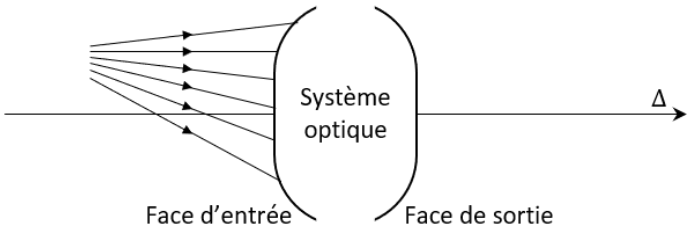
Chapitre O2 – Miroirs plans et lentilles minces

I) Objets et images

1) Axe optique

Un système optique dit centré 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 incidente.



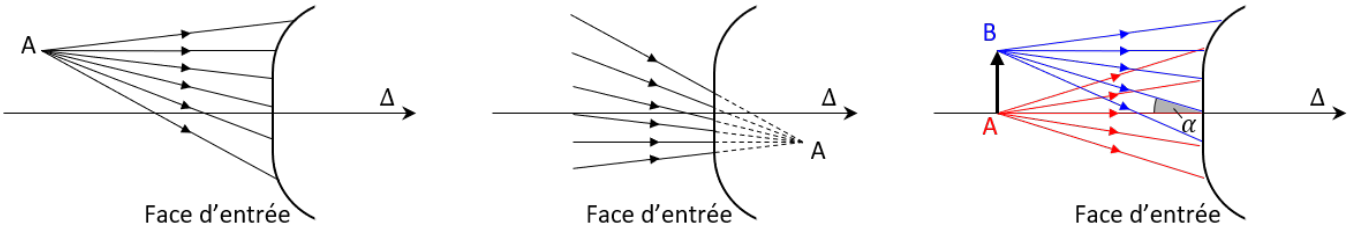
2) Objets

Un **point objet** A est un point où se croisent (ou semblent se croiser, en prolongeant les rayons) les rayons lumineux incidents.

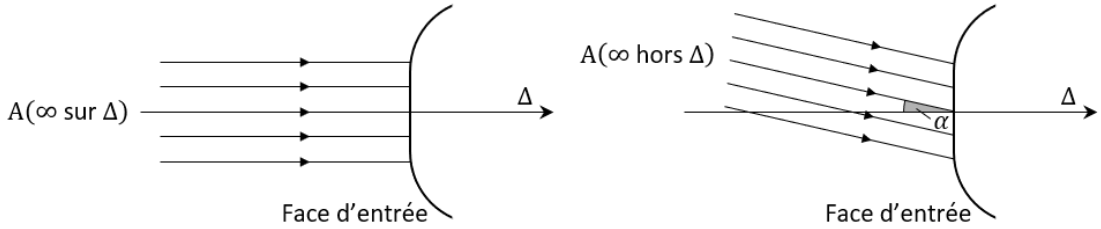
Un ensemble de points objets forme un **objet**. Les grandeurs pertinentes qui le caractérisent sont sa taille (AB) et l'angle α sous lequel l'objet est vu par le système optique.

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 l'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.



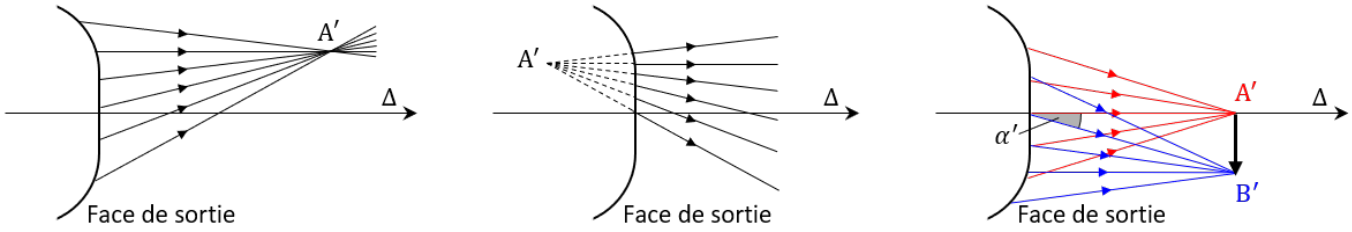
3) Images

Un **point image** A′ est un point où se croisent (ou semblent se croiser, en prolongeant les rayons) les rayons lumineux émergents.

