REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI CONSTANTINE 1
FACULTE DES SCIENCES VETERINAIRES
DEPARTEMENT DE PRECLINIQUE

• Tél. : +213 (0)31.95.23.58 • Fax : +213 (0)31.95.24.82 • E-mail : iscveterinaires@gmail.com

OPTIQUE GEOMETRIQUE : COURS ET EXERCICES

Dr. AYADI AICHA aicha.ayadi@umc.edu.dz

2018/2019

1 PRESENTATION

L'AUTEUR : Mme AYADI AICHA

« Maitre de conférence classe B », Département de Préclinique, Institut des sciences vétérinaires
« Charger de recherche », Laboratoire de microstructure et défauts dans les matériaux, Département de physique, Faculté des sciences exactes
Université Des Frères Mentouri Constantine
Email : aicha.ayadi@umc.edu.dz

INTITULE DU COURS : **OPTIQUE GEOMETRIQUE**
COEFFICIENT:02
HORAIRE: 18h

PUBLIC CIBLE : ce cours est destiné aux étudiants (es) de 1ere année docteur Vétérinaire de même les étudiants de LMD de biologie, Pharmacie et Médecine

PRE-REQUIS :

Une connaissance minimale de la physique, des mathématiques relative à la géométrie et à la trigonométrie est nécessaire pour débuter en optique géométrique

N.B

Ce cours ne sera profitable si l'étudiant :

- ✓ assister aux séances de cours présentiel
- ✓ faire une étude détaillée du cours magistral
- ✓ chercher la solution des exercices et essai de résoudre les problèmes

[OPTIQUE GEOMETRIQUE]

Vous trouvez dans cette partie les principes, les fondements et les lois de l'optique géométrique et abordez ensuite l'étude des systèmes plans et sphériques, l'association de systèmes centrés et l'étude de quelques instruments d'optique. Il présente, enfin, des notions d'optique matricielle qui permettent de résoudre plus rapidement certains problèmes d'optique comme les défauts d'œil.

Objectifs spécifique :

A l'issu de ce chapitre l'étudiant sera capable de :

- *Avoir une idée sur la nature de la lumière;*
- *Comprendre le phénomène de réfraction et de réflexion de lumière dans les milieux homogène transparent et isotrope*
- *Connaître et d'appliquer les lois de Snell-Descartes*
- *maîtriser le trajet ou la marche d'un rayon lumineux à travers un prisme et comprendre le phénomène de dispersion de la lumière*
- *Construire l'image d'un objet à travers un dioptre (plan et sphérique) , miroir, lentille mince et par combinaison de plusieurs lentilles minces*
- *Calculer les distances focales, la vergence et le grandissement*
- *savoir comment améliorer la vision (lunettes de correction, loupe, microscope, télescope…)*
- *Comprendre le fonctionnement des systèmes optiques*

L'optique étudie les phénomènes lumineux, c'est à dire principalement les phénomènes perçus par l'œil. La cause de ces phénomènes est la lumière car pour être visible un objet doit faire parvenir de la lumière à l'œil.

L'optique géométrique est une branche qui s'appuie sur la notion de rayon lumineux. Cette approche simple permet notamment des constructions géométriques d'images qui lui confèrent son nom. L'optique géométrique constitue l'outil le plus flexible et le plus efficace pour traiter les systèmes dioptriques et catadioptriques. Elle permet d'expliquer la formation des images produites par ces systèmes.

1. Rappel sur la nature de la lumière

Définir la lumière n'est pas chose facile car il existe différents modèles :

Le modèle corpusculaire : selon laquelle la lumière est constituée de corpuscules matériels soumis à la gravitation universelle.

Le modèle ondulatoire : selon laquelle la lumière se propage comme une onde mécanique (comme, par exemple, le son dans l'air)

Brève histoire de lumière onde et photon :
voir la vidéo sur YouTube : https://www.youtube.com/watch?v=L5B3frVR8LM

1.1 Description ondulatoire : la lumière est une onde électromagnétique

La lumière peut être décrite comme une onde électromagnétique constituée d'un champ électrique $\vec{E}$ et d'un champ magnétique $\vec{B}$qui oscillent en phase, perpendiculairement l'un par rapport à l'autre et perpendiculairement à la direction de propagation. Elle peut se propager en l'absence de support matériel. (Figure 1).

Un champ électrique est par exemple créé par un condensateur. Il est noté $\vec{E}$, l'unité associée est le Volt par mètre. La foudre met en jeu des champs électriques de l'ordre de 300kV.m^{-1}.

Un champ magnétique est crée par exemple par un aimant, ou par une bobine parcourue par un courant électrique (solénoïde). Il est noté $\vec{B}$ et l'unité associée est le Tesla. Un aimant créé un champ magnétique de l'ordre de 10^{-3} T.

Des bobines supraconductrices peuvent générer un champ de l'ordre de 1 T.

Pour une onde électromagnétique, la longueur d'onde dans le vide λ_0 et la fréquence ν ou f de l'onde sont liées par :

$$\lambda_0 \nu = c$$

Selon la fréquence ν de l'onde électromagnétique, on parle plutôt d'onde lumineuse, ou d'onde radio, de rayons X, etc...

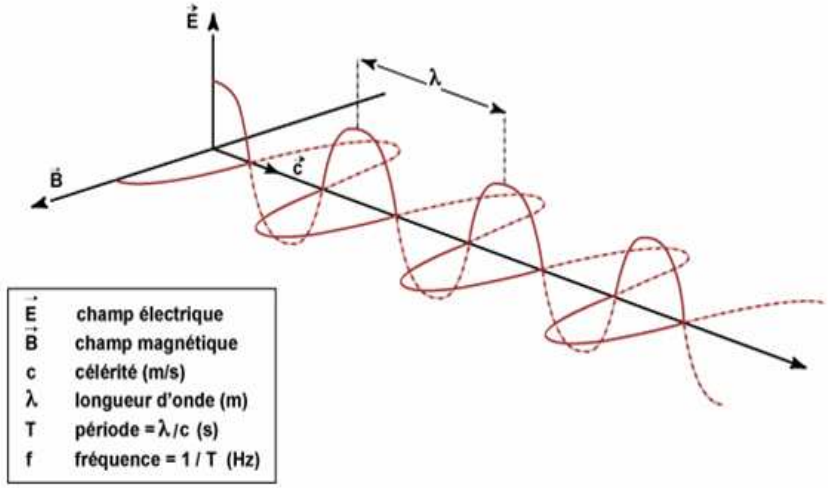


Figure1. Nature et propagation d'une onde électromagnétique

Les ondes dites lumineuses sont les ondes électromagnétiques détectées par l'oeil humain c'est à dire celles qui constituent le spectre visible (de 400 à 700 nm).

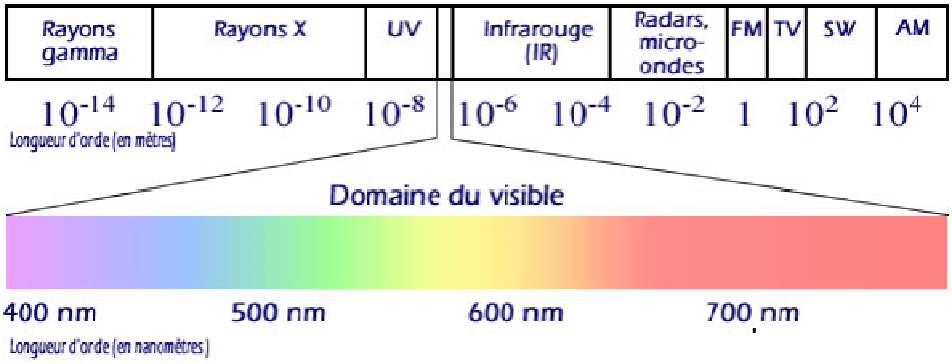


Figure 2. Spectre électromagnétique

1.2 Description corpusculaire

À une onde électromagnétique on associe un flux de photon. Un photon est une particule de masse nulle, de charge nulle, dont la vitesse c de la lumière dans un milieu considéré.

Un photon possède une énergie : $\boldsymbol{E = h\nu}$ avec $\boldsymbol{h = 6.62.10^{-34}\, J.s}$ la constante de PLANCK et $\boldsymbol{\nu = \frac{1}{T}}$ la fréquence de l'onde

1.3 La propagation de la lumière dans le vide

Les observations courantes nous amènent à considérer le vide comme un milieu homogène et isotrope ; ceci signifie que les propriétés de propagation des ondes électromagnétiques (et donc de la lumière) ne varient sur leur trajet et qu'il n'y a pas de direction privilégiée, l'expérience montre alors que la lumière se propage en ligne droite, c'est le principe de la propagation rectiligne :

Dans le vide, la lumière se propage en ligne droite avec une vitesse c indépendante de la direction adoptée, $c = \lambda_0 \nu$

ν : La fréquence, λ : la longueur d'onde et c et la célérité c égale à 3.10^8 m/s

1.4 La propagation de la lumière dans un milieu matériel

Dans le vide, une onde était définie par sa fréquence, aussi par sa longueur d'onde.

La fréquence ν est définie de la même façon quel que soit le milieu dans lequel se propage la lumière (vide ou matériel) ; par contre la longueur d'onde est modifiée car la lumière se propage dans un milieu matériel à une vitesse V différente de la célérité c où c est remplacé par $V = \nu \lambda$

Le principe de propagation rectiligne est toujours vérifie dans un milieu homogène, transparent et isotrope (MHTI) :

Homogène : propriétés physique identiques en tout point.

Transparent : absence d'absorption d'énergie lumineuse par le milieu.

Isotrope : propriétés physique identique dans toutes les directions de l'espace.

La lumière interagit tout de même avec la matière, ce qui a pour effet de diminuer la vitesse de propagation d'une radiation monochromatique de fréquence dans le milieu considéré : c'est le **phénomène de dispersion**.

La lumière ralentie, **sa vitesse de propagation V étant toujours inferieur à c.**

La relation entre c et V : $$V = \frac{C}{n}$$,

Où n est l'indice absolu du milieu. C'est une caractéristique intrinsèque du milieu, où $n \geq 1$.

Le tableau 1 donne les valeurs des indices n pour quelque milieu matériels

	air	Eau	verre
n	1	1.33	1.51

Tableau 1. Indice de réfraction

n dépend des conditions thermodynamique locale (densité, pression et la température) lorsqu'elles sont différentes d'un point à l'autre d'un milieu ; on dit alors que le milieu est **inhomogène.** Dans ce cas la lumière ne se propage plus en ligne droite, une bonne approximation consiste à décomposé le milieu en une série de couches homogènes d'indices différents dans les quelle la trajectoire du rayon lumineux est rectiligne. Le principe de **Snell- Descartes,** permettra de rendre compte de façon simple des phénomènes optique (réfraction, mirages..).

2. Les sources de lumière

2.1 Sources primaires

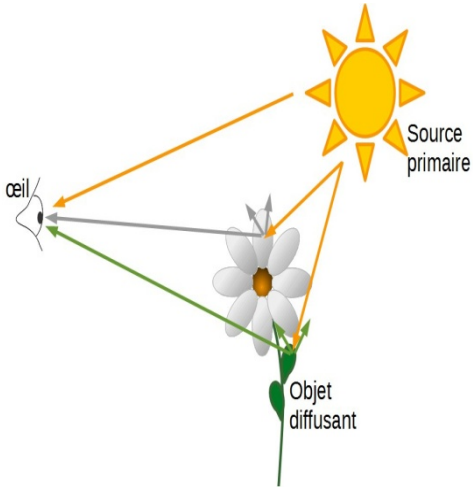
Une bougie, une lampe, le soleil,…etc., émettent de la lumière par eux-mêmes (combustion, incandescence, réaction nucléaire….). De telles sources lumineuses sont appelées sources primaires.

Une source primaire de lumière est un corps qui crée et émet de la lumière dans toutes les directions.

Il existe deux sortes de sources :

a. les sources chaudes (soleil, étoiles, bougie…)

b. les sources froides dont la température est voisine de la température ambiante~ 25°C. exemples : écrans, vers luisant, luciole….



Exemple d'une source primaire

2.2 Sources secondaires

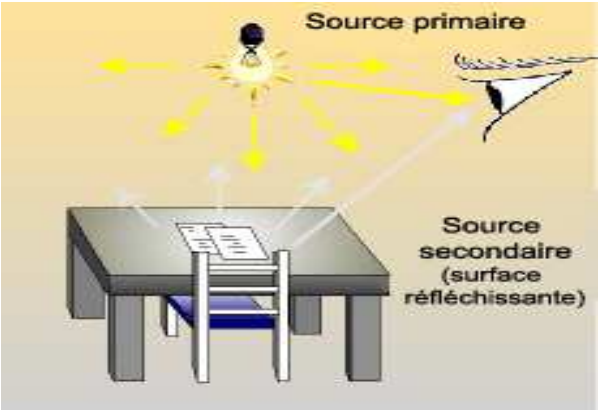
On éclaire une balle avec une source lumineuse. On place successivement derrière la balle un écran noir puis un écran blanc. On observe que :

a. sans écran, une partie de la balle est éclairée tandis que l'autre est sombre ;
b. la présence de l'écran noir ne modifie rien ;
c. avec l'écran blanc, une nouvelle zone de la balle est éclairée. L'écran blanc renvoie une partie de la lumière reçue et permet ainsi d'éclairer l'arrière de la balle.

Une source de lumière secondaire est un corps qui renvoie la lumière reçue dans toutes les directions.

Exemples : La Lune, les planètes, un écran de cinéma,….

on dit que la lumière est diffusée par l'objet. Seuls les objets totalement noirs ne réfléchissent pas de lumière



Exemple d'une source secondaire

A retenir

- ✓ La lumière est une onde électromagnétique caractérisée par les amplitudes couplées du champ électrique et du champ magnétique.
- ✓ tout rayonnement (OEM), l'énergie est concentrée en grains, ou **quanta de lumière**, nommés **photons**, dont l'énergie $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ est proportionnelle à la fréquence ν du l'onde, h étant la constante de Planck $h \simeq 6,\ 62.10^{-34}$ **J. s**
- ✓ la lumière se propage dans le vide en ligne droite avec une vitesse **c** indépendante de la direction adoptée : $c \simeq 3.10^{8}$ **m. s**$^{-1}$. elle peut aussi se propager dans un milieu matériel (MHTI), avec une vitesse **V ≤ c**.
- ✓ L'onde lumineuse peut être caractérisée :
  - par sa vitesse v dans le milieu,
  - par sa longueur d'onde dans le vide λ_0,
  - par sa fréquence ν.
- ✓ Soit v la vitesse de la lumière dans un milieu matériel transparent ; L'indice n du milieu est défini par : $n = \frac{c}{v}$ donc : $n > 1$
- ✓ Le milieu est d'autant **plus réfringent que n est grand**.
- ✓ Une source primaire de lumière est un corps qui crée et émet de la lumière dans toutes les directions.
- ✓ Une source de lumière secondaire est un corps qui renvoie la lumière reçue dans toutes les directions.

3. Notion de rayon lumineux- optique géométrique

Dans l'approximation de l'optique géométrique, la lumière se propage par ligne lumineuse indépendantes appelées « **rayons lumineux** » et il n'est pas nécessaire de faire appel à la description ondulatoire de la lumière pour en comprendre la propagation.

Lorsque un rayon rencontre une surface plane qui sépare deux milieux transparents, homogènes et isotropes, d'indices différents n_1 et n_2 (qu'on appelle **dioptre**) , il change de direction : une partie reste dans le premier milieu (**milieu d'incidence**) : il y a **réflexion ;** une autre partie transmise dans le second milieu avec un changement de direction : il y a **réfraction**

La figure 2 définit les angles que font les rayons incident, réfléchi et réfracté par rapport à la normal au dioptre au point d'incidence

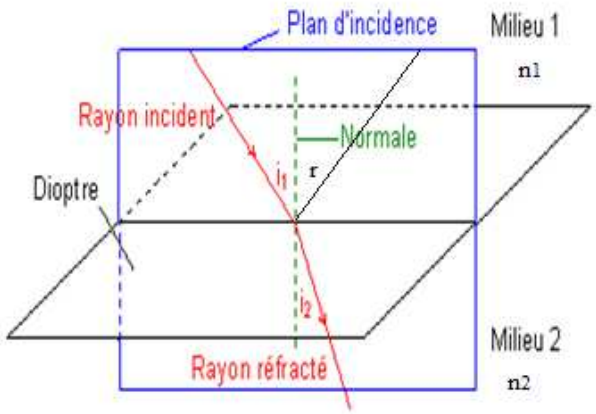


Figure 2. trajectoire d'un rayon lumineux passant d'un milieu 1 d'indice (n_1) à un milieu 2 d'indice différent (n_2).

3.1 Loi de Snell – DESCARTES

A. 1RE loi de Snell-Descartes : loi du plan d'incidence

Les rayons incident, réfléchi, réfracté et la normal au point d'incidence sont dans le même plan, **plan d'incidence**, d'après la figure 2, il est défini par le rayon incident et la normal au dioptre au point d'incidence

B. 2ième loi de Snell- Descartes : loi de réflexion

L'angle d'incidence et l'angle de réflexion sont égaux et opposés (voir Fig.2)

$$i_1 = r$$

C. 3ième loi de Snell- Descartes : loi de réfraction

Lorsque la lumière atteint un nouveau milieu une partie de cette dernière s'y propage mais en subissant une déviation. Ce phénomène correspond à une réfraction. Quand on fait varier l'angle d'incidence, il existe un rapport constant entre les sinus des angles d'incidence et de réfraction. Ce rapport constant dépend toutefois des deux milieux considérés.

$$\boldsymbol{n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2}$$

3.2 Principe retour inverse de la lumière

De la symétrie des lois de Snell-Descartes résulte le corollaire suivant :

Si la lumière suit un certain chemin dans un certain sens, elle peut suivre le même chemin an sens inverse. Les lois de la propagation des rayons lumineux sont indépendantes du sens de parcours de la lumière.

3.3 LOI DE KEPLER : Approximation des petits angles

Si l'angle d'incidence i_1 est petit, on peut confondre le fonction sinus avec la valeur de l'angle exprimée en radian. Il en est alors de même pour l'angle de réfraction i_2. On rappelle qu'au premier $\sin i_1 \approx i_1$; on de même $\sin i_2 \approx i_2$. on peut obtenir dans ce cas une approximation approchée de la lois de Snell-Descartes sou une nouvelle forme appelée loi de KEPLER :

$$\boldsymbol{n_1 i_1 = n_2 i_2 \;\; ou \; i_1 = n_2 i_2}$$

3.4 Principe de Fermat

Soit dl le déplacement élémentaire du chemin géométrique effectué pour aller de A vers B, deux points situés dans un milieu d'indice n, pouvant varie en fonction de l. la longueur dl du parcourue pendant le temps élémentaire dt est $dt = \frac{dl}{V} = n(l)\frac{dl}{C}$ la durée du parcours AB est donc :

$$t = \frac{1}{C}\int_A^B n(l)dl$$

Elle s'écrit donc aussi $t = \frac{L_{AB}}{C}$ on appelle L_{AB} le chemin optique de A à B

Le principe de Fermat s'énonce donc sous la forme générale comme :

Pour aller d'un point à un autre, la lumière suit, parmi toutes les trajectoires possibles, celle dont le temps de parcours en extrémal.

4. Conséquences des lois de Snell- Descartes :

4.1. Réfraction dans le cas $n_1 < n_2$: Passage au milieu plus réfringent

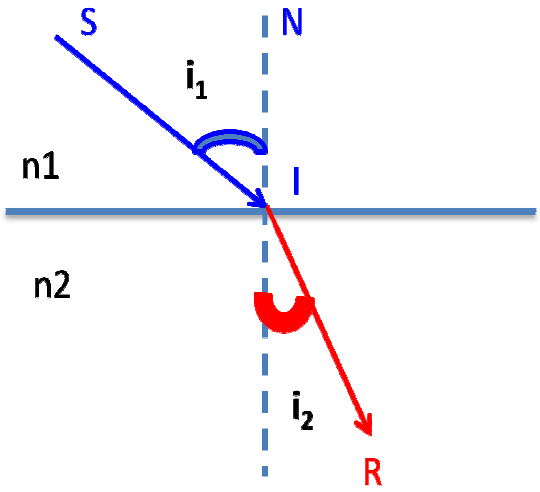
Soit le rayon incident SI se propage d'un milieu moins réfringent vers un milieu plus réfringent (soit $n_1 < n_2$).

En appliquant la formule de Descartes :

$$sini_2 = \frac{n_1}{n_2} sin\, i_2$$

alors $sini_2 < sini_1$ et donc $\boldsymbol{i_2 < i_1}$

Lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu n_1 vers un milieu n_2 plus réfringent, le rayon réfracté se rapproche de la normale.



$n_1 < n_2$

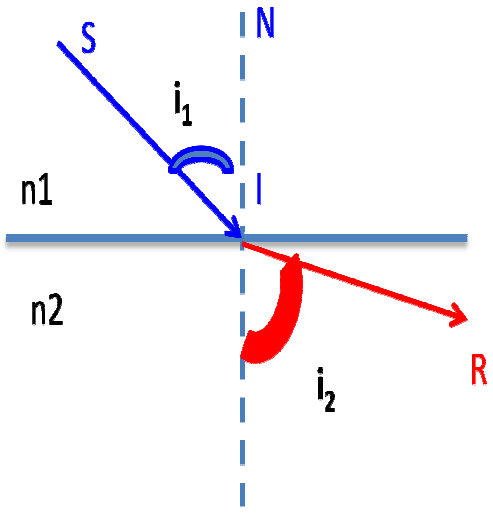
4.2. Réfraction dans le cas $n_1 > n_2$: Passage au milieu moin réfringent

Supposons maintenant que la lumière passe d'un milieu plus réfringent n1 vers un milieu moins réfringent n2. En appliquant la formule de Descartes :

$$\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin i_1$$

alors $\sin i_2 > \sin i_1$ et donc $\boldsymbol{i_2 > i_1}$

Lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu n_1 vers un milieu n_2 plus réfringent, il s'écarte de la normale.



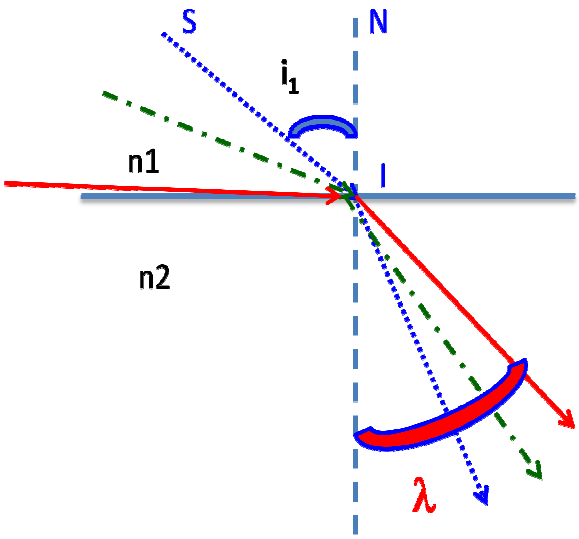
$n_1 > n_2$

4.3. Réfraction limite

à tout rayon incident correspond donc un rayon réfracté qui se rapproche de la normale en pénétrant dans le milieu plus réfringent.

Si l'incidence est rasante, c'est-à-dire $i_1 = 90°$, l'angle de réfraction i_2 prend une valeur particulière λ **appelée angle de réfraction limite :** $i_1 = 90 \rightarrow n_1 \sin i_1 = n_2 \sin \lambda$

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



$n_1 < n_2$

4.4. Réflexion totale

Si l'on fait augmenter l'angle d'incidence i1 depuis un angle perpendiculaire au dioptre (correspondant à l'incidence normale i_1=0°), l'angle de réfraction i_2 croît plus vite

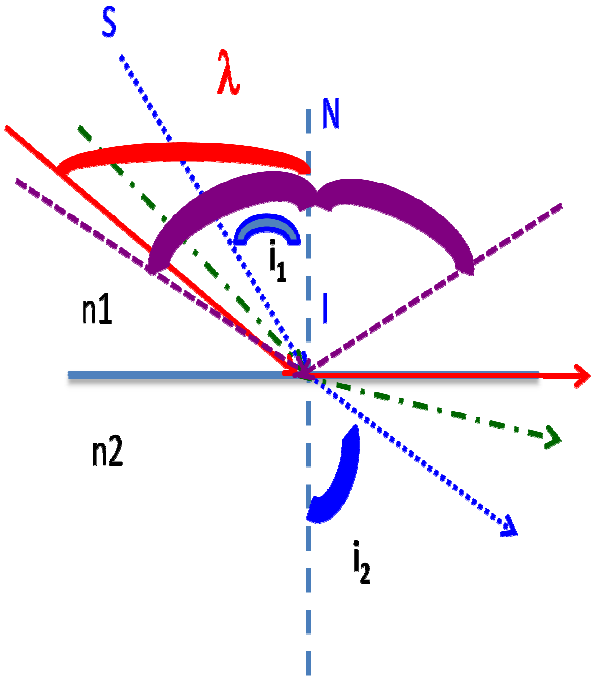
i_2 prend la valeur extrême égale à 90° donc:

$i_2 = 90 \rightarrow i \approx \lambda$ donc

$n_1 \sin \lambda = n_2 \sin 90$

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

Lorsque les rayons incidents arrivent sur le dioptre avec un angle d'incidence supérieur à l'angle limite, ils subissent une réflexion totale alors que pour une valeur inférieure à l'angle limite ils ne subissent qu'une réflexion partielle. La surface de séparation des deux milieux se comporte alors comme un miroir parfait.



$n_1 > n_2$

En résume que L'angle critique λ de la réflexion totale et de la réfraction limite est énoncé par la relation:

$$\lambda = \frac{n\ (indice\ du\ milieu\ le\ moins\ réfringent)}{n\ (indice\ du\ milieu\ le\ plus\ réfringent)}$$

A retenir

- ✓ Dans le cadre de l'optique géométrique, les rayons lumineux sont indépendants les uns des autres.
- ✓ Dans un milieu homogène et isotrope, la lumière se propage en ligne droite ; les rayons lumineux sont des droites.
- ✓ **Lois de Snell – Descartes**
  - le rayon réfléchi et le rayon réfracté sont contenus dans le plan d'incidence (le plan d'incidence est déterminé par le rayon incidente et la normale sur la surface de séparation dans le point d'incidence).
  - loi de la réflexion: les valeurs absolues des angles incident et réfléchi sont égales.
  - loi de la réfraction: $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$, où i_1 est l'angle d'incidence et i_2 l'angle de réfraction
- ✓ **Principe du retour inverse de la lumière** : Le trajet de la lumière est indépendant du sens de parcours. Si un rayon part d'un point A pour aller vers un point A′ en suivant un certain trajet, alors un autre rayon lumineux peut partir de A′ et suivre le même trajet pour aller en A.
- ✓ **Loi de KEPLER** : lorsque les angles d'incidence sont faible, la loi de snell- Descartes peut s'écrire : $i_1 = n\ i_2$
- ✓ **Le principe de Fermat** peut s'exprimer ainsi :

  La lumière se propage d'un point à un autre sur des trajectoires telles que la durée du parcours est minimale1.
- ✓ Conséquence de la réfraction de la lumière :
  - Quand $n_1 < n_2$ donc $i_2 < i_1$, on peut avoir la réfraction limite
  - Quand $n_1 > n_2$ donc $i_2 > i_1$, on peut avoir la réflexion totale
- ✓ L'angle critique λ de la réflexion totale et de la réfraction limite est énoncé par la relation:

  $$\lambda = \frac{n\ (indice\ du\ milieu\ le\ moins\ réfringent)}{n\ (indice\ du\ milieu\ le\ plus\ réfringent)}$$
- ✓ Les applications de la réflexion totale sont nombreuses : elle permet par exemple de guider la lumière à l'intérieur des fibres optiques

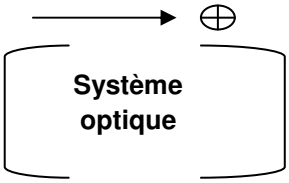
5. Formation des images et approximation de Gauss

5.1 Modélisation en optique géométrique : Définition

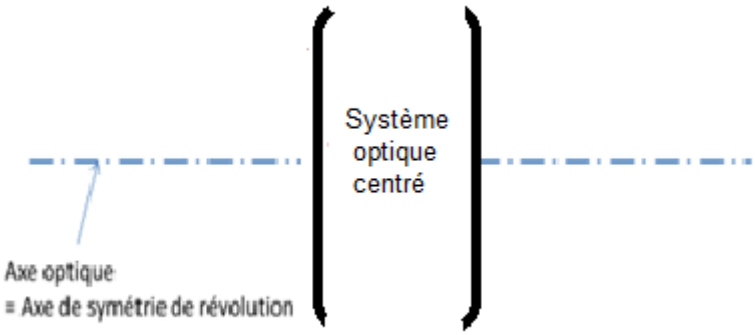
A. Système Optique

On appelle système optique tout ensemble des éléments optiques, tels que des dioptres et de miroirs traversés par des rayons lumineux, permettant de modifier la trajectoire des rayons lumineux ou les propriétés de la lumière.

