Objectifs et trame du chapitre

I. Rappels sur la lumière

Cours

II. Les différentes lentilles minces

III. Étude des lentilles minces convergentes

Activité expérimentale n°6.1 : Image d'un objet formé par une lentille mince convergente

Capacités visées :

- **Déterminer les caractéristiques de l'image d'un objet-plan réel formée par une lentille mince convergente.**
- **Estimer la distance focale d'une lentille mince convergente.**

Exercices d'application à faire après l'activité : 10-11-14 p 315

IV. Les relations fondamentales des lentilles minces

Activité expérimentale n°6.2 : Les relations fondamentales des lentilles minces

Capacités visées :

- **Exploiter les relations de conjugaison et de grandissement fournies pour déterminer la position et la taille de l'image d'un objet-plan réel.**
- **Déterminer les caractéristiques de l'image d'un objet-plan réel formée par une lentille mince convergente.**
- **Estimer la distance focale d'une lentille mince convergente.**
- **Tester la relation de conjugaison d'une lentille mince convergente.**
- **Utiliser le théorème de Thalès. Utiliser des grandeurs algébriques.**

Exercices d'application à faire après l'activité : 4-5-6-7-8-9-12-13-15-16 p 314-315

V. La mise au point

Activité expérimentale n°6.3 : Mise au point et focométrie

Capacités visées :

- **Réaliser une mise au point en modifiant soit la distance focale de la lentille convergente soit la géométrie du montage optique.**

Exercices d'application à faire après l'activité : 2-3 p 314

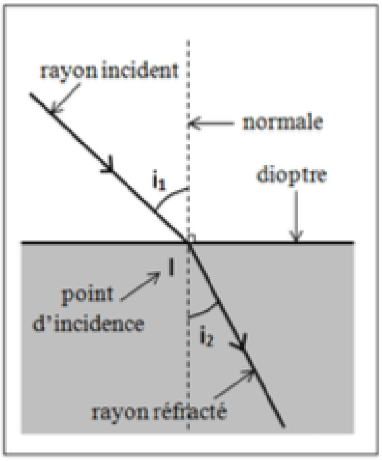
Bilan des activités :

Vidéo : Relation de conjugaison

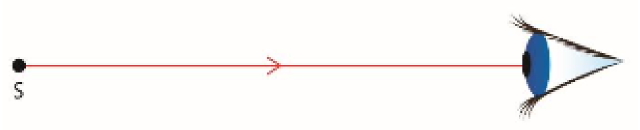
https://youtu.be/i7sEyGekFp8

I Rappels sur la lumière

La lumière se propage dans un milieu transparent en ligne droite.



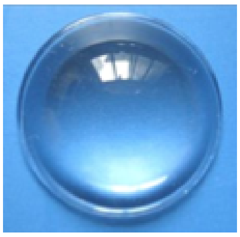
Le trajet de la lumière peut être modélisé par un **rayon lumineux**.
Un rayon lumineux est représenté par une **droite** avec une **flèche** sur la droite, indiquant le sens de propagation. Il ne faut pas oublier cette flèche !!



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 réfractée, selon les lois de Snell-Descartes.

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



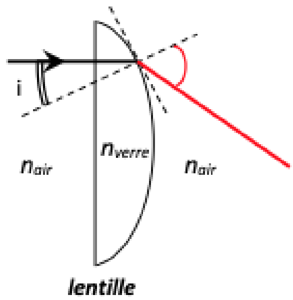
II Les différentes lentilles minces

Une lentille 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, télescope, …

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

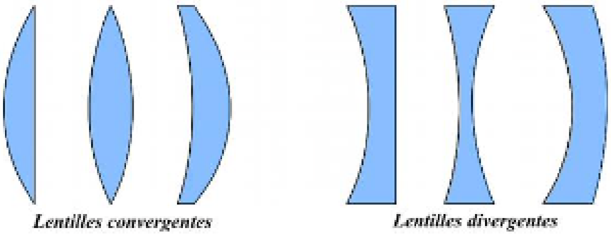
Compléter le rayon lumineux sortant de la lentille suivante :
On constate que le rayon est dévié par la lentille.



