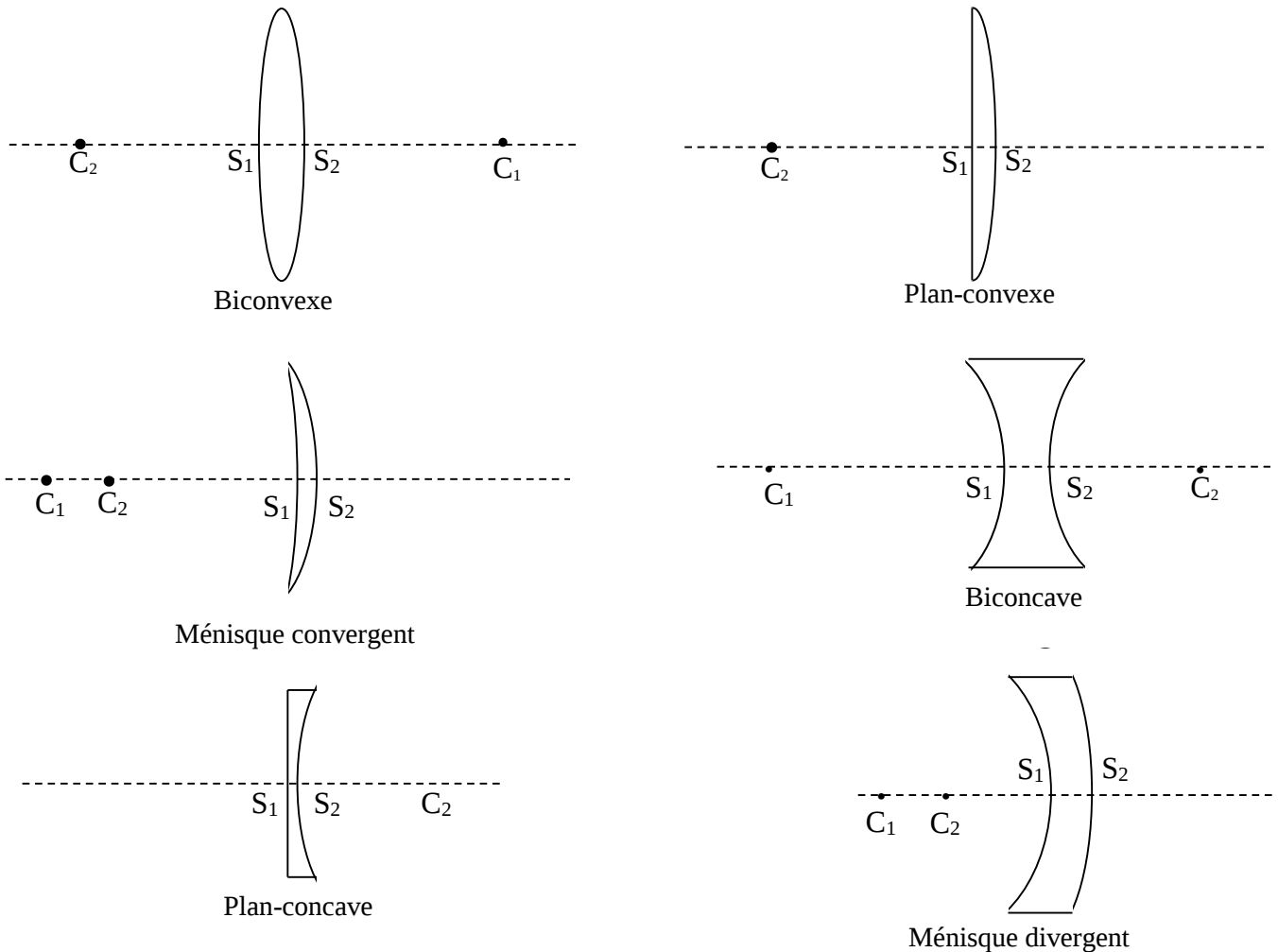


Chapitre 5 : lentilles minces

I. Lentilles minces

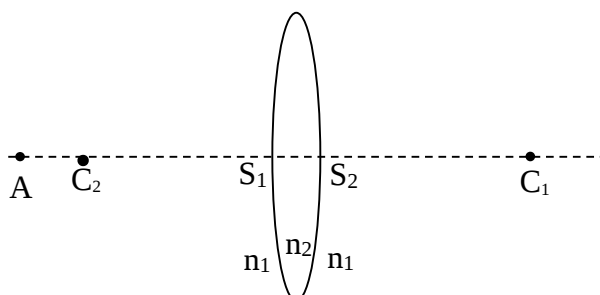
Une lentille mince est un milieu transparent homogène et isotrope limité par deux dioptries sphériques ou un dioptre sphérique et un dioptre plan. On distingue plusieurs formes de lentilles minces



La droite C_1C_2 qui passe par les centres des deux sphères est axe de symétrie pour le système optique, c'est l'axe principal de la lentille.

