

Chapitre 1 Optique Géométrique

I-1 introduction

L'histoire de la physique est entièrement liée à l'histoire de l'intelligence humaine.

Depuis son apparition sur terre, l'homme, pour s'adapter à son environnement et pour survivre, a fait de la physique sans le savoir.

Ses seuls outils de communication étaient alors ses sens qui lui ont permis de voir, de toucher, d'entendre, de sentir ... et qui sont d'ailleurs à la base de la classification des diverses branches de la physique où l'optique est liée à la vue, la chaleur au toucher, l'acoustique à l'ouïe,

L'optique (du grec "optikos" signifiant relatif à la vue) c'est, l'étude de la lumière visible, c'est-à-dire des phénomènes perçus par l'œil et de l'information transmise à celui-ci.

Cette information portant sur la forme de l'objet observé, sa couleur, sa position,

I-2 Origine de la lumière : lorsque deux particules chargées électriquement interagissent, cette interaction se traduit du point de vue quantique comme un échange de photons (lumière). La lumière est une énergie associée aux ondes électromagnétiques (allant des ondes radio aux rayons gamma en passant par la lumière visible). L'idée d'une quantification de l'énergie transportée par la lumière a été développée par Albert Einstein.

Les photons (la lumière) sont des 'paquets' d'énergie élémentaires, ou quanta de rayonnement électromagnétique, qui sont échangés lors de l'absorption ou de l'émission de l'énergie (photons, lumière) par la matière

I-3 Optique géométrique : c'est une branche de la physique qui s'intéresse à étudier les phénomènes lumineux. C'est l'ensemble des phénomènes au quels l'œil est sensible. Pour être visible, un objet doit pouvoir faire parvenir de la lumière à l'œil. C'est un domaine très large, et nous permet de :

- ✓ Percevoir le monde qui nous entoure (formation des images)

- ✓ D'utiliser et de comprendre les instruments d'optiques qui nous permettent de distinguer les détails d'objets non accessibles à l'œil nu (caméscope, télescope, endoscope, microscope, caméra, ...)
- ✓ Propager l'information via la lumière (fibre optique).
- ✓ Comprendre les détecteurs (caméra infrarouge, photo détecteur, ...)

I-3 Source lumineuse:

La classification de la lumière peut se faire de plusieurs manières. On peut procéder à la classer selon son origine, on distingue :

- Les sources lumineuses **naturelles**.
- Les sources lumineuses **artificielles**.



Ces sources lumineuses peuvent être classifiées aussi par:

- Les sources lumineuses **primaires (directes)**. Ce sont les sources lumineuses qui produisent elle-même leur lumière (le soleil, le feu, une bougie le laser les lampe ...).
- Les sources lumineuses **secondaires (indirectes)**. Ce sont les objets qui diffusent de la lumière (Réfléchir de la lumière) qu'ils reçoivent d'une source primaire (la lune, miroir et les différents objets, ..)



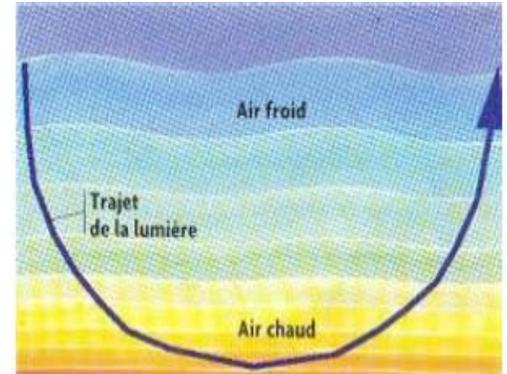
I-4 Propagation de la lumière (principe de Fermat) : Dans les milieux transparents et homogènes, la lumière se propage d'un point à un autre sur des trajectoires telles que la durée de son parcours soit minimale.



Elle se déplace en **ligne droite** dans tout **milieu transparent homogène**, en particulier dans le vide ou dans l'air très sec.

Elle peut **changer de trajectoire** lors de son passage dans un **milieu hétérogène** ou lorsque celle-ci change de milieu.

Le principe de Fermat permet de déduire les changements de la trajectoire de la lumière lorsqu'elle passe d'un milieu à un autre en fonction de sa vitesse dans chaque milieu.



En règle générale ; la propagation de la lumière se fait toujours de manière rectiligne dans tout milieu **homogène** et **transparent**, la lumière se propage en **ligne droite**.

