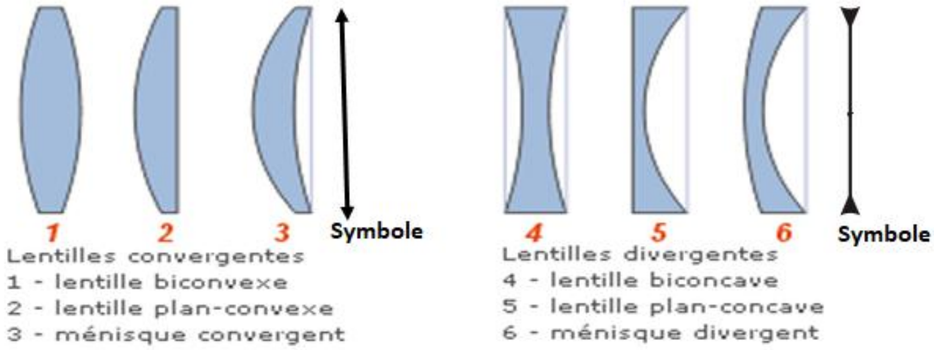
3. Optique géométrique : Lentilles minces (convergentes, divergentes), formule de conjugaison, grandissement, association de deux lentilles minces et construction géométrique de l'image.

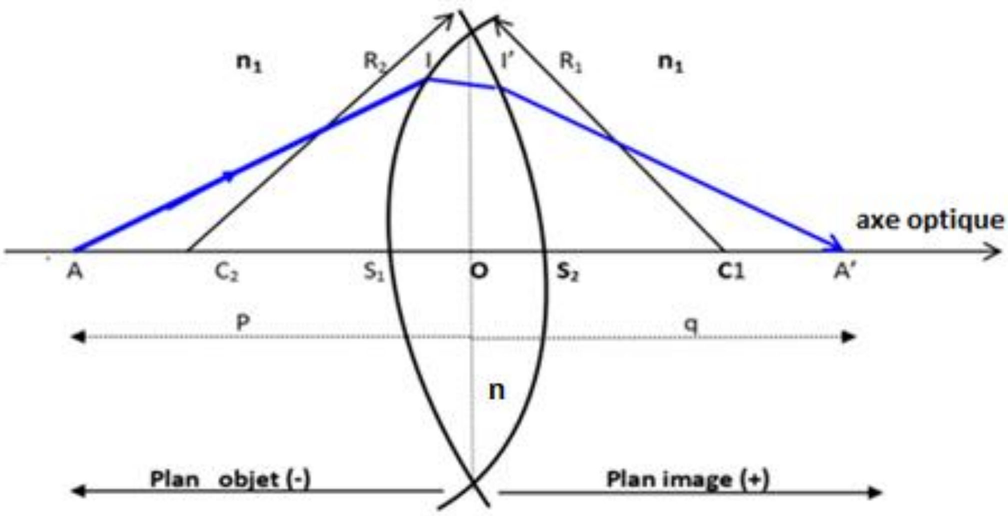
3.1 Lentilles minces

Une lentille mince est un système optique constitué par un milieu transparent, homogène et isotrope, limité par deux surfaces sphériques, ou, une surface sphérique et un plan, dont les sommets sont très rapprochés.

Les différents types de lentilles minces qu'on peut trouver sur le commerce :



La lentille peut être considérée comme l'association de deux dioptres sphériques avec le centre O comme origine des espaces comme le montre la figure ci-dessous. La lentille d'indice de réfraction n_2 est plongée dans un milieu d'indice de réfraction n_1



L'indice de réfraction de la lentille est n_2. Si on considère un objet A sur l'axe optique, son image A' aussi se trouve sur l'axe optique . Ce ci peut être expliqué par la double réfraction aux points I et I' selon les dioptres suivants :

- 1er dioptre (n_1, n)
- 2eme dioptre (n, n_1)

Si on considère pour une lentille mince, les sommets (S_1, S_2) sont très rapprochés, ils sont alors confondus en O.

