineux entre source et destination ;
- les lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction.

La résolution des problèmes se fait à l'aide de constructions géométriques (tracés de droites matérialisant les rayons, calculs d'angles), d'où le nom d'optique géométrique. L'optique géométrique permet de retrouver la quasi-totalité des résultats concernant les miroirs, les dioptries et les lentilles ou leurs combinaisons en doublet et systèmes optiques constituant notamment les instruments d'optique.

Ce cours s'adresse plus particulièrement à des étudiants de premier cycle universitaire, domaine Science de la matière (SM) et Science de la nature et de la vie (SNV). L'objectif de ce cours est avant tout la maîtrise des concepts de base : réfraction, réflexion, dispersion, image réelle et virtuelle, construction de rayons dans un système optique centré etc.

Merci,



Dr. Sid Ahmed BELDJILALI
Maître de Conférences B

Faculté de Physique,
Département de Physique énergétique,
Université des sciences et de la technologie d'Oran USTO-MB.

E-mail: sabeldjilali@gmail.com

Année universitaire : 2015/2016

Chapitre I :

Notions fondamentales sur la lumière

I. Les Phénomènes lumineux :

C'est l'ensemble des phénomènes au quels l'œil est sensible. Pour être visible un objet doit pouvoir faire parvenir de la lumière à l'œil.

I. 1. Source lumineuse :

a- Source primaire : Emet elle-même de la lumière.

Exemple : Lampe, soleil, bougie

b- Source secondaire : Réfléchir de la lumière

Exemple : Miroir, line

Remarque : La lumière se propage dans un milieu transparent.

I. 2. Les types de milieux :

a- Milieux transparent : On voit nettement les objets.

Exemple : Air, eau, verre

b- Milieu opaque : on ne voit pas les objets

Exemple : Mur, bois, carton

c- Milieux translucide : laisse passer la lumière mais on ne voit pas nettement.

Exemple : Verre dépoli

I. 3. Système optique :

C'est l'ensemble des milieux transparents d'indices de réfractions différents séparés par des dioptries pan ou sphérique.

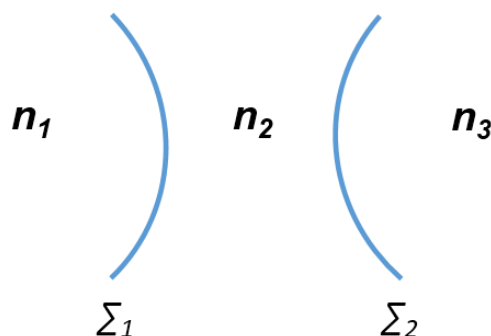


Fig. 1

a- Indice de réfraction :

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

Avec :

c : la vitesse de la lumière dans le vide.

v : vitesse de la lumière dans le milieu considéré d'indice n .

b- Longueur d'onde :

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{\nu} \quad (2)$$

Avec :

T : la période

ν : est la fréquence



Fig. 2

I. 4. Faisceaux lumineux : C'est l'ensemble des rayons lumineux.

Un faisceau lumineux est constitué d'un ensemble de rayons. Il peut être :

- parallèle si les rayons qui le constituent sont parallèles,
- convergent si les rayons qui le constituent, convergent vers un même point
- divergent si les rayons qui le constituent, semblent provenir d'un même point.

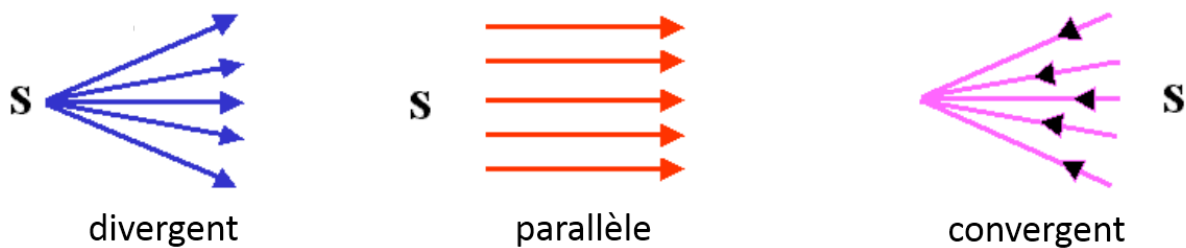


Fig. 3

I. 5. Objectives de l'optique géométrique :

L'étude de la marche d'un rayon lumineux à travers des milieux transparents, homogènes et isotropes séparés par des miroirs ou des dioptrés plans ou sphériques.

I. 6. Lois de Snell-Descartes :

a- Lois de réflexion :

Considérons un rayon lumineux SI incident sur l'interface ρ de deux milieux. La lumière se réfléchit dans une seule direction, formant le rayon réfléchi IR .

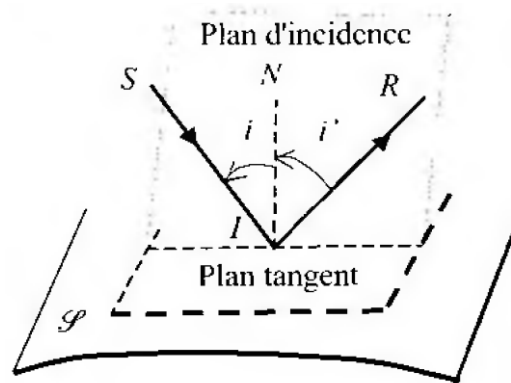


Fig. 4

L'angle d'incidence i et l'angle de réflexion i' sont respectivement les angles que forment le rayon incident et le rayon réfléchi avec la normale à l'interface ρ , orientée vers le milieu d'incidence.

1^{ère} loi : Le rayon incident SI , le rayon réfléchi IR et la normale IN à la surface sont dans le même plan appelé plan d'incidence.

2^{ème} loi : Les angles d'incidence i et de réflexion i' sont égaux.

b- Lois de la réfraction :

Si un rayon lumineux SI tombe sur une surface ρ séparant deux milieux transparents, une partie de la lumière est transmise du milieu d'incidence (1) au second milieu (2) en déviant.

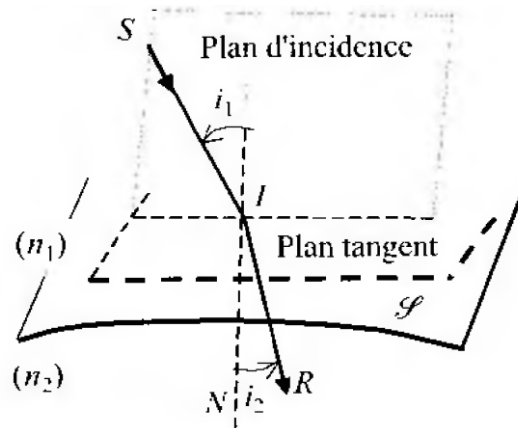


Fig. 5

Le rayon IR dans le second milieu est le rayon réfracté.

i_1 : est le rayon d'incidence.

i_2 : est le rayon de réfraction.

1ère loi : Le rayon incident, le rayon réfracté et la normale à la surface sont dans le même plan (plan d'incidence).

2ème loi : l'angle d'incidence et l'angle de réfraction sont liés par la loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad (3)$$

I. 7. Caractère réels et virtuels des espaces

Considérons un instrument optique, on choisit le sens de propagation de la lumière de la gauche vers la droite. L'objet est une source lumineuse ponctuelle ou étendue envoyant des rayons lumineux (rayons incidents) sur la face d'entrée de l'instrument optique.

L'image de l'objet est la reproduction qu'en donne à l'instrument optique, elle doit donc lui être semblable (à l'objet) avec un rapport de similitude γ appelé grandissement.

Pour un dioptré, l'image et l'objet peuvent être défini par :

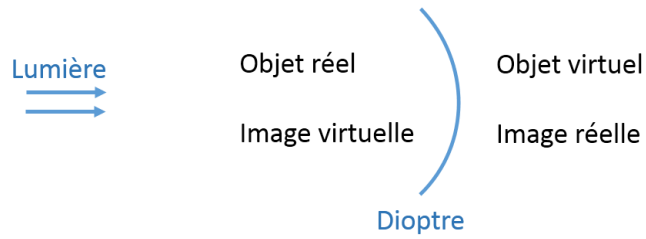


Fig. 6

Pour un miroir, l'image et l'objet peuvent être défini par :

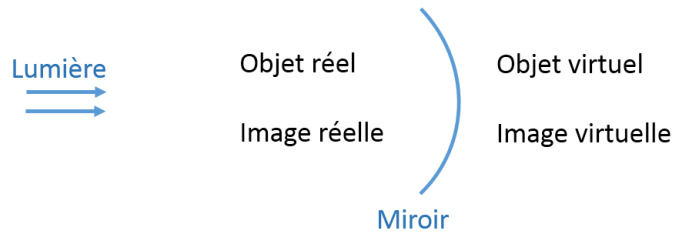


Fig. 7

1. 8. Stigmatisme :

Un système optique est de bonne qualité si 'il donne d'une source ponctuelle une image ponctuelle : c'est la condition de stigmatisme.

a- Stigmatisme rigoureux :

Un système optique est dit rigoureusement stigmatique pour un couple de points A et A' , si tout rayon lumineux passant par le point objet A émerge du système optique en passant par le point A' . A' est alors l'image de A par le système optique ; on dit encore que A et A' sont conjugués par rapport au système optique.

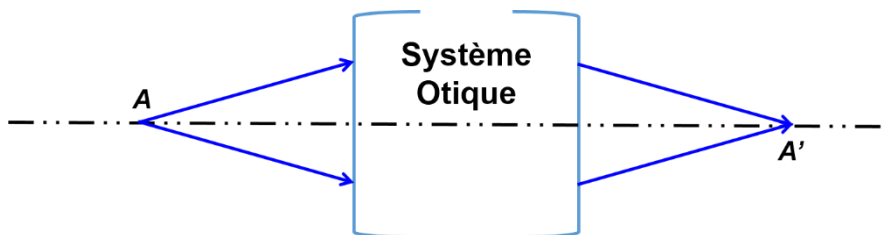


Fig.8

b- Stigmatisme approché - Approximation de Gauss

Nous ne considérerons que des systèmes optiques centrés, c'est-à-dire des systèmes pour lesquels il existe un axe de symétrie de révolution appelé axe optique. On montre alors qu'un tel instrument d'optique donnera une image de bonne qualité d'un objet si les deux conditions suivantes, dites conditions de Gauss, sont satisfaites :

- Les objets sont de faible étendue, situés au voisinage de l'axe optique.
- Les rayons lumineux incidents font un angle faible avec l'axe optique. On dit qu'il y a stigmatisme approché. Dans ces conditions, l'image d'un objet plan perpendiculaire à l'axe optique est plane et perpendiculaire à l'axe optique (aplanétisme).

