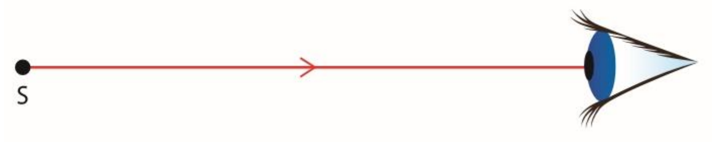
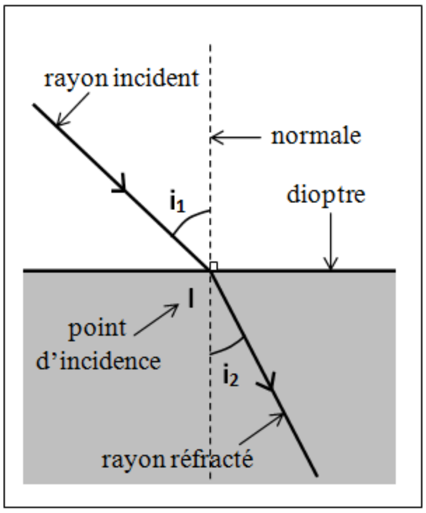
I Rappels sur la lumière

La lumière se propage dans un milieu transparent <u>en ligne droite</u>.

Le trajet de la lumière peut être modélisé par un **rayon lumineux**.
Un rayon lumineux est représenté par une **droite** avec une **flèche** sur la droite, indiquant le sens de propagation. Il ne faut pas oublier cette flèche !!



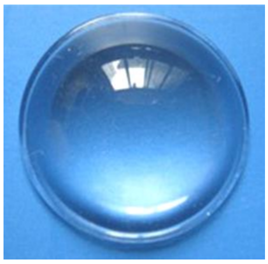


La vitesse de propagation de la lumière dépend du milieu traversé.

Lorsque la lumière change de milieu, elle change de direction. On dit qu'elle est <u>réfractée</u>, selon les lois de Snell-Descartes.

$$n_1 \times \sin i_1 = n_2 \times \sin i_2$$

II Les différentes lentilles minces

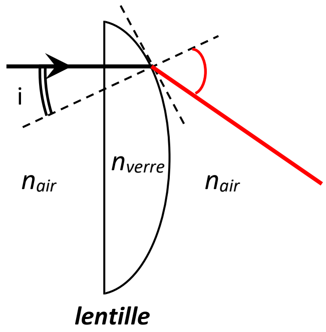


Une <u>lentille</u> est un solide constitué d'un matériau transparent (verre ou matière plastique), délimité par deux faces dont l'une au moins est courbe.

De nombreux objets de la vie courante sont constitués de lentilles : lunettes de vue, lentilles de contact, appareil photo, lunette astronomique, …

On parle de lentilles **minces** si l'épaisseur du milieu de la lentille est très inférieure aux rayons des surfaces courbes.

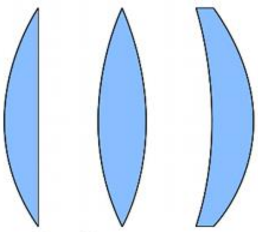
Compléter le rayon lumineux sortant de la lentille suivante :
On constate que le rayon est dévié par la lentille.



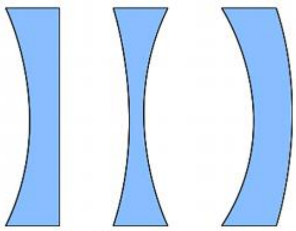
Le <u>phénomène de réfraction</u> est à l'origine de la déviation de la lumière par une lentille.

Il existe deux types de lentilles minces :

- **les <u>lentilles minces convergentes</u> : elles ont un bord plus fin que le centre et elles grossissent la taille d'un texte.**
- **les <u>lentilles minces divergentes</u> : elles ont un bord plus épais que leur centre et elles diminuent la taille d'un texte.**