Symbole d'un système optique :



Un système optique est dite **centré** dont l'ensemble de composants optiques possédant un axe de révolution qu'on appelle axe optique.



- **Système dioptrique** : Système optique ne comprenant que des dioptres.
- **Système catadioptrique** : Système optique comprenant des dioptres et des miroirs.
- **Système catoptrique** : Système ne comprenant que des miroirs.

B. Objet

On appelle objet la source des rayons lumineux, où l'intersection **de rayons lumineux entrant dans le système optique** sont appelés **rayons incidents**.

On dit :

Objet Ponctuel : quand on n'arrive pas à déterminer la dimension en l'observant `a travers un instrument d'optique.

Objet ´Etendu : auquel on peut associer une dimension. Il peut être considère comme une infinité d'objets ponctuels indépendants les uns des autres.

Objet à distance Finie : si on peut déterminer la position par rapport à l'instrument faisant l'observation.

• Objet à l' Infini : si ´éloigné, que tous les rayons qui en viennent sont parallèles.

C. IMAGE

On appelle point image l'intersection de **rayons lumineux sortant du système optique** sont appelés **rayons émergents**.

Comme pour caractériser un objet, on retrouve les mêmes définitions secondaires :

- d'image ponctuelle (étoile observée à l'œil ou au télescope),
- d'image étendue (Lune observée au télescope),
- d'image `à l' infini (image d'un objet placé au foyer d'un miroir parabolique),
- d'image à distance finie (image d'un objet à distance finie dans un miroir).

D. Objets, Images, réel (le)s, virtuel(le)s

- **Face d'entrée** de *(S)* : Surface du système frappée par les rayons incidents.
- **Face de sortie** de *(S)* : Surface du système d'où sortent définitivement les rayons émergents.
- **Espace objet** (ou milieu incident) : Portion de l'espace d'où proviennent les rayons incidents.
- **Espace image** (ou milieu émergent) : Portion de l'espace vers laquelle sortent les rayons émergents.
- **Objet réel** : Objet se situant dans l'espace objet. Il est placé avant la face d'entrée du système optique.
  Un objet ne se situant pas dans l'espace objet est un **objet virtuel,** il est situé après la face d'entrée du système optique.
- **Image réelle** : Image se situant dans l'espace image, elle est située après la face de sortie du système optique.
  Une image ne se situant pas dans l'espace image est une **image virtuelle**, elle est située derrière la face de sortie du système optique.

NB : Une image virtuelle ne peut pas être observée directement sur un écran. Si l'on ne considère qu'un seul système optique, une image réelle peut être observée sur un écran.

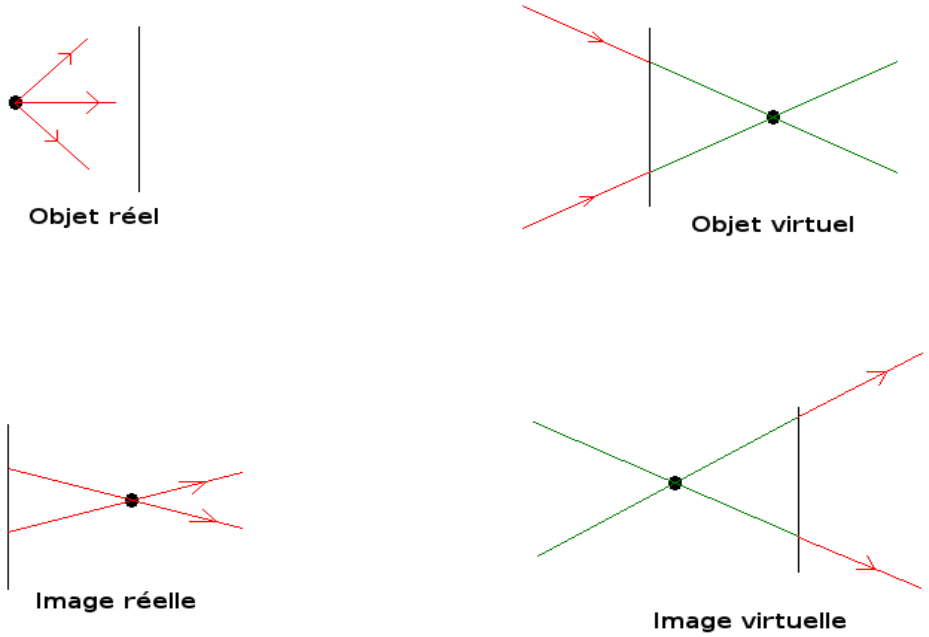


Figure 4. Objets, Images, réel (le)s, virtuel(le)s à travers un système optique

5.2 Conjugaison objet-image : notion de stigmatisme

Nous avons un point objet qui donne à la sortie du système optique un point image. On parle de conjugaison entre ces deux points.

On dit qu'un système optique est **stigmatique** si, tous les rayons **émergents** issus d'un objet ponctuel A, se croisent exactement en un unique point image A', Inversement, le système n'est pas stigmatique si tous les rayons émergents issus d'un objet ponctuel se croisent en une multitude de points.

Les points A et A' sont dits conjugués : A' est l'image conjuguée de A par le système optique. On a réalisé une **transformation optique**.

Notation :

$$A \xrightarrow[\text{optique}]{\text{système}} A'$$

Il existe une relation mathématique entre ces deux points, appelée **relation de conjugaison**

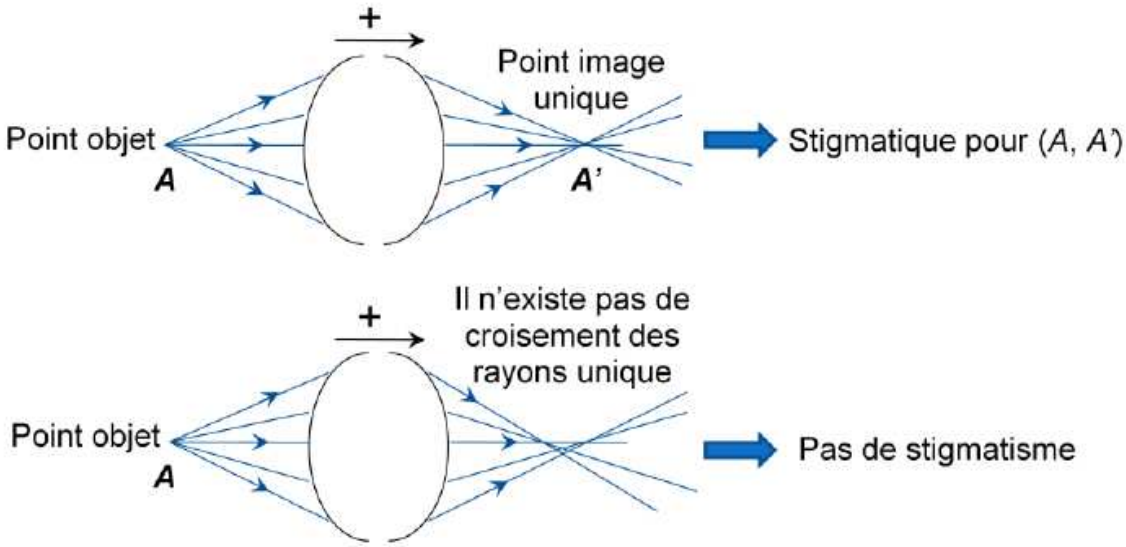


Figure 5. Notion de stigmatisme

5.2.1 Stigmatisme rigoureux

Un système optique (S) est dit rigoureusement stigmatique pour un couple de points (A,A′) si tout rayon lumineux incident passant par A, passe par A′ après avoir traversé le système optique (S) .

A et A′ sont deux points conjugués par le système optique (S).

Exemple :

Le miroir plan est rigoureusement stigmatique pour tous les couples de points objet/ image (A,A') de l'espace. C'est un cas unique dans tous les systèmes optiques.

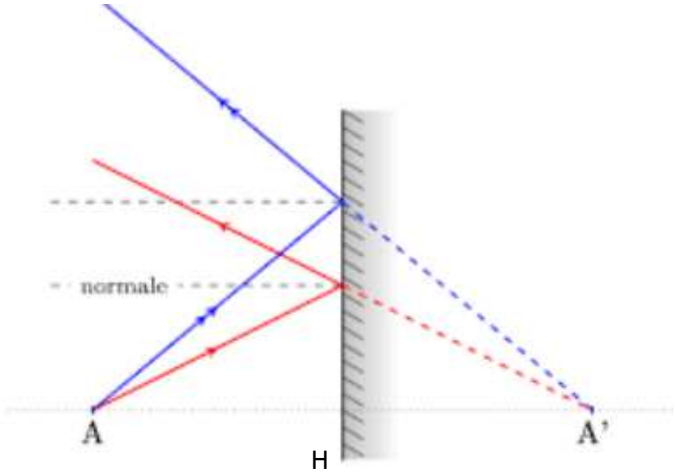


Figure 6. Construction de l'image d'un point objet réel avec un miroir plan

Relation de conjugaison :

La relation de conjugaison d'un système optique est la relation mathématique qui lie les distances caractéristiques de l'emplacement de l'objet et de l'emplacement de l'image.

Intérêt : on peut trouver la position de l'image à partir de l'objet et vice-versa.

Dans le cadre du miroir : $\overline{HA'} = -\overline{HA}$

$\overline{HA'}$ représente la distance algébrique entre H et A'

$\overline{HA}$ représente la distance algébrique entre H et A

5.2.2 Stigmatisme approché

Il y a stigmatisme approché d'un système optique (S) pour un couple de point (A, A′) si tout rayon passant par le point objet A, passe au voisinage du point image A′ après avoir traversé le système optique (S).

Exemple : miroir sphérique

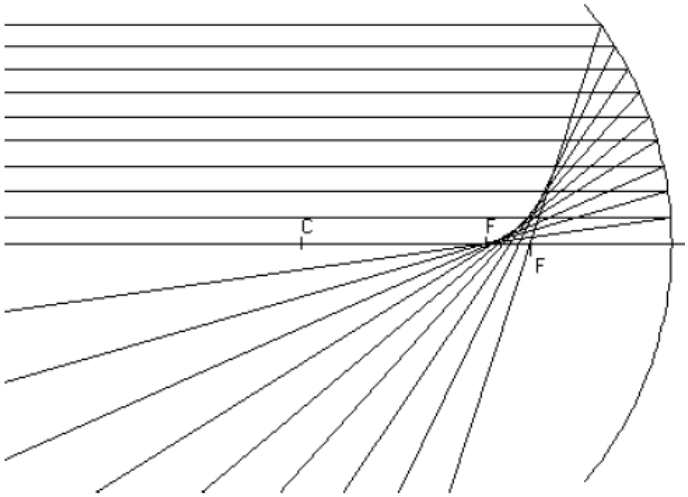


Figure 7. Stigmatisme approché à travers un miroir sphérique

5.3 Notion d'Aplanétisme

Soit un système optique présentant la symétrie de révolution autour d'un axe Δ, appelé axe optique.

Il y a aplanétisme lorsque le système optique donne, d'un objet plan perpendiculaire à l'axe optique Δ, une image plane perpendiculaire à Δ.

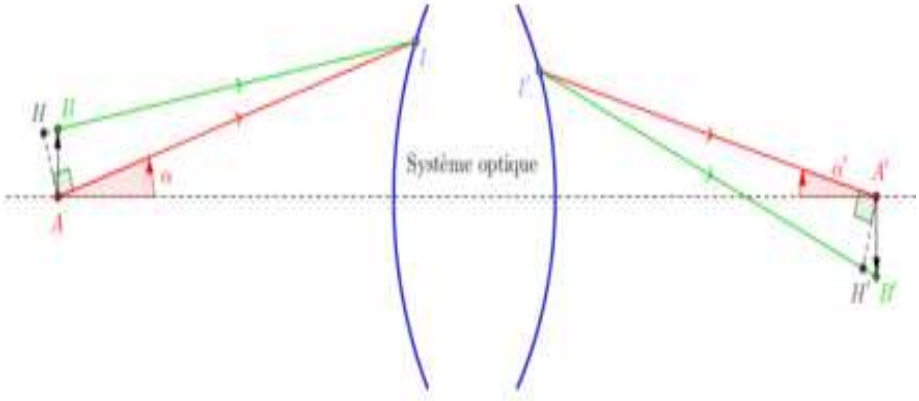


Figure 8. Système optique aplanétique

5.4 Systèmes centrés dans l'approximation de Gauss

5.4.1 Conditions de Gauss

Les systèmes centrés présentent une propriété très intéressante. S'ils sont utilisés dans les conditions de Gauss, ils sont alors approximativement stigmatiques et aplanétiques.

Un système centré est utilisé dans les conditions de Gauss s'il n'est traversé que par des rayons paraxiaux :

- ✓ les rayons arrivent à la face d'entrée de (S) proche de l'axe optique, ils sont peu inclinés par rapport à l'axe optique (<10°)
- ✓ Objet plan, de petites dimension et perpendiculaire à l'axe principale

Dans ces conditions :

- tout point A situé sur l'axe possède un conjugué A', situé aussi sur l'axe
- tout plan orthogonal à l'axe possède un plan conjugué orthogonal à l'axe

c-à –d les systèmes centrés sont stigmatiques et aplanétiques (au sens rigoureux ou approché).

5.5 Relation de Conjugaison

Pour un système optique centré aplanétique et stigmatique (au sens rigoureux ou approché), la relation de conjugaison est un relation algébrique qui relie la position de l'image `a celle de l'objet par rapport `a l'axe optique.

Si (P) et (P') notent les plans orthogonaux à l'axe optique contenant respectivement l'objet et l'image, on dit que la relation de conjugaison lie la position des deux plans conjugués par le système optique.

5.6 Formule de conjugaison du dioptre plan

- Le dioptre plan est approximativement stigmatique pour tout point source situé à distance finie, à condition que les rayons émis et réfractés soient peu inclinés par rapport à la direction de la normale au dioptre.

- Les points objet et image sont toujours de nature contraire, si l'un est réel l'autre est virtuel.

La formule de conjugaison du dioptre plan s'exprime sous la forme: $$\frac{n_2}{\overline{HA_2}} = \frac{n_1}{\overline{HA_1}}$$

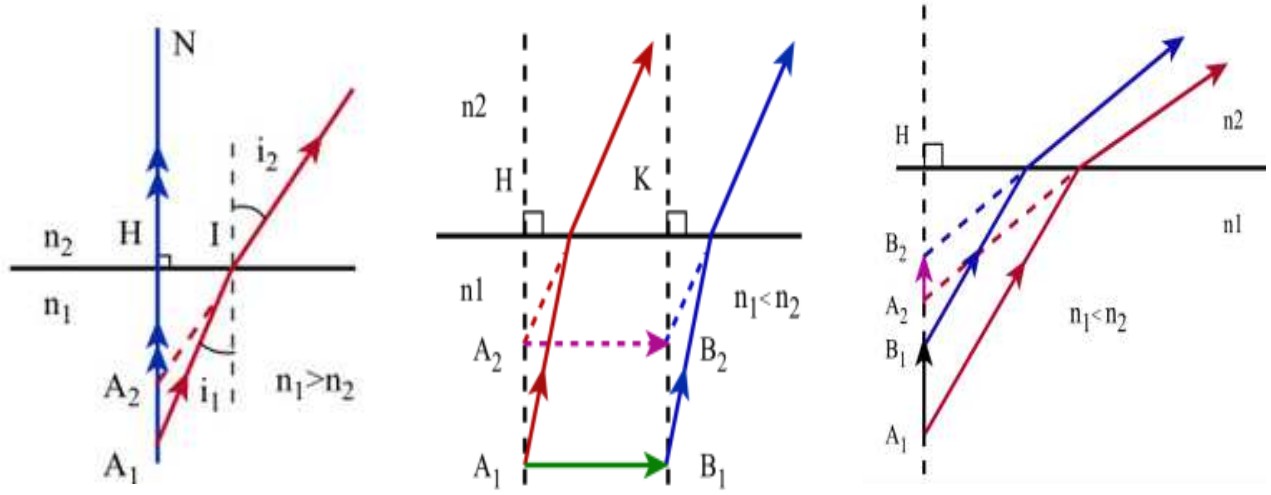


Figure 9. L'image d'un objet ponctuelle et étendu travers un dioptre plan

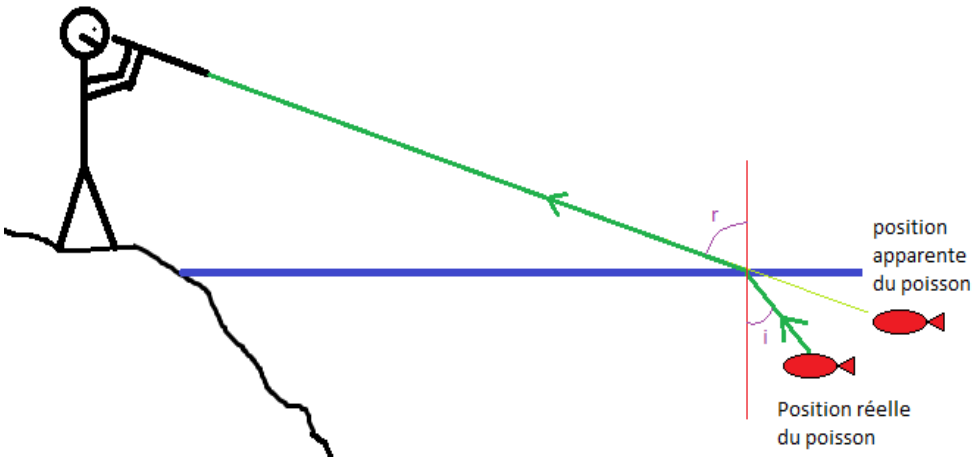
$\overline{HA_1}$ et $\overline{HA_2}$ ne peuvent être que de même signe. Ceci signifie que :

Pour un couple de points conjugués A_1 et A_2 appartenant, optiquement parlant aux milieux d'indices respectifs n_1 et n_2

- A_1 et son image A_2 sont toujours situés sur la même normale au dioptre
- A_1 et son image A_2 sont toujours situés du même côté du dioptre
- A_1 et son image A_2 sont toujours de nature différente: si l'un est réel, l'autre est virtuel et réciproquement
- si $n_1 > n_2$, A_1 est toujours plus éloigné de la surface du dioptre que A_2 ;(fig. 9) inversement si $n_1 < n_2$, A_1 est toujours plus proche de cette surface que A_2.

On peut donc conclure que l'objet et l'image dans le même coté et l'image virtuelle est parallèle à la surface du dioptre et que le grandissement linéaire est :

$$\gamma = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} = -1$$



Exemple : la vision d'un objet immergé. Le pêcheur ne voit pas le poisson où il se trouve réellement.

6. APPLICATION : LAME A FACES PARALLELES

6.1 Définition

Une lame à faces planes et parallèles est un milieu transparent et homogène, limité par deux faces planes et parallèles.

En d'autres termes, une telle lame peut être considérée comme l'association de deux dioptres plans parallèles entre eux, limitant un milieu intermédiaire commun, celui de la lame.

Dans sa forme la plus simple, la lame à faces parallèles est une vitre de verre. Cet instrument est utilisé pour de nombreuses applications en optique, entre autres en tant que lame séparatrice, miroir dichroïque ou translateur de faisceaux. De plus, la lame à face parallèle est le plus simple des interféromètres. En fonction des applications, la lame peut avoir une ou deux faces traitées (traitement diélectrique ou anti-reflet par exemple).

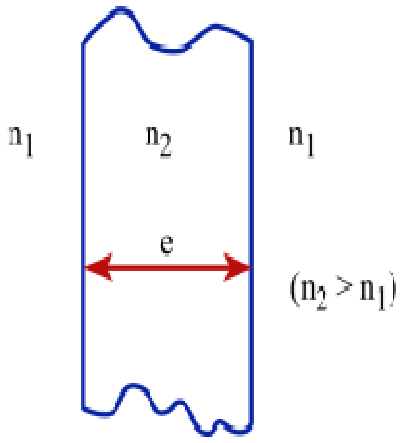


Figure 10.
Lame à face parallèle

6.2 la propagation d'un rayon lumineux par la lame :

Au point d'incidence I : le rayon lumineux arrive avec une incidence i_1 sur une lame à faces parallèle d'épaisseur e et d'indice n_2.

Il y a réfraction sur le dioptre d'entrée. Le rayon émergent fait un angle i_2 avec la normale à la face tel que :

$$n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2) .$$

En J, ce rayon subit à son tour le phénomène de réfraction puisque $i'_2 = i_2$ (angles alternes-internes) Ce rayon arrive sur le dioptre de sortie avec cette incidence et ressort de la lame avec une incidence i_1' telle que :

$n_2.\sin(\hat{i}_2') = n_1 \sin(\hat{i}_1')$ et

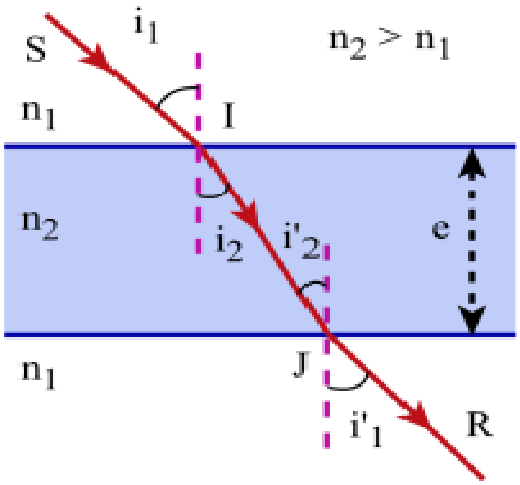
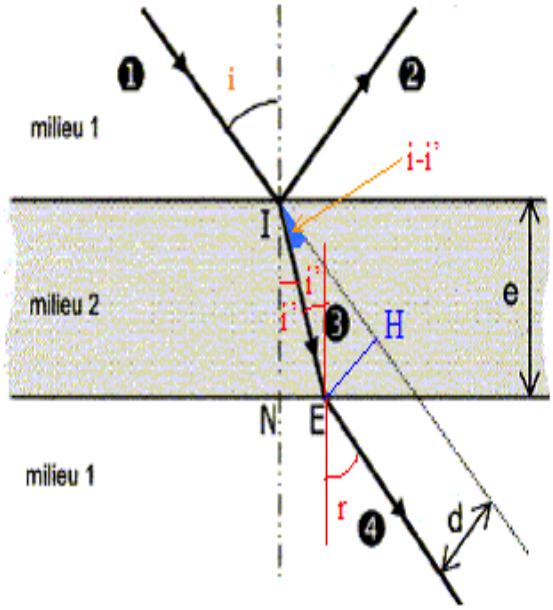


Figure 11. Action d'une lame sur la propagation d'un rayon lumineux

La lame ne modifie pas la direction des rayons lumineux (rayon incident et émergent sont Parallèles) mais introduit **un déplacement latéral** d proportionnel à l'épaisseur de la lame

6.3 Déplacement latéral du rayon lumineux



Comme les faisceaux incident et transmis (émergent) sont parallèles :

en I : $n_1 \sin i = n_2 \sin i'$;

en E : $n_2 \sin i' = n_1 \sin r$; d'où $i = r$.

dans le triangle IHE rectangle en H :

$d = EH = IE \sin(i - i')$

dans le triangle INE rectangle en N :

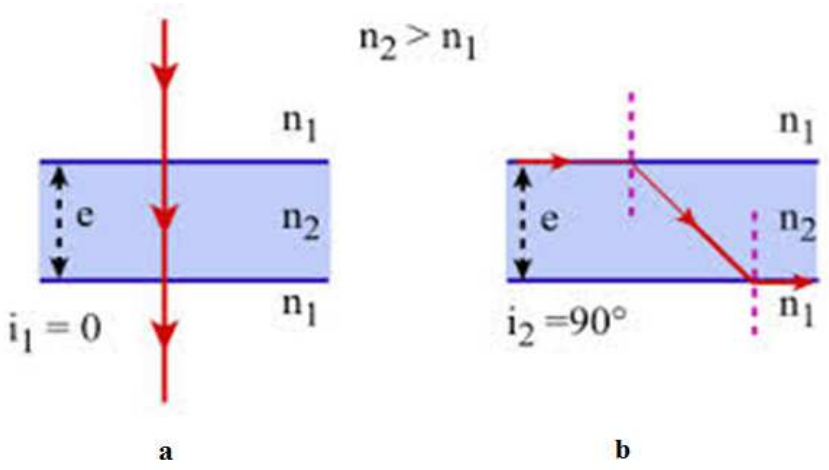
$e = IN = IE \cos i'$

Expression de d en fonction de e, i et i' :

$$d = \frac{e \sin(i - i')}{\cos i'}$$

Le déplacement latéral subi par le rayon est proportionnel à l'épaisseur de la lame

CAS PARTICULIE : un rayon lumineux frappant normalement une lame la traverse en ligne droite, tandis qu'un rayon qui entre en rasant la face d'entrée, sort en rasant la face de sortie. (Fig 12)



a) Déplacement latéral est nul b) Déplacement latéral est maximal (égal à (e))

Figure 12. Relation déplacement latérale et angle d'incidence

le déplacement d croît avec l'angle d'incidence, variant de 0 à e lorsque i_1 augmente de 0 à 90°

6.4 Image d'un objet ponctuel à travers une lame :

Pour un objet ponctuel situé à distance finie de la lame on a :

Image d'un objet ponctuel A_1 à travers le dioptre d'entrée EE' est par suite un point virtuel A_2 tel que : (voir le relation de conjugaison d'un dioptre plan)

$$\overline{HA_2} = \overline{HA_1}\frac{n_2}{n_1} \qquad (1)$$

la face de sortie SS' de la lame, l'image A'_1 de l'objet A_2 est virtuelle :

$$\overline{KA'_1} = \overline{KA_2}\frac{n_1}{n_2} \qquad (2)$$

Par combinaison des équations (1) et (2) , il est facile de déterminer pour la lame la position relative de l'image finale et virtuelle A'_1 par rapport au point objet réel A_1 . On a en effet :

$$\overline{KA'_1} = (\overline{KH} + \overline{HA_2})\frac{n_1}{n_2} = \left(\overline{KH} + \overline{HA_1}\frac{n_2}{n_1}\right)\frac{n_1}{n_2} = \overline{HA_1} + \overline{KH}\,\frac{n_1}{n_2} = \overline{HK} + \overline{KA_1} + \overline{KH}\,\frac{n_1}{n_2} =$$

$$= \overline{KA_1} + \overline{KH}\left(\frac{n_1}{n_2} - 1\right)$$

Soit $\overline{A_1A'_1} = \overline{KH}\left(\frac{n_1}{n_2} - 1\right)$

qui, rapportée aux données de la lame, s'écrit : $\overline{A_1A'_1} = e\left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right)$

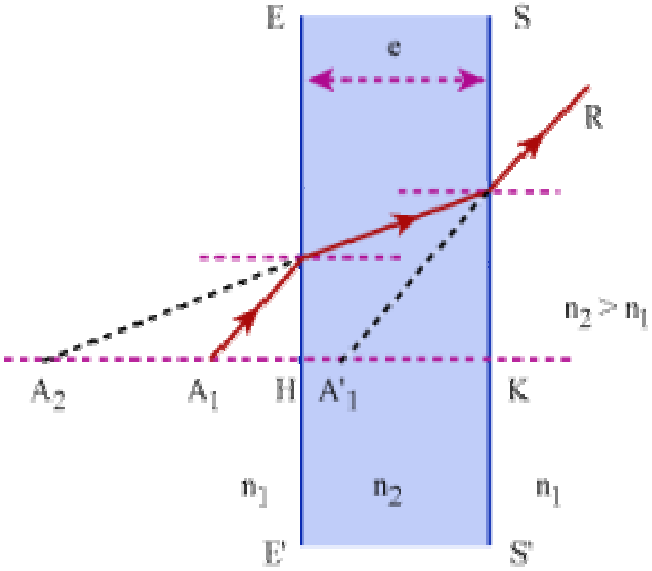


Figure 13. Image d'un objet ponctuel à travers une lame

Remarque :

On notera que:

- L'image d'un point source à travers une lame à faces planes et parallèles est toujours de nature différente de celle de l'objet; si l'un est réel, l'autre est virtuelle, et vice-versa.
- La recherche de l'image ponctuelle d'un point source situé à distance finie se fait par application de la formule du dioptre plan sur la face d'entrée de la lame puis sur sa face de sortie.