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

Il existe deux types de lentilles minces :

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



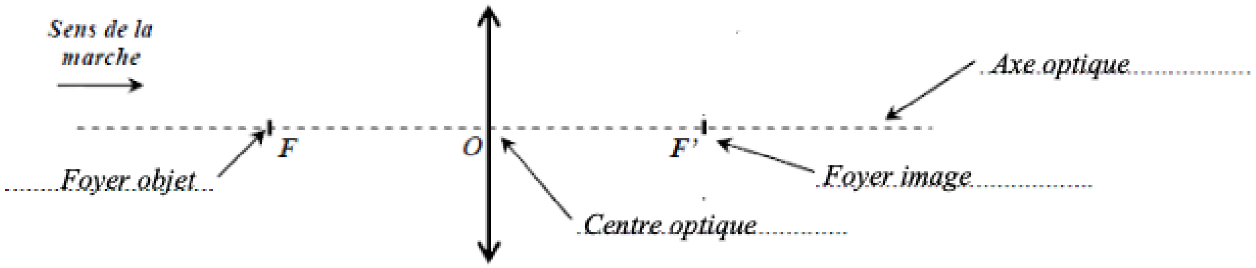
Dans la suite du chapitre, on ne s'intéressera qu'aux lentilles minces convergentes.

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 :

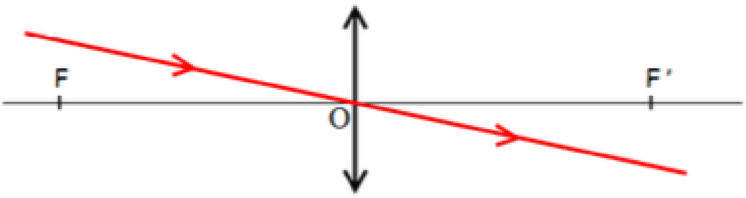
- ✓ **son centre optique O au centre de la double flèche ;**
- ✓ **son axe optique appelé Δ (« delta » majuscule dans l'alphabet grec) : axe de symétrie de la lentille perpendiculaire à elle passant par le centre optique ;**
- ✓ **son foyer objet F, situé sur l'axe optique à gauche du centre optique,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

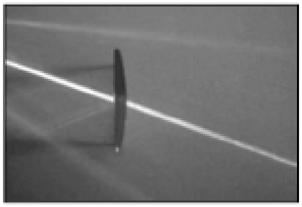


2) Tracé des trois rayons particuliers traversant une lentille mince convergente

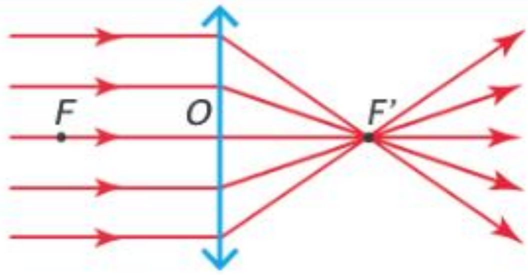
Pour construire géométriquement une image à partir d'un objet et d'une lentille, il faut au préalable maîtriser la marche de trois rayons particuliers émis par l'objet et pénétrant dans la lentille.

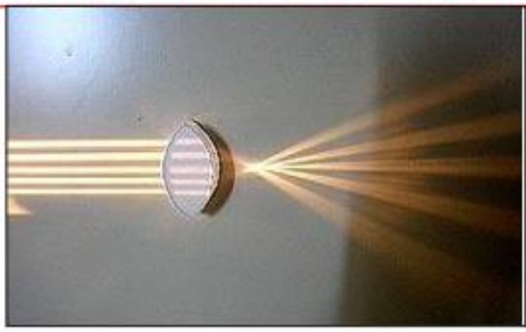
- **Un rayon incident passant par le centre optique O n'est pas dévié.**