Lentilles convergentes



Lentilles divergentes

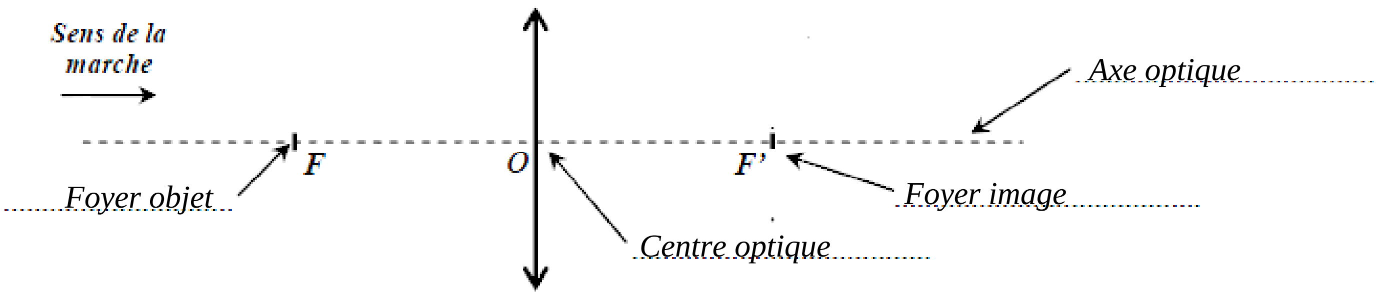
Dans la suite du chapitre, on ne s'intéressera qu'aux lentilles minces convergentes.

III Etude des lentilles minces convergentes

1) Les caractéristiques d'une lentille mince convergente

Une lentille mince convergente est représentée par **une double flèche** (on néglige l'épaisseur de la partie centrale). Elle est caractérisée par :

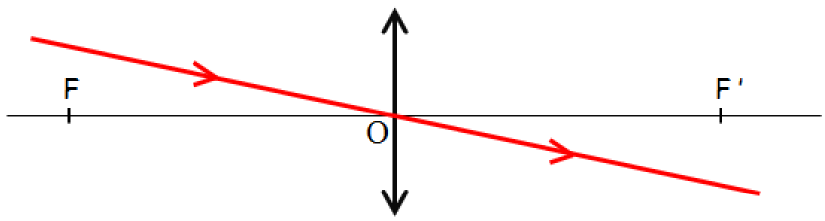
- ✓ son **centre optique O** au centre de la double flèche ;
- ✓ son **axe optique** appelé Δ (« delta » majuscule dans l'alphabet grec) : axe de symétrie de la lentille perpendiculaire à elle et passant par le centre optique ;
- ✓ son **foyer objet F**, situé sur l'axe optique à gauche du centre optique, sa position est une caractéristique de la capacité de « zoom » de la lentille ;
- ✓ son **foyer image F'** : symétrique de F par rapport à O.

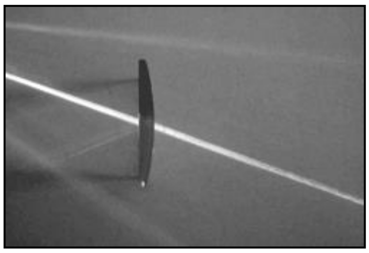


2) Tracé des trois rayons particuliers traversant une lentille mince convergente

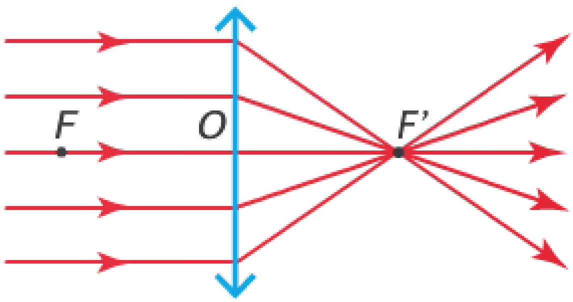
Pour construire géométriquement une image à partir d'un objet et d'une lentille, il faut au préalable maîtriser la marche de trois rayons particuliers émis par l'objet et pénétrant dans la lentille.

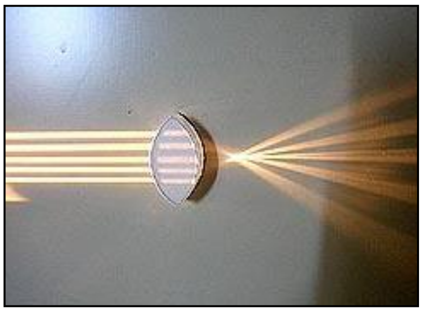
- **Un rayon incident passant par le centre optique O n'est pas dévié.**





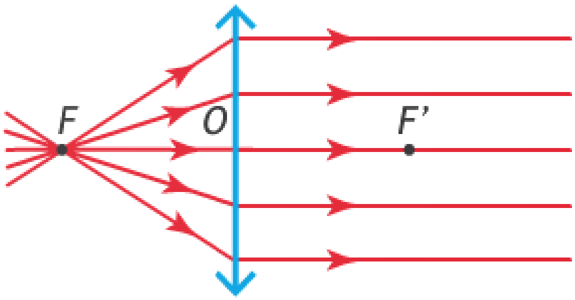
- **Les rayons incidents parallèles à l'axe optique ressortent de la lentille en passant par le foyer image F'.**