Vitesse de propagation de la lumière: La vitesse de propagation de la lumière dépend de la nature des milieux qu'elle traverse. Dans le vide, elle est appelée la célérité, elle est notée 'C' et sa valeur est maximale :

$$C = 3.10^8 \left(\frac{m}{s} \right)$$

Remarque : La lumière se propage dans un milieu transparent.

I-5 Les types de milieux:

a- Milieux transparent : On voit nettement les objets. Exemple : Air, eau, verre

b- Milieu opaque : on ne voit pas les objets. Exemple : Mur, bois, carton

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

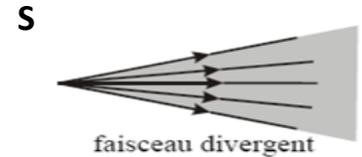
I-6 Faisceau lumineux

On admet que les faisceaux lumineux sont composés de rayons lumineux indépendants les uns des autres. Il en résulte que des rayons issus de différents points d'une source lumineuse ne se perturbent pas les uns les autres et que l'on peut étudier la marche d'un rayon lumineux

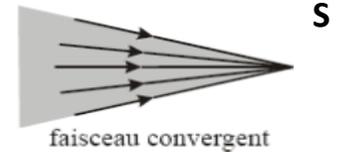
Indépendamment de la marche des autres rayons. Un faisceau lumineux étant constitué de rayons ayant des directions données, en indiquant par une flèche le sens de propagation de la lumière.

On appellera:

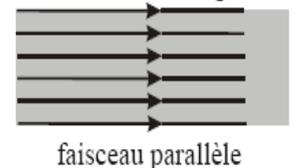
- **Faisceau "divergent"** un faisceau lumineux dont tous les rayons sont issus d'un même point S,



- **Faisceau Convergent** un faisceau lumineux dont tous les rayons aboutissent à un même point, S



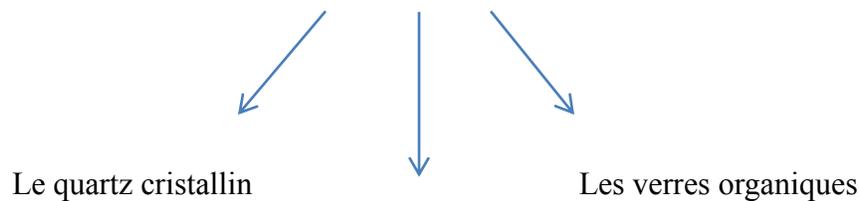
- **Faisceau parallèle** ou "cylindrique" un faisceau lumineux dont tous les rayons sont parallèles.



Les matériaux optiques

L'optique utilise divers matériaux dont les propriétés physiques doivent répondre aux exigences que requiert leur utilisation dans les divers systèmes et montages. Ces verres doivent être soigneusement homogénéisés pour avoir des indices de réfraction uniformes et leur état de surface doit résister aux altérations chimiques.

On trouve aussi:



Enfin, on utilise aussi certains matériaux tels que l'aluminium et l'or en couches de très faible épaisseur sur un support de verre ou de silice à la forme voulue pour réaliser des miroirs ou des réseaux de diffraction.

I-7 Indice des milieux

Le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide c à celle dans le milieu considéré c' est un nombre sans dimension, noté n et appelé "**indice du milieu** »

$$n=c/v$$

Longueur d'onde :

$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{\nu}$ Avec : T : la période ν : est la fréquence

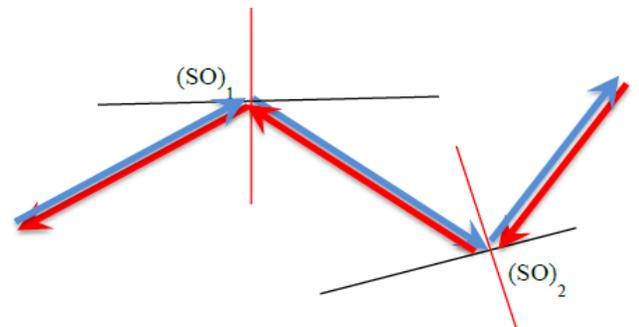
Spectre visible



I-8 Système optique stigmatique et astigmatique : Si la lumière incidente sur un système optique est issue d'un seul point, et émerge du système optique en convergent vers un seul point, il est dit stigmatique. La visibilité d'une image à travers un système optique stigmatique est nette. Sinon, le système optique est dit astigmatique. La visibilité à travers un système optique astigmatique n'est pas nette, elle est floue.

