

**Université Moulay Ismail**  
**Faculté des sciences de Meknès**  
**Département de PHYSIQUE**



# **Cours d'optique géométrique**

**Filière SMPC : Semestre 2**

**Abdelhai RAHMANI**

**Année Universitaire 2019-2020**

## *Table de matière*

Introduction générale .....	1
Chapitre 1 : Bases de l'optique géométrique.....	2
1. Notion de la lumière.....	2
1.1 Théorie corpusculaire .....	2
1.2 Théorie ondulatoire .....	2
1.3 Approximation de l'optique géométrique .....	2
2. Milieux Optiques .....	3
2.1 Définitions .....	3
2.2 Indice du milieu .....	3
3. Propagation de la lumière.....	4
3.1 Chemin optique.....	4
3.2 Principe de Fermat .....	4
3.3 Principe de retour inverse de la lumière.....	4
3.4 Lois de Snell-Descartes.....	5
3.4.1 Première loi de Descartes .....	5
3.4.2 Deuxième loi de Descartes .....	5
3.4.3 Troisième loi de Descartes .....	5
Chapitre 2 : Systèmes optiques et images .....	7
1. Objets et images.....	11
1.1 Définitions .....	11
1.1.1 Objet et image :.....	11
1.1.2 Stigmatisme : .....	11
1.1.3 Aplanétisme : .....	12
1.2 Nature des objets et des images .....	13
2. Systèmes optiques.....	14
2.1 Définition.....	14
2.2. Propriétés des Systèmes centrés .....	14
2.2.1 Relation de conjugaison .....	14
2.2.2 Grandissement.....	14
2.2.3 Principaux éléments d'un système centré.....	15
2.3. Systèmes optiques à faces planes.....	17
2.3.1 Miroir plan.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.3.2 Dioptré plan .....	18
2.3.3 Prisme.....	21
2.4. Systèmes optiques à faces sphériques .....	23
2.4.1 Miroir sphérique.....	23
2.4.2 Dioptrés sphériques.....	27
Chapitre 3 : Les Lentilles .....	31
1. Définition et classification.....	31
1.1. Définition.....	31
1.2. Types de lentilles .....	31
1.2.1. Lentille à bords minces.....	31
1.2.2. Lentille à bords épais.....	32
1.3. Schémas conventionnels des lentilles minces.....	32
1.4. Relation de conjugaison dans les conditions de Gauss .....	33
1.4.1. Foyers objet, image et distance focale .....	33
1.4.2. Plans focaux, foyers secondaires .....	34

2. Image d'un petit objet perpendiculaire à l'axe .....	35
2.1. Cas d'une lentille convergente.....	36
2.2. Cas d'une lentille divergente .....	37
2.3. Association de lentilles.....	37
2.3.1. Doublet accolé .....	37
2.3.2. Doublet non accolé.....	38
2.3.3. Doublet afocal.....	39
Chapitre 4 : Les instruments d'optique .....	40
1. Grandeurs caractéristiques des instruments d'optique .....	40
1.1. Grossissement .....	40
1.2. Puissance .....	40
1.3. Pouvoir de résolution .....	41
1.4. Champ .....	41
2. L'œil et la vision .....	41
2.1. Description d'un œil.....	41
2.2. Equations de la vision .....	42
2.3. Anomalies de l'œil .....	42
2.3.1. La myopie .....	43
2.3.2. L'hypermétrope.....	43
2.3.3. La presbytie .....	44
2.3.4. L'astigmatisme.....	44
3. La loupe.....	45
3.1. Principe.....	45
3.2. Puissance .....	45
3.3. Grossissement .....	45
3.4. Latitude de mise au point .....	46
4. Le microscope.....	46
4.1. Principe.....	46
4.2 Puissance d'un microscope, puissance intrinsèque.....	47
4.3 Grossissement .....	47
Lexique de Terminologie Français-Arabe.....	48

## Introduction générale

Depuis l'Antiquité jusqu'au l'époque du laser en passant par la lampe à incandescence, la maîtrise de la lumière a été constamment une source de progrès pour l'humanité. Pourtant, il a fallu des siècles aux plus grands esprits comme Newton, Fresnel ou Einstein pour bien comprendre la nature réelle, étonnamment complexe, de la lumière. Les physiciens savent aujourd'hui utiliser ses multiples propriétés pour modeler la matière et l'adapter à leurs besoins.

L'optique est la branche de la physique qui a pour but l'étude de la propagation de la lumière. Le mot « optique » vient du grec ancien et signifie « voir ». Mais le mot "optique" a pris aujourd'hui un sens beaucoup plus large.

La classification des domaines de l'optique est structurée en deux branches : l'optique géométrique et l'optique ondulatoire ou physique, la première s'appliquant lorsque les longueurs d'onde mises en jeu dans l'étude sont très inférieures aux dimensions de l'appareil de mesure, la deuxième se manifestant lorsque les longueurs d'onde sont de l'ordre de grandeur de ces derniers.

Le développement de la théorie de la mesure et de divers champs d'investigations de la connaissance a introduit également d'autres classifications dont les plus importantes sont :

- l'optique énergétique qui tient compte de l'intensité de la lumière, de sa répartition et de son action sur les divers récepteurs ;
- l'optique quantique qui envisage l'aspect corpusculaire de la lumière dans ses échanges d'énergie avec la matière ;
- l'optique électronique qui étudie les manifestations ondulatoires de faisceaux d'électrons ;
- l'optique instrumentale fondée sur les calculs et les raisonnements de l'optique géométrique et de l'optique ondulatoire et qui tient compte des propriétés des matériaux et des divers effets physiques qui permettent la génération ou la mesure d'un signal optique ;
- l'optique non linéaire dont la finalité principale est la grande concentration de puissance dans un petit volume, réalisée en général à l'aide d'un laser.

Pour présenter les fondements et les lois de l'optique géométrique, on évoquera d'abord de façon détaillée la nature de la lumière et la notion d'onde lumineuse. On énoncera ensuite les principes pilotes de l'optique géométrique qui sont le principe de propagation rectiligne de la lumière et le principe de retour inverse de la lumière. On définira ensuite les milieux transparents à partir de leurs indices de réfraction et on introduira le concept de chemin optique. Enfin on verra comment mettre à profit ses lois pour comprendre le fonctionnement des systèmes optiques (les miroirs, dioptrés et lentilles) d'une part, et d'autre part, l'œil et les instruments d'optique (loupe, microscope etc.).

Ce document s'adresse aux étudiants en première année de Licence fondamentale de la filière SMPC. Il initie les étudiants aux notions de base de l'optique géométrique et leur application à l'étude des systèmes optiques comme les miroirs, les dioptrés et les lentilles et de construire les images données par ces systèmes et par leur association. Comme ils seront en mesure de connaître les principaux instruments d'optique et leur domaine d'utilisation dans l'observation des objets et l'obtention et la reproduction des images...

## Chapitre 1 : Bases de l'optique géométrique

### 1. Notion de la lumière

La nature de la lumière est restée longtemps sujet d'une large discussion. Elle fut considérée comme une onde à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle par Augustin Fresnel (1788-1827), qui put ainsi interpréter les expériences d'interférences et de diffraction. Albert Einstein montra en 1905 que certaines observations encore inexplicables, tel que l'effet photoélectrique, trouvaient une interprétation simple si l'on considérait que la lumière était constituée de corpuscules « quanta d'énergie », appelés photons. La lumière peut ainsi se comporter comme des particules ou comme une onde.

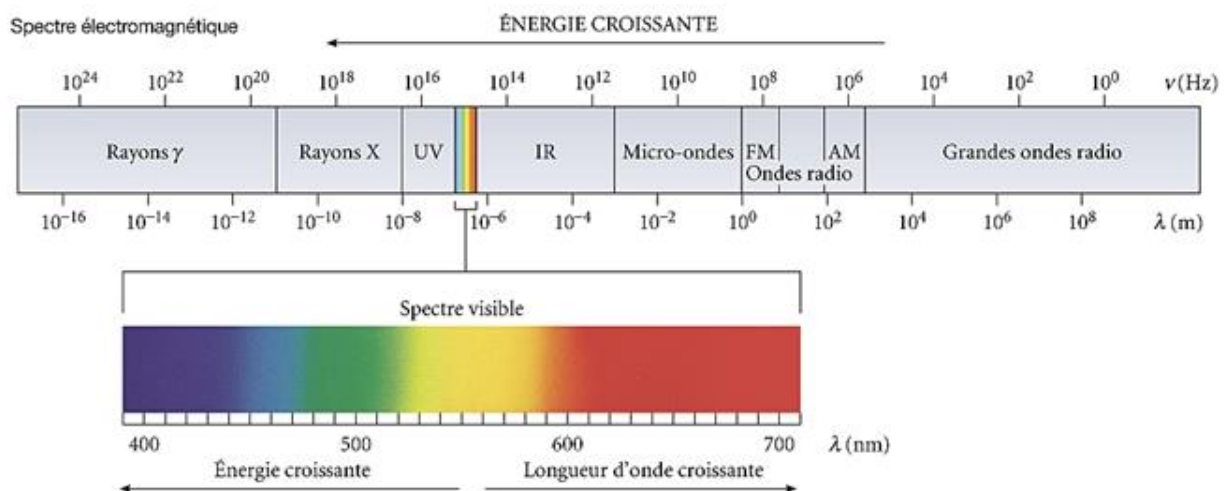
#### 1.1 Théorie corpusculaire

Selon la théorie corpusculaire la lumière est considérée comme un ensemble de particules (ou corpuscules) appelées photons qui ont une énergie  $E=h\nu$  : où  $h$  est la constante de Planck ( $h=6.63 \times 10^{-34}$  J.s) et  $\nu$  la fréquence de l'onde lumineuse en Hz, et qui se déplacent à une très grande vitesse ( $c=3.10^8$  m/s;  $c$  est la célérité de la lumière dans le vide).

#### 1.2 Théorie ondulatoire

D'après la théorie ondulatoire, la lumière est une onde électromagnétique. Cette onde est caractérisée par la propagation à la vitesse  $c$  d'un champ électrique et d'un champ magnétique couplés qui vibrent à une fréquence  $\nu$ .

La théorie électromagnétique de Maxwell n'impose aucune limite à la fréquence des ondes électromagnétiques. Le spectre des radiations électromagnétiques (Figure ci-après) s'étend des "ondes radio" aux "rayons  $\gamma$ ", la lumière visible ( $0,4\mu\text{m} < \lambda < 0,8 \mu\text{m}$ ) n'occupant qu'une très faible partie de ce spectre.

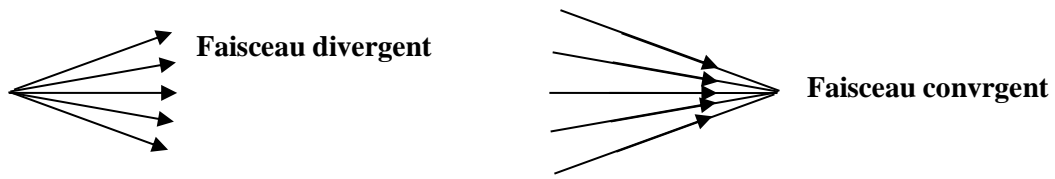


#### 1.3 Approximation de l'optique géométrique

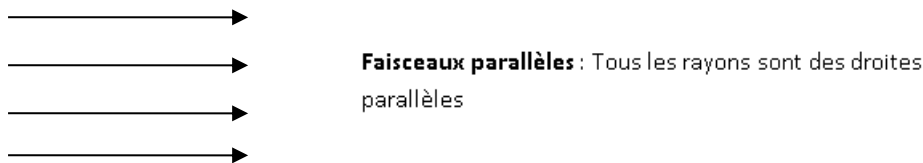
Nous avons vu que la lumière présentait une double nature : corpusculaire et ondulatoire. L'optique géométrique s'affranchit de cette dualité et considère la lumière en termes de rayons lumineux : dans le cadre de cette approximation théorique, on suppose que dans les milieux transparents et homogènes, la lumière se propage suivant des lignes droites qu'on appelle rayons lumineux.

Un ensemble de rayons forme ce qu'on appelle un faisceau lumineux. Un pinceau lumineux est un faisceau lumineux étroit.

Des rayons lumineux qui s'écartent l'un de l'autre sont appelés rayons lumineux divergents. Des rayons lumineux qui se rapprochent l'un de l'autre sont appelés rayons lumineux convergents.



Tous les rayons sont issus d'un même point appelé sommet du faisceau. Si le sommet est situé à l'infini, un faisceau conique tend vers un faisceau parallèle.



Il faut garder à l'esprit que l'optique géométrique n'est valable que si toutes les dimensions du problème, notamment la dimension des diaphragmes qui limitent les faisceaux, sont très supérieures à la longueur d'onde. Si non des phénomènes de diffraction interviennent, et la notion même de rayon n'a plus de sens.

## 2. Milieux Optiques

### 2.1 Définitions

La lumière peut se propager dans le vide et les milieux autres que le vide.

Un milieu est dit :

- **homogène** lorsque sa composition est la même en tous ses points; il est dit **inhomogène** dans le cas contraire,
- **isotrope** lorsque ses propriétés sont les mêmes dans toutes les directions; dans le cas contraire, il est **anisotrope**,
- **transparent** s'il laisse passer la lumière sans atténuation (l'eau, le verre, ...);
- **absorbant** s'il ne laisse passer qu'une partie de la lumière (verres fumés, ...).
- **opaque** s'il ne laisse pas passer la lumière

La permittivité  $\varepsilon$  d'un milieu est différente de celle  $\varepsilon_0$  du vide alors que, dans le cas d'un milieu non magnétique, sa perméabilité  $\mu$  est très peu différente de celle  $\mu_0$  du vide. Dans un milieu transparent, homogène et isotrope,  $\varepsilon$  est une fonction de la fréquence  $\nu$ . La vitesse  $v$  de propagation de la lumière dans le milieu s'écrit alors :  $v(\nu) = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon(\nu)\mu_0}}$

### 2.2 Indice du milieu

On appelle l'indice du milieu noté  $n$ , le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide (célérité  $c=3 \cdot 10^8$  m/s) à celle dans le milieu considéré :  $n(\nu) = \frac{c}{v(\nu)}$

De par leur définition, les indices des milieux transparents usuels, pour les fréquences optiques considérées, sont supérieurs à 1; mais certains milieux (plasmas, par exemple) peuvent avoir un indice inférieur à 1 dans certains domaines de fréquences.

Les milieux que nous considérerons dans ce cours seront transparents, homogènes, isotropes et d'indice supérieur ou égal à 1.

### 3. Propagation de la lumière

#### 3.1 Chemin optique

Considérons un milieu transparent, isotrope mais pas nécessairement homogène, l'indice  $n$  du milieu pouvant varier d'un point à un autre pour une radiation monochromatique donnée. Soit  $(C)$  une courbe continue quelconque joignant deux points  $A$  et  $B$ , et  $ds$  un élément de longueur de cette courbe.

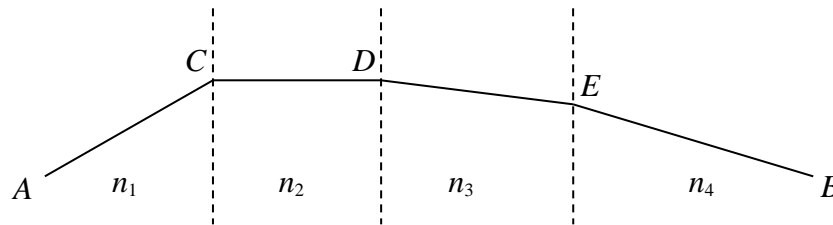
On appelle " chemin optique  $[AB]$  ", entre les points  $A$  et  $B$  le long de la courbe  $(C)$ , l'intégrale curviligne :

$$L=[AB] = \int_C n ds$$

Comme  $n = \frac{c}{v}$  et  $ds = v dt$ , cette expression s'écrit également :

$$L=[AB] = \int_A^B c dt = c(t_B - t_A) = c \Delta t$$

Si le rayon lumineux traverse une succession de milieux d'indices différents  $(n_1, n_2, \dots)$ , le trajet optique est alors :

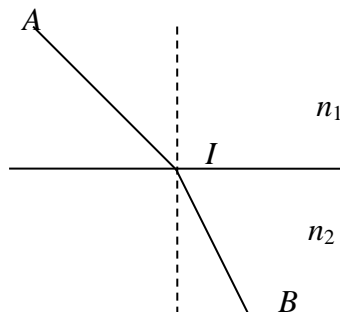


$$[AB] = n_1 AC + n_2 CD + n_3 DE + n_4 EB$$

#### 3.2 Principe de Fermat

**Énoncé:** La lumière se propage entre deux points en suivant la trajectoire qui minimise le temps de parcours.

Cet énoncé permet de retrouver immédiatement la propagation rectiligne des rayons dans un milieu homogène d'indice  $n$ . En effet, il faut dans ce cas minimiser la quantité  $\int_A^B n ds$  et nous savons que le plus court chemin entre deux points est la ligne droite.



Exemple : Le trajet optique suivi par la lumière pour aller du point  $A$  au point  $B$  en passant par le point  $I$  ( $I$  étant situé sur la surface de séparation de deux milieux homogènes et isotropes d'indices  $n_1$  et  $n_2$ ) est le chemin optique  $[AB] = n_1 AI + n_2 IB$  le plus court.

#### 3.3 Principe de retour inverse de la lumière

Il résulte du principe de Fermat que le rayon joignant  $A$  à  $B$  est identique au rayon joignant  $B$  à  $A$ . Cette conséquence est nommée principe de retour inverse de la lumière. Il résulte de ce principe que le trajet suivi par la lumière est indépendant du sens de propagation.

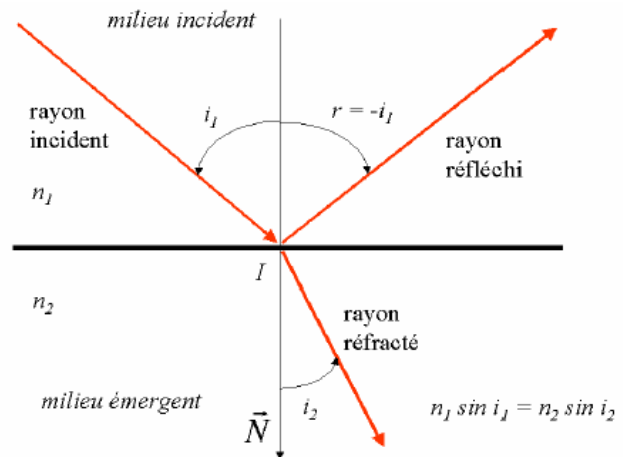
### 3.4 Lois de Snell-Descartes

Les lois de Snell-Descartes ont été établies en Angleterre par SNELL en 1621 puis retrouvées en 1637 par DESCARTES.

Considérons l'espace constitué de deux milieux isotropes et homogènes. Nous appellerons "**rayon incident**" le rayon lumineux se propageant dans le premier milieu. A l'interface de ces deux milieux, deux nouveaux rayons sont créés : un "**rayon réfléchi**" et un "**rayon transmis**" ou "**rayon réfracté**". Le rayon réfléchi se propage dans le même milieu que le rayon incident, tandis que le rayon réfracté se propage dans le deuxième milieu.

On considère la normale au plan de séparation (le dioptre), on note :

- ✓  $i_1$  : l'angle que fait le rayon incident avec la normale ;
- ✓  $i_2$  : l'angle que fait le rayon réfracté avec la normale ;
- ✓  $r$  : l'angle que fait le rayon réfléchi avec la normale.

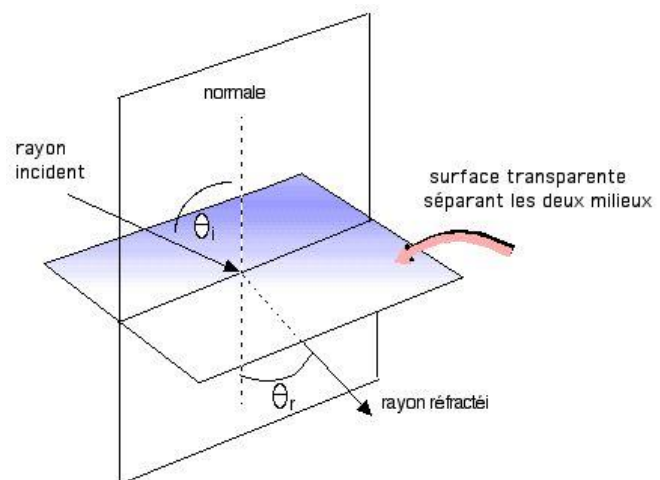


#### 3.4.1 Première loi de Descartes

Soit un rayon lumineux arrivant sur un dioptre. Celui-ci peut être assimilé localement à un plan (plan tangent) et on appelle normale toute droite perpendiculaire à ce plan. On appelle plan d'incidence le plan contenant le rayon incident et la normale au point d'incidence.

#### Énoncé de la première loi

Les rayons réfléchi et réfracté sont dans le plan d'incidence.



#### 3.4.2 Deuxième loi de Descartes

Appelée aussi loi de la réflexion, la deuxième loi de Descartes annonce que les angles d'incidence et de réflexion ont des valeurs égales mais des signes opposés  $r = -i_1$

#### 3.4.3 Troisième loi de Descartes

Appelée aussi loi de la réfraction, la troisième loi de Descartes annonce que l'angle de réfraction  $i_2$  est lié à l'angle d'incidence  $i_1$  par la relation :

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

#### Cas où $n_1 < n_2$ : réfraction limite

Le rayon lumineux passe du milieu 1 moins réfringent au milieu 2 plus réfringent. Il en résulte que  $\sin i_2 < \sin i_1$  ; les angles  $i_1$  et  $i_2$  étant compris entre 0 et  $\pi/2$ , sinus et angles varient dans le même sens, soit  $i_2 < i_1$ . Le rayon réfracté se rapproche donc de la normale.



