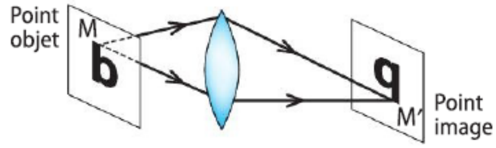
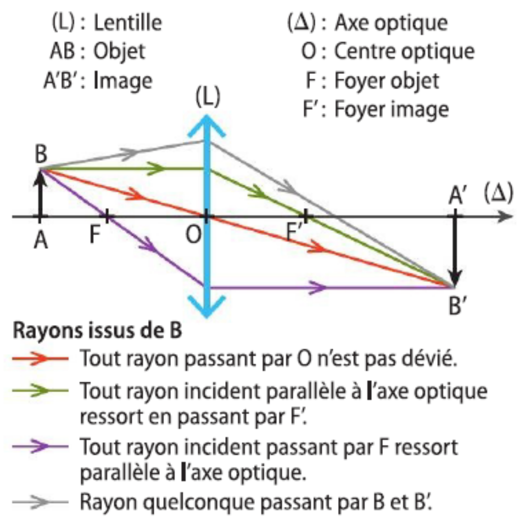
Révisions

Lentille convergente

- Une **lentille convergente** est constituée d'un matériau transparent. Elle est plus épaisse au centre que sur les bords (doc. 1).
- Sous certaines conditions, les rayons lumineux issus d'un **objet** et passant par la lentille forment une **image** de l'autre côté de la lentille (doc. 1).
- Une lentille convergente peut être modélisée par le modèle des **lentilles minces**. Des règles de construction géométrique permettent alors d'obtenir l'image d'un objet (doc. 2).
- La distance OF = OF′ entre le centre optique et les foyers de la lentille convergente est appelée **distance focale** et est notée *f′*.
- Pour un objet dont l'image se forme à travers une lentille, le **grandissement** γ est le quotient de la taille de l'image par la taille de l'objet.
- Un **œil** peut être modélisé par une lentille (le cristallin) formant des images sur un écran (la rétine). Selon la position de l'objet, la forme du cristallin change. Sa distance focale est alors modifiée, c'est l'**accommodation**.



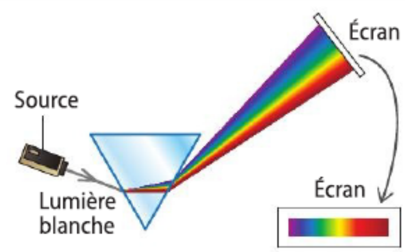
Doc. 1 Image d'un objet par une lentille convergente.



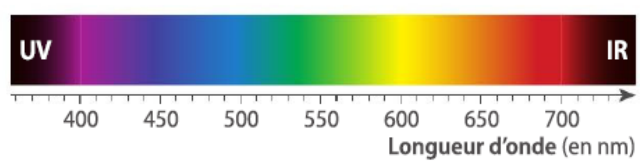
Doc. 2 Construction de l'image d'un objet.

Lumières et couleurs

- La lumière blanche est constituée d'un ensemble de lumières colorées (doc. 3).
- Chaque **radiation monochromatique** composant la lumière blanche est caractérisée par une **longueur d'onde** λ. À chaque longueur d'onde correspond une nuance de couleur.
Le **spectre** de la lumière blanche est **continu** : il contient toutes les radiations visibles par l'œil humain. Leurs longueurs d'onde sont comprises entre 400 et 800 nm environ (doc. 4).
- Certaines lumières sont perçues blanches par l'œil mais leur spectre est **discontinu** : il ne contient pas toutes les longueurs d'onde.



Doc. 3 Décomposition de la lumière blanche par un prisme.



Doc. 4 Spectre de la lumière blanche.

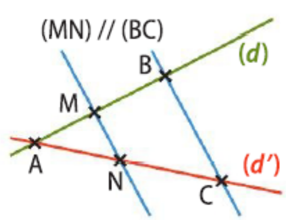
MaThs

- **Théorème de Thalès**

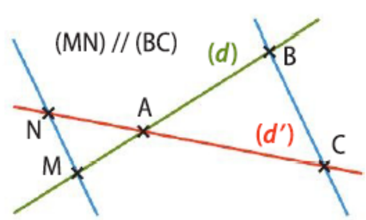
Soient : – (*d*) et (*d′*) deux droites sécantes en A ;
– B et M deux points de (*d*) ;
– C et N deux points de (*d′*).

