Chapitre 10 : Optique Géométrique

Public cible :
Ce cours est destiné aux étudiants de la première année Docteur Vétérinaire, il est conseillé à toute personne qui veut avoir une idée sur l'optique géométrique.

Objectifs du cours
L'objectif de ce cours est la maîtrise des concepts de base : la réfraction, la réflexion, l'image réelle et virtuelle et la construction de rayons dans un système optique centré.

Au terme de ce chapitre l'étudiant doit être capable de :

- Assimiler les fondements de l'optique géométrique et d'avoir une idée précise sur la nature de la lumière et sur les milieux transparents.
- Connaître les lois générales et les principes fondamentaux qui régissent l'optique géométrique dans les milieux homogènes.
- Comprendre la notion d'image d'un objet donnée par un système optique ainsi que les notions de stigmatisme rigoureux et approché.
- Appliquer les notions précédentes à l'étude des systèmes optiques à faces planes comme le dioptre plan et la lame à faces parallèles, et à faces sphériques comme les dioptres sphériques.
- Déterminer les éléments caractéristiques des dioptres plans, sphériques et des lentilles et de construire les images données par ces systèmes et par leur association.
- Connaître les principaux instruments d'optique et leur domaine d'utilisation dans l'observation des objets et la mesure de leur dimension, l'obtention et la reproduction des images.

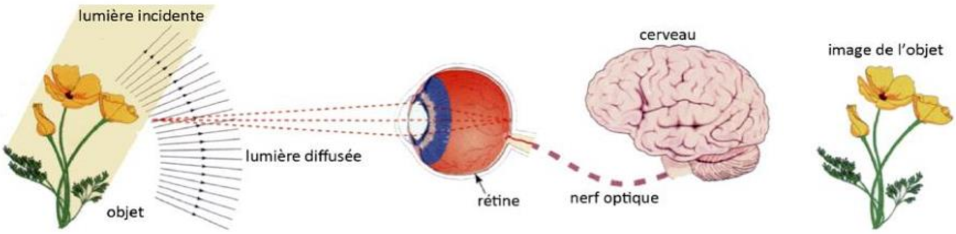
Pré requis :
- Connaissance de base : Propriétés des ondes électromagnétiques (Période, Fréquence, Longueur d'ondes…).
- Les outils mathématiques : Trigonométrie élémentaire.

1. Fondements de l'optique géométrique

1.1. Définitions

- **L'optique** (du grec "optikos" signifiant relatif à la vue) est la branche de la physique qui traite de la lumière visible, son comportement, sa propagation et de ses propriétés, de la vision ainsi que les systèmes utilisant ou émettant de la lumière.

Elle étudie les lois régissant les phénomènes lumineux et en particulier la vision. C'est-à-dire les phénomènes perçus par l'œil et le l'information transmise à celui-ci. Cette information portant sur la forme de l'objet observé, sa couleur, sa position…..



La lumière est l'agent qui nous permet de voir

- **L'optique géométrique :** s'intéresse au trajet de la lumière à partir des propriétés des milieux qu'elle traverse

1.2. Nature de la lumière

La lumière transport de l'énergie sous forme d'onde électromagnétique dans le vide ou dans un milieu transparent. Elle résulte en général de la superposition des ondes de différentes longueurs d'onde. Une lumière monochromatique correspond à une seule onde sinusoïdale de fréquence bien déterminée, alors qu'une lumière polychromatique est constituée de plusieurs ondes électromagnétique.

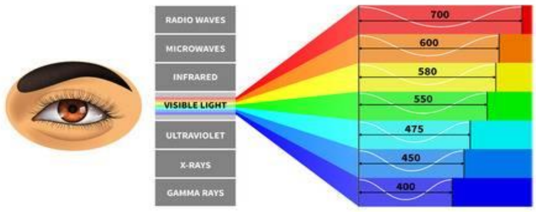
• Dans le vide, la lumière se propage dans toutes les directions de l'espace à la vitesse :

$$c = 2{,}99.\ 10^{-8}\ \mathrm{m/s}$$

• La longueur d'onde λ dans le vide, la fréquence ν et la période T sont liées par

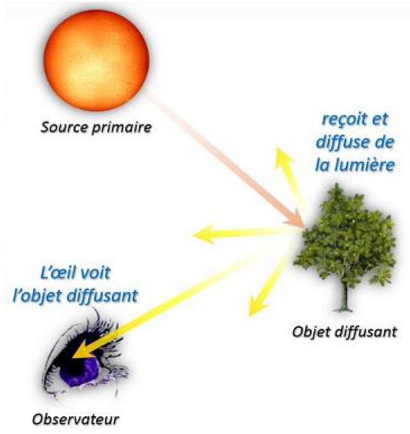
$$\lambda = c.T = \frac{c}{\nu}.$$

• Le domaine de la lumière visible par l'œil humain correspond aux longueurs d'onde comprises entre 0,4 µm et 0,8 µm (400 nm et 800 nm).



1.3. Principe de propagation rectiligne de la lumière

- **Sources lumineuse :**



Une source de lumière est un corps qui émet (qui projette) de la lumière autour de lui.
On distingue deux sortes de source de lumière :

- **Les sources primaires**.

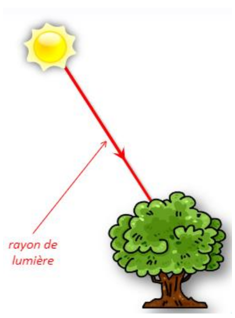
Ce sont des corps qui produisent la lumière qu'ils émettent. On trouve le Soleil, les flammes, des braises incandescentes, le filament d'une lampe etc….

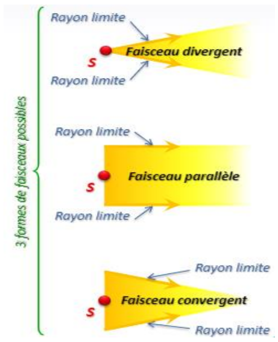
- **Les objets diffusants (sources secondaires)**.

Ce sont des corps qui ne produisent pas de lumière mais qui renvoient la lumière reçue. On dit que ces corps diffusent la lumière.
La diffusion est un phénomène au cours duquel un corps commence par recevoir de la lumière puis renvoie toute ou une partie de cette lumière dans toutes les directions.
Un objet diffusant n'est donc une source de lumière que lorsqu'il est lui même éclairé par une source primaire ou par un autre objet diffusant.
La Lune, éclairée par le Soleil, ainsi que les autres planètes du système solaire sont des objets diffusants. En fait tout les objets (et les personnes) qui nous entourent sont des objets diffusant car ils diffusent la lumière des lampes ou celle du Soleil.

- **Rayon de lumière :** La lumière est décrite par un ensemble de rayons lumineux indépendants. Ces rayons lumineux sont caractérisés par une direction de propagation et une vitesse de propagation v.