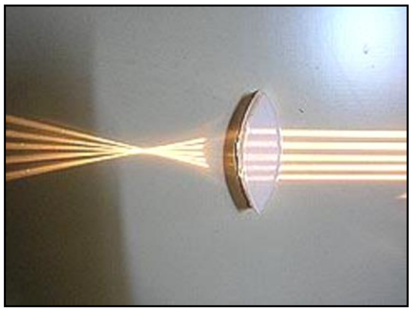




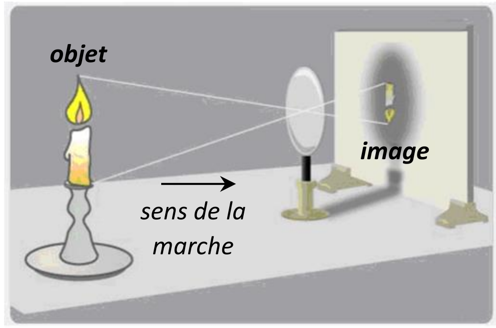
Remarque : Tous les rayons lumineux sont donc concentrés en un seul point qui peut devenir rapidement très chaud, d'où le nom de « foyer ».
Il est même possible d'enflammer une feuille de papier avec une grosse lentille convergente comme une loupe !

- **Les rayons incidents passant par le foyer objet F ressortent parallèles à l'axe optique.**



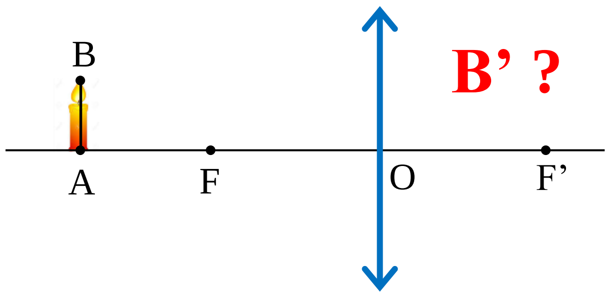


3) Construction graphique d'une image

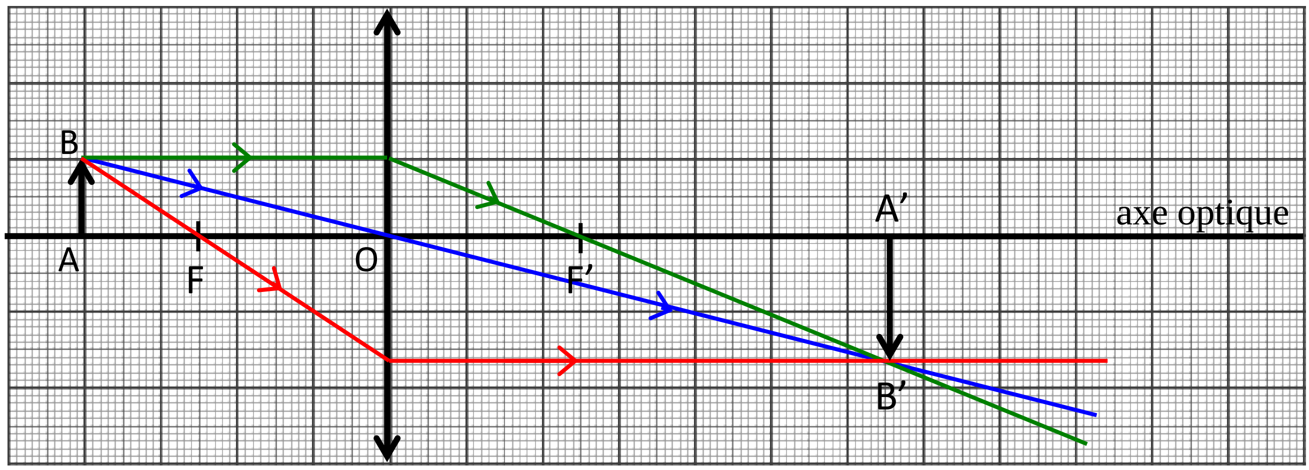


Lorsqu'on place un **objet** devant une lentille, les rayons venant de cet objet et pénétrant dans la lentille vont alors former une **image**.
Pour obtenir une image nette, il est nécessaire de placer un écran à l'endroit où elle se forme.