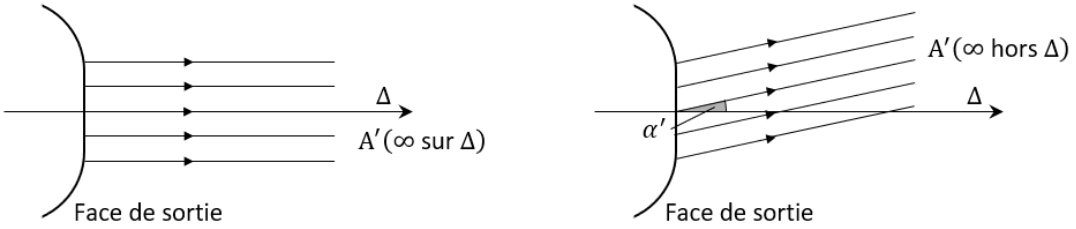
Un ensemble de points images forme une **image**. Les grandeurs pertinentes qui la caractérisent sont sa taille ($A'B'$) et l'angle α' sous lequel l'image est vue par le système optique.

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.

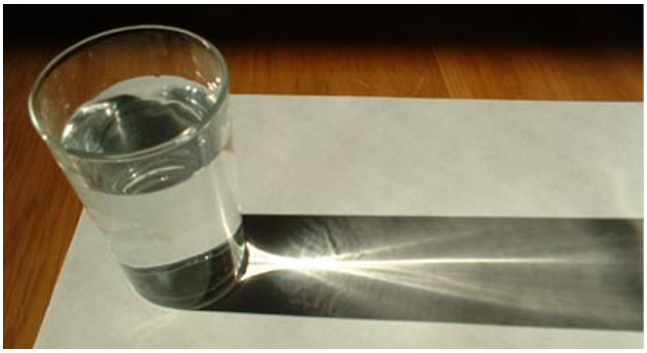


II) Approximation de Gauss

1) Stigmatisme et aplanétisme

Un système optique est dit rigoureusement **stigmatique** si l'image d'un point objet A est un point image A′.

Conséquence d'un système non stigmatique : l'image d'un point A est une tâche centrée autour de A′. L'image obtenue semble floue.

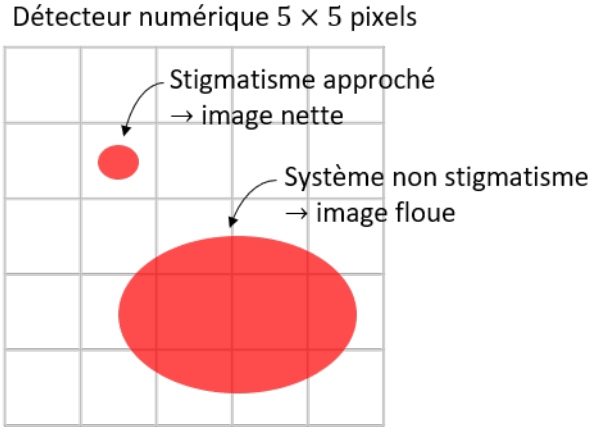


Un système optique est dit rigoureusement **aplanétique** si l'image d'un objet perpendiculaire à Δ est une image perpendiculaire à Δ.

Conséquence d'un système non aplanétique : les angles ne sont pas conservés. L'image obtenue est distordue.

2) Conditions de Gauss

Tout détecteur est composé d'unités élémentaires (pixels pour un capteur CCD, bâtonnets pour l'œil, etc.) de taille caractéristique notée a. Si l'image d'un point objet est une tâche de taille $d < a$, alors l'image reste de la meilleure qualité possible pour ce détecteur. On dit que le système réalise un **stigmatisme approché**.



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

Conditions de Gauss

Expérimentalement, on se place dans les conditions de Gauss en plaçant un diaphragme devant le système optique. Plus on ferme le diaphragme :

- plus le système devient stigmatique ;
- plus l'image est sombre et plus la diffraction est importante.

Il y a donc un compromis à trouver entre une ouverture trop grande et une ouverture trop petite.

3) Application : le dioptre plan

III) Miroir plan

1) Construction d'une image

Cherchons l'image A' de A à travers un miroir.

$$A \xrightarrow{\mathcal{M}} A'$$

En utilisant les lois de Snell-Descartes, on démontre que tous les rayons émergents semblent provenir de A', symétrique de A par rapport au plan du miroir. Le miroir plan est rigoureusement stigmatique.

L'image d'un objet réel est virtuelle. L'image d'un objet virtuel est réelle.

On recommence avec B tel que AB soit perpendiculaire à Δ. On réalise que $A'B'$ est également perpendiculaire à Δ. Le miroir plan est rigoureusement aplanétique.

Remarque : le miroir plan est le seul système optique rigoureusement stigmatique et aplanétique hors des conditions de Gauss.