Un rayon incident normal, pour lequel  $i_1=0$ , entre sans déviation  $i_2=0$ . Lorsque  $i_1$  croît,  $i_2$  croît aussi tout en restant inférieur à  $i_1$ . A l'incidence rasante ( $i_1=\pi/2$ ), l'angle de réfraction est maximal (angle de réfraction limite noté  $i_{lim}$ ) et vaut :

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

### Cas où $n_1 > n_2$ : réflexion totale

Le rayon lumineux passe maintenant du milieu 1 plus réfringent au milieu 2 moins réfringent. La troisième loi de Snell-Descartes implique alors que Le rayon réfracté s'écarte donc de la normale et l'angle de réfraction est maximal ( $i_2=\pi/2$ ) pour un angle d'incidence limite  $i_r$  tel que :

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

Si l'angle d'incidence est supérieur à  $i_r$ , il n'y a plus de rayon réfracté (en effet, on a alors  $\sin i_2 > 1$ ,  $i_2$  n'est donc plus défini), le rayon incident est totalement réfléchi : on parle de réflexion totale.

### Exercices d'application

#### Exercice 1 : Aspect ondulatoire de la lumière

Une radiation monochromatique de longueur d'onde dans le vide  $\lambda = 448 \text{ nm}$  passe de l'air dans l'eau d'indice  $n=1.33$ .

1. calculer la longueur d'onde dans l'eau.
2. calculer la vitesse de cette radiation dans l'eau.
3. calculer sa fréquence dans l'air puis dans l'eau.
4. supposons que l'onde associée à cette radiation est une onde plane monochromatique, calculer le chemin optique entre deux surfaces d'ondes  $S_1$  et  $S_2$  séparées d'une distance  $d=2\mu\text{m}$  dans l'air.

#### Solution :

- 1) longueur d'onde dans l'eau  $\lambda_2$  ?

On sait que  $\lambda = v \cdot T = v/f$

$T$  et  $f$  sont indépendantes du milieu traversé.

$$\text{Donc } T_1 = T_2 \rightarrow \frac{\lambda_1}{v_1} = \frac{\lambda_2}{v_2} \rightarrow \lambda_2 = \lambda_1 \frac{v_2}{v_1}$$

$$\text{Or } n = \frac{c}{v} \rightarrow v = \frac{c}{n}$$

$$\text{Alors } \lambda_2 = \lambda_1 \frac{n_1}{n_2} \quad \text{AN } \lambda_2 = 336.1 \text{ nm}$$

- 2) Vitesse de la radiation dans l'eau  $v_2$  ?

$$\text{On a } v = \frac{c}{n_2} \quad \text{AN } v_2 = 2.25 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

- 3) fréquences respectives  $f_1$  et  $f_2$  dans l'air et dans l'eau ?

$$\text{On sait que } f = \frac{v_1}{\lambda_1} \quad f_1 \rightarrow \frac{c}{n_1 \lambda_1} \quad \text{AN } f_1 = 6.69 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

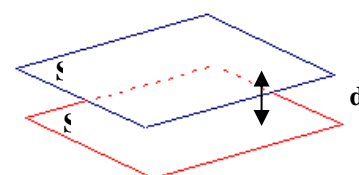
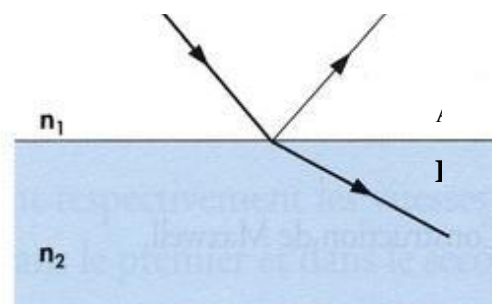
$$\text{Puisque } f \text{ est indépendante du milieu traversé } f_1 = f_2$$

- 4) la radiation est une onde plane, les surfaces d'ondes  $S_1$  et  $S_2$  sont donc des plans parallèles séparés d'une distance  $d=2\mu\text{m}$ .

Le chemin optique  $L$  entre les deux surfaces est :

$$L = \int_{S_1, S_2} n dl = n \int_{S_1, S_2} dl = nd$$

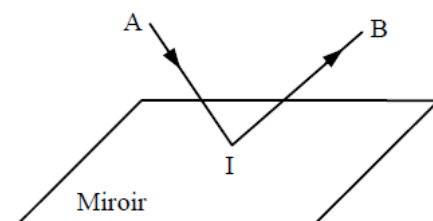
$$\text{AN : } L = 2\mu\text{m}$$



#### Exercice 2 : Principe de Fermat et lois de la réflexion

Soient deux points  $A(0,0,a)$  et  $B(b,0,c)$  situés d'un même côté d'un miroir placé dans le plan  $z = 0$  et  $v$  la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu.

1. Calculer le temps  $t$  mis par la lumière pour parcourir le chemin  $AIB$  (I étant un point de la surface du miroir).
2. Evaluer la variation  $dt$  correspondant à un petit déplacement de  $I$  sur la surface du miroir.
3. Dédire du principe de Fermat la relation liant l'angle d'incidence  $i$  à l'angle de réflexion  $i'$  et montrer que le rayon réfléchi appartient au plan d'incidence.



**Solution :**

1. Les coordonnées du point I sont  $(x,y,0)$ . On a donc :

$$AI = \sqrt{x^2 + y^2 + a^2}$$

$$IB = \sqrt{x^2 + y^2 + c^2}$$

Le temps mis par la lumière pour parcourir le chemin AIB est :

$$t = \frac{AI}{v} + \frac{IB}{v} = \frac{1}{v} \left( \sqrt{x^2 + y^2 + a^2} + \sqrt{(x-b)^2 + y^2 + c^2} \right)$$

2. On a :  $dt = \frac{\partial t}{\partial x} dx + \frac{\partial t}{\partial y} dy$

soit :

$$dt = \frac{1}{v} \left( \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + a^2}} + \frac{x-b}{\sqrt{(x-b)^2 + y^2 + c^2}} \right) dx$$

$$+ \frac{1}{v} \left( \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2 + a^2}} + \frac{y}{\sqrt{(x-b)^2 + y^2 + c^2}} \right) dy$$

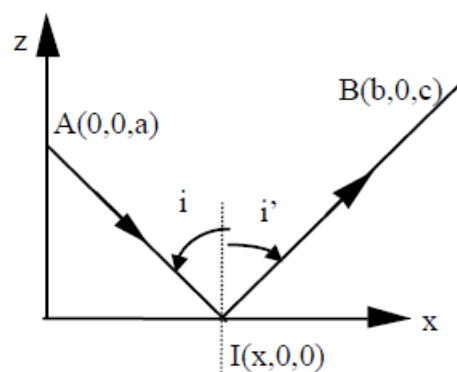
$$L = ct = \frac{c}{v} (AI + IB) \Rightarrow dL = cdt$$

3. D'après le principe de Fermat,  $dL=0$ , par conséquent,

$$\begin{cases} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + a^2}} + \frac{x-b}{\sqrt{(x-b)^2 + y^2 + c^2}} = 0 \\ \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2 + a^2}} + \frac{y}{\sqrt{(x-b)^2 + y^2 + c^2}} = 0 \end{cases}$$

On obtient donc un système de deux équations :

$$\begin{cases} y = 0 & (1) \\ \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} + \frac{x-b}{\sqrt{(x-b)^2 + c^2}} = 0 & (2) \end{cases}$$



Il en résulte que I appartient au plan  $(A, \vec{i}, \vec{k})$  qui est le plan d'incidence.

$$\sin i = \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} \quad \text{et} \quad \sin i' = \frac{x-b}{\sqrt{(x-b)^2 + c^2}}$$

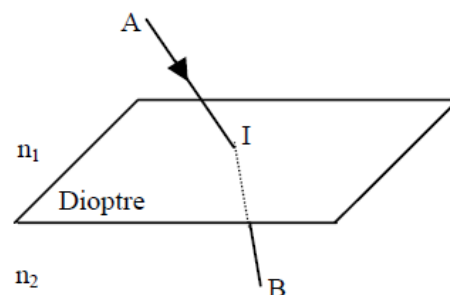
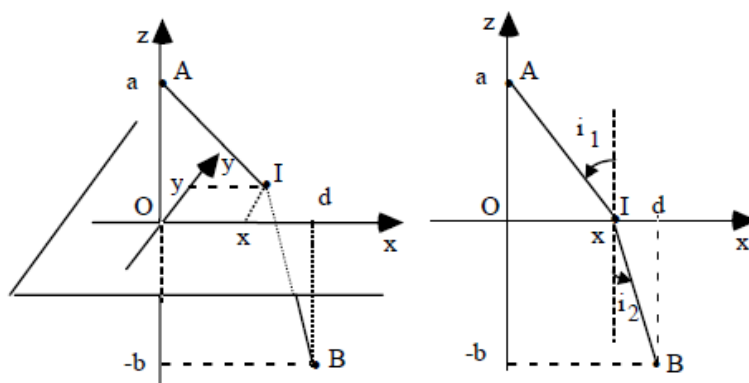
Par ailleurs, l'équation (2) implique donc que  $\sin i = -\sin i'$ , soit  $i = -i'$ . Nous avons bien retrouvé la loi de Descartes pour la réflexion.

**Exercice 3 :** Principe de Fermat et lois de la réfraction

Soient deux points A et B situés de part et d'autre d'une surface plane séparant deux milieux où la lumière se propage avec les vitesses  $v_1$  et  $v_2$ . On choisit un système d'axes  $Oxyz$  tel que la surface de séparation des deux milieux constitue le plan  $xOy$ . De plus, A et B ont pour coordonnées : A  $(0,0,a)$  et B  $(d,0,-b)$ .

1. Appliquer le principe de Fermat pour déterminer, dans le plan de séparation  $xOy$ , la position du point I où le trajet lumineux passe du milieu (1) au milieu (2). Conclure.
2. Appliquer ce résultat au problème suivant : une personne se promène sur une plage à la limite du sable et de l'eau. Arrivée au point O de sa promenade, elle aperçoit un baigneur en danger en un point B de l'eau et veut le secourir le plus rapidement possible.

En supposant qu'elle court trois fois plus vite qu'elle nage, déterminer en quel point de la grève elle devra se mettre à l'eau.

**Solution :**

1. Soient  $(x,y,0)$  les coordonnées du point I et  $t$  le temps mis pour aller de A à B.

On a :

$$t = \frac{AI}{v_1} + \frac{IB}{v_2} = \frac{1}{v_1} \sqrt{x^2 + y^2 + a^2} + \frac{1}{v_2} \sqrt{(d-x)^2 + y^2 + b^2}$$

Le chemin optique entre les points A et B s'écrit :

$$L = L(x, y) = ct = \frac{c}{v_1} \sqrt{x^2 + y^2 + a^2} + \frac{c}{v_2} \sqrt{(d-x)^2 + y^2 + b^2}$$

D'après le principe de Fermat, on a :

$$dL = cdt = \frac{\partial L}{\partial x} dx + \frac{\partial L}{\partial y} dy = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial y} = 0 \end{array} \right.$$

et par suite :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial x} = \frac{c}{v_1} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + a^2}} - \frac{c}{v_2} \frac{d-x}{\sqrt{(d-x)^2 + y^2 + b^2}} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial y} = \frac{c}{v_1} \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2 + a^2}} + \frac{c}{v_2} \frac{y}{\sqrt{(d-x)^2 + y^2 + b^2}} = 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial x} = \frac{c}{v_1} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + a^2}} - \frac{c}{v_2} \frac{d-x}{\sqrt{(d-x)^2 + y^2 + b^2}} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial y} = \frac{c}{v_1} \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2 + a^2}} + \frac{c}{v_2} \frac{y}{\sqrt{(d-x)^2 + y^2 + b^2}} = 0 \end{array} \right. \quad (2)$$

L'équation (2) montre que  $y = 0$ , ce qui entraîne que le point I est sur l'axe Ox ; il est donc dans le plan d'incidence qui est le plan (AOB). On retrouve ainsi la première loi de Descartes pour la réfraction.

L'équation (1) devient :

$$\frac{c}{v_1} \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} = \frac{c}{v_2} \frac{d-x}{\sqrt{(d-x)^2 + b^2}}$$

Par ailleurs, on a

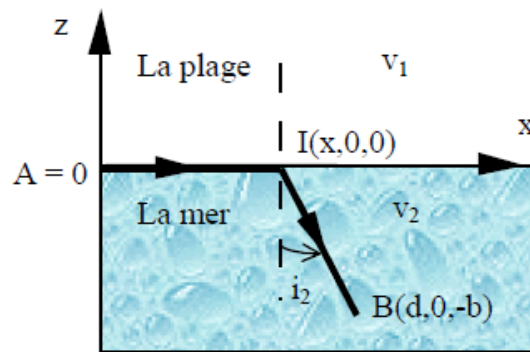
$$\sin i_1 = \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}}, \quad \sin i_2 = \frac{d-x}{\sqrt{(d-x)^2 + b^2}}, \quad n_1 = \frac{c}{v_1} \quad \text{et} \quad n_2 = \frac{c}{v_2}$$

Ainsi l'équation (2) établit la seconde loi de Descartes

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

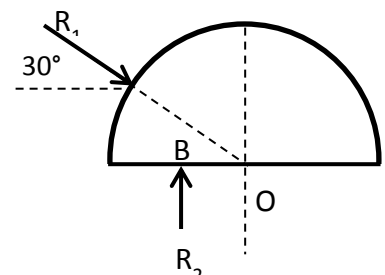
2- Le promeneur se trouve sur l'axe Ox (voir figure),  $a = 0$  et  $v_1 = 3v_2$ . En utilisant la relation précédente, on a :

$$1 = 3 \frac{d-x}{\sqrt{(d-x)^2 + b^2}}. \quad \text{D'où :} \quad x = d - \frac{b}{2\sqrt{2}}$$



**Exercice 4 : Réflexion totale**

Considérons un hémicylindre en verre d'indice  $n=1.5$ , de centre O et de rayon R, placé dans l'air d'indice 1. Déterminer les trajets des rayons incidents, indiqués sur la figure ci-dessous jusqu'à leurs sorties de ce bloc de verre. Le rayon  $R_1$  accède au bloc de verre à partir du point A et le rayon  $R_2$  y rentre du point B tel que  $OB=R/2$ . Indication :  $\sin(30^\circ)=1/2$ ,



**Solution :**

$i$  et  $r$  sont respectivement les angles d'incidence et de réfraction.

**Rayon R1**

**En A**  $\sin i = n \sin r, i = 0 \Rightarrow r = 0$ ,

donc Le rayon continue son trajet sans être dévié,

**En O:**  $n \sin i = \sin r, \sin i_1 = \frac{1}{n} \Rightarrow i_1 = 41,81^\circ$

$\sin i = n \sin r, i = 60^\circ > i_1 \Rightarrow$  **réflexion totale**

**En C:**  $\sin i = n \sin r, i = 0 \Rightarrow r = 0$ ,

Le rayon sortant est porté par le support OC.

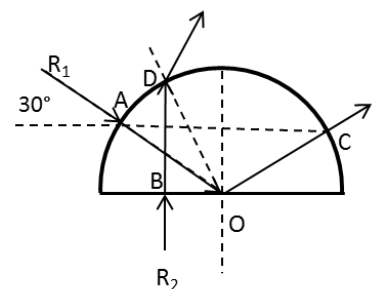
**Rayon R2**

**En B:** Le rayon R2 arrive sous incidence normale, il n'est pas dévié.

**En D:**  $n \sin i = \sin r, \sin i = \frac{R/2}{R} = \frac{1}{2} \Rightarrow i = 30^\circ$

$1,5 \sin 30 = \sin r \Rightarrow r = 48,58^\circ$

Le rayon sort du bloc de verre en subissant une réfraction.



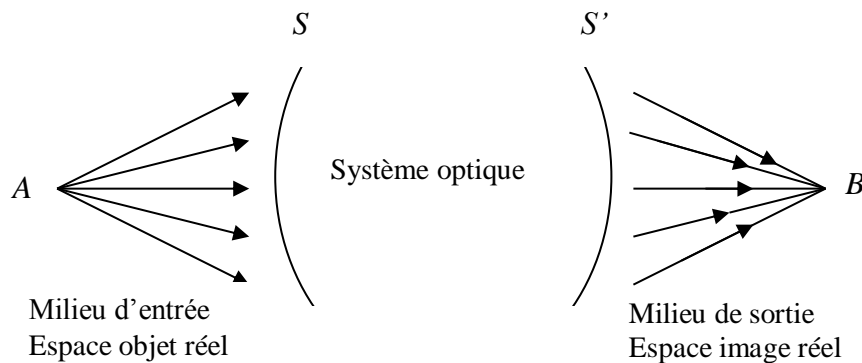
## Chapitre 2 : Systèmes optiques et images

### 1. Objets et images

#### 1.1 Définitions

##### 1.1.1 Objet et image :

Soit un point A : si tous les rayons lumineux issus de A et passant à travers un système optique arrivent en un point B, alors B est appelé image de l'objet A. Du fait du principe de retour inverse, A et B peuvent changer de rôle (l'objet devient l'image et réciproquement) : on dit que A et B sont conjugués.



##### 1.1.2 Stigmatisme :

Le stigmatisme est une notion fondamentale de l'optique géométrique qui caractérise la netteté de l'image.

##### a. Stigmatisme rigoureux

Lorsque tous les rayons issus de A passent en B après un système optique, on dit que l'on réalise le "stigmatisme rigoureux" pour le couple AB.

La condition du stigmatisme rigoureux :  $L_{AB} = [AB] = \text{cte}$  (Principe de Fermat)

##### b. Stigmatisme approché

Si le système optique donne du point objet A une petite tâche (ensemble de points images), on dit qu'il ne réalise qu'un stigmatisme approché.

##### c. Conditions de stigmatisme approché. Approximation de Gauss

##### Cas où les points sont sur l'axe

Un système centré est approximativement stigmatique pour les points de l'axe :

- ✓ si l'on ne considère que des rayons faisant un petit angle avec l'axe c'est à-dire des rayons para axiaux.
- ✓ si les angles d'incidence des rayons sur les différents dioptrés du système sont faibles de sorte que l'on puisse écrire la loi de la réfraction sous la forme :

$$n_1 i_1 \approx n_2 i_2 \quad (i \text{ petit } \sin(i) \cong i)$$

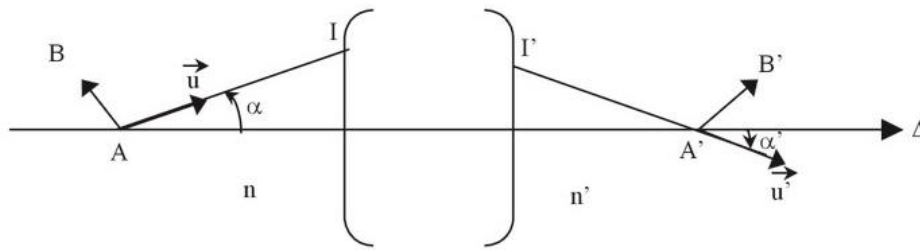
Ces conditions sont appelées "conditions de stigmatisme approché de Gauss "

##### Cas où les points sont en dehors de l'axe. Aplanétisme

Considérons un système centré stigmatique pour un couple de points A et A' de l'axe. Le chemin optique  $[AA']$  est constant et indépendant de la direction u du rayon incident et de la

direction de  $u'$  du rayon émergent, donc de tout déplacement des points d'incidence et d'émergence  $I$  et  $I'$  des rayons sur le système.

On a :  $[AA'] = \text{constante}$  pour quel que soit  $I, I'$



Le système sera également stigmatique pour le couple de points  $B$  et  $B'$ , proches de  $A$  et  $A'$ , s'il en est de même pour le chemin optique  $[BB']$  :

$$[BB'] = \text{constante quel que soit } I, I'$$

$B$  et  $B'$  étant proches de  $A$  et  $A'$ , on peut écrire :

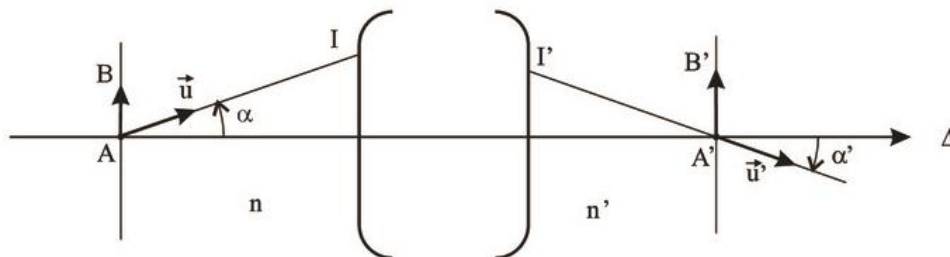
$$[BB'] = [AA'] + d [AA']$$

$$[BB'] = [AA'] + d (n \vec{u} \cdot \vec{AI}) + d (n' \vec{u}' \cdot \vec{I'A'})$$

Le système sera stigmatique pour le couple de points  $B$  et  $B'$  si l'on a la relation :

$$-n \vec{u} \cdot \vec{AB} + n' \vec{u}' \cdot \vec{A'B'} = \text{constante}$$

En particulier, cette relation est vraie pour un objet  $AB$  et une image  $A'B'$  situées dans des plans de front perpendiculaires à l'axe optique  $\Delta$ .



La relation exprimant le stigmatisme du système pour le couple de points  $B$  et  $B'$  s'écrit alors, en fonction des angles  $\alpha$  et  $\alpha'$  des rayons incident  $AI$  et émergent  $I'A'$  avec l'axe optique :

$$-n \overline{AB} \sin \alpha + n' \overline{A'B'} \sin \alpha' = 0 \text{ Pour tout } \alpha$$

Ou encore : 
$$n \overline{AB} \sin \alpha = n' \overline{A'B'} \sin \alpha'$$

Cette relation est appelée " relation d'Abbe "

Tout système qui vérifie cette relation pour des objets situés dans un plan de front perpendiculaire à l'axe est dit "aplanétique ".