Ces rayons lumineux (issus d'une source) se propagent en ligne droite dans tout milieu homogène à une vitesse qui dépend du milieu.

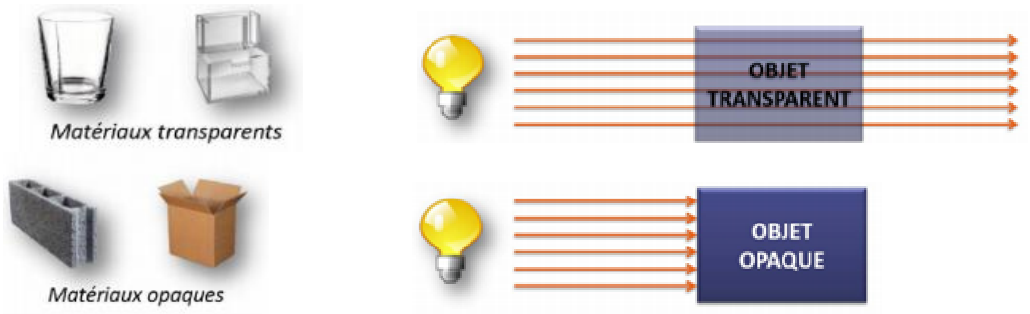




- **Faisceau de lumière :** c'est un ensemble de rayons lumineux émis par la source et compris entre deux rayons limites. Il peut être :

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

- **Milieu de propagation de la lumière :** Les milieux comme le verre, l'eau et l'air, laissent passer la lumière. Ce sont des milieux transparents. Les milieux comme le carton, l'acier ne laissent pas passer la lumière. Ce sont des milieux opaques



La lumière se propage en ligne droite dans un milieu transparent.

- **Vitesse de propagation de la lumière :** Dans le vide, la lumière se propage en ligne droite à la vitesse C=3.10^{8}m/s, alors que dans un milieu transparent, homogène (il a les mêmes propriétés physiques en tout point) et isotrope (il a mêmes propriétés physiques dans toutes les directions), la lumière se propage en ligne droite mais à une vitesse **v** :

$$\boldsymbol{V = \frac{C}{n} < C}$$

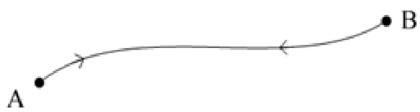
Où le scalaire *n* est une grandeur sans dimension, appelé **indice de réfraction**. Il est caractéristique du milieu (n>1). Ce tableau donne quelques valeurs d'indice n.

Quelques indices de réfraction

Milieu	air	eau	verre	diamant
Indice n	1,0003	1,33	1,5-1,8	2,42

Un milieu dont l'indice est supérieur à un autre milieu, est dit plus réfringent.

- **Principe du retour inverse de la lumière : U**n rayon lumineux issu d'un point A, traversant plusieurs milieux et aboutissant à un point B, suivra exactement le même chemin qu'un rayon lumineux issu du point B et aboutissant au point A. On dit que le trajet suivi par la lumière est indépendant du sens de propagation.



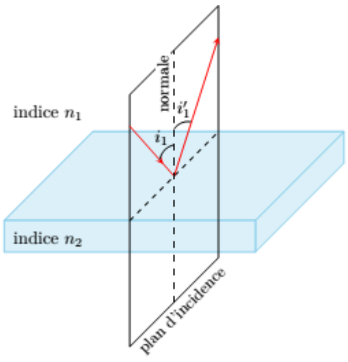
2. Lois générales de l'optique géométrique

2.1. Réflexion de la lumière

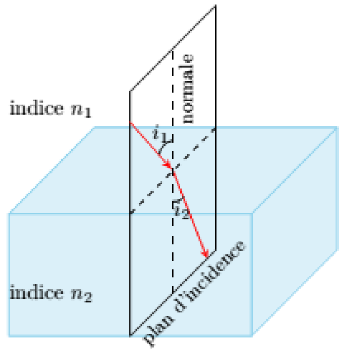
Lorsqu'un rayon arrive à l'interface entre deux milieux isotropes et homogènes différents, il donne naissance à un rayon réfléchi et à un rayon transmis (réfracté)

On définit le plan d'incidence comme le plan contenant le rayon incident et la normale à l'interface. L'angle d'incidence i_1 et l'angle de réflexion i'_1 sont respectivement les angles que forment le rayon incident et le rayon réfléchi avec la normale.

1ère loi de réflexion : Le rayon incident, le rayon réfléchi est la normale à la surface de séparation sont dans le plan d'incidence.
2ème loi de réflexion : Le rayon réfléchi est symétrique du rayon incident par rapport à la normale. L'angle d'incidence et l'angle de réflexion sont liés par la première loi de Snell-Descartes : **$i_1 = i'_1$.**



Réflexion d'un rayon sur une interface.



Réfraction d'un rayon lumineux.

2.2. Réfraction de la lumière

La réfraction est la déviation de la lumière lorsqu'elle traverse l'interface entre deux milieux transparents d'indices de réfraction différents. L'angle de réfraction i_2 est l'angle que forme le rayon réfracté avec la normale.

1ère loi de réfraction : Le rayon incident, le rayon réfracté est la normale à la surface de séparation sont dans le plan d'incidence.
2ème loi de réfraction : L'angle d'incidence et l'angle de réfraction sont liés par la deuxième loi de Snell-Descartes : **$n_1.\sin(i_1)= n_2.\sin(i_2)$**

Les lois de Snell-Descartes obéissent au principe de retour inverse de la lumière : tout trajet suivi par la lumière dans un sens peut l'être dans le sens opposé.

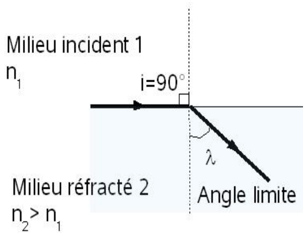
$$n_1.\sin(i_1)= n_2.\sin(i_2) \Rightarrow \frac{Sin(i_2)}{Sin(i_1)} = \frac{n_1}{n_2},$$

L'angle de réfraction **i_2** dépend des indices de réfraction des deux milieux n_1 et n_2. Selon ces deux valeurs le rayon réfracté **<u>peut ne pas exister</u>**. Examinons les différents cas possibles.