7. PRISME

7.1 Définition

Un prisme, souvent **constitué de verre**, est un milieu homogène, transparent et isotrope, limité par deux faces planes non parallèles **(face d'entrée et face de sortie)**. L'Intersection entre les deux faces forme **l'arête du prisme,** caractérisée par un **angle A.** Enfin, on appelle **base du prisme** la troisième face, dont les bords généralement parallèles à l'arête.

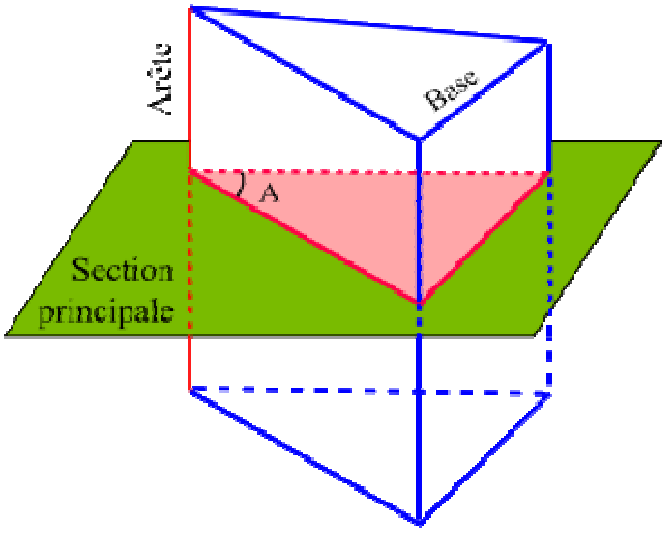


Figure 14. Prisme d'angle A, on définit l'arête, la base et le plan principal perpendiculaire à l'arête

Un prisme est dans ces conditions totalement défini par son angle A et son indice relatif n.

7.2 Actions d'un prisme sur la lumière

On éclaire une fente avec un faisceau laser et on envoie le faisceau obtenu sur la face d'un prisme. On constate que le prisme provoque par réfraction sur ses deux faces un changement de direction de la lumière, le déviant vers la base.

Donc le faisceau laser est dévié et le spectre ne comporte qu'une seule couleur, la couleur rouge initiale.

En concluant que La lumière produite par un laser est constituée d'une seule radiation, elle est monochromatique.

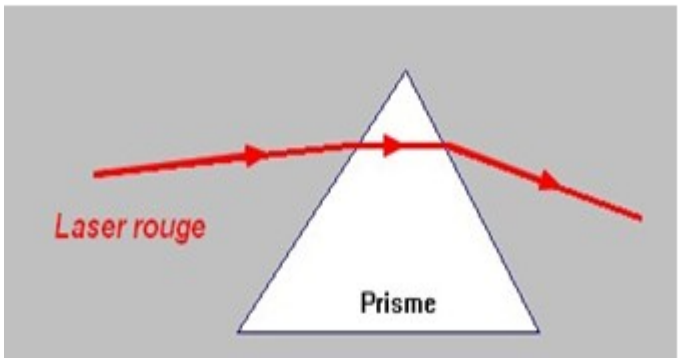


Figure 14. Prisme éclairé par un faisceau laser.

7.3 Dispersion de la lumière blanche par un prisme

On éclaire une fente avec une lumière blanche (soleil) et on envoie le faisceau obtenu sur la face d'un prisme. Nous observons qu'à la sortie du prisme :

- ✓ La lumière est déviée par le prisme.
- ✓ De plus le faisceau qui émerge du prisme est étalé et présente les différentes couleurs de l'arc-en-ciel (rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo, violet).
- ✓ La lumière rouge est moins déviée que la lumière violette.

En concluant que

- ➢ Le prisme dévie et décompose la lumière blanche en lumières colorées du rouge au violet.
- ➢ C'est un phénomène de dispersion.
- ➢ L'ensemble des couleurs obtenues constitue le spectre de la lumière blanche.
- ➢ Le spectre est continu du rouge au violet.
- ➢ **La lumière blanche est constituée de plusieurs couleurs ou radiations** : **c'est une lumière polychromatique.**

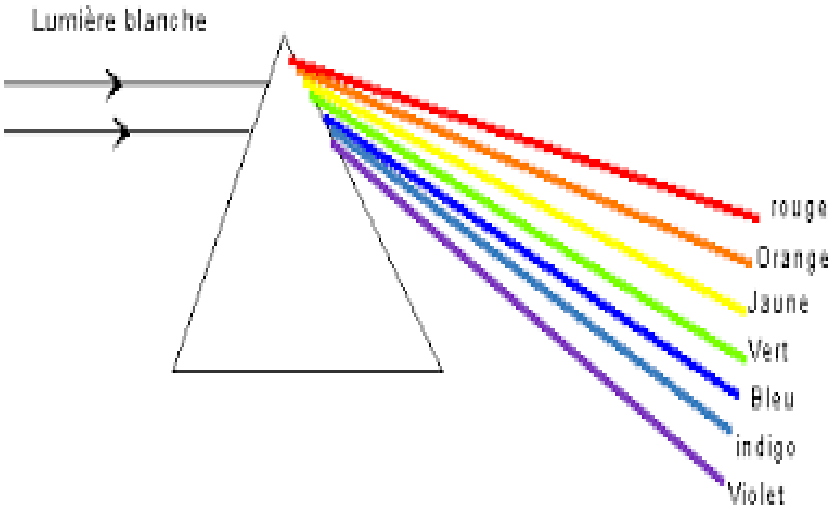


Figure 14. Prisme éclairé par la lumière blanche.

APPRENDRE

- Il existe **les sources monochromatiques** qui émettent **une seule radiation lumineuse**
- **Les sources polychromatiques** qui émettent **plusieurs radiations lumineuses**.
- Une lumière monochromatique ne peut être décomposée par un prisme. C'est une radiation lumineuse qui est caractérisée par sa longueur d'onde λ_0 dans le vide ou l'air.

  Le laser rouge est une radiation de longueur d'onde $\lambda = 633$ nm.
- Une lumière polychromatique :
  - ☐ une lumière complexe est un mélange de plusieurs radiations.
  - ☐ Elle n'est pas caractérisée par une longueur d'onde.
  - ☐ On lui associe une plage de longueurs d'onde.

7.4 Marche d'un rayon monochromatique par un prisme : Formules du prisme

Considérons un prisme défini dans son plan de section principale par son angle A et son indice relatif n>1. On rappelle que par hypothèse, le milieu ambiant est l'air.

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, et qui frappe en I' la face de sortie AC, ce rayon subit en I et I ' le phénomène de réfraction en respectant les deux lois de Descartes.

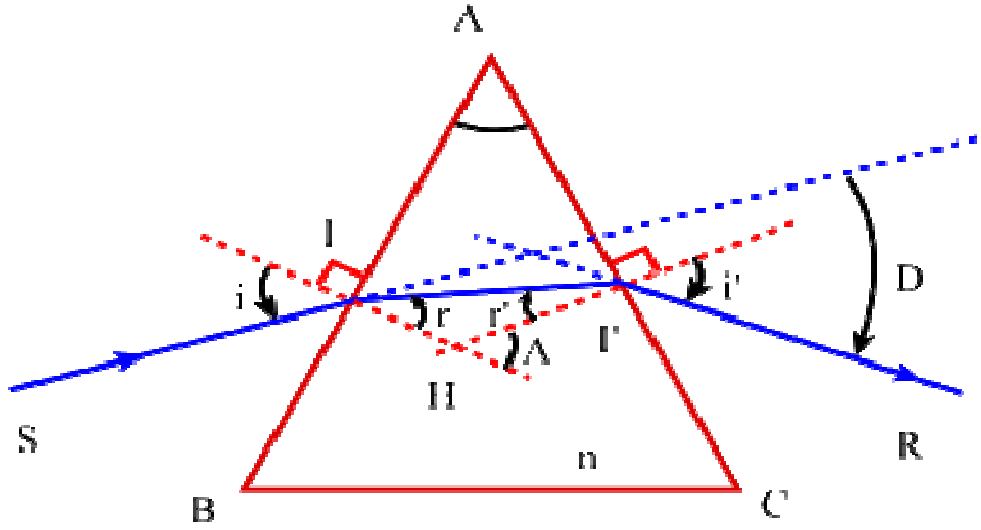


Figure 15. Marche d'un rayon monochromatique par un prisme

Les lois de Snell- Descartes en I et I' imposent les deux relations suivantes :

$$\sin i = n \sin r \qquad (1)$$

$$\sin i' = n \sin r' \qquad (2)$$

D'autre part, dans le triangle IKI' nous voyons que :

$$\pi - A + r + r' = \pi$$

$$A = r + r' \qquad (3)$$

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. (la déviation est l'angle entre le prolongement du rayon incident et le rayon émergent). 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 :

$$D = (i - r) + (i' - r')$$

. Comme : $A = r + r'$

Ce qui entraîne : $$D = i + i' + A \qquad (4)$$

Les relations (1), (2), (3) et (4) constituant les formules du prisme

Remarques :

- La déviation D est une fonction des trois variable i, n et A
- Si la lumière émise est monochromatique, elle subit un phénomène de déviation qui a pour effet, en général, de rabattre vers la base du prisme le rayon lumineux émergent.

7.5 Conditions d'émergence

Lorsqu'un rayon lumineux se propage d'un milieu plus réfringent vers un milieu moins réfringent, il peut être soit réfracté soit totalement réfléchi, selon que son angle d'incidence est inférieur ou non à l'angle limite λ attaché au milieu le plus réfringent :

$n \sin \lambda = \sin(\pm \pi/2) = \pm 1$

Dans le cas du prisme, cette alternative existe au niveau de la face de sortie, du rayon intermédiaire II'. Ainsi, pour qu'il y ait émergence en I' il est nécessaire, compte tenu des conventions de signe adoptées pour définir les angles, que : $-\pi/2 \leq i' \leq \pi/2$

C'est-à-dire : $-\lambda \leq r' \leq \lambda$

On a $A = r + r'$, soit $r' = A - r$. Il faut donc que l'on ait : $-\lambda \leq A - r \leq \lambda$

Donc $r \geq A - \lambda$

La seconde en revanche impose que l'angle i d'incidence du rayon lumineux soit tel que :

$$\sin i = n \sin r \geq n \sin(A - \lambda)$$

où, ce qui est équivalent, que : $i \geq i_0$

$$\sin i_0 = n \sin(A - \lambda)$$

Pour qu'un rayon lumineux, défini par son angle d'incidence i, émerge d'un prisme d'angle A et d'indice n, il faut que soient satisfaites simultanément les deux conditions 'émergence suivantes :

- ✓ Condition sur l'angle du prisme : $A \leq 2\lambda$ avec $\sin \lambda = 1/n$
- ✓ Condition sur l'angle d'incidence : $i \geq i_0$ avec $\sin i_0 = n \sin(A - \lambda)$

7.6 Prisme à réflexion totale

C'est un prisme dont la section droite est un triangle rectangle isocèle. On dirige le rayon lumineux vers la base du prisme en incidence normale. Le rayon pénètre dans le prisme sans déviation puis frappe la première face sous une incidence de 45° supérieure à l'angle limite d'incidence ; il y a donc réflexion totale. La deuxième face agit de la même façon car l'incidence vaut à nouveau 45°. Ceci permet d'utiliser le prisme différemment, c'est à dire pour « couder » le rayon lumineux.

Ce type de prisme est employé dans les jumelles et dans les lunettes terrestres, pour en diminuer l'encombrement et redresser l'image (sans cela, le ciel serait en bas et le sol en haut). Cela nécessite deux prismes à réflexion totale dont les arêtes sont orthogonales.

Figure 16. Prisme à réflexion totale

7.7 Etude de la déviation

L'angle d'incidence varie de i_0 à 90°. Dans ce domaine, toutes les fonctions qui construisent *D* sont définies, donc il en est de même pour *D*.

À partir des formules 1.2.3 et 4 du prisme. En considérant la relation (1), nous constatons que r est fonction de i. La relation (3) montre que r' est fonction de r donc de i. La relation (2) implique que i' est fonction de r' donc de i. Donc la déviation *D* est fonction de l'angle i – ce qui semble a priori naturel.

Finalement, toutes les variables sont fonctions de l'angle d'incidence i ; L'angle du prisme A et l'indice de réfraction n sont des paramètres.

$$D = f(n, A, i)$$

Théorème 1 : D est fonction croissante de l'indice n

D = i + i' + A. *pour i fixé, si n croit, r décroit, donc r' croit, i croit, donc D croit*

Théorème 2: D est fonction croissante de A

Pour i et n fixé, quand A croit, r' et i' croissent. On calcule la déviation de D par rapport à A

$$\frac{dD}{dA} = \frac{di'}{dA} - 1 = \frac{n\cos r'}{\cos i'} - 1$$

Or i' ≥ r' donc cosr' ≥ cos I et $\frac{dD}{dA} \geq 0$

Théorème 3 : D dépend de l'angle d'incidence i, passe par un minimum quand i varie

Pour A et n fixé, Nous dérivons la déviation par rapport à l'angle d'incidence

$$\frac{dD}{di} = \frac{di'}{di} + 1$$

Il nous faut calculer di'/di. La dérivation par rapport à r' de la relation (2) nous fournit di'/dr' :

$$\cos i' \frac{di'}{dr'} = n\cos r' \Rightarrow \frac{di'}{dr'} = \frac{n\cos r'}{\cos i'}$$

La dérivation par rapport à r de la relation (3) nous fournit dr'/dr :

$$1 + \frac{dr'}{dr} = 0 \Rightarrow \frac{dr'}{dr} = -1$$

La dérivation par rapport à i de la relation (1) nous fournit dr/di :

$$\cos i = n\cos r \frac{dr}{di} \Rightarrow \frac{dr}{di} = \frac{cis\ i}{n\cos r}$$

Finalement :

$$\frac{di'}{di} = \frac{di'}{dr'}\frac{dr'}{dr}\frac{dr}{di} = \frac{n\cos r'}{\cos i'}(-1)\frac{\cos i}{ncos\ r} = -\frac{\cos r'\cos i}{\cos i'\cos r}$$

D' où :

$$\frac{dD}{di} = 1 - \frac{\cos r'\cos i}{\cos i'\cos r}$$

Tableau de variation : minimum de déviation

i	i_0	$i = i' = i_{min}$	90°
$\frac{dD}{di}$	-∞ -	0	+ +1
D	↘	D_{min}	↗

Existence du minimum de déviation

Lorsqu'on augmente l'angle d'incidence, la déviation passe par un minimum Dmin. (Ceci suppose que i_0 < i min, sinon la déviation croît avec l'angle d'incidence.)

Remarque

La loi du retour inverse de la lumière montre que lorsqu'on change i en i', r et r' s'échangent et i' devient i. Donc la déviation est inchangée.

Ceci implique que D passe par un extremum pour i = i' = iext.

L'existence du minimum de déviation étant admise, cette remarque permet de retrouver rapidement l'expression de Dmin.

Représentation graphique :

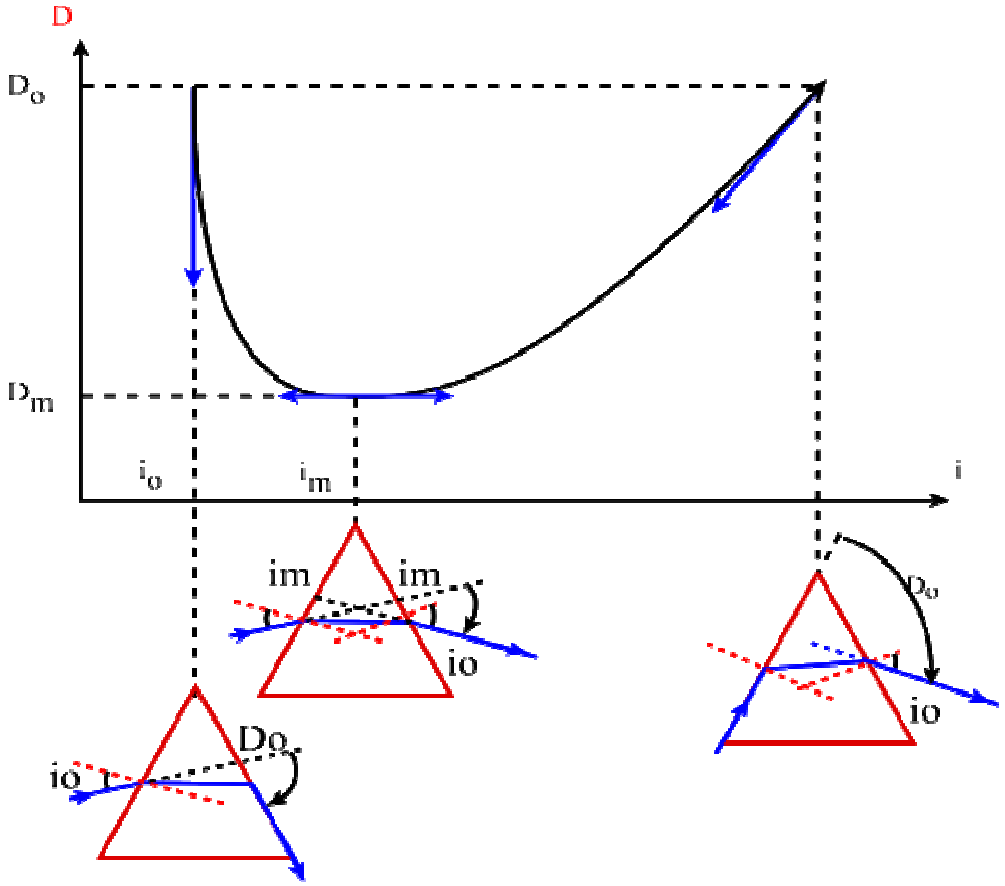


Figure 17. Variation de la déviation en fonction de l'angle d'incidence

Au minimum de déviation,

$$i = i' = i_{min}$$

$$D_{min} = 2i_{min} - A \quad \Leftrightarrow \quad i_{min} = \frac{D_{min} + A}{2}$$

$$r = r' = r_{min} \quad \Leftrightarrow \quad A = 2r_{min} \quad \Leftrightarrow \quad r_{min} = \frac{A}{2}$$

$$\sin i_{min} = n \sin r_{min} \quad \Leftrightarrow \quad \sin \frac{D_{min} + A}{2} = n \sin \frac{A}{2}$$

Cette dernière relation permet de calculer Dmin connaissant le prisme, c'est à dire l'indice n et l'angle A.

Elle est en fait plus souvent utilisée pour déterminer avec une bonne précision l'indice du prisme pour une longueur d'onde donnée. On mesure l'angle du prisme et le minimum de déviation, et on en déduit l'indice n pour la lumière monochromatique choisie :

$$\boxed{n = \frac{\sin \frac{D_{min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}}$$

Théorème 4 : Déviation par un prisme de petit angle

Pour un angle d'incidence i reste suffisamment petit. Dans ce cas en effet, les formules du prisme se simplifient :

- ✓ $i = n\, r$
- ✓ $i' = n\, r'$
- ✓ $A = r + r'$
- ✓ $D = i + i' - A = (n - 1)\, A$

Et on retrouve bien la même valeur de la déviation. En d'autres termes, un prisme de petit angle A produit sur un rayon lumineux qui le traverse une déviation $D = (n - 1)\, A$ qui ne dépend pas de l'angle d'incidence i du rayon, si cet angle reste petit.

A Retenir

Lame à faces parallèles

- ✓ Lame à faces parallèles est considérée comme l'association de deux dioptres plans parallèles entre eux, limitant un milieu intermédiaire commun, celui de la lame.
- ✓ La lame ne modifie pas la direction des rayons lumineux (rayon incident et émergent sont Parallèles) mais introduit **un déplacement latéral** d proportionnel à l'épaisseur de la lame : $\mathbf{d} = \frac{e\sin(i-i')}{\cos i'}$
- ✓ Image d'un objet ponctuel à travers une lame est donnée par la relation :

$$\overline{A_1A'_1} = e(1 - \frac{n_1}{n_2})$$

Prisme

- ✓ Un prisme est un milieu homogène, transparent et isotrope (constitué de verre), limité par deux faces planes non parallèles (face d'entrée et face de sortie). L'Intersection entre les deux faces forme l'arête du prisme, caractérisée par un angle A. Enfin, on appelle base du prisme la troisième face
- ✓ Formule du prisme :

$$\sin i = n \sin r \quad (1)$$

$$\sin i' = n \sin r' \quad (2)$$

$$A = r + r' \quad (3)$$

$$D = i + i' + A \quad (4)$$

La déviation D est l'angle entre le prolongement du rayon incident et la rayon en sortie du prisme

- ✓ Condition d'émergence : Pour qu'un rayon lumineux, émerge d'un prisme d'angle A et d'indice n, il faut que soient satisfaites les deux conditions 'émergence suivantes :
  - ➢ Condition sur l'angle du prisme : $A \leq 2\lambda$ avec $\sin \lambda = 1/n$
  - ➢ Condition sur l'angle d'incidence : $i \geq i_0$ avec $\sin i_0 = n \sin (A - \lambda)$
- ✓ la déviation passe par un minimum pour certain angle d'incidence i :

$$i = i' \quad et \quad r = r' = A/2 \quad et \quad Dm = 2i - A \quad avec \quad \sin i = n \sin A/2$$

- ✓ Pour un angle d'incidence i reste suffisamment , ou dans le cas d'un prisme de petit angle A : $D = (n - 1)A$

8. DIOPTRE SPHERIQUE

8.1 Définition

Un dioptre sphérique est une interface de forme sphérique de rayon de courbure R, de centre C et de sommet S, permettant à la lumière d'être réfracté d'un milieu (*homogène, transparent et isotrope*) à un autre d'indice différents.

Exemple : la surface de la cornée de l'œil

Dans le plan d'incidence, le dioptre sphérique apparait sous la forme d'un demi cercle de centre c et de rayon de courbure R. on y définit l'axe principal comme l'axe horizontal passant par c. la lumière est orienté de la gauche vers la droite, du premier milieu d'indice n_1 vers le milieu d'indice n_2. Cette remarque est importante, car à cette convention sont liées les notions d'objet et d'image réels ou virtuels.