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

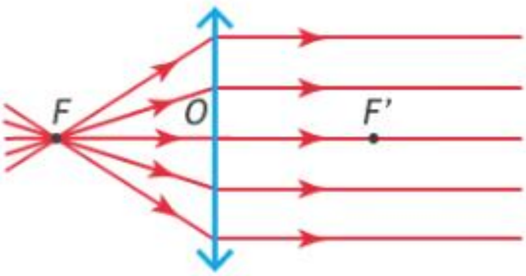


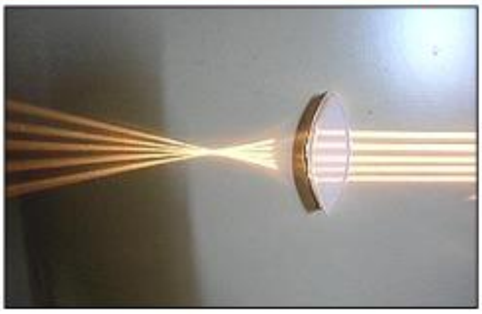


__Remarque__ : Tous les rayons lumineux sont donc concentrés en un seul point qui peut devenir rapidement très chaud, d'où le nom de « foyer ».

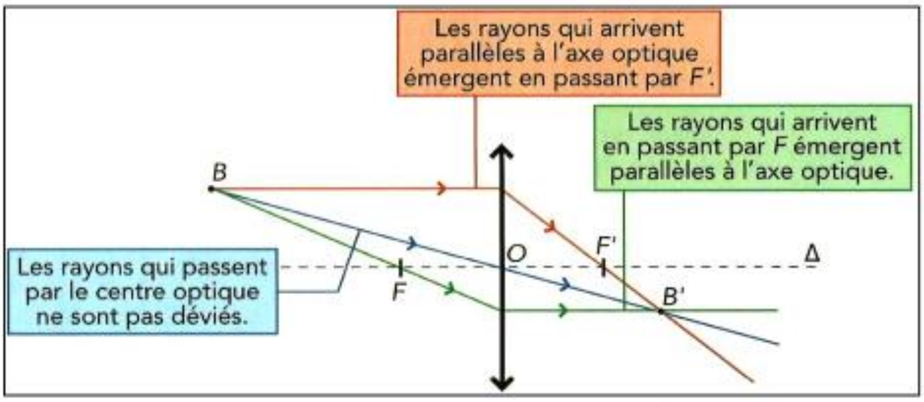
Il est même possible d'enflammer une feuille de papier avec une grosse lentille convergente comme une loupe !
https://www.youtube.com/watch?v=g51Ujz9DRl4

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



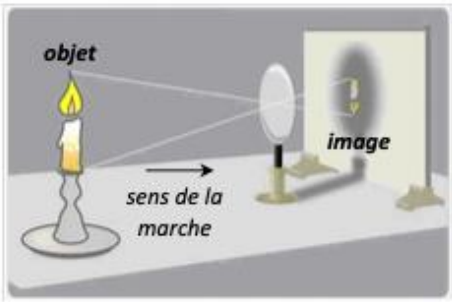


En résumé :



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.

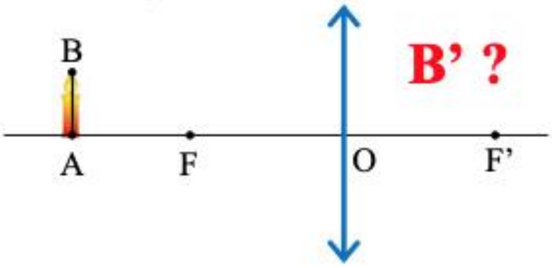


On se limite à la construction de l'image d'un objet AB perpendiculaire à l'axe optique (comme la bougie). L'image A'B' est elle aussi perpendiculaire à l'axe optique. La construction permet de trouver où se trouve le point B' : image de B à travers la lentille.

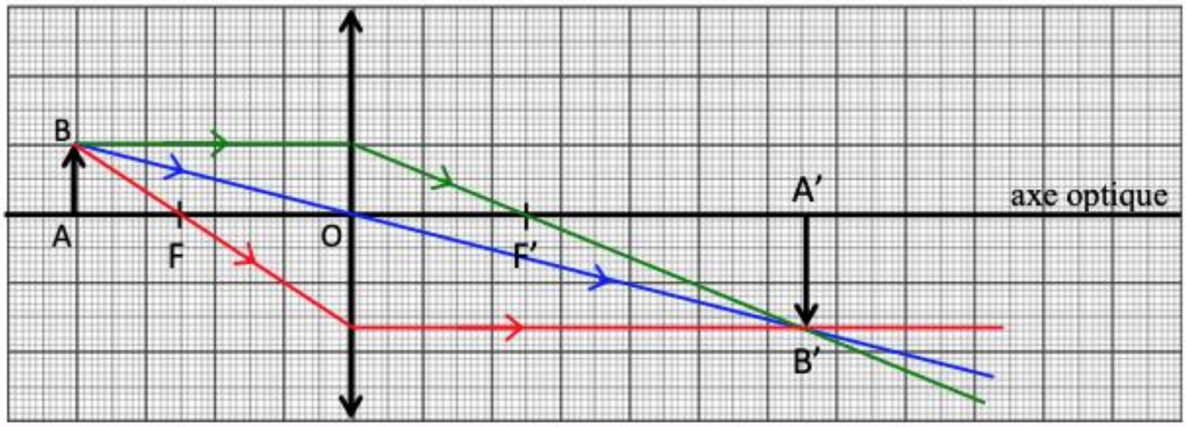
On réalise cette construction à l'aide des trois rayons particuliers issus de B vus précédemment.

