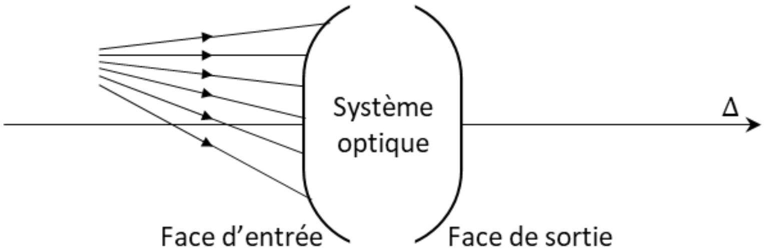
Optique géométrique | Chapitre 2 | Cours

O2 · Miroirs plans et lentilles minces

I - Définitions

I.1 - Systèmes centrés

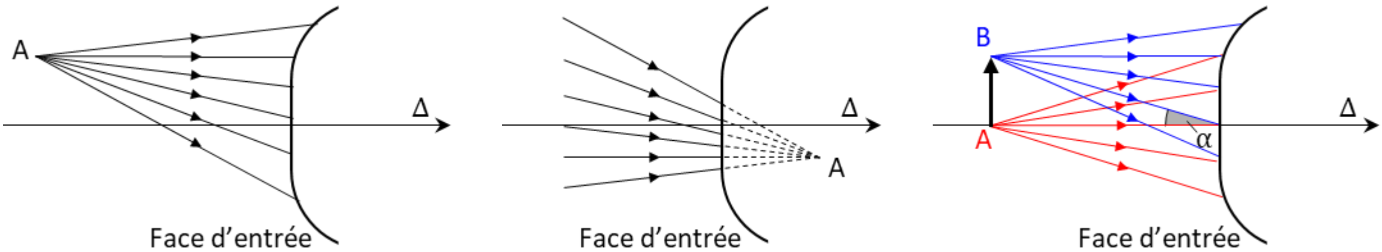
Un système optique dit **centré** s'il possède un axe de révolution, appelé **axe optique** et noté Δ. L'axe optique est toujours orienté et indique le sens de propagation de la lumière indicent.



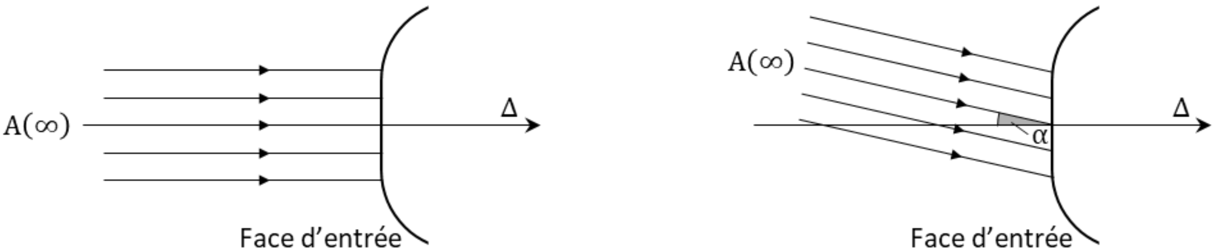
I.2 - Objets

<u>Vocabulaire</u> :

- Un **point objet** A est un point où se croisent (ou semblent se croiser, en prolongeant les rayons) les rayons lumineux incidents.
- Un ensemble de points objets forme un **objet**. Les grandeurs pertinentes qui le caractérisent sont sa taille (AB) et l'angle α sous lequel est vu l'objet par le système optique.
- Un objet est dit **réel** lorsqu'il se trouve avant la face d'entrée du système optique. Un tel objet peut être manipulé expérimentalement.
- Un objet est dit **virtuel** lorsqu'il se trouve après la face d'entrée du système optique. Un tel objet ne peut pas être manipulé expérimentalement.