Chapitre II :

Miroir plan & dioptre plan

II. 1. Miroir plan :

II. 1. 1. Loi de Snell-Descartes pour la réflexion :

Considérons un rayon lumineux (appelé rayon incident) arrivant en un point I (appelé point d'incidence) situé sur la surface d'un miroir plan. On aura un rayon, dit rayon réfléchi, qui se propage dans l'espace. On repère par les angles i (angle d'incidence) et r (angle de réflexion), les inclinaisons des deux rayons relativement à la normale au miroir en I . Le plan défini par la normale au miroir et le rayon incident est appelé plan d'incidence.

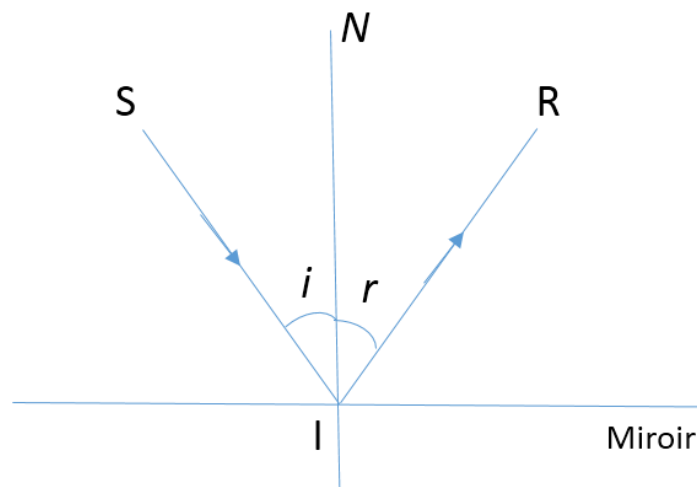


Fig.9

1^{ère} loi : SI , IR , et IN appartiennent au même plan.

2^{ème} loi : l'angle d'incidence égale de réflexion ($i = r$)

II. 1. 2. Relation de conjugaison :

La position de l'image par rapport au miroir égale la position de l'objet par rapport au miroir. L'image A' est symétrique de l'objet A par rapport au miroir.

$$\overline{SA'} = -\overline{SA} \quad (4)$$

L'objet et l'image sont de natures différentes :

- Objet Réel-Image Virtuelle
- Objet Virtuel-Image Réelle

La taille de l'image égale la taille de l'objet :

$$\overline{A'B'} = \overline{AB} \quad (5)$$

Exercice n°1 :

Soit un rayon incident dans le plan perpendiculaire à deux miroirs plans faisant un angle α .

- 1- Quel est l'angle de réflexion du rayon à la sortie du système si ce dernier arrive avec une incidence i ?
- 2- Déterminer l'angle de déviation β (entre le rayon incident et le deuxième rayon réfléchi) en fonction de α .

On donne : $\alpha = 60^\circ$, $i = 45^\circ$.

Solution :

- 1- $r' = 15^\circ$
- 2- $\alpha = 60^\circ$

Exercice n° 2 :

Une personne de hauteur $AB = h = 1.75$ m, dont les yeux sont à la hauteur $AO = 1.65$ m, au-dessus du sol, se regarde dans un miroir plan rectangulaire vertical MM' posé sur un mur.

- Quelles conditions doivent vérifier les hauteurs HM du bord inférieur et HM' du bord supérieur du miroir au-dessus du sol pour que la personne puisse se voir entièrement (faire une construction géométrique) ?

Solution:

$$HJ = AO/2 = 82.5 \text{ cm}$$

$$IJ = AB/2 = 87.5 \text{ cm}$$

$$\text{Les conditions : } HM \leq HJ = 82.5 \text{ cm}$$

$$HM' \geq HI = HJ + JH = 170 \text{ cm}$$

II. 2. Dioptré plan

II. 2. 1. Loi de Snell-Descartes pour la réfraction :

On repère par les angles i (angle d'incidence) et r (angle de réfraction), les inclinaisons des deux rayons relativement à la normale au miroir en I . Le plan défini par la normale au dioptré et le rayon incident est appelé plan d'incidence.

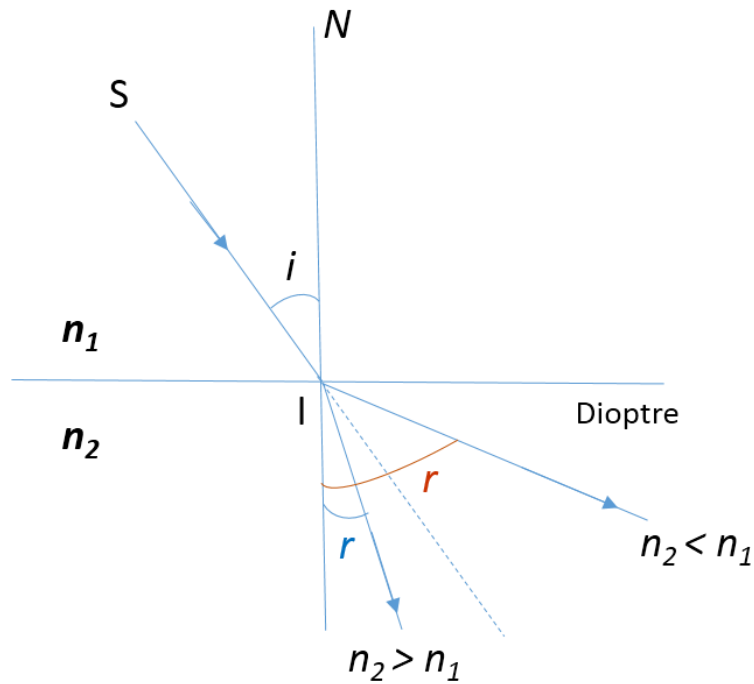


Fig.10

La loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r) \quad (6)$$

a- Cas où $n_1 < n_2$: réfraction limite

Le rayon lumineux passe du milieu 1 moins réfringent au milieu 2 plus réfringent. Nous avons alors :

$$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r) \quad , \text{ avec } n_2 > n_1$$

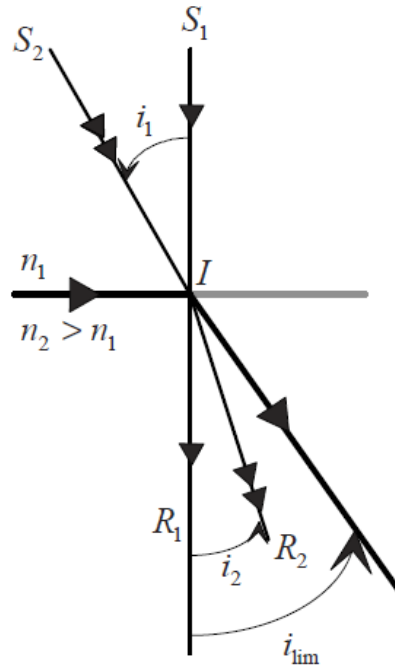


Fig.11

Il en résulte que $\sin i_2 < \sin i_1$; les angles i_1 et i_2 étant compris entre 0 et $\pi/2$, soit $i_2 < i_1$. Le rayon réfracté se rapproche donc de la normale.

Un rayon incident normal (S_1I), pour lequel $i_1 = 0$, entre sans déviation ($i_2 = 0$). Lorsqu'il croît, i_2 croît aussi tout en restant inférieur à i_1 .

A l'incidence rasante ($i_1 = \pi/2$), l'angle de réfraction est maximal (angle de réfraction limite noté i_{lim}) et vaut :

$$\sin i_{lim} = \frac{n_1}{n_2} \quad (7)$$

b- Cas où $n_1 > n_2$: réflexion totale

Le rayon lumineux passe maintenant du milieu 1 plus réfringent au milieu 2 moins réfringent. La troisième loi de Snell-Descartes implique alors que :

$$i_1 < i_2:$$

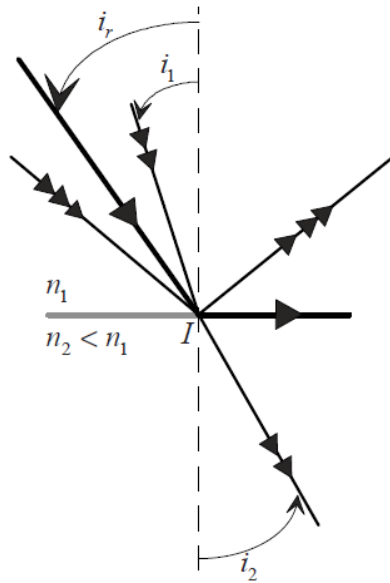


Fig.12

Le rayon réfracté s'écarte donc de la normale et l'angle de réfraction est maximal ($i_2 = \pi/2$) pour un angle d'incidence limite i_r tel que :

$$\sin i_r = \frac{n_2}{n_1}$$

Remarque :

Si l'angle d'incidence est supérieur à i_r , il n'y a plus de rayon réfracté (en effet (8) alors $\sin i_2 > i_1$, i_2 n'est donc plus défini), le rayon incident est totalement réfléchi : on parle de réflexion totale. Le dioptre se comporte comme un miroir.

Exercice n° 3 :

Un cube de verre est immergé dans l'eau, un rayon SI, situé dans un plan perpendiculaire aux arêtes ABCD aborde la face AB sous un angle i .

- Quelle doit être au maximum la valeur de i , pour que le rayon subisse la réflexion totale en J.