L'image B' se trouvera alors à l'intersection de ces trois rayons, même si deux rayons suffisent pour trouver la position de B' !

La position de A' se déduit par projection orthogonale de B' sur l'axe optique.



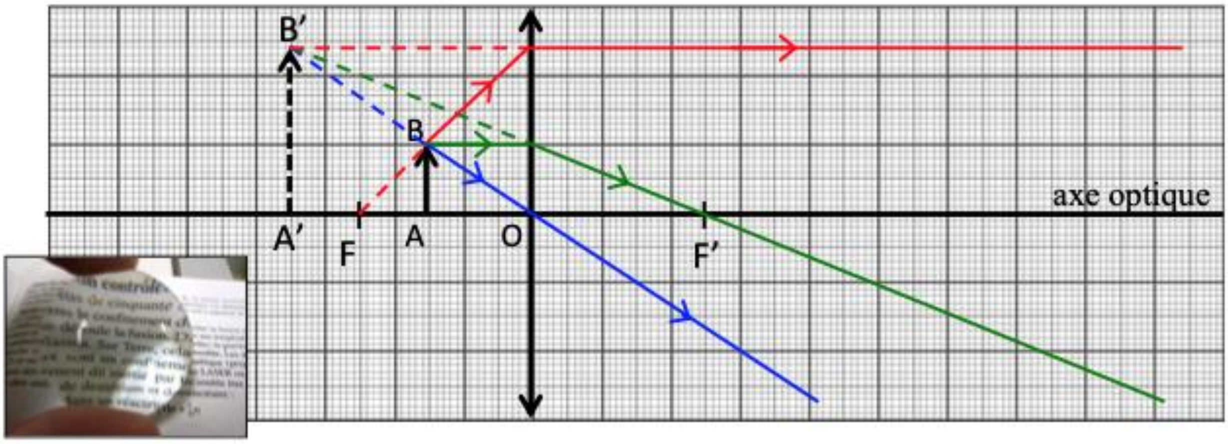
a) Cas d'un objet situé avant F (cas le plus fréquent, à connaître par cœur !!)



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

<u>Remarque</u> : 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'.

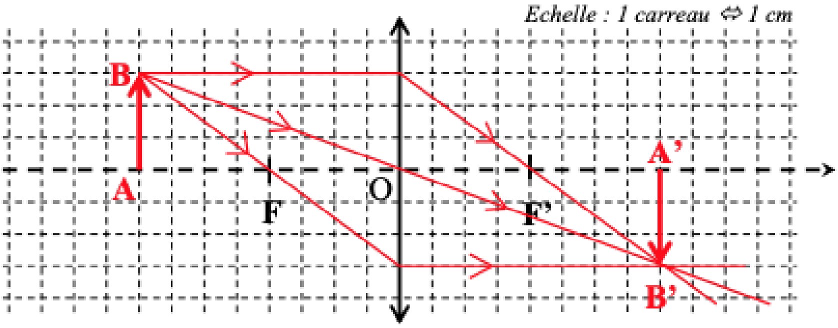
- **L'image A'B' obtenue est <u>droite</u> car elle dans le même sens que l'objet.**
- **L'image A'B' est dite <u>virtuelle</u> car elle est située avant la lentille, du même côté que l'objet. Elle n'est pas observable sur un écran.**

Remarque n°1 : L'image est toujours plus grande que l'objet.
Avec la construction graphique, l'image est à gauche de la lentille. Il faut regarder à travers la lentille pour pouvoir l'observer ! C'est ce que l'on fait lorsqu'on utilise une loupe.