Selon le rayon de courbure algébrique $R = \overline{SC}$ on peut noter deux types de dioptre sphérique : concave $R = \overline{SC} < 0$ et convexe $R = \overline{SC} > 0$

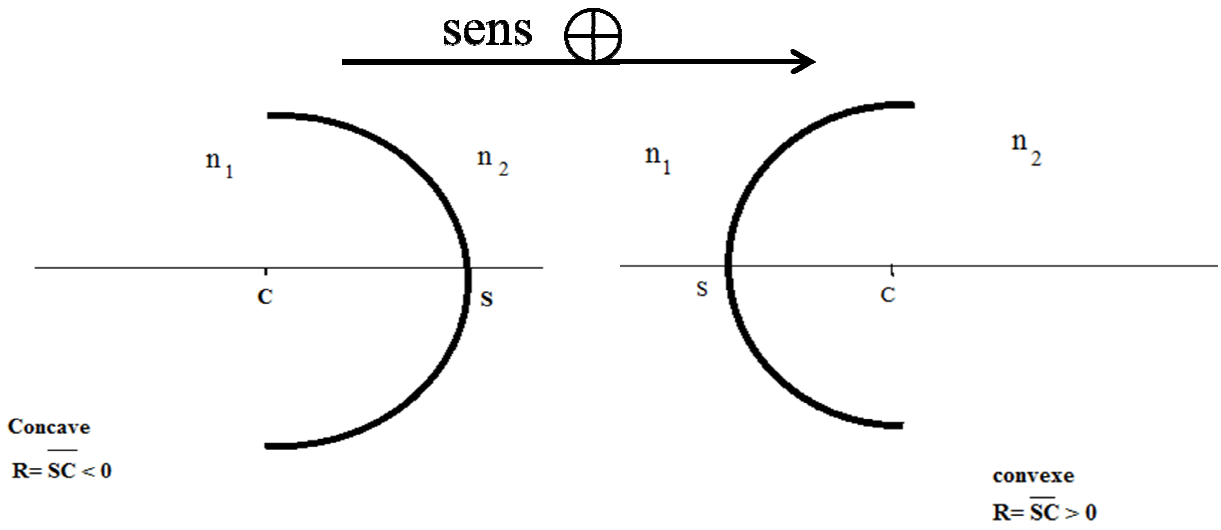


Figure 18. Les deux configurations géométriques d'un dioptre sphérique.
C **centre** du dioptre, *S* **sommet** du dioptre et *R* = rayon de courbure

8.2 dioptre sphérique convergent ou divergent

Les dioptres sphériques peuvent être

- convergent (rassemblant les faisceaux lumineux)
- divergent (dispersant les faisceaux)

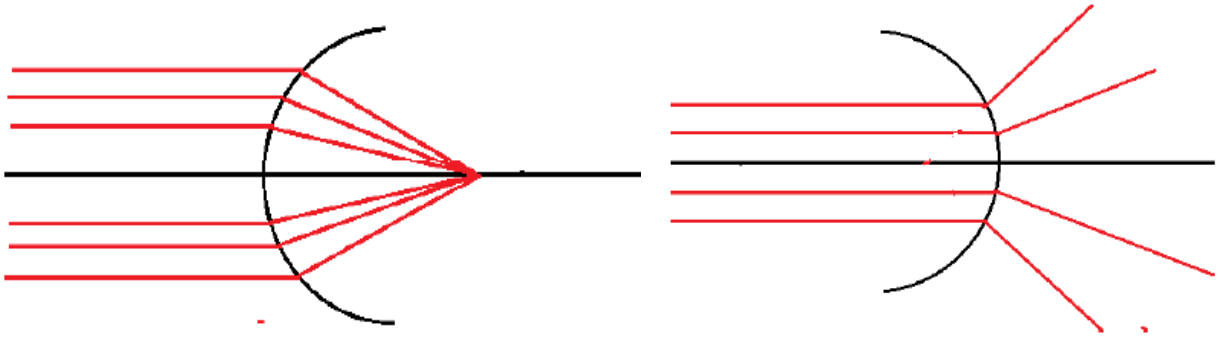


Figure 19. Dioptre sphérique convergent et divergent

Le dioptre est convergent si le centre de courbure C est situé dans le milieu d'indice de réfraction le plus élevé (le milieu le plus réfringent) sinon le dioptre sphérique est divergent

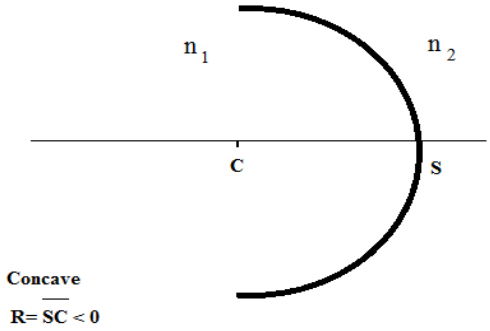
- D. S convergent → C ⊂ dans le milieu le plus réfringent
- D. S divergent → C ⊄ dans le milieu le plus réfringent

Exemple :

Soit un dioptre sphérique concave R < 0 :

Si $n_1 > n_2$ dioptre convergent

Si $n_1 < n_2$ dioptre divergent



La vergence :

La vergence est un paramètre qui caractérise les propriétés de focalisation d'un système centré. Il s'agit d'une grandeur algébrique, homogène à l'inverse d'une longueur, et elle s'exprime en dioptries (δ) ou (m^{-1}). [1 dioptrie = 1 m^{-1}]

Si **V > 0**, le système est convergent. Un rayon arrivant parallèlement à l'axe optique émerge en se rapprochant de l'axe, pourvu qu'il émerge du même côté de l'axe optique que le rayon incident.

Si **V < 0**, le système est divergent. Un rayon arrivant parallèlement à l'axe optique émerge en s'éloignant de l'axe, pourvu qu'il émerge du même côté de l'axe optique que le rayon incident.

Enfin si **V = 0**, le système est afocal. Un rayon arrivant parallèlement à l'axe optique émerge toujours parallèle à l'axe.

Dans les dioptres sphériques la vergence est donnée par la relation :

$$V = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$

V> 0, le dioptre est convergent

V< 0, le dioptre est divergent

8.3 Relation de conjugaison d'un dioptre sphérique (positions objet/image)

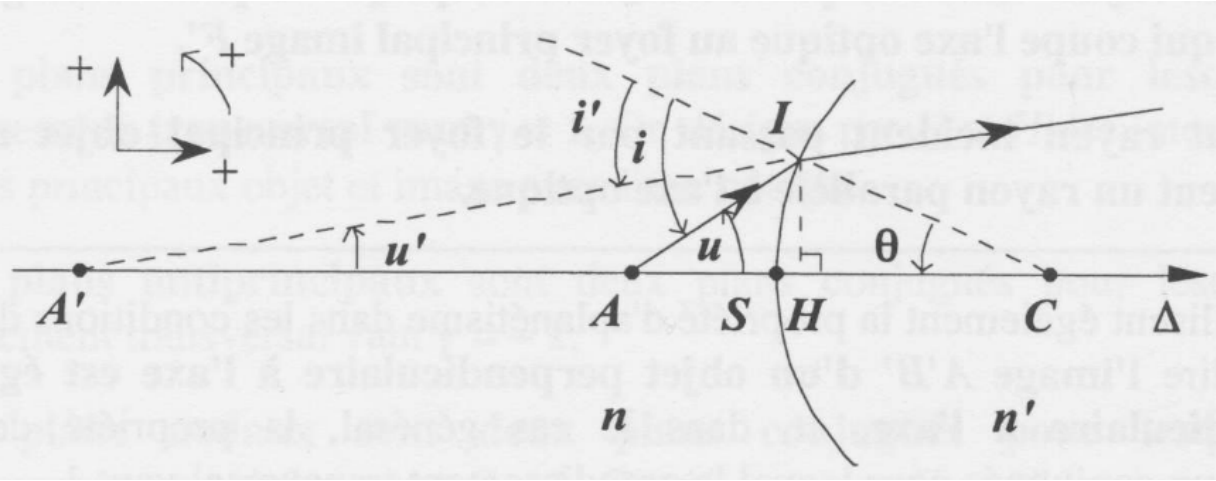
Nous allons déterminer une relation entre la position de l'objet et de l'image par rapport au point *S*.

Dans les conditions de Gauss (rayons peu inclinés sur l'axe et entrant dans le système proches de l'axe)

Se traduisent ici par les hypothèses suivantes :

• Les angles étant petits $u = \sin u = \tan u$, $u' = \sin u' = \tan u'$ et $\theta = \sin \theta = \tan \theta$

• Le point *H* est pratiquement confondu avec *S* : $H \approx S$.



Triangles: AIC: $\pi = u + (\pi - i) + \theta \rightarrow \quad i = u + \theta$

A'IC: $\pi = u' + (\pi - i') + \theta \rightarrow \quad i' = u' + \theta$

Loi de Descartes pour la réfraction en I : $n \sin i = n' \sin i'$

$\rightarrow n \times i = n' \times i' \rightarrow n \times (u + \theta) = n' \times (u' + \theta)$ en exprimant que les angles sont petits.

En exprimant que les angles sont petits, on a aussi H ≈ S

$$\theta = \tan\theta = \frac{\overline{HI}}{HC} = \frac{\overline{SI}}{SC} > 0 \quad u = \tan u = \frac{\overline{HI}}{AH} = \frac{\overline{SI}}{-SA} > 0 \quad u' = \tan u' = \frac{\overline{HI}}{A'H} = \frac{\overline{SI}}{-SA'} > 0$$

La relation de Descartes devient finalement la **relation de conjugaison du dioptre sphérique :**

$$n \times (u + \theta) = n' \times (u' + \theta) \rightarrow n\left(\frac{\overline{SI}}{-SA} + \frac{\overline{SI}}{SC}\right) = n'\left(\frac{\overline{SI}}{-SA'} + \frac{\overline{SI}}{SC}\right) \rightarrow$$

$$\boxed{\frac{n'}{\overline{SA'}} - \frac{n}{\overline{SA}} = \frac{n'-n}{\overline{SC}} = V}$$

Cette relation est appelée relation de conjugaison avec origine au sommet.

Remarques : s'appliquent la relation de conjugaison

- au miroir sphérique avec n'= -n
- au dioptre plan avec R = ∞
- au miroir plan avec n'= -n et R = ∞

8.4 Foyers d'un dioptre sphérique

Définition :

- **un foyer** est un point vers lequel convergent les rayons lumineux issus d'un point après leur passage dans un système optique.
- En optique géométrique, dans le cas d'un système centré , il existe deux foyers principaux appelés foyer objet et foyer image
- Le **foyer principal objet** noté F est le point objet dont l'image se trouve à l'infini sur l'axe optique principal
- Le **foyer principal image** F ′ est l'image d'un point objet situé à l'infini sur l'axe optique principal
- Tout rayon incident, issu de F, émerge parallèlement à l'axe optique.
- Tout rayon incident, parallèle à l'axe optique, émerge en convergent vers F'.

Dans un dioptre sphérique On définit les distances focales image et objet comme étant les quantités algébriques suivantes : $\boldsymbol{f'} = \frac{\boldsymbol{n'}}{\boldsymbol{V}}$ et $\boldsymbol{f} = -\frac{\boldsymbol{n}}{\boldsymbol{V}}$

où n et n' sont les indices des milieux situés avant et après le système. Si les deux milieux sont identiques, les distances focales sont opposées.

Si V > 0, on a f ' > 0 et f < 0, alors que si V < 0, on a f' < 0 et f > 0.

En pratique, on utilise surtout la distance focale image f' pour caractériser le système.

- Objet A à l'infini optique → image au foyer principal image F'

$$\frac{1}{\overline{SA}} \to 0 \quad , \quad \frac{n'}{\overline{SA'}} - 0 = \frac{n'}{\overline{SF'}} = \frac{n' - n}{\overline{SC}} = V$$

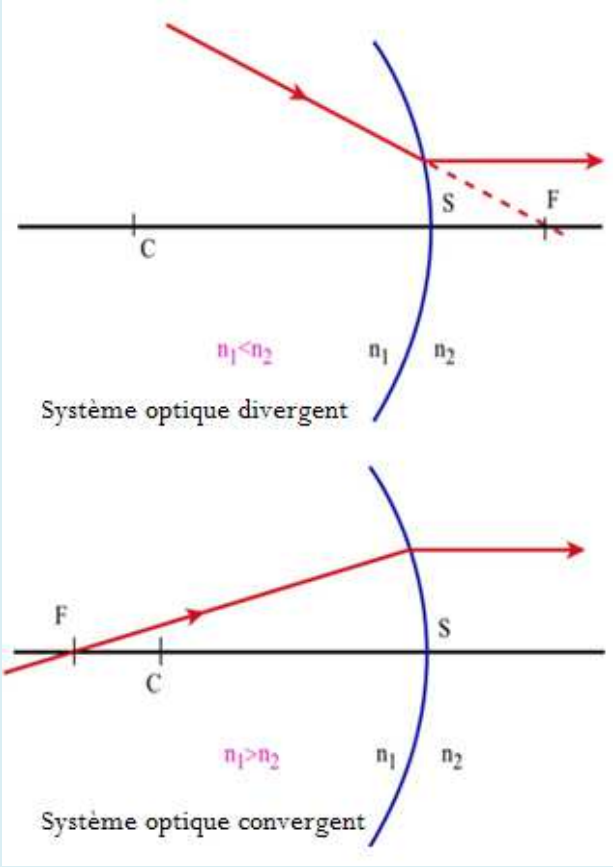
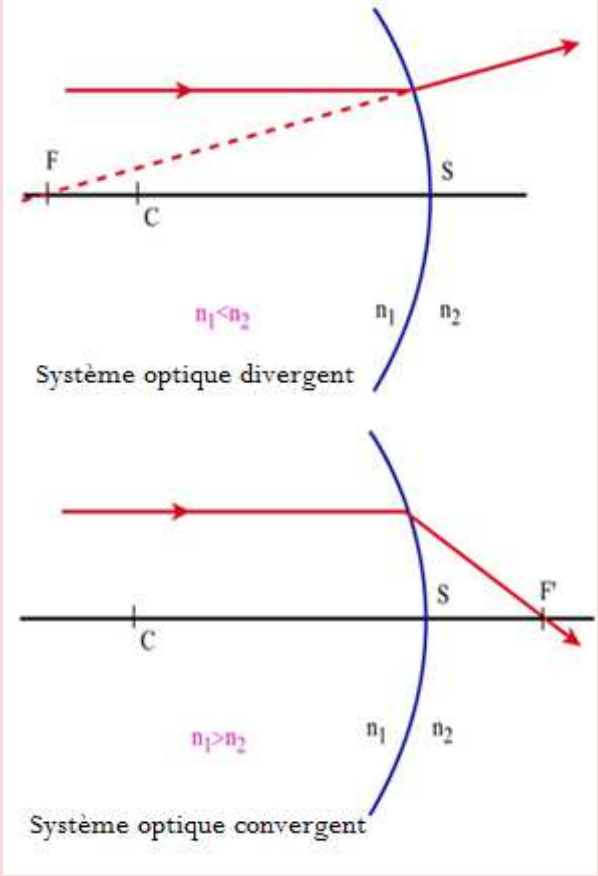
La distance focale image $f' = \overline{SF'} = \frac{n'}{n'-n}\,\overline{SC}$

- Image A' à l'infini optique → objet au foyer principal objet F

$$\frac{1}{\overline{SA'}} \to 0 \quad , \quad 0 - \frac{n}{\overline{SA}} = -\frac{n}{\overline{SF}} = \frac{n' - n}{\overline{SC}} = V$$

La distance focale objet $f = \overline{SF} = \frac{n}{n-n'}\,\overline{SC}$

- ✓ **pour le dioptre sphérique f≠ f'**
- ✓ les points sur le dioptre et le C sont leurs propres images

Foyer objet	Foyer image
	

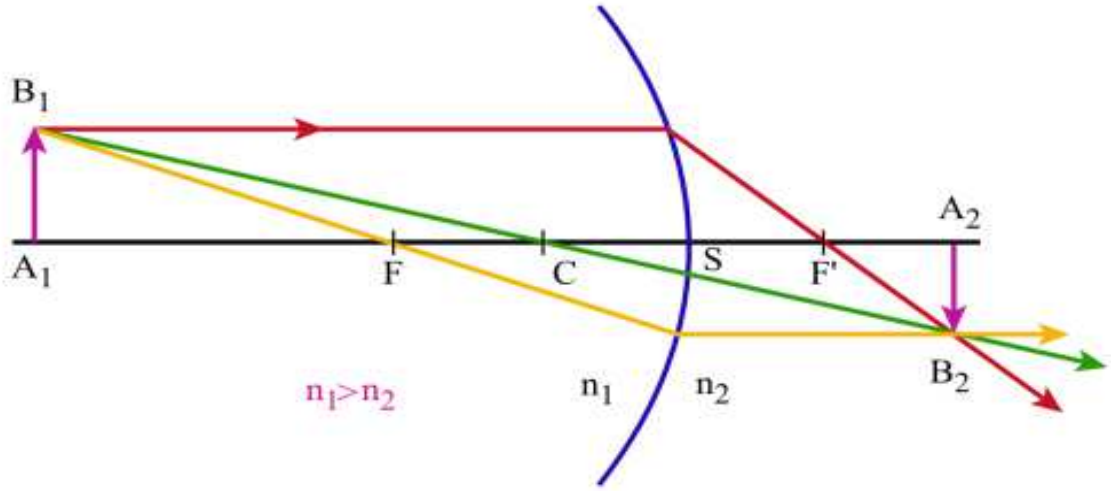
8.5 Constructions géométriques

La construction géométrique est indispensable pour visualiser et vérifier les résultats obtenus par le calcul.

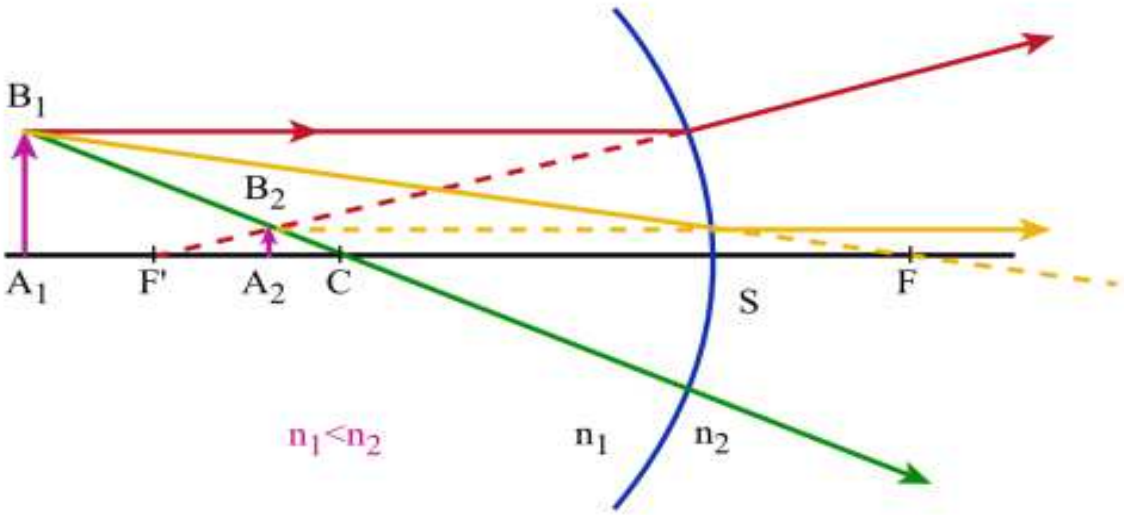
On considère toujours un objet AB perpendiculaire à l'axe optique, son image associée sera A'B'. Pour diminuer les risques d'erreur, il est préférable de tracer les trois rayons particuliers suivants :

- Un incident parallèle à l'axe a pour émergent un rayon coupant l'axe au foyer image F'
- Un incident passant par le foyer objet F a pour émergent un rayon parallèle à l'axe.
- Tout rayon passant par le centre C n'est pas dévié

a- Dioptre convergent



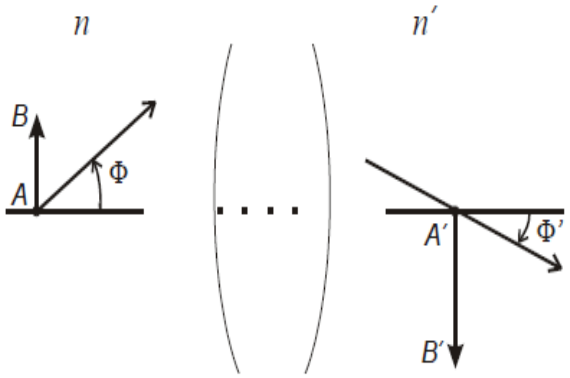
b- dioptre divergent



8.6 Grandissement du dioptre sphérique

Si A'B' est l'image d'un objet AB perpendiculaire à l'axe optique, on appelle **grandissement transversal** la grandeur :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{n'}{n}\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$



Grandissement angulaire

$$G = \frac{\emptyset'}{\emptyset} = \frac{\overline{SA}}{SA'}$$

D' où $\gamma\phi = n'/n$

Selon les valeurs des indices, ou la nature du dioptre (convexe ou concave), l'image peut être :

- ✓ réelle ou virtuelle.
- ✓ droite (si $\gamma > 0$) ou renversée (si $\gamma < 0$).
- ✓ agrandie (si la valeur absolu : $|\gamma| > 1$) ou réduite (si $|\gamma| < 1$).

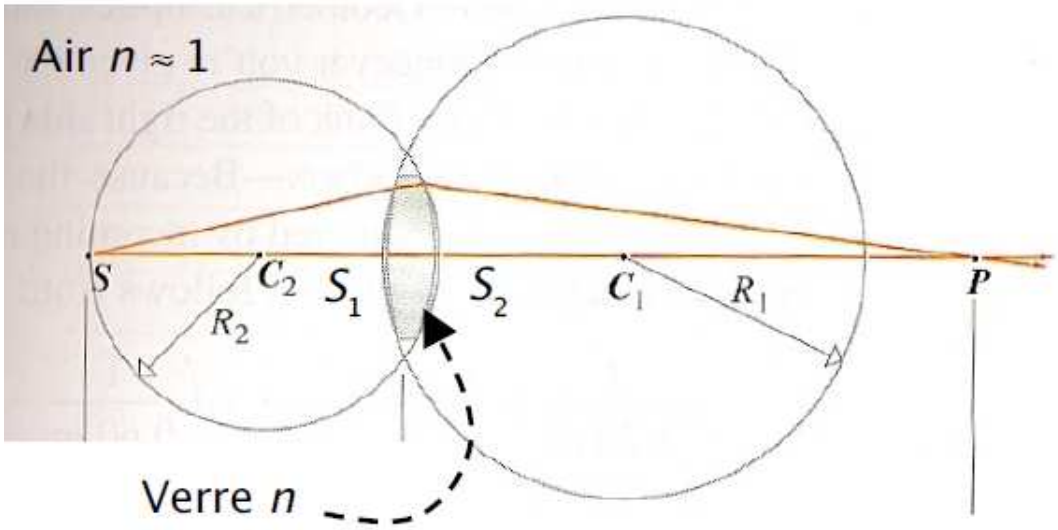
9. LENTILLES MINCES

9.1 Définition

Une lentille est un système centré défini par un MHIT limité par deux dioptres sphérique ou une surface sphérique et un plan).

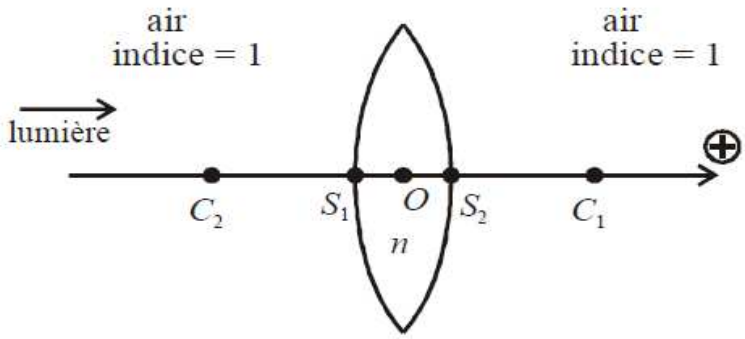
Elle forme une succession de deux dioptres. les rayons de ces sphères sont les rayon de courbure de la lentille et l'axe principal est la droite qui joint les centres de courbure. si l'une des faces est plane, l'axe lui est perpendiculaire.

la figure ci-dessous met en évidence les deux calottes sphérique qui délimitent le milieu transparent : celui-ci est presque toujours formé de verre (indice de réfraction n) et la lentille est baignée sur ces deux face par l'air (ou le vide).



Une lentille est une **lentille mince** lorsque son épaisseur au sommet (S_1S_2) est très petite par rapport aux deux rayons R_1, R_2 et par rapport à la distance C_1C_2.

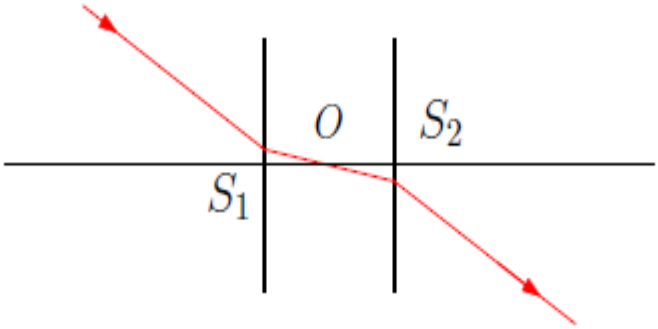
Donc les sommets S_1 , S_2 sont pratiquement confondus en un même point *O*. *O* s'appelle le centre optique de la lentille.

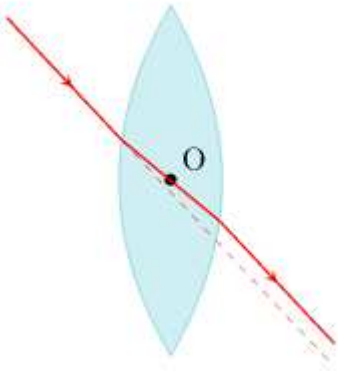


9.2 Centre optique d'une lentille minces

Le centre optique d'une lentille mince est le point où l'axe pricipal traverse la lentille. on le note toujours **O**

Un rayon incident arrivant en *O, centre optique d'une lentille mince, n'est pas dévié.*

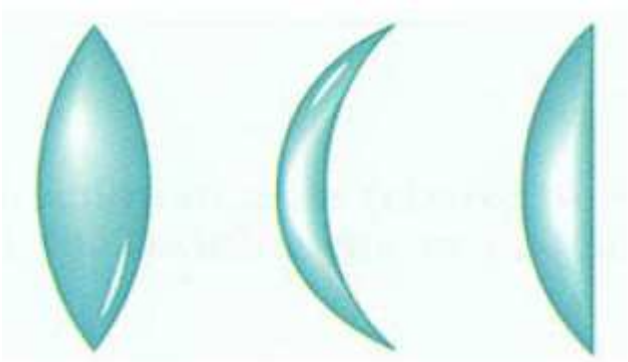




9.3 Différents types de lentilles

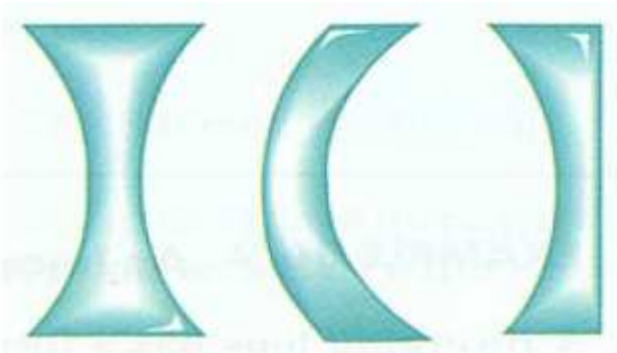
Distinction géométrique : on distingue de sortes de lentilles minces

Les lentilles à bords minces



Symbole

Les lentilles à bords épais

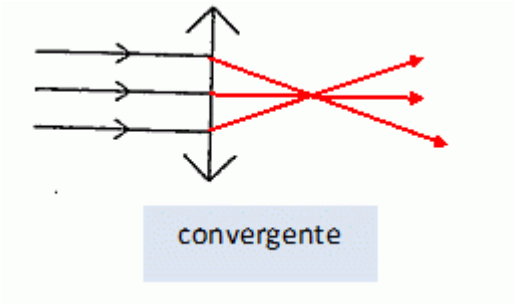


Symbole

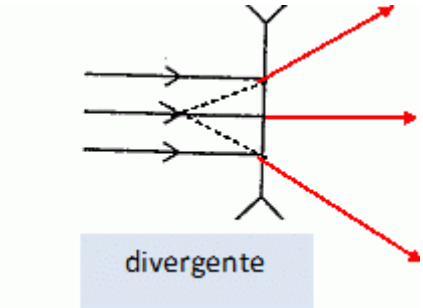
Distinction physique :

Envoyons un faisceau cylindrique par chacune des deux sortes de lentilles

La lentille à bord mince transforme le faisceau cylindrique en faisceau convergent : c'est une **lentille convergente**



La lentille à bord épais transforme le faisceau cylindrique en faisceau divergent : c'est une **lentille divergente**



9.4 Condition d'obtention d'images nettes : Condition de gauss

on peut montre expérimentalement qu'une lentille convergente mince ; de centre optique O donne d'un objet Ab une bonne image seulement di les deux conditions sont réalisées.

- l'objet petit et situé au voisinage de l'axe principal. en pratique, cela signifie que l'objet AB est vu du centre optique sous un angle inferieur à 10°
- la lentille est diaphragmée ; il faut que le diamètre d'ouverture d de la lentille soit petit. on dit que la lentille est utilisée dans les conditions de gauss ou qu'on a réalisé un stigmatisme et aplanétisme approché.

Dans la suite on supposera toujours les conditions de gauss réalisées et on ne considérera que les objets perpendiculaires à l'axe optique principal ; où leurs images est aussi perpendiculaire à l'axe principal.