2) Relation de conjugaison et de grandissement

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

On appelle **grandissement** la grandeur :

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

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.

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

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

Pour le miroir plan :

$$\boxed{\overline{HA} = -\overline{HA'} \quad \text{et} \quad \gamma = 1}$$

IV) Lentilles minces

1) Définition

Définition :

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

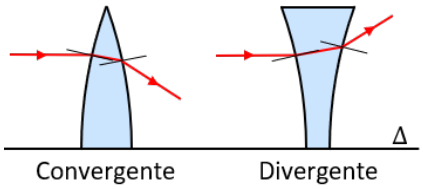
Remarque : Un dioptre plan est un dioptre sphérique où $R \to \infty$.

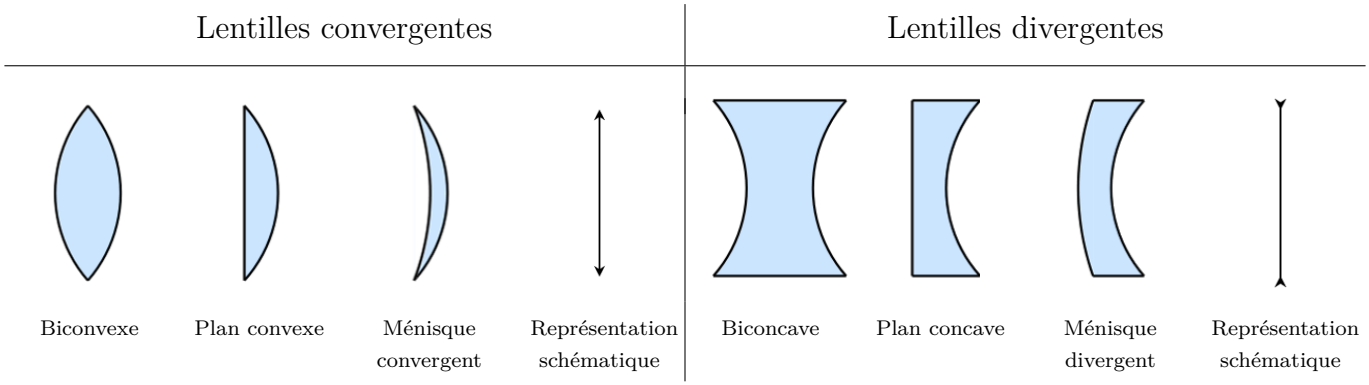
La lentille est dite **mince** lorsque :

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

Propriété :

Lorsqu'il traverse une lentille, un rayon lumineux 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.





2) Propriétés remarquables

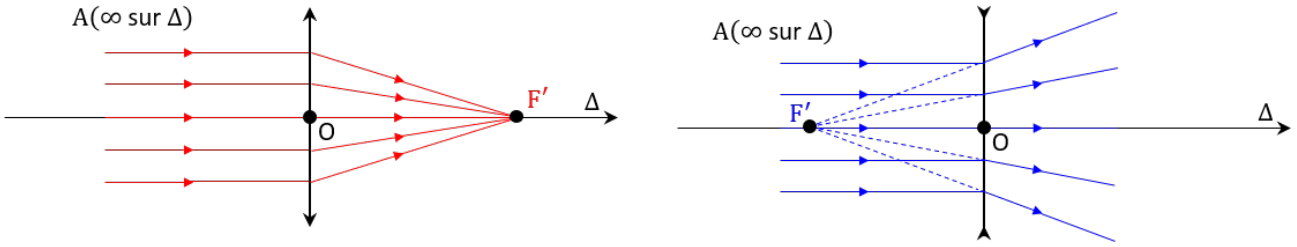
Une lentille n'est pas rigoureusement stigmatique ! Pour avoir un stigmatisme et un aplanétisme approchés, il faut impérativement se placer dans les conditions de Gauss.

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

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

Le **foyer principal image** ou **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′.

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



On appelle **distance focale**, notée f' la distance algébrique entre O et F′.