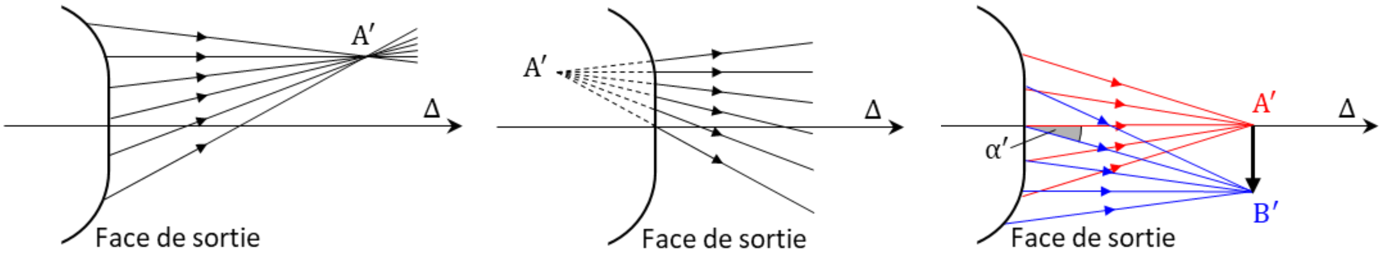
- Un objet est **à l'infini** lorsque tous les rayons lumineux issus de cet objet arrivent sur la face d'entrée parallèles entre eux. Dans ce cas, la taille de objet n'a plus d'importance et seul l'angle α sous lequel il est vu compte. Si $\alpha = 0$, l'objet se trouve sur l'axe optique. Si $\alpha \neq 0$, l'objet se trouve hors de l'axe optique.



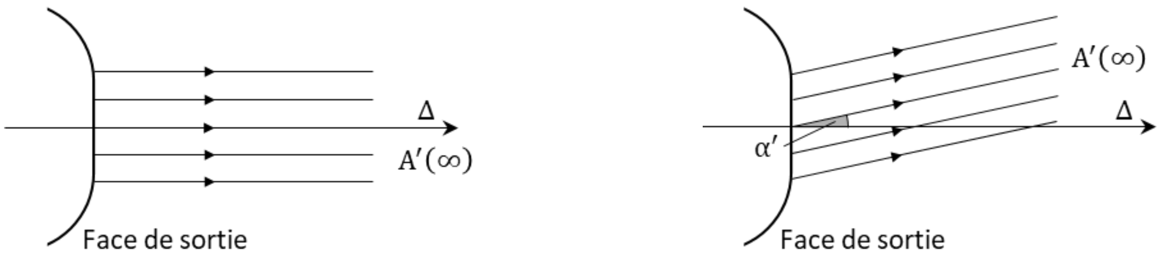
I.3 - Images

Vocabulaire :

- Un **point image** A' est un point où se croisent (ou semblent se croiser, en prolongeant les rayons) les rayons lumineux émergents.
- Un ensemble de points images forme une **image**. Les grandeurs pertinentes qui la caractérisent sont sa taille $(\mathrm{A'B'})$ et l'angle α' sous lequel est vue l'image par le système optique.
- Une image est dite **réelle** lorsqu'elle se trouve après la face de sortie du système optique. Une telle image peut être observée sur un écran.



- Une image est dite **virtuelle** lorsqu'elle se trouve avant la face de sortie du système optique. Une telle image ne peut pas être observée sur un écran.
- Une image est **à l'infini** lorsque tous les rayons lumineux émergent de la face de sortie parallèles entre eux. Dans ce cas, la taille de l'image n'a plus d'importance et seul l'angle α sous lequel elle est vue compte. Si $\alpha' = 0$, l'image se trouve sur l'axe optique. Si $\alpha' \neq 0$, l'image se trouve hors de l'axe optique.

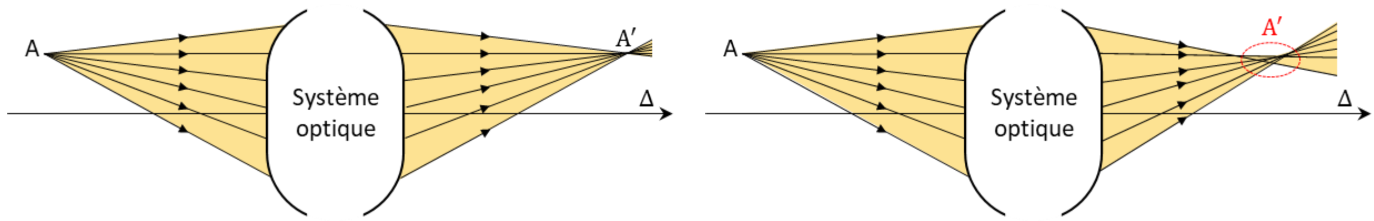


II - Approximation de Gauss

II.1 - Stigmatisme et aplanétisme rigoureux

Définition :

Un système optique $\mathcal{S}$ est dit **rigoureusement stigmatique** pour deux points A et A' si tous les rayons issus de A passent par A' après avoir traversé $\mathcal{S}$.