II. Relation de conjugaison des lentilles minces

Soit une lentille constituée d'un milieu d'indice n_2 située dans un milieu d'indice n_1 et limitée par deux dioptries sphériques de centres respectifs C_1 et C_2 .



Soit un objet ponctuel dans le milieu d'indice n_1 , le premier dioptré de sommet S_1 et de centre C_1 va donner de cet objet une image A_1 . Le second dioptré de sommet S_2 et de centre C_2 va donner de A_1 une image finale A' . Les deux relations de conjugaison de ces deux dioptres sont données par :

$$\frac{n_2}{S_1 A_1} - \frac{n_1}{S_1 A} = \frac{n_2 - n_1}{S_1 C_1}$$

$$\frac{n_1}{S_2 A'} - \frac{n_2}{S_2 A_1} = \frac{n_1 - n_2}{S_2 C_2}$$

Une lentille est dite mince si son épaisseur $e = S_1 S_2$ est faible, S_1 est alors pratiquement confondu avec S_2 , $S_1 \approx S_2 \approx O$. Le point O est le centre optique de la lentille. Les deux relations précédentes deviennent alors :

$$\frac{n_2}{OA_1} - \frac{n_1}{OA} = \frac{n_2 - n_1}{OC_1}$$

$$\frac{n_1}{OA'} - \frac{n_2}{OA_1} = \frac{n_1 - n_2}{OC_2}$$

En faisant la somme des deux relations précédentes, on obtient la relation de conjugaison des lentilles minces

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \left(\frac{1}{OC_1} - \frac{1}{OC_2} \right)$$

$\overline{OC_1}$ et $\overline{OC_2}$ étant respectivement les rayons de courbure du premier et du second dioptré sphériques.

III. Foyers et vergence d'une lentille

III-1. Foyer image F'

Si l'objet se trouve à l'infini, l'image A' se trouve au foyer image F' , la relation précédente s'écrit alors :

$$\frac{1}{OF'} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \left(\frac{1}{OC_1} - \frac{1}{OC_2} \right)$$

D'où :

$$\frac{1}{OF'} = \frac{1}{f'} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \left(\frac{1}{OC_1} - \frac{1}{OC_2} \right) = \frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA}$$

III-2. Foyer Objet F

Si l'image se trouve à l'infini, l'objet A se trouve au foyer objet F.

$$-\frac{1}{OF} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \left(\frac{1}{OC_1} - \frac{1}{OC_2} \right)$$

D'où

$$\frac{1}{OF} = \frac{1}{f} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \left(\frac{1}{OC_1} - \frac{1}{OC_2} \right) = \frac{1}{OA} - \frac{1}{OA'}$$

On en déduit que : $f' = -f$

Les foyers objet F et image F' sont symétriques par rapport au centre optique de la lentille O.

Pour une lentille biconvexe : $\overline{OF'} = f' > 0$

Pour une lentille biconcave : $\overline{OF'} = f' < 0$

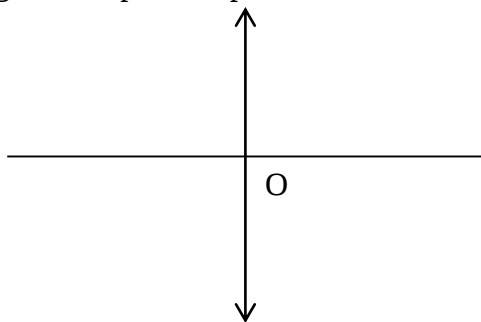
III-3. Vergence

On appelle vergence d'une lentille mince notée V, l'inverse de sa distance focale image f'.