En tenant compte de l'approximation de Gauss, la double réfraction nous donne selon la loi de Snell-Descartes la relation suivante :

$$\frac{n_1}{p} - \frac{n_1}{q} = (n_1 - n)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \Rightarrow \frac{1}{p} - \frac{1}{q} = \left(1 - \frac{n}{n_1}\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \qquad \mathbf{1}$$

Avec p= $\overline{OA}$, q=$\overline{OA}$'

Dans le cas ou la lentille mince se trouve dans l'air $n_1= 1$, la relation **1**, devient alors :

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{q} = (1 - n)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

3.2 Détermination des points focaux et distance focale

- Point focal objet (Fo) :

  Il faut noter que nous allons dans la suite des cours considérer une lentille mince par son symbole.

Le foyer d'une lentille convergente est le point où converge le faisceau de lumière. Côté objet, le foyer est dit foyer objet.

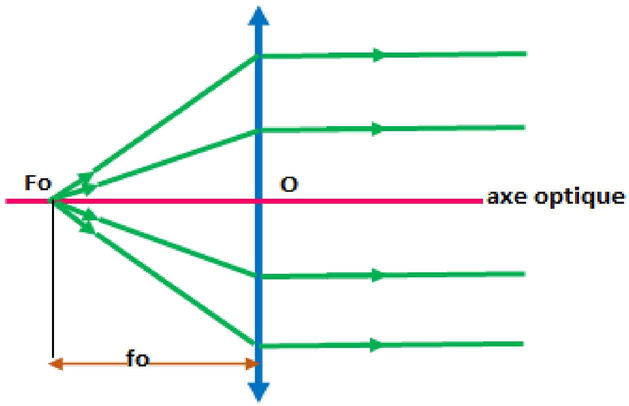
Comme pour les dioptres sphériques, tout rayon lumineux issu du point focal objet Fo, se réfracte parallèlement à l'axe de la lentille. Cependant, tout objet placé en Fo aura une image à l'infini.

$\overline{OFo}$**=fo= p , q** $\Rightarrow \infty$ **; Fo** est appelé point focal objet.

La relation 1, devient alors :

$$\frac{1}{fo} - \frac{1}{\infty} = \left(1 - \frac{n}{n_1}\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \Rightarrow \frac{1}{fo} = \left(1 - \frac{n}{n_1}\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \qquad \mathbf{2}$$

3 .Optique géométrique : Lentilles minces (convergentes, divergentes), formule de conjugaison, grandissement, association de deux lentilles minces et construction géométrique de l'image.



La distance focale est la distance entre le foyer et le centre de la lentille. On la note fo et s'exprime en mètres. De même la distance focale image est la distance entre le centre optique et le point focal image (Fi).

Attention ne pas confondre la distance avec un point !!!

- Point focal image (Fi) :

Tout rayon parallèle à l'axe se réfracte en passant par le point focal image **(Fi).** C'est-à-dire que tout objet placé **à l'infini,** aura une **image placée en Fi.** (voir figure ci-dessous). On peut écrire alors :

$\overline{OFi}$**=fi= q , p⇒ ∞ ;**

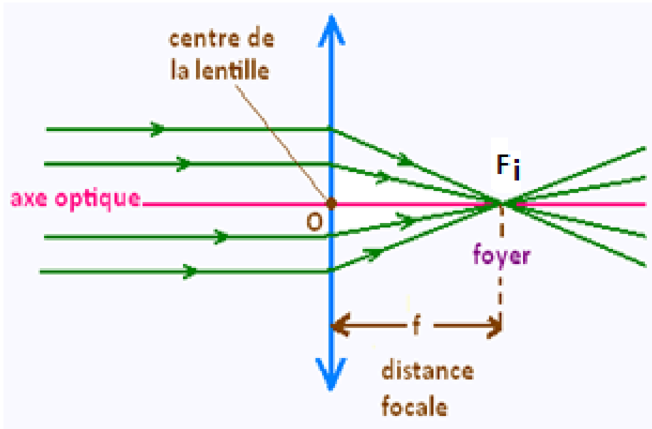
La relation **1**, devient alors :

$$\frac{1}{\infty} - \frac{1}{fi} = \left(1 - \frac{n}{n_1}\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \Rightarrow \frac{1}{fi} = \left(\frac{n}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad 3$$