Système rigoureusement stigmatique pour $(\mathbf{A}, \mathbf{A'})$ **Système non stigmatique**

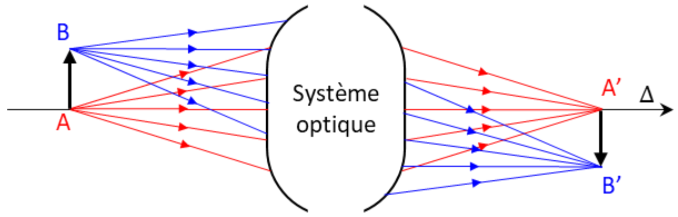
Remarque :

Un système n'est pas nécessairement rigoureusement stigmatique « dans l'absolu ». Il peut l'être pour certains couples de points $(\mathrm{A}, \mathrm{A'})$ et pas pour d'autres.

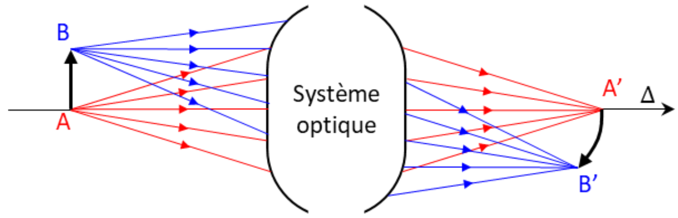
Définition :

Soit A un point objet sur l'axe optique Δ et B un point objet proche de A tel que $(\mathrm{AB}) \perp \Delta$.

Un système optique $\mathcal{S}$ est dit **rigoureusement aplanétique** pour deux points A et A' lorsqu'il est rigoureusement stigmatique pour les couples de points $(\mathrm{A}, \mathrm{A}')$ et $(\mathrm{B}, \mathrm{B}')$, et que $(\mathrm{A}'\mathrm{B}') \perp \Delta$.



Système rigoureusement aplanétique pour $(\mathbf{A}, \mathbf{A}')$



Système non aplanétique

Conséquences :

- Non-stigmatique ⇒ les points objets deviennent des tâches images ⇒ sensation de flou.
- Non aplanétisme ⇒ les angles ne sont pas conservés ⇒ distorsion des images (coussinet ou barillet)

Dans les deux cas, on parle d'**aberrations géométriques**.

Illustration :

Objet : grille

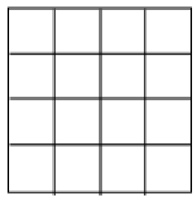


Image : déformation en coussinet

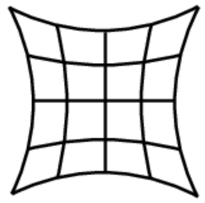
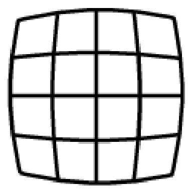


Image : déformation en barillet



II.2 - Stigmatisme approché

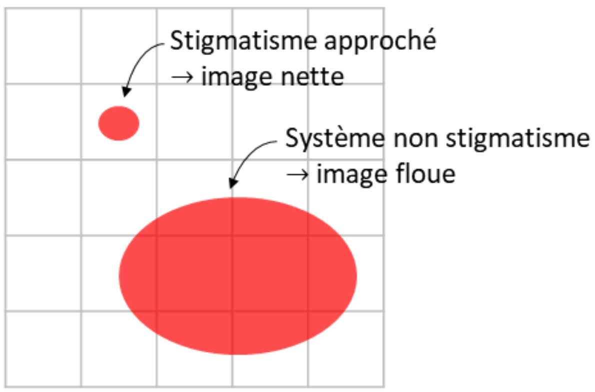
Tout détecteur est composé d'unités élémentaires (pixels pour un capteur CCD, batônnets pour l'œil, etc.) de taille caractéristique notée a.

Si l'image d'un point objet est une tâche de taille $\boxed{d \lesssim a}$, alors l'image reste de la meilleure qualité possible pour ce détecteur. On dit que le système réalise un **stigmatisme approché**.

Remarque :

Il est également possible de définir une notion d'aplanétisme approché (HP) mais elle est mathématiquement difficile à définir.

Détecteur numérique 5×5 pixels

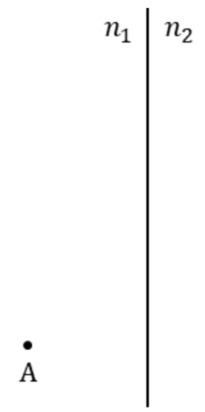


II.3 - Conditions de Gauss

Pour obtenir un stigmatisme et un aplanétisme approchés, il faut travailler dans les **conditions de Gauss**.