I-9 Principe du retour inverse de la lumière : La trajectoire de la lumière traversant un ensemble de système optique est la même que si l'on inversait son sens de propagation.

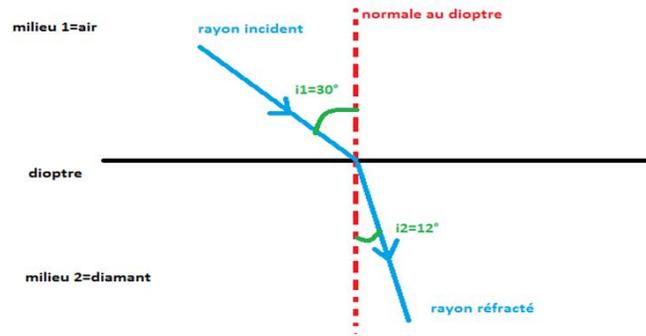
Les rayons lumineux schématisés en bleu définissent le premiers sens de propagation de la lumière, et les rayons lumineux schématisés en rouge définissent le deuxième sens de propagation.



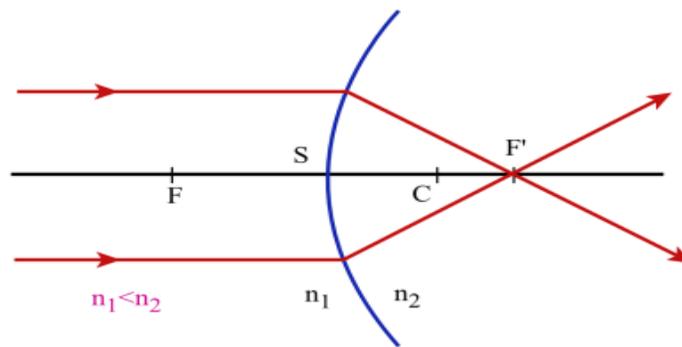
Le chemin suivi par la lumière lorsqu'elle se propage dans un sens est le même que si l'on inversait son sens de propagation.

I-10 Dioptre

On désigne par ce terme toute surface de séparation entre deux milieux homogènes et transparents d'indices différents. Cette surface peut être plane (le dioptre est alors dit plan), sphérique (dioptre sphérique) ou de forme quelconque. Elle peut également être rendue soit totalement soit partiellement réfléchissante par un dépôt d'une fine couche métallique ou par un traitement adéquat. On obtient alors un miroir ou une lame partiellement réfléchissante.



Dioptr plan



Dioptr sphérique

I-11 Lois générales de l'optique géométrique

L'optique géométrique est fondée essentiellement sur le principe de la propagation rectiligne de la lumière et sur les lois de Snell –Descartes, qui fixent les directions des rayons réfléchis et réfractés par rapport au rayon incident à la surface de séparation de deux milieux transparents et homogènes.

I-11-1 Lois de Snell-Descartes

Les lois de Snell - Descartes fixent la direction des rayons réfléchis et réfractés par rapport à celle du rayon incident.

1- Première loi de Descartes

1-1 Plan d'incidence

Le rayon incident rencontre la surface de séparation au point d'incidence. Soit N'N la normale à la surface de séparation au point I. Le rayon incident et cette normale définissent un plan appelé "plan d'incidence".

Énoncé de la première loi

Les rayons réfléchis et réfractés sont dans le même plan d'incidence.

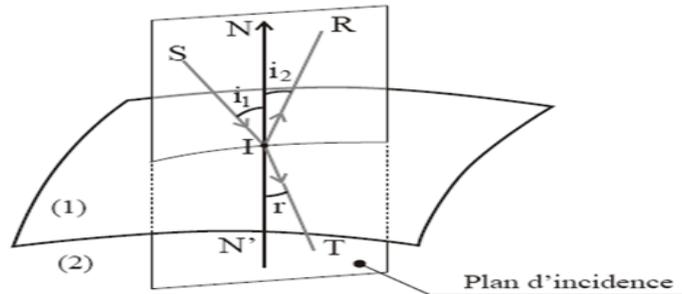
1.2. Deuxième loi de Descartes

Notons :

$$i_1 = (\overrightarrow{IN}, \overrightarrow{SI}) : \text{angle d'incidence}$$

$$r = (\overrightarrow{IN}, \overrightarrow{IR}) : \text{angle de réflexion}$$

$$i_2 = (\overrightarrow{IN}, \overrightarrow{IT}) : \text{angle de réfraction}$$