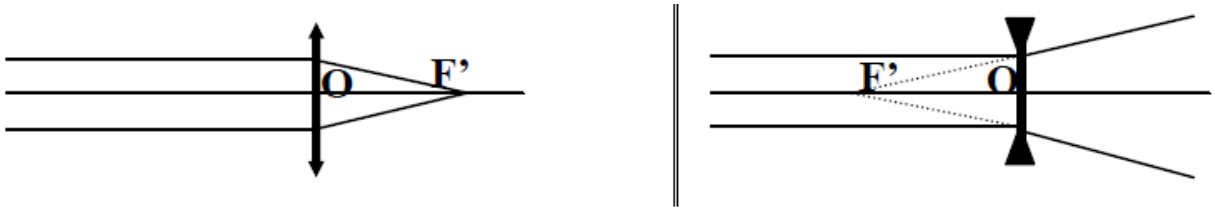
9.5 Foyers et distances focales

Une lentille possède toujours deux points focaux que l'on appelle les foyers de la lentille

A. Foyer principal image:

Tout rayon incident parallèle à l'axe principal d'une **lentille convergente** émerge en passant par le foyer **principal image F'**

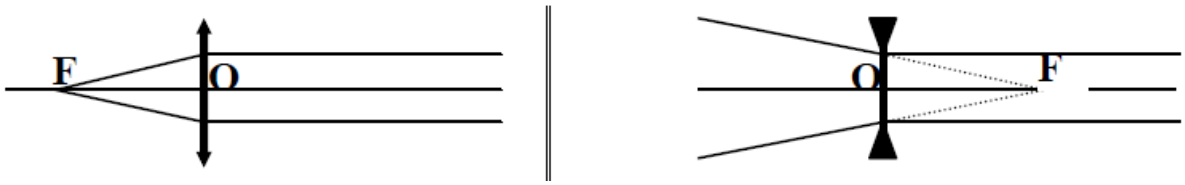
Ou c'est l'image, par la lentille, d'un objet situé à l'infini



B. Foyer principal objet:

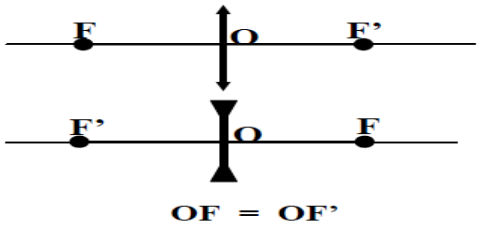
Tout rayon incident passant par le foyer **principal objet F** d'une lentille émerge parallèlement à l'axe principal de cette lentille

Ou c'est l'objet dont l'image par la lentille est à l'infini



REMARQUE

- **le foyer objet F** est du coté des rayons incidents pour la lentille convergente et du coté des rayons émergents pour la lentille divergente
- **le foyer image F'** est du coté des rayons émergents pour la lentille convergente et du coté des rayons incidents pour la lentille divergente
- ces foyers F et F' sont symétrique par rapport à la lentille et situé sur son axe optique
- Le foyer objet et le foyer image d'une lentille convergente sont réels.
- Le foyer objet et le foyer image d'une lentille divergente sont virtuels.



C. Distance focale: t

Distance focale image la grandeur notée *f 'et définie par f '=*$\overline{OF'}$

D'après le principe du retour inverse de la lumière, les foyers objet et image sont symétriques par rapport au centre optique : $f' = -\overline{OF} = +\overline{OF'}$

f' > 0 pour la lentille convergente

f '< 0 pour la lentille divergente

D. La convergence ou vergence

La convergence ou vergence C d'une lentille est l'inverse de sa distance focale

$$C = \frac{1}{f}$$

C est en dioptire (δ), f en mètre (m)

C > 0 pour la lentille convergente

C< 0 pour la lentille divergente

9.6 Recherche d'images, d'objets – Construction géométrique :

Pour déterminer graphiquement la position de l'image A'B' d'un objet AB par une lentille, il suffit de tracer le trajet de quelques rayons issus de cet objet (deux suffisent) en appliquant les règles suivantes:

- Un rayon parallèle à l'axe optique : il ressort en passant par *F'.*
- Un rayon passant par *F : il ressort parallèle à l'axe.*
- Un rayon passant par *O : il n'est pas dévié.*

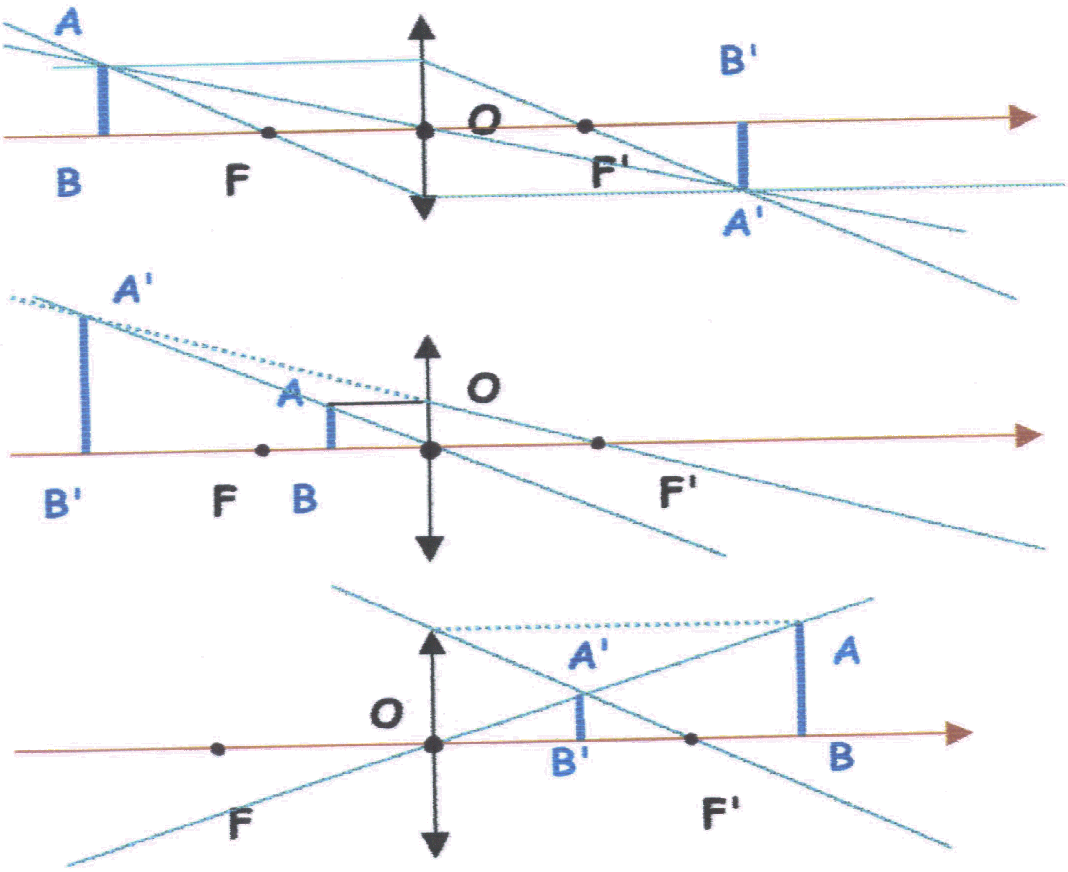


Figure 20. Image d'un objet AB par une lentille convergente

9.7 Relations de conjugaison et de grandissement

A. Origine au centre (formule de Descartes) :

Une lentille mince est l'association de deux dioptre sphérique ; Pour ces dioptres S=O et n1=1 (air).

On applique la relation de conjugaison d'un dioptre sphérique :

à la 1ere face donne d'un objet A une image A1 :

$$\frac{1}{\overline{OA}} - \frac{n_2}{\overline{OA_1}} = \frac{1-n_2}{\overline{OC_1}}$$

à la 2e face donne d'un objet A1 une image A' :

$$\frac{n_2}{\overline{OA_1}} - \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{n_2-1}{\overline{OC_2}}$$

On additionne les deux expressions:

$$\boxed{\frac{1}{\overline{OA}}-\frac{1}{\overline{OA'}}=(1-n_2)\left(\frac{1}{\overline{OC_1}}+\frac{1}{\overline{C_2O}}\right)}$$

Si A=∞ alors A'=F'

$$\frac{1}{\infty}-\frac{1}{\overline{OF'}}=(1-n_2)\left(\frac{1}{\overline{OC_1}}+\frac{1}{\overline{C_2O}}\right)\Rightarrow\frac{1}{\overline{OF'}}=(n_2-1)\left(\frac{1}{\overline{OC_1}}+\frac{1}{\overline{C_2O}}\right)$$

Relation de conjugaison des lentilles minces:

$$\boxed{\frac{1}{\overline{OA'}}-\frac{1}{\overline{OA}}=\frac{1}{\overline{OF'}}}$$

B. Origine aux foyers (formules de Newton) :

Dans $F'I_1O$ et $F'A'B'$:

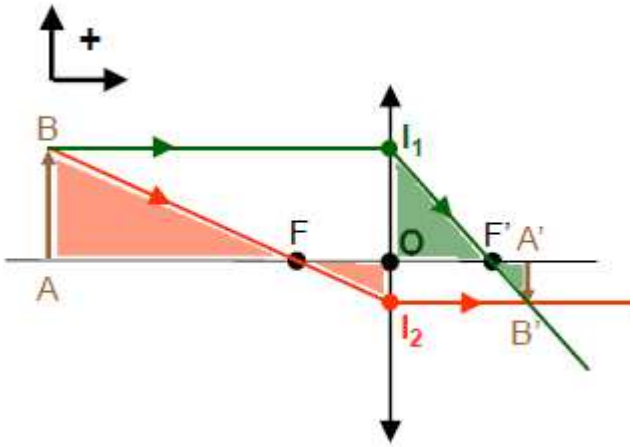
$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'F'}}=\frac{\overline{I_1O}}{\overline{F'O}}$$

Dans FAB et FOI_2:

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AF}}=\frac{\overline{I_2O}}{\overline{FO}}$$

Comme $\overline{A'B'}=\overline{OI_2}$ *et* $\overline{AB}=\overline{OI_1}$:

$$\frac{\overline{AF}}{\overline{FO}}=\frac{\overline{OF'}}{\overline{F'A'}}$$



Relation de conjugaison avec origine aux foyers:

$$\boxed{\overline{FA}\times\overline{F'A'}=\overline{OF}\times\overline{OF'}}$$

C. Grandissement transversal

Soit un objet AB d'image A'B'. On appelle grandissement la grandeur

$$\gamma=\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

Si γ > 0, l'image est droite par rapport à l'objet. Si γ < 0, l'image est inversée par rapport à l'objet

On montre également que : $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

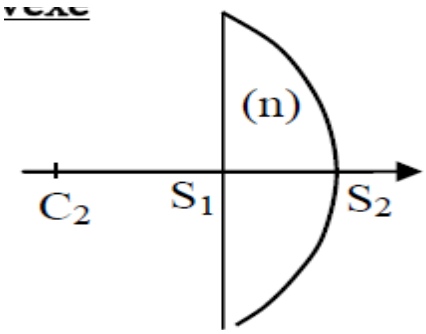
9.8 Association de deux lentilles

Soient deux lentilles de vergence C1 et C2 accolées : on considère leurs centres optiques comme confondus. La première lentille donne une image A'B' qui devient l'objet de la deuxième lentille. L'application de la relation de conjugaison à se système permet de montrer que ce doublet se comporte comme une lentille unique de vergence C= C1+ C2. on pourra donc appliquer la relation de conjugaison comme s'il s'agissait une seule lentille.

Attention ! Si les deux lentilles ne sont pas accolées, la relation de conjugaison n'est plus valable

ACTIVITE D'APPRENTISSAGE

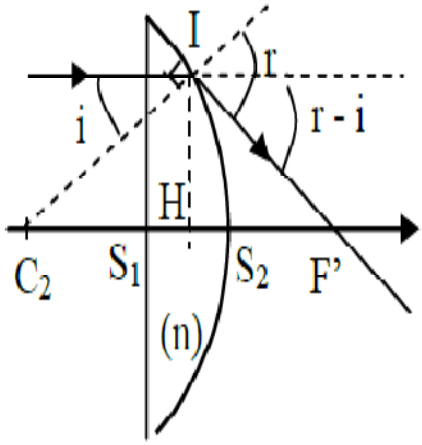
Trouver l'expression de la vergence d'une lentille plan-convexe en fonction de l'indice n de la lentille et du rayon géométrique R de la surface de sortie.



Correction

Dans les conditions de Gauss,

On a $n.i = r$, et $\begin{cases} i = \dfrac{HI}{C_2H} \\ r - i = \dfrac{HI}{HF'} \end{cases}$



Donc $\dfrac{n}{C_2H} - \dfrac{1}{C_2H} = \dfrac{1}{HF'}$

Et ainsi $\boxed{\Rightarrow \; V = \dfrac{1}{f'} = \dfrac{n-1}{R} > 0}$

A retenir

Dioptre sphérique :

- surface sphérique sépare deux milieu (MHTI) (n1 et n2),de rayon de courbure R, de centre C et de sommet S
- dioptre concave $R = \overline{SC} < 0$ et dioptre convexe $R = \overline{SC} > 0$
  - D. S convergent → C ⊂ dans le milieu le plus réfringent
  - D. S divergent → C ⊄ dans le milieu le plus réfringent
  - la vergence $V = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$: V> 0, le dioptre est convergent, V< 0, le dioptre est divergent
- Relation de conjugaison d'un dioptre sphérique :

$$\frac{n'}{\overline{SA'}} - \frac{n}{\overline{SA}} = \frac{n'-n}{\overline{SC}} = V$$

- La distance focale image $f' = \overline{SF'} = \frac{n'}{n'-n}\overline{SC}$, $f' = \frac{n'}{V}$
- La distance focale objet $f = \overline{SF} = \frac{n}{n-n'}\overline{SC}$, et $f = -\frac{n}{V}$
- La construction géométrique :, il est préférable de tracer les trois rayons particuliers suivants :
  - Un incident parallèle à l'axe a pour émergent un rayon coupant l'axe au foyer image F'
  - Un incident passant par le foyer objet F a pour émergent un rayon parallèle à l'axe.
  - Tout rayon passant par le centre C n'est pas dévié
- grandissement transversal la grandeur : $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{n'}{n}\frac{\overline{SA'}}{SA}$

Lentille minces

- Une lentille est un système centré défini par un MHIT limité par deux dioptres sphérique ou une surface sphérique et un plan
- Suivant l'orientation des dioptres sphériques, les lentilles sont soit **convergentes** (elles rapprochent les rayons de l'axe optique) soit **divergentes** (elles éloignent les rayons de l'axe optiques).

- $f' = -\overline{OF} = +\overline{OF'}$

f' > 0 pour la lentille convergente

f '< 0 pour la lentille divergente

  - Le foyer objet et le foyer image d'une lentille convergente sont réels.
  - Le foyer objet et le foyer image d'une lentille divergente sont virtuels.

- vergence est la grandeur notée C, définie par $C = 1 / f'$
- Pour une lentille convergente : *f < 0, f '*> 0 et *V > 0*
- Pour une lentille divergente : *f > 0, f '*< 0 et *V < 0*

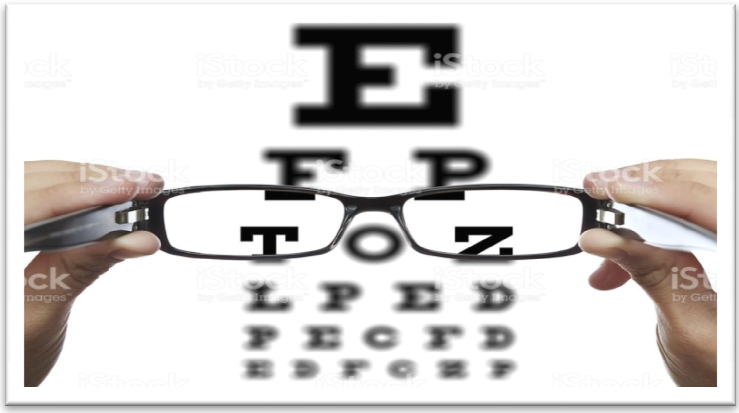
- Construction géométrique : Rayons particuliers
  - Un rayon parallèle à l'axe optique : il ressort en passant par *F'.*
  - Un rayon passant par *F : il ressort parallèle à l'axe.*
  - Un rayon passant par *O : il n'est pas dévié.*

- **Relations de conjugaison :** $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$

- **grandissement** $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

10. L'OIEL ET LA VISION

L'œil est l'organe de la vision, il nous permet de capter la lumière de notre environnement et de la convertir en message nerveux, lequel est transmis au cerveau qui l'analyse. Physiquement, l'œil est avant tout un système optique qui modifie le trajet des rayons lumineux… Comment ? Et comment expliquer les défauts de la vision, qui conduisent plus de 70 % de personnes à porter des lunettes ?



Pour « voir » un objet, il faut que de la lumière issue de cet objet pénètre dans l'oeil, que celui-ci la transforme en influx nerveux transmis au cerveau et que celui-ci interprète à son tour les informations reçues.

10.1 Modélisation optique de l'œil

10.1.1 Anatomie de l'œil

L'œil ou globe oculaire, une structure creuse de forme globalement sphérique. elle est de 7 grammes de masse, environ 25 mm de diamètre et de 6.5 cm^3 de volume, recouverte d'une enveloppe blanche, **la sclérotique**, membrane d'épaisseur voisine de 2 mm, dont la partie antérieure ou **cornée**, bombée (8mm de rayon), est transparente, pour laisser passer la lumière.

La cornée, les humeurs aqueuse et vitrée et le cristallin sont des milieux transparents. L'iris et la rétine sont opaques.

Le cristallin est une lentille qui converge la lumière sur le fond de l'œil qui est **la rétine.**

La couleur des yeux est assurée par **l'iris, un diaphragme** devant le cristallin**, qui commande** l'ouverture de **la pupille à un diamètre variable** de 2 à 8 mm, selon l'âge de la personne.

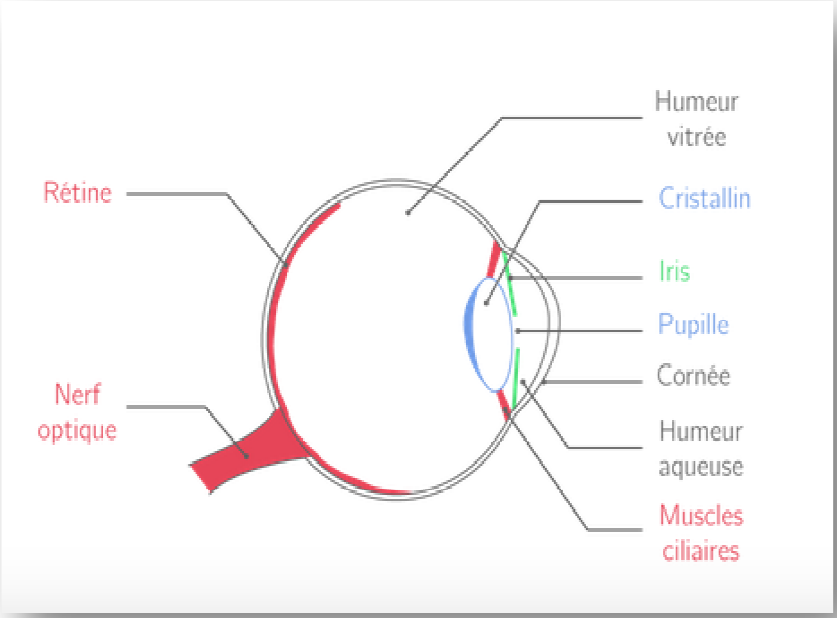
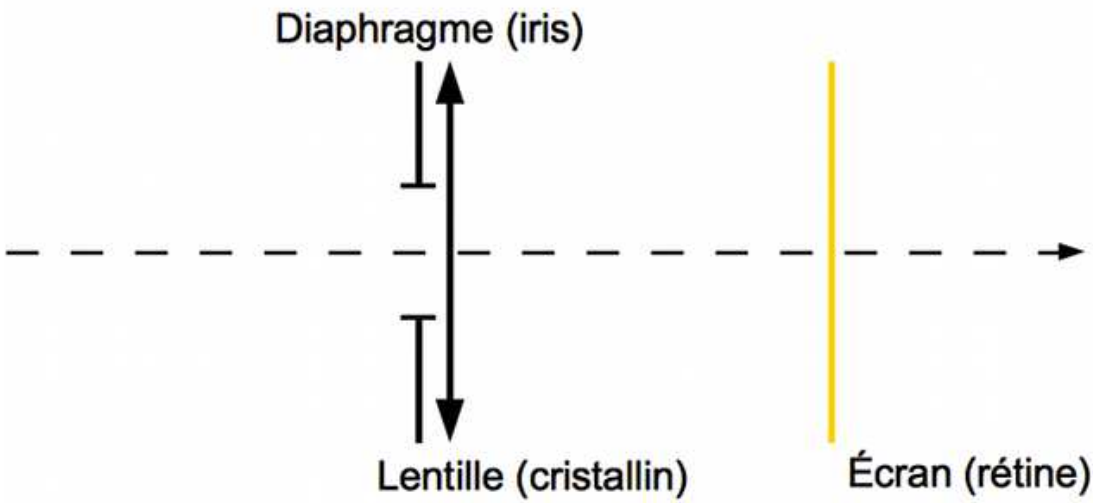


Figure21. Anatomie simplifiée de l'œil humain

10.1.2 L'œil réduit : *un modèle optique de l'œil*

Le rôle des différents organes précédents permet d'établir un **modèle optique de l'œil** appelé **œil réduit** dans lequel :

- - La **pupille ou l'iris** est modélisée par **un diaphragme** ; en régulant la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil.
- Le **cristallin** est modélisé par une **lentille convergente de distance focale *f '* variable** ;
- - La **rétine** est modélisée par un **écran**.sur lequel se forment les images



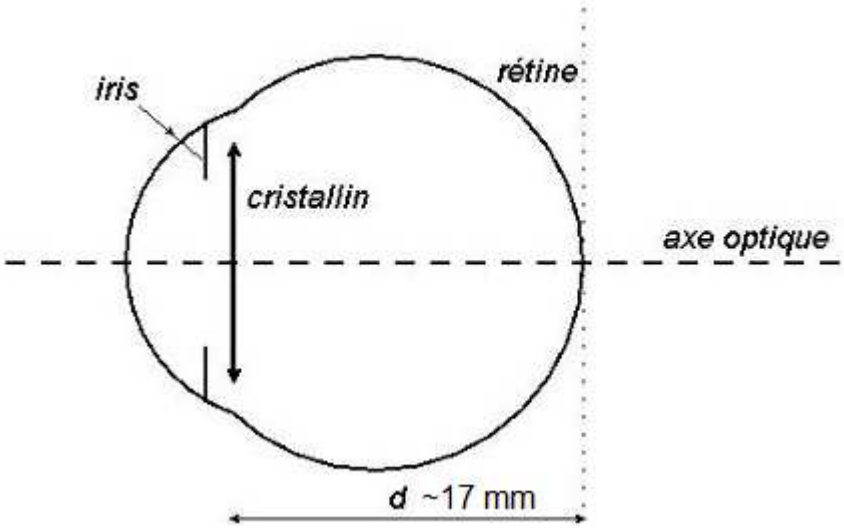


Figure22. Schéma de l'œil réduit

La **distance entre la lentille** (cristallin) **et le fond de l'oeil** (rétine) **est fixe** et **vaut environ d = 17 mm.**

Pour qu'un objet soit vu de manière nette il faut que son image se forme sur la rétine.

L'image qui se forme sur la rétine est une **image réelle** et **renversée**, c'est **le cerveau qui renverse les images et rétablit le sens réel.**

La **pupille** permet **d'augmenter la netteté de l'image** et **de contrôler l'intensité lumineuse** arrivant sur la rétine afin que celle-ci ne soit pas endommagée. Par forte luminosité, la pupille est presque fermée et dans l'obscurité elle est presqu'ouverte.

10.2 Propriétés de l'œil normal

Comment les images se forment-elles sur la rétine?

Lorsqu'on observe un objet lointain, **l'œil normal** (aussi appelé **œil emmétrope**) est au repos. La distance focale du **cristallin** (lentille) est telle que l'image se forme au niveau de la **rétine** (écran).

Lorsque l'objet se rapproche, **l'œil doit modifier sa distance focale pour que l'image se forme toujours sur la rétine** : **le cristallin se bombe pour devenir plus convergent, sa distance focale diminue, sa vergence augmente : on dit qu'il accomode**

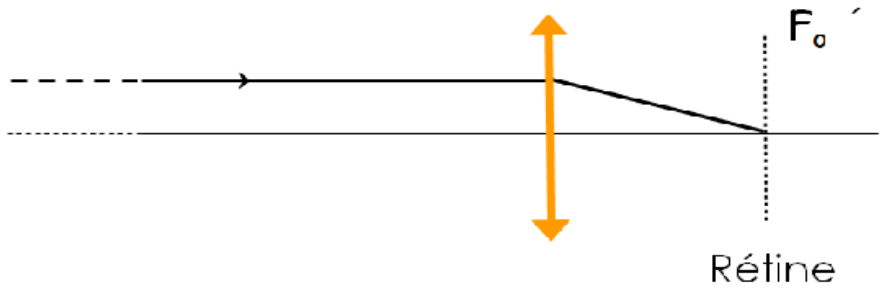


Figure23. Pour objet lointain, La distance focale F_0 du cristallin égale à la distance cristallin-rétine

10.2.1 Accommodation

Afin que l'image d'un objet AB, à distance finie, se trouve sur la rétine, l'œil doit ramener son foyer F_o en F´. En bombant la face antérieure du cristallin, l'œil est capable de modifier ses propriétés optiques et donc la position de son foyer image.

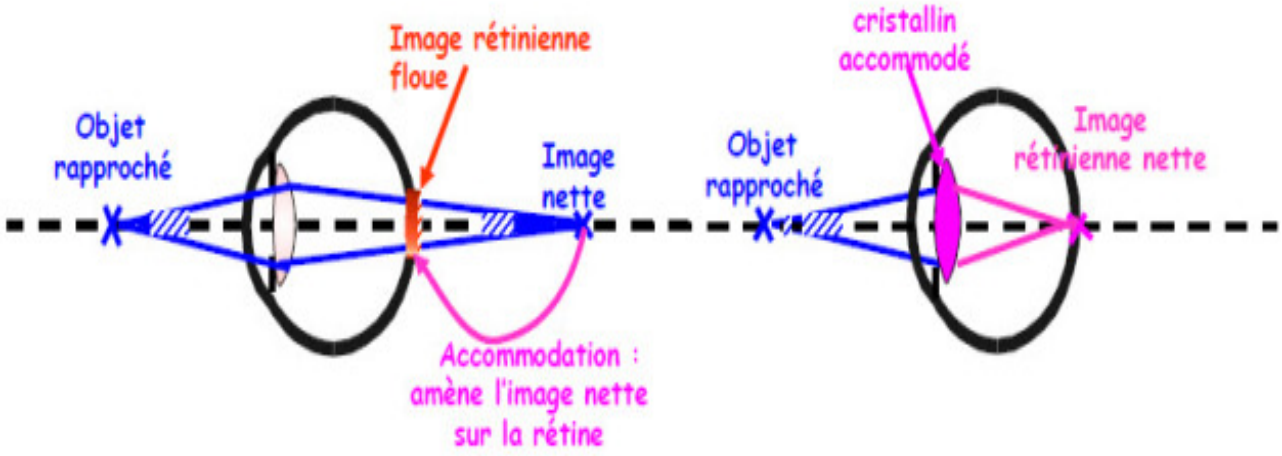
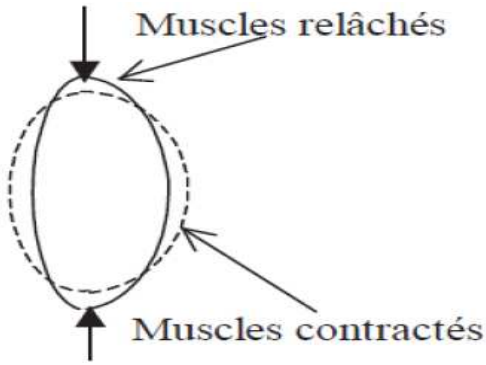


Figure 24. Mécanisme d'accommodation de l'œil

La distance cristallin-rétine étant fixe, il faut que la distance focale f' du cristallin varie pour que l'image A' se forme sur la rétine.