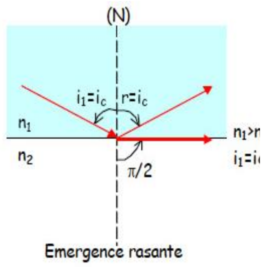
➢ **<u>Si $n_1 < n_2$</u> :** On dit que la lumière passe d'un milieu à un autre **plus réfringent** et l'on a : $\frac{n_1}{n_2} < 1 \rightarrow \sin(i_1) > \sin(i_2) \rightarrow i_1 > i_2$. L'angle de réfraction est inférieur à l'angle d'incidence, dans ce cas **le rayon réfracté existe toujours**. Il se rapproche de la normale ;

$$\left|\begin{array}{l} 0° \leq i_1, i_2 \leq 90°, i_1 > i_2 \\ i_1 = i_{min} = 0° \quad \Rightarrow i_2 = i_{min} = 0° \\ i_1 = i_{max} = 90° \;\Rightarrow i_2 = i_{max} = \lambda;\; \lambda < 90° \end{array}\right.$$

λ, est **l'angle limite de réfraction** calculé par: $\boldsymbol{sin(\lambda) = \frac{n_1}{n_2}}$



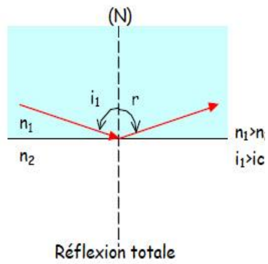
➢ **<u>Si $n_1 > n_2$</u> :** On dit que la lumière passe d'un milieu à un autre **moins réfringent** et l'on a : $\frac{n_1}{n_2} > 1 \rightarrow \sin(i_1) < \sin(i_2) \rightarrow i_1 < i_2$. L'angle de réfraction est supérieur à l'angle d'incidence, le rayon réfracté s'éloigne de la normale ;



$0° \leq i_1, i_2 \leq 90°, i_1 < i_2$

$$\left|\begin{array}{ll} i_1 = i_{min} = 0° & \Rightarrow i_2 = i_{min} = 0° \\ i_1 = i_c & \Rightarrow i_2 = i_{max} = 90°;\ i_c < 90° \end{array}\right.$$

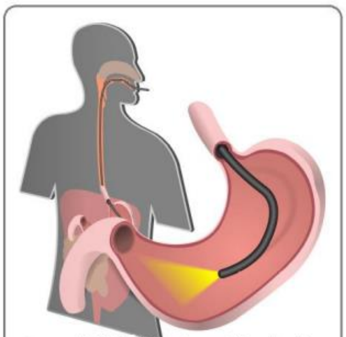
Pour une certaine valeur d'incidence i_c, l'angle de réfraction i_2 est égal à 90° λ, est **l'angle critique d'incidence** calculé par : $\boldsymbol{sin(i_c) = \frac{n_2}{n_1}}$



$$\left|\begin{array}{ll} i_1 > i_c & \Rightarrow i_2 = !! \\ i_1 = 90° & \Rightarrow i_2 = !! \end{array}\right.$$

Si l'angle d'incidence est supérieur à i_c, **il n'y a plus de rayon réfracté** et l'on a une **réflexion totale.**

2.3. Application - la fibroscopie

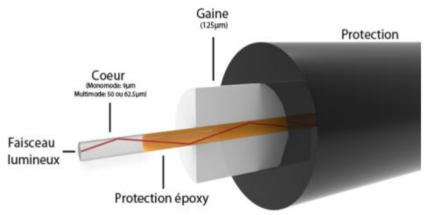


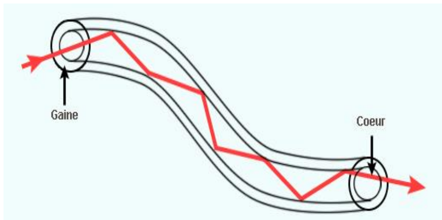
Source: PODIPS (Pôle des maladies digestives Antony Paris Sud

- La **fibroscopie** est un examen médical permettant de visualiser L'intérieur du corps (intestin, estomac, cordes vocales, cœur, artères, ..) Cette technique consiste à y introduire par les voies naturelles un tube souple extra-fin appelé **fibroscope.**

- Un **fibroscope** est constitué de deux **fibres optiques :**
  - **La 1ère** : permet **d'éclairer** l'organe à explorer
  - **La 2ème** : permet de **transmettre** l'image au médecin.

- Une **fibre optique** est un **tuyau fin** constitué de **deux milieux** d'indices différents (d'un cœur en verre (n_1) entouré d'une gaine (n_2), $n_1 > n_2$) permettant la propagation de la lumière.



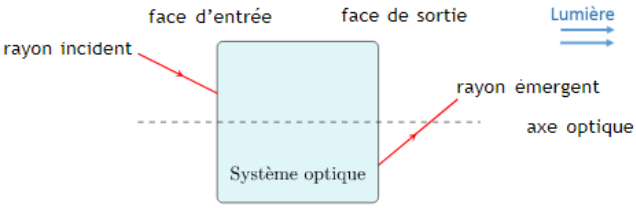


Tout rayon incident pénètre dans le cœur sous une incidence i_1 sur la surface cœur-gaine soit supérieur à l'angle critique d'incidence, subira une réflexion totale. Le rayon réfléchi subit encore une réflexion totale lorsqu'il tombe de nouveau sur la surface cœur-gaine. Le rayon est ainsi "piégé" à l'intérieur de la fibre et se propage grâce à de réflexions totales successives.

3. Les systèmes optiques

3.1. Système optique centré

C'est l'ensemble des milieux transparents d'indice de réfraction différents séparés par des dioptres et possédant un axe de symétrie appelé axe optique orienté dans le sens de propagation de la lumière. Les intersections des différentes surfaces avec l'axe optique sont appelées "sommets" de ces surfaces. L'axe optique étant perpendiculaire à toutes les surfaces.

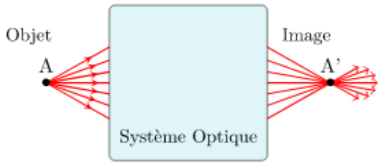


Représentation d'un système optique

Ce système transforme un rayon lumineux incident en un rayon émergeant dans une direction différente de la direction incidente.

3.2. Les images données par un système optique

Soit un système optique (S). On dit qu'un point A' est l'image d'un point A à travers (S), ou que A et A' sont conjugués à travers (S), si à tous les rayons incidents dont les supports passent par A, correspondent des rayons émergents dont les supports passent tous par A'.

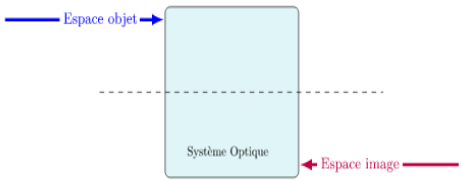


Formation d'un point image

3.3. Espaces objet et image

Autour d'un système optique s'organise deux espaces : espace objet et espace image.