1.2.1. Loi relative au rayon réfléchi

" Les angles d'incidence et de réflexion ont des valeurs égales mais des signes opposés "

$$i_2 = - i_1$$

1.2.2. Loi relative au rayon réfracté

Il existe un rapport positif constant entre les sinus des angles d'incidence et de réfraction

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \text{constante}$$

Ce rapport ne dépend que de la nature des milieux en contact et de la célérité de la lumière, pour la radiation considérée, dans ces milieux.

$$\text{On a alors : } \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{cv_1}{cv_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

La deuxième loi de Descartes relative à la réfraction s'écrit de manière symétrique :

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

Relation qui fait jouer le même rôle aux milieux (1) et (2), donc indépendante du sens de la lumière et qui traduit le principe du retour inverse de la lumière

1-3 Réfraction limite réflexion total :

L'angle de réfraction i_2 est au maximum égal à $\frac{\pi}{2}$ et selon la valeur du rapport $\frac{n_1}{n_2}$ le rayon

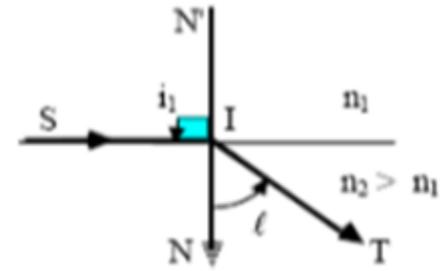
réfracté peut ne pas exister. Examinons les différents cas possibles :

1-3-1 Cas ou $n_1 < n_2$

On dit, dans ce cas, que la lumière passe d'un milieu à un autre plus réfringent et l'on a : $\frac{n_1}{n_2} < 1$ soit $\sin i_2 < \sin i_1$ d'où

$i_2 < i_1$. L'angle de réfraction est inférieur à l'angle d'incidence et il existe toujours un rayon réfracté. Celui-ci se rapproche de la normale. Lorsque $i_1 = \frac{\pi}{2}$, i_2 atteint une valeur limite l appelée

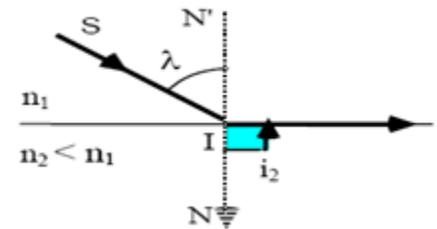
« angle limite de réfraction » donnée par : $\sin l = \frac{n_1}{n_2}$



1-3-2 Cas ou $n_1 > n_2$

La lumière passe d'un milieu à un autre moins réfringent et l'on a :

$\frac{n_1}{n_2} > 1$ soit $\sin i_2 > \sin i_1$ d'où $i_2 > i_1$. Le rayon réfracté s'éloigne de la normale.



Pour une certaine valeur de l'angle d'incidence λ , l'angle de

réfraction i_2 est égale à $\frac{\pi}{2}$. Soit : $\sin \lambda = \frac{n_2}{n_1}$. λ est l'angle critique d'incidence. Si l'angle

d'incidence est supérieur à λ , il n'y a plus de rayon réfracté et l'on a « réflexion totale »

Ordre de grandeur de λ pour des dioptries usuels

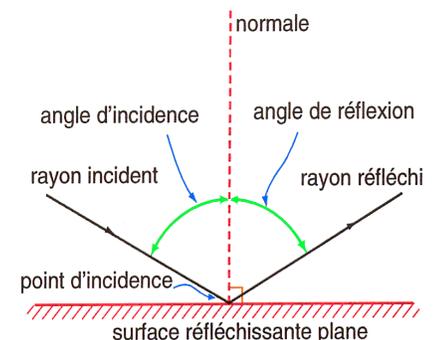
Dioptrie air-eau ($n=1.33$) $\lambda \approx 49^\circ$