En effet, on défini la vergence du cristallin :

$$V = \frac{1}{\overline{OF'}} = (n-1)\left(\frac{1}{\overline{OC_1}} - \frac{1}{\overline{OC_2}}\right)$$



Dans le modèle de la lentille mince, seule la distance focale est modifiée, le centre optique de la lentille restant à la même distance de la rétine.

La variation de la position du foyer image est relativement faible; il se déplace au plus d'environ 1 mm.

Accommodation : est un mécanisme naturel pour voir de près.

L'accommodation permet à l'œil humain de voir net à différentes distances et se traduit par **une augmentation de la vergence** du **cristallin** grâce à un accroissement de la courbure des faces et peut-être à une variation d'indice.

Ces déformations sont obtenues par pression de son ligament suspenseur (appelé zonule). , principalement sur la face antérieure du cristallin ; cette action musculaire, si elle est prolongée, s'accompagne d'une **fatigue**.

10.2.2 Distance d'accommodation : limites de la vision nette

Les limites de la vision nette sont définies par les deux points

- Le point le plus éloigné que l'œil peut voir net est appelé ***punctum remotum*** (**PR**). L'œil n'accommode alors pas. Pour un œil emmétrope, ce point se situe à l'infini.
- Le point le plus rapproché que l'œil peut voir net est appelé ***punctum proximum*** (**PP**). L'œil est alors au maximum de son accommodation.

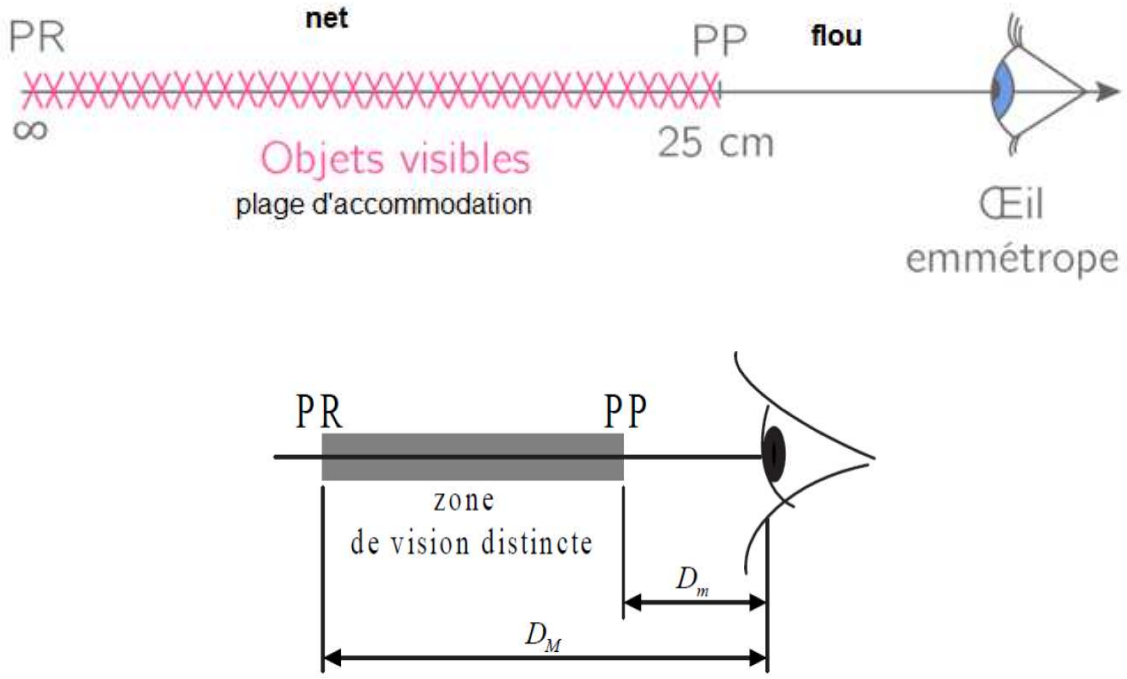


Figure 25. Distance d'accommodation : PP - PR

On définie la distance entre :

- le cristalline et PR par : $D_M = -\overline{OR}$
- le cristallin et PP par: $Dm = -\overline{OP}$

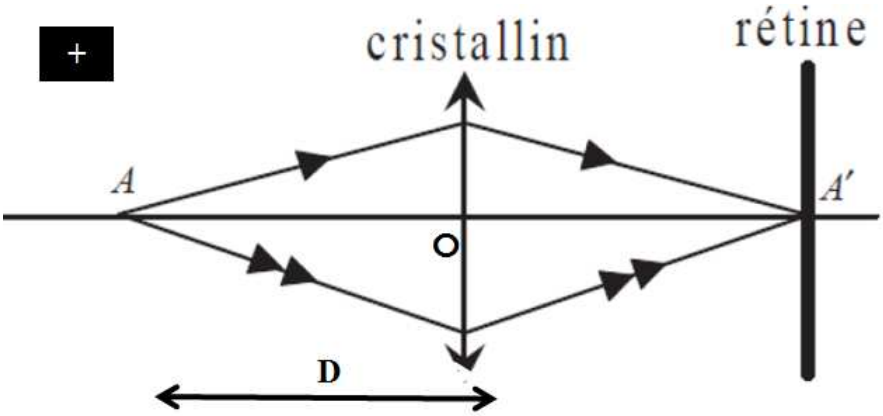
Le punctum proximum (PP) se situé à environ 25 cm ; cette distance peut n'être que de 10 cm pour un enfant et augmente avec l'âge quand le cristallin perd de son élasticité.

Le punctum remotum (PR) et le punctum proximum (PP) correspondent respectivement à la plus grande et à la plus courte des distances focales de l'œil.

On définit **l'intervalle d'accommodation** comme étant la distance entre le punctum proximum (PP) et le punctum remotum (PR). Si le punctum remotum est à l'infini, cette distance est infinie; on préfère alors définir **l'Amplitude dioptriques d'accommodation.**

10.2.3 Equations de l'œil

le comportement optique de l'œil est présente sur la figure si dessous**,** où l'image se forme toujours sur la rétine pour un œil normal (emmétrope),



Equation de l'œil identique à la relation de conjugaison d'une lentille

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'_{oeil}}$$

Où OA= -D (distance objet- œil)

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{-D} = V_{oeil}$$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = cste \Longrightarrow$$

Car l'image se forme toujours sur la rétine

Lorsque l'oeil est au repos (pas d'accommodation), il voit nettement au PR ($D = D_M$) et sa vergence vaut V_0 :

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{-D_M} = V_o$$

Pour une accommodation maximale, l'œil voit nettement au PP ($D = D_m$) et sa vergence varie de la quantité **ΔV(ou A) appelée amplitude dioptrique d'accommodation** (en dioptrie), soit $V_{œil} = V_0 + \Delta V$.

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{-D_m} = V_o + \Delta V$$

En combinant les deux équations précédentes, on obtient le terme **ΔV**

$$A = \Delta V = \frac{1}{D_m} - \frac{1}{D_M}$$

Pour un œil emmétrope :

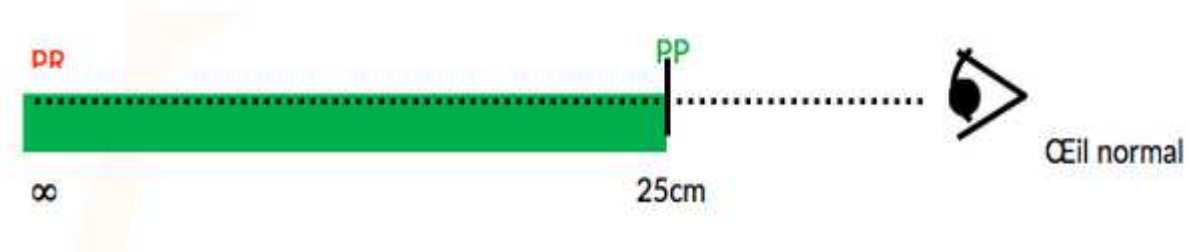
$$D_m = 0{,}25 \text{ m et } D_M \to \infty, \text{ donc } A = 4\ \delta$$

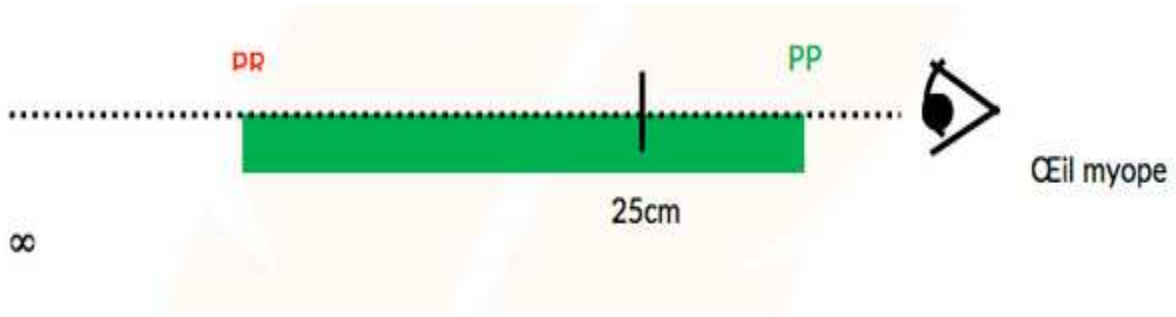
10.3 Anomalies de la vision et corrections

10.3.1 MYOPIE

La myopie est caractérisée par le fait que le système cornée - cristallin est trop convergent (V est élevée, la distance focale est faible) par rapport à l'oeil normal, de sorte que l'image d'un objet à l'infini **se forme en avant** de la rétine **(foyer image F' se trouve en avant de la rétine**). . Le nerf optique transmet donc une image floue au cerveau. Plus la source du regard est éloignée et plus l'image sera floue. En revanche, un œil myope sera capable de voir de près, plus la myopie sera forte et plus la distance de vision nette sera courte. Un œil myope ne peut donc pas former sur sa rétine l'image d'un objet placé à l'infini. Son punctum remotum est situé à une distance finie de l'œil

Une anomalie de la forme du globe oculaire peut être à l'origine de la myopie qui fait que la rétine est trop éloignée du cristallin.





L'oeil myope est trop convergent.

Le **P.P.** d'un **oeil myope** est donc plus **petit que celui de l'oeil emmétrope**.

Le **P.R.** d'un **oeil myope n'est plus à l'infini mais à une distance finie**.

Plus la myopie est prononcée plus le P.R. est proche de l'oeil.

Le domaine de vision distincte d'un oeil myope est réduit par rapport à celui d'un oeil emmétrope.

Corriger la myopie consiste à permettre à l'oeil myope une vision à l'infini, c'est-à-dire à ramener son PR à l'infini. Pour cela, **il faut placer devant l'oeil myope une lentille de correction divergente**, dont **la distance focale f' est sensiblement égale à la distance de son centre optique au PR** de l'œil. ainsi, sans accommodation, l'oeil myope corrigé peut voir des objets situés à l'infini.

Position de l'objet est à l'infini, l'image sur PR :

$$\frac{1}{\overline{SA'}} - \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{1}{f'}$$

$$\frac{1}{\overline{SR}} - \frac{1}{\overline{\infty}} = \frac{1}{f'}$$

$$f' = \overline{SR} (= \overline{OR} = -D_M)$$
$$(\text{cas } O \equiv S)$$

⇨ **Donc f'<0 (V_c <0), Lentille Divergente**

Pour corriger l'œil myope il suffit de placer devant lui une lentille divergente (verre correcteur) pour rendre moins convergent le système optique [œil + lentille divergente].

Le foyer image du verre correcteur doit être situé au punctum remotum de l'œil pour lui permette de voir net un objet à l'infini, sans accommoder.

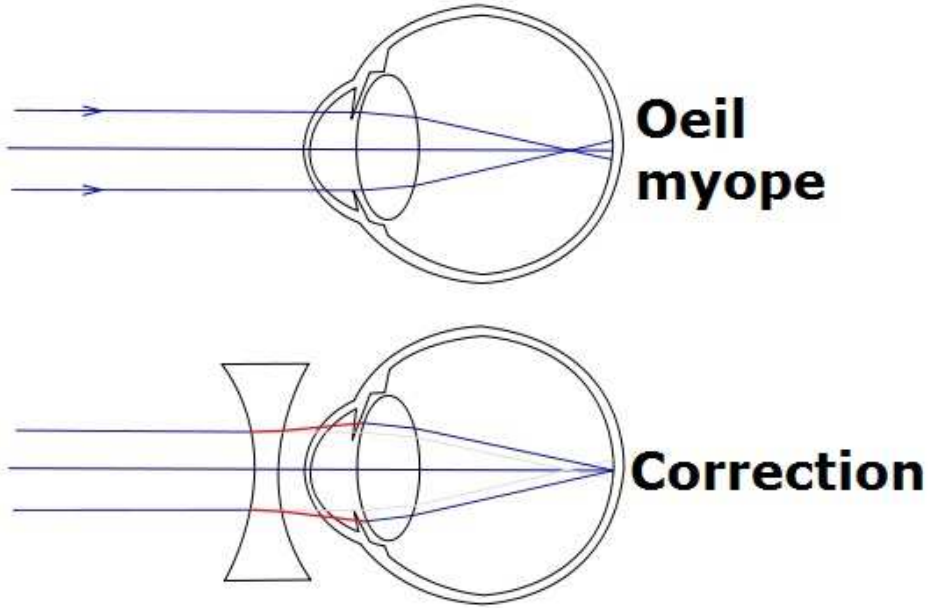


Figure 26. œil myope, avant et après correction

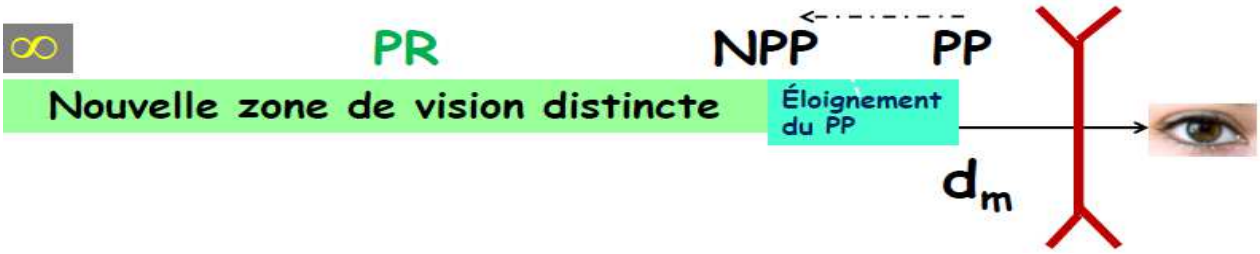
Remarque :

- La correction de la myopie par une lentille divergente a aussi pour effet de reculer le Ponctum Proximum (**PP**) à une distance normale (environ 25 cm).
- Pour observer un objet situé avant le PP, le myope a intérêt a retiré ses lunettes : accommodation moindre sans verres correcteurs.

Pour déterminer la nouvelle position de punctum proximum (NPP=PP') on applique la relation suivante :

$$\frac{1}{PP} - \frac{1}{PP'} = \frac{1}{f'} = \frac{1}{PR} \Rightarrow PP' = NPP = \frac{PR.PP}{-PP + PR} = \frac{f'.PP}{-PP + f'}$$

$PR \longrightarrow \infty$ **(Verre correcteur)**



Exemple:

le PP et le PR d'un myope sont situés à 20cm et à 100cm de son œil, respectivement.

1- Trouver la lentille correctrice pour sa vision.

2- Quelles sont les nouvelles positions des PP et PR.

Solution :

1- **Lentille divergente, f'= -100 cm**

PP⇒ PP'= NPP=- 25 cm, PR→ ∞

L'amplitude dioptrique A mesure la vergence du verre qui donnerait du **PP** une image située au **PR**.

$$\frac{1}{dm'} - \frac{1}{dm} = V, \quad et \quad \frac{1}{D'} - \frac{1}{D} = V$$

d'où

$$\frac{1}{D} - \frac{1}{dm} = \frac{1}{D'} - \frac{1}{dm'} = A$$

Ce résultat n'est valable qu'en cas où le verre placé contre l'œil.

Il y a conservation de **l'amplitude dioptrique** pour un œil auquel on adjoint un verre de **vergence V**. Le **(PP)'** et le **(PR)'** de **l'œil corrigé** sont les points admettant le **PP** et le **PR** de l'œil nu, avec un défaut, comme conjugués dans le verre

10.3.2 Hypermétrope

Au repos, l'oeil hypermétrope n'est **pas assez convergent** pour sa profondeur : son foyer F' principal image est donc en arrière de la rétine. Pour amener l'image sur la rétine, l'oeil hypermétrope doit augmenter sa vergence, donc accommoder en permanence.

Comme le conjugué du **PR** doit être sur la rétine de l' oeil non accommodé, donc en avant de **F', PR ne peut** être qu'**un point virtuel**, dans ce cas.

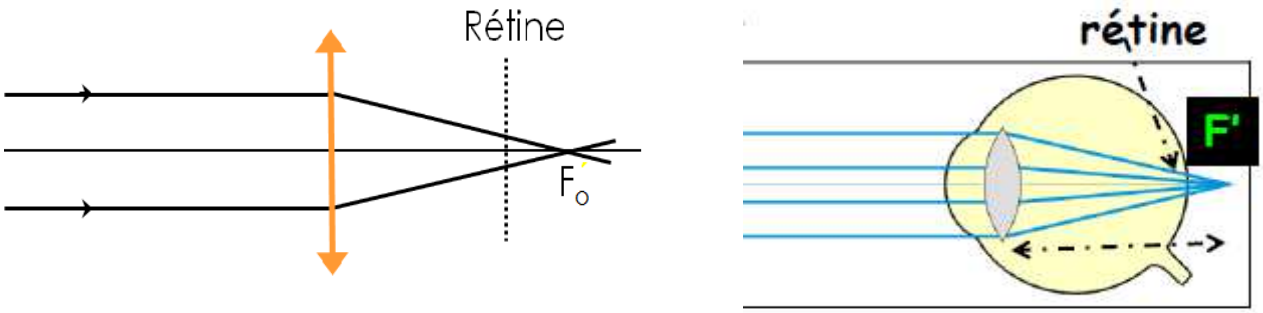
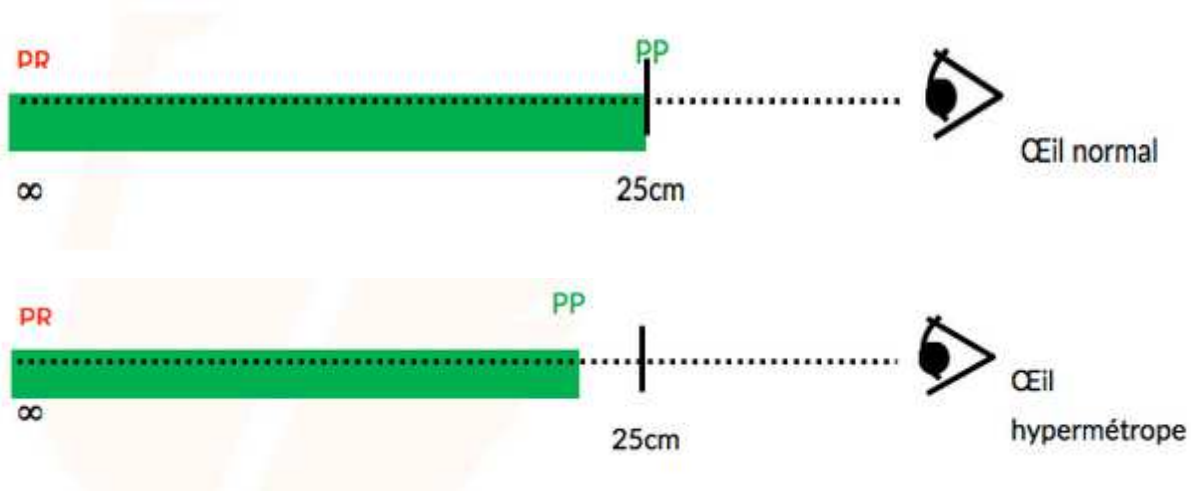


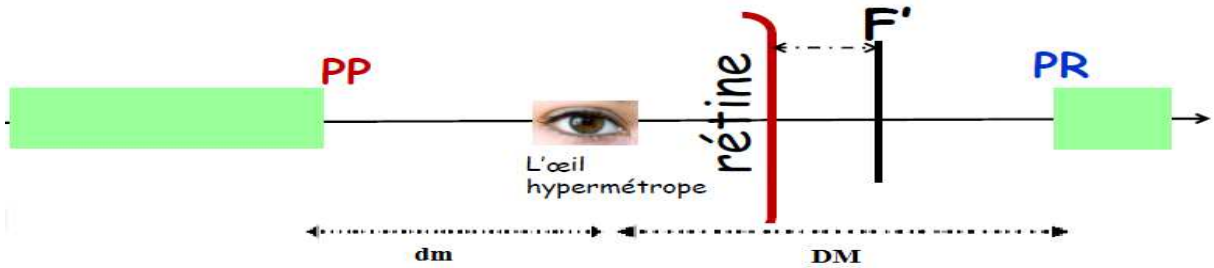
Figure 27. L'œil hypermétrope



L'oeil hypermétrope n'est pas assez convergent.

Le **PP.** d'un **œil hypermétrope** est donc plus **grand que celui de l'œil emmétrope**.

Le **PR.** d'un **œil hypermétrope est situé à l'infini comme celui de l'œil emmétrope** et peut être placé au point virtuel.



Il faut accommoder pour voir les **objets virtuels** situés en arrière de **PR et les points réels situés** en avant du **PP,** lequel est plus loin que dans le cas de l'oeil normal. Sa distance minimale $\mathbf{d_m}$ peut être égale à 50 cm ou plus. **L'hypermétropie se corrige en plaçant devant l'œil une lunette convergente.**

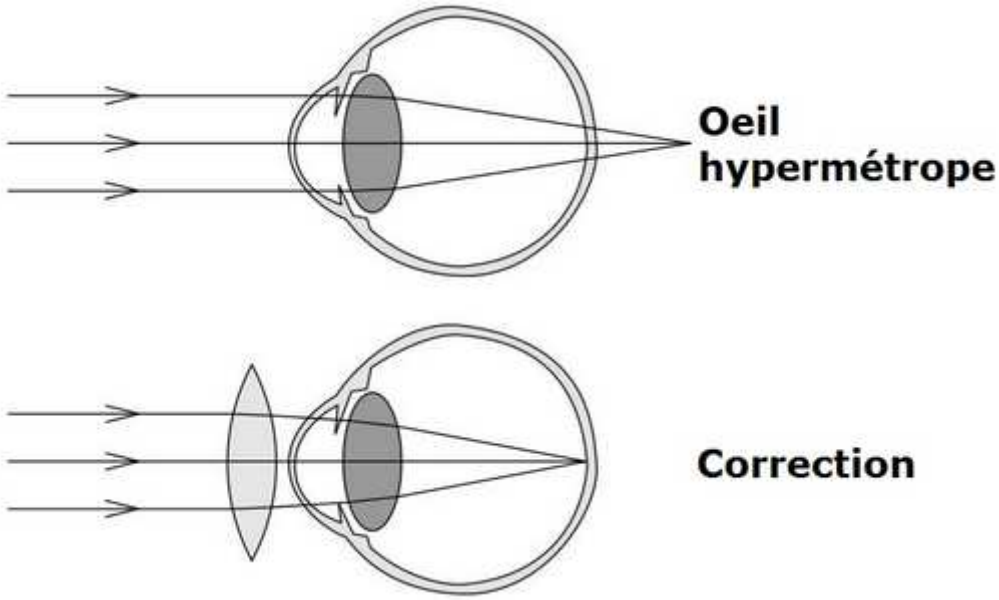


Figure28. Œil hypermétrope avant et après correction

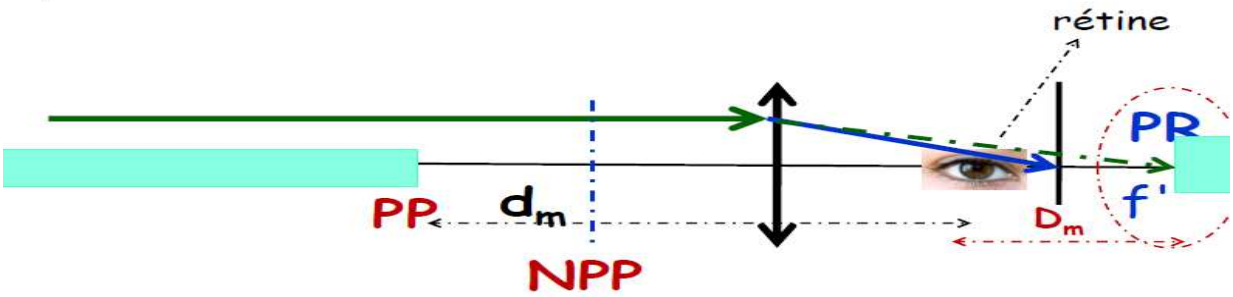
Pour corriger l'œil hypermétrope il suffit de placer devant lui une lentille convergente pour rendre plus convergent le système optique [œil + lentille convergente].

Comme pour la correction de l'œil myope, le foyer image du verre correcteur doit être situé au Punctum Remotum de l'œil. (f'=PR)

Pour un œil hypermétrope, le verre correcteur est convergent, V > 0, il doit augmenter la faible convergence de cet œil.

La nouvelle position de Punctum proximum NPP-PP'

$$\frac{1}{PP} - \frac{1}{PP'} = \frac{1}{f'} = \frac{1}{PR} \Rightarrow PP' = NPP = \frac{PR.PP}{-PP + PR} = \frac{f'.PP}{-PP + f'}$$



Exemple :

Œil hypermétrope de PP = -70cm et de PR =20cm Quelles sont les nouvelles positions des PP et PR.

Solution

NPP = -14cm NPR =∞

10.3.3 Presbytie : un effet de vieillissement

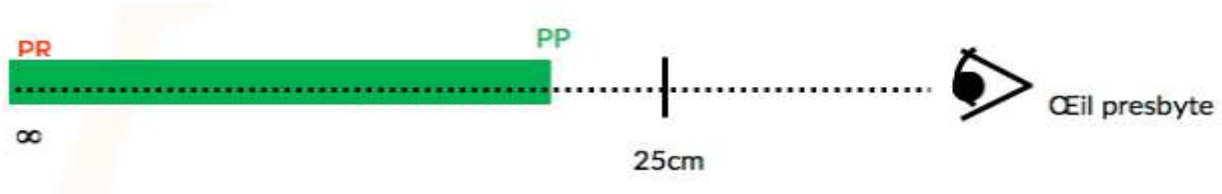
La faculté d'accommodation, liée à un effort musculaire, **diminue avec l'âge :**

le PP s'éloigne progressivement de l'œil, le PR restant à peu près fixe.