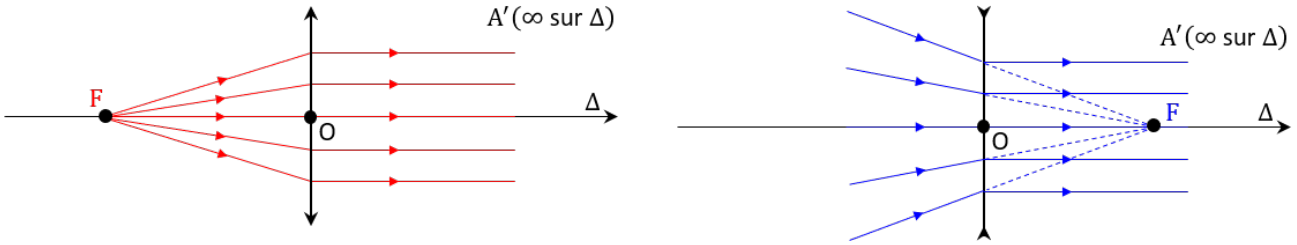
$$f' = \overline{\text{OF}'} \quad \text{avec :} \quad \begin{cases} f' > 0 & \text{pour une lentille convergente} \\ f' < 0 & \text{pour une lentille divergente} \end{cases}$$

On appelle **vergence** d'une lentille l'inverse de sa distance focale. Elle s'exprime en dioptries ($\delta = \text{m}^{-1}$) :

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

Le **foyer principal objet** ou **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.

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



Le principe de retour inverse de la lumière assure que F et F′ sont symétriques par rapport à O.

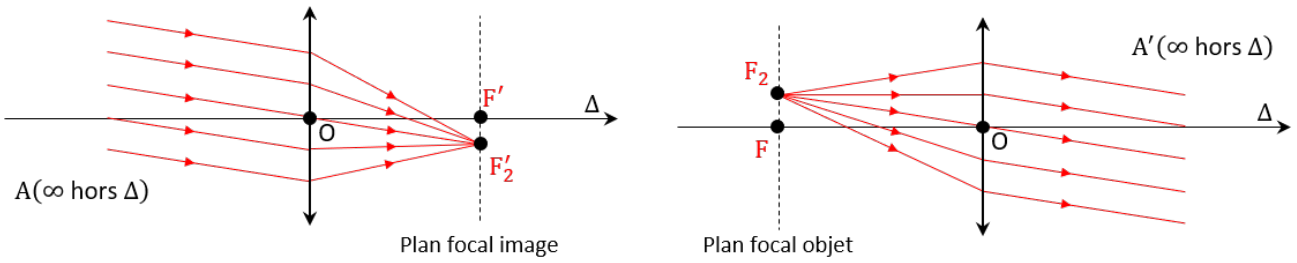
$$f' = \overline{\text{OF}'} = -\overline{\text{OF}}$$

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 en un foyer secondaire image.

$$\text{A}\,(\infty \text{ hors } \Delta) \xrightarrow{\mathcal{L}} \text{F}'_2$$

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.

$$\text{F}_2 \xrightarrow{\mathcal{L}} \text{A}'\,(\infty \text{ hors } \Delta)$$



3) Relations de conjugaison et de grandissement

Relations de Descartes :

$$\frac{1}{\overline{\mathrm{OA'}}} - \frac{1}{\overline{\mathrm{OA}}} = \frac{1}{f'} \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{\overline{\mathrm{A'B'}}}{\overline{\mathrm{AB}}} = \frac{\overline{\mathrm{OA'}}}{\overline{\mathrm{OA}}}$$

Relations de Newton :

$$\overline{\mathrm{FA}} \times \overline{\mathrm{F'A'}} = -f'^2 \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{\overline{\mathrm{A'B'}}}{\overline{\mathrm{AB}}} = \frac{f'}{\overline{\mathrm{FA}}} = -\frac{\overline{\mathrm{F'A'}}}{f'}$$

4) Construction d'une image

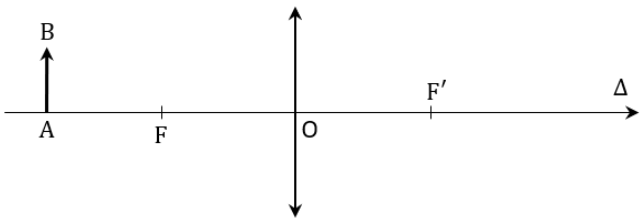
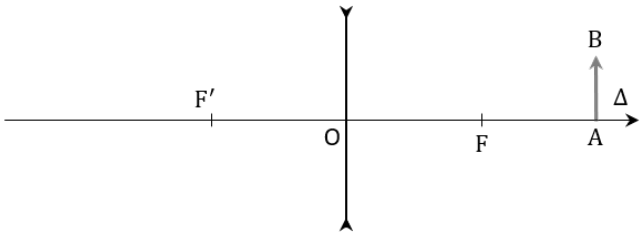
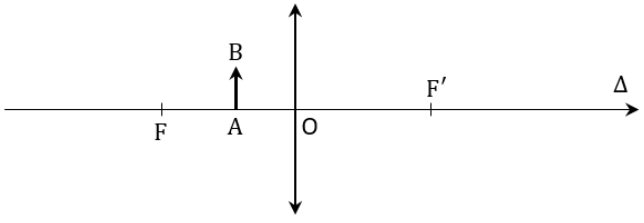
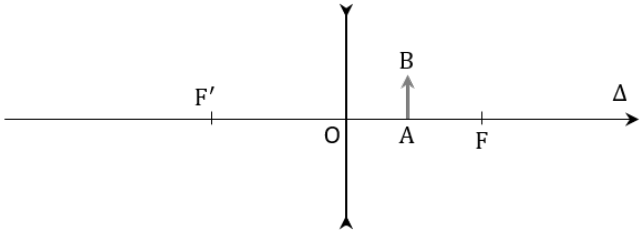
Objectif : construire l'image $\mathrm{A'B'}$ d'un objet AB (où A est sur Δ) à travers une lentille.