On se limite à la construction de l'image d'un objet AB perpendiculaire à l'axe optique (comme la bougie). L'image A'B' est elle aussi perpendiculaire à l'axe optique.
La construction à l'aide des trois rayons particuliers issus de B permet de trouver où se trouve le point B' : image de B à travers la lentille.
La position de A' se déduit par projection orthogonale de B' sur l'axe optique.



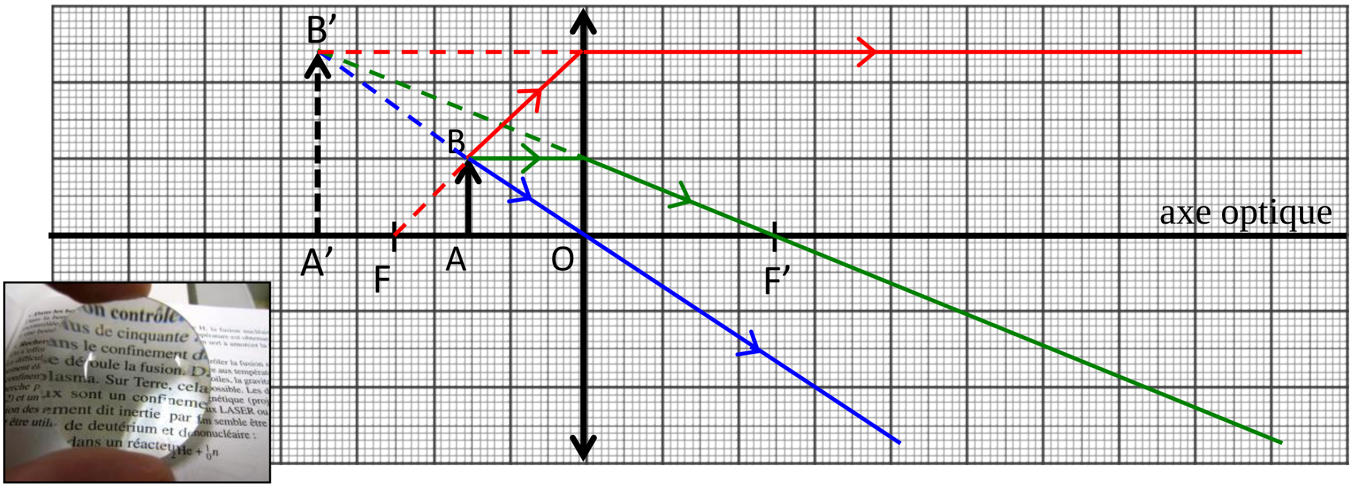
a) Cas d'un objet situé avant F (cas le plus fréquent, à connaître par cœur !!)



- **L'image A'B' obtenue est renversée.**
- **L'image A'B' est dite réelle car elle est située après la lentille, elle est observable sur un écran qui serait placé en A'B'.**

Remarque : L'image peut être plus grande ou plus petite que l'objet suivant sa position.

b) Cas d'un objet situé entre F et O

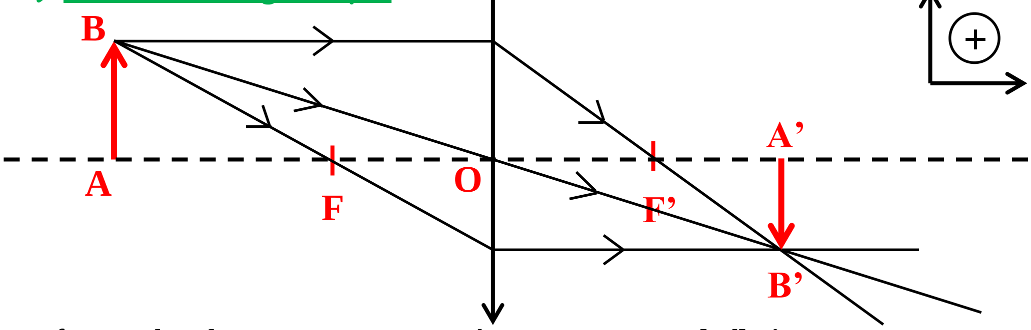


Les rayons émergents se coupent si on les prolonge du côté de l'objet AB. Ils permettent de tracer l'image A'B'.

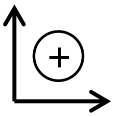
- **L'image A'B' obtenue est <u>droite</u> car elle dans le même sens que l'objet.**
- **L'image A'B' est dite <u>virtuelle</u> car elle est située avant la lentille, du même côté que l'objet. Elle n'est pas observable sur un écran.**

<u>Remarque n°1</u> : L'image est toujours plus grande que l'objet.
Avec la construction graphique, l'image est à gauche de la lentille. Il faut regarder <u>à travers</u> la lentille pour pouvoir l'observer ! C'est ce que l'on fait lorsqu'on utilise une loupe.
<u>Remarque n°2</u> : On prolonge les rayons en <u>pointillés</u> après l'objet car ce sont des rayons virtuels. L'image A'B' doit elle-même être tracée en <u>pointillés</u>.