Pour des rayons para axiaux, les angles  $\alpha$  et  $\alpha'$  sont faibles et la relation précédente s'écrit :

$$n \overline{AB} \alpha = n' \overline{A'B'} \alpha' \quad \text{Relation de Lagrange-Helmholtz}$$

### 1.1.3 Aplanétisme :

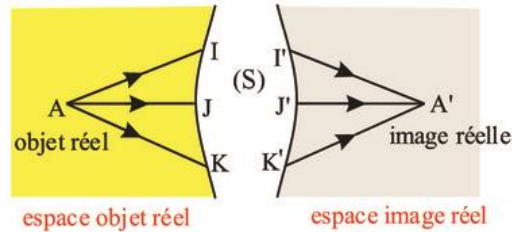
Soit un système optique possédant un axe de symétrie ou axe optique ; le système est dit centré si cette symétrie est de révolution. On dit que le système est aplanétiste si tout objet plan orthogonal à l'axe optique possède une image plane et normale également à cet axe.

## 1.2 Nature des objets et des images

On distingue, en optique, deux types d'objets et d'images : "réels" et "virtuels".

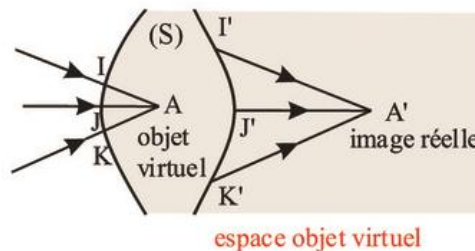
On prend le sens de propagation de la lumière pour définir le départ et l'arrivée du système optique (miroir, lentilles,...).

- Un objet situé avant le système optique est réel. S'il est en arrière on parle d'objet virtuel.
- Une image située après le système optique est réelle. Si elle est placée avant elle est alors virtuelle.



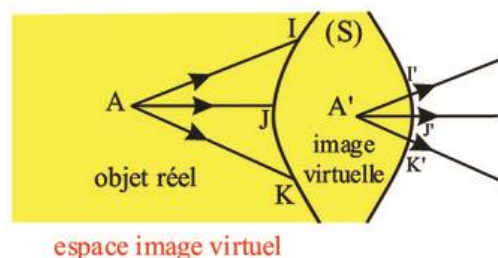
On remarquera que, dans le cas d'un point objet réel A, les chemins optiques [AI], [AJ] et [AK] ont des valeurs algébriques positives puisque les sens de parcours de A vers les différents points d'incidence (I,J,K) sur la face d'entrée du système optique (S) s'effectuent dans le sens de la lumière.

On dit que A est un objet virtuel pour le système (S) si ce sont les prolongations des rayons incidents qui passent par A.



On notera que les chemins optiques [AI], [AJ] et [AK] ont des valeurs algébriques négatives puisque les sens de parcours de A vers les différents points d'incidence (I,J,K) sur la face d'entrée du système optique (S) s'effectuent dans le sens inverse de la lumière.

Tous les points situés après la face d'entrée de (S) appartiennent à l'espace objet virtuel : un objet se trouvant dans cet espace est donc virtuel.



Si seuls les prolongements des rayons émergents se coupe en A', alors A' est une image virtuelle donnée par (S). Les chemins optiques [I'A'], [J'A'] et [K'A'] ont des valeurs algébriques négatives.

On dira que des points objet ou image sont virtuels si les chemins optiques qui partent ou aboutissent à ces points ont des valeurs algébriques négatives.



## 2. Systèmes optiques

### 2.1 Définition

On appelle système optique une succession de surfaces séparant des milieux d'indices différents (dioptries) et de surfaces réfléchissantes (miroirs). Un système optique dioptrique comporte uniquement des dioptries alors que les systèmes formés de miroirs seulement sont dits catoptriques. Si un système optique est composé de miroirs et de dioptries, il s'agit alors d'un système catadioptrique.

Le plus souvent, les surfaces séparant les différents milieux présentent une symétrie de révolution autour d'un axe.

### 2.2. Propriétés des Systèmes centrés

Un système centré est un système optique formé par une succession de surfaces réfringentes ou réfléchissantes séparant des milieux transparents tel que l'ensemble présente un axe de symétrie de révolution.

Cet axe de symétrie est appelé " axe optique " du système. Il est orienté dans le sens de propagation de la lumière avant la traversée du système. Les centres de toutes les surfaces sont alignés sur cet axe et la symétrie impose que les surfaces planes soient disposées perpendiculairement à cet axe.

#### 2.2.1 Relation de conjugaison

Le système donne, d'un point objet A sur l'axe, une image A' également sur l'axe. La position de A' dépend de celle de A. Il existe donc une relation mathématique qui relie les positions de A et A'. Cette relation est dite " relation de conjugaison ".

#### 2.2.2 Grandissement

##### a. Grandissement linéaire transversal $\gamma$

Le grandissement linéaire transversal  $\gamma$  définit le rapport des valeurs algébriques des dimensions linéaires de l'image A'B' à celles de l'objet AB :

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

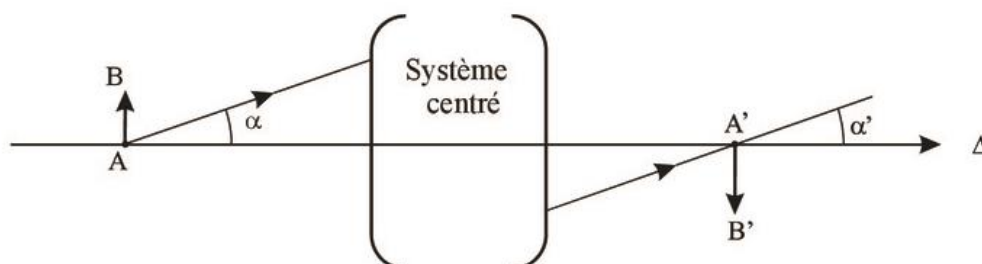
$\gamma$  est une valeur algébrique sans dimension, positive si l'image et l'objet ont même sens, négative si l'image est renversée par rapport à l'objet.

##### b. Grandissement angulaire G

On appelle grandissement angulaire G le rapport algébrique des angles d'émergence  $\alpha'$  et d'incidence  $\alpha$  :

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

Les angles  $\alpha$  et  $\alpha'$  étant comptés positivement dans le sens direct.



**c. Relation entre G et  $\gamma$**

Un système centré aplanétique et utilisé dans les conditions de stigmatisme approché de Gauss, vérifie la relation de Lagrange-Helmholtz :  $n \overline{AB} \alpha = n' \overline{A'B'} \alpha'$ , qui peut encore s'écrire :

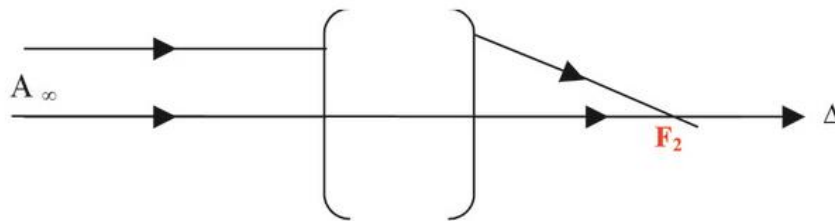
$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{n}{n'} \frac{\alpha}{\alpha'} = \frac{n}{n'} \frac{1}{G} = \gamma$$

Donc  $\gamma G = \frac{n}{n'}$

**2.2.3 Principaux éléments d'un système centré**

**a. Foyer image**

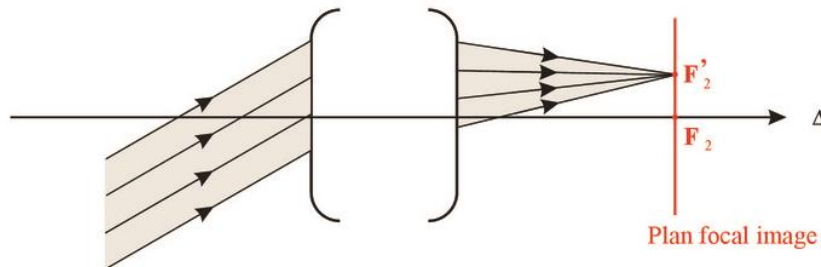
Le foyer image c'est une caractéristique du système optique, il correspond à l'image d'un objet situé à l'infini sur l'axe optique.



Un rayon issu d'un point objet à l'infini sur l'axe, parallèle donc à l'axe, émerge du système en passant par un point  $F_2$  de l'axe. L'axe optique représentant un rayon particulier issu du même objet, le point  $F_2$  est l'image de l'objet  $A_\infty$ . Il est appelé " foyer image ".

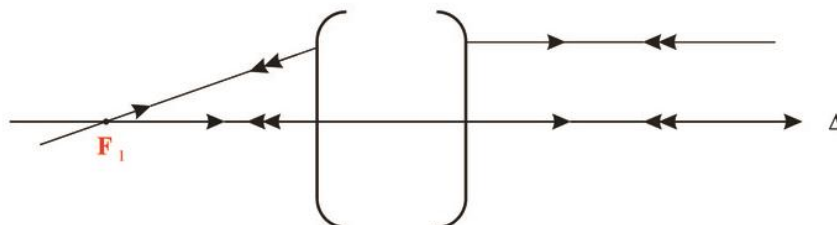
**b. Plan focal image**

Le système étant aplanétique, l'image  $F_2'$  de tout point objet à l'infini, non nécessairement dans la direction de l'axe, est située dans un plan perpendiculaire à l'axe et passant par  $F_2$ . Ce plan constitue le " plan focal image " et le point  $F_2'$  est appelé " foyer image secondaire ".



**c. Foyer objet**

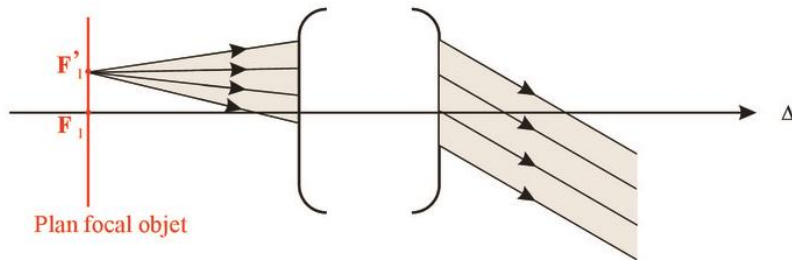
Le foyer objet est un point situé dans l'espace objet, dont l'image est rejeté à l'infini.



Soit un rayon issu d'un point à l'infini dans la direction de l'axe et provenant de " l'espace image ". Il coupe en émergeant du système, dans "l'espace objet ", l'axe optique en un point  $F_1$  qui représente l'image du point à l'infini sur l'axe. D'après la loi du retour inverse de la lumière, l'image du point objet  $F_1$  est à l'infini sur l'axe. Le point  $F_1$  représente le "foyer objet " du système et tout rayon incident passant par  $F_1$  émerge du système parallèlement à l'axe.

**d. Plan focal objet**

Le système étant aplanétique, l'image de tout point situé dans le plan de front contenant  $F_1$  (plan perpendiculaire à l'axe) est à l'infini mais pas dans la direction de l'axe. Le plan de front contenant  $F_1$  est appelé " plan focal objet " et les différents points  $F_1'$  du plan représentent les "foyers secondaires objet".



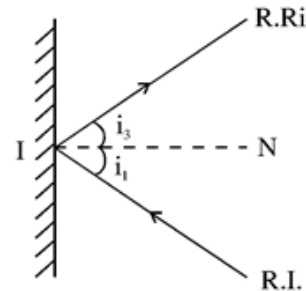
## Chapitre 3 : Systèmes optiques à faces planes

### 3.1. Miroir plan

On appelle miroir plan toute surface plane réfléchissante, elle s'obtient par dépôt d'une fine couche de métal (Ag, Al, Au) sur la surface plane d'une plaque de verre.

Exemples : plaque de métal polie, surface argentée, surface au repos d'un liquide, etc...

On représente schématiquement un miroir plan par la trace de son plan et l'on hachure le côté non réfléchissant.



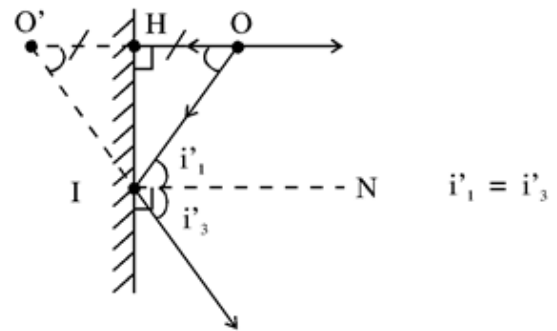
#### 3.1.1. Image donnée par un miroir plan

Un point objet O et son point image O' donné par un miroir sont symétriques par rapport au plan du miroir.

Soient deux rayons issus d'un point objet O, l'un normal à la surface du miroir ( $i_1 = 0$ ), l'autre fait un angle d'incidence quelconque  $i'_1$ .

Le rayon normal OH se réfléchit aussi normalement ( $i_3 = i_1 = 0$ ).

Les deux rayons réfléchis semblent provenir de O', leur point de concours, situé par conséquent sur la normale OH.



Les deux rayons réfléchis semblent provenir de O', leur point de concours, situé par conséquent sur la normale OH.

Dans le triangle IOO', on vérifie que :  $\widehat{O'OI} = i'_1$  (égalité de construction géométrique)  
 $\widehat{OO'I} = i'_3$  (égalité de construction géométrique)

Donc  $\widehat{O'OI} = \widehat{OO'I} \Rightarrow$  le triangle IOO' est isocèle. En particulier  $HO = HO'$ , O' est donc la symétrique de O par rapport au plan miroir.

Ce qui est vrai pour un point objet, sera vrai pour tous les points objets d'un objet quelconque.

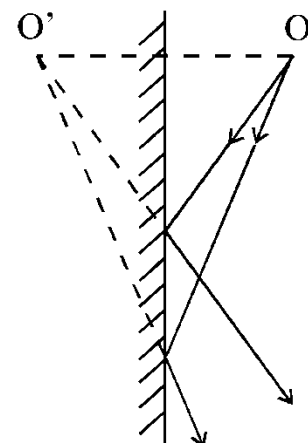
**Un objet et son image sont symétriques par rapport au plan d'un miroir.**

#### 3.1.2. Nature de l'image donnée par un miroir plan

Si l'objet est réel, il est situé à l'avant du miroir pour envoyer un faisceau divergent sur celui-ci.

Par rapport au plan du miroir, le symétrique d'un faisceau divergent, est aussi divergent. L'image est donc virtuelle, située à l'arrière du miroir.

Tous les rayons issus de O se recoupent, après réflexion, en un point O' symétrique de O par rapport au miroir. Ce dernier est rigoureusement stigmatique.

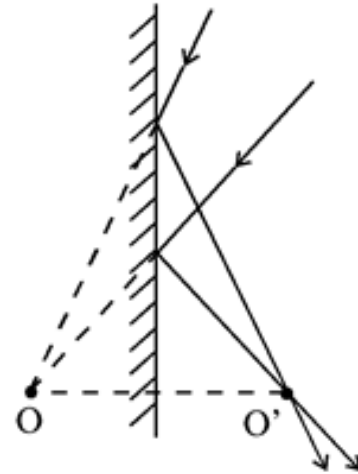


**Le miroir plan donne d'un objet réel, une image virtuelle.**

Inversement, si l'objet est virtuel, il semble situé à l'arrière du miroir puisque le faisceau incident est convergent.

Le faisceau réfléchi, symétrique du faisceau incident par rapport au plan du miroir, est aussi convergent. L'image est donc réelle, située à l'avant du miroir.

**Le miroir plan donne d'un objet virtuel une image réelle.**



### 3.1.3. Champ d'un miroir plan

Un champ visuel est la portion d'espace qu'un individu peut voir.

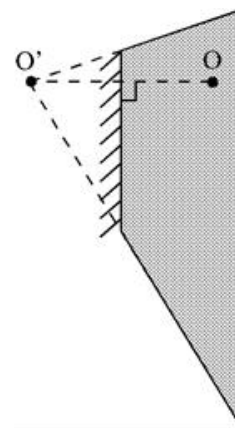
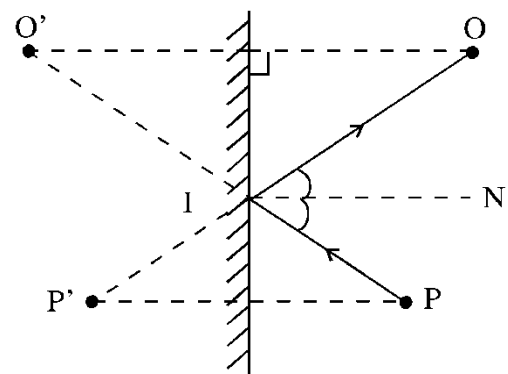
Le champ d'un miroir plan est donc la portion d'espace qu'un individu peut voir grâce à ce miroir.

Ainsi, si O est l'œil d'un observateur, en regardant le miroir il peut "voir" un point objet P, (en fait il voit son image P'), si un rayon issu de P, après réflexion, parvient en O.

Le principe de retour inverse de la lumière fait qu'inversement si P est "vu" par O, P "voit" aussi O (ou plutôt O' son image).

Pour qu'un point de l'espace soit vu par O dans le miroir, il suffit donc que ce point puisse être relié à O', symétrique de l'œil de l'observateur par rapport au miroir, par un segment de droite coupant le miroir.

Le champ du miroir est donc délimité par les droites joignant O' aux extrémités de celui-ci.



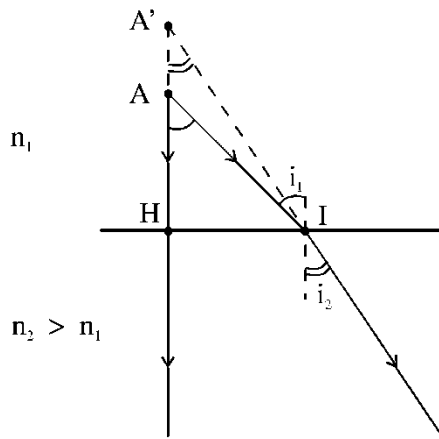
champ du miroir plan pour l'observateur situé en O

## 3.2 Dioptré plan

Un dioptré plan est constitué par l'ensemble de deux milieux transparents, d'indices différents, séparés par une surface plane.

### 3.2.1. Angle de réfraction limite

La réfraction d'un rayon lumineux à la traversée d'un dioptré plan obéit à la troisième loi de Descartes :  $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$ .

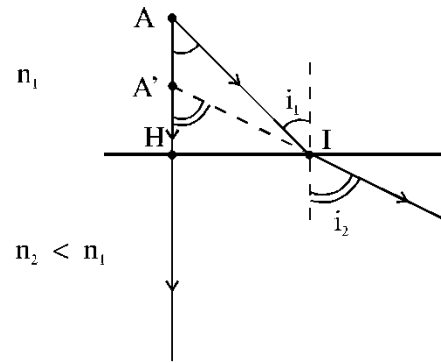


$$n_1 < n_2 ; i_1 > i_2$$

$$0 \leq i_1 \leq \pi/2$$

$$i_1 = \pi/2 ; i_L = \arcsin(n_1 / n_2)$$

$i_L$  : angle limite de réfraction



$$n_1 > n_2 ; i_1 < i_2$$

$$0 \leq i_1 \leq \lambda = \arcsin(n_2 / n_1)$$

$$i_1 = \lambda ; i_L = \pi/2$$

$\lambda$  : angle d'incidence limite

$i_1 > \lambda$  ; **réflexion totale**

Exemple : verre-air ( $n_1 = 1.45$  et  $n_2 = 1$ )

$$\lambda = 43^\circ 36'$$

### 3.2.2. Position de l'objet et de l'image donnée par le dioptre plan

Considérons 2 rayons incidents, l'un normal au dioptre plan, l'autre oblique.

Le rayon normal AH n'étant pas dévié, l'image A' donnée par le dioptre se forme sur la direction de AH.

Par ailleurs le rayon incident oblique et le rayon réfracté associé étant situés de part et d'autre de la normale au point d'incidence I, A' se situe du même côté que A, par rapport à la surface du dioptre.

A' point de recoupement du rayon émergent avec la droite AH, est l'image de A. La position de A' obéit aux équations suivantes.

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

$$\tan(i_1) = \frac{HI}{HA} ; \tan(i_2) = \frac{HI}{HA'} \Rightarrow \frac{\tan(i_1)}{\tan(i_2)} = \frac{HA'}{HA} (*)$$

En général, A'H dépend de l'angle d'incidence  $i_1$  et par conséquent du point I. Il n'y a donc pas de stigmatisme rigoureux.