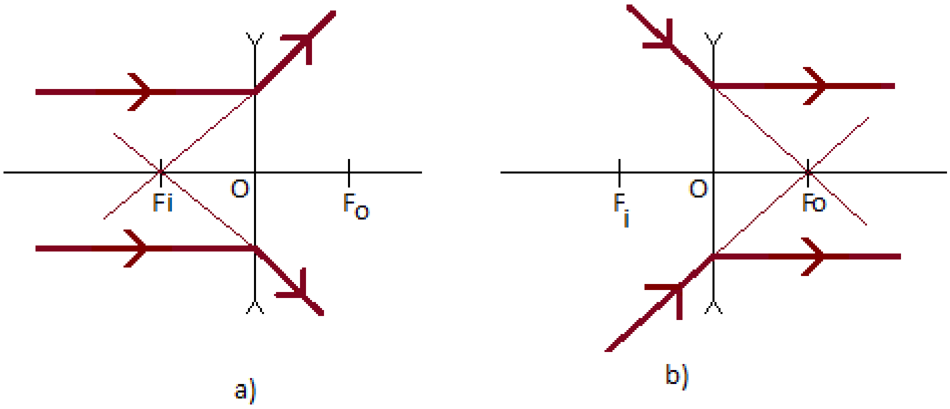
On remarque d'après les relations **2** et **3** que la distance 1/fo = -1/fi, ce qui donne **fo=-fi=f**
On peut écrire la relation de conjugaison d'une lentille mince comme suit :

$$\boxed{\frac{1}{p} - \frac{1}{q} = -\frac{1}{f}} \quad 4$$

Attention pour l'unité de la distance $\frac{1}{f}$ (1/mètre), c'est **la dioptrie**, symbole **: δ** (lettre grecque delta). C'est le cas de la vergence ou la convergence d'un dioptre. Unité très utilisée chez les opticiens.



- Concernant une lentille mince divergente, représentée ci-dessous, leurs foyers son inversés par rapport à une lentille mince convergente.



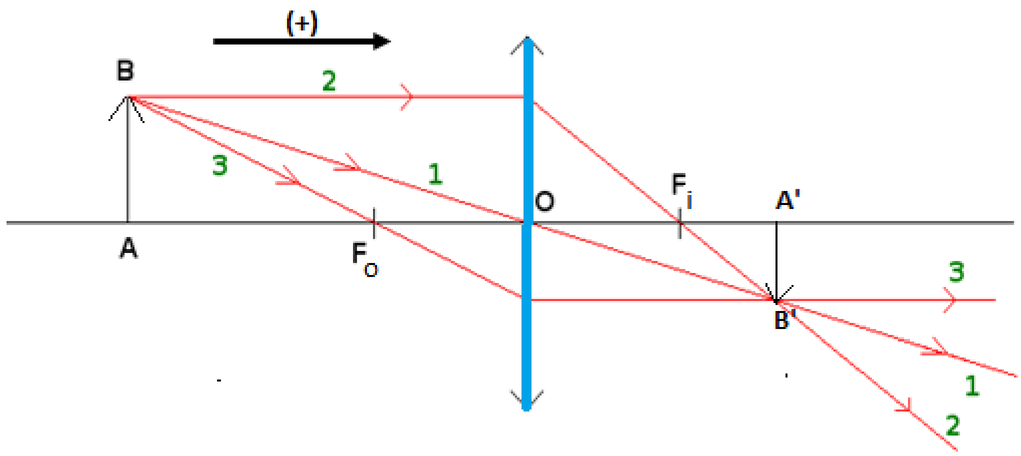
- Les rayons lumineux issus parallèles, se réfractent, puis divergent et leur prolongement passe par Fi, le foyer image (a).
- Les rayons qui proviennent de l'infini et qui semblent passer par le foyer objet Fo, se réfractent et sortent parallèles.