4) La mesure algébrique



Ce symbole signifie que les distances sont mesurées en **<u>mesures algébriques</u>**, avec pour origine le centre optique O. Il donne le sens d'orientation des axes.



- Une mesure algébrique peut être *positive ou négative*. Elle se note avec *un trait sur les deux lettres* désignant le segment. *<u>Exemples</u>* : $\overline{OA'}$ $\overline{OF}$ $\overline{AB}$
- A l'horizontale, on compte une mesure positivement si le segment est orienté de gauche à droite ; négativement dans le cas contraire.
  <u>Exemples</u> : $\overline{OF'}$ = 2,1 cm $\overline{OA'}$ = 3,8 cm $\overline{OF}$ = – 2,1 cm $\overline{OA}$ = – 5,0 cm
- A la verticale, on compte une mesure positivement si le segment est orienté de bas en haut ; négativement dans le cas contraire. *<u>Exemples</u>* : $\overline{AB}$ = 1,6 cm $\overline{A'B'}$ = – 1,2 cm

5) Distance focale et vergence d'une lentille mince convergente

Une lentille mince est caractérisée par sa distance focale ou sa vergence.

La <u>distance focale</u> est notée *f '*. Elle correspond à la mesure algébrique entre le centre optique O et le foyer image F', c'est-à-dire à la mesure $\overline{OF'}$.
Cette distance est toujours positive (pour une lentille convergente).
Comme F' est le symétrique de F, on a donc toujours : $f' = \overline{OF'} = -\overline{OF}$

Les opticiens utilisent davantage la <u>vergence</u> qui est notée C. Elle correspond à l'inverse de la distance focale *f '*. Elle se mesure en dioptries (symbole : δ, lettre «delta » dans l'alphabet grec).

$\boxed{C = \frac{1}{f'} = \frac{1}{\overline{OF'}}}$ ou $\boxed{f' = \frac{1}{C}}$ ***f '*** **en <u>mètre</u> (symbole : m)** **C en dioptrie (symbole : δ)**

<u>Remarque</u> : La vergence se note C car un certain nombre d'auteurs lui donnent plutôt le nom de convergence. Ce nom est cependant gênant quand on parle de lentilles divergentes. La notation C est restée.

<u>Exemple</u> : lentille de distance focale *f '* = 7,5 cm = 0,075 m : Vergence $C = \frac{1}{f'} = \frac{1}{0{,}075} = 13\ \delta$.

<u>Exercices</u> :

1) Calculer la vergence d'une lentille de distance focale *f '* = 0,50 m. $C = \frac{1}{f'} = \frac{1}{0{,}50} = 2{,}0\ \delta$
2) Calculer la distance focale d'une lentille de vergence C = 20 δ. $f' = \frac{1}{C} = \frac{1}{20} = 0{,}050\ \text{m} = 5{,}0\ \text{cm}$
3) Calculer la vergence d'une lentille de distance focale *f '* = 25 cm.
   ***f '* = 0,25 m** **Vergence :** $C = \frac{1}{f'} = \frac{1}{0{,}25} = 4{,}0\ \delta$

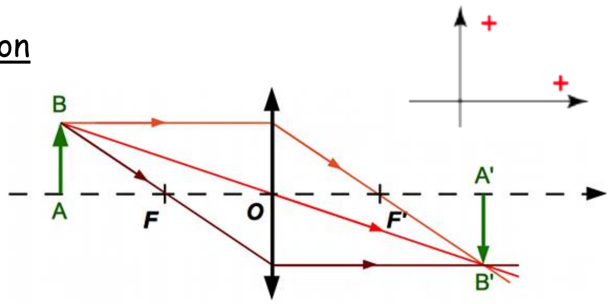
IV <u>Les relations fondamentales des lentilles minces</u>

1) <u>La relation de conjugaison</u>

a) <u>Enoncé de la relation de conjugaison</u>

Les positions de l'objet AB et de son image A'B' sont repérées par les mesures algébriques $\overline{OA}$ et $\overline{OA'}$.