II.4 - Application : le dioptre plan

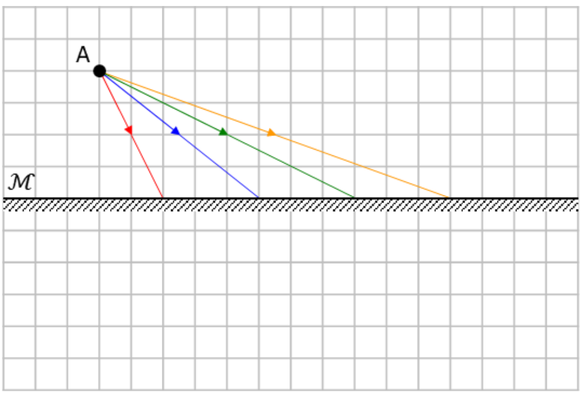
Exercice : Trouver l'image d'un point objet A à travers un dioptre plan (parfaitement non réfléchissant).



III - Miroir plan

III.1 - Construction d'une image

Objectif : Trouver l'image A' d'un point objet A à travers un miroir. On note : $\mathrm{A} \xrightarrow{\mathcal{M}} \mathrm{A}'$.



III.2 - Relation de conjugaison et de grandissement

Définitions :

Une **relation de conjugaison** est une relation entre les positions de A et A'.

On appelle **grandissement** la grandeur : $\gamma = \frac{\overline{\mathrm{A'B'}}}{\overline{\mathrm{AB}}}$. Si $\gamma > 0$, l'image est droite (dans le même sens que l'objet), sinon elle est inversée. Si $|\gamma| > 1$, l'image est agrandie, sinon elle est rétrécie.

Propriété :

En optique géométrique, on note avec une barre les distances algébriques (distances pouvant être positives ou négatives). Il s'agit simplement de « vecteur à une dimension ».

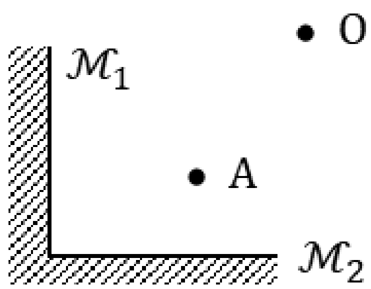
$$\boxed{\overline{\mathrm{AB}} = -\overline{\mathrm{BA}}} \qquad \boxed{\overline{\mathrm{AC}} = \overline{\mathrm{AB}} + \overline{\mathrm{BC}}}$$

Cas du miroir plan

III.3 - Application : miroir un coin

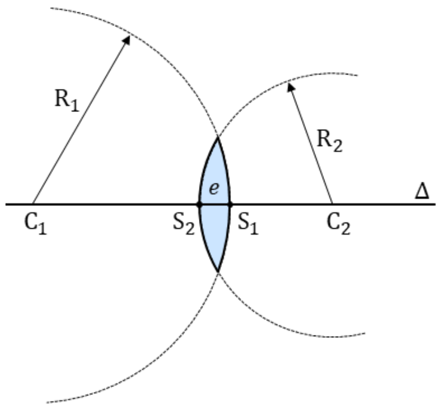
Exercice :

On considère un miroir en coin et un point objet A. Tracer toutes les images de l'objet vues par un observateur placé en O.



IV - Lentilles minces

IV.1 - Définitions



Définition :

Une **lentille** est un système optique centré délimité par deux dioptres sphériques de sommets S_1 et S_2.

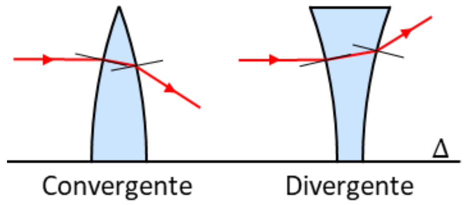
Remarque : Un dioptre plan est un dioptre sphérique où $R \to +\infty$.

Définition :

On note $e = S_1S_2$. La lentille est dite mince lorsque :

$$\boxed{e \ll R_1 \text{ et } R_2} \qquad \boxed{e \ll |R_1 - R_2|}$$

Dans ce cas, S_1 et S_2 sont quasiment confondu avec O, le **centre optique** de la lentille ($S_1 = S_2 = O$).