Si (MN) et (BC) sont parallèles, alors on a :

$$\frac{AB}{AM} = \frac{AC}{AN} = \frac{BC}{MN}$$



Configuration « classique »



Configuration « en papillon »

1 Image d'un objet par une lentille convergente

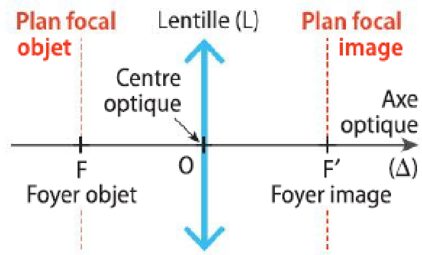
a. Modèle de la lentille mince convergente (rappels)

• **Éléments optiques d'une lentille mince convergente** (doc. 1)
Une lentille mince est la modélisation d'un système optique constitué d'un matériau transparent à faces sphériques.

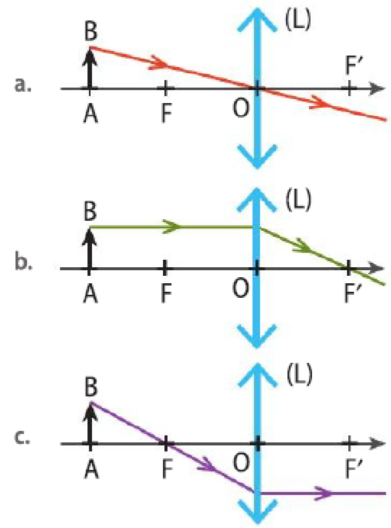
• **Construction géométrique d'une image – tracé des rayons**
On représente un objet AB par un segment orienté [AB] perpendiculaire à l'axe optique, le point A appartenant à l'axe.
L'image A′B′ de cet objet AB peut être obtenue géométriquement par l'intersection des rayons lumineux issus du point B formant le point B′ après avoir traversé la lentille.

Trois rayons particuliers permettent la construction :
- le rayon lumineux issu de B passant par le **centre optique** O de la lentille n'est **pas dévié** (doc. 2a) ;
- le rayon lumineux issu de B arrivant **parallèle à l'axe optique** repart en passant par le **foyer image** F′ de la lentille (doc. 2b) ;
- le rayon lumineux issu de B passant par le **foyer objet** F de la lentille repart **parallèle à l'axe optique** (doc. 2c).

Une fois la position de B′ déterminée, on peut positionner A′ sur l'axe optique. Le segment [A′B′] est perpendiculaire à l'axe optique. On peut tracer d'autres rayons allant de B à B′.



Doc. 1 Éléments d'une lentille mince convergente.



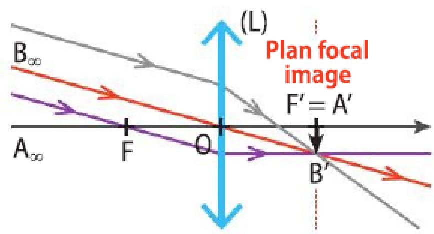
Doc. 2 Construction des trois rayons particuliers.

b. Formation d'une image

• **Cas d'un objet situé à l'infini** (doc. 3)

Les rayons lumineux issus d'un point-objet à l'infini forment un faisceau de rayons parallèles. Après avoir traversé la lentille, ils convergent dans le plan de F′ (**plan focal image**).

Les rayons issus d'un point-objet A situé à l'infini sur l'axe optique, convergent au foyer image F′.
Les rayons issus d'un point-objet B à l'infini situé hors de l'axe optique, parallèles entre eux, convergent en B′ sur le plan focal image.
Une telle image A′B′ peut être recueillie sur un écran et est dans le sens inverse de l'objet : elle est **réelle** et **renversée**.

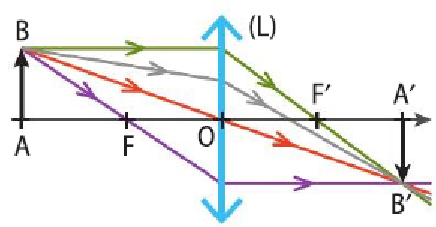


Doc. 3 Image d'un objet situé à l'infini.

• **Cas d'un objet situé avant le foyer objet** (doc. 4)

L'image d'un objet situé avant le foyer objet F de la lentille est **réelle** et **renversée**. Elle se situe après le foyer image F′ de la lentille.

Elle peut être plus grande ou plus petite que l'objet suivant sa position.

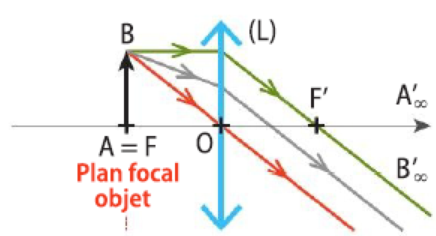


Doc. 4 Image réelle d'un objet situé avant le plan focal.

• **Cas d'un objet situé sur le plan focal objet** (doc. 5)

Les rayons issus d'un point du plan focal objet ressortent de la lentille parallèles entre eux : l'image formée est donc **à l'infini**.

Le point A est confondu avec le foyer objet F : son image est à l'infini dans la direction de l'axe optique.
L'image n'est alors pas recueillie sur un écran mais peut être observée à l'œil nu en plaçant l'œil après la lentille, à l'opposé de l'objet.