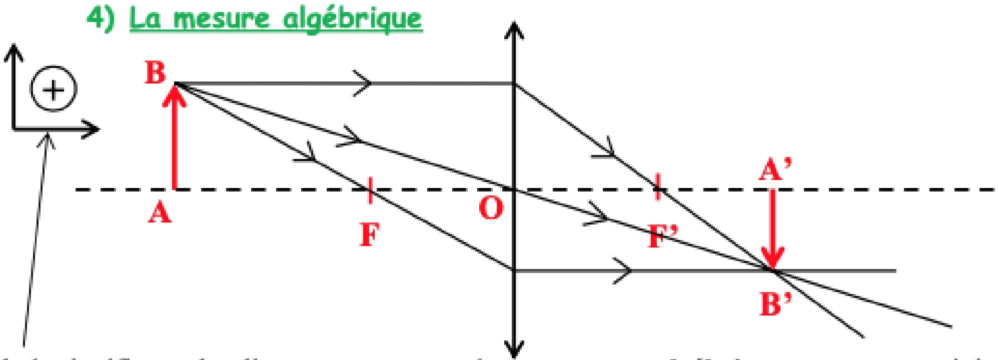
Remarque n°2 : On prolonge les rayons en pointillés après l'objet car ce sont des rayons virtuels. L'image A'B' doit elle-même tracée en pointillés.

Exercice :
On dispose d'une lentille convergente. On place un objet noté AB à gauche de la lentille tel que A soit à 8,0 cm de O sur l'axe optique et B soit au-dessus de cet axe à 3,0 cm.

1) Tracer l'objet AB.
2) Construire l'image A'B' de l'objet AB.



4) La mesure algébrique



Ce symbole signifie que les distances sont mesurées en **mesures algébriques**, 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. *Exemples* : $\overline{OA'}$ $\overline{OF}$ $\overline{AB}$
- A l'horizontale, on compte une mesure positivement si le segment est orienté de gauche à droite ; négativement dans le cas contraire.
  Exemples : $\overline{OF'} = 2{,}1$ 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.
  Exemples : $\overline{AB} = 1{,}6$ 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 distance focale 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 vergence 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 mètre (symbole : m)** **C en dioptrie (symbole : δ)**

Remarque : 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.

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

Exercices :

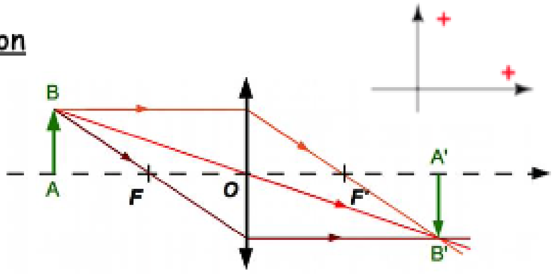
1) Calculer la vergence d'une lentille dont la distance focale est $f' = 0{,}50$ m : $C = \frac{1}{f'} = \frac{1}{0{,}50} = 2{,}0\ \delta$.
2) Calculer la distance focale d'une lentille dont la vergence est C = 20 δ : $f' = \frac{1}{C} = \frac{1}{20} = 0{,}050$ m $= 5{,}0$ cm
3) Calculer la vergence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

$f' = 0{,}25$ m **Vergence : $C = \frac{1}{f'} = \frac{1}{0{,}25} = 4{,}0\ \delta$.**

IV Les relations fondamentales des lentilles minces

1) La relation de conjugaison

a) Enoncé de la relation de conjugaison



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 :

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

Remarque n°1 : 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 réelle, alors la mesure algébrique $\overline{OA'}$ est positive.
Si l'image est avant la lentille, l'image est virtuelle, alors la mesure algébrique $\overline{OA'}$ est négative.

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

b) Démonstration des calculs de distance

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

Exemple : $\frac{1}{3} + \frac{1}{4} \neq \frac{1}{3+4}$ ☠ !! $\frac{1}{3} + \frac{1}{4} = \frac{1 \times 4}{3 \times 4} + \frac{1 \times 3}{4 \times 3} = \frac{4}{12} + \frac{3}{12} = \frac{4+3}{12} = \frac{7}{12}$

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 $\quad \overline{OF'} = 10$ cm. On demande de calculer $\overline{OA'}$.