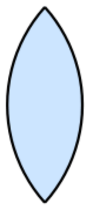
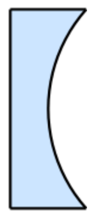
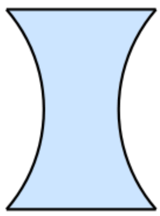
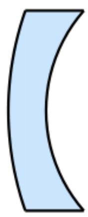
Propriété :

Lorsqu'il traverse une lentille, un rayon subit une double réfraction.

Une lentille **convergente** est plus épaisse au centre que sur les bords. Elle dévie les rayons lumineux vers l'axe optique.

Une lentille **divergente** est plus épaisse sur les bords qu'au centre. Elle dévie les rayons lumineux loin de l'axe optique.

Exemples :

Lentilles convergentes				Lentilles divergentes			
							
Plan convexe	Biconvexe	Ménisque convergent	Représentation schématique	Plan concave	Biconcave	Ménisque divergent	Représentation schématique

IV.2 - Propriétés

Attention ! Une lentille mince n'est pas rigoureusement stigmatique. Pour avoir un stigmatisme et un aplanétisme approchés, il faut impérativement se placer dans les conditions de Gauss.

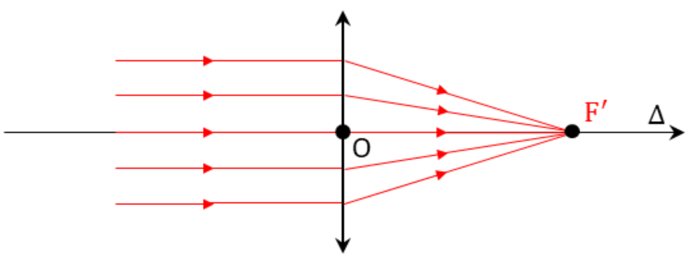
Propriétés remarquables :

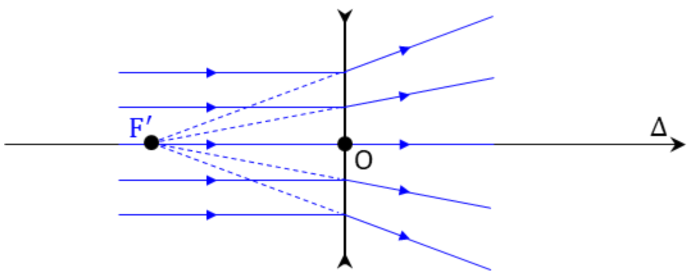
- Le **centre optique** O est le point de la lentille sur l'axe optique. Tout rayon passant par O n'est pas dévié.

$$O \xrightarrow[\mathcal{L}]{} O$$

- Le **foyer principal image / point focal image** F' est le point image situé sur l'axe optique de la lentille, dont le point objet conjugué est situé à l'infini sur l'axe optique. Tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge de la lentille en passant par F'.

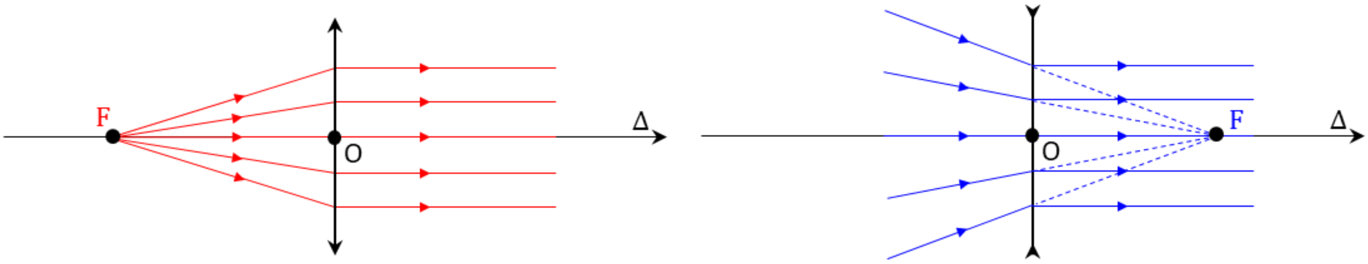
$$A(-\infty \text{ sur } \Delta) \xrightarrow[\mathcal{L}]{} F'$$





- Le **foyer principal objet / point focal objet** F est le point objet situé sur l'axe optique de la lentille, dont le point image conjugué est situé à l'infini sur l'axe optique. Tout rayon incident passant par F émerge de la lentille parallèlement à l'axe optique.

$$\mathrm{F} \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \mathrm{A}'(+\infty \text{ sur } \Delta)$$



Remarque :

Le principe de retour inverse de la lumière permet d'affirmer que F est le symétrique de F' par rapport à O.