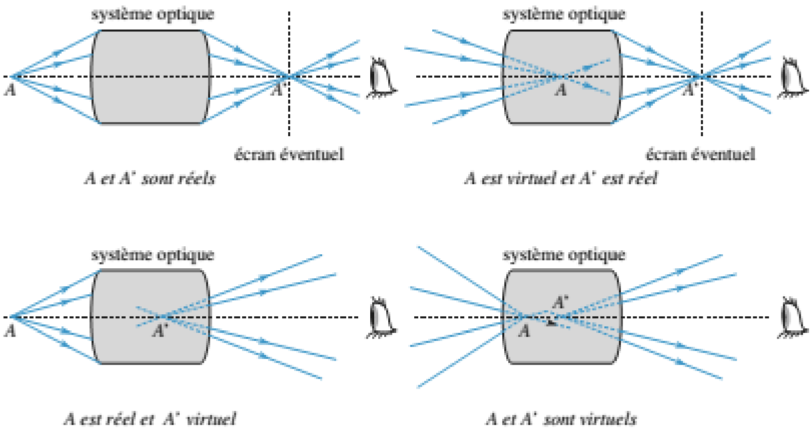
- L'espace objet est la région de l'espace située avant la face d'entrée du système (S)
- L'espace image est la région de l'espace située après la face de sortie de (S)



Espaces objet et image

3.4. Nature de l'objet et de l'image

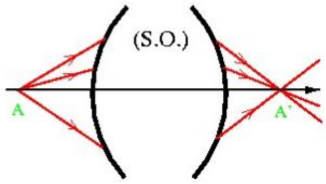
Un objet est réel :
S'il se trouve dans l'espace objet → Les rayons incidents passent effectivement par A.
Une image est réelle :
S'elle se formant dans l'espace image → Les rayons émergents passent effectivement par A'



Un objet est virtuel :
S'il se trouve après la face d'entrée de (S) → Les prolongements des rayons incidents passent par A
Une image est Virtuelle :
S'elle se formant avant la face de sortie de (S) → Les prolongements des rayons émergents passent par A'

3.5. Notions de Stigmatisme

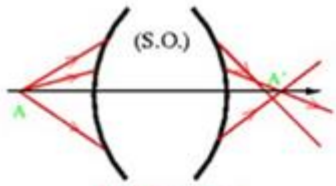
- **Le Stigmatisme rigoureux:** Un système est rigoureusement stigmatique quand il donne une image nette de bonne qualité. Autrement dit, lorsque l'image d'un point est un point : c'est la condition de stigmatisme.



Stigmatisme rigoureux

Stigmatisme

- **Astigmatisme :** Un système optique est astigmate quand il donne une image floue. L'image d'un point est une tache (le système ne présente pas la condition de stigmatisme)



Astigmatisme

Astigmatisme

- **Stigmatisme approché (Approximation de Gauss) :** Un système optique centré donnera une image de bonne qualité d'un objet si les deux conditions suivantes, dites **conditions de Gauss**, sont satisfaites :

Condition 1 : les rayons incidents sont très proches de l'axe optique
Condition 2 : Les rayons incidents sont peu inclinés par rapport à l'axe optique.

Conditions de stigmatisme approché ≡ Condition de Gauss.

$$n_1.\sin(i_1) = n_2.\sin(i_2) \Rightarrow \mathbf{n_1.i_1 = n_2.i_2}$$

Les conditions de Gauss assurent aux systèmes centrés un stigmatisme (conjugaison point à point), et un aplanétisme (conjugaison plan à plan) approchés.
Le stigmatisme permet d'associer à un point de l'axe une image sur l'axe: une relation de conjugaison caractéristique traduit cette propriété.

3.6. Propriétés des systèmes centrés

- **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 ".

- **Grandissement :** Le grandissement linéaire transversal γ est définit le rapport des valeurs algébriques des dimensions linéaires de l'image A'B' à celles de l'objet AB :

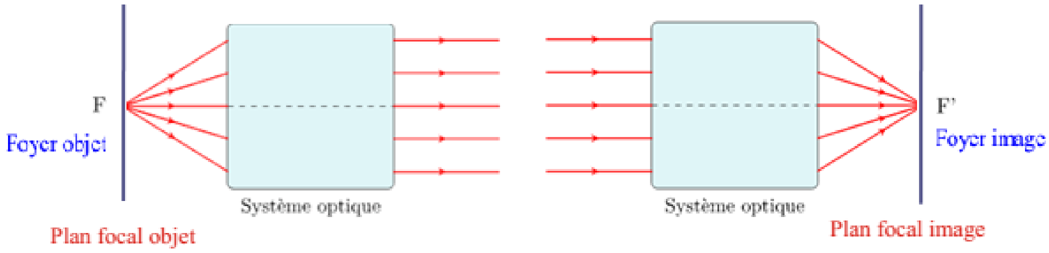
$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

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

3.7. Principaux éléments d'un système centré

Les foyers d'un système optique sont des points particuliers :

- **Foyer image :** Un rayon issu d'un point objet à l'infini sur l'axe (parallèle à l'axe optique), émerge du système en passant par un point F' de l'axe. Le point F' est l'image de l'objet A∞ situé à l'infini sur l'axe. Il est appelé " foyer image ". Le plan perpendiculaire à l'axe et passant par F', est appelé le **plan focal image**.

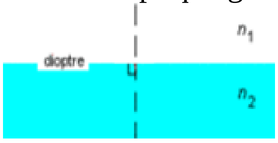


- **Le foyer objet F** est le point objet d'une image située à l'infini, (les rayons émergents parallèles à l'axe optique). Le plan passant par F et perpendiculaire à l'axe optique du système est appelé le **plan focal objet.**

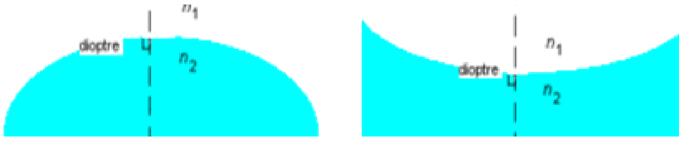
4. Dioptres dans les conditions de Gauss

Un dioptre est une surface de séparation entre deux milieux homogènes et transparents d'indices de réfraction différents. On parle de dioptre plan si la surface de séparation est un plan et de dioptre sphérique si c'est une sphère
Si la lumière se propage en ligne droite dans un milieu homogène et isotrope, elle est déviée lors du passage d'un dioptre : il y a réfraction. De façon générale, il y a à la fois réfraction

et réflexion : une partie de la lumière est réfléchie à la surface du dioptre (environ 3%) et l'autre partie est réfractée lors de son passage dans l'autre milieu.
Le changement de direction au niveau du dioptre est décrit par les lois de Snell-Descartes qui fondent l'optique géométrique.