Dioptrie air-verre ($n=1.5$) $\lambda \approx 42^\circ$

I-12 Systèmes optiques

I-12-1 Miroir plan

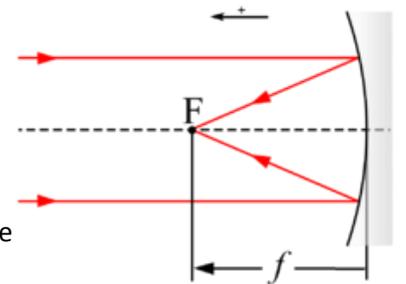
Un miroir est un instrument d'optique qui réfléchit la lumière. Il est constitué d'une surface polie, souvent métallique, placée sous une plaque de verre. L'image par réflexion d'un objet éclairé se forme sur la



surface polie. On trouve des miroirs plans, des miroirs sphériques, convexes ou concaves. Un rayon lumineux émis par le point A atteint le point O (l'œil par exemple) après avoir rebondi en M sur le miroir. Les lois classiques de la réflexion nous indiquent que : Le rayon incident AM et le rayon réfléchi MO sont dans un plan qui contient la droite (n) normale en M au miroir et de part et d'autre de cette normale, l'angle d'incidence i est égal à l'angle de réflexion r . ($i = r$)

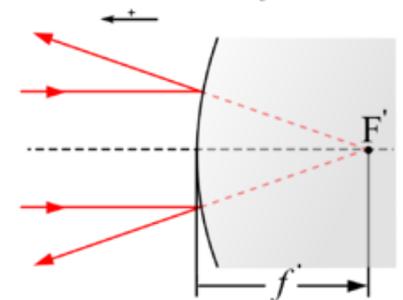
I-12-2 Miroir sphérique

1 Notion de foyer : Le foyer et le point où les rayons parallèles à l'axe optique se croisent après avoir été réfléchis sur un miroir sphérique. Si la surface réfléchissante du miroir sphérique est concave ; le foyer est situé avant la surface réfléchissante, on dit qu'un miroir concave fait converger les rayons



Si la surface réfléchissante du miroir sphérique est convexe; le foyer est situé derrière la surface réfléchissante,

on dit qu'un miroir convexe fait diverger les rayons



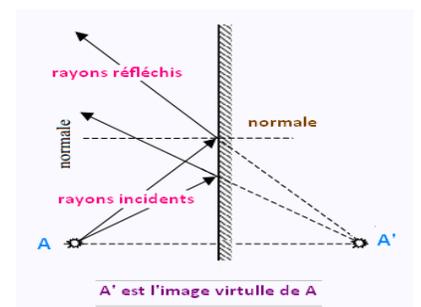
f est appelée la distance focale c'est la distance du foyer au miroir, $f = \frac{R}{2}$ R étant le rayon du miroir sphérique.

I-13 Formation d'image dans un miroir

I-13 -1 Formation d'image dans un miroir plan

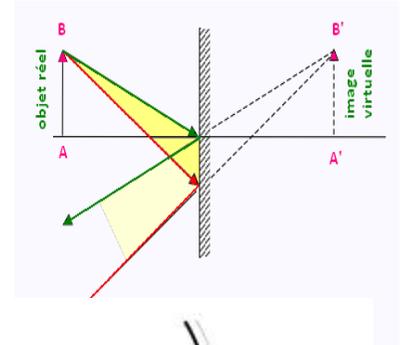
- Objets et images ponctuels

Dans un miroir plan, l'image A' est symétrique de l'objet A par rapport au plan.



- Objets et images étendus

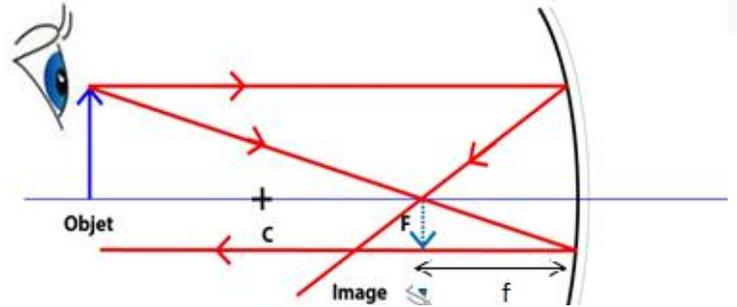
Dans un miroir plan, l'image A'B' est symétrique de l'objet AB par rapport au plan.