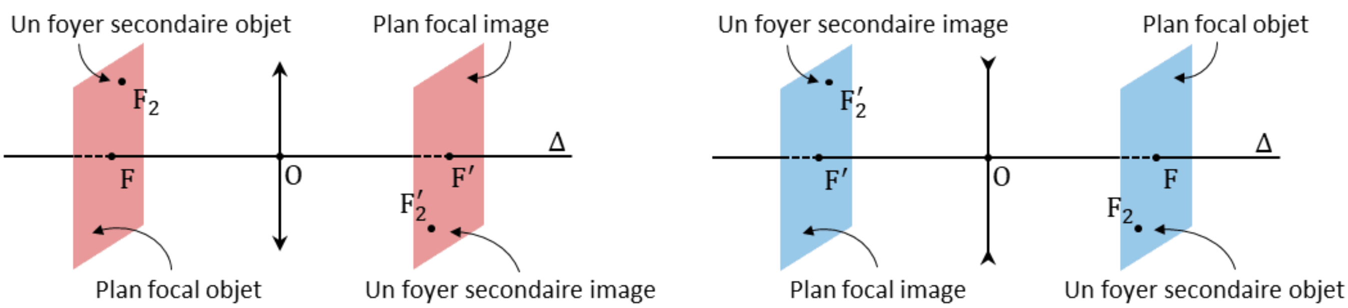
$$\overline{\mathrm{OF}} = -\overline{\mathrm{OF}'}$$

- Le **plan focal image** est le plan passant par F' et perpendiculaire à l'axe optique. Tout point de ce plan est un **foyer secondaire image** F'_2 dont le point objet conjugué est situé à l'infini en dehors de l'axe optique. Tout faisceau de lumière parallèle converge incident converge en un foyer secondaire image.

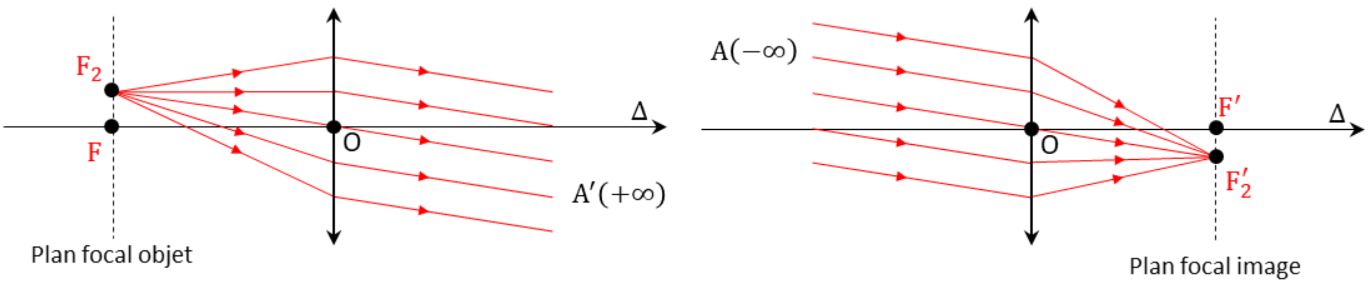
$$\mathrm{A}(-\infty \text{ hors } \Delta) \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \mathrm{F}'_2$$

- Le **plan focal objet** est le plan passant par F et perpendiculaire à l'axe optique. Tout point de ce plan est un **foyer secondaire objet** F_2 dont le point image conjugué est situé à l'infini en dehors de l'axe optique. Tout faisceau incident issu d'un foyer secondaire objet émerge en un faisceau parallèle.

$$\mathrm{F}_2 \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \mathrm{A}'(+\infty \text{ hors } \Delta)$$



Exemple de la lentille convergente :



La distance focale f' est la distance algébrique entre O et F'. Pour une lentille convergente : $f' > 0$. Pour une lentille divergente : $f' < 0$.

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

- La **vergence** V d'une lentille est l'inverse de sa distance focale : $\boxed{\mathrm{V} = \frac{1}{f'}}$. Elle s'exprime en **dioptrie** de symbole δ (donc : $1\ \delta = 1\ \mathrm{m}^{-1}$).

IV.3 - Construction d'une image

<u>Objectif</u> : Construire l'image $\mathrm{A'B'}$ d'un objet AB. On note : $\mathrm{AB} \underset{\mathcal{L}}{\longrightarrow} \mathrm{A'B'}$.