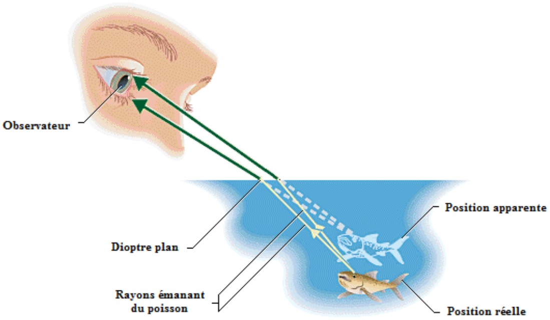
Dioptre plan

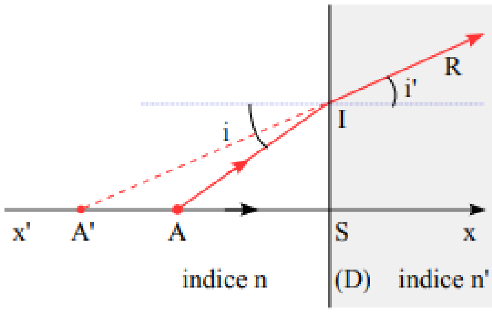


Dioptre sphérique

4.1. Dioptre plan

Le dioptre plan est constitué de deux milieux transparents inégalement réfringents séparés par une surface plane et donnant toujours une image qui a la même dimension que l'objet.
Les rayons incidents sont réfractés, ce qui est à l'origine d'une illusion d'optique. Ainsi, lorsqu'un observateur regarde un poisson dans l'eau, il voit l'image virtuelle du poisson qui semble située, pour l'œil, dans la direction du rayon incident.





- **Stigmatisme d'un dioptre plan**

Considérons un point objet A dans le milieu d'indice n. Le système étant de révolution autour de la normale AS, le rayon AS traverse la surface sans déviation. Si une image de A' existe, elle est certainement sur AS.

Soit un rayon incident AI arrivant sur le dioptre avec un angle d'incidence i. Le rayon réfracté IR correspondant coupe AS en A' tel que :

SI = SA.tan(i) = SA'.tan(i')

$$SA' = SA.\frac{\sin(i)}{\cos(i)}.\frac{\cos(i')}{\sin(i)}$$

$$sin(i') = \frac{n}{n'}sin(i)$$

$$\cos(i) = \sqrt{1-\sin^2(i)}$$

$$\cos(i') = \sqrt{1-(\tfrac{n}{n'})^2 sin(i)^2}$$

$$SA' = SA\frac{n'}{n}\sqrt{\frac{1-\left(\frac{n}{n'}\right)^2 sin^2(i)}{1-sin^2(i)}}$$

Lorsque i varie SA' n'est pas constante : les rayons réfractés ne passent pas par le même point A', dans ce cas l'image est floue, et le dioptre plan n'est pas stigmatique.

Un dioptre plan dans les conditions de Gauss : les rayons incidents sont à faible incidence ($i \to 0°$, $\sin(i) \to 0$).

$$SA' = SA\frac{n}{n'}\sqrt{\frac{1-\left(\frac{n}{n'}\right)^2 sin^2(i)}{1-sin^2(i)}} \quad \rightarrow \quad \boldsymbol{\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}} = \frac{n'}{n}}$$

La relation obtenue, appelée ***relation de conjugaison*** ". Elle montre que $\overline{SA}$ et $\overline{SA'}$ sont toujours de même signe et; par conséquent; que l'objet A et son image A' sont dans le même milieu et toujours de natures opposées.
La distance entre l'objet et l'image est donnée par :

$$\boldsymbol{\overline{AA'} = \overline{SA'} - \overline{SA} = \overline{SA}\,(\frac{n'}{n} - 1)}$$

Il y a un rapprochement apparent de A vers la surface si n'<n et un éloignement apparent si n'>n.

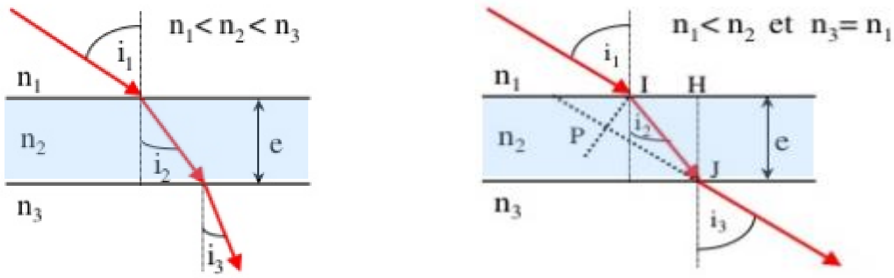
4.2. Lame à faces parallèles

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

Dans le cas général où les milieux extrêmes ont des indices différents ($n_1$et n_3), un rayon incident arrivant sur la lame sous un angle d'incidence i_1 et se réfractant une première fois sur la face d'entrée (i_2) puis une deuxième fois sur la face de sortie, en ressort sous un angle i_3.

Face d'entrée : $n_1.sin(i_1)= n_2.sin(i_2)$
Face de sortie : $n_2.sin(i_2)= n_3.sin(i_3)$ $\Rightarrow$ $n_1.sin(i_1)= n_3.sin(i_3)$

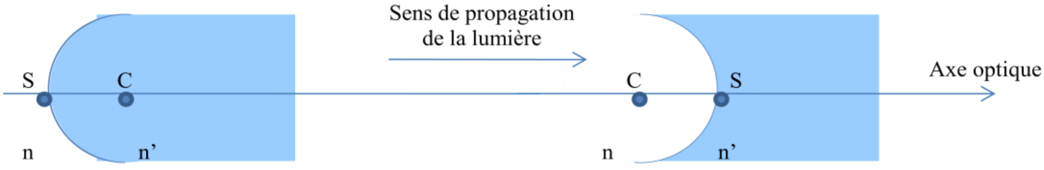
Les angles de réfraction et d'incidence à l'intérieur de la lame étant égaux.



Le cas le plus intéressant est celui où les milieux extrêmes sont les mêmes ($n_1= n_3$).
$n_1.sin(i_1) = n_1.sin(i_3) \Rightarrow i_1= i_3$, Le rayon émergent est alors parallèle au rayon incident : on a pas de déviation (D= i_3-i_1=0°), le rayon subit juste un **décalage IP.**

4.3. Dioptre Sphérique

Un dioptre sphérique est une portion de surface sphérique réfringente séparant deux milieux homogènes et transparents d'indices différents. Il est caractérisé par :
- Le centre *C* de la sphère appelé centre de dioptre
- Le point *S* appelé sommet du dioptre.
- L'axe optique, l'axe de symétrie de révolution du dioptre, passant par les points *C* et *S*.
- Le rayon de la sphère R=$\overline{SC}$, appelé le rayon de courbure, une quantité algébrique qui est négative pour un dioptre sphérique concave $\overline{SC} < 0$ et positive pour un dioptre sphérique convexe $\overline{SC} > 0$.