Solution :

$$i \leq 31.43^\circ$$

II. 2. 2. Prisme :

On appelle prisme, en optique, un milieu transparent limité par deux faces planes non parallèles (dioptries). Il est constitué de verre, c'est un milieu homogène, transparent et isotrope. L'intersection des deux faces du prisme forme l'arête du prisme, caractérisée par un angle A . La base du prisme est la troisième face, dont les bords sont généralement parallèles à l'arête. Le plan d'incidence est le plan formé par le rayon incident et la normale à la surface d'entrée du prisme au point d'incidence.

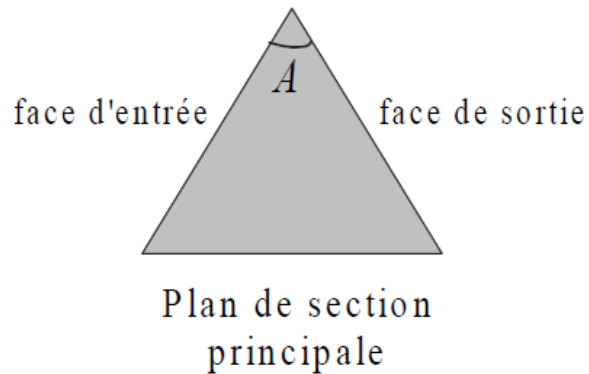


Fig.12

a- Etude de la marche du rayon :

Soit SI un rayon incident quelconque qui frappe en I la face d'entrée AB du prisme ; provenant d'un milieu moins réfringent que celui du prisme, ce rayon subit en I le phénomène de réfraction en respectant les deux lois de Descartes.

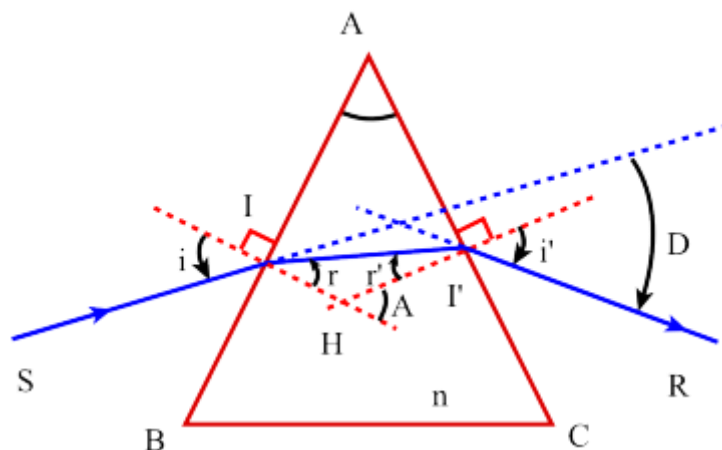


Fig.13

Si n est l'indice du prisme, les lois de Snell-Descartes en I et I' imposent les deux relations suivantes :

$$\sin i = n \sin r; \quad (9)$$

$$\sin i' = n \sin r'; \quad (10)$$

Compte tenu de la définition du prisme, il est clair que le rayon émergent ne peut être dans le prolongement du rayon incident, pas plus qu'il ne peut lui être parallèle. Le prisme a donc bien le pouvoir de dévier la lumière, et cette déviation a pour effet dans le cas général, de rabattre vers la base BC du prisme le rayon lumineux.

L'angle de déviation D est par définition l'angle dont il faut faire tourner le rayon incident SI pour l'amener dans la direction du rayon émergent I'R. Cette déviation est donc la somme de deux déviations successives qui ont lieu dans le même sens, l'une à l'entrée, l'autre à la sortie du prisme, soit :

$$D = (i - r) + (i' - r') \quad (11)$$

D'autre part, dans le triangle IHI' , nous voyons que : $\pi - A + r + r' = \pi$

Soit :

$$A = r + r' \quad (12)$$

Ce qui entraîne :

$$D = i + i' - A \quad (13)$$

Les formules du prisme se résument de la façon suivante :

$$\begin{aligned} \sin i &= n \sin r \\ \sin i' &= n \sin r' \\ r + r' &= A \\ D &= i + i' - A \end{aligned} \quad (14)$$

b- Dispersion de la lumière :

Nous avons vu au chapitre 1 que l'indice de réfraction dépendait de la longueur d'onde (couleur) de la lumière visible. C'est ce que l'on appelle la dispersion. A cause de ce phénomène, un prisme disperse (décompose) une lumière blanche en ses différentes composantes. L'ensemble de ces composantes constituent le spectre de la lumière blanche (on répertorie généralement sept couleurs dominantes : rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet). Nous savons, d'une part, que la déviation croît avec l'indice de réfraction, et que, d'autre part, n augmente quand la longueur d'onde diminue (loi de Cauchy). Cela signifie que la déviation augmente quand la longueur d'onde diminue : les radiations de courte longueur d'onde sont donc les plus déviées par le prisme (le violet est plus dévié que le rouge).

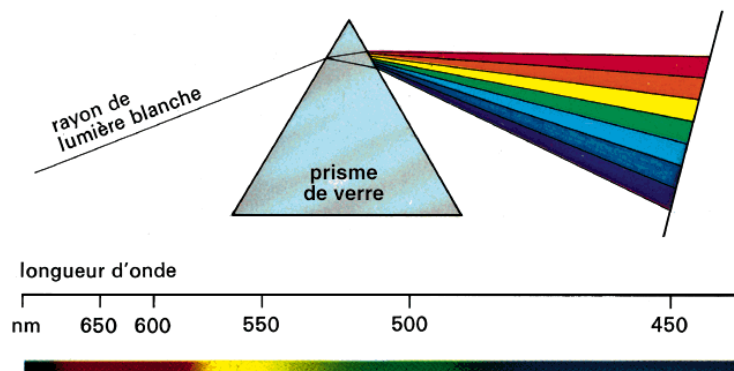


Fig.14

Exercice n°4 :

Soit un prisme d'angle au sommet 30° et d'indice de réfraction $n = 1,5$.

- 1- Donner les valeurs des angles d'incidence, d'émergence et de l'angle de déviation dans les cas suivants : incidence rasante, incidence normale, émergence rasante, émergence normale.
- 2- Faire un schéma correspondant à chaque cas de figure.

Solution :

- Cas incidence rasante : $i_1 = 90^\circ$

$$r_1 = 41,8^\circ ; r_2 = -11,81^\circ ; i_2 = -17,87^\circ ; D = 42,13^\circ$$

- Cas incidence normale : $i_1 = 0^\circ$

$$r_1 = 0^\circ ; r_2 = A = 30^\circ ; i_2 = 48,5^\circ ; D = 18,5^\circ$$

- Cas émergence rasante : $i_2 = 90^\circ$

$$r_2 = 41,81^\circ ; r_1 = -11,81^\circ ; i_1 = -17,87^\circ ; D = -42,13^\circ$$

- Cas émergence normale : $i_2 = 0^\circ$

$$r_2 = 0 ; r_1 = 30^\circ ; i_1 = 48,5^\circ ; D = 18,30^\circ$$

Chapitre III :

Miroir sphérique

III. Miroir sphérique :

On appelle miroir sphérique S une surface sphérique rendue réfléchissante par un dépôt métallique. On distingue deux types de miroirs sphériques : si la réflexion se produit vers l'intérieur de la sphère, le miroir est dit concave ; si la lumière se réfléchit vers l'extérieur de la sphère, le miroir est dit convexe.

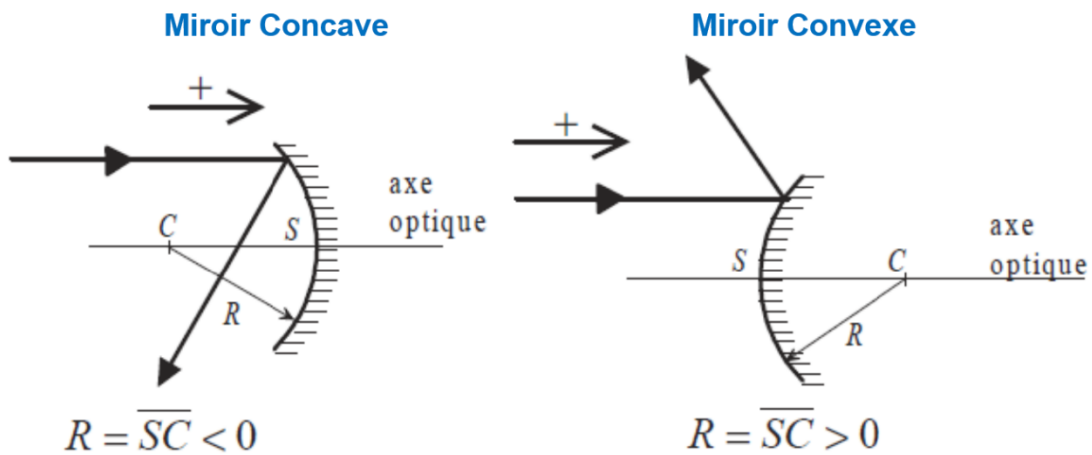


Fig.15

Un miroir sphérique est caractérisé par :

- Le centre C de la sphère appelé centre du miroir.
- Le point S appelé sommet du miroir.
- L'axe optique, qui est l'axe de symétrie de révolution du miroir, passant par les points C et S .
- Le rayon de la sphère $R = SC$, appelé rayon de courbure du miroir, quantité algébrique qui est négative pour un miroir concave et positive pour un miroir Convexe.

Remarque : en optique géométrique, la mesure des distances est algébrisée. Le long de l'axe optique, on choisit comme sens positif le sens de propagation de la lumière (en général de la gauche vers la droite).

III. 1. Relations de conjugaison :

Il existe alors une relation entre les positions d'un objet A et de son image A' appelée relation de conjugaison.

$$A \xrightarrow[\text{s}]{(M)} A'$$

Considérons un point objet réel A situé sur l'axe optique d'un miroir concave. L'image A' de A est située au point d'intersection de deux rayons lumineux quelconques issus de A . Soit un rayon confondu avec l'axe optique, il se réfléchit sur lui-même : A' est donc sur l'axe optique.