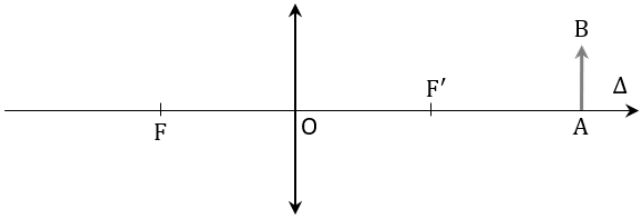
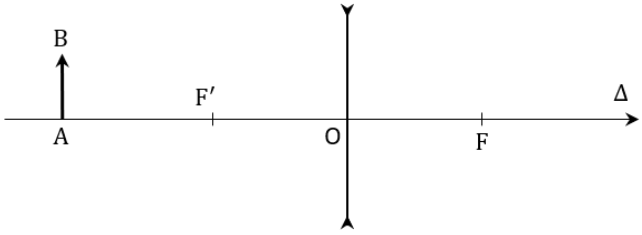
$$\mathrm{AB} \xrightarrow{\mathcal{L}} \mathrm{A'B'}$$

Méthode :

- **Stigmatisme** → construire $\mathrm{B'}$ à l'aide de 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 $\mathrm{F'}$.
- **Aplanétisme** → construire $\mathrm{A'}$, projeté orthogonal de $\mathrm{B'}$ sur Δ.

Application :

Lentilles convergentes	Lentilles divergentes
$-\infty < \overline{\mathrm{OA}} < \overline{\mathrm{OF}}$ Objet réel → Image réelle 	$-\infty < \overline{\mathrm{OA}} < 0$ 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 

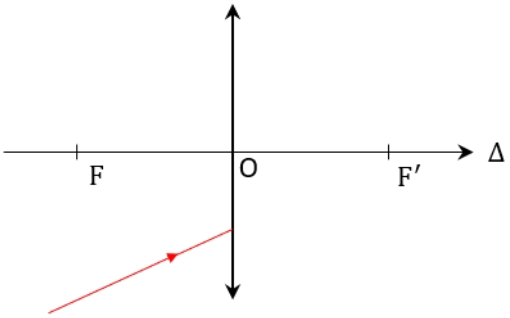
$0 < \overline{OA} < +\infty$	$\overline{OF} < \overline{OA} < +\infty$
Objet virtuel → Image réelle	Objet réel → Image virtuelle
	

5) Prolongement d'un rayon quelconque

Objectif : prolonger un rayon quelconque arrivant sur une lentille.

Méthode :

- Tracer le rayon parallèle au rayon considéré passant par O, qui n'est pas dévié.
- Les deux rayons se croisent dans le plan focal image.

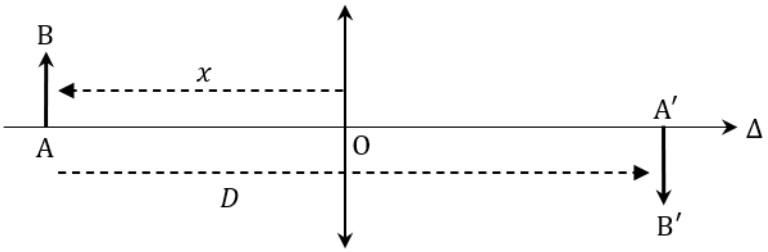


6) Condition de formation d'une image réelle par une lentille convergente

Propriété :

Pour pouvoir former l'**image réelle** d'un **objet réel** par une **lentille convergente**, il faut nécessairement que la distance $D \geq 4f'$ où D est la distance entre l'objet et l'image.

Démonstration :



On note :

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