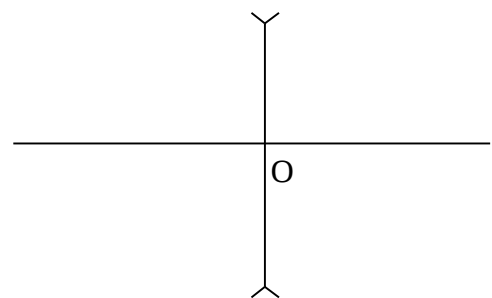
$$V = \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{f'}$$

La vergence traduit l'importance de la convergence ou de la divergence d'une lentille. Elle se mesure en dioptries de symbole δ .

La vergence est positive pour une lentille convergente et négative pour une lentille divergente.



Lentille convergente



Lentille divergente

IV. Lentilles convergentes simples

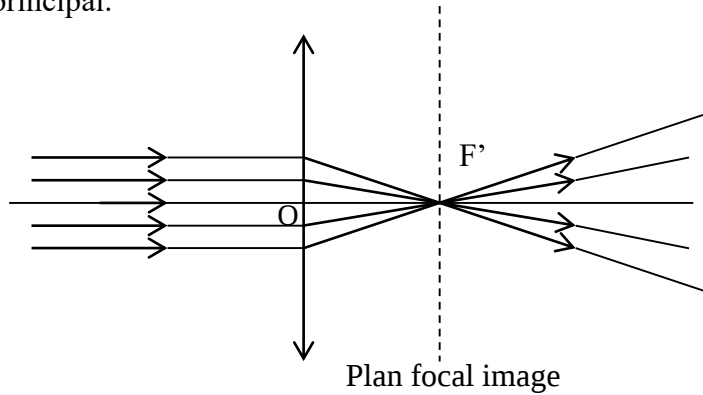
Ce sont des lentilles dites à bords minces, on distingue :

- Les lentilles biconvexes
- Les lentilles plan-convexes
- Les ménisques convergents

IV-1. Foyers, plans focaux et distances focales

a-Foyer principal image

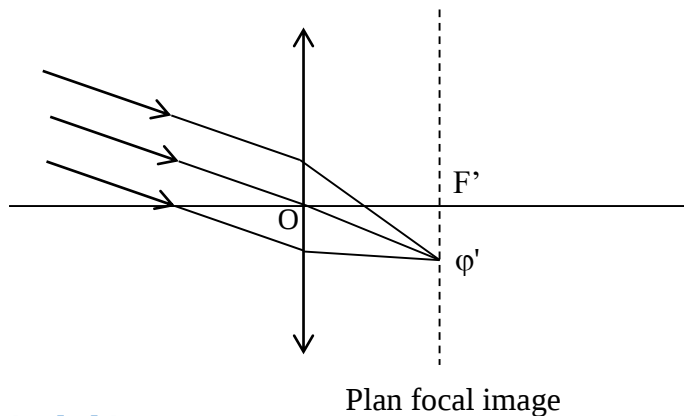
Le foyer principal image, le point F' , où viennent passer tous les rayons incidents parallèles à l'axe principal.



Pour une lentille convergente, le foyer principal image F' est réel. Le plan perpendiculaire à l'axe principal en F' porte le nom de plan focal image.

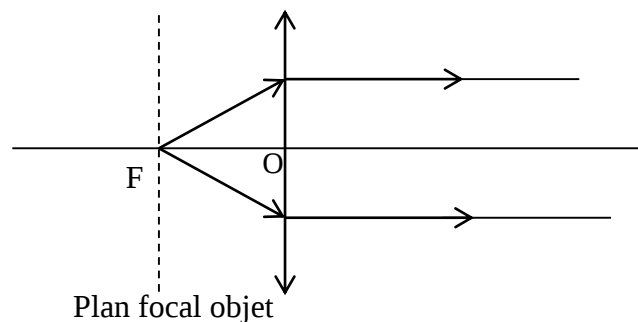
b- Foyer secondaire image

On appelle foyer secondaire image ϕ' , le point du plan focal où viennent passer les rayons parallèles mais qui ne sont pas parallèles à l'axe principal.