Dioptre convexe **Dioptre Concave**

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

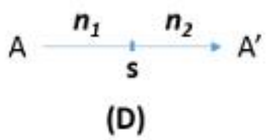
Quatre cas possibles pour le dioptre sphérique :

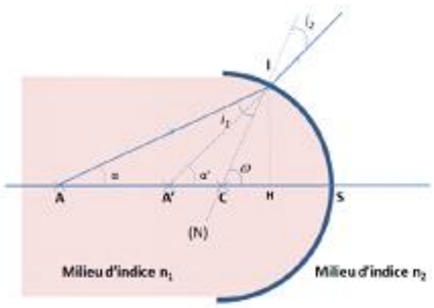
- $\overline{SC} < 0$ et $n_1 < n_2 \rightarrow$ Dioptre sphérique concave divergent.
- $\overline{SC} < 0$ et $n_1 > n_2 \rightarrow$ Dioptre sphérique concave convergent.
- $\overline{SC} > 0$ et $n_1 < n_2 \rightarrow$ Dioptre sphérique convexe convergent.
- $\overline{SC} > 0$ et $n_1 > n_2 \rightarrow$ Dioptre sphérique convexe divergent.

Soit un rayon incident parallèle à l'axe optique :

- ❍ Quand il se rapproche de l'axe optique ≡ Convergent.
- ❍ Quand il s'écarte de l'axe optique ≡ Divergent.

- **Relations de conjugaison**





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

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

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

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

D'après la loi de Snell-Descartes et de la condition de Gauss, on : $n_1\, i_1 = n_2\, i_2$

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

$$\alpha = \tan\alpha = \frac{\overline{SI}}{\overline{SA}}$$

$$\alpha' = \tan\alpha' = \frac{\overline{SI}}{\overline{SA'}}$$

$$\omega = \tan\omega = \frac{\overline{SI}}{\overline{SC}}$$

On trouve la relation de conjugaison du dioptre sphérique :

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

V : la vergence ou la puissance du dioptre (unité : Dioptrie = m^{-1}).
- Si V > 0 : Dioptre convergent
- Si V < 0 : Dioptre divergent

- **Foyers du dioptre sphérique :**

- Foyer objet F : est le point objet d'une image formée à l'infini, La distance focale objet *f* est la mesure algébrique $\overline{SF}$.

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

- Foyer image F': est le point image d'un objet situé à l'infini. La distance focale image *f'* est la mesure algébrique $\overline{SF'}$.

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

Nous remarquons que :

$$\frac{\overline{SF'}}{\overline{SF}} = -\frac{n_2}{n_1} < 0$$

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

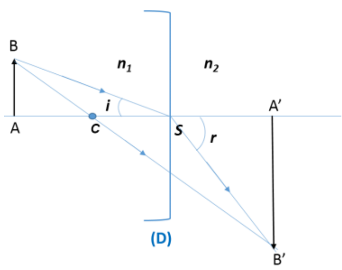
Et donc :

$$\overline{SF} + \overline{SF'} = \overline{SC}$$

- **Le grandissement γ :**

On a

$$tan\ i \approx i = \frac{\overline{AB}}{\overline{SA}}\ ;\quad tan\ r \approx r = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{SA'}}$$



D'après la loi de Snell-Descartes de la réfraction : $n_1\, i = n_2\, r$
En trouve l'expression du grandissement :

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

- Si $\gamma > 0$ (+) l'image est **droite** (elle a le même sens que l'objet).
- Si $\gamma < 0$ (-) l'image est **renversée** (sens inverse).

- Si $|\gamma| > 1$ l'image est **plus grande** que l'objet.
- Si $|\gamma| < 1$ l'image est **plus petite** que l'objet.
- Si $\gamma = 1$ l'image et l'objet ont **la même taille**.

- **Les caractéristiques de l'image :**

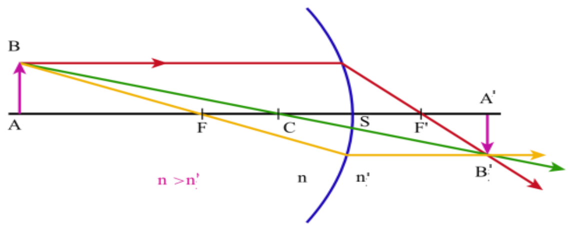
- La position de l'image : $\overline{SA'}$

- Si $\overline{SA'} > 0$ l'image est réelle
- Si $\overline{SA'} < 0$ l'image est virtuelle

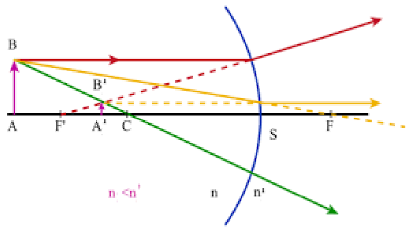
- La nature de l'image :

→ Dire si elle est réelle ou virtuelle.
→ Dire si elle est droite ou renversée :
→ Dire si elle est agrandie, réduite ou de même taille que l'objet

- **Construction géométrique de l'image**
  - Il faut placer l'objet **AB**: réel ou virtuel
  - Construire l'image **B'** du point **B**: il suffit de considérer deux rayons issus de ce point :
    - le rayon incident parallèle à l'axe optique passe par F'
    - le rayon incident qui passe par F sort du dioptre parallèle à l'axe optique
    - Le rayon qui passe par le centre C du dioptre n'est pas dévié
  - **A'** est le projeté orthogonal de **B'** sur l 'axe optique.



Concave convergent



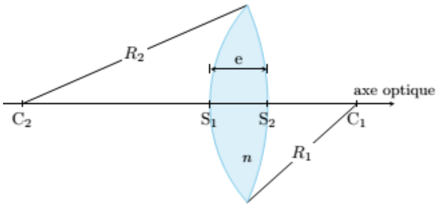
Concave divergent

5. Lentilles minces

Les lentilles sont des constituants essentiels des systèmes optiques, elles permirent de découvrir l'univers infiniment grand (télescope) et l'infiniment petit (microscope) et de corriger la vue (lunette).
On les trouve dans la vie courant (lunettes, lentilles de contact, appareils photographiques) que dans le domaine de la recherche scientifique (télescopes, spectrographes, microscopes…).

5.1. Description

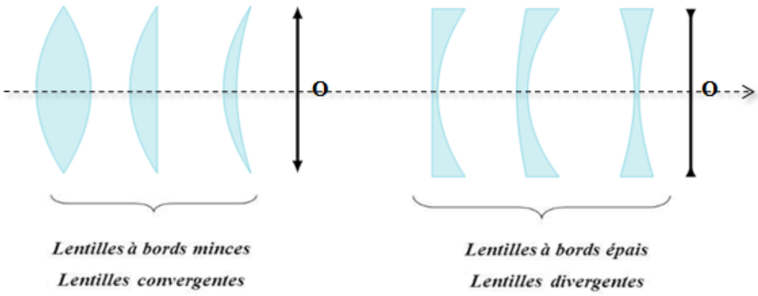
Une lentille mince est formée par l'association de deux dioptres sphériques, ou d'un dioptre sphérique et d'un dioptre plan, de grand rayon de courbure (R_1, R_2) par rapport à l'épaisseur de la lentille (e).



Lentille optique.

Dans l'approximation des lentilles minces, les sommets S_1 et S_2 sont considérés confondus en un point O appelé le centre optique.
On distingue deux types de lentilles :

- Les lentilles à bords minces qui sont convergentes,
- Les lentilles à bords épais qui sont divergentes.