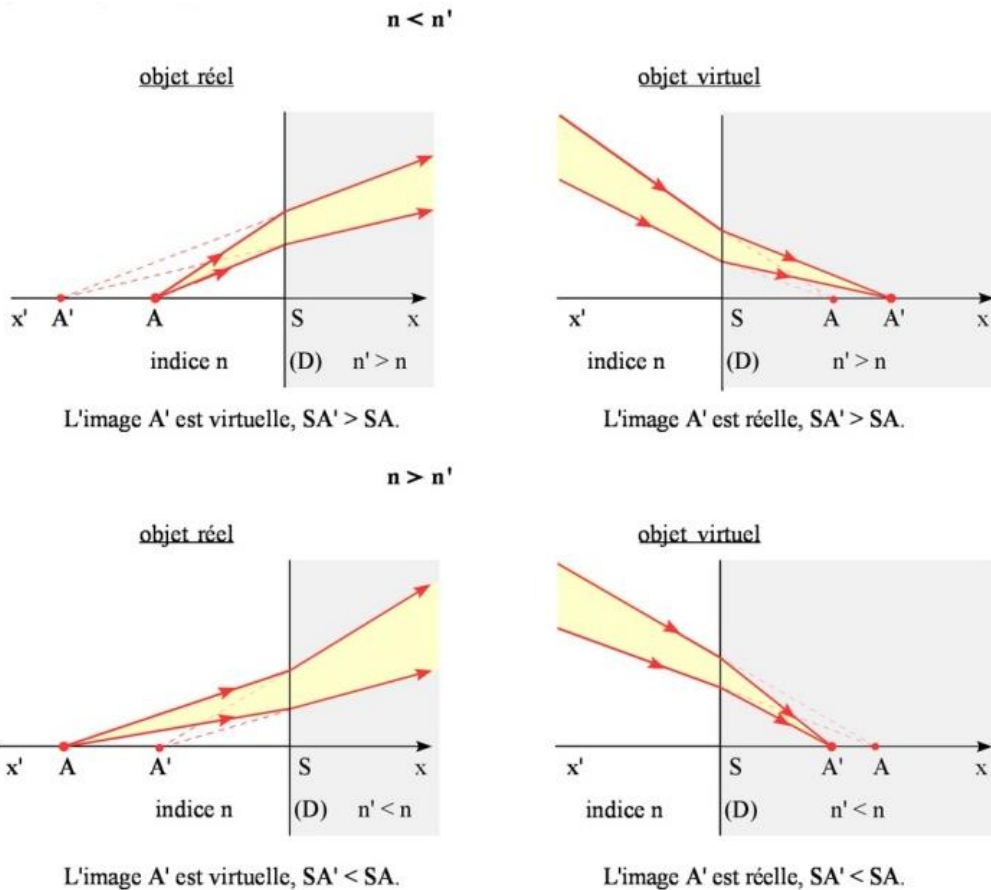
Dans le cas où les rayons sont peu inclinés par rapport à la normale (Conditions de Gauss ;  $i_1$  et  $i_2 \ll 1$  radian), la relation (\*) devient :

$$\frac{\tan(i_1)}{\tan(i_2)} \approx \frac{\sin(i_1)}{\sin(i_2)} \approx \frac{i_1}{i_2} \approx \frac{HA'}{HA} \approx \frac{n_2}{n_1}$$

La position de l'image A' dépend uniquement des indices  $n_1$  et  $n_2$ . Elle ne dépend pas de l'angle d'incidence  $i_1$ . On réalise ainsi la condition de stigmatisme approché dans les conditions de Gauss.

### 3.2.3. Nature l'image donnée par le dioptre plan

#### a. Cas d'un point objet



#### b. Image d'un objet étendu

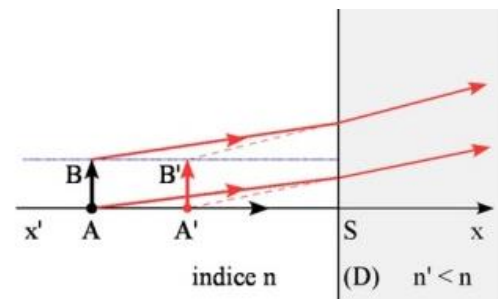
##### Cas d'un objet parallèle au dioptre.

Les points A et B étant à la même distance du dioptre, leurs images A' et B' le sont également.

L'image A'B' a même orientation que l'objet AB et même dimension :  $A'B' = AB$ .

Le grandissement transversal  $\gamma$  défini par  $\gamma =$

$$\frac{A'B'}{AB} \text{ est donc égal à } 1$$

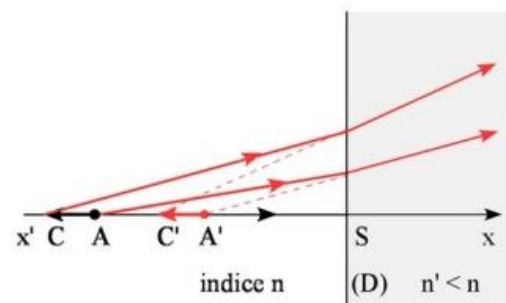


##### Cas d'un objet perpendiculaire au dioptre.

Les positions des images A' et C' des points A et C situés sur la normale au dioptre sont données par la relation de conjugaison :

$$\frac{n'}{SA'} = \frac{n}{SA} \text{ et } \frac{n'}{SC'} = \frac{n}{SC}$$

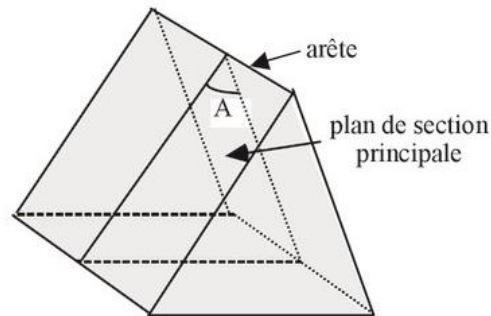
$$D'où \quad \frac{n'}{n} = \frac{SC'}{SC} = \frac{SA'}{SA} = \frac{SC' - SA'}{SC - SA} = \frac{A'C'}{AC}$$



### 3.3. Prisme

#### 3.3.1 Définition

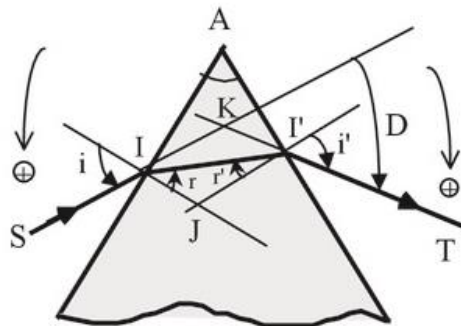
Le prisme est un milieu réfringent, transparent, homogène et isotrope limité par deux dioptries plans qui se coupent suivant une droite appelée "arête" du prisme. On caractérise le prisme par l'angle  $A$  du dièdre formé par les deux plans et par son indice  $n$  de réfraction.



Le prisme est utilisé soit pour changer le sens ou la direction de propagation d'un rayon lumineux à la suite de réfractons ou de réflexions, soit pour analyser une lumière polychromatique grâce à ses propriétés dispersives.

#### b. Marche d'un rayon lumineux

Pour tracer la marche d'un rayon lumineux à travers le prisme, on se place en général dans un plan de section principale perpendiculaire à l'arête du prisme. Ce plan est considéré comme le plan d'incidence et tous les rayons provenant d'un rayon incident et traversant le prisme sont contenus dans ce plan. En effet, un rayon incident  $SI$  se réfracte en  $I$  en restant dans ce plan; s'il rencontre la deuxième face en  $I'$ , il émerge dans le même plan.



Convention de signe :

Les angles étant toujours orientés de la normale vers le rayon, on convient de noter positivement :

- les angles  $i$  et  $r$  à l'entrée lorsqu'ils sont orientés dans le sens trigonométrique
- les angles à la sortie,  $i'$  et  $r'$  ainsi que la déviation  $D$ , lorsqu'ils sont orientés dans le sens inverse.

#### c. Formules du prisme

A l'entrée et à la sortie du prisme, les lois de Descartes donnent :

**1<sup>ère</sup> loi** :  $II'$  et  $I'T$  appartiennent au plan d'incidence.

**2<sup>ème</sup> loi** :  $\sin i = n \sin r$  (1)

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

En regardant le triangle  $III'$  on vérifie :  $A = r + r'$  (3)



D'après ces formules et nos conditions d'étude **les quatre angles  $i$ ,  $r$ ,  $r'$  et  $i'$  sont positifs ou nuls et inférieurs ou égaux à  $\frac{\pi}{2}$ .**

Déviaton du rayon lumineux par le 1<sup>er</sup> dioptr (vers la base) :  $D_1 = i - r$ .

Déviaton par le seconde dioptr (vers la base) :  $D_2 = i' - r'$ .

Déviaton totale à travers le prisme (vers la base) :  $D = D_1 + D_2 = i + i' - (r + r')$

$$\mathbf{D = i + i' - A \quad (4)}$$

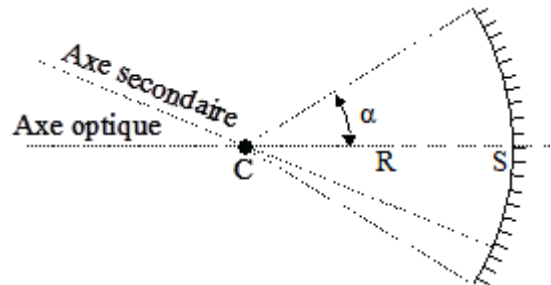
## 2.4. Systèmes optiques à faces sphériques

### 2.4.1 Miroir sphérique

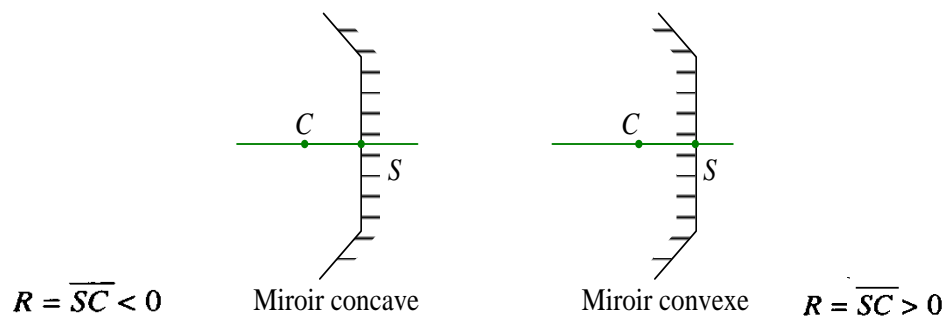
#### a. Définition

Un miroir sphérique est une surface sphérique, de centre C, rendue réfléchissante par un dépôt métallique. En fait, de manière générale, un miroir sphérique est uniquement constitué d'une calotte sphérique.

Le centre C de la sphère dans laquelle a été découpé le miroir est le centre du miroir, son rayon R est celui du miroir. L'axe de la calotte sphérique est l'axe optique du miroir. Son intersection S avec le miroir est le sommet du miroir. Le demi angle au sommet  $\alpha$  est l'angle d'ouverture du miroir. Les droites passant par C sont les axes secondaires du miroir.



Il existe deux types de miroirs sphériques : Si le centre C est dans le milieu de propagation de la lumière, le miroir est concave. Il est convexe dans le cas contraire.

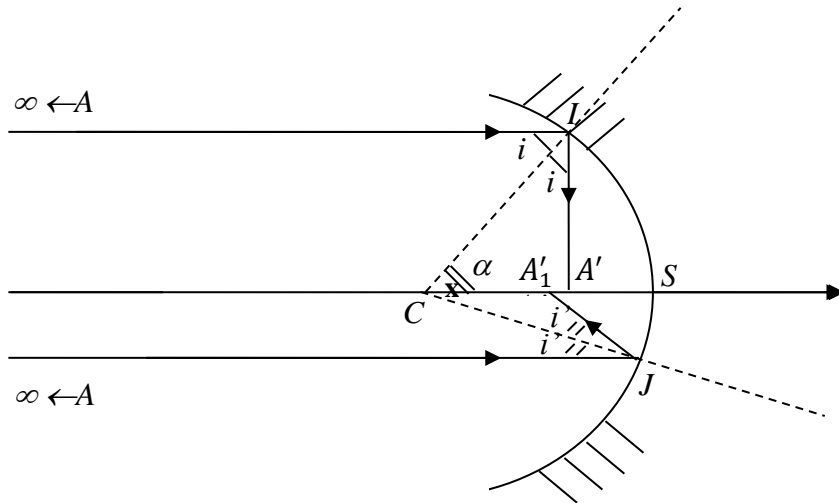


Tout rayon lumineux passant par le centre du miroir est perpendiculaire au miroir. Il se réfléchit sur lui-même sans subir de déviation.

#### b. Condition de stigmatisme rigoureux

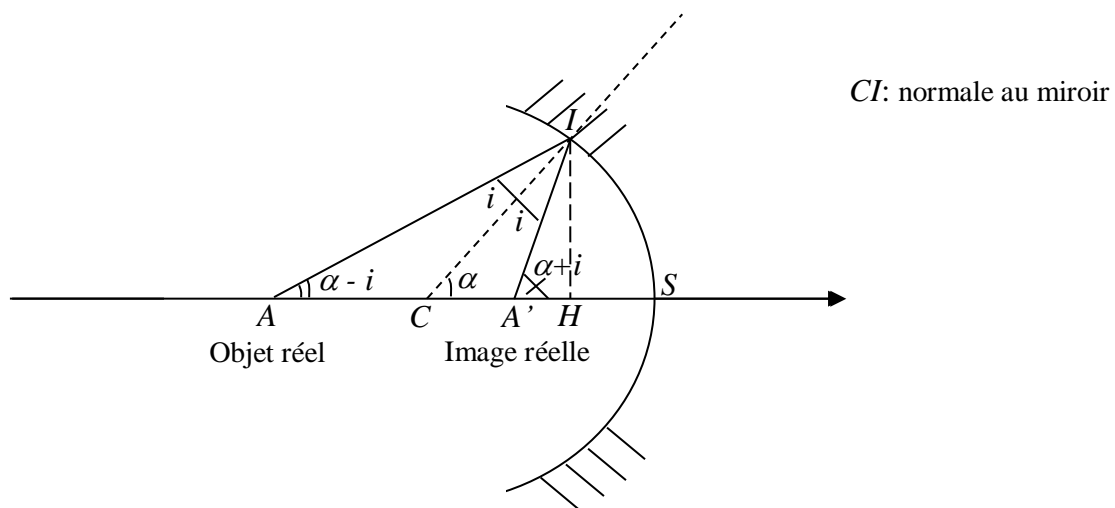
Prenons l'exemple d'un point ponctuel situé à l'infini (les deux rayons issus de A parallèles à l'axe optique SC), l'intersection du rayon réfléchi  $IA'$  avec le rayon AS non dévié dépend de l'angle  $\alpha$ , donc de la distance du rayon incident AI par rapport à l'axe CS. En effet, le rayon réfléchi  $JA'_1$  coupe l'axe CS en  $A'_1$  différent de  $A'1$ . Ceci montre qu'en général, un miroir sphérique n'est pas rigoureusement stigmatique à l'exception du centre C dont l'image est lui-même et les points de la surface du miroir.

Il y aura stigmatisme approché si les rayons issus de A sont peu inclinés par rapport à l'axe SC et proches de ce dernier ( $\alpha \ll 1$  rad c.-à-d.  $i \ll 1$  rad). Il s'agit de l'approximation de Gauss ou de l'optique paraxiale.



### c. Relation de conjugaison

Il s'agit de la relation qui relie la position d'un objet à celle de son image à travers un miroir sphérique.



Dans l'approximation de Gauss ( $\alpha \ll 1$  rad), le sommet  $S$  peut être confondu avec  $H$ , projection orthogonale de  $I$  sur l'axe optique  $AS$ .

$$\operatorname{tg}(\alpha - i) \approx \alpha - i = \frac{IH}{HA} \approx \frac{IH}{SA} \quad (1)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha) \approx \alpha = \frac{IH}{HC} \approx \frac{IH}{SC} \quad (2)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha + i) \approx \alpha + i = \frac{IH}{HA'} \approx \frac{IH}{SA'} \quad (3)$$

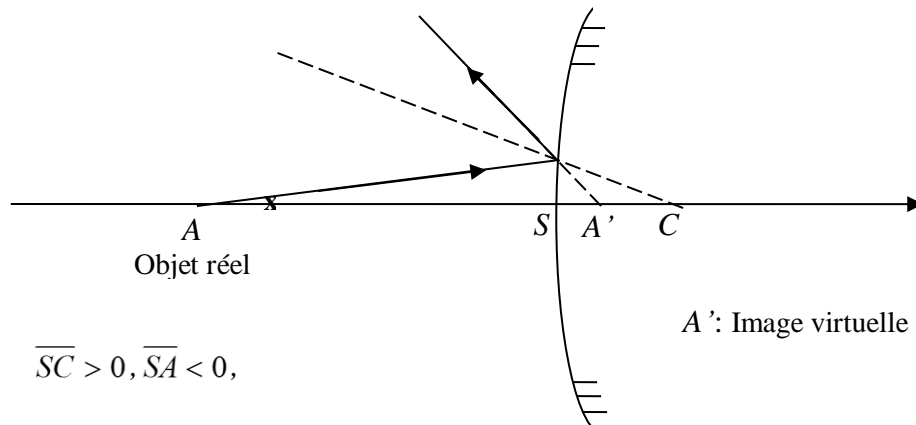
$$\text{D'après (1)+(3)} \Rightarrow 2\alpha = \frac{IH}{SA} + \frac{IH}{SA'} = \frac{2IH}{SC}$$

$$\frac{1}{SA} + \frac{1}{SA'} = \frac{2}{SC}$$

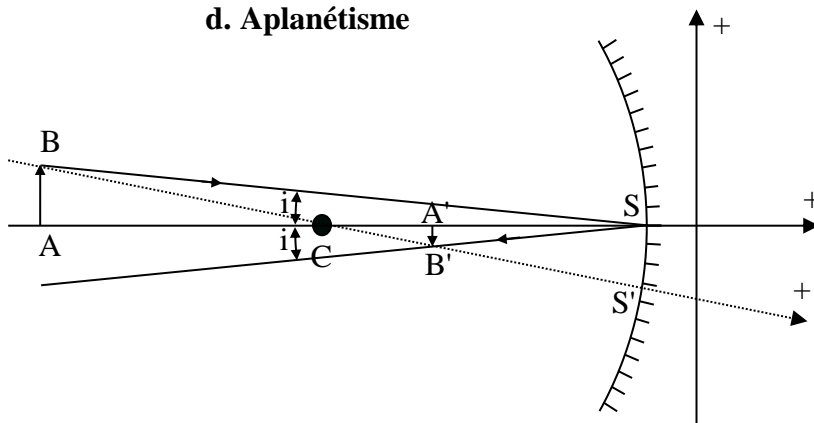
L'introduction des valeurs algébriques permet d'aboutir à une relation plus générale s'appliquant aux miroirs convexes également.

$$\overline{SA} = -SA < 0, \quad \overline{SA'} = -SA' < 0, \quad \overline{SC} = -SC < 0$$

$$\frac{1}{\overline{SA'}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{2}{\overline{SC}}$$



#### d. Aplanétisme



Soit un point A de l'axe principal et A' son conjugué dans les conditions de Gauss. AB est un petit objet dans un plan frontal, c'est-à-dire perpendiculaire à l'axe principal. B est sur un axe secondaire; si les rayons issus de B sont voisins de l'axe principal, ils le sont aussi de l'axe secondaire CB si AB est suffisamment petit. B a donc un conjugué B'. Mais AB étant petit  $\overline{CA} \approx \overline{CB}$ ,  $\overline{CA'} \approx \overline{CB'}$  et l'image A'B' est à peu près perpendiculaire à l'axe principal, c'est-à-dire contenue dans un plan frontal dont on dira qu'il est conjugué du plan frontal de l'objet.

Lorsqu'il en est ainsi pour un système centré, c'est-à-dire présentant une symétrie de révolution autour d'un axe appelé axe optique du système, on dit que celui-ci est **aplanétique**.

#### e. Grandissement

Le grandissement  $\gamma$  est le rapport de la taille de l'image par celle de l'objet.

$$\tan i = \frac{A'B'}{SA'} = \frac{AB}{SA} \Rightarrow |\gamma| = \frac{A'B'}{AB} = \frac{SA'}{SA} = \frac{CA'}{CA}$$

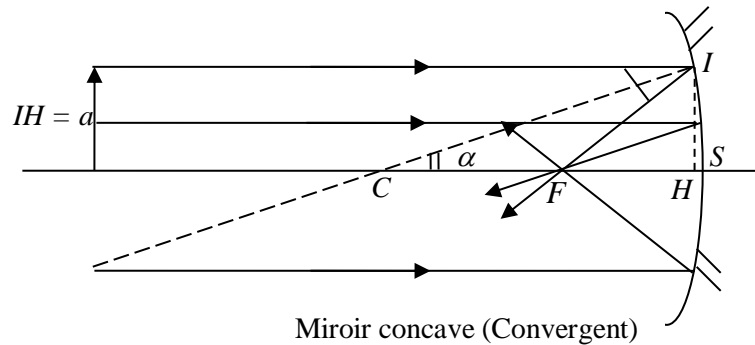
En notation algébrique, le grandissement s'écrit :

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

#### f. Foyer principal, plan focal, distance focale

On nomme foyer principal image le point image conjugué du point objet situé à l'infini sur l'axe principal et foyer principal objet le point objet conjugué du point image situé à l'infini sur l'axe principal.

La position du foyer  $F$  d'un miroir sphérique coïncide avec celle de l'image d'un objet situé à l'infini. En effet, lorsque  $\overline{SA}$  tend vers l'infini ( $1/\overline{SA} \rightarrow 0$ ), la relation de conjugaison d'un miroir sphérique se résume à  $\frac{1}{\overline{SF}} + 0 = \frac{2}{\overline{SC}}$ . On en déduit alors la position du foyer par rapport au sommet du miroir  $\overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2}$



Les foyers principaux image et objet du miroir sphérique sont confondus en un point  $F$  nommé foyer principal du miroir, situé sur l'axe principal, à égale distance du centre et du sommet.

On nomme distance focale la distance algébrique  $f = \overline{SF}$  (avec pour sens positif celui de la lumière incidente).

**Distance focale :**  $f = \overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2}$ , pour un miroir concave  $f < 0$ , pour un miroir convexe  $f > 0$

La vergence est définie par :  $C = \frac{n}{f}$  où  $n$  est l'indice du milieu dans lequel se trouve le miroir. La vergence d'un miroir sphérique est donc :  $C = \frac{2n}{\overline{SC}}$  elle s'exprime en dioptrie ( $m^{-1}$ ).

La vergence est une grandeur algébrique. Le miroir est dit convergent lorsqu'elle est négative, et divergent si elle est positive.

Le **plan focal** est le plan frontal qui contient le foyer principal. Son plan frontal conjugué est donc à l'infini.