Considérons le rayon émis depuis A et qui se réfléchit au point I en accord avec les lois de la réflexion. A' se trouve au point d'intersection du rayon réfléchi et de l'axe.

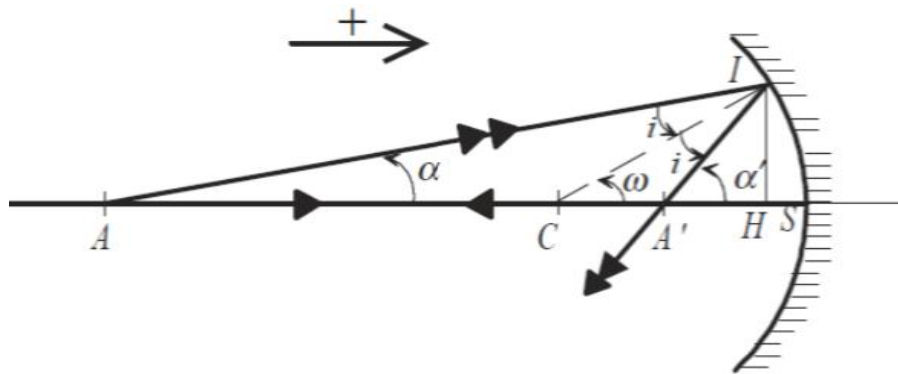


Fig.16

Dans les triangles AIC et $A'IC$ la somme des angles intérieurs doit être égale à π , soit :

$$i + \alpha + (\pi - \omega) = \pi \quad \text{et donc} : i = \omega - \alpha \quad (15)$$

$$i + \omega + (\pi - \alpha') = \pi \quad \text{et donc} : i = \alpha' - \omega \quad (16)$$

D'où la relation suivante entre α , ω et α' :

$$2\omega = \alpha + \alpha' \quad (17)$$

Dans les conditions de Gauss, les points H et S sont pratiquement confondus, et les angles α , ω et α' peuvent être assimilés à leurs tangentes selon :

$$\alpha = \frac{\overline{IS}}{\overline{SA}} \quad (18)$$

$$\alpha' = \frac{\overline{IS}}{\overline{SA'}} \quad (19)$$

$$\omega = \frac{\overline{IS}}{\overline{SC}} \quad (20)$$

On obtient finalement la relation de conjugaison du miroir sphérique avec origine au sommet S :

$$\frac{1}{\overline{SA}} + \frac{1}{\overline{SA'}} = \frac{2}{\overline{SC}} \quad (21)$$

III. 2. Foyer Image F' :

C'est le conjugué d'un objet A à l'infini.

$$A (\infty) \rightarrow A' \equiv F'$$

On trouve finalement :

$$\overline{SF'} = \frac{\overline{SC}}{2} \quad (22)$$

III. 3. Foyer Objet F :

C'est le conjugué d'une image A' à l'infini.

$$A \equiv F \rightarrow A' (\infty)$$

On trouve finalement :

$$\overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2} \quad (23)$$

III. 4. Grandissement :

Si AB a pour image A'B', le grandissement γ est le rapport algébrique de la taille de l'image à celle de l'objet :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \quad (24)$$

Considérons un point objet réel AB *réel* situé sur l'axe optique d'un miroir concave. L'image A'B' est obtenue par le phénomène de réflexion.

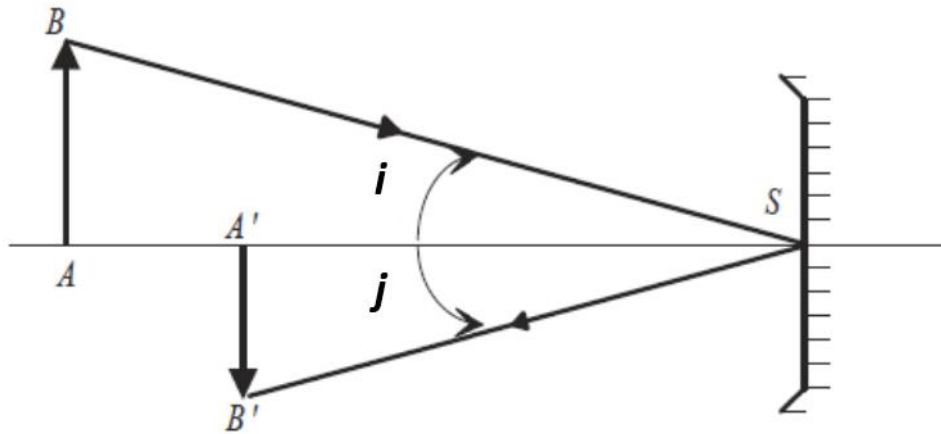


Fig.17

On a : $\tan i = \tan j$, et donc :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}} \quad (25)$$

III. 5. Les Caractéristiques de l'image :

- La position : $\overline{SA'}$

- La nature : → Dire si elle est réelle ou virtuelle :

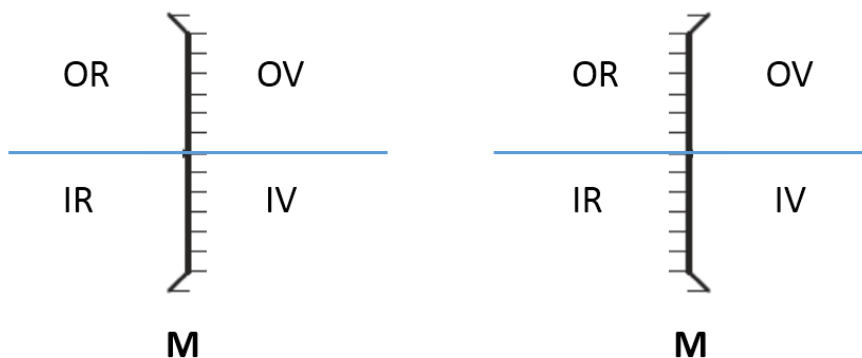


Fig.18

→ Dire si elle est droite ou renversée :

- Si $\gamma > 0$: Image droite
- Si $\gamma < 0$: Image renversée

→ Comparer la taille de l'image par rapport à la taille de l'objet :

- Si $|\gamma| > 1$: Image agrandie
- Si $|\gamma| < 1$: Image réduite
- Si $|\gamma| = 1$: La taille de l'image égale la taille de l'objet

Exercice n°5 :

Un miroir sphérique concave de rayon de courbure de 1 m.

Calculer la position, la nature et la taille de l'image d'un objet de 2 cm de hauteur placé sur l'axe à :

- 1.4 m du sommet du miroir.
- 0.8 m
- 0.5 m
- un objet virtuel à 60 cm du sommet.

Dans chaque cas construire l'image.

Solution :

- Cas : $SA = -1.4m$

$SA' = -77.7cm$; $\gamma = -0.55$; $A'B' = -1.11cm$

Image réelle, réduite et renversée.

- Cas : $SA = -0.8m$

$SA' = -1.33m$; $\gamma = -1.66$; $A'B' = -3.33cm$

Image réelle, agrandie et renversée.

- Cas : $SA = -0.5m$

L'image est réelle, renversée et renvoyée à l'infinie.

- Cas : $SA = +0.6m$

$SA' = -0.27m$; $\gamma = 0.45$; $A'B' = 0.9cm$

Image réelle, réduite et droite.

Exercice n°6 :

On considère un miroir sphérique convexe de rayon $R=1,5$ m. Trouver la position d'un objet lorsque l'image est réelle, droite et trois fois plus grande que l'objet.

Solution :

$\gamma = 3$; $SA' = -3 SA$; $SA = +0.5m$; $SA' = -1.5m$

Chapitre IV :

Dioptre sphérique

IV. Dioptre sphérique :

Un dioptre sphérique est une surface sphérique de centre C séparant deux milieux d'indices de réfractations différents.

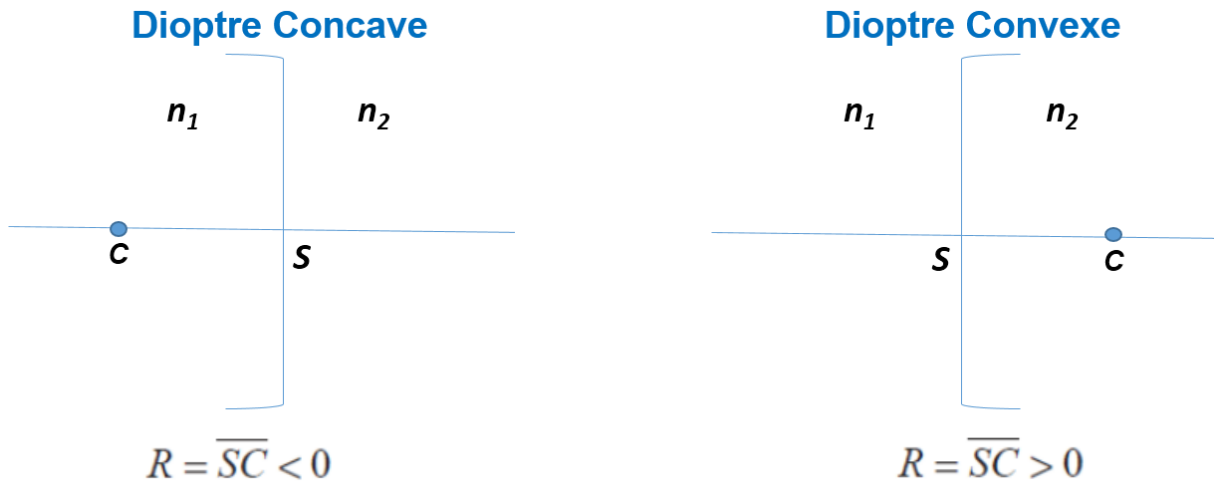
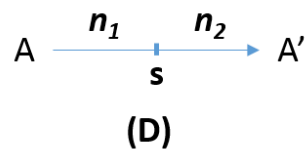


Fig.19

IV. 1. Relations de conjugaison :



Avec le même raisonnement que le miroir sphérique, on trouve la relation de conjugaison du dioptre sphérique :