La relation de conjugaison due à René Descartes permet de déterminer la position de A' quand celle de A et la distance focale sont connues.



$$\boxed{\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}}$$

<u>Remarque n°1</u> : La mesure algébrique $\overline{OA}$ est toujours négative car l'objet est placé avant la lentille.
Si l'image est après la lentille, l'image est **<u>réelle</u>**, alors la mesure algébrique **<u>$\overline{OA'}$ est positive</u>**.
Si l'image est avant la lentille, l'image est **<u>virtuelle</u>**, alors la mesure algébrique **<u>$\overline{OA'}$ est négative</u>**.

<u>Remarque n°2</u> : « conjugaison » vient du latin *conjugere* qui signifie « lier », « unir ». La relation de conjugaison relie les positions de l'objet et de l'image.

b) <u>Démonstration des calculs de distance</u>

<u>Petit rappel mathématique</u> : Pour additionner (ou soustraire) deux fractions, on NE PEUT PAS additionner les deux dénominateurs. Il FAUT mettre les deux fractions au même dénominateur :

<u>Exemple</u> : $\frac{1}{3} + \frac{1}{4} \neq \frac{1}{3+4}$ ☠ !! $\frac{1}{3} + \frac{1}{4} = \frac{1 \times \mathbf{4}}{3 \times \mathbf{4}} + \frac{1 \times \mathbf{3}}{4 \times \mathbf{3}} = \frac{4}{12} + \frac{3}{12} = \frac{4+3}{12} = \frac{7}{12}$

Il faut ABSOLUMENT savoir redémontrer les expressions permettant de calculer :

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

✓ On isole $\frac{1}{\overline{OA'}}$: $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OF'}} + \frac{1}{\overline{OA}}$

✓ On met au même dénominateur les deux fractions : $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1 \times \overline{OA}}{\overline{OF'} \times \overline{OA}} + \frac{1 \times \overline{OF'}}{\overline{OA} \times \overline{OF'}}$

✓ On peut maintenant réaliser l'addition : $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1 \times \overline{OA} + 1 \times \overline{OF'}}{\overline{OA} \times \overline{OF'}} = \frac{\overline{OA} + \overline{OF'}}{\overline{OA} \times \overline{OF'}}$

✓ On obtient enfin l'expression de $\overline{OA'}$ en inversant les deux termes de l'égalité : $\boxed{\overline{OA'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}}}$

- **La position de l'objet $\overline{OA}$:**

✓ On isole $\frac{1}{\overline{OA}}$: $-\frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} - \frac{1}{\overline{OA'}}$ donc $\frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OF'}}$

✓ On met au même dénominateur les deux fractions : $\frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1 \times \overline{OF'}}{\overline{OA'} \times \overline{OF'}} - \frac{1 \times \overline{OA'}}{\overline{OF'} \times \overline{OA'}}$

✓ On peut maintenant réaliser la soustraction : $\frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1 \times \overline{OF'} - 1 \times \overline{OA'}}{\overline{OF'} \times \overline{OA'}} = \frac{\overline{OF'} - \overline{OA'}}{\overline{OF'} \times \overline{OA'}}$

✓ On obtient enfin l'expression de $\overline{OA}$ en inversant les deux termes de l'égalité : $\boxed{\overline{OA} = \frac{\overline{OF'} \times \overline{OA'}}{\overline{OF'} - \overline{OA'}}}$

- **La distance focale $\overline{OF'}$:**

✓ On isole $\frac{1}{\overline{OF'}}$: $\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}$

✓ On met au même dénominateur les deux fractions : $\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1 \times \overline{OA}}{\overline{OA'} \times \overline{OA}} - \frac{1 \times \overline{OA'}}{\overline{OA} \times \overline{OA'}}$

✓ On peut maintenant réaliser la soustraction : $\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1 \times \overline{OA} - 1 \times \overline{OA'}}{\overline{OA} \times \overline{OA'}} = \frac{\overline{OA} - \overline{OA'}}{\overline{OA} \times \overline{OA'}}$

✓ On obtient enfin l'expression de $\overline{OF'}$ en inversant les deux termes de l'égalité : $\boxed{\overline{OF'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OA'}}{\overline{OA} - \overline{OA'}}}$

c) Exercices

1) Un objet est placé à 5,0 cm d'une lentille de distance focale $f\,'$ = 10 cm. Calculer la position de l'image.

La consigne donne : $\overline{OA}$ = – 5,0 cm $\overline{OF'}$ = 10 cm. On demande de calculer $\overline{OA'}$.

Il faut redémontrer que : $\overline{OA'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}} = \frac{-5{,}0 \times 10}{-5{,}0 + 10} =$ <u>– 10 cm</u>.