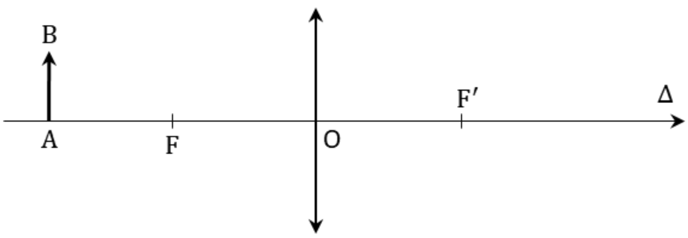
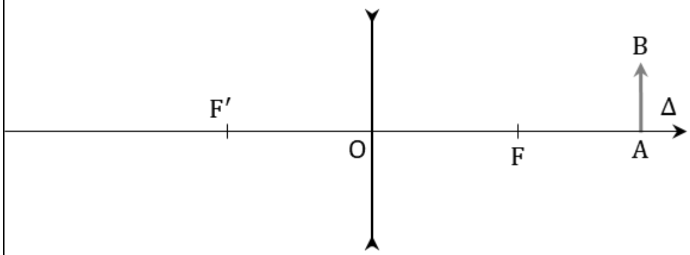
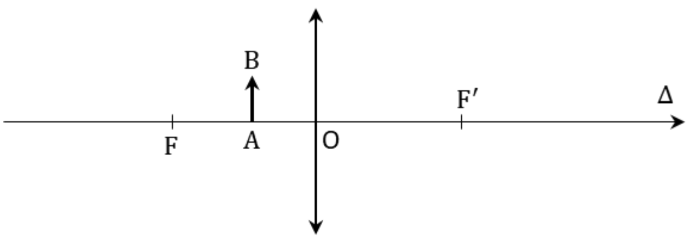
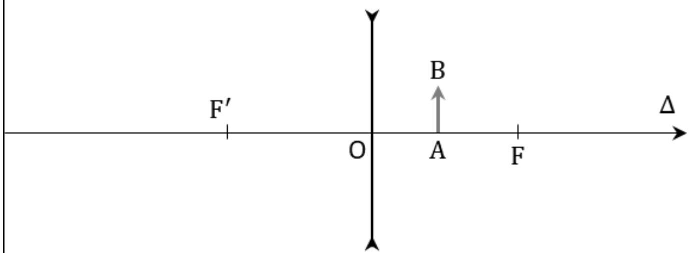
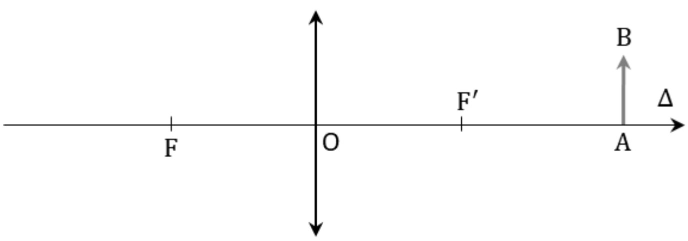
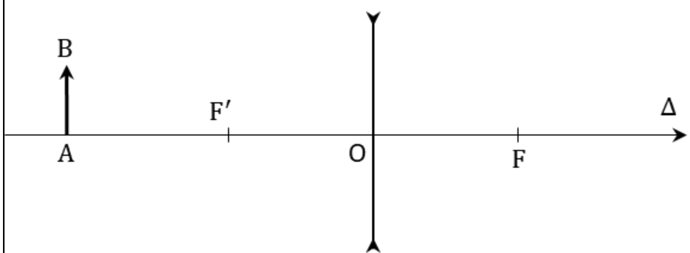
<u>Méthode</u> :

(1) Construire $\mathrm{B'}$ à l'aide deux des trois rayons suivants :

- Le rayon passant par B et O n'est pas dévié.
- Le rayon passant par B et F émerge parallèle à Δ.
- Le rayon parallèle à Δ et passant par B émerge en passant par $\mathrm{F'}$.

(2) Construire $\mathrm{A'}$, projeté orthogonal de $\mathrm{B'}$ sur l'axe optique (→ aplanétisme)

<u>Application</u> (6 cas possibles) :

Lentille convergente	**Lentille divergente**
$-\infty < \overline{\mathrm{OA}} < \overline{\mathrm{OF}}$ Objet réel → Image réelle 	$\overline{\mathrm{OF}} < \overline{\mathrm{OA}} < +\infty$ Objet virtuel → Image virtuelle 
$\overline{\mathrm{OF}} < \overline{\mathrm{OA}} < 0$ Objet réel → Image virtuelle 	$0 < \overline{\mathrm{OA}} < \overline{\mathrm{OF}}$ Objet virtuel → Image réelle 
$0 < \overline{\mathrm{OA}} < +\infty$ Objet virtuel → Image réelle 	$-\infty < \overline{\mathrm{OA}} < 0$ Objet réel → Image virtuelle 

<u>Remarque</u> :

Le principe de retour inverse de la lumière permet d'affirmer qu'une lentille divergente se comporte de la même manière qu'une lentille convergente dont l'axe optique a été inversé.