5.2. Caractéristiques des lentilles minces

- Centre de la lentille (O)
- Deux foyers objet F et image F', symétriques par rapport à O

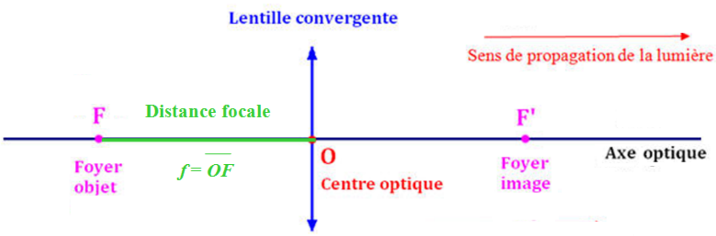
$$f = \overline{OF} = -\overline{OF'} = -f'$$

Pour une lentille **convergente**, $f < 0$ et $f' > 0$.
Pour une lentille **divergente** , $f > 0$ et $f' < 0$.

- Vergenc**e V** de la lentille (l'inverse de la distance focale image).

$$V = \frac{1}{f'}$$

Pour une lentille **convergente**, $V > 0$.
Pour une lentille **divergente** $V < 0$.



5.3. Formation des images

- **Construction géométrique de l'image :**

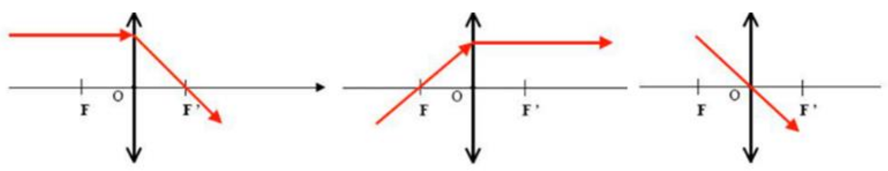
Pour construire l'image d'un objet étendu on obéira à ces quelques principes :

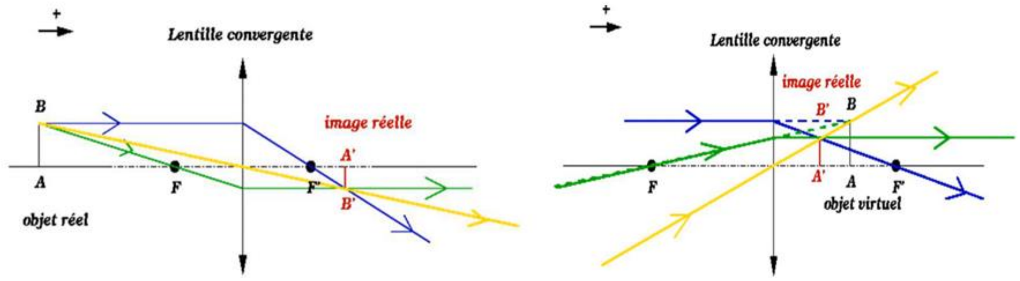
- On se placera dans l'approximation de Gauss : il y a donc stigmatisme approché et aplanétisme approché.
- il faut placer l'objet : Si l'objet AB est réel, il est forcément à gauche de la lentille, si l'objet est virtuel, il se situe à droite de la lentille.
- Pour trouver l'image d'un point il faut choisir des rayons dont on connait le comportement.

1) un rayon horizontal arrivant sur une lentille convergera en F’ si elle est convergente et divergera en semblant provenir de F’ si la lentille est divergente.
2) un rayon passant ou se prolongeant en F ressortira horizontalement.
3) un rayon passant par O n’est pas dévié.

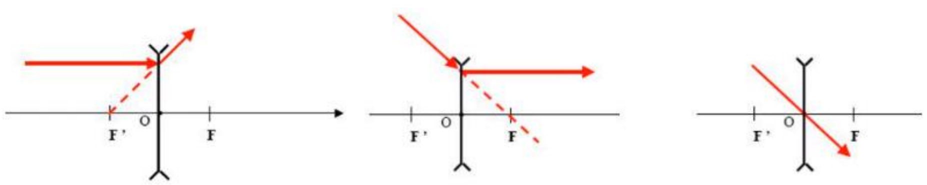
- Une fois les rayons tracés on détermine si l’image est réelle ou virtuelle. Si les rayons issus de B se coupent effectivement en B’, alors B’ est une image réelle. Si les rayons issus de B divergent après réfraction en semblant provenir de B’, alors B’ est une image virtuelle (visible à l’œil nu)

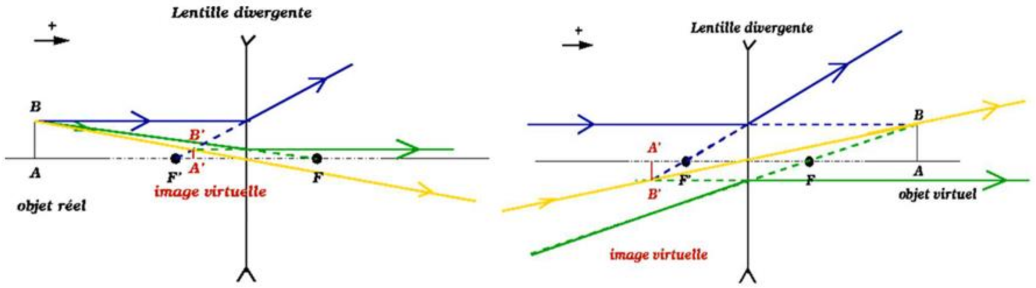
a) Construction des images pour une lentille convergente





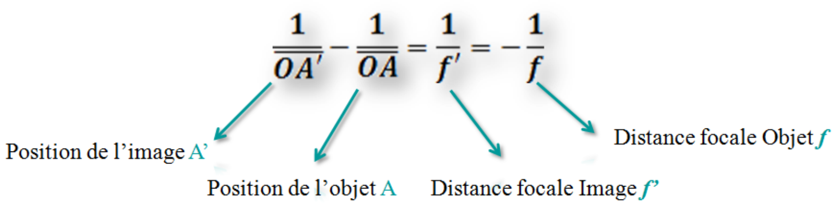
b) Construction des images pour une lentille Divergente

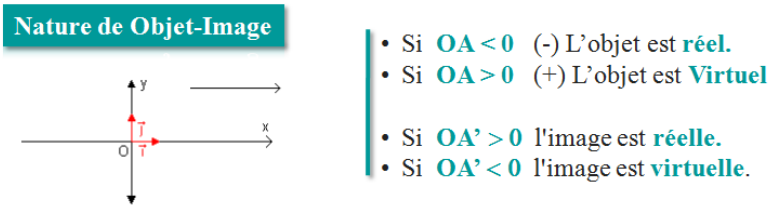




- **Formule de conjugaison :**

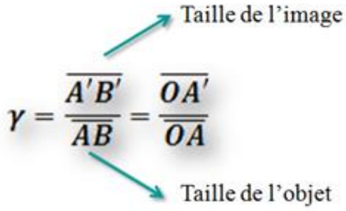
La formule de conjugaison est la relation entre la position de l’objet OA et la position de l’image OA’.