De la définition du foyer principal, il résulte que :

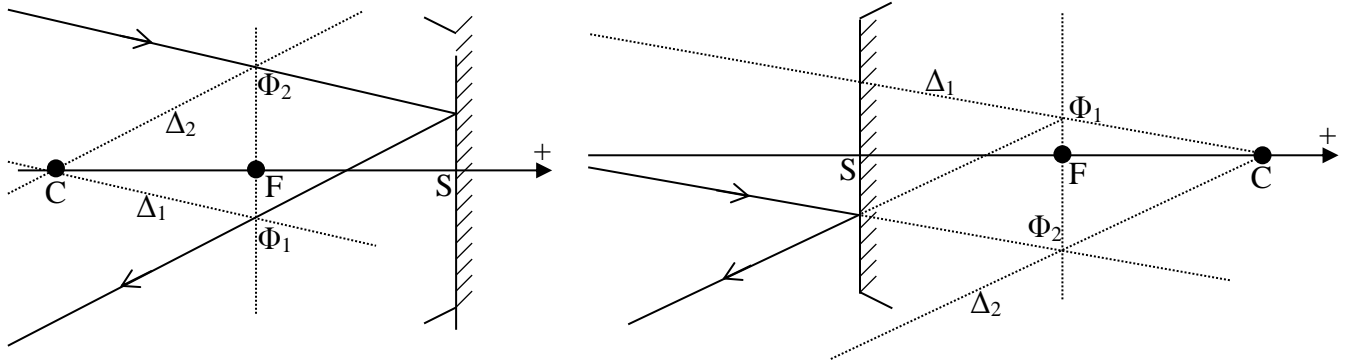
1. Tout rayon incident parallèle à l'axe principal émerge en passant par le foyer principal.
2. Tout rayon incident passant par le foyer principal émerge parallèlement à l'axe principal

Pour un **axe secondaire**, peu incliné sur l'axe principal, on a les mêmes propriétés :

L'intersection d'un axe secondaire avec le plan focal est le foyer secondaire correspondant, c'est le conjugué du point à l'infini de cet axe secondaire.

1. Tout rayon incident (paraxial) parallèle à un axe secondaire donné émerge en passant par le foyer secondaire correspondant.
2. Tout rayon incident (paraxial) passant par un foyer secondaire donné émerge parallèlement à l'axe secondaire correspondant.

Les propriétés des foyers secondaires permettent de construire le rayon émergent correspondant à un rayon incident paraxial donné.

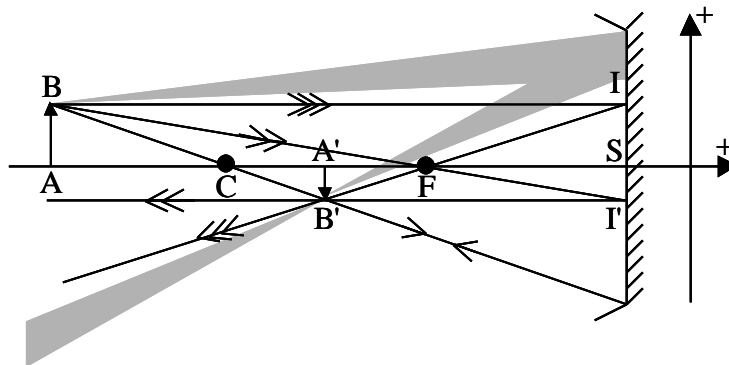


**Miroir concave**

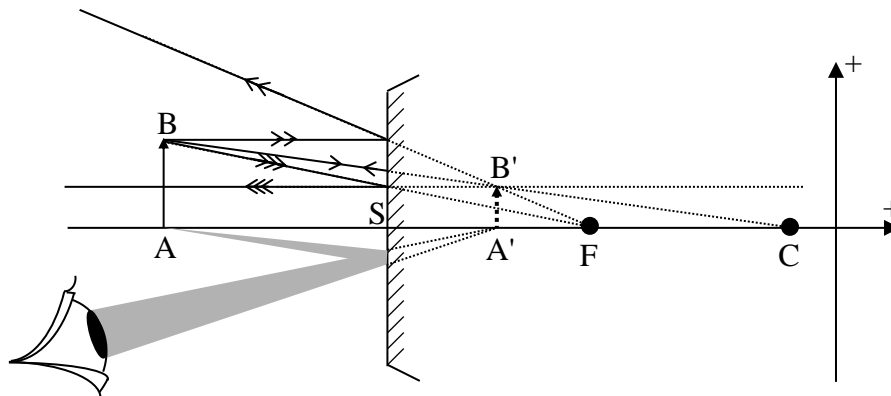
**Miroir convexe**

Pour construire l'image d'un petit objet AB situé dans un plan frontal, A étant sur l'axe principal, il suffit d'utiliser les propriétés du foyer principal pour obtenir l'image B' de B. (On peut aussi utiliser le fait qu'un rayon passant par C se réfléchi en revenant sur lui même). L'image A' de A sera dans le même plan frontal que B'.

Exemple avec un miroir concave, un objet réel, une image réelle, renversée, plus petite que l'objet



Exemple avec un miroir convexe, un objet réel, une image virtuelle, droite, plus petite que l'objet

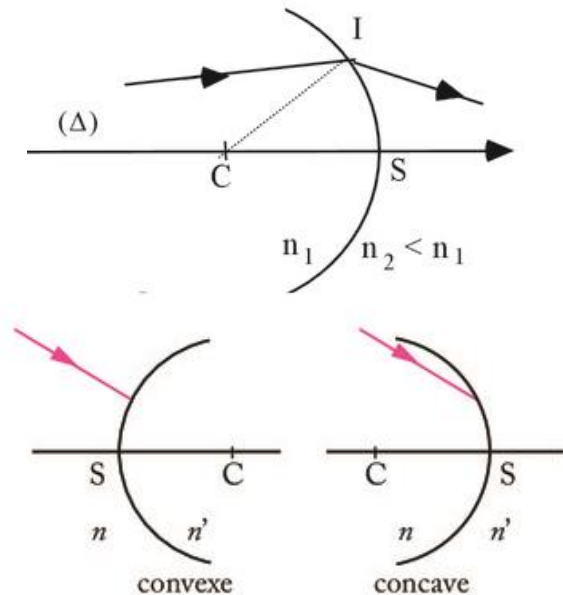


**2.4.2 Dioptrés sphériques**

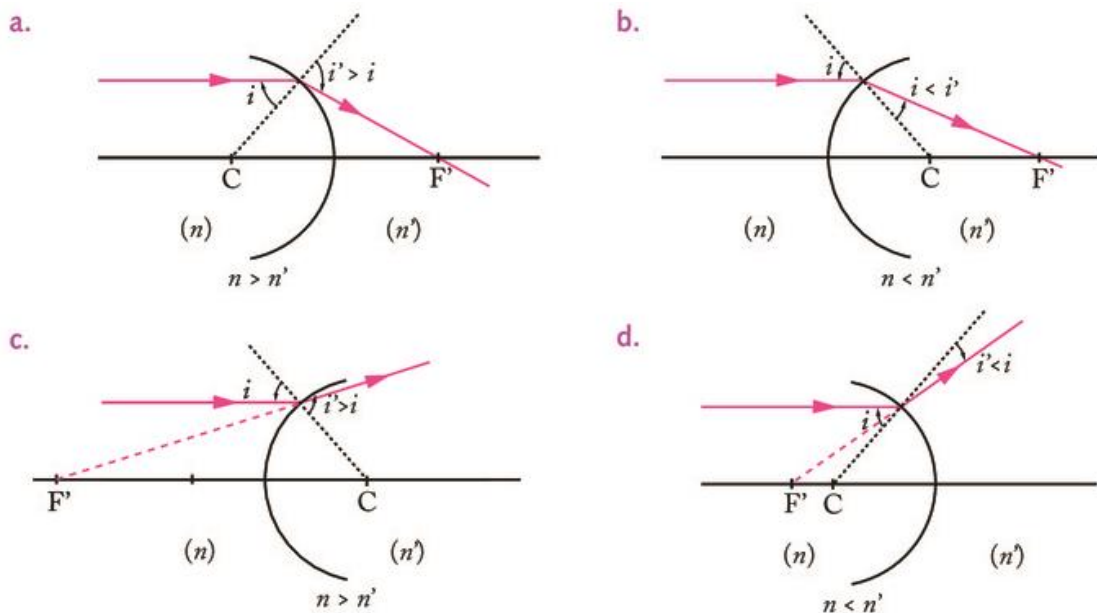
**a. Définitions**

Un dioptré sphérique est constitué d'une surface dioptrique sphérique séparant deux milieux homogènes et transparents d'indices différents. En général, la surface dioptrique se limite à une calotte sphérique de sommet S.

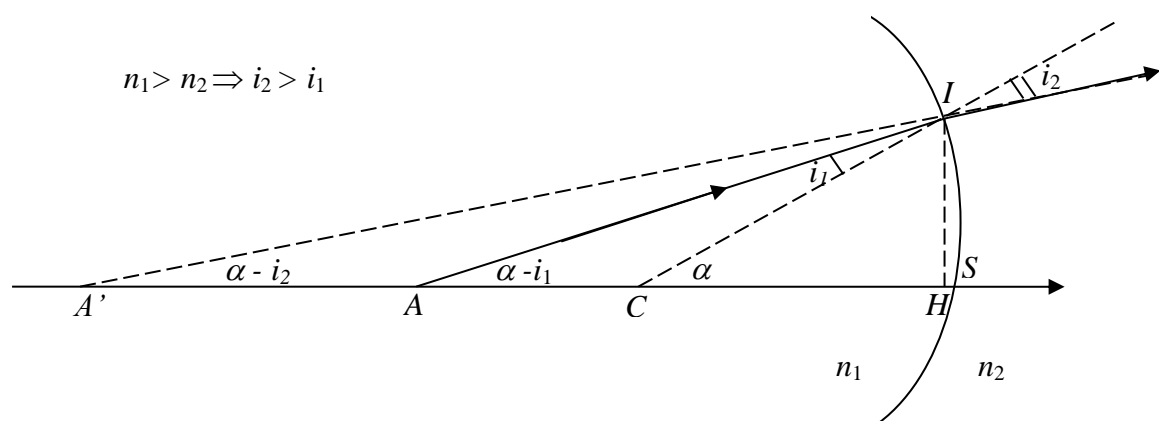
- ✓ Il est caractérisé par son axe ( $\Delta$ ), son centre C, son rayon de courbure R, son sommet S et les indices  $n_1$  et  $n_2$  des deux milieux qu'il sépare.
- ✓ Tous rayon lumineux incident AI issu d'un point objet A situé sur l'axe. Selon que  $n_1$  est supérieur ou inférieur à  $n_2$ , il lui correspond un rayon réfracté IA' qui se rapproche ou s'éloigne de la normale IC mais dont le support coupe toujours l'axe en un point A'.
- ✓ Le dioptre sphérique est dit concave ou convexe selon que sa concavité est orientée dans le sens des rayons incidents ou dans le sens opposé.



Un dioptre est dit convergent si le foyer image  $F'$  est réel, divergent s'il est virtuel. Cette condition dépend de la concavité du dioptre sphérique et de la réfringence des milieux qu'il sépare. La figure suivante illustre les différents cas. Le dioptre sphérique est convergent dans deux cas : lorsque le dioptre est concave et  $n > n'$  (a) et lorsque le dioptre est convexe et  $n < n'$  (b) ; il est divergent lorsque le dioptre est convexe et  $n > n'$  (c) et lorsque le dioptre est concave et  $n < n'$  (d).



### b. Relations de conjugaison



### Origine au sommet S

Dans le cadre de l'approximation de Gauss ( $\alpha < 1$  rad),  $H$  et  $S$  sont pratiquement confondus.

$$\operatorname{tg}(\alpha - i_2) \approx \alpha - i_2 = \frac{IH}{HA'} \approx \frac{IH}{SA'} \quad (1)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha - i_1) \approx \alpha - i_1 = \frac{IH}{HA} \approx \frac{IH}{SA} \quad (2)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha) \approx \alpha = \frac{IH}{HC} \approx \frac{IH}{SC} \quad (3)$$

$$n_1 i_1 = n_2 i_2 \quad (4)$$

La quatrième équation découle de la loi de réfraction de Descartes dans les conditions de Gauss.

$$(1) \times n_2 - (2) \times n_1 \quad \Rightarrow \quad (n_2 - n_1)\alpha = \left(\frac{n_2}{SA'} - \frac{n_1}{SA}\right)IH$$

$$(n_2 - n_1)\alpha = (n_2 - n_1) \frac{IH}{SC}$$

On aboutit à la relation de conjugaison non algébrique suivante :

$$\frac{n_2}{SA'} - \frac{n_1}{SA} = \frac{n_2 - n_1}{SC}$$

En notation algébrique, la relation de conjugaison devient :

$$(\overline{SA} = -SA, \overline{SA'} = -SA', \overline{SC} = -SC)$$

$$\boxed{\frac{n_2}{\overline{SA'}} - \frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}}$$

### Origine au centre C

En injectant le centre C dans la relation précédente, on obtient :

$$\frac{n_2}{\overline{SC} + \overline{CA'}} - \frac{n_1}{\overline{SC} + \overline{CA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$

Soit :

$$n_1 \overline{CA}(\overline{CA'} + \overline{SC}) = n_2 \overline{CA'}(\overline{CA} + \overline{SC})$$

En divisant par  $\overline{CA} \times \overline{CA'} \times \overline{SC}$ , On obtient :

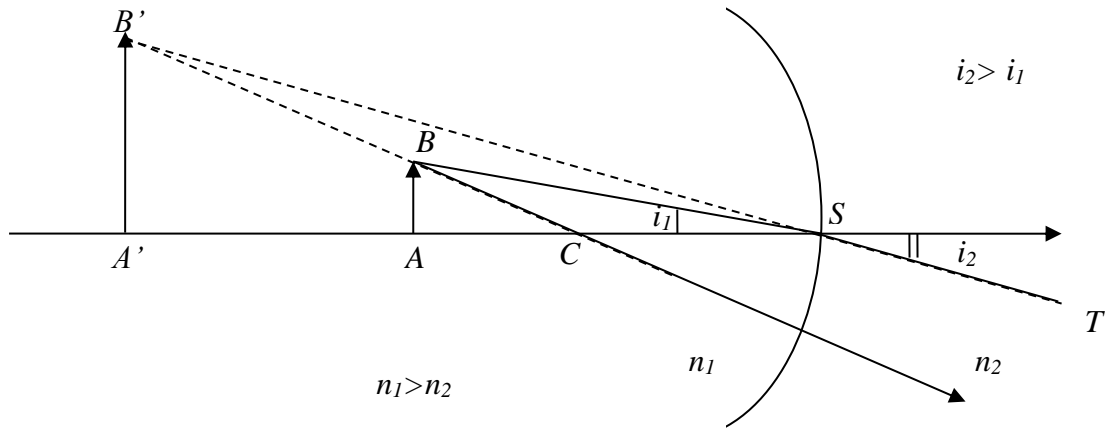
$$\boxed{\frac{n_2}{\overline{CA}} - \frac{n_1}{\overline{CA'}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{CS}}}$$

### **c. Grandissement**

Passant par le centre du dioptre, le rayon  $BC$  n'est pas dévié. L'image  $B'$  de  $B$  appartient à la droite  $ST$ . Des relations trigonométriques simples permettent d'aboutir à la relation qui donne le grandissement  $\gamma$ .

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{CA'}}{\overline{CA}} = \frac{n_1}{n_2} \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$





#### d. Foyers et distances focales

Lorsqu'un faisceau de rayons parallèles à l'axe optique  $CS$  traverse le dioptre, tous les faisceaux transmis passent par un point  $F'$  de l'axe optique. Il s'agit du foyer image.

Selon la nature convergente ou divergente du dioptre, le foyer image peut être réel (a) ou virtuel (b). De même, il existe un point  $F$  de l'axe optique tel que tout faisceau issu de ce point (ou convergent vers lui) donne un faisceau émergent parallèle à  $CS$ . Il s'agit du foyer objet réel pour un dioptre convergent (c) et virtuel pour un dioptre divergent.

Les positions des foyers image  $F'$  et objet  $F$  se déduisent facilement de la formule de conjugaison en supposant respectivement l'objet et l'image à l'infini.

$$\overline{SF'} = \frac{n_2 \overline{SC}}{n_2 - n_1} ; \quad \overline{SF} = \frac{-n_1 \overline{SC}}{n_2 - n_1}$$

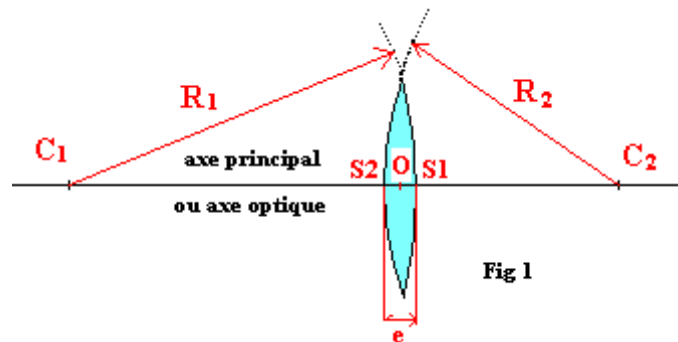
## Chapitre 3 : Les Lentilles

### 1. Définition et classification

#### 1.1. Définition

Une lentille est un milieu transparent homogène d'indice  $n$  limité par deux dioptries dont l'un au moins est sphérique, l'autre pouvant être, à la limite, plan. C'est un système centré dont l'axe est la droite qui joint les deux centres des dioptries respectifs.

Les éléments géométriques d'une lentille sont : l'**axe principal** ou **axe optique**, qui joint les centres de courbures  $C_1$  et  $C_2$  des deux dioptries et le **centre optique O** milieu des deux sommets  $S_1$  et  $S_2$  des deux sphères. (voir Fig.1)



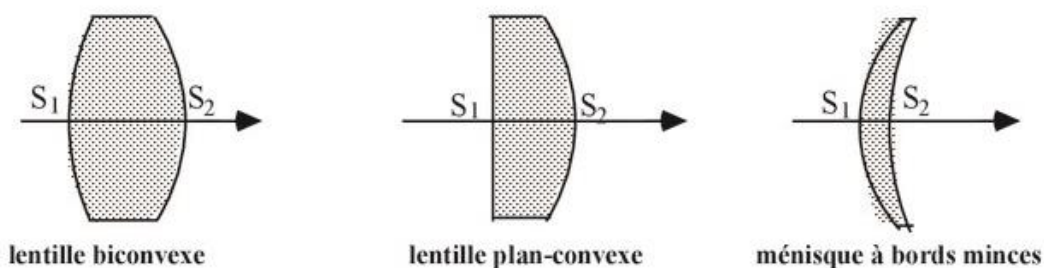
#### 1.2. Types de lentilles

L'épaisseur d'une lentille est la distance  $S_1S_2$  où  $S_1$  et  $S_2$  sont les sommets des deux dioptries. Une lentille est dite **mince** ou **épaisse** selon que son épaisseur est ou n'est pas petite devant les rayons de courbure de ses deux faces et devant leur différence si ceux-ci sont de même sens.

##### 1.2.1. Lentille à bords minces

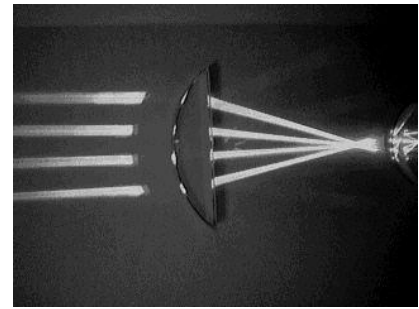
Pour ce type de lentille, l'épaisseur maximum se trouve sur l'axe optique ; les bords sont donc plus minces que le centre. (Ceci ne contredit pas le fait que la lentille soit toujours considérée d'épaisseur négligeable même au centre).

#### Exemples :



Il s'agit de lentilles dont l'épaisseur  $e=S_1S_2$  est très petite devant les rayons des deux dioptries ( $S_1S_2 \ll |S_1C_1|, |S_2C_2|$ ). Les sommets  $S_1$  et  $S_2$  sont pratiquement confondus en un seul point noté  $O$  appelé centre optique de la lentille mince. Les rayons lumineux passant par ce point ne sont pas déviés.

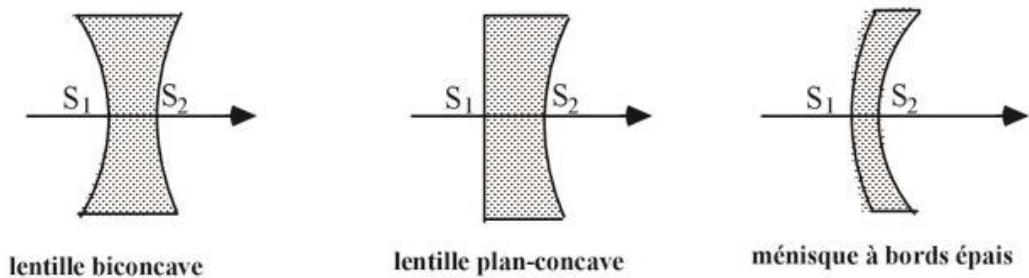
Considérons un faisceau de rayons parallèles à l'axe optique. Après avoir traversé la lentille les rayons se rapprochent les uns des autres et convergent sensiblement en un point : le foyer. Pour cette raison celle-ci est qualifiée de **convergente**



En retournant la lentille face pour face, les rayons convergent au même point. La lentille est optiquement symétrique.

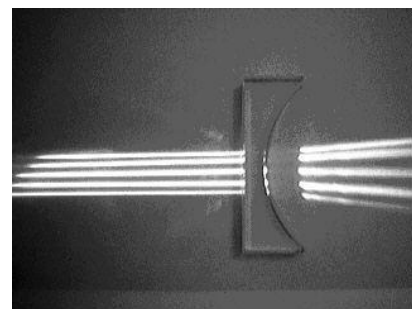
### 1.2.2. Lentille à bords épais

Exemples :



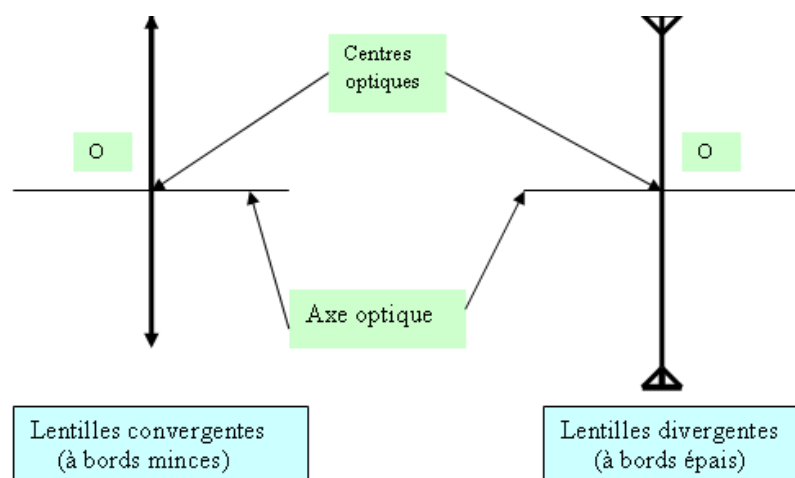
Sur la photo ci-dessous, un faisceau de rayons incidents parallèles à l'axe optique est réfracté en un faisceau divergent. Les rayons s'éloignent les uns des autres après avoir traversé la lentille.