IV.4 - Prolongement d'un rayon quelconque

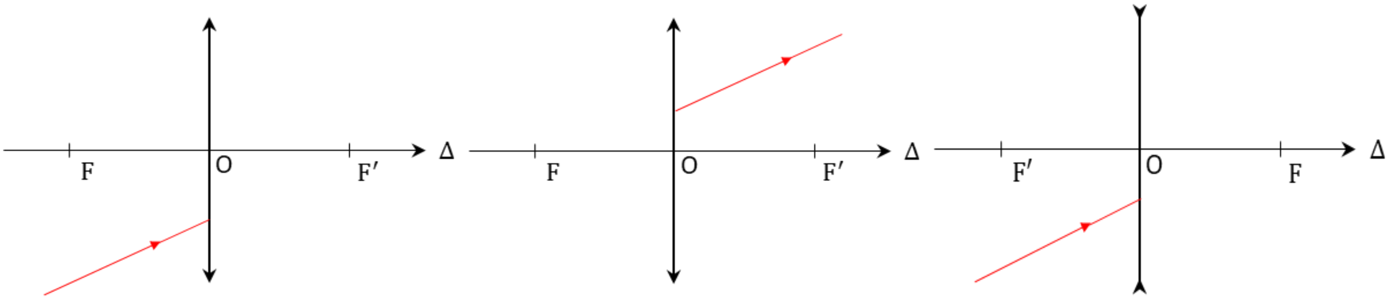
Objectif : prolonger un rayon quelconque arrivant sur une lentille.

Plusieurs méthodes :

(1) Construire le rayon parallèle passant par O. Les deux rayons se croisent dans le plan focal image.

(2) Construire le rayon parallèle passant par F. Les deux rayons se croisent dans le plan focal image.

(3) Tracer le rayon passant par F_2 (intersection du rayon incident et du plan focal objet) et O. Les deux rayons émergent parallèles entre eux.



IV.5 - Relation de conjugaison et de grandissement

Relation de conjugaison et de grandissement de Descartes (origine au centre optique) :

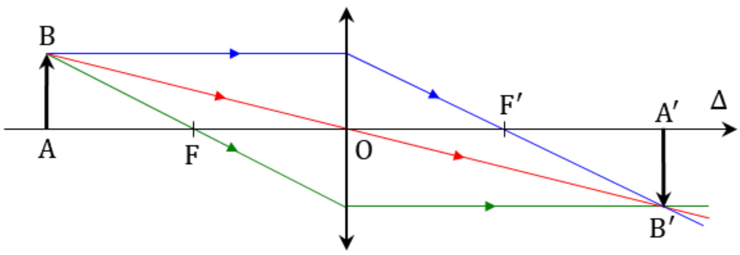
$$\boxed{\frac{1}{\overline{\mathrm{OA'}}} - \frac{1}{\overline{\mathrm{OA}}} = \frac{1}{f'}} \qquad \boxed{\gamma = \frac{\overline{\mathrm{A'B'}}}{\overline{\mathrm{AB}}} = \frac{\overline{\mathrm{OA'}}}{\overline{\mathrm{OA}}}}$$

Relation de conjugaison et de grandissement de Newton (origines aux foyers) :

$$\boxed{\overline{\mathrm{FA}} \times \overline{\mathrm{F'A'}} = -f'^{\,2}} \qquad \boxed{\gamma = \frac{\overline{\mathrm{A'B'}}}{\overline{\mathrm{AB}}} = \frac{f'}{\overline{\mathrm{FA}}} = -\frac{\overline{\mathrm{F'A'}}}{f'}}$$

Exemple de démonstration :

Démontrons que : $\gamma = \frac{\overline{\mathrm{OA'}}}{\overline{\mathrm{OA}}}$.



IV.6 - Condition de formation d'une image réelle par une lentille convergente

Objectif :

Établir une condition assurant la formation d'une **image réelle** d'un **objet réel** par une **lentille convergente**.

On note :

$x = \overline{\mathrm{OA}} < 0$ et $D = \overline{\mathrm{AA'}} > 0$