c- Foyer principal objet

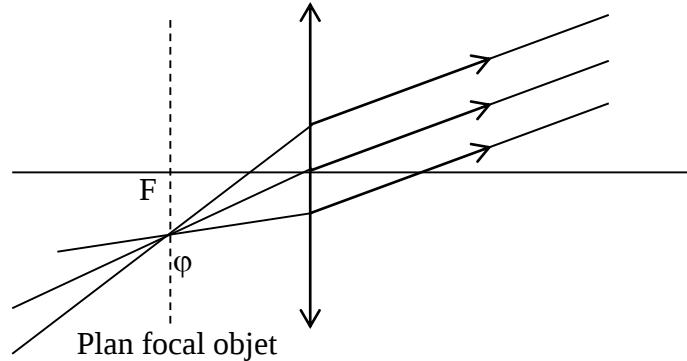
Le foyer principal objet noté F , le point de l'axe principal dont l'image est à l'infini sur l'axe c.à.d. que si l'on se place en F une source ponctuelle, la lentille transformera le faisceau divergent issu de cette source en un faisceau parallèle à l'axe principal. Le plan perpendiculaire à l'axe principal en F est le plan focal objet.



Le foyer principal objet F d'une lentille convergente est réel.

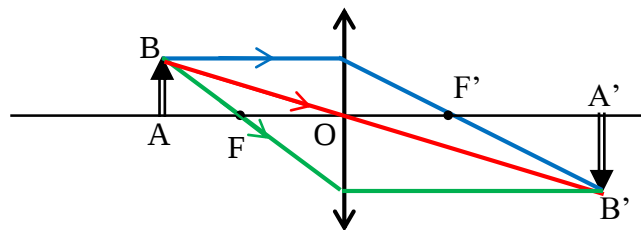
d- Foyer secondaire objet

On appelle foyer secondaire objet ϕ , tout point du plan focal autre que F, c.à.d. que tout faisceau issu d'un foyer secondaire objet se transformera après la traversée de la lentille convergente en un faisceau de rayons parallèles entre eux mais non parallèles à l'axe principal.

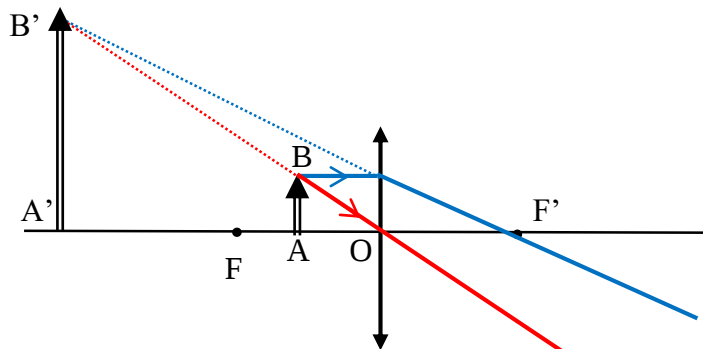
**IV-2. Image d'un objet dans une lentille convergente mince**

Pour construire l'image donnée par une lentille on peut utiliser deux parmi les trois rayons particuliers suivants :

- Un rayon qui arrive parallèlement à l'axe traverse la lentille et passe par le foyer image F'
- Un rayon qui passe par le foyer objet F sort de la lentille parallèlement à l'axe optique de la lentille.
- Un rayon qui passe par le centre optique de la lentille ne subit aucune déviation.

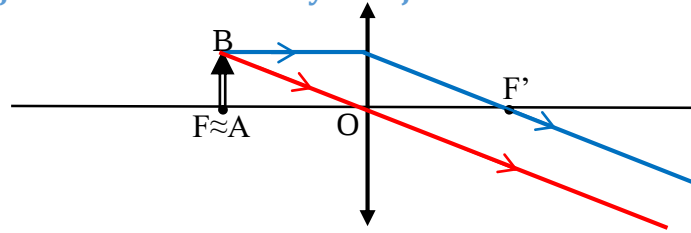
a- Image d'un objet réel situé en avant de F

L'image obtenue est réelle et renversée.

b- Image d'un objet réel situé entre O et F

L'image $A'B'$ est virtuelle, l'image est plus grande que l'objet, cette lentille fonctionne comme une loupe.

c- Image d'un objet réel situé sur le foyer objet F



Lorsque l'objet est placé sur foyer objet l'image est rejetée à l'infini.