On qualifie ce type de lentille de divergente.



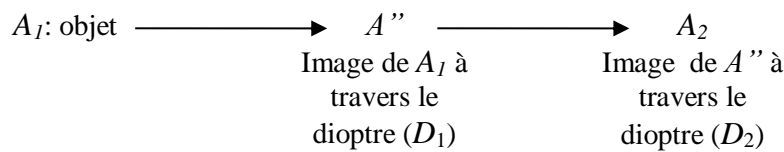
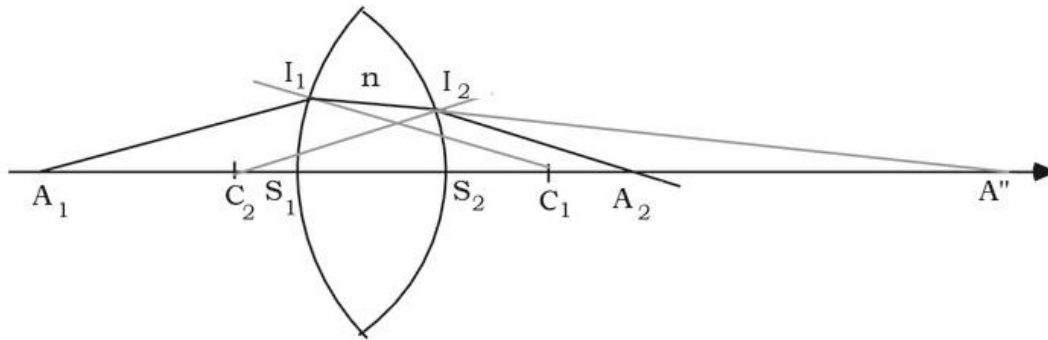
### 1.3. Schémas conventionnels des lentilles minces

L'épaisseur de la lentille mesurée sur l'axe optique étant négligeable, les sommets  $S_1$  et  $S_2$  sont alors pratiquement confondus avec le centre optique  $O$ . Les lentilles étant optiquement symétriques, il n'y a pas lieu de distinguer les faces des lentilles. En conséquence, nous adopterons les schémas conventionnels les plus simples suivants :



### 1.4. Relation de conjugaison dans les conditions de Gauss

Un rayon incident  $A_1I_1$  sur le premier dioptre donne un rayon réfracté  $I_1I_2A''$  dans le milieu d'indice  $n$ . Ce rayon donne, après réfraction sur le deuxième dioptre, un rayon  $I_2A_2$  dans l'air.  $A''$  est l'image intermédiaire de  $A_1$  et  $A_2$  est l'image définitive de  $A_1$  donnée par la lentille.



Les relations de conjugaison relatives aux dioptres  $D_1$  et  $D_2$  s'écrivent respectivement :

$$\frac{n}{\overline{S_1A''}} - \frac{1}{\overline{S_1A_1}} = \frac{n-1}{\overline{S_1C_1}}$$

$$\frac{1}{\overline{S_2A_2}} - \frac{n}{\overline{S_2A''}} = \frac{1-n}{\overline{S_2C_2}}$$

La combinaison des deux relations aboutit à la relation de conjugaison d'une lentille mince.

$$\frac{1}{\overline{S_2A_2}} - \frac{1}{\overline{S_1A_1}} - n\left(\frac{1}{\overline{S_2A''}} - \frac{1}{\overline{S_1A''}}\right) = (n-1)\left(\frac{1}{\overline{S_1C_1}} - \frac{1}{\overline{S_2C_2}}\right)$$

Dans le cas des lentilles minces pour lesquelles  $S_1$ ,  $S_2$  et  $S$  sont confondus, la relation précédente se simplifie et on obtient la relation de conjugaison avec origine au centre optique  $S$  :

$$\boxed{\frac{1}{\overline{SA_2}} - \frac{1}{\overline{SA_1}} = (n-1)\left(\frac{1}{\overline{SC_1}} - \frac{1}{\overline{SC_2}}\right)}$$

**Remarque** : dans le cas où l'un des dioptres est plan, il suffit de remplacer dans la relation précédente  $\overline{SA_2}$  ou  $\overline{SA_1}$  par l'infini.

#### 1.4.1. Foyers objet, image et distance focale

Le foyer image ( $F'$ ) d'une lentille mince est le point d'intersection des rayons incidents parallèles sur l'axe optique. Il s'obtient en supposant un objet réel à l'infini. Dans ce cas la relation de conjugaison devient :

$$\frac{1}{\overline{SF'}} = (n-1)\left(\frac{1}{\overline{SC_1}} - \frac{1}{\overline{SC_2}}\right)$$

$F'$  dépend de l'indice  $n$  du milieu qui constitue la lentille et des rayons de courbure  $\overline{SC_1}$  et  $\overline{SC_2}$  des deux dioptres.

De la même façon, le foyer objet  $F$  est le point de l'axe optique pour lequel tout rayon incident passant par ce dernier émerge parallèlement à l'axe optique. L'image se forme alors à l'infini. Ainsi,

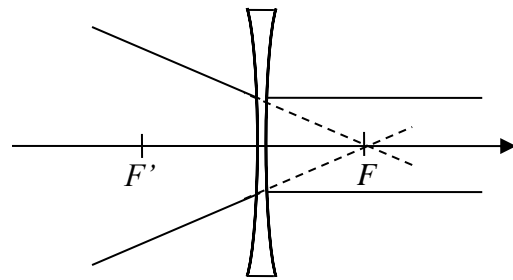
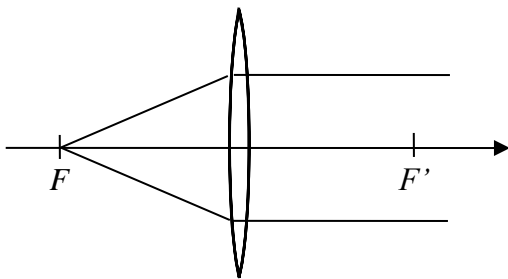
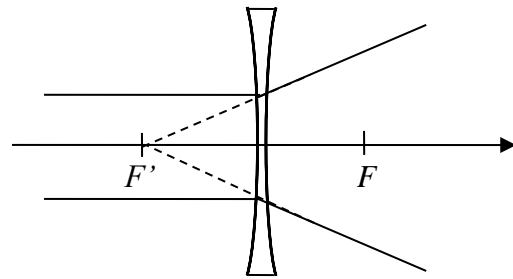
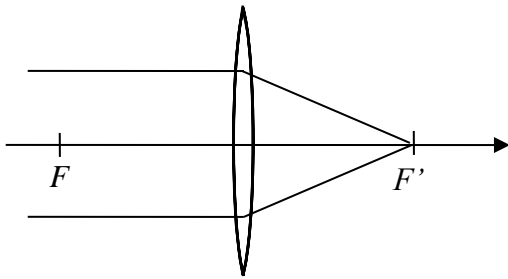
$$\frac{1}{\overline{SF}} = -(n-1)\left(\frac{1}{\overline{SC}_1} - \frac{1}{\overline{SC}_2}\right)$$

On remarque que les deux foyers image et objet sont symétriques par rapport au centre optique de la lentille  $\overline{SF'} = -\overline{SF}$ .

La distance focale  $f'$  est définie par la relation  $f' = \overline{SF'} = -\overline{SF}$ . La vergence est l'inverse de la distance focale  $V = 1/f'$ .

La relation de conjugaison d'une lentille mince devient :

$$\frac{1}{\overline{SA_2}} - \frac{1}{\overline{SA_1}} = \frac{1}{f'}$$



Lentille convergente

$$\overline{OF'} > 0$$

Foyers objet et image réels

Lentille divergente

$$\overline{OF'} < 0$$

Foyers objet et image virtuels

### Relation de conjugaison avec origine aux foyers

Injectons  $F_1$  et  $F_2$  au dénominateur de la relation précédente; on obtient :

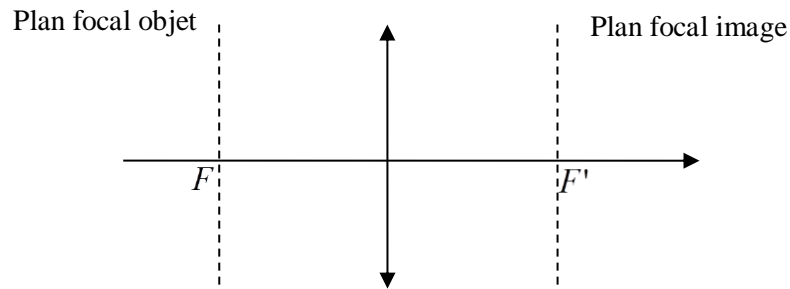
$$\frac{1}{\overline{SF_2} + \overline{F_2A_2}} - \frac{1}{\overline{SF_1} + \overline{F_1A_1}} = \frac{1}{f'}$$

qui donne, en remarquant que  $f' = \overline{SF_2} = -\overline{SF_1}$  :

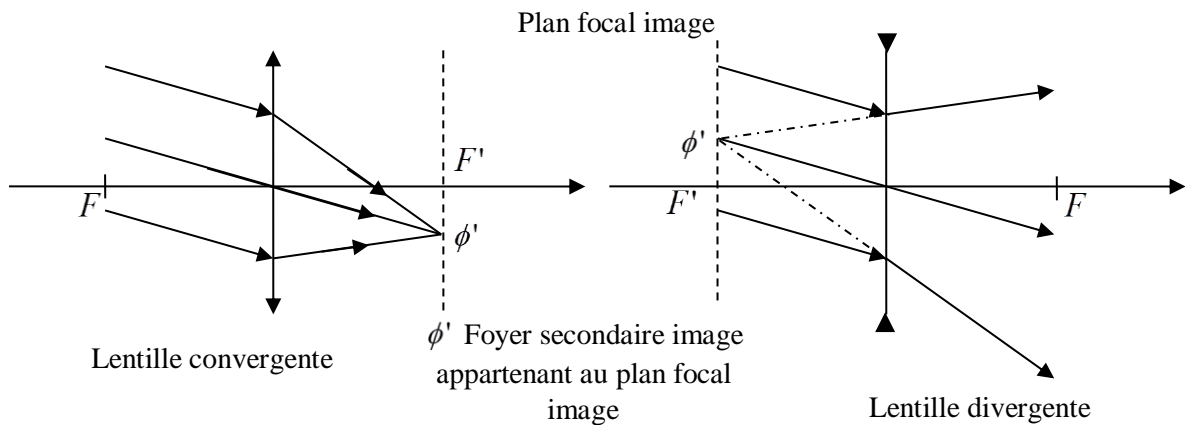
$$\overline{F_2A_2} \overline{F_1A_1} = -f'^2 = -f^2 = ff'$$

#### 1.4.2. Plans focaux, foyers secondaires

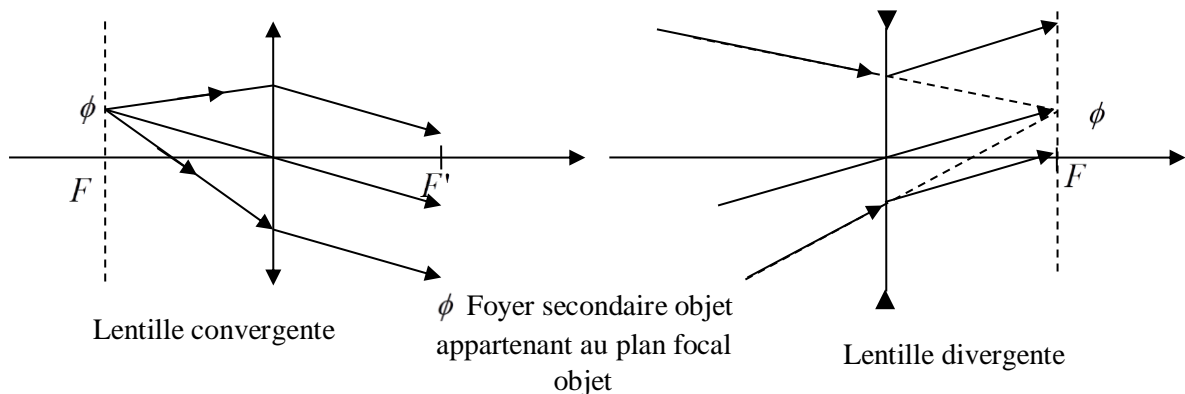
Le plan focal est un plan perpendiculaire à l'axe optique au niveau des foyers objet et image.



Tous les rayons appartenant à un faisceau parallèle incident émergent en passant par un même point du plan focal image appelé foyer image secondaire  $\phi'$ .  $\phi'$  est situé à l'intersection du plan focal avec le rayon passant par  $O$  qui n'est pas dévié.



On définit de la même façon le foyer secondaire objet  $\phi$ . Selon la nature convergente ou divergente de la lentille, tous les rayons passant ou convergeant vers ce point émergent parallèlement au rayon non dévié passant par  $O$ .



## 2. Image d'un petit objet perpendiculaire à l'axe

Pour construire l'image d'un objet  $AB$ , nous procéderons, comme dans le cas des miroirs et des dioptries sphériques, par l'utilisation de rayons particuliers issus de  $B$ .

L'image  $B'$  de l'extrémité  $B$  d'un objet  $AB$  est donnée par l'intersection des rayons suivants :

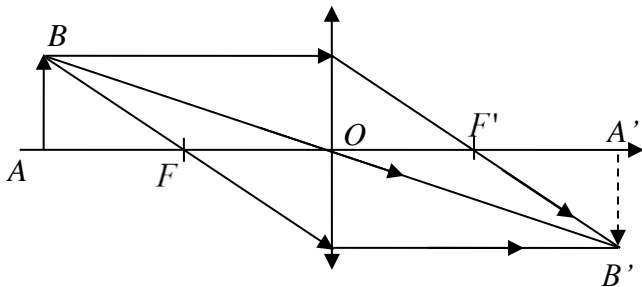
- \* le rayon  $SB$  passant par le centre optique  $S$  et ne subissant aucune déviation,
- \* le rayon  $BF$  passant par le foyer objet et sortant parallèle à l'axe,
- \* le rayon issu de  $B$  et parallèle à l'axe, émerge par le foyer image  $F'$ .

**2.1. Cas d'une lentille convergente**

Soit un objet en amont de la lentille. Pour un point quelconque de l'objet, tous les rayons issus de ce point convergent en un point de l'image. C'est vrai pour deux rayons particuliers :

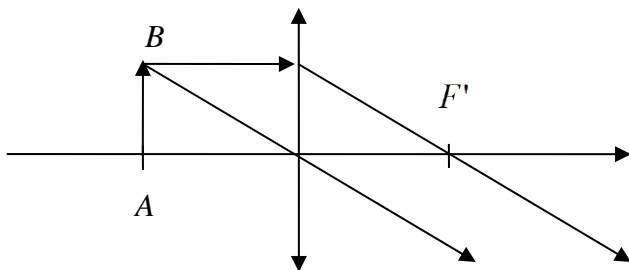
- ❖ le rayon passant par le centre optique ;
- ❖ le rayon parallèle à l'axe optique.

Le premier ne sera pas dévié par la lentille, et le second passe par le foyer image. Le point d'intersection de ces deux rayons est le point image du point objet.

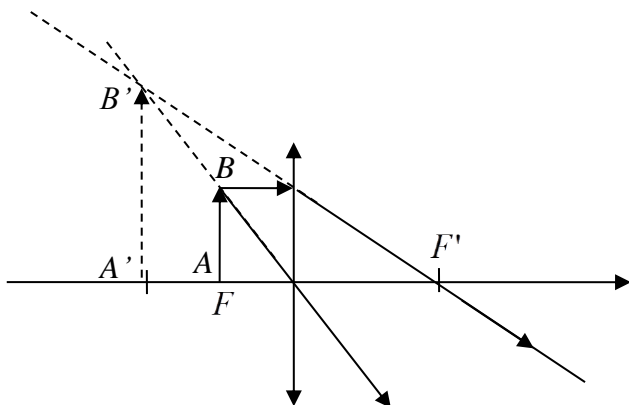


Objet réel-image réelle renversée

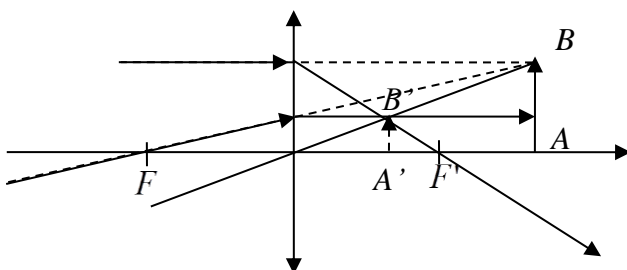
$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA} < 0$$



Objet sur le plan focal objet-image à l'infini

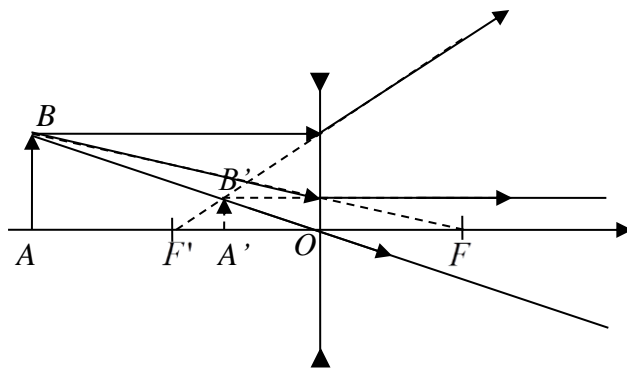


Objet en avant du plan focal objet-image virtuelle droite  
 $\gamma > 0$

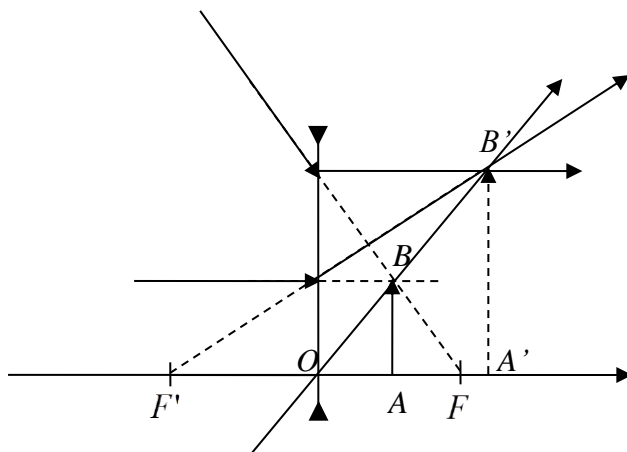


Objet virtuel - image réelle droite

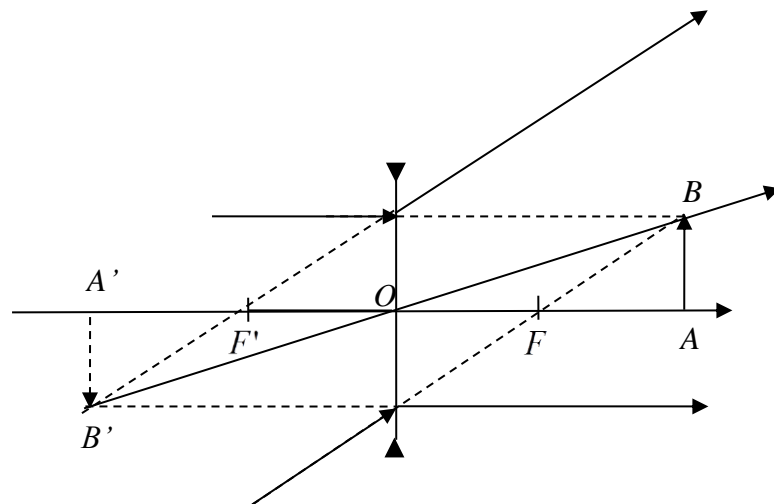
### 2.2. Cas d'une lentille divergente



Objet réel-image virtuelle



Objet virtuel-image réelle



Objet virtuel - image virtuelle renversée

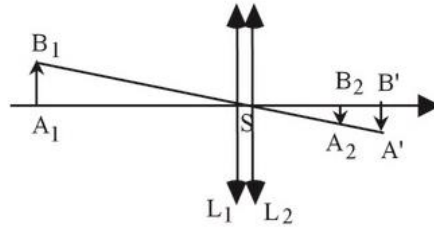
### 2.3. Association de lentilles

On considère deux lentilles  $L_1$  et  $L_2$  de centres optiques  $O_1$  et  $O_2$ , de distances focales  $f'_1 = \overline{O_1F'_1}$  et  $f'_2 = \overline{O_2F'_2}$  et dont les axes optiques sont confondus. Leur association réalise un système appelé "doublet".

#### 2.3.1. Doublet accolé

Les centres optiques  $O_1$  et  $O_2$  des deux lentilles  $L_1$  et  $L_2$  sont tels que la distance  $O_1O_2$  peut être considérée comme nulle et  $O_1$  et  $O_2$  sont confondus en  $S$ . La lentille  $L_1$  donne d'un petit objet  $A_1B_1$  une image  $A'B'$  dont la lentille  $L_2$  donne l'image définitive  $A_2B_2$ .