La mesure $\overline{OA'}$ est négative. L'image est virtuelle.

2) Une image est obtenue sur un écran placé à 20,0 cm d'une lentille de vergence 100 δ. Calculer la position de l'objet.

La consigne donne : $\overline{OA'}$ = 20,0 cm, l'image est réelle.

La vergence vaut C = 100 δ, donc f' = $\overline{OF'}$ = $\frac{1}{C}$ = $\frac{1}{100}$ = 0,0100 m = 1,00 cm.

On demande de calculer $\overline{OA}$.

Il faut redémontrer que : $\overline{OA} = \dfrac{\overline{OF'} \times \overline{OA'}}{\overline{OF'} - \overline{OA'}} = \dfrac{1,00 \times 20,0}{1,00 - 20,0} = \underline{-1,05 \text{ cm}}$.

3) Un objet est placé à 12,0 cm d'une lentille. L'image se forme à 6,0 cm de l'autre côté de la lentille. Calculer la distance focale de cette lentille.

La consigne donne : $\overline{OA}$ = – 12,0 cm et $\overline{OA'}$ = 6,0 cm. On demande de calculer $\overline{OF'}$.

Il faut redémontrer que : $\overline{OF'} = \dfrac{\overline{OA} \times \overline{OA'}}{\overline{OA} - \overline{OA'}} = \dfrac{-12,0 \times 6,0}{-12,0 - 6,0} = \underline{4,0 \text{ cm}}$.

2) La relation de grandissement

a) Enoncé de la relation de grandissement

Pour comparer la taille et l'orientation de l'image à celles de l'objet, on définit le grandissement $\gamma = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$.

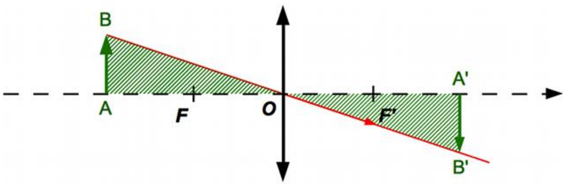
γ : lettre «gamma » dans l'alphabet grec.

La relation de grandissement est :

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

Les mesures algébriques doivent être dans la même unité (m ou cm).
Le grandissement étant le rapport de deux longueurs, il n'a pas d'unité.

Cette relation se démontre facilement par le théorème de Thalès :
En effet, dans les triangles hachurés suivants, on peut écrire : $\dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$. On retrouve la définition du grandissement γ.



- Si γ est **positif**, alors l'image est **droite** (AB et A'B' dans le même sens) ;
  Si γ est **négatif**, alors l'image est **renversée** (AB et A'B' dans le sens opposé).

- Si **|γ| > 1**, alors **l'image est plus grande** que l'objet (A'B' > AB) ;
  Si **|γ| < 1**, alors **l'image est plus petite** que l'objet (A'B' < AB).

Image réelle : $\overline{OA'} > 0$ peut être vue sur un écran		**Image virtuelle : $\overline{OA'} < 0$** ne peut pas être vue sur un écran

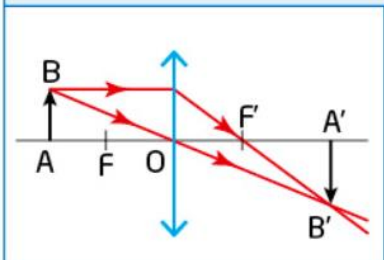
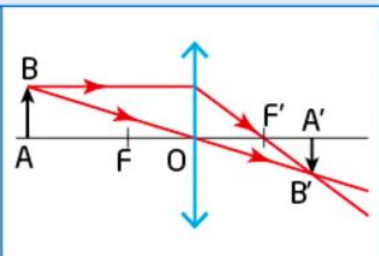
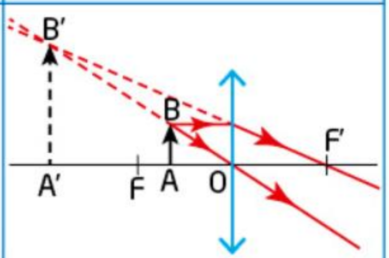

		

Image plus grande : $\lvert\gamma\rvert > 1$	Image plus petite : $\lvert\gamma\rvert < 1$	Image plus grande : $\lvert\gamma\rvert > 1$
Image renversée : $\gamma < 0$	Image renversée : $\gamma < 0$	Image droite : $\gamma > 0$

b) Exercices

L'objectif d'un appareil photographique est modélisé par une lentille de distance focale $f\,' = 10$ cm. L'appareil est mis au point sur un élève de hauteur 165 cm qui se tient perpendiculairement à l'axe optique de l'objectif à une distance de 2,5 m.