$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$ **Il faut redémontrer que : $\overline{OA'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}} = \frac{-5{,}0 \times 10}{-5{,}0 + 10} = \underline{-10 \text{ cm}}$.**

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 $\overline{OA}$.

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

2) La relation de grandissement

a) Enoncé de la relation de grandissement

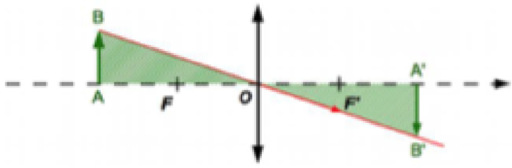
Pour comparer la taille et l'orientation de l'image à celles de l'objet, on définit le grandissement $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$.

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

La relation de grandissement est : $\boxed{\gamma = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}}$

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 :
$\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$. On retrouve la définition du grandissement γ.



- Si γ est **<u>positif</u>**, alors l'image est **<u>droite</u>** ($\overline{AB}$ et $\overline{A'B'} > 0$ et dans le même sens) ;
  Si γ est **<u>négatif</u>**, alors l'image est **<u>renversée</u>** ($\overline{AB} > 0$ et $\overline{A'B'} < 0$ et dans le sens opposé).

- Si $|\gamma| > 1$, alors l'image est plus grande que l'objet ($\overline{A'B'} > \overline{AB}$) ;
  Si $|\gamma| < 1$, alors l'image est plus petite que l'objet ($\overline{A'B'} < \overline{AB}$).

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

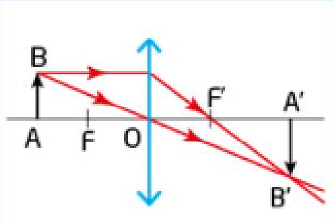
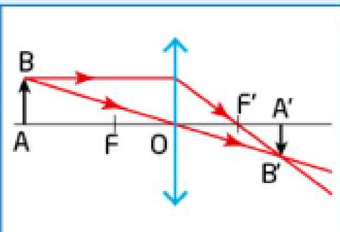
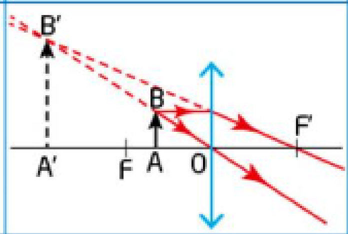

		

Image plus grande : $\|\gamma\| > 1$	Image plus petite : $\|\gamma\| < 1$	Image plus grande : $\|\gamma\| > 1$
Image renversée : $\gamma < 0$	Image renversée : $\gamma < 0$	Image droite : $\gamma > 0$

b) <u>Exercice</u>

On observe sur un écran l'image d'un objet située à une distance $\overline{OA} = -15{,}0$ cm d'une lentille convergente. Le grandissement de la lentille vaut γ = –2,00. Calculer la distance $\overline{OA'}$.

$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$. On en déduit : $\overline{OA'} = \gamma \times \overline{OA} = -2{,}00 \times -15{,}0 =$ <u>30,0 cm</u>.

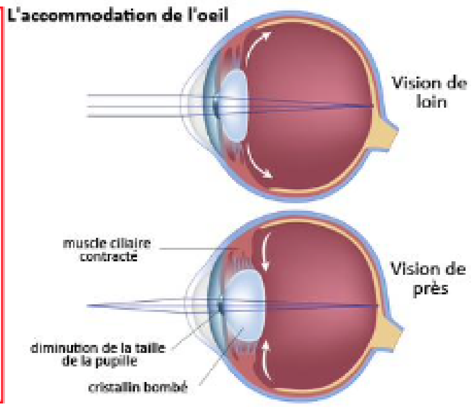
V <u>La mise au point</u>

Pour que l'image d'un objet soit nette, il faut effectuer les réglages nécessaires appelés la mise au point.