V. Lentilles divergentes

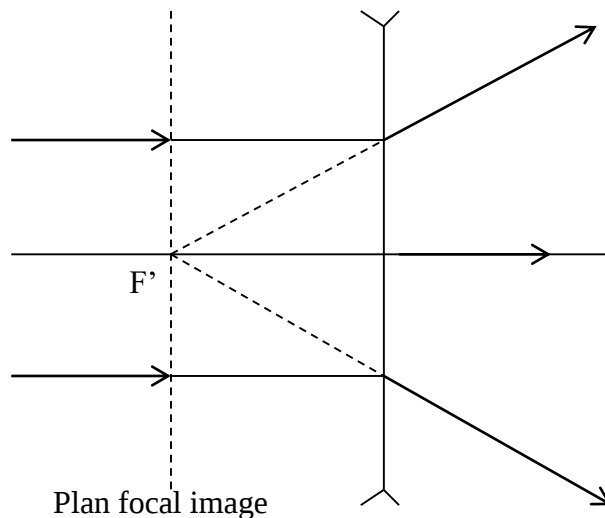
Ce sont des lentilles à bords épais :

- Les lentilles biconcaves
- Les lentilles plan-concaves
- Les lentilles ménisques divergentes.

V-1 Foyers, plans focaux et distances focales

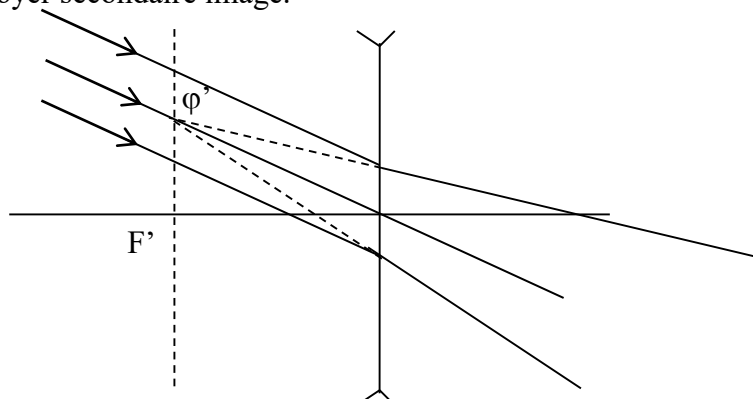
a- Foyer principal image

On envoie sur la lentille des rayons lumineux parallèles à l'axe principal, on constate qu'ils émergent de la lentille comme s'ils provenaient d'un point F' de l'axe principal de la lentille situé devant la lentille. Le foyer principal F' est virtuel pour une lentille divergente.



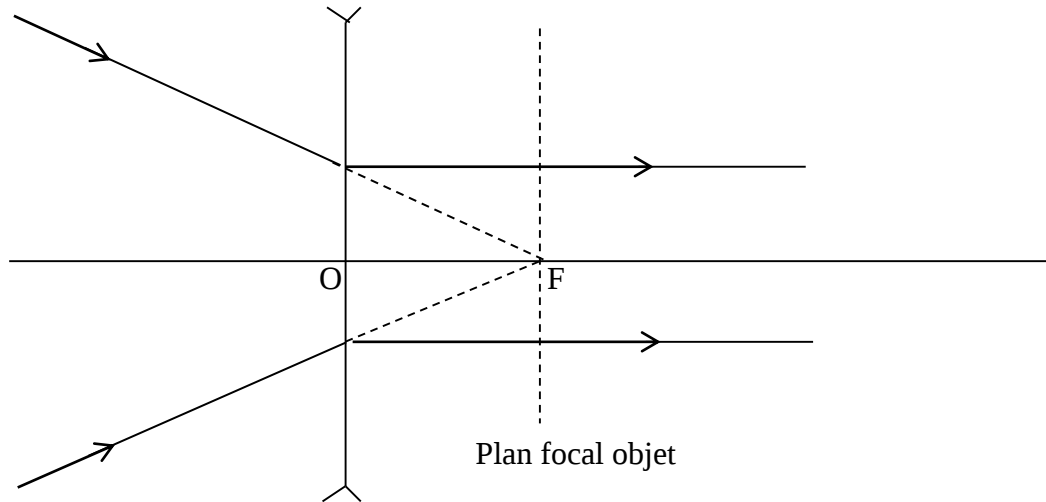
b- Foyers secondaires image

On envoie sur la lentille un faisceau non parallèle à l'axe principal. Il émerge un faisceau qui diverge à partir de ϕ' , foyer secondaire image.