I-13- 2 Formation d'image dans un miroir sphérique

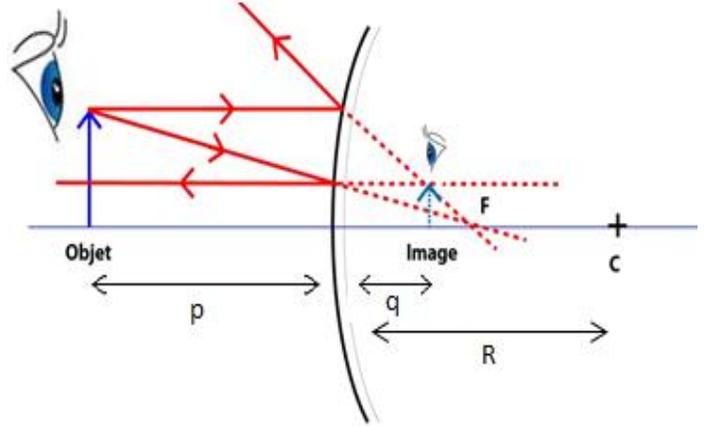
1- Miroir concave

Objet réel image réelle renversée c'est-à-dire que le haut et le bas sont permutés comme c'est montré sur la figure



2- Miroir convexe

Objet réel image virtuelle droite c'est-à-dire que le haut et le bas ne sont pas permutés.



3- _Formule de conjugaison de Descartes

La formule des miroirs qui permet de trouver la position d'une image lorsqu'un objet est placé devant un miroir sphérique est :

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} = \frac{2}{R}$$

Où p est la distance de l'objet au miroir (en mètres),

q est la distance de l'image au miroir (en mètres),

f est la distance focale en mètres,

R est le rayon de courbure de miroir en mètres.

Par convention on a :

$q > 0 \longrightarrow$ image devant le miroir elle est donc réelle.

$q < 0 \longrightarrow$ image derrière le miroir, elle est donc virtuelle.

$R > 0$ et $f > 0 \longrightarrow$ miroir concave.

$R < 0$ et $f < 0 \longrightarrow$ miroir convexe.

4- Le grandissement

La dimension de l'image peut être plus grande ou plus petite que la dimension de l'objet.

Le grandissement donne le rapport de la dimension de l'image et de l'objet.

Soit
$$\gamma = \frac{h'}{h} = -\frac{q}{p}$$

γ est le grandissement,

h' est la grandeur de l'image,

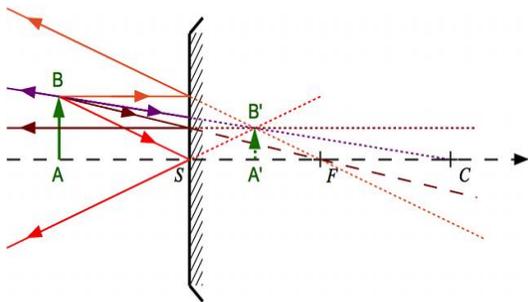
h est la grandeur de l'objet.

Par convention : $\gamma > 0 \longrightarrow$ image droite. $\gamma < 0 \longrightarrow$ image renversée.

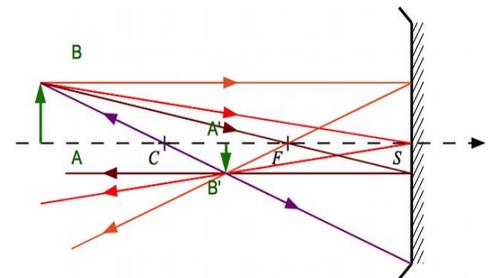
5- Construction des rayons optiques :

La construction des rayons optiques est basée sur 3 rayons optiques particuliers :

- Le rayon issu de l'objet passant par le centre et qui n'est pas dévié.
- Le rayon issu de l'objet parallèle à l'axe optique passe par le foyer.
- Le rayon issu de l'objet passant par le foyer émerge parallèlement à l'axe optique.



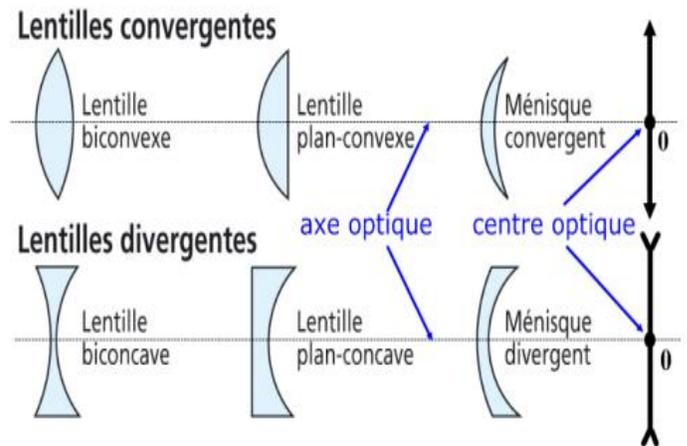
Cas d'un miroir convexe



Cas d'un miroir concave

6- Les lentilles

On appelle lentille un corps transparent qui est le plus souvent fabriquée en verre ou en matière plastique, limité par deux surfaces courbes ou une surface courbe et une surface plane. Dans la plupart des cas, ces surfaces sont sphériques. Une lentille convergente est une lentille dont le bord est plus mince que la partie centrale. Le bord d'une lentille divergente est plus épais que sa partie centrale.