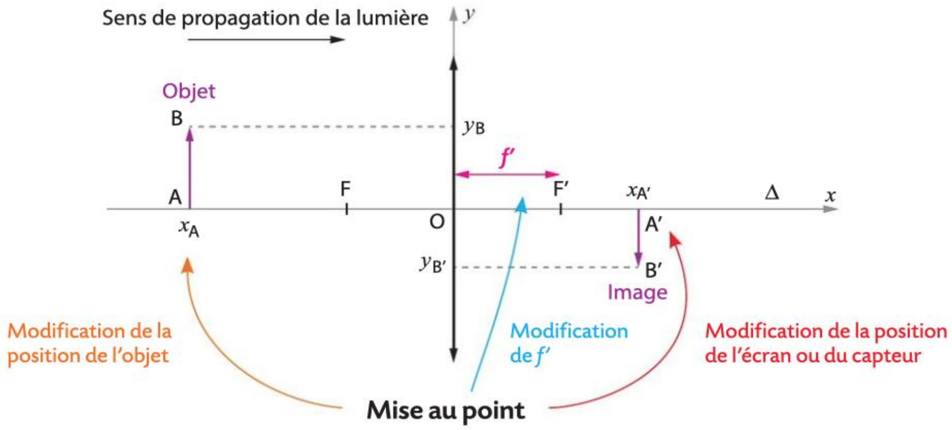
Pour réaliser une mise au point, on peut :

- **modifier la distance focale de la lentille mince convergente.**
  <u>Exemple</u> : Dans le cas de l'accommodation de l'œil, le cristallin se bombe pour être plus épais, changeant ainsi sa distance focale pour que l'image se forme sur la rétine.

- **modifier la géométrie du montage, c'est-à-dire les distances objet – lentille ou lentille – écran.**
  <u>Exemple</u> : Avec un appareil photo, l'objectif (la lentille) se déplace pour que l'image se forme sur le capteur.



Les relations de conjugaison et de grandissement



Relation de conjugaison

$$\frac{1}{x_{A'}} - \frac{1}{x_A} = \frac{1}{f'}$$

Relation de grandissement

$$\gamma = \frac{y_{B'}}{y_B} = \frac{x_{A'}}{x_A}$$

L'exploitation des relations de conjugaison et de grandissement permet de déterminer les positions de l'objet et de l'image, leurs dimensions et la distance focale de la lentille mince.

Le lien entre la position de l'objet et les caractéristiques de l'image

L'exploitation d'une construction graphique ou des relations de conjugaison et de grandissement permet de caractériser l'image par rapport à l'objet.

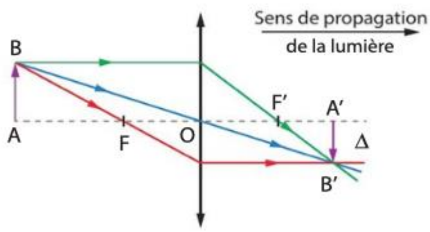


Image A'B' :
- projetable sur écran ($x_{A'}$. 0) → image **réelle**
- **plus petite** que l'objet AB → |γ| , 1
- pas de même sens que AB → γ , 0, image **renversée**

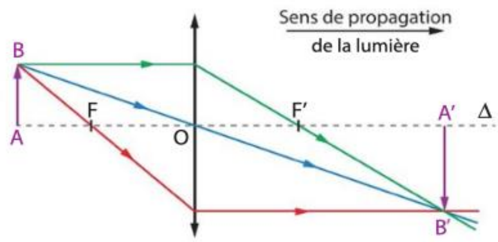


Image A'B' :
- projetable sur écran ($x_{A'}$. 0) → image **réelle**
- **plus grande** que l'objet AB → |γ| . 1
- pas de même sens que AB → γ , 0, image **renversée**

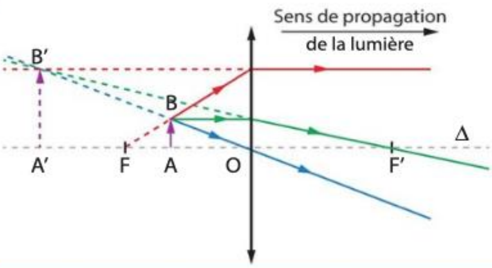


Image A'B' :
- non projetable sur écran ($x_{A'}$, 0) → image **virtuelle**
- **plus grande** que l'objet AB → |γ| . 1
- de même sens que AB → γ . 0, image **droite**