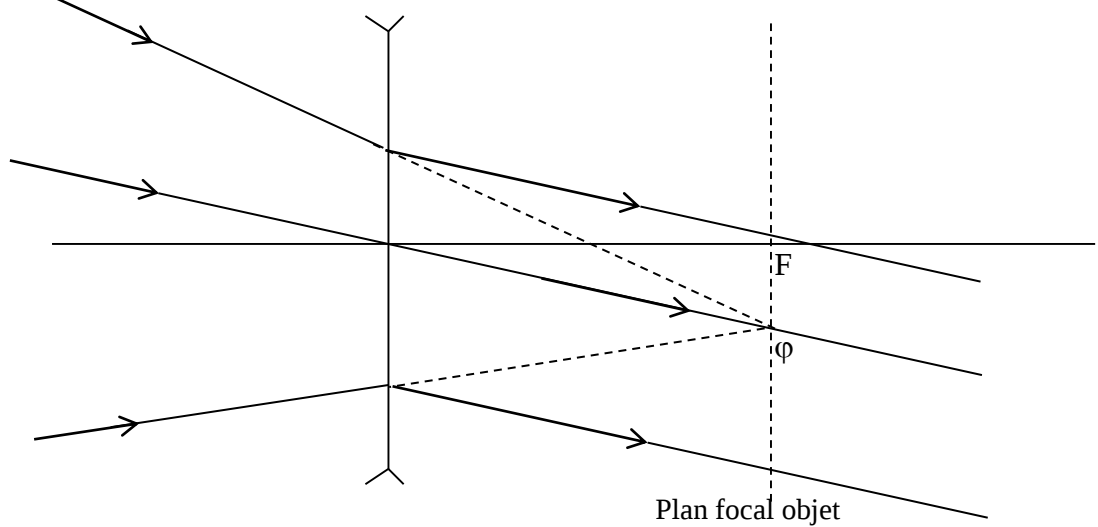
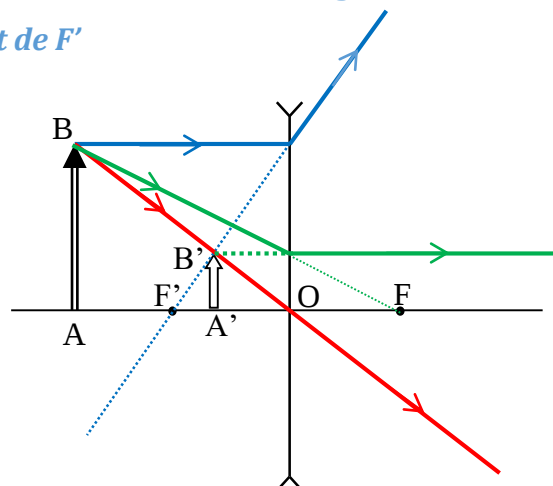


c-Foyer principal objet

On envoie sur la lentille divergente un faisceau qui irait converger en un point de l'axe principal (sans lentille). Il existe un point F pour lequel le faisceau émerge en un faisceau cylindrique parallèle à l'axe principal. Le point F est le foyer principal objet et il est virtuel.

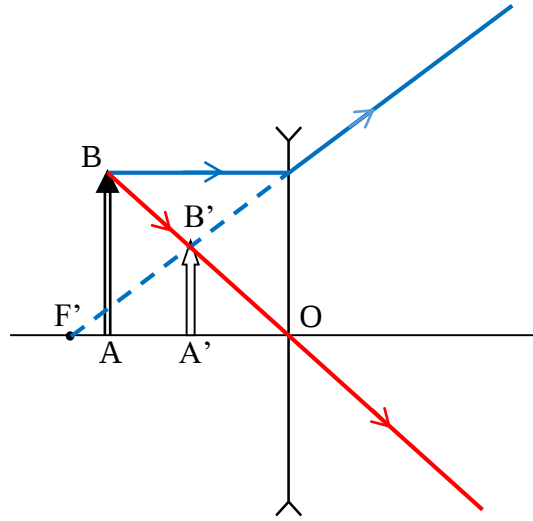
**d- Les foyers secondaires objet**

Soit un faisceau qui irait converger au point ϕ du plan focal objet, il émerge de la lentille en un faisceau cylindrique parallèle. ϕ est un foyer secondaire objet.