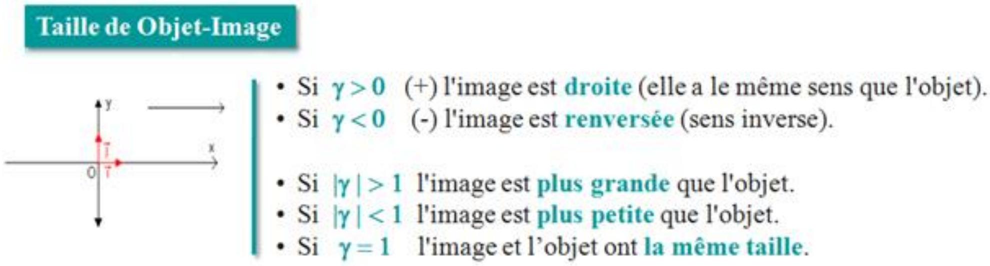




- **Grandissement :**

C'est le rapport entre la taille de l'image et la taille de l'objet





5.4. Association de lentilles minces : Le doublet

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*** "

- **Doublet accolé :**

Les centres optiques O_1 et O_2 des deux lentilles sont tels que la distance O_1O_2, l'épaisseur du doublet, peut être considérée comme nulle et O_1 et O_2 sont confondus en O.
Ces deux lentilles sont considéré comme une lentille unique L de centre optique O et de distance focale *f'* telle que :

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

La vergence V de la lentille équivalente : $\mathbf{V=V_1+V_2}$

- **Doublet non accolé :**

Un doublet non accolé est une association de deux lentilles L_1 et L_2 séparées par une distance $e = O_1O_2$ non nulle.

<u>Lentille L1</u> : L'image A'B' de l'objet AB par la lentille L_1 de centre optique O_1 est :

$$\frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{1}{f'_1}$$

Le grandissement par la lentille L_1:

$$\gamma_1 = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{O_1A'}}{\overline{O_1A}}$$

L'image A'B' donnée par la lentille L_1 deviendra l'objet de la lentille L_2

<u>Lentille L2</u> : L'image A''B'' de l'objet A'B' par la lentille L_2 de centre optique O_2 est :

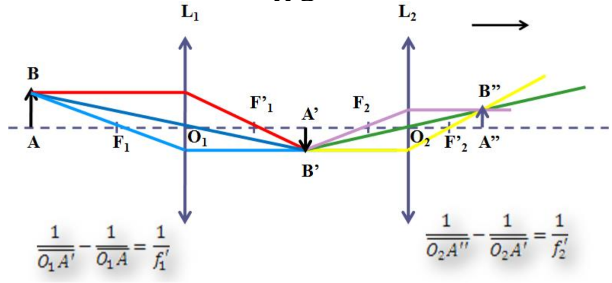
$$\frac{1}{\overline{O_2A''}} - \frac{1}{\overline{O_2A'}} = \frac{1}{f'_2}$$

Le grandissement par la lentille L_2:

$$\gamma_2 = \frac{\overline{A''B''}}{\overline{A'B'}} = \frac{\overline{O_2A''}}{\overline{O_2A'}}$$

Le grandissement de doublet :

$$\gamma = \frac{\overline{A''B''}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A''B''}}{\overline{A'B'}} \cdot \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \gamma_1 . \gamma_2$$



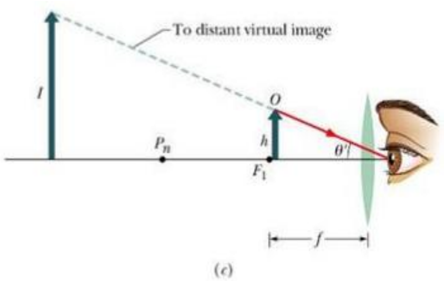
- **Utilisation :**

Un oculaire est un doublet de deux lentilles minces, de distances focales f'1 et f'2 et d'épaisseurs e, on les retrouve dans beaucoup d'instruments optiques comme le télescope le microscope…...

6. Instruments Optiques

6.1. Loupe

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



En plaçant l'objet au voisinage de son foyer objet, la loupe donne une image grossie sans fatigue.

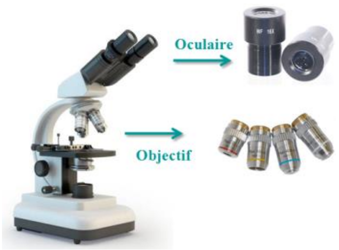
Le grossissement commercial de la loupe se calcule par la relation suivante;

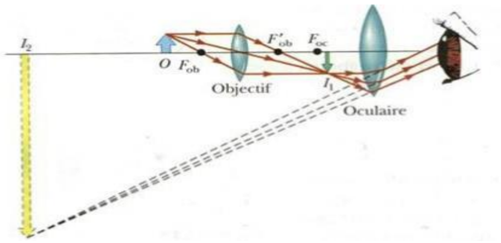
$$\gamma_c = P_n . V = \frac{P_n}{f'} \; ; \; P_n = 0.25\ m$$

V : la vergence de la loupe.
f' : la distance focale de la loupe en mètre.
P_n : la distance minimale de la vision distincte P_n = 0.25 m.

6.2. Microscope

Un microscope permet d'obtenir d'un petit objet AB à observer, une première image A_1B_1, très agrandie, à l'aide d'un objectif. Cette image est regardée à l'aide d'un oculaire positionné pour que l'image finale se forme à l'infini. L'observation se fait ainsi sans fatigue car l'œil n'a pas besoin d'accommoder.
Les microscopes possèdent des objectifs formés d'une association de lentilles parfois épaisses et des oculaires formés de doublets. Pour cette étude nous allons simplifier en modélisant l'objectif et l'oculaire par deux lentilles sphériques minces convergentes. La distance focale d'un objectif de microscope est de l'ordre du millimètre, celle de l'oculaire de l'ordre du centimètre.





Pour obtenir une première image réelle et très agrandie, il faut que l'objet soit d'une part avant le foyer objet de l'objectif et d'autre part proche de celui-ci.
Pour obtenir l'image finale à l'infini il faut que la première image, qui sert maintenant d'objet, soit dans le plan focal objet de l'oculaire. Le réglage du microscope consiste donc à déplacer l'oculaire pour que cette condition soit réalisée.

Le grandissement de microscope : $\gamma = \gamma_{objectif} \cdot \gamma_{oculaire}$

Référence:

- Module d'Optique Géométrique, Université Virtuelle de Tunis
- https://femto-physique.fr/optique/ Jimmy ROUSSEL
- http://www.physagreg.fr/optique-12-generalites-systemes-miroirs.php