On peut écrire :

$$\frac{1}{\overline{SA'}} - \frac{1}{\overline{SA_1}} = \frac{1}{f'_1} \quad \text{et} \quad \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA_1}}$$

$$\frac{1}{\overline{SA_2}} - \frac{1}{\overline{SA'}} = \frac{1}{f'_2} \quad \text{et} \quad \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A'B'}} = \frac{\overline{SA_2}}{\overline{SA'}}$$

Soit :

$$\frac{1}{\overline{SA_2}} - \frac{1}{\overline{SA_1}} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} = \frac{1}{f'} \quad \text{et} \quad \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{\overline{SA_2}}{\overline{SA_1}}$$

Ce sont les relations de conjugaison d'une **lentille unique** de distance focale  $f'$  telle que :

$$\boxed{\frac{1}{f'} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2}}$$

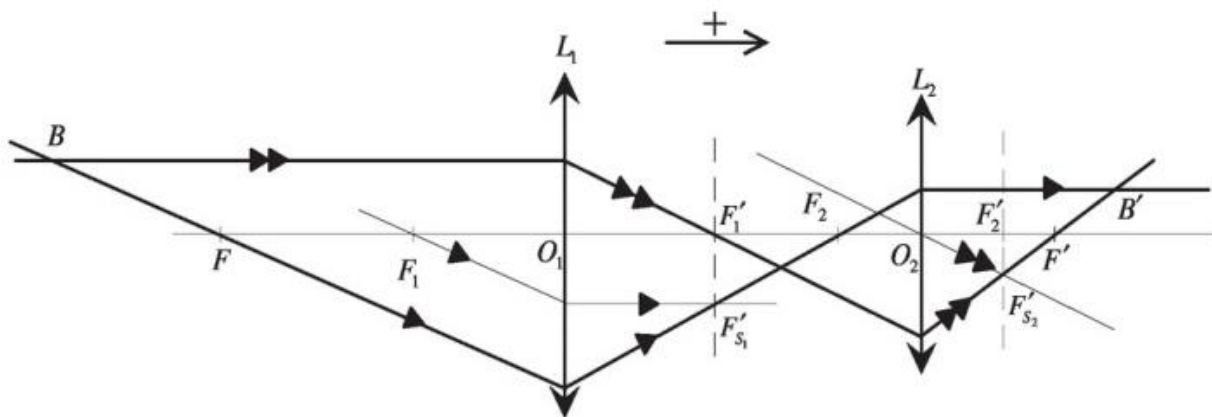
On peut encore écrire en introduisant les vergences  $C_1$  et  $C_2$  de chaque lentille du doublet et la vergence  $C$  de la lentille équivalente :

$$\boxed{C = C_1 + C_2}$$

### 2.3.2. Doublet non accolé

Cherchons les éléments de la lentille  $L$  équivalente au doublet, de foyers  $F$  et  $F'$  et de distance focale  $f'$ . On constate que :

- Tout rayon incident qui émerge du doublet parallèlement à l'axe, passe par le foyer objet  $F$  de la lentille équivalente  $L$ . Or ce rayon passe par le foyer objet  $F_2$  de la lentille  $L_2$ . Le foyer  $F_2$  est donc l'image de  $F$  donnée par la lentille  $L_1$ .
- Tout rayon incident parallèle à l'axe émergera du doublet en passant par un point qui représente donc le foyer image  $F'$  de la lentille équivalente  $L$ . Or ce rayon passe par le foyer image  $F'_1$  de  $L_1$ .  $F'$  est donc l'image de  $F'_1$  donnée par la lentille  $L_2$ .
- Tout rayon incident passant par  $F_1$  émerge du doublet en passant par  $F'_2$ .  $F'_2$  est donc l'image de  $F_1$  donnée par le doublet ou par la lentille équivalente  $L$ .



Posons :  $\overline{F'_1 F_2} = d$  et  $\overline{O_1 O_2} = e$

$$\overline{F'_1 F_2} = \overline{F'_1 O_1} + \overline{O_1 O_2} + \overline{O_2 F_2} = -f'_1 + e - f_2 = d$$

$$F \xrightarrow{L_1} F_2 \Rightarrow \overline{F_1'F_2F_1F} = -f_1'^2 \Rightarrow \overline{F_1F} = \frac{-f_1'^2}{d}$$

$$F_1' \xrightarrow{L_2} F' \Rightarrow \overline{F_2'F'F_2F_1'} = -f_2'^2 \Rightarrow \overline{F_2'F'} = \frac{-f_2'^2}{-d} = \frac{f_2'^2}{d}$$

$$F_1 \xrightarrow{L} F_2' \Rightarrow \overline{F_1'F_2'F_1} = -f'^2$$

$$\text{Soit : } -f'^2 = \left[ \frac{f_2'^2}{d} \right] \left[ \frac{-f_1'^2}{d} \right] = - \left[ \frac{f_2'f_1'}{d} \right]^2$$

$$\text{Donc } -f' = \frac{f_2'f_1'}{d} \Rightarrow \frac{1}{f'} = -\frac{d}{f_2'f_1'} = \frac{f_2'+f_1'-e}{f_2'f_1'}$$

Le doublet est donc équivalent à une lentille unique L de distance focale f' telle que :

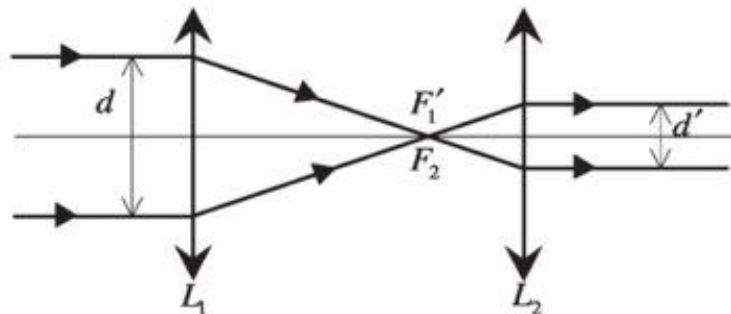
$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{f_1'} + \frac{1}{f_2'} - \frac{e}{f_2'f_1'}$$

On retrouve la relation du doublet accolé pour e = 0.

### 2.3.3. Doublet afocal

Pour que le système soit afocal, il faut qu'un rayon incident parallèle à l'axe optique émerge de (S) parallèlement à l'axe. Le rayon incident émerge donc de L<sub>1</sub> en passant par F<sub>1</sub>' et doit passer par F<sub>2</sub> pour émerger de L<sub>2</sub> parallèlement à l'axe. Soit :

$$-\infty \xrightarrow{L_1} F_1' \text{ et } F_2 \xrightarrow{L_2} \infty$$



Le système de deux lentilles L<sub>1</sub> et L<sub>2</sub> (Réducteur de faisceau parallèle) est donc afocal si F<sub>1</sub>' = F<sub>2</sub> (d = 0). Et on a :

$$\frac{d'}{d} = \frac{f_2'}{f_1'}$$

## Chapitre 4 : Les instruments d'optique

La confection des instruments d'optique est en constante évolution et illustre leurs performances aussi bien dans l'avancement des aspects fondamentaux de l'optique que dans le développement technologique : les domaines d'application sont riches et variés, ils couvrent à la fois les problèmes de la vie courante (lunettes ; éclairage, photographie, cinéma) que des problèmes de recherche pointue tels que l'imagerie, l'astrophysique, la spectroscopie, la transmission...

Les instruments d'optiques peuvent être classés en deux catégories :

1. les systèmes optiques donnant une image réelle, tels que les objectifs des appareils photos, les systèmes de projection, les caméras ;
2. les systèmes optiques donnant une image virtuelle ayant un diamètre apparent plus grand que l'objet observé à l'œil nu, comme les loupes, les microscopes, ou les systèmes astronomiques.

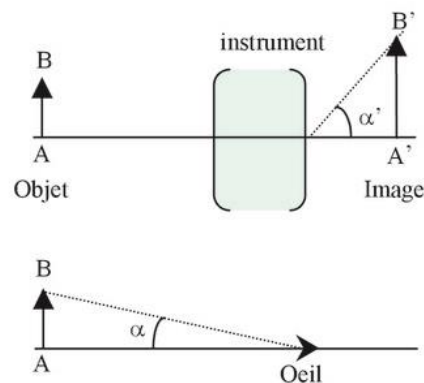
Dans ce chapitre, nous allons présenter quelques instruments particuliers. On commencera par l'œil, système complexe et merveilleux sans lequel l'optique n'aurait pas vu le jour. Nous traiterons ensuite la loupe qui est l'instrument le plus simple puisqu'il est constitué uniquement d'une lentille convergente d'une distance focale de quelques centimètres. On étudiera enfin un instrument plus complexe utilisé pour observer l'infiniment petit : il s'agit du microscope optique dont les éléments essentiels, oculaires et objectifs,

### 1. Grandeurs caractéristiques des instruments d'optique

#### 1.1. Grossissement

Le grossissement  $g$  d'un instrument d'optique est défini par le rapport du diamètre angulaire  $\alpha'$  sous lequel est vue l'image  $\overline{A'B'}$  d'un objet donnée par un instrument d'optique à celui  $\alpha$  sous lequel l'objet  $\overline{AB}$  est vu à l'œil nu :

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



#### 1.2. Puissance

La puissance  $P$  d'un instrument d'optique est définie par le rapport du diamètre apparent  $\alpha'$  de l'image à la taille  $\overline{AB}$  de l'objet :

$$P = \frac{\alpha'}{\overline{AB}}$$

La puissance s'exprime en dioptries,  $\overline{AB}$  en mètres et  $\alpha'$  en radians. On définit la puissance intrinsèque d'un instrument en se plaçant dans les conditions où l'on observe l'image à travers l'instrument sans fatiguer l'œil. L'image doit être à l'infini et donc l'objet dans le plan focal objet de l'instrument.

### 1.3. Pouvoir de résolution

Le pouvoir de résolution ou pouvoir séparateur d'un instrument représente la plus petite distance entre deux points que l'instrument permet de distinguer l'un de l'autre.

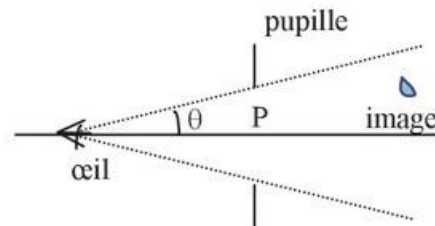
Si "d" est la distance minimale distinguée de deux objets et "a" la distance de ces objets, le pouvoir de résolution est défini par :

$$\varepsilon = \frac{a}{d}$$

### 1.4. Champ

Le champ est défini par l'angle maximal sous lequel on peut voir l'image à travers l'instrument d'optique. Il est limité par la pupille de sortie de l'instrument. Si r est le diamètre de cette pupille et OP la distance œil-pupille, on a :

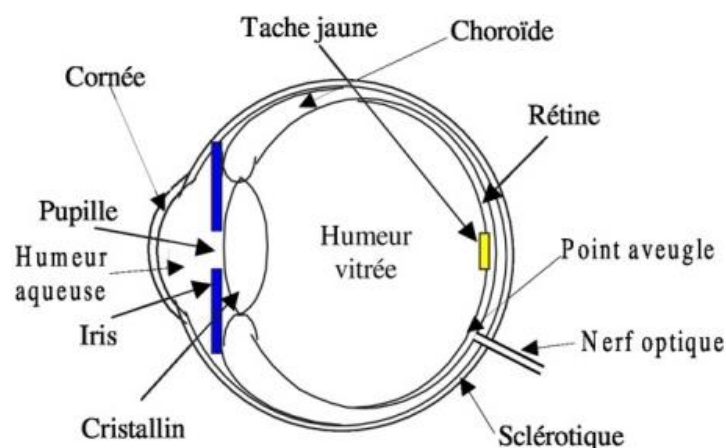
$$\operatorname{tg} \theta = \frac{r}{OP}$$



## 2. L'œil et la vision

### 2.1. Description d'un œil

L'œil est un système optique convergent permettant de former sur une membrane photosensible, la rétine, une image réelle renversée des objets vus par l'observateur. La rétine est tapissée de cellules sensibles à la lumière (les cônes et les bâtonnets) qui transmettent les informations au cerveau via le nerf optique. L'ensemble rétine-nerf optique code cette image sous forme d'influx nerveux et le transmet au cerveau qui l'interprète.



- La cornée joue le rôle d'un dioptre sphérique,
- L'iris diaphragme le faisceau en limitant l'intensité lumineuse pénétrant dans l'œil. Il est coloré et sa teinte constitue la couleur des yeux,
- La pupille représente l'ouverture de l'iris,
- Le cristallin agit comme une lentille convergente de distance focale variable,
- La rétine joue le rôle d'un plan d'observation,
- La fovéa, ou tache jaune, est la partie de la rétine capable d'analyser l'image de manière la plus fine,
- Le nerf optique transmet les informations au cerveau qui les interprète.

Un œil peut être modélisé par une lentille convergente de focale variable (pour représenter la cornée et le cristallin) et un écran (rétine photosensible). La distance lentille-écran est fixe et vaut environ 16,7 mm.

Au repos, l'œil normal voit net à l'infini. Un point à l'infini donne un point image sur la rétine et la distance focale vaut  $f = 16,7$  mm. Pour un objet plus proche, le cristallin se bombe et la distance focale diminue. C'est le phénomène d'accommodation. Pour l'œil normal, la distance maximale de vision nette est à l'infini ("Punctum Remotum"  $PR = +\infty$ ) et la distance de vision la plus proche est à 25 cm ("Punctum Proximum":  $PP = 0.25$ m).

## 2.2. Equations de la vision

Soit un objet A situé à la distance  $D = \overline{AO}$  de l'œil, qui modifie sa distance focale  $f'$  de sorte que l'image  $A'$  soit sur la rétine.

En posant  $C = 1/f'$  et en tenant compte du fait que  $\overline{OA'} = 1/K = \text{constante}$ , la relation de conjugaison appliquée à l'œil donne :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \Rightarrow K - \frac{1}{-D} = C \Rightarrow C - \frac{1}{D} = K$$

Ainsi, quand A se rapproche, D diminue et donc C doit augmenter (i.e.  $f'$  diminuer) pour que l'image se forme toujours au niveau de la rétine.

Lorsque l'œil est au repos (pas d'accommodation), il voit nettement au PR ( $D = D_M$ ) et sa vergence vaut  $C_0$ . On a alors :

$$C_0 - \frac{1}{D_M} = K$$

Pour une accommodation maximale, l'œil voit nettement au PP ( $D = D_m$ ) et sa vergence varie de la quantité  $\Delta C$  appelée amplitude dioptrique d'accommodation (en dioptrie), soit  $C = C_0 + \Delta C$ . Dans ces conditions, on aura :

$$C_0 + \Delta C - \frac{1}{D_m} = K$$

En combinant les deux équations précédentes, on obtient le terme  $\Delta C$  :

$$\Delta C = \frac{1}{D_m} - \frac{1}{D_M}$$

Rappelons que pour l'œil normal d'adulte  $D_M = +\infty$  et que  $D_m$  est de l'ordre de 20 cm, ce qui correspond à

$$\Delta C = \frac{1}{D_m} = 5\delta$$

Le PR étant à l'infini,  $C_0 = K$  lorsque l'œil est au repos : le foyer  $F'$  du cristallin se trouve donc sur la rétine

## 2.3. Anomalies de l'œil

L'œil peut souffrir de quelques anomalies telles que la myopie, l'hypermétropie, la presbytie et l'astigmatisme. Ces défauts font que l'objet observé est hors de la zone d'accommodation définie par le PR et le PP : l'image se forme alors avant ou après la rétine, elle est vue floue. Ils sont corrigés à l'aide de verres donnant de l'objet une image située dans la zone d'accommodation. Cette

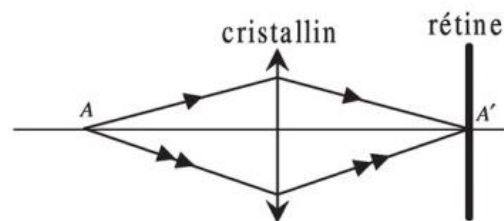
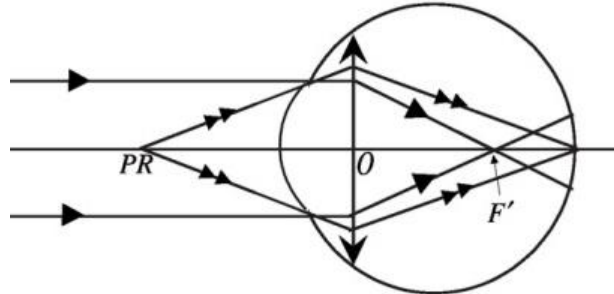


image intermédiaire sert alors d'objet pour l'œil qui en donne une image sur la rétine, celle-ci est donc vue nettement.

### 2.3.1. La myopie

Elle correspond à un œil dont le cristallin est trop convergent ou à un œil trop long : lorsqu'il est au repos sa distance focale est inférieure à celle de l'œil normal, l'image d'un objet à l'infini se forme en avant de la rétine.

Au repos,  $F'$  étant situé devant la rétine,  $f' = \overline{OF'} < \overline{OA'}$  et donc  $C_0 > K$ . Comme  $C_0 - 1/D_M = K$ ,  $D_M$  est positif et fini. Le PR n'est plus situé à l'infini et se trouve parfois très près de l'œil : les objets lointains sont donc flous.



Pour une accommodation maximale (avec une amplitude dioptrique normale,  $\Delta C = 5\delta$ ), on a

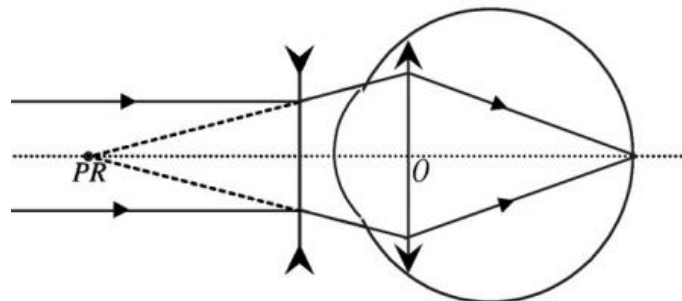
$$C_0 + \Delta C - \frac{1}{D_m} = K$$

Mais comme  $C_0 > K$ ,

$$\Delta C - \frac{1}{D_m} = K - C_0 < 0 \Rightarrow \Delta C < \frac{1}{D_m} \Rightarrow D_m < \frac{1}{\Delta C}$$

Le PP est plus près que pour un œil normal. Un œil fortement myope peut avoir une zone d'accommodation très peu étendue, de l'ordre de quelques centimètres.

Pour corriger la myopie de l'œil, on lui associe une lentille de vergence  $C_1$ . Cette lentille est telle que le PR corrigé (PR du système œil + lentille) est rejeté à l'infini  $D_M^C = \infty$ , où  $D_M^C$  est la position du PR corrigé). On veut donc que :



$$C_0 + C_1 - \frac{1}{D_M^C} = C_0 + C_1 = K$$

Mais comme  $C_0 - 1/D_M = K$  il suffit que :

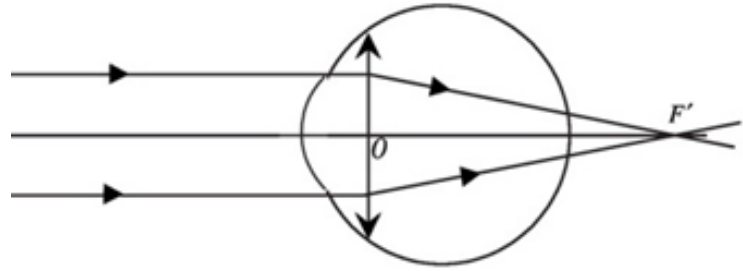
$$C_1 = -\frac{1}{D_M} < 0 \Leftrightarrow f_1' = -D_M$$

Pour corriger la myopie, il faut donc accoler à l'œil une lentille divergente de distance focale  $f_1' = -D_M$

### 2.3.2. L'hypermétrope

Contrairement à l'œil myope, l'œil hypermétrope n'est pas assez convergent ou trop court : lorsqu'il n'accomode pas sa distance focale est supérieure à celle de l'œil normal. L'image d'un objet à l'infini se forme donc en arrière de la rétine.

Au repos,  $F'$  étant situé derrière la rétine,  $f' = \overline{OF'} > \overline{OA'}$  et donc  $C_0 < K$ . Comme  $C_0 - 1/D_M = K$ ,  $D_M$  est négatif. Le PR est virtuel. L'hypermétrope doit donc accommoder pour voir nettement à l'infini.



Pour une accommodation maximale (avec une amplitude dioptrique normale,  $\Delta C = 5\delta$ ), on a

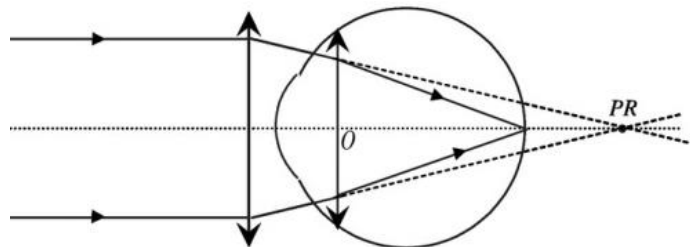
$$C_0 + \Delta C - \frac{1}{D_m} = K$$

Mais comme  $C_0 < K$ ,

$$\Delta C - \frac{1}{D_m} = K - C_0 > 0 \Rightarrow \Delta C > \frac{1}{D_m} \Rightarrow D_m > \frac{1}{\Delta C}$$

Le PP est plus éloigné que pour l'œil normal. Un œil hypermétrope voit donc nettement les objets éloignés, par contre les objets rapprochés sont flous.