**V-2. Image d'un objet dans une lentille divergente mince****a- Objet situé en avant de F'** 

L'image A'B' est virtuelle, droite et plus petite que l'objet.

b- Objet entre F' et O.



L'image A'B' est virtuelle, droite et plus petite que l'objet.

On n'obtient jamais d'image réelle d'un objet réel avec une lentille divergente.

VI. Grandissement

VI-1. Grandissement transversal avec origine au centre optique O

Les grandissements respectifs γ_1 et γ_2 des deux dioptries constituant la lentille mince de centre optique O sont :

$$\gamma_1 = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = \frac{n_1 \overline{OA_1}}{n_2 \overline{OA}} \quad \text{et} \quad \gamma_2 = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{n_2 \overline{OA'}}{n_1 \overline{OA_1}}$$

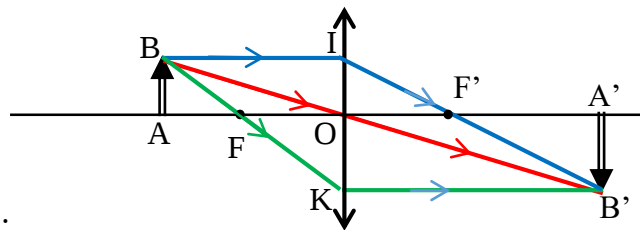
Le grandissement transversal de la lentille est $\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}} \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = \gamma_1 \cdot \gamma_2$

Ce qui donne l'expression du grandissement avec origine au centre optique O:

$$\gamma_t = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{\overline{OA_1}}{\overline{OA}} \cdot \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA_1}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

V-2. Grandissement transversal avec origine aux foyers

Soit la construction géométrique d'une lentille mince suivante :



On peut déduire que :

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AF}} = \frac{\overline{KO}}{\overline{FO}} = \frac{\overline{B'A'}}{\overline{FO}} = -\frac{\overline{A'B'}}{\overline{FO}}$$

Ce qui donne l'expression du grandissement transversal avec origine au foyer objet F :

$$\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{FO}}{\overline{AF}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}}$$

D'autre part :

$$\frac{\overline{OI}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{AB}}{\overline{OF'}} = -\frac{\overline{AB}}{\overline{F'O}} = \frac{\overline{B'A'}}{\overline{F'A'}} = -\frac{\overline{A'B'}}{\overline{F'A'}}$$

D'où l'expression du grandissement transversal avec origine au foyer image F' :

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

En faisant l'égalité entre les deux expressions du grandissement transversal avec origine au foyer objet F et image F', on obtient la relation suivante :

$$\overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = \overline{F'O} \cdot \overline{FO} = (-f') \cdot (-f) = ff' = -f^2 = -f'^2$$

C'est la relation de conjugaison d'une lentille mince avec origine aux foyers, c'est la relation de Newton.

VII. Association de lentilles

VII-1. Lentilles accolées

Soient deux lentilles L_1 et L_2 de distances focales image $\overline{O_1F'_1}$ et $\overline{O_2F'_2}$ accolées de sorte que leurs axes principaux coïncident.

Les centres optiques O_1 et O_2 peuvent être confondus ($O_1 \approx O_2 \approx O$). Soit A_1 l'image donnée d'un objet A par la première lentille. On peut écrire :

$$\frac{1}{\overline{OF'_1}} = \frac{1}{f'_1} = \frac{1}{\overline{OA_1}} - \frac{1}{\overline{OA}}$$

Dans la seconde lentille, on peut écrire :

$$\frac{1}{\overline{OF'_2}} = \frac{1}{f'_2} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA_1}}$$

En faisant la somme de ces deux relations, on obtient :

$$\frac{1}{\overline{OF'_1}} + \frac{1}{\overline{OF'_2}} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}$$

L'ensemble des deux lentilles est équivalent à une lentille unique de distance focale $\overline{OF'}=f'$ avec

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

Soit en vergence : $V = V_1 + V_2$.

VII-2. Lentilles non accolées

Si le milieu intermédiaire entre les deux lentilles a pour indice N et si les lentilles ne sont pas accolées, on peut montrer que

$$V = V_1 + V_2 - \frac{\overline{O_1O_2}}{N} V_1 V_2$$

C'est la formule de Gullstrand.