1) Déterminer la distance entre la pellicule et la lentille.

La consigne donne : $\overline{AB} = 165$ cm, $\overline{OF'} = 10$ cm et $\overline{OA} = -2{,}5$ m $= -250$ cm . On demande de calculer $\overline{OA'}$.

Il faut redémontrer que : $\overline{OA'} = \dfrac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}} = \dfrac{-250 \times 10}{-250 + 10} = \underline{10{,}4 \text{ cm}}$.

2) Déterminer la dimension de son image sur la pellicule.

On déduit de la relation de grandissement : $\overline{A'B'} = \dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \times \overline{AB} = \dfrac{10{,}4}{-250} \times 165 = \underline{-6{,}86 \text{ cm}}$.

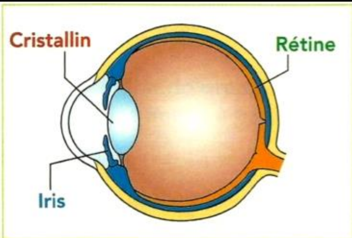
3) Déterminer le grandissement de la lentille.

$\gamma = \dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \dfrac{10{,}4}{-250} = -4{,}17 \times 10^{-2}$. L'image est renversée et plus petite que l'objet.

V Les systèmes optiques utilisant des lentilles

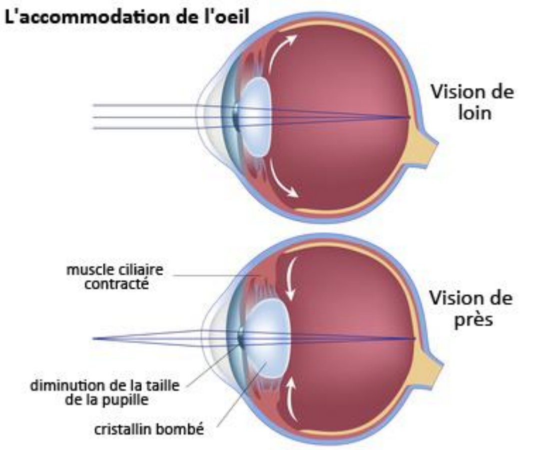
1) L'œil humain

Les rayons de lumière qui pénètrent dans l'œil traversent plusieurs milieux transparents : la cornée, l'humeur aqueuse, le cristallin, l'humeur vitrée.
L'**iris** est la partie colorée de l'œil. La **pupille** est l'ouverture centrale de l'iris (le « trou » noir au centre de l'œil). Le **cristallin** joue le rôle de lentille convergente.
La **rétine** est une sorte d'écran au fond de l'œil tapissée de photorécepteurs sensibles à la lumière et sur laquelle se forment les images.



Doc. 1 Vue en coupe de l'œil réel.

2) L'accommodation de l'oeil



Pour la vision de loin :
L'image d'un objet placé à l'infini (à grande distance comme un paysage) se trouve au foyer image F' de l'œil : c'est là que se trouve la rétine.

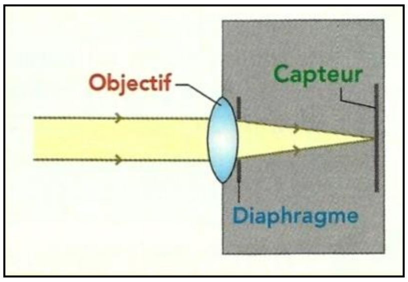
Pour la vision de loin, le cristallin n'est pas déformé, les muscles ciliaires sont au repos. L'œil ne se fatigue pas.

Pour la vision de près :
La distance entre la rétine et le cristallin ne pouvant changer, pour voir un objet proche de l'œil, le cristallin doit « zoomer » pour que l'image se forme sur la rétine. On dit qu'il accommode.

Pour voir un objet proche, la distance focale du cristallin diminue (sa vergence augmente), grâce aux muscles ciliaires qui le déforment en le bombant davantage. C'est l'accommodation.

Avec un appareil photo classique, l'objectif (la lentille) ne peut pas se déformer comme le cristallin pour effectuer la mise au point car il est rigide. L'objectif se déplace pour que l'image se forme sur le capteur.

On effectue la mise au point d'un appareil photo en modifiant les distances objet – lentille ou lentille – écran, c'est-à-dire en changeant la géométrie du montage.



Modélisation d'un appareil photo