L'amplitude dioptrique A diminue et, pour un œil emmétrope, passe d'une dizaine de dioptries, à 20 ans, à 1 dioptrie vers 60 ans. On dit que l'œil devient **presbyte.**

La presbytie est alors la diminution de la faculté d'accommodation due au vieillissement de l'œil.

L'œil presbyte a un parcours similaire à celui de l'hypermétrope avec un PP un peu plus éloigné



Le **P.P.** d'un **œil presbyte** est donc plus **grand que celui de l'œil emmétrope**.

Le **P.R.** d'un **œil presbyte est situé à l'infini comme celui de l'œil emmétrope**..

a/ **<u>Un œil normal</u>**, devenu **presbyte**, voit encore nettement les objets éloignés, mais pour voir de près, pour lire par exemple, il doit compenser l'insuffisance de l'accommodation par l'emploi de lunettes munies de lunettes convergentes.

Puisque le Punctum Proximum s'éloigne, la puissance maximale de l'œil diminue et l'on atténue la presbytie en adjoignant à l'oeil, **<u>un verre convergent.</u>** **I**l s'ensuit un rapprochement du Punctum Remotum et en définitive l'amplitude de l'œil armé reste celle de l'œil nu.

b/ **un myope presbyte** doit utiliser deux verres correcteurs **:**

- ✓ **L'un divergent, pour la vision des objets** éloignés, corrige la **myopie,**
- ✓ L'autre, **convergent, pour la vision d'objets** proches, réduit la **presbytie.**

On remplace souvent ces deux verres par un seul « à double foyer » :

• La partie supérieure est utilisée pour la vision éloignée,

• Celle du bas, destinée à la lecture, est rendue plus convergente par soudure d'une pastille de verre.

10.3.4 Astigmatisme

L'œil normal est un système optique centré. Si cette **symétrie de révolution n'existe plus**, l'œil est dit **astigmate**. Des rayons parallèles situés dans des plans d'incidence différents **ne convergent pas au même point**. L'astigmatisme est **un trouble de la vue** dû majoritairement à une « **mauvaise courbure de la cornée** » : la forme de **la cornée est légèrement ovale au lieu d'être sphérique**. L'astigmatisme se caractérise par :

- son module (différence de courbures)
- son axe (orientation des courbures)

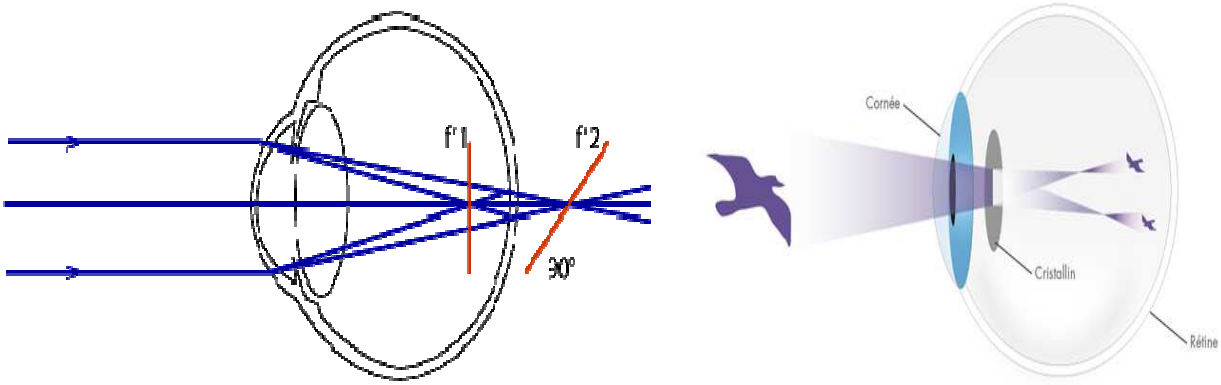


Figure 29. Œil astigmate

11. INSTRUMENTS OPTIQUE

11.1 Notion de grossissement

Les instruments d'optique permettant d'obtenir une image plus grosse des objets observés

De nombreux instruments ont pour utilité d'observer des objets en les agrandissant. Cependant, les instruments optiques sont caractérisés par leur grossissement, à ne pas confondre avec le grandissement défini dans le chapitre précédent.

Les images obtenues à la sortie de la plupart des instruments optiques (loupe, microscope, lunette astronomique, etc.) se situe à l'infini. Ainsi cela n'a pas de sens de déterminer un grandissement car on ne peut pas déterminer la taille de l'image$\overline{A'B'}$. Il faut donc utiliser une grandeur caractéristique des objets et images à l'infini : le diamètre (angulaire) apparent.

Définition : Grossissement

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

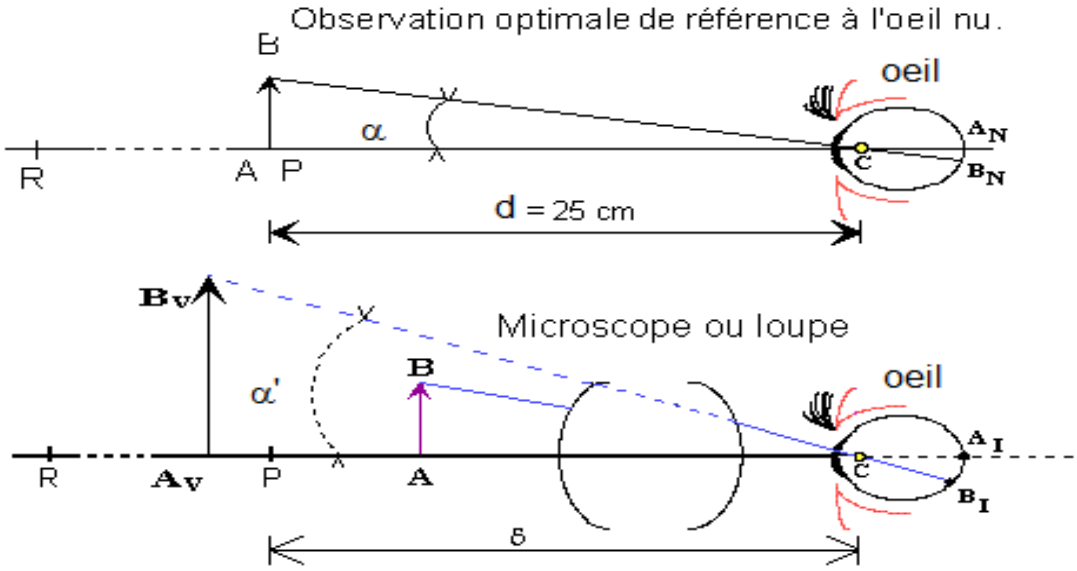
Avec α' : diamètre apparent de l'image obtenue à la sortie de l'instrument optique. Pour instruments d'optique dont le but est de grossir les petits objets, α est le diamètre apparent de l'objet observé à l'oeil nu à la distance minimale d'observation commerciale dm= 25 cm

Dans les conditions de Gauss :

$$\alpha = \frac{\overline{AB}}{dm}$$

Pour les instruments d'optique dont le but est de grossir les objets lointains, α est le diamètre apparent de l'objet à l'infini observé à l'oeil nu.

Pour calculer α il faudra analyser les données du problème étudié.



11.2 LA LOUPE

La loupe est l'instrument le plus simple utilisé en optique. Il permet d'obtenir une image plus grande d'un petit objet. Il est important de comprendre le fonctionnement d'une loupe car la plupart des instruments d'optiques possède un oculaire, équivalent à une loupe

Définition :

Une loupe est système optique constitué d'une lentille convergente permettant d'obtenir une image virtuelle agrandie d'un objet.

Position de l'objet : l'objet doit se situer entre le foyer principal objet et le centre optique de la lentille, ainsi l'image sera derrière l'objet et agrandie, permettant une meilleure vision des détails pour l'œil

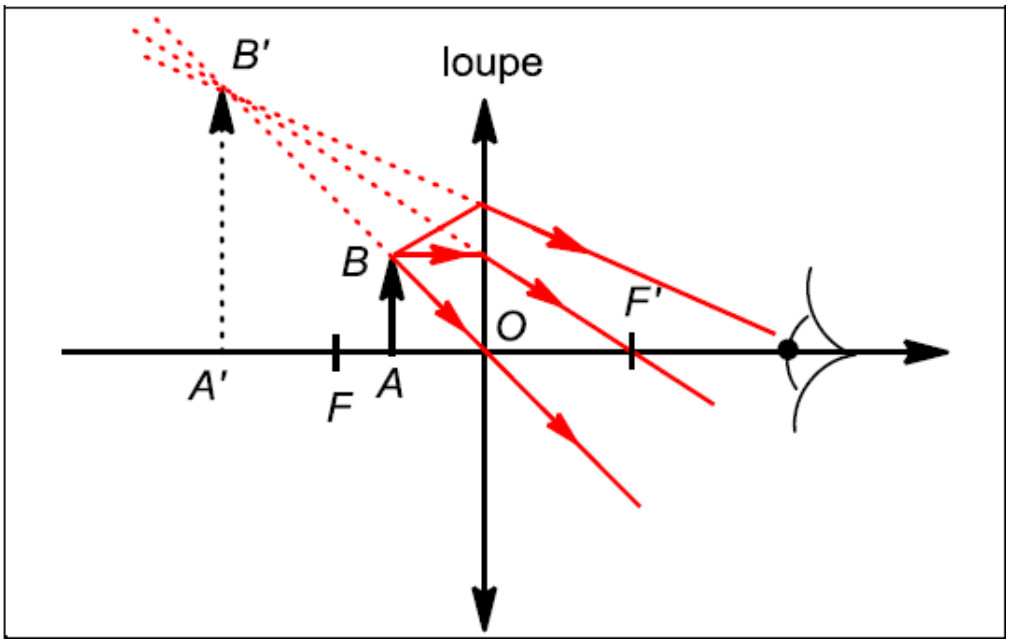


Figure30. Construction pour un objet entre O et F

Position de l'objet idéale : pour éviter une fatigue oculaire, il est préférable que l'image soit rejetée à l'infini. Ainsi l'œil n'accommodera pas pour l'observer et il verra l'image nette quelque soit sa position sur l'axe optique. Il faut donc placer l'objet sur le plan focal objet

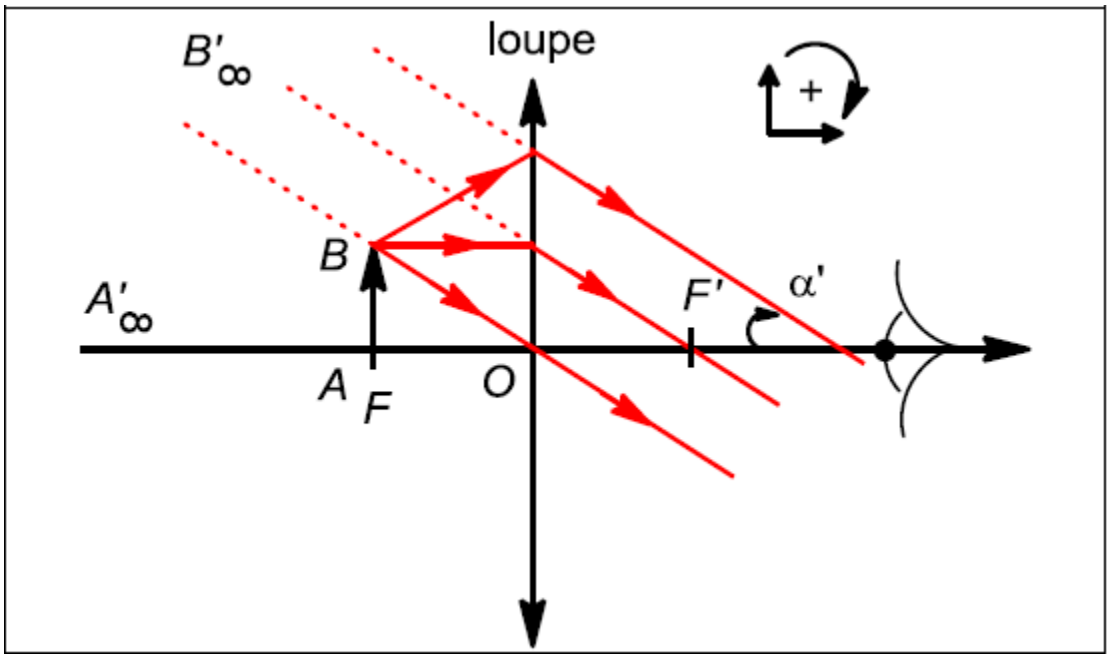


Figure31. Construction pour un objet sur le plan focale objet

11.3 MICROSCOPE

Le microscope optique basique est un système optique à deux lentilles qui permettant d'obtenir une image agrandie de l'objet à observer. Il est caractérisé cependant un grossissement plus important que celui de la loupe car deux lentilles convergentes successives permettent cet agrandissement.

Constitution et réglage

Comme la plupart des instruments optiques le microscope est constitué de deux parties : l'**objectif** et l'**oculaire**. L'objectif est le premier élément de l'instrument optique, c'est celui qui reçoit les rayons lumineux provenant de l'objet. L'oculaire est en fait une loupe qui permet de fournir une image agrandie de l'image intermédiaire formée par l'objectif.

Dans le cas du microscope, l'objectif et l'oculaire sont des lentilles convergentes.

Réglage : l'oculaire est placé de manière à ce que l'image finale soit renvoyée à l'infini, afin que l'œil de l'observateur n'ait pas à accommoder et ne se fatigue pas.

Transformation optique

$$A \xrightarrow{objectif} A_1 = F\ oculaire \xrightarrow{oculaire} A'\infty$$

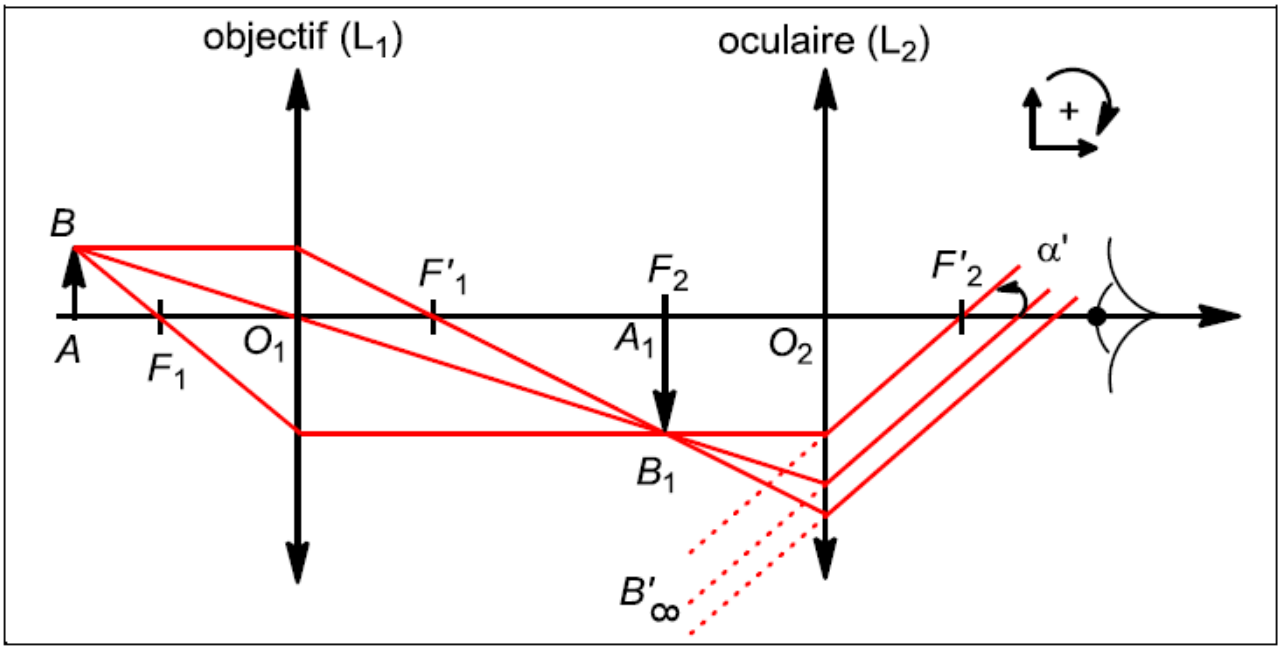


Figure 32. Schéma de fonctionnement du microscope

11.4 Le grossissement d'une loupe

Le grossissement d'une loupe est donné par la relation :

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

α et α' est déjà défini dans le premier paragraphe (11.1) . D'après les figures précédentes on trouve:

- ✓ $\alpha = \frac{\overline{AB}}{dm}$
- ✓ $\alpha' = \frac{\overline{AB}}{p} = \frac{\overline{A'B'}}{q}$

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{dm}{p} = \frac{0.25}{p}$$

Dans le cas particulier où p = f, l'image est à l'infini et l'équation précédente devient:

$$G = \frac{0.25}{f}$$

EXERCICE :

Montrer que, si l'image donnée par une loupe se trouve au **punctum proximum** normal (**0,25 m**) alors :

$$G = 1 + \frac{0.25}{f}$$

Où f est en mètres. On suppose que la lentille est près de l'œil.

Solution :

On a : $G = \frac{0.25}{p}$

La relation de conjugaison d'une loupe est : $\frac{1}{q} + \frac{1}{p} = \frac{1}{f}$

q est la position de l'image, q= 0.25, et P est la position de l'objet

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{f} - \frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{-0.25}$$

Puique $G = \frac{0,25}{p}$, on obtient $G = 0,25 \times \frac{1}{p} = 0,25 \times \left[\frac{1}{f} + \frac{1}{0,25}\right] = \frac{0,25}{f} + 1$

11.5 Le grossissement d'un microscope

Le microscope composé grossit l'image en deux étapes:

D'abord, l'objectif produit un grandissement transversal (linéaire) : $\boldsymbol{\gamma} = -\frac{\mathbf{q_{ob}}}{\mathbf{p_{ob}}}$

L'image ainsi agrandie est alors observée à la loupe (oculaire), ce qui produit un grossissement (angulaire) : $\mathbf{G} = \frac{\mathbf{0.25}}{\mathbf{p_{oc}}}$

Le grossissement global du microscope devient: $\mathbf{G} = -\frac{\mathbf{q_{ob}}}{\mathbf{p_{ob}}} \times \frac{\mathbf{0.25}}{\mathbf{p_{oc}}}$

ACTIVITE D'APPRENTISSAGE

Dans un microscope, les distances focales de l'objectif et de l'oculaire sont respectivement de 6 mm et de 2,4 cm. L'objet est situé à 6,25 mm de l'objectif. Trouvez le grossissement angulaire si l'image finale est à l'infini.

SOLUTION

Commençons par trouver la position de l'image formée par l'objectif (q_{ob}).

$$\frac{1}{q_{ob}} = \frac{1}{6\ \text{mm}} - \frac{1}{6{,}25\ \text{mm}}$$

On trouve q_{ob} = 150 mm. On peut alors calculer le grandissement transversal produit par l'objectif :

$$\gamma_{ob} = -\frac{q_{ob}}{p_{ob}} = -\frac{150}{6{,}25} = -24\text{x}$$

Puisque l'image finale se forme à l'infini, ça implique que $p_{oc} = f_{oc}$ = 2,4 cm. Calculons le grossissement (angulaire) de l'oculaire.

$$G_{\infty} = \frac{0{,}25}{f_{oc}} = \frac{0{,}25}{0{,}024} = 10{,}4\text{x}$$

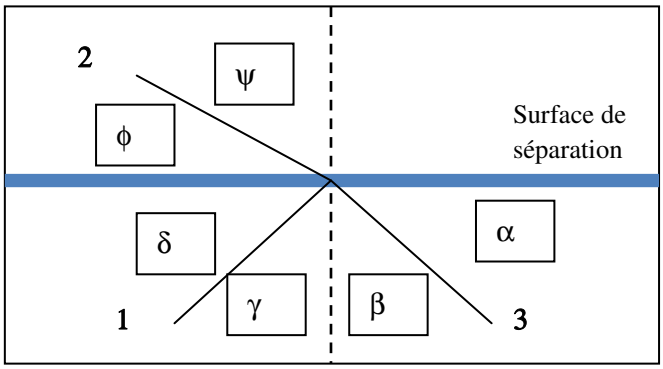
On trouve comme grossissement total:

$$G = \gamma_{ob} \times G_{oc} = -\frac{q_{ob}}{p_{ob}} \times \frac{0{,}25}{p_{oc}} = -\frac{150}{6{,}25} \times \frac{0{,}25}{0{,}024} = -24 \times 10{,}4 = -250\text{ x}$$

SERIE 01 : LA REFLEXION ET LA REFRACTION DE LA LUMIERE, lois de SNELL-DESCARTS

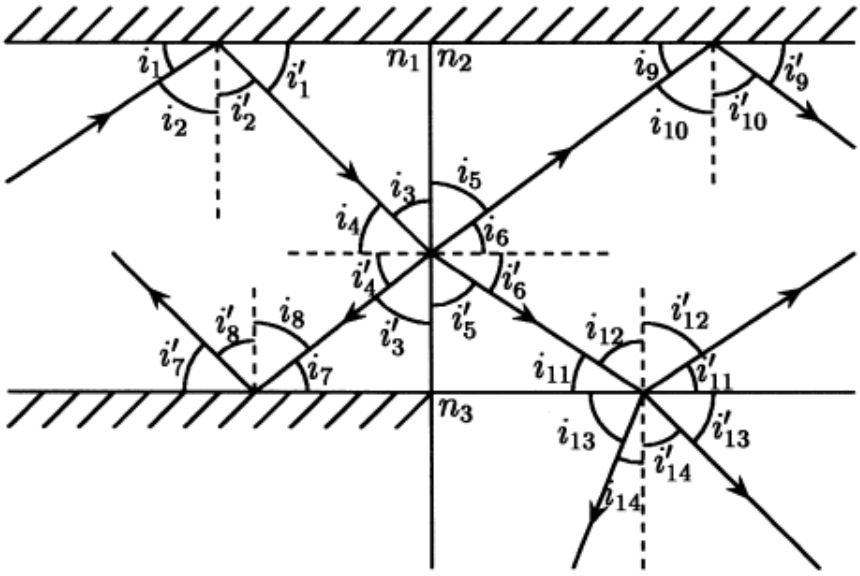
EXERCICE n°1

La figure ci-dessous montre le trajet d'un rayon lumineux passant du verre dans l'air.
a) De quel côté de la surface de séparation le verre se trouve-t-il?
b) Indique la position respective des rayons incident, réfléchi et réfracté!
c)Indique la position respective des angles d'incidence, de réflexion et de réfraction!



EXERCICE n°2

1. Refaire le schéma ci-contre en ne laissant que les rayons lumineux existant réellement.
2. Donner toutes les relations angulaires possibles en précisant pour chacune si elle est d'origine géométrique ou optique.



EXERCICE n°3 :

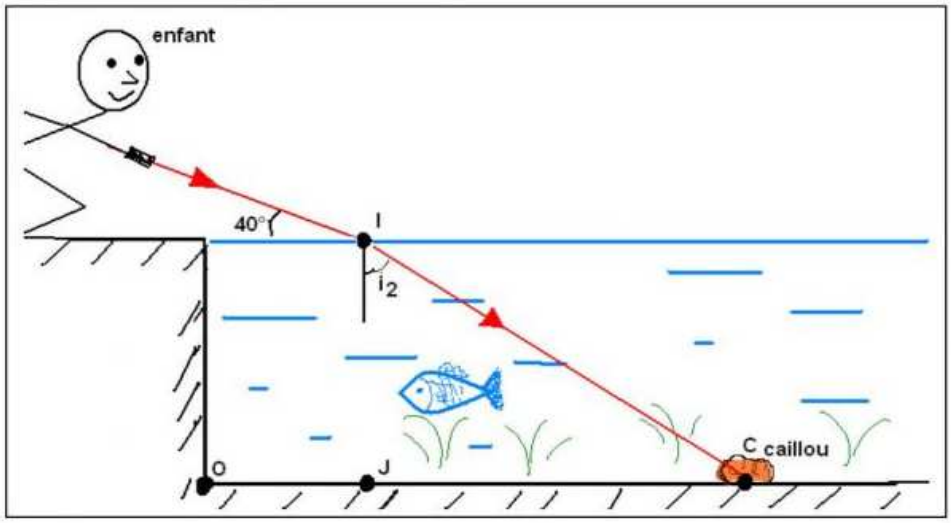
Un rayon lumineux se réfléchi successivement sur deux miroirs plans qui font entre eux un angle de 60°. Déterminer l'angle que fait le rayon émergent avec le rayon incident.

EXERCICE n°4 :

Un homme est debout devant un miroir plan rectangulaire fixé sur un mur vertical ; son œil est à 1.70 m au-dessus du sol. La base du miroir est à une hauteur h au-dessus du sol. Déterminer la valeur maximale h_m pour que l'homme voie ses pieds. Comment varie h_m en fonction de la distance œil-miroir.

EXERCICE n°5 :

Un enfant éclaire, avec un petit laser, un caillou se trouvant dans l'eau à une profondeur IJ = 1,2m. Le caillou est vu sous un angle i_2 à partir du point I. (voir schéma). L'indice de réfraction de l'eau est 1,33 et celui de l'air est 1,00. La distance OJ = 1,3m.



1. Donner la relation énonçant la deuxième loi de Descartes : loi de réfraction.

A l'aide des données du texte et du schéma :

2. Trouver la valeur de l'angle d'incidence i_1.
3. Donner la relation littérale permettant de trouver i_2. En déduire la valeur d'i2.
4. A quelle distance OC du rivage se trouve le caillou ?

EXERCICE n°6

On considère une bulle d'air (indice n2 ~1) immergée dans de l'eau (indice n1=1,33). Un rayon rencontre la bulle au point I avec un angle d'incidence *i* (voir Figure 1). Le rayon est à une distance *d* de la droite SC parallèle au rayon et passant par C. La bulle correspond à une sphère de rayon *R* et de centre C.

a) Faire sur la Figure 1, le schéma optique représentant le rayon réfléchi au point I. Identifier l'angle de réflexion.

b) A partir de quel angle d'incidence *i* = • le rayon sera-t-il totalement réfléchi ? Evaluer l'angle •

(Notez que 1,33 ~ 4/3 et sin (45,5°) ~ 0,75).

c) A quelle distance $d\theta$ est alors situé le rayon ? Application numérique pour $R = 4$ mm.

d) Dans le cas où $i >$ □, le rayon est totalement réfléchi. Représenter sur la Figure 1, l'angle D de déviation du rayon, c'est-à-dire l'angle par lequel le rayon incident est dévié de sa direction initiale. Exprimer D en fonction de i.

e) Dans le cas où $i < \theta$, le rayon subit aussi plusieurs réfractions (voir Figure 2). Soit r l'angle de réfraction correspondant au passage eau-bulle d'air. Représenter sur la Figure 2, l'angle D' de déviation du rayon en sortie, c'est-à-dire l'angle que fait le rayon à la sortie de la bulle par rapport au rayon incident. Exprimer l'angle D'en fonction de i et r (On notera que le triangle IJC est isocèle en C).