Pour corriger la myopie de l'œil, on lui associe une lentille de vergence  $C_1$ . Cette lentille est telle que le PR corrigé (PR du système œil + lentille) est rejeté à l'infini ( $D_M^C = \infty$ , où  $D_M^C$  est la position du PR corrigé). On veut donc que :



$$C_0 + C_1 - \frac{1}{D_M^C} = C_0 + C_1 = K$$

Mais comme  $C_0 - 1/D_M = K$  il suffit que :

$$C_1 = -\frac{1}{D_M} > 0 \Leftrightarrow f_1' = -D_M$$

Pour corriger l'hypermétropie, il faut donc accoler à l'œil une lentille convergente de distance focale  $f_1' = -D_M$

### 2.3.3. La presbytie

Il s'agit d'un défaut lié au vieillissement de l'œil. En vieillissant les muscles ciliaires s'affaiblissent et le cristallin perd de son élasticité ce qui provoque une diminution de la faculté d'accommodation :  $\Delta C$  diminue. Le PP s'éloigne progressivement tandis que le PR reste à l'infini. Par exemple, l'amplitude dioptrique d'accommodation passe de  $5\delta$  à 25 ans à  $1\delta$  à 60 ans.

On corrige ce défaut en utilisant plusieurs lentilles correctrices suivant la distance objet-œil : la partie supérieure du verre correcteur permet la vision éloignée et la partie basse la vision proche. Exemple : verres à double foyer ("demi-lune" ou verres progressifs (verres dont la focale est variable)).

### 2.3.4. L'astigmatisme

L'astigmatisme provient d'un défaut de symétrie de l'œil : la cornée n'est pas parfaitement sphérique. La vergence de l'œil n'est pas la même dans le plan vertical et le plan horizontal par



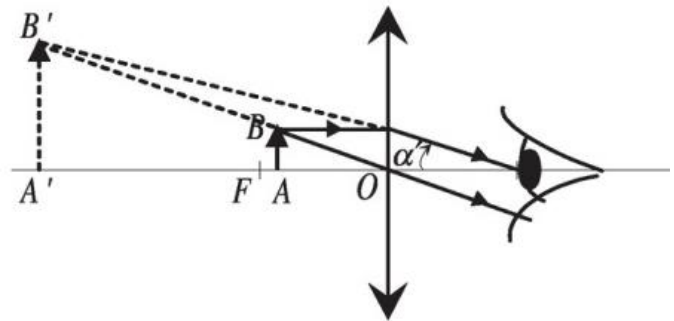
exemple, ou dans deux autres plans perpendiculaires. L'image d'un point sur l'axe optique n'est pas un point, mais une tache. On corrige ce défaut à l'aide de lentilles astigmatiques.

### 3. La loupe

#### 3.1. Principe

Pour examiner un objet à l'œil nu, en observant le maximum de détail, il faut le placer au PP. Il en résulte une fatigue importante de l'œil.

La loupe permet de remédier à ce problème. Il s'agit d'une lentille convergente de petite distance focale. En plaçant l'objet observé entre le foyer objet et la lentille on obtient une image virtuelle droite et agrandie, image servant d'objet pour l'œil et nécessitant une accommodation moindre. Cette image est d'autant plus grande que l'objet est proche du foyer objet F de la loupe.

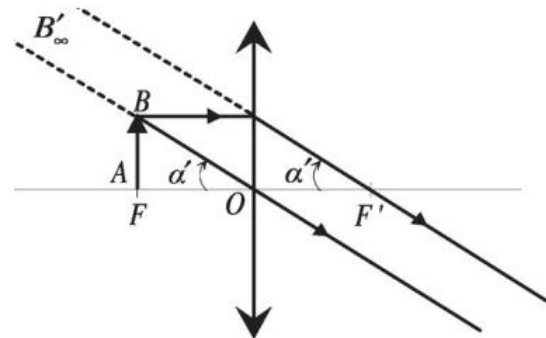


#### 3.2. Puissance

La puissance  $P$  d'une loupe est, par définition, le rapport entre le diamètre apparent de l'image  $\alpha'$ , et la dimension réelle de l'objet  $\overline{AB}$ .

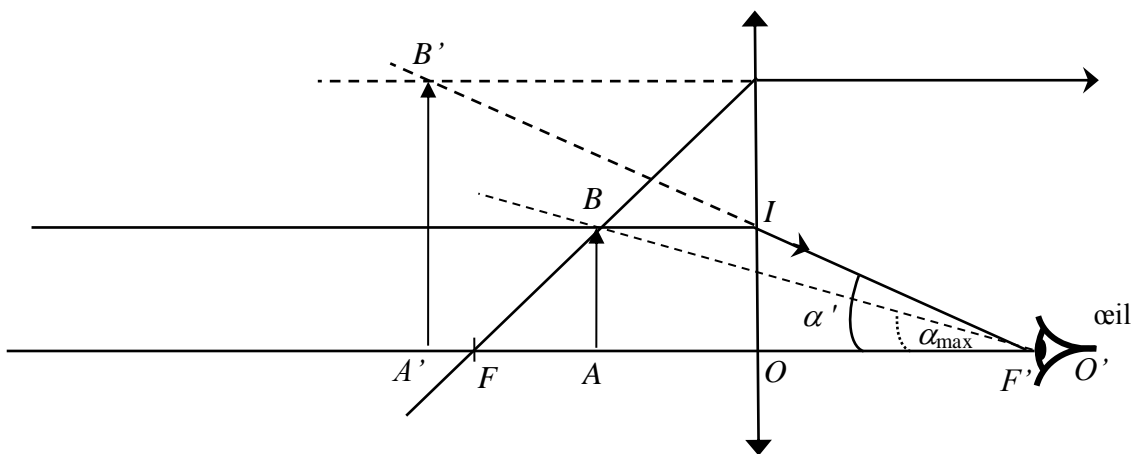
$$P = \frac{\alpha'}{AB} = \frac{\alpha'}{OI} = \frac{1}{f'} = V$$

Ce résultat est également valable lorsque l'objet est placé au foyer objet de la loupe.



#### 3.3. Grossissement

Cet instrument optique permet d'agrandir la taille apparente d'objets petits d'un facteur  $G$  appelé Grossissement. C'est le rapport entre la taille apparente de l'image et la taille apparente maximum de l'objet.



Dans le cadre de l'approximation de Gauss ( $\alpha'$  et  $\alpha_{\max} \ll 1$  radian),

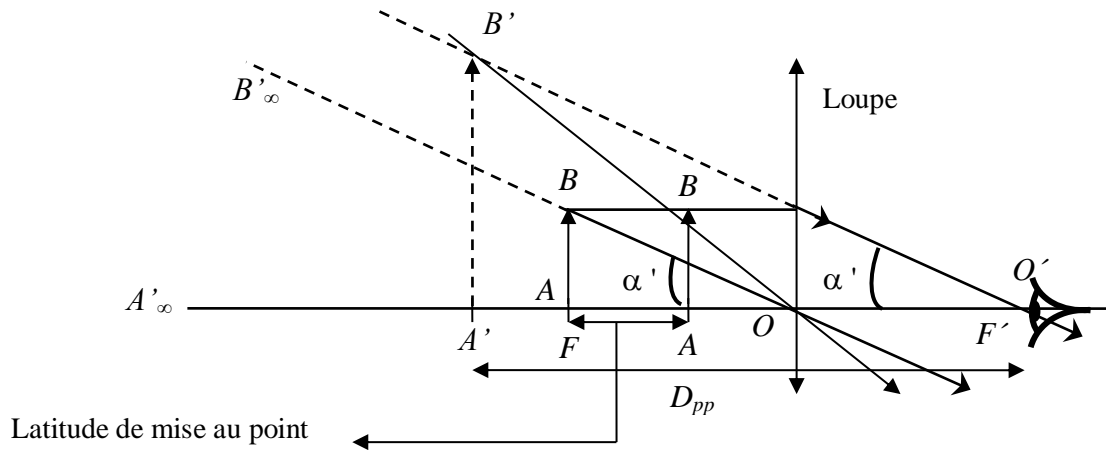
$$\alpha_{\max} = \frac{AB}{D_{pp}} \text{ et } \alpha' = \frac{A'B'}{O'A'} = \frac{OI}{OO'} = \frac{OI}{OF'}$$



$$G = \frac{\alpha'}{\alpha_{\max}} = \frac{D_{pp}}{f'}$$

### 3.4. Latitude de mise au point

Lorsque l'objet est placé au foyer objet F de la loupe, l'image virtuelle se forme à l'infini. L'œil peut la voir sans accommoder. La mise au point de la loupe consiste à rapprocher l'objet de la lentille, l'image se rapproche également et l'œil doit accommoder pour la voir. Il existe une limite minimale fixant la distance objet-loupe en delà de laquelle l'image se forme en delà du punctum proximum. L'œil est alors incapable de voir clairement l'image.

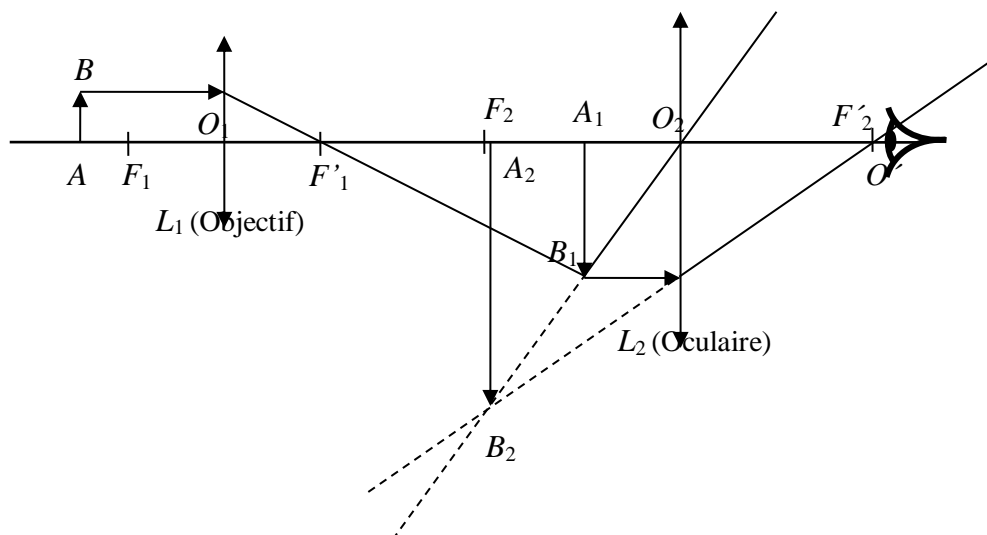


## 4. Le microscope

### 4.1. Principe

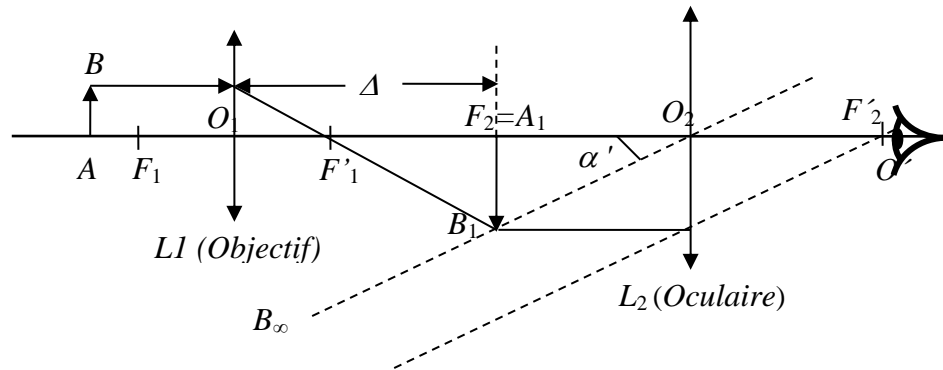
Le microscope permet l'observation d'objets de petites dimensions situés à distance finie (distance de l'ordre du millimètre). Il est constitué de deux systèmes optiques convergents que l'on peut assimiler à des lentilles minces :

- ❖ L'objectif  $L_1$  est une lentille de très courte distance focale (quelques millimètres). Elle donne d'un objet  $AB$  très petit une image réelle  $A_1B_1$  renversée et très agrandie.
- ❖ L'oculaire  $L_2$  qui fonctionne comme une loupe (focale de quelques centimètres) et qui donne de  $A_1B_1$  une image virtuelle  $A_2B_2$  examinée par l'observateur,  $A_2B_2$  étant plus grande que  $A_1B_1$  et renversée par rapport à  $AB$ . Nous nous placerons dans le cas où l'œil observe à l'infini, i.e. le cas où  $A_1$  est en  $F_2$ .



Un microscope est un instrument optique permettant d'obtenir une image agrandie d'un objet proche de petite dimension. Dans sa description la plus simple, il s'agit de lentilles minces convergentes de courte distance focale. L'image ( $A_1B_1$ ) d'un objet ( $AB$ ) de petite dimension à travers l'objectif ( $L_1$ ) se situe entre le sommet ( $O_2$ ) de l'oculaire ( $L_2$ ) et son foyer objet ( $F_2$ ). Elle joue le rôle d'un objet réel pour l'oculaire dont il donne une image virtuelle ( $A_2B_2$ ) de grande taille.

Lorsque l'image formée par l'objectif se trouve au foyer de l'oculaire, l'image finale se forme à l'infini. Elle ne demande aucun effort d'accommodation de la part de l'œil de l'observateur.



#### 4.2 Puissance d'un microscope, puissance intrinsèque

La puissance  $P$  d'un microscope est le rapport entre le diamètre apparent  $\alpha'$  d'un objet vu à travers le microscope et sa dimension  $AB$ .

$$P = \frac{\alpha'}{AB}$$

Cette puissance s'exprime en dioptrie. Plus elle sera grande, plus le diamètre apparent de l'image sera important et les objets, pouvant être vus avec ce microscope, petits.

La puissance d'un microscope dépend des caractéristiques de l'objectif et de celles de l'oculaire et donc de la position particulière de l'objet. La puissance  $P$  s'exprime comme le produit de la valeur absolue du grandissement  $\gamma_1$  de l'objectif par la puissance  $P_2$  de l'oculaire :

$$P = \frac{\alpha'}{A_1B_1} \frac{A_1B_1}{AB} = \gamma_1 P_2$$

#### 4.3 Grossissement

Le grossissement  $G$  d'un microscope est, par définition, égal au rapport entre les diamètres apparents maximaux d'un objet vu à travers le microscope ou vu à l'œil et la distance minimum de vision distincte :

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

$$G = \frac{A_1B_1}{O_2F_2} \frac{D_{pp}}{AB} = \frac{A_1B_1}{AB} \frac{D_{pp}}{O_2F_2} = |\gamma_1| G_2$$

Où  $\alpha' = \frac{A_1B_1}{O_2F_2}$  et  $\alpha_{\max} = \frac{AB}{D_{pp}}$ .  $|\gamma_1| = \frac{A_1B_1}{AB}$  est le grandissement de l'objectif ( $L_1$ ) et

$G_2 = \frac{D_{pp}}{O_2F_2}$  est le grossissement de l'oculaire ( $L_2$ ), avec  $D_{pp}$  est la distance minimale de vision distincte.

## Lexique de Terminologie Français-Arabe

Concept en français	Concept en arabe
<b>A</b>	
Acuité	حدة
Agrandissement	تكبير
Air	هواء
Angle	زاوية
Angle de déviation	زاوية الانحراف
Angle de déclinaison	زاوية الانحراف
Angle d'incidence	زاوية الورود
Angle de réflexion	زاوية الانعكاس
Angle de réfraction	زاوية الانكسار
Anneau	حلقة
Anomalies de la vision	عيوب الإبصار
Appareil	جهاز، آلة
Appareil photographique	آلة التصوير
Arc	قوس
Arc en ciel	قوس قزح
Association	تجميع
Astronomie	علم الفلك
Astrophysique	فيزياء فلكية
Atome	ذرة
Axe	محور
Axe optique	محور بصري
Axe principal	محور رئيسي
Axe secondaire	محور ثانوي
<b>B</b>	
Banc	نضد
Boîte d'alimentation	علبة التغذية
Boule	كرة
Branche	فرع
Bras	ذراع
Bras de levier	ذراع العتلة
Bulle	فقاعة
<b>C</b>	
Capsule	حقة
Caractéristique	مميزة
Cas	حالة
Cavalier	خيال
Célérité	سرعة الإنتشار
Cellule	خلية
Cellule photoélectrique	خلية كهروضوئية
Centre	مركز
Centre optique	مركز بصري
Cercle	دائرة
Cercle oculaire	دائرة عينية
Chambre noire	علبة مظلمة
Champ	مجال
Champ d'observation	مجال الرؤية
Concave	مقعر
Concavité	تقعر
Construction géométrique	إنشاء هندسي

Convention	إصطلاح
Conventionnel	إصطلاحي
Convergence	تجمع، تقارب، إقتراب
Convexe	محدبة
Corpusculaire	جسيمي
Cristallin de l'œil	بلورية العين
<b>D</b>	
Déclinaison	إنحراف
Dédoublement	إزدواج
Défaut	نقص
Degré	درجة
Déviation	انحراف
Diamètre	قطر
Diaphragme	حجاب
Diffraité	معيد
Diffraction	حيود
Diffusion	تشتت
Dilatation	تمدد
Dispersion	تبدد
Disque gradué	قرص مدرج
Divergence	تباعد
Divergent	مفرق
Dualité	إزدواجية
<b>E</b>	
Éclairé	مضاء
Éclipse	خسوف، كسوف
Écran	شاشة
Effet photoélectrique	مفعول كهروضوئي
Émission	إنبعاث، بث
Énergie	طاقة
Énergie de rayonnement	طاقة الإشعاع
Énergie lumineuse	طاقة ضوئية
Épaisseur	سمك
Équation	معادلة
Équivalent (adj)	متعادل، متكافئ، مماثل
<b>F</b>	
Face	وجه
Faisceau	حزمة
Faisceau lumineux	حزمة ضوئية
Fibre optique	ليف بصري
Flou	مضرب
Fluorescent	مستشع، متفلور
Foyer	بؤرة
Foyer image	بؤرة صورية
Foyer objet	بؤرة شينية
Fréquence	تردد
<b>G</b>	
Géométrique	هندسي
Grandissement	تكبير
Grossissement	قوة التكبير
Grossissement standard	قوة التكبير المعياري
Grille	شبكة

<b>H</b>	
Halogène	هالوجين
Hauteur	ارتفاع
Homogène	متجانس
Horizontal	أفقي
Hypothèse	فرضية
<b>I</b>	
Image	صورة
Image réelle	صورة حقيقية
Image renversée	صورة مقلوبة
Image virtuelle	صورة وهمية
Incident	وارد، ساقط
Incliné	مائل
Indice	معامل
Indice de réfraction	معامل الانكسار
Infini	لامتناه
Inverse	معاكس، متعاكس، مقلوب
<b>J</b>	
Jumelles	منظار مقرب
Jumelles à prisme	منظار موشوري
<b>L</b>	
Lame	شفرة، صفيحة
Lame à faces parallèles	صفيحة متوازية الوجهين
Lampe	مصباح
Lentille	عدسة
Lentille à bord épais	عدسة سميكة الجانب
Lentille à bord mince	عدسة رقيقة الجانب
Lentille biconcave	عدسة مقعرة الوجهين
Lentille biconvexe	عدسة محدبة الوجهين
Lentille convergente	عدسة مجمعة
Lentille divergente	عدسة مفرقة
Lentille mince	عدسة رقيقة
Lentille plan concave	عدسة مقعرة مستوية
Lentille plan convexe	عدسة محدبة مستوية
Linéaire	خطي
Longueur d'onde	طول الموجة
Loupe	عدسة مكبرة
Lunettes	نظارات
Lunette astronomique	منظار فلكي
<b>M</b>	
Marche des rayons	سير الأشعة
Microscope	مجهر
Microscopique	مجهرية
Milieu	وسط
Mirage	سراب
Miroir	مرآة
Miroir plan	مرآة مستوية
Myopie	قصر البصر (حسور)
<b>N</b>	
Nature ondulatoire	طبيعة تموجية
Normal (adj)	منظمي، نظامي
Normal (nom)	منظمي

<b>O</b>	
Objectif	شبيئية
Object	شيء
Object réel	شيء حقيقي
Object virtuel	شيء وهمي
Obstacle	حاجز
Oculaire (adj)	عيني
Œil	عين
Ombre	ظل
Ombre portée	ظل محمول
Ombre propre	ظل خاص
Onde	موجة
Onde électromagnétique	موجة كهرب مغنطيسية
Onde monochromatique	موجة أحادية اللون
Ondulatoire	تموجي
Optique (nom)	بصريات
Ouverture	فتحة
<b>P</b>	
Parallèle	موازي
Particule	دقيقة
Pénétrant	نافذ
Perpendiculaire	عمودي
Plan focal	مستوى بؤري
Polarisation	إستقطاب
Prisme	موشور
Progressif	متتالي، تدريجي
Projecteur	مسلط
Propagation	إنتشار
<b>Q</b>	
Quantique	كم، كمي
Quantité	كمية
<b>R</b>	
Radial	شعاعي
Rayon	نصف القطر
Rayon d'onde	شعاع الموجة
Rayon incident	شعاع وارد
Rayon lumineux	شعاع ضوئي
Rayon réfléchi	شعاع منعكس
Rayon réfracté	شعاع منكسر
Rectiligne	مستقيمي
Réfléchi	منعكس
Réfléchissant	عاكس
Réflexion	إنعكاس
Réflexion totale	إنعكاس كلي
Réfraction	إنكسار
Réfraction limite	إنكسار حدي
Représentation	تمثيل
<b>S</b>	
Satellite	قمر
Satellite artificiel	قمر إصطناعي
Schéma	تبيانة
Sommet	قمة

Stigmatisme	تصوير نقطي
Stigmatisme approché	تصوير نقطي تقريبي
Stigmatisme rigoureux	تصوير نقطي دقيق
Superposition	تراكب
Symétrie	تماثل
Symétrie axiale	تماثل محوري
Système	نظام، نظمة، مجموعة
<b>T</b>	
Télescope	مرصد
Trajectoire	مسار
Trajectoire rectiligne	مسار مستقيمي
Trajet	مسير
Triangle	مثلث
<b>U</b>	
Unité	وحدة
Univers	كون
Universel	كوني
<b>V</b>	
Valeur	قيمة
Valeur algébrique	قيمة جبرية