3.3 Construction de l'image d'un objet réel à travers une lentille mince

Soit une lentille mince convergente, de centre O. On place un objet réel AB. Le choix d'une lentille convergente est arbitraire.
Pour construire l'image de l'objet AB, **il faut 3 rayons principaux :**

- **1** : Ce rayon passe par le centre optique de la lentille. Il n'est donc pas dévié.
- **2** : Ce rayon est parallèle à l'axe optique. Une fois la lentille franchie, il passera donc par le point Fi.
- **3** : Ce rayon qui passe par le point Fo. Une fois la lentille franchie, il sera donc parallèle à l'axe optique.

*3 .Optique géométrique : **Lentilles minces (convergentes, divergentes), formule de conjugaison, grandissement, association de deux lentilles minces et construction géométrique de l'image.***



Ces trois rayons se croisent en un même point après la lentille, un point que nous appellerons B'. Si on place un écran blanc à cet endroit, on peut observer en B' une image de ce qui se trouve au point B. Et comme chacun des points de AB diffuse la lumière de la même façon, chacun engendre un point image quelque part sur le segment A'B'. On peut donc observer une image renversée de l'objet AB. Ce ci a été normalement observé au TP 3 : lois des lentilles.

Remarque : Vous pouvez construire l'image aussi par deux rayons principaux

- **La nature de l'image A'B' :** c'est une image renversée, réelle, plus petite que l'objet.

Remarque : Si vous respectez les distances focales fo= -fi et que la position de l'objet est placée entre - ∞ et le foyer objet Fo, alors l'image est toujours renversée, plus petite que l'objet.

En faite, pour déterminer la taille de l'image (plus petite ou plus grande), il faut calculer le grandissement(G) . On le note souvent par le symbole γ(gamma en lettre grecque) **.**

- **Grandissement transversal**

Il représente le rapport entre la hauteur de l'image $\overline{A'B'}$ et la hauteur de l'objet $\overline{AB}$

$$G=\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}, \text{ d'où } \overline{A'B'} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}.\overline{AB}$$

- Si G> 0 ⇒ **image droite** **G>**1⇒ **image plus grande que l'objet**
- **Si G< 0 ⇒ image renversée G<** 1⇒ **image plus petite que l'objet**

Attention ! Toutes les valeurs en optique géométrique sont en mesures algébriques.

- **Construction de l'image d'un objet réel AB à travers une lentille divergente**

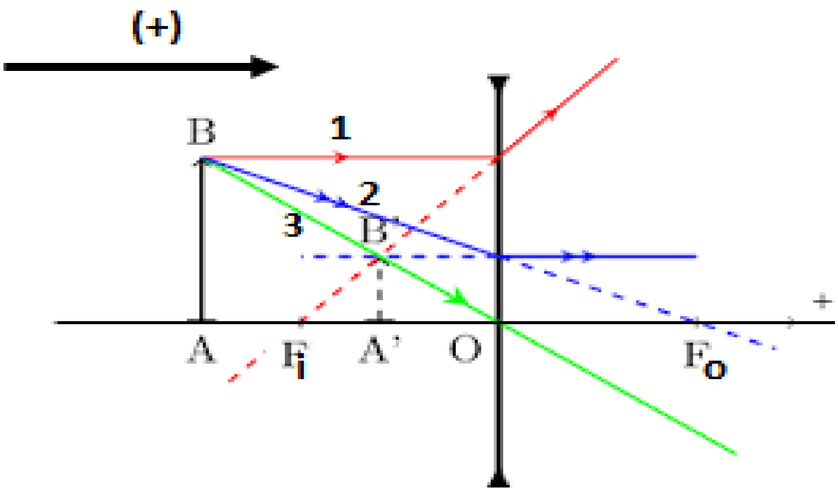
Soit AB objet réel placé entre $-\infty$ et le foyer image Fi. Nous avons issus du point B 3 rayons :

1 : Ce rayon est parallèle à l'axe optique. Une fois la lentille franchie, diverge et son prolongement passera par le foyer image Fi.