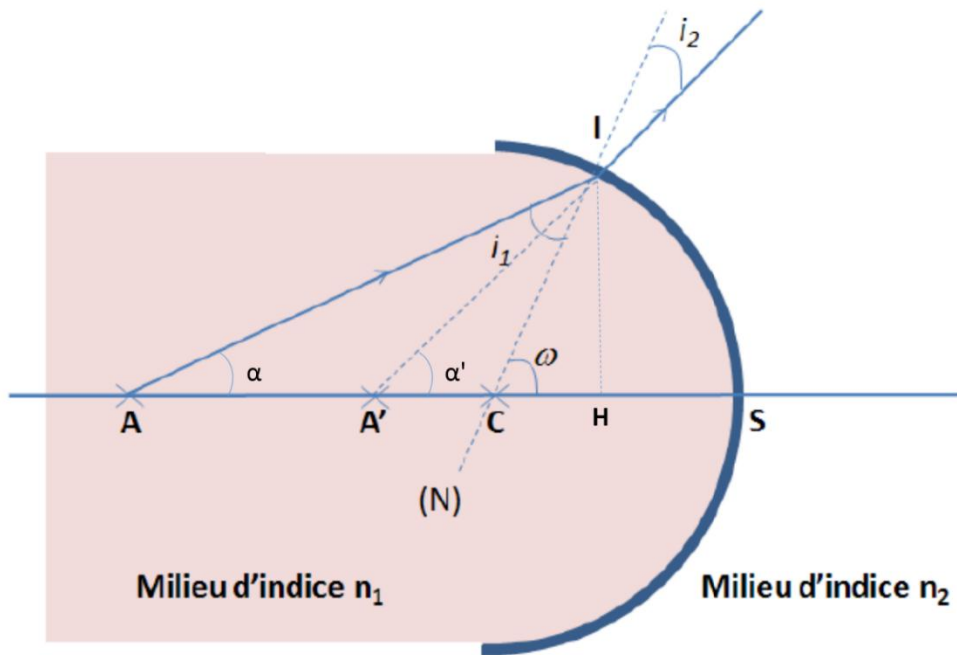


Fig.20

Considérons un point objet réel A situé sur l'axe optique d'un dioptrite concave. L'image A' de A est située au point d'intersection de deux rayons lumineux quelconques issus de A . Considérons le rayon émis depuis A et qui se réfracte au point I en accord avec les lois de la réfraction. A' se trouve au point d'intersection du prolongement du rayon réfracté et de l'axe optique.

Dans les triangles AIC et $A'IC$ la somme des angles intérieurs doit être égale à π , soit :

$$i_1 + \alpha + (\pi - \omega) = \pi \text{ et donc : } i_1 = \omega - \alpha \quad (26)$$

$$i_2 + \alpha' + (\pi - \omega) = \pi \text{ et donc : } i_2 = \omega - \alpha' \quad (27)$$

D'après la loi de Snell-Descartes et de la condition de Gauss, on :

$$n_1 i_1 = n_2 i_2 \quad (28)$$

et donc :

$$n_1 (\omega - \alpha) = n_2 (\omega - \alpha') \quad (29)$$

on a aussi :

$$\alpha = \tan \alpha = \frac{\overline{SI}}{\overline{SA}} \quad (30)$$

$$\alpha' = \tan \alpha' = \frac{\overline{SI}}{\overline{SA'}} \quad (31)$$

$$\omega = \tan \omega = \frac{\overline{SI}}{\overline{SC}} \quad (32)$$

On remplaçant les équations (30), (31) et (32) dans l'équation (29), on trouve finalement la relation de conjugaison du dioptre sphérique :

$$\frac{n_2}{SA'} - \frac{n_1}{SA} = \frac{n_2 - n_1}{SC} = V \quad (33)$$

Avec : V est la vergence ou la puissance du dioptre (unité : Dioptrie = m^{-1}).

Remarque :

- Si $V > 0$: Dioptre convergent
- Si $V < 0$: Dioptre divergent

IV. 2. Grandissement :

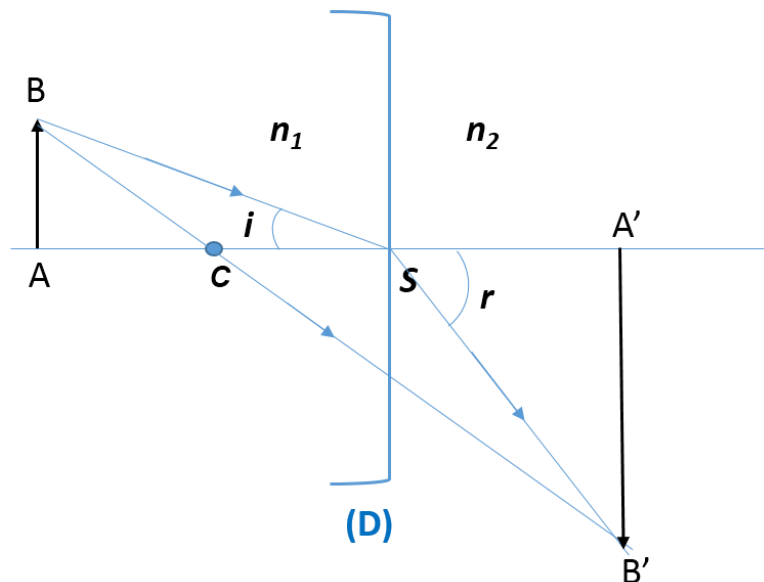


Fig.21

On a :

$$\tan i \approx i = \frac{AB}{SA} \quad (34)$$

et

$$\tan r \approx r = \frac{A'B'}{SA'} \quad (35)$$

D'après la loi de Snell-Descartes de la réfraction :

$$n_1 i = n_2 r \quad (36)$$

Et finalement en trouve l'expression du grandissement :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{n_1 \overline{SA'}}{n_2 \overline{SA}} \quad (37)$$

IV. 3. Foyer Image F' :

$$\overline{SF'} = \frac{n_2 \overline{SC}}{n_2 - n_1} = \frac{n_2}{V} \quad (38)$$

IV. 4. Foyer Objet F :

$$\overline{SF} = -\frac{n_1 \overline{SC}}{n_2 - n_1} = -\frac{n_1}{V} \quad (39)$$

Nous remarquons que :

$$\frac{\overline{SF'}}{\overline{SF}} = -\frac{n_2}{n_1} < 0 \quad (40)$$

$\overline{SF'}$ et \overline{SF} sont de signes contraires, F et F' appartiennent à deux milieux différents.

Et donc :

$$\overline{SF} + \overline{SF'} = \overline{SC} \quad (41)$$

Exercice n°7 :

Un dioptre sphérique séparant deux milieux transparents et homogène d'indices absolus respectifs $n = 1$ et $n' = 1.336$. La puissance de ce dioptre est égale à 62 dioptries.

- 1- Quel est le rayon de courbure de ce dioptre ?
- 2- Calculer les distances focales, objet \overline{SF} et image $\overline{SF'}$.
- 3- La distance entre le sommet S du dioptre et l'écran est égale à 23 mm. Où se forme l'image d'un objet à l'infini ?

➤ Conclure.

Solution :

$$R = SC = 5.42 \times 10^{-3} m ; SF = -0.016m ; SF' = +0.0215m$$

A' et F' sont confondus sur me même point.

Exercice n°8 :

On considère un dioptré sphérique pour lequel on donne : $\overline{SF} = f = -15 \text{ cm}$, $\overline{SF'} = f' = 20 \text{ cm}$, le premier milieu étant l'air $n = 1$.

- 1- En déduire l'indice de réfraction du second milieu ainsi que le rayon de courbure \overline{SC} .
- 2- Un objet \overline{AB} est placé en A sur l'axe optique de telle manière que $\overline{FA} = -10 \text{ cm}$, En déduire la position $\overline{F'A'}$ de l'image.
- 3- Déterminer l'image $\overline{A'B'}$ si $\overline{AB} = 1 \text{ cm}$.
- Faire un schéma correspondant.

Solution :

$$n_2 = 1.33 ; R = SC = SF + SF' = 5 \text{ cm}$$

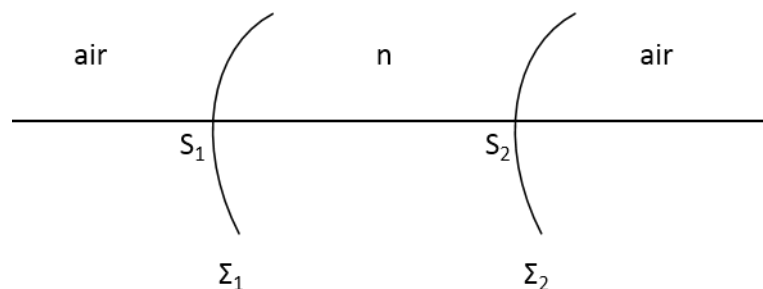
$$SA = -25 \text{ cm} ; SA' = 50 \text{ cm} ; F'A' = 31.15 \text{ cm}$$

$$\gamma = -1.5 ; A'B' = -1.5 \text{ cm}$$

Exercice n°9 :

On réalise un système afocal de deux dioptrés sphériques Σ_1 et Σ_2 de sommet S_1 et S_2 , de centres C_1 et C_2 et de rayons $\overline{S_1C_1} = 5 \text{ cm}$, $\overline{S_2C_2} = 4.2 \text{ cm}$. La distance $\overline{S_1S_2}$ égale à « a », le milieu compris entre les deux dioptrés est d'indice $n = 1.5$

- 1- Déterminer la position de l'image intermédiaire $A_1 B_1$, donnée par le premier dioptré d'un objet situé à l'infini de diamètre apparent α .
- 2- Exprimer a en fonction de n , $\overline{S_1C_1}$ et $\overline{S_2C_2}$ pour que l'image définitive soit à l'infini. Calculer sa valeur.