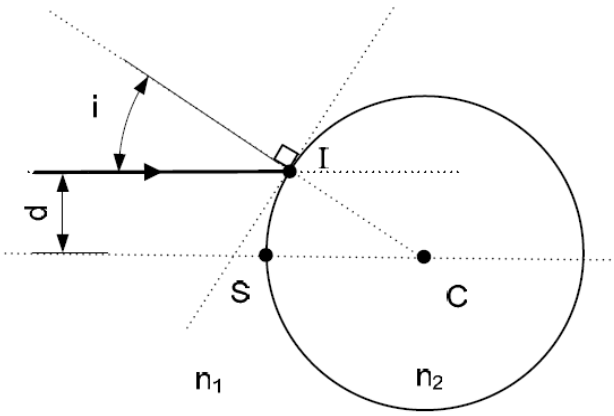


Figure 1

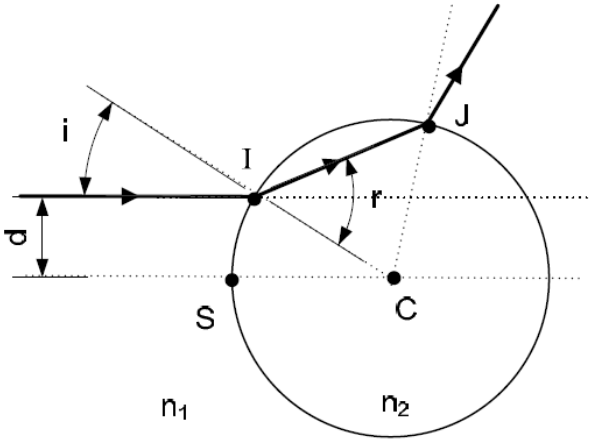
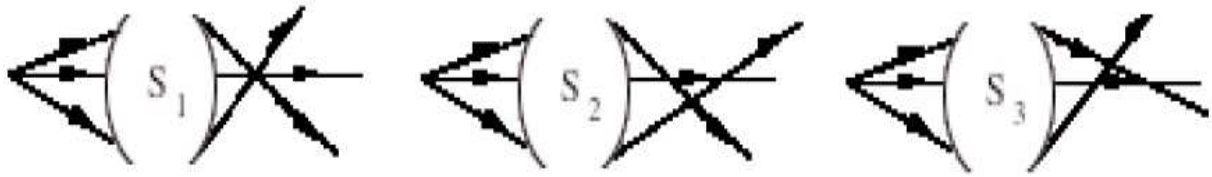


Figure 2

SERIE 02 : FORMATION DES IMAGES ET APPROXIMATION DE GAUSS, STIGMATISME ET APLANETISME

EXERCICE n°1

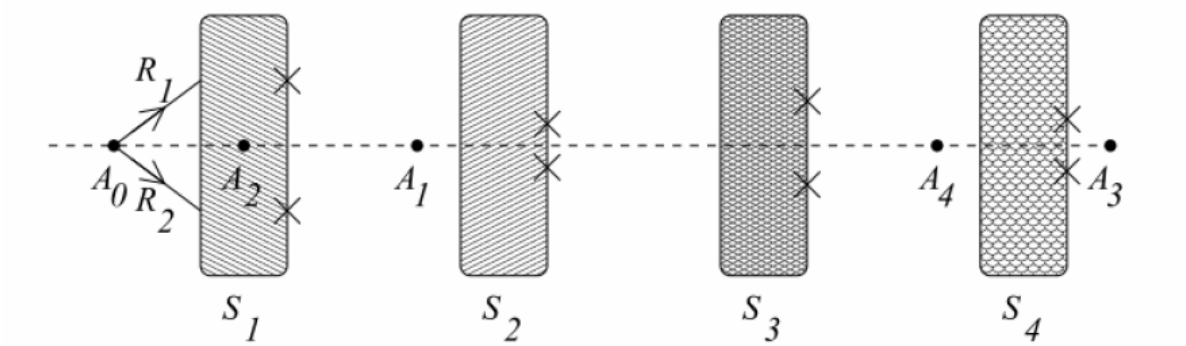
Les systèmes optiques suivants sont-ils stigmatiques ?



Rép : S1 : rigoureusement stigmatique, S2 et S3 : stigmatisme approchée

EXERCICE n°2

Au point A0 se situe une source lumineuse. A droite de cette source, sont placés quatre systèmes Optiques dioptriques Si, $1 \leq i \leq 4$. On appelle Ai l'image de Ai-1 donnée par le système Si .



Représenter sur la figure ci-dessus la trajectoire des rayons lumineux R1 et R2 lorsqu'ils traversent L'ensemble des quatre systèmes optiques. Les rayons lumineux quittent chacun des systèmes optiques par les points signalés d'une croix sur leur face de sortie.
En déduire la nature (réelle ou virtuelle) du point objet Ai-1 et du point image Ai pour chaque Système optique Si.

EXERCICE n°3 :

Un poisson est vu dans l'eau d'une rivière (indice n= 1.33) par un pécheur situé sur la rive. on cherche à comprendre la formation de l'image du poisson par dioptre eau-air.

1. Calculer les angles B réfracté dans l'air pour les angles d'incidence sur l'interface eau-air a=0°, 10°, 25°, 30°, 40°, et 45°.
2. Tracer les rayons issus d'un poisson et leurs prolongements dans l'air.
   Tracer les prolongements arrières des rayons situés dans l'air. ceux – ci croisent-ils en un point unique ? Y a-t-il image géométrique du point P ? le dioptre plan est-il rigoureusement stigmatique ?

3. Reprendre la construction en se limitant aux rayons pouvant atteindre l'œil du pécheur. Y a-t-il image géométrique du point P ? de quelle nature est-elle ?
4. Le pécheur se place à la verticale du poisson. son œil intercepte un petit pinceau de rayons proches de la verticale. à quelle profondeur lui apparait-il ? application numérique.

SERIE 3 : LAME A FACES PARALLELES et PRISME

EXERCICE n°1

Montrer que la lumière n'est pas déviée par un passage à travers une vitre.
Pour une vitre d'épaisseur **1cm**, que vaut le décalage latéral maximal ?
Si la vitre n'a pas ses faces rigoureusement parallèles, que se passe-t-il ?

EXERCICE n°2

On utilise un prisme de verre d'indice n = 1,50. Sa section principale est un triangle ABC, rectangle en A tel que l'angle en B soit égal à 70°. Un rayon lumineux dans le plan ABC rencontre le prisme en I sur le côté AB perpendiculairement à AB.
1- Sachant que le rayon incident est dans l'air, étudier la marche de la lumière jusqu'à la sortie du prisme.
2- On plonge le prisme dans un liquide d'indice n'. Entre quelles limites doit être compris l'indice n' si l'on veut que la lumière ne subisse qu'une seule réflexion totale ?

EXERCICE n° 3

Un prisme d'indice n et de petit angle **A**, placé dans l'air est éclairé par un faisceau de lumière parallèle sous un faible angle d'incidence **i**.

1. montrer que le faisceau émergent fait avec le faisceau incident un angle **D = (n-1) A**
2. calculer la déviation subie par deux rayons qi fait, à l'entrée, l'angle d'incidence **i= 3°,** l'un au dessous, l'autre au dessus de la normale.
   on donne : **A = 6° ; n = 3/2**

Rép : 1. commencé par la relation D= i+i'-A (l'angle i petit), 2. D = 3° pour les deux rayons

EXERCICE n° 4

Un prisme d'angle A et d'indice n= 1.5 est éclairé par un rayon incident perpendiculaire à la face d'entrée du prisme.
tracer la marche du rayon lumineux et calculer la déviation D dans les deux cas suivants :

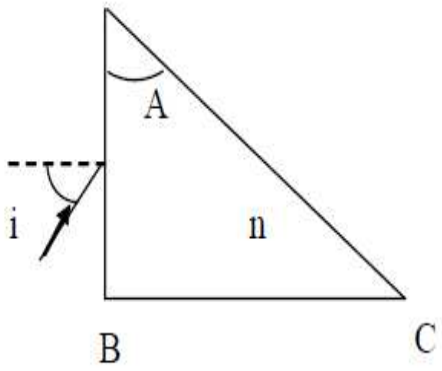
1. A = 30°
2. A = 60°

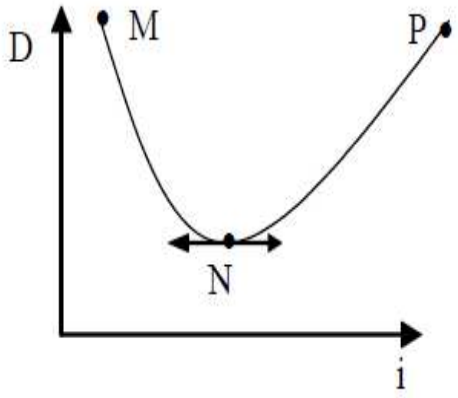
EXERCICE n° 5

Un prisme de verre de section principale ABC rectangle en B et dont l'angle A vaut 75° est placé dans l'air.

un rayon lumineux monochromatique SI pour lequel le verrre employé a pour indice n = 1.6328, arrive en I sur la face d'entrée AB sous l'incidence i au dessous de la normale.

1. rappeler la condition sur l'angle i pour que la rayon émerge par la face de sortie AC
2. la variation de la déviation D en fonction de l'angle d'incidence i a l'allure représentée sur la figure ci-dessous.
   Donner les coordonnées des points M, N et P
   tracer la marche du rayon lumineux pour les angles d'incidence correspondant aux points M, N et P

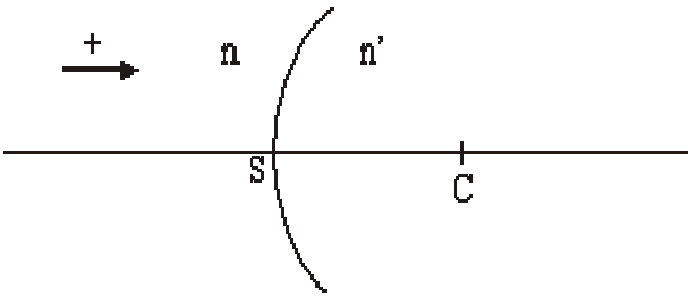




SERIE 04 : DIOPTRES SPHERIQUES ET LENTILLES MINCES

EXERCICE n°1

Un dioptre sphérique de centre C, de sommet S, de rayon de courbure égal à 10cm sépare l'air d'indice n=1 (espace objet) et un milieu d'indice n'= 4/3 (espace image). Sa face convexe est tournée du côté de l'air.



1. Trouver la position des foyers F et F' de ce dioptre.
2. Trouver la position d'un objet réel AB perpendiculaire à SC et de son image A'B' pour le grandissement linéaire γ=+2.
3. Tracer la marche d'un faisceau de rayons issus du point B de l'objet.

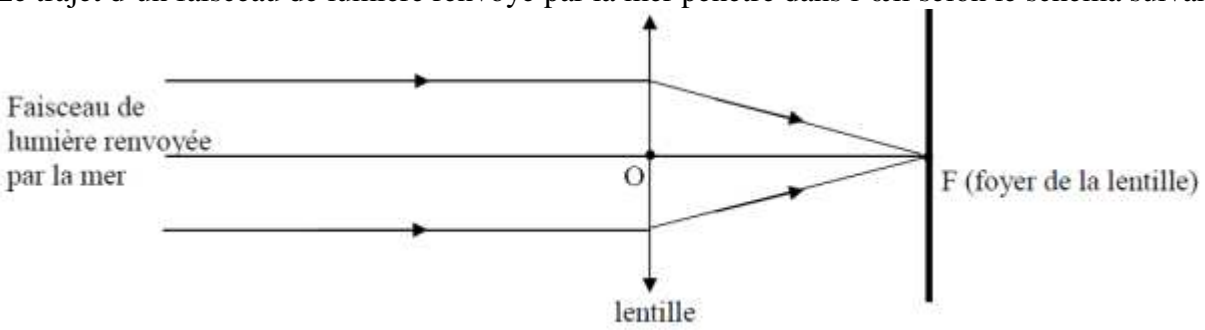
EXERCICE n°2

Un dioptre sphérique concave de centre C, de sommet S et de rayon R sépare deux milieux d'indices n1 et n2. On donne n1=1.5 et n2=1

1. Ce dioptre est-il convergent ou divergent ? Justifier votre réponse.
2. Déterminer les positions des foyers F et F' et déduire leur nature.
3. Construire géométriquement l'image d'un objet réel perpendiculaire à l'axe du dioptre dans les deux cas suivants : SA = -4R et SA =-2R
4. Calculer le grandissement linéaire pour chacun de ces cas.

EXERCICE n° 3

Le trajet d'un faisceau de lumière renvoyé par la mer pénètre dans l'œil selon le schéma suivant :



1. Donner la nature de la lentille représentée ci-dessus.
2. Citer un autre type de lentille et donner son schéma de représentation.
3. Donner deux méthodes permettant de distinguer les deux types de lentilles.

Le schéma précédent est réalisé à l'échelle 2. La valeur de la distance focale de la lentille est 2cm.

4. Faire apparaître cette distance focale sur le schéma.
5. Retrouver à l'aide de l'échelle du schéma, cette valeur.

On donne la relation : $C = \frac{1}{f}$

6. Nommer chacune des grandeurs utilisées dans la relation.
7. Donner le nom et le symbole des unités de ces grandeurs.
8. Faire le calcul de C et choisir parmi les valeurs suivantes : +50δ ; + 0,5δ ; -50δ celle qui correspond à la lentille précédente.

EXERCICE n°4

Une lentille de distance focale $f' = 6{,}0$ cm donne d'un point objet A placé sur l'axe optique, devant la lentille, à 12 cm du centre optique, un point image A'.

1. Calculer la vergence C d'une lentille
2. Schématiser cette lentille, Quel est le signe de la valeur algébrique $\overline{OA}$ de la distance OA ?
3. En utilisant la relation de conjugaison, calculer la distance OA' ainsi que le grandissement.

EXERCICE n°5

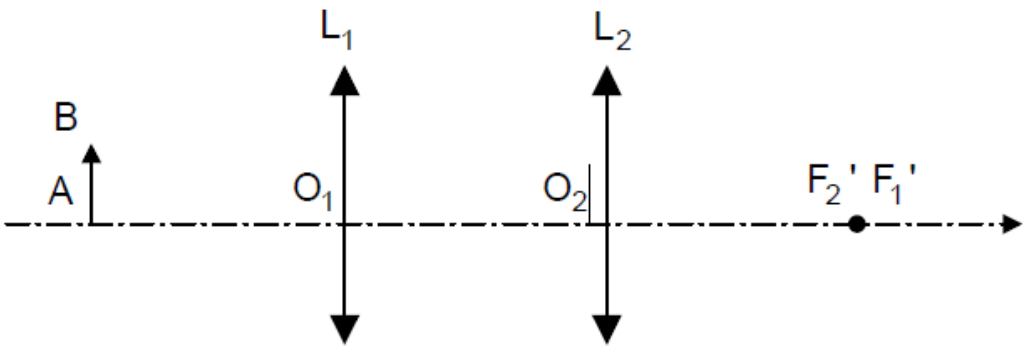
On considère un petit objet lumineux rectiligne Ab perpendiculaire à l'axe d'une lentille de sommet O. Déterminé la position de l'image ainsi que le grandissement dans les cas suivant :

1. lentille convergente : AO= 20 cm, distance focale : 30cm
2. lentille divergente : AO= 40 cm, distance focale : - 30 cm

Rép : 1. OA'= -60 cm, γ=3.
2. OA'= -17.14 cm , γ=3/7

EXERCICE n°6

1. Construire géométriquement l'image A'B' de l'objet AB (de hauteur l = 1 cm et placé à 4 cm devant O_1) à travers le système optique décrit sur la Figure, où $f_1' = 2f_2' = 8$cm et $O_1O_2 = 4$cm .

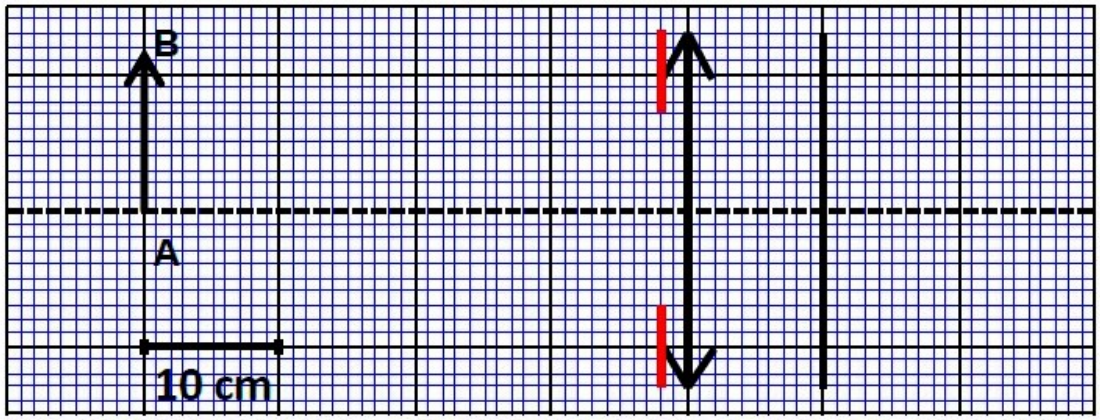


2. Utiliser les formules de conjugaison pour reprendre la même démarche mais par le calcul.
3. Exprimer le grandissement de ce montage.

SERIE 5 : L'ŒIL ET INSTRUMENTS OPTIQUE

EXERCICE n°1

On modélise un œil normal par une lentille convergente placée entre un diaphragme et un écran situé à 10 cm de la lentille. L'œil observe un objet lumineux AB situé à 40 cm devant lui.
l'image d'un l'objet AB se forme 15 cm après la rétine (écran) , voir le schéma ci-dessous :
1) Compléter le tracé des rayons lumineux pour obtenir l'image A'B' de AB.
2) Sur cette modélisation de l'œil, quelle est la hauteur de l'image ?
3) L'œil voit-il l'image nette ou floue ? Justifier.
4) Quel est le défaut de cet œil ? Justifier. Et Comment corrigé ce défaut ?

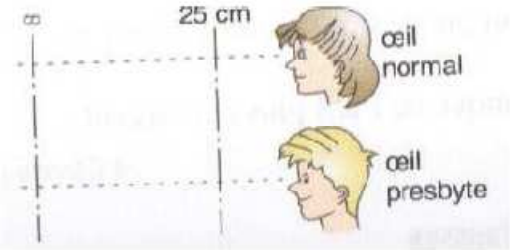


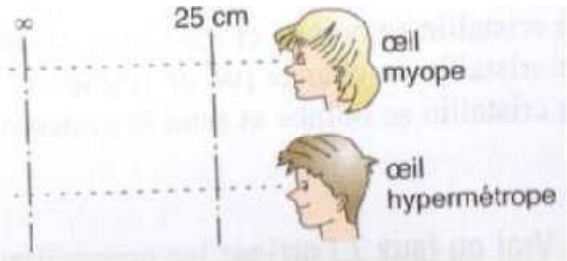
EXERCICE n°2

Un œil hypermétrope a une profondeur de 16,4 mm (distance cristallin-rétine) et une distance focale f de 16,8 mm.
1) A quelle distance du cristallin de l'œil hypermétrope se forme l'image d'un objet très éloigné ? Préciser la position de cette image par rapport à la rétine.
2) Calcule la vergence C de cet œil hypermétrope (C = 1/f).
3) Quelle serait la vergence de cet œil s'il était normal ?
4) Calculer la vergence de la lentille de contact qui corrigerait cette hypermétropie (les vergences de la lentille de contact et de l'œil hypermétrope s'ajoutent pour donner la vergence de l'œil normal).

EXERCICE n°3

Compléter les schémas ci-dessous en plaçant le punctum proximum (PP), le punctum remotum (PR) et en hachurant la zone de vision distincte.





Rép : cours l'œil et ces défauts

EXERCICE n°4

Un œil a 8δ d'amplitude maximale d'accommodation.

1. Où se trouve son PP s'il est emmétrope et s'il est myope de 2,5δ
2. pour chacune de ces situations, à quelle distance l'œil voit nettement sans faire d'effort.
3. Dans le cas où cet œil est myope, en quoi sa structure serait différente de celle d'un œil emmétrope?
4. Dans tous les cas de myopie où se forme l'image d'un objet à l'infini?

5. Comment agit alors la lentille correctrice?

EXERCICE n°5

Par définition, le diamètre apparent d'un objet est l'angle sous lequel on le voit.
1. Calculer le diamètre apparent θ(en °) d'un timbre de taille 30 mm observé à l'œil nu, à 250 mm de distance.
2. On observe maintenant ce timbre à travers une loupe de distance focale f ' = +100 mm.
Le timbre est situé dans le plan focal objet de la loupe.
Déterminer les caractéristiques de l'image du timbre (faire un schéma à l'échelle 1/2).
Calculer le diamètre apparent θ' de l'image vue à travers la loupe.
3. Le grossissement commercial d'une loupe est par définition : $G = \theta'/\theta$
Montrer que : $G = 1/4f'$ avec f ' la distance focale de la loupe (en m).
On rappelle que : $\tan \alpha \approx \alpha$, quand l'angle α est petit.
4. A.N. Calculer le grossissement commercial de la loupe.
5. Montrer qu'une loupe est nécessairement une lentille de type convergente d'au moins +4 dioptrie

EXERCICE n°6

Dans un microscope, les distances focales de l'objectif et de l'oculaire sont respectivement de 6 mm et de 2,4 cm. L'objet est situé à 6,25 mm de l'objectif. Trouvez le grossissement angulaire si l'image finale est à l'infini.

Références & liens bibliographies

1. Document de cours Lycée Hoche – BCSPT1A – A. Guillerand – 2017-2018
2. Lycée La Marinière, MPSI 2013 Optique géométrique
3. Prof.H. NAJIB Chap.II – Formation des images en optique géométrique Février 2011
4. http ://pcsi-unautreregard.over-blog.com/ qadripcsi@aol.com, FORMATION DES IMAGES& APPROXIMATION DE GAUSS
5. Physique tout-en-un pour la licence Laurent Gautron , Dunod paris 2010, cours , application et exercices corrigés
6. Cours de physique optique, cours et exercices avec solution dunod paris 1997 Jean-Paul porisat
7. http://uel.unisciel.fr/physique/optigeo/optigeo/co/optigeo.html
8. bouquins.isabelle.free.fr/dotclear/public/Optique/04%20Prisme.pdf
9. http://guy.chaumeton.pagesperso-orange.fr/2d03ph.htm
10. Dioptres plan et sphériques : IUT Saint Nazaire Département Mesures Physiques MP1 Semestre 2, Ch2 Dioptres plan et sphériques 1 © Bruno Velay
11. Optique géométrique Lucile Veissier lucile.veissier@spectro.jussieu.fr Licence IOVIS 2011/2012 UPMC Sorbonne universités
12. http://uel.unisciel.fr/physique/optigeo
13. Wahab Diop-PHYSIQUE 3E-lsll
14. Cours N. Delorme – L1 Chapitre 7 Lentilles minces 16/11/2011
15. http://www.physagreg.fr/optique-13-lentilles.php
16. https://www.bac-es.net/document/sciences/loeil-accommodation-defaut-et-correction-bac-es-sciences-premiere-3567.html
17. Physique rappels de cours & Exercices corrigés ; M. Benabdoun et T. Dehdouh édition de l'université Mentouri Constantine 2005/2006
18. Cours de physique- Optique Géométrique Beabdoun Moustapha l'université Mentouri Constantine 2004/2005

TABLE DE MATIERE

OPTIQUE GEOMETRIQUE

1. RAPPEL SUR LA NATURE DE LA LUMIERE 2
- 1.1. Description ondulatoire : la lumière est une onde électromagnétique 2
- 1.2. Description corpusculaire 3
- 1.3. La propagation de la lumière dans le vide 4
- 1.4. La propagation de la lumière dans un milieu matériel 4

2. LES SOURCES DE LUMIERE 5
- 2.1 Sources primaires 5
- 2.2 Sources secondaires 5

3. NOTION DE RAYON LUMINEUX- OPTIQUE GEOMETRIQUE 7
- 3.1. Loi de Snell – Descartes 7
- 3.2. Principe retour inverse de la lumière 8
- 3.3. Loi de KEPLER : Approximation des petits angles 8
- 3.4. Principe de Fermat 8

4. CONSEQUENCES DES LOIS DE SNELL- DESCARTES : 9
- 4.1 Réfraction dans le cas $n_1 < n_2$: Passage au milieu plus réfringent 9
- 4.2 Réfraction dans le cas $n_1 > n_2$: Passage au milieu moin réfringent 9
- 4.3 Réfraction limite 10
- 4.4 Réflexion totale 10

5. FORMATION DES IMAGES ET APPROXIMATION DE GAUSS 12
- 5.1 Modélisation en optique géométrique : Définition 12
- 5.2 Conjugaison objet-image : notion de stigmatisme 14
  - 5.2.1 Stigmatisme rigoureux 15
  - 5.2.2 Stigmatisme approché 16
- 5.3 Notion d'Aplanétisme 16
- 5.4 Systèmes centrés dans l'approximation de Gauss 17
  - 5.4.1 Conditions de Gauss 17
- 5.5 Relation de Conjugaison 17
- 5.6 Formule de conjugaison du dioptre plan 18

6. LAME A FACES PARALLELES 20
- 6.1 Définition 20
- 6.2 Propagation d'un rayon lumineux par la lame 20
- 6.3 Déplacement latéral du rayon lumineux 21
- 6.4 Image d'un objet ponctuel à travers une lame 22

7. PISME 24
- 7.1 Définition 24
- 7.2 Actions d'un prisme sur la lumière 24
- 7.3 Dispersion de la lumière blanche par un prisme 25
- 7.4 Marche d'un rayon monochromatique par un prisme 26

7.5 Conditions d'émergence 28
7.6 Prisme à réflexion totale 29
7.7 Etude de la déviation 29

8. DIOPTRE SPHERIQUE 34
8.1. Définition 34
8.2. dioptre sphérique convergent ou divergent 34
8.3. Relation de conjugaison d'un dioptre sphérique (positions objet/image) 36
8.4. Foyers d'un dioptre sphérique 37
8.5. Constructions géométriques 39
8.6. Grandissement du dioptre sphérique 40

9. LENTILLES MINCES 41
9.1 Définition 41
9.2 Centre optique d'une lentille minces 42
9.3 Différents types de lentilles 42
9.4 Condition d'obtention d'images nettes : Condition de gauss 43
9.5 Foyers et distances focales 44
9.6 Recherche d'images, d'objets – Construction géométrique : 45
9.7 Relations de conjugaison et de grandissement 46
9.8 Association de deux lentilles 48

10. L'OIEL ET LA VISION 51
10.1 Modélisation optique de l'œil 51
10.1.1 Anatomie de l'œil 51
10.1.2 L'œil réduit : *un modèle optique de l'œil* 52
10.2 Propriétés de l'œil normal 54
10.2.1 Accommodation 54
10.2.2 Distance d'accommodation : limites de la vision nette 56
10.2.3 Equations de l'œil 57
10.3 Anomalies de la vision et corrections 58
10.3.1 Myopie 58
10.3.2 Hypermétrope 61
10.3.3 Presbytie 64
10.3.4 Astigmatisme 65

11. INSTRUMENTS OPTIQUE 66
11.1 Notion de grossissement 66
11.2 La loupe 67
11.3 Microscope 69
11.4 Le grossissement d'une loupe 70
11.5 Le grossissement d'un microscope 71

TRAVAUX DIRIGES 72
Références et liens bibliographie 82