2 : Ce rayon issu de B et qui semble passer par le foyer objet, une fois sur la lentille sort parallèle, son prolongement passe par le point le B'

3. Ce rayon passe par le centre optique de la lentille. Il n'est donc pas dévié.

On observe que les 3 rayons se rencontre en un seul point, qui est le point B' ; Il suffit de baisser la perpendiculaire issu de B' à l'axe optique et on a A'. L'image obtenue est A'B'

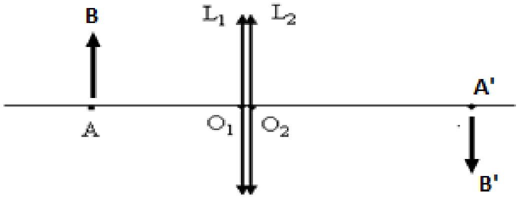


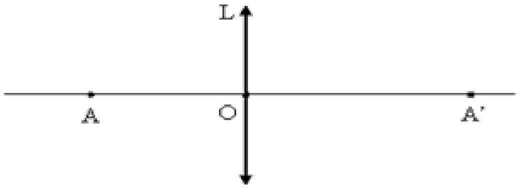
La nature de l'image A'B' : C'est une image droite, virtuelle et plus petite que l'objet.

3.4 Association de deux lentilles minces

a) Doublet accolé

Les centres optiques des lentilles L1 et L2 de vergences V1 et V2 sont confondus. L'ensemble est identique à une lentille unique dont la vergence est V = V1 + V2.





On peut retrouver directement cette relation à partir des relations de conjugaison.
On désigne par AB l'objet, A_1B_1 l'image de AB dans L_1 (qui sert d'objet pour L_2) et A'B' l'image finale.

$$AB \xrightarrow{L_1} A_1B_1 \xrightarrow{L_2} A'B'$$

Soient f'_1 et f'_2 les distances focales images des lentilles L1 et L2.

Les relations de conjugaison de L1 et L2 sont :

$$\frac{1}{\overline{OA_1}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'_1} \Rightarrow G_1 = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA_1}}{\overline{OA}} \qquad \textbf{5}$$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA_1}} = \frac{1}{f'_2} \Rightarrow G_2 = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA_1}} \qquad \textbf{6}$$

Sachant que $\mathbf{G_1}$ et $\mathbf{G_2}$ sont les grandissements des lentilles L1 et L2.

En faisant la somme des relations **5** et **6** , on obtient :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} \Rightarrow G = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = G_1.G_2$$

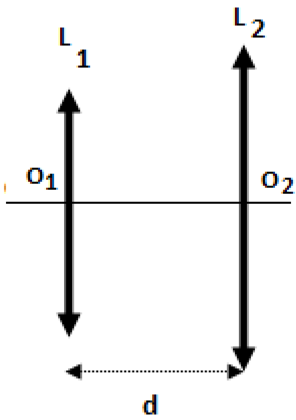
Les vergences sont : $V_1 = \frac{1}{f'_1}$, $V_2 = \frac{1}{f'_2}$, $\mathbf{V} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2}$

Les relations montrent que le doublet se comporte comme une lentille mince unique de centre optique O et de distance focale image f' telle que :

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

b) Doublet non accolé

Soit deux lentilles L1, L2 séparée par une distance d,



Si on considère **f'** la distance focale image du doublet, on peut écrire

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

Avec : f'_1 : distance focale de L1
f'_2 : distance focale de L2

L'exemple qui illustre ce système est **le microscope optique.**

Remarque: Nous considérons que toutes les lentilles étudiées sont dans l'air.