6-1 Passage de la lumière à travers une lentille convergente mince

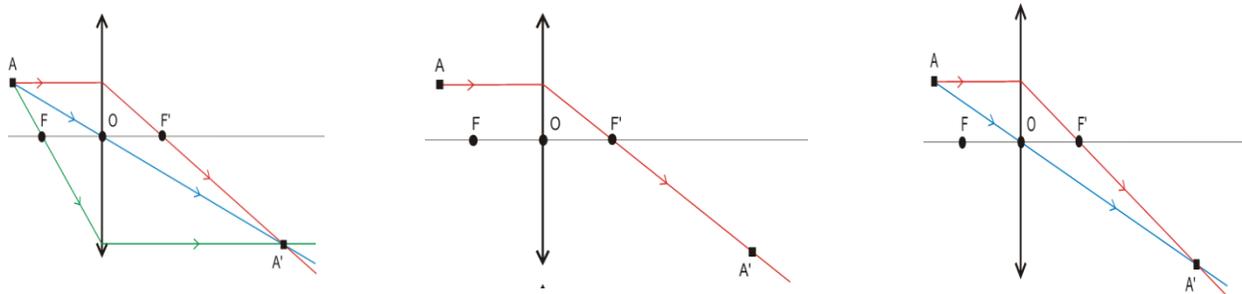
Puisqu'en général une lentille est très mince on ne tient pas compte de son épaisseur. On peut donc négliger le déplacement latéral des rayons obliques par rapport à l'axe optique et passant par le centre optique. (En outre on n'a pas besoin de tracer la marche des rayons à l'intérieur de la lentille.)

a- Passage de la lumière à travers le centre optique

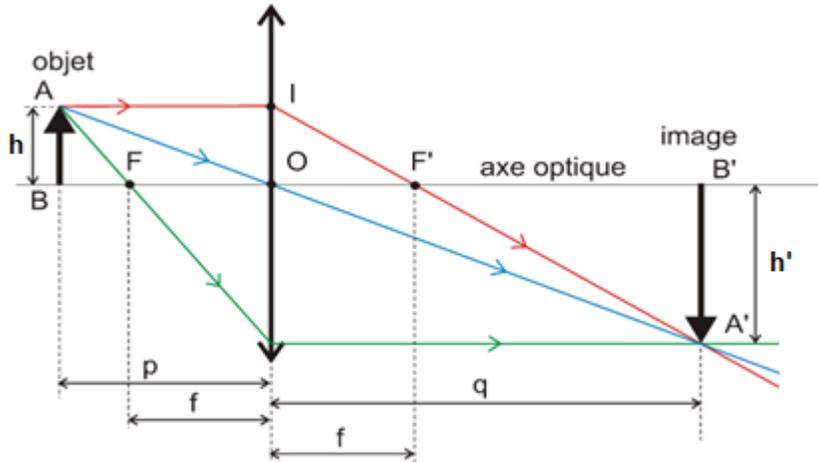
Règle 1: Tout rayon incident passant par le centre optique d'une lentille n'est pas dévié par la lentille.

Règle 2 : Tout rayon passant par l'un des foyers d'une lentille est parallèle à l'axe optique de l'autre côté de la lentille.

Règle 3 : Tout rayon issu de l'objet parallèle à l'axe optique passe par le foyer de l'image



6-2 Relations des lentilles et formation d'image



La formule de conjugaison de Descartes est une relation entre les positions sur l'axe optique d'un objet A et de son image A' par rapport au centre optique O . Elles sont exprimées avec des distances algébriques.

Soit A un point de l'axe optique et A' son image par la lentille supposée mince:

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

Dans le cas d'une lentille convergente, on a $f' > 0$ et dans le cas d'une lentille divergente, $f' < 0$.