Solution:

$$S_1F' = S_1A' = 15 \text{ cm} ; a = \left(\frac{n}{n-1} \right) (\overline{S_1C_1} - \overline{S_2C_2}) = 2.4 \text{ cm}$$

Chapitre V :

Lentilles minces

V. Lentilles minces :

C'est une association de deux dioptrés sphériques dont les sommets sont pratiquement confondus en un sommet S . L'axe optique de la lentille est l'axe passant par les centres des deux dioptrés sphériques. On note n l'indice du milieu constituant la lentille ($n > 1$).

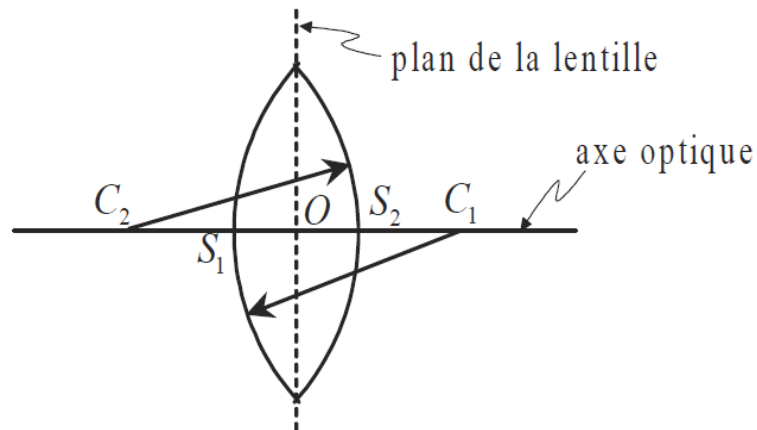
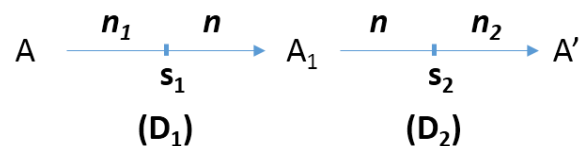


Fig.22

V. 1. Formule de Conjugaison :



Dioptré (D_1) :

$$\frac{n}{\overline{S_1 A_1}} - \frac{n_1}{\overline{S_1 A}} = \frac{n - n_1}{\overline{S_1 C_1}} = V_1 \quad (42)$$

$$\gamma_1 = \frac{n_1 \overline{S_1 A_1}}{n \overline{S_1 A}} \quad (43)$$

Dioptré (D_2) :

$$\frac{n_2}{\overline{S_2 A'}} - \frac{n}{\overline{S_2 A_1}} = \frac{n_2 - n}{\overline{S_2 C_2}} = V_2 \quad (44)$$

$$\gamma_2 = \frac{n \overline{S_2 A'}}{n_2 \overline{S_2 A_1}} \quad (45)$$

a- Lentille épaisse :

En sommant les équations (42) et (44), on trouve :

$$\frac{n}{\overline{S_1 A_1}} - \frac{n_1}{\overline{S_1 A}} + \frac{n_2}{\overline{S_2 A'}} - \frac{n}{\overline{S_2 A_1}} = \frac{n - n_1}{\overline{S_1 C_1}} + \frac{n_2 - n}{\overline{S_2 C_2}} = V_1 + V_2 \quad (46)$$

$$\gamma = \gamma_1 \times \gamma_2 = \frac{n_1 \overline{S_1 A_1}}{n \overline{S_1 A}} \times \frac{n \overline{S_2 A'}}{n_2 \overline{S_2 A_1}} \quad (47)$$

b- Lentille mince : $S_1 \equiv S_2 \equiv S$

$$\frac{n_2}{\overline{S A'}} - \frac{n_1}{\overline{S A}} = \frac{n - n_1}{\overline{S C_1}} + \frac{n_2 - n}{\overline{S C_2}} = V \quad (48)$$

$$\gamma = \frac{n_1 \overline{S A'}}{n_2 \overline{S A}} \quad (49)$$

c- Lentille mince d'indice n : Dans deux milieux n_1 et n_2

Cas où $n_1 = n_2$ (même milieu) :

$$\begin{aligned} \frac{n_1}{\overline{S A'}} - \frac{n_1}{\overline{S A}} &= \frac{n - n_1}{\overline{S C_1}} + \frac{n_1 - n}{\overline{S C_2}} = V \\ &= (n - n_1) \left[\frac{1}{\overline{S C_1}} - \frac{1}{\overline{S C_2}} \right] \end{aligned} \quad (50)$$

$$\gamma = \frac{\overline{S A'}}{\overline{S A}} \quad (51)$$

d- Lentille mince d'indice n dans l'air : ($n_1 = 1$)

$$\frac{1}{\overline{S A'}} - \frac{1}{\overline{S A}} = (n - 1) \left[\frac{1}{\overline{S C_1}} - \frac{1}{\overline{S C_2}} \right] = V \quad (52)$$

$$\gamma = \frac{\overline{S A'}}{\overline{S A}} \quad (53)$$

V. 2. Foyer Image F' :

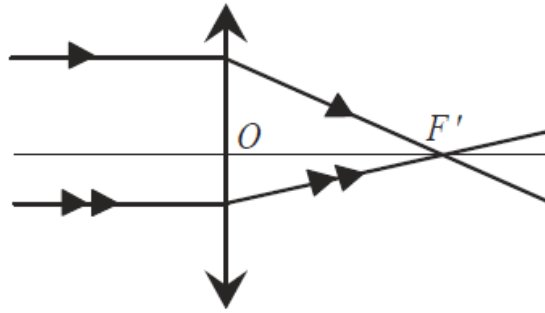


Fig.23

$$\overline{SF'} = \frac{1}{V} \quad (54)$$

V. 3. Foyer Objet F :

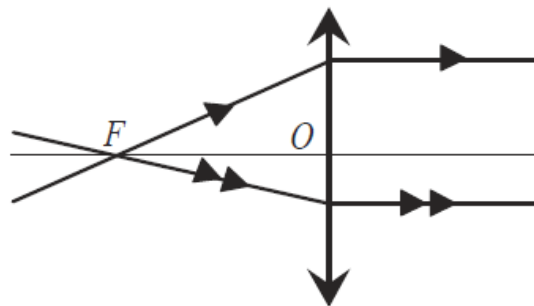


Fig.24

$$\overline{SF} = -\frac{1}{V} \quad (55)$$

F et F' sont symétriques par rapport à S .

Pour une lentille convergente, F et F' sont réels, alors que pour une lentille divergente, ils sont virtuels.

V. 4. Les différents types de lentilles :

a- Lentilles convergentes :

Les lentilles convergentes transforment un faisceau de rayons lumineux parallèles à l'axe optique en un faisceau convergent.

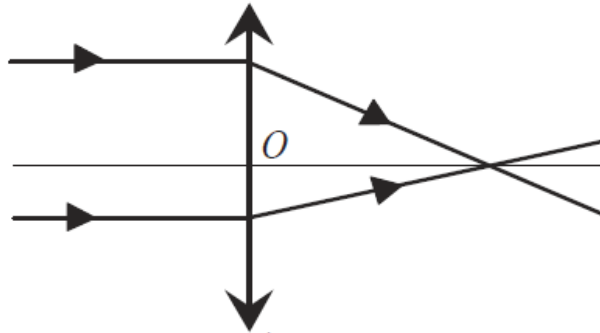


Fig.25

$$V > 0 ; \overline{SF'} > 0 ; \overline{SF} < 0$$

b- Lentilles divergentes :

Les lentilles divergentes transforment un faisceau de rayons lumineux parallèles à l'axe optique en un faisceau divergent.

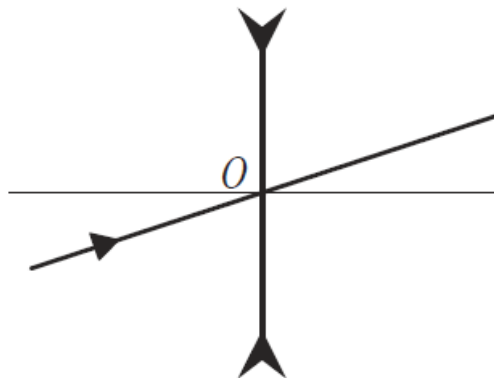


Fig.26

$$V < 0 ; \overline{SF'} < 0 ; \overline{SF} > 0$$

Tout rayon lumineux passant par le centre optique d'une lentille mince ne subit aucune déviation en la traversant.

Exercice n°10 :

Une lentille convergente de 10δ donne d'un objet une image de 1 cm de hauteur à 12 cm à droite de la lentille. Déterminer la position, la grandeur, le sens et la nature de l'objet. Faire une construction géométrique.

Solution :

$$SA = -0.6m ; \gamma = -0.2 ; A'B' = -0.01 ; AB = 0.05m$$

Image réelle, renversée et réduite.

Exercice n° 11 :

Soit un objet placé à 10 cm à gauche d'une lentille mince convergente. Sachant que l'image est située à 20 cm à droite de la lentille.

- Quelle sera la localisation de l'image si l'objet est placé à 2.5 cm à droite de la lentille ?
- Décrire complètement l'image dans les deux cas et faire les constructions géométriques correspondantes.

Solution :

$$V = 15 \text{ Dioptrie}$$

$$SA = 2.5cm ; SA' = 0.015m ; \gamma = 0.72$$

Exercice n° 12 :

- ❖ Un objet réel est placé à 10 cm d'une lentille convergente (1) de 5 cm de distance focale. Une deuxième lentille convergente (2) de distance focale 15 cm est disposée à 34 cm de la première.
 - Déterminer la position de l'image donnée par ce système ainsi que l'agrandissement total.
- ❖ On rapproche cette fois cette lentille (2) de la lentille (1) et on suppose les centres confondus.
 - Déterminer la distance focale.
 - Les caractéristiques de l'image obtenue pour le même objet.

Solution:

$$V_1 = 20 \text{ Dioptrie}; S_1A_1 = 0.1m; \gamma_1 = -1$$

$$S_2F'_2 = 6.67 \text{ Dioptrie}; S_2A_1 = -0.24m; S_2A_2 = +0.4m$$

$$S_1A_2 = 0.74m ; \gamma_2 = -1.67$$

$$\gamma = \gamma_1 \times \gamma_2 = +1.67$$

Image réelle, droite et agrandie.

Chapitre VI :

L'Œil

VI. L'œil :

L'œil, également appelé globe oculaire, correspond à l'organe de la vue, captant le signal lumineux avant que l'information ne soit réinterprétée par le cerveau et transformée en formes et en couleurs. Il se compose de différentes régions lui permettant d'assurer sa fonction, de la cornée jusqu'à la rétine. Il est inséré dans une orbite, et on en retrouve une ou plusieurs paires chez bon nombre d'espèces animales, aussi bien chez les arthropodes, les mollusques ou les vertébrés.

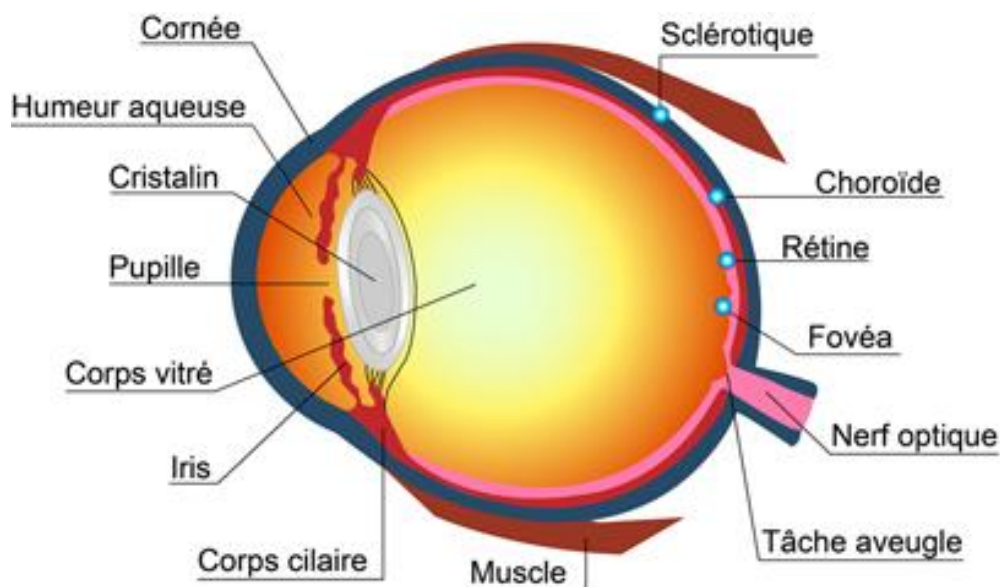


Fig.27

VI. 1. Biophysique de la vision :

Les rayons lumineux pénétrant dans l'œil humain traversent quatre dioptries : face antérieure et face postérieure de la cornée, face antérieure et face postérieure du cristallin. Lors de la traversée de chaque dioptrie, ils subissent une réfraction parfaitement définie par les lois de Descartes. Le trajet d'un rayon lumineux dans l'œil est donc parfaitement déterminable en appliquant les lois de Descartes aux quatre réfractions qu'il va subir.

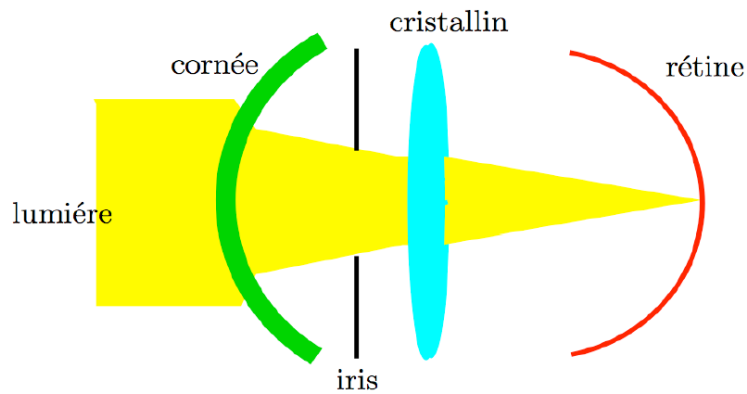


Fig.28

- **La cornée** : est une membrane solide et transparente de 11 mm de diamètre au travers de laquelle la lumière entre à l'intérieur de l'œil. Elle est nourrie par un liquide fluide comme l'eau : l'humeur aqueuse ($n=1.336$). La cornée est la principale lentille de l'œil, elle assure environ 80% de la réfraction.
- **L'iris (arc-en-ciel en grec)** : Il s'agit du diaphragme de l'œil percé en son centre par la pupille. C'est un muscle qui fait varier l'ouverture de la pupille (entre 2,5 et 7 mm) afin de modifier la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil pour éviter l'aveuglement en plein soleil ou capter le peu de rayons la nuit.
- **Le cristallin** : c'est une lentille auxiliaire molle et composée de fines couches superposées. Il se comporte comme une lentille biconvexe de vergence variable grâce à l'action de muscle ciliaire.
- **La rétine** : c'est la couche sensible à la lumière grâce aux photorécepteurs.

a- L'indice optique :

Les indices optiques des différents milieux sont :

- Indice de la cornée $n_c = 1,377$
- Indice de l'humeur aqueuse $n_a = 1,337$
- Indice du cristallin théorique $n_{cr} = 1,41$
- Indice du corps vitré $n_v = 1,336$

L'image se forme sur la rétine, qui contient les cellules réceptrices de la lumière (cônes et bâtonnets).

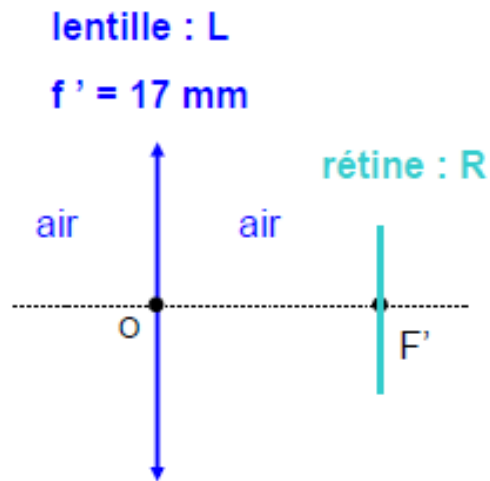


Fig.29

L'œil normal au repos :

$$F' = R \quad (56)$$

b- Ponctum Proximum :

C'est la distance la plus proche correspondant à une image nette.

OEil normal : P.P. = quelques cm (dépend des individus)

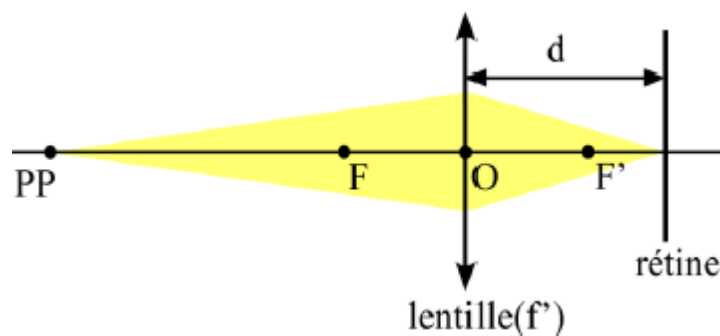


Fig.30

c- Ponctum Remotum :

C'est la distance la plus éloignée correspondant à une image nette.

Oeil normal : P.R. = infini

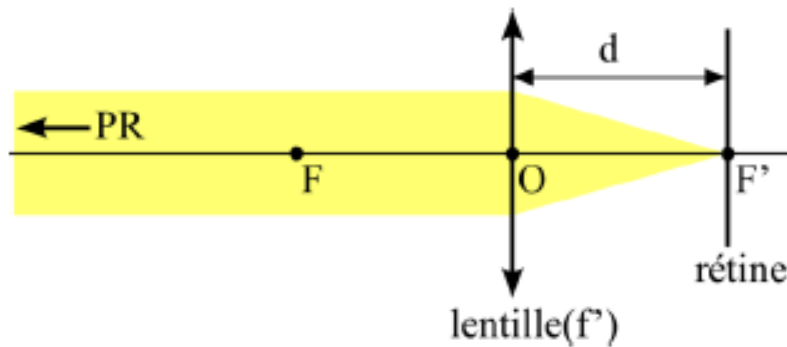


Fig.31

d- Formation de l'image par l'œil :

Les mécanismes de la vision permettent la formation d'une image nette sur la rétine puis une transmission nerveuse jusqu'au cortex.

On distingue :

- La réfraction
- L'accommodation
- La constriction des pupilles

Avant d'atteindre la rétine, les rayons lumineux traversent les milieux transparents de l'œil :

- la cornée
- l'humeur aqueuse
- le cristallin
- le vitré

Au cours de ce trajet, la cornée et le cristallin font subir aux rayons une **réfraction** (un changement de direction) qui les fait converger et former une image sur la rétine (à l'envers).

• **La réfraction :**

- Rayons réfractés = déviés

- A lieu surtout au niveau de la cornée
- Quand les rayons lumineux passent d'un milieu transparent à un autre milieu transparent n'ayant pas la même densité, ils sont réfractés (ou déviés).
- La réfraction permet la focalisation sur la rétine

- **La convergence :**

Mouvement des globes oculaires, entraîné par les muscles oculo-moteurs, permettant aux 2 yeux de se fixer simultanément sur le même objet.

Remarque : L'œil est emmétrope c'est-à-dire que c'est un œil normal.

- **Accommodation :**

Quand l'objet se rapproche, son image pourrait reculer et devenir de plus en plus floue. Mais le cristallin, sous l'action du muscle ciliaire, s'arrondit progressivement, ce qui augmente la convergence des rayons et maintient l'image nette sur la rétine : ce processus est appelé « *accommodation* ». Donc l'Accommodation est l'augmentation de la convergence de l'œil.

- Quand l'accommodation est maximale, on dit que l'objet observé est au Punctum proximum.

VI. 2. Schéma optique de l'œil :

L'œil est composé de trois dioptries sphériques, séparés par des milieux d'indices optiques différents.

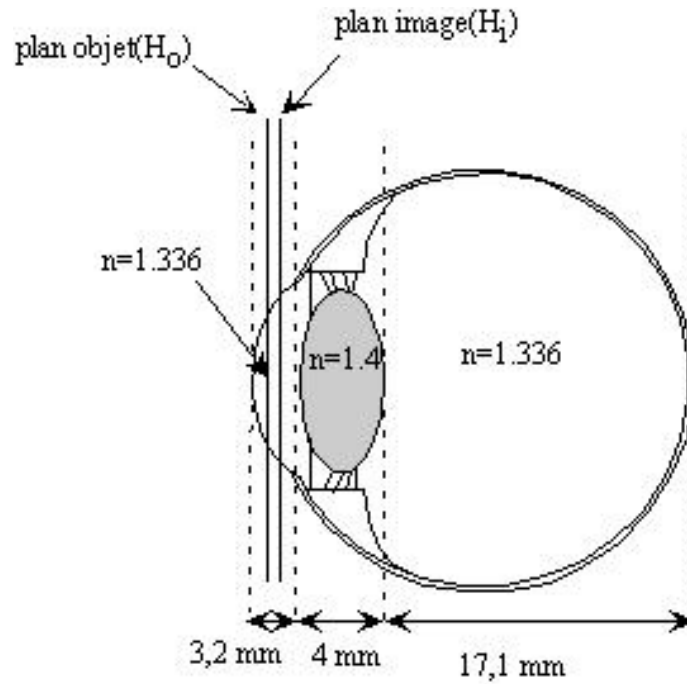


Fig.32

1^{er} Dioptre : Sommet $S_1 \rightarrow$ Dioptre convexe, rayon $R_1 = 8mm$.

$$\overline{S_1 F_1} = -\frac{nR_1}{n' - n} = -24.24 \text{ mm} \quad (57)$$

$$\overline{S_1 F'_1} = -\frac{n'R_1}{n' - n} = +32.24 \text{ mm} \quad (58)$$

Les deux autres dioptres sphériques sont : les faces avant et arrière du cristallin de sommet S'_1 et S'_2 .

Si on néglige le pouvoir d'accommodation du cristallin, l'ensemble forme une lentille biconvexe (convergente).

$$\text{Distance} = e_2 = 4mm$$

$$R'_1 = 40 \text{ mm}$$

$$R'_2 = -6 \text{ mm}$$

$$\text{Foyer image } F'_2 = 56.04 \text{ mm.}$$

VI. 3. Les défauts de l'œil :

a- Myopie :

L'œil myope est un œil dont le cristallin est trop convergent (distance focale au repos trop courte), ce qui fait que l'image d'un objet à l'infini se forme avant la rétine.

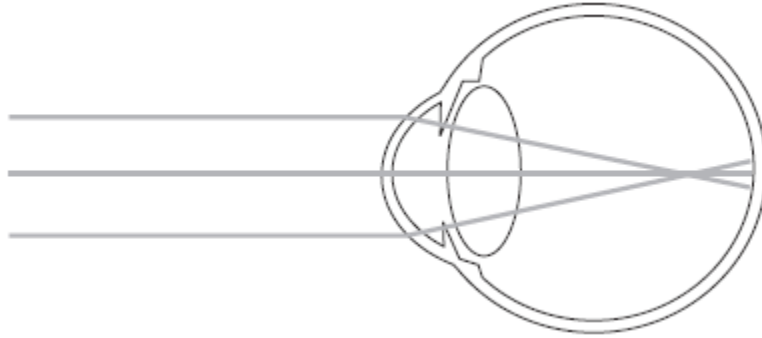


Fig.33

b- Hypermétropie :

L'œil hypermétrope est un œil dont le cristallin est trop peu convergent (distance focale au repos trop grande), ce qui fait que l'image d'un objet à l'infini, lorsque l'œil n'accommode pas, se forme après la rétine.

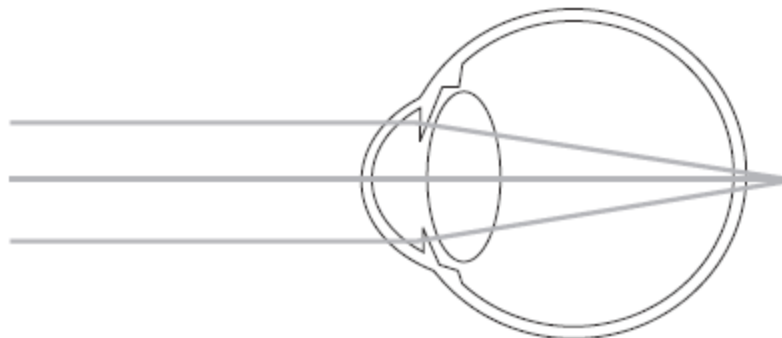


Fig.34

c- L'astigmatie :

Un œil astigmatique est un œil qui a perdu sa symétrie de révolution : la cornée est en forme d'ellipsoïde et possède deux axes principaux : le cristallin possédera donc des foyers

images différents pour chaque angle. Cela entraîne une vision brouillée, déformée, imprécise pour toutes les distances, avec un brouillage sélectif des lignes verticales ou horizontales ou obliques et la confusion de lettres proches comme le H le M et le N le E et le B ou le 8 et le 0.

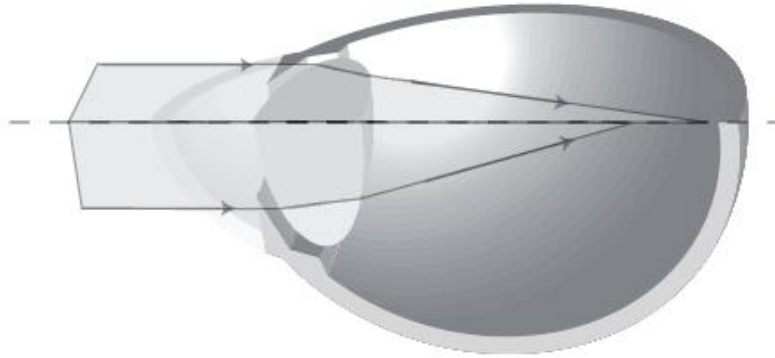


Fig.35

d- La presbytie :

La presbytie est un trouble de la vision qui rend difficile l'adaptation de la focale image du cristallin pour voir de près.

VI. 4. Les instruments d'optique :

On distingue deux grandes familles d'instruments d'optique :

- Les instruments oculaires qui donnent une image virtuelle observée par l'oeil. Parmi ces instruments, on distingue la loupe, le microscope, la lunette et le télescope.
- Les instruments objectifs ou de projection qui donnent d'un objet une image réelle.

Exemple : vidéo-projecteur ou appareil photo.

a- Puissance :

La puissance P d'un instrument est le rapport de l'angle sous lequel on voit l'image virtuelle donnée par l'instrument et de la longueur de l'objet :

$$P = \frac{\alpha'}{\overline{AB}} \quad (59)$$

Où \overline{AB} est la taille algébrique de l'objet, et α' l'angle d'observation de l'image virtuelle. Cet angle varie selon la position de l'observateur.

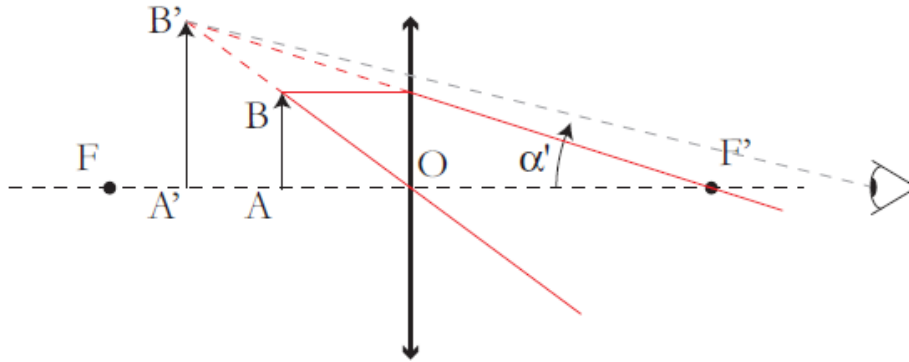


Fig.36

La puissance P s'exprime en dioptries, α' en radians et \overline{AB} en mètres.

b- Grossissement :

Le grossissement est le rapport entre les diamètres apparents sous lequel on voit l'objet à l'œil nu α et sous lequel on voit l'image virtuelle α' .

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} \quad (60)$$

Exercice n°13 :

- ❖ Soit le cristallin de l'œil assimilé à une lentille biconvexe d'indice $n = 1,56$ et de rayons $R_1 = R_2 = R$ variables, pour permettre l'accommodation, R varie de 1,46 cm à 1,63 cm, la distance de centre optique du cristallin à la rétine étant de 15 mm.
 - 1) Calculer les distances focales limites correspondant aux deux rayons limites.
 - 2) Quel est l'intervalle de vision distincte de cet œil ? Quel est la déficience de cet œil ?
- ❖ Cet œil utilise une lentille convergente de 20δ ; on place l'œil à 5 cm de la lentille.
 - 1) Calculer le nouvel intervalle de vision distincte.
 - 2) Calculer la distance qui sépare le P_R du P_p (corrigés). Dans ce cas, comment s'appelle cette distance ?
 - 3) Quel est le nom donné à ce type de lentille ?

Bibliographie :

- 1- J-P. Parisot, P. Segonds, S. Le Boiteux. Cours Physique Optique. Sciences Sup, Dunod 2003.
- 2- N. AWANOU. Cours de Physique. Optique. Fascicule. Cotonou 1996.
- 3- T. Bécherrawy. Optique géométrique : Cours et exercices corrigés. Broché 2005.
- 4 - M. May. Introduction à l'optique. Ed. Dunod, Paris 1993.
- 5- A. Moussa et P. Ponsonnet. Cours de physique – Optique , éditions Desvigne, Paris 1992.
- 6 - L. QUARANTA. Introduction à l'optique. Ed Masson . Paris 1999.
- 7 - J.L. QUEYREL et J. MESPLEDE –Les Nouveaux Précis de Physique. Optique- Cours et exercices résolus. Editions Bréal, Paris 1999.