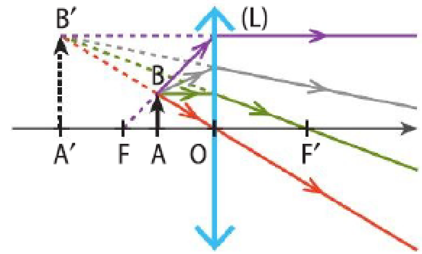


Doc. 5 Image d'un objet situé dans le plan focal objet.

- **Cas d'un objet situé entre le plan focal objet et la lentille** (doc. 6)

L'image d'un objet placé entre le foyer objet F et le centre optique O de la lentille ne peut pas être projetée sur un écran : c'est une image **virtuelle.** Elle se situe avant la lentille, du même côté que l'objet.

Le prolongement des rayons lumineux est fait en pointillés : ce sont des **rayons virtuels**. L'image A′B′ elle-même doit être tracée en pointillés. L'image est dans le même sens que l'objet et est plus grande que lui : l'image est **droite** et **agrandie**.
Pour un œil placé après la lentille, tout se passe comme si les rayons lumineux issus de B provenaient en ligne droite de B′. C'est le principe de la loupe (doc. 7).



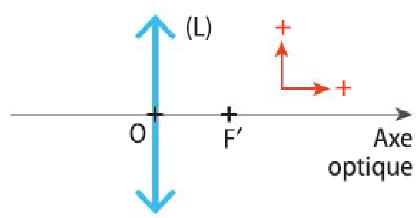
Doc. 6 Image virtuelle d'un objet situé entre le plan focal objet et la lentille.


Doc. 7 Image agrandie et droite vue à travers une lentille convergente.

c. Mesures algébriques

Par convention, la **mesure algébrique** $\overline{MN}$ d'un segment [MN] sur un axe est un nombre positif égal à la distance MN si M et N sont placés dans le sens de l'orientation de l'axe.
Si M et N sont placés dans le sens inverse de l'axe, alors la mesure algébrique $\overline{MN}$ est négative, égale à $-$MN (doc. 8).
L'axe optique est souvent orienté de gauche à droite. L'axe transversal, qui n'est pas toujours représenté, est orienté de bas en haut (doc. 9).

Doc. 8 Mesure algébrique $\overline{MN}$ d'un segment [MN].
Ici, $\overline{MN} > 0$ et $\overline{NM} < 0$.



Doc. 9 Orientation des axes sur une lentille convergente.

d. Distance focale et vergence

La **distance focale** f' d'une lentille de centre optique O et de foyer image F′ est $f' = \overline{OF'}$.
La **vergence** C de la lentille est l'inverse de sa distance focale f' :

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

f' en mètres (m)
C en dioptries (δ) (1 δ = 1 m^{-1})

La distance focale f' d'une lentille **convergente** est **positive**.

Exemple

Une personne souffrant d'hypermétropie utilise des lunettes constituées de lentilles convergentes de distance focale $f' = 20$ cm, soit $f' = 20 \times 10^{-2}$ m.
Leur vergence est $C = \frac{1}{f'}$ soit $C = \frac{1}{20 \times 10^{-2}} = 5{,}0$ δ.

Vocabulaire

On nomme parfois f' *distance focale image* de la lentille. Elle peut être négative dans le cas de lentilles divergentes, non étudiées ici.

e. Grandissement

Le grandissement d'une image A′B′ par rapport à un objet AB est :

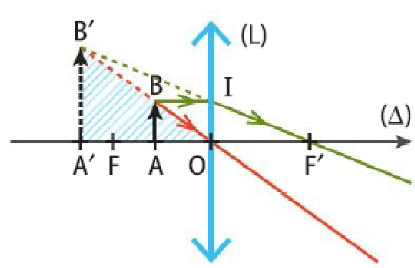
$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

γ sans unité
$\overline{A'B'}$ et $\overline{AB}$ exprimées dans la même unité de longueur

Une autre expression du grandissement est $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$.

Démonstration

D'après le théorème de Thalès dans les triangles hachurés en bleu (doc. 10), on peut écrire $\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$. On retrouve bien la définition de γ.



Doc. 10 Application du théorème de Thalès pour la relation du grandissement.

Le grandissement qualifie l'image par rapport à l'objet :
– si $\gamma < 0$, l'image est dans le sens contraire de l'objet (image **renversée**) ;
– si $\gamma > 0$, l'image est dans le même sens que l'objet (image **droite**) ;
– si $|\gamma| > 1$, l'image est plus grande que l'objet (image **agrandie**) ;
– si $|\gamma| < 1$, l'image est plus petite que l'objet (image **rétrécie**).

Exemple

Soit un objet de taille $\overline{AB} = 3{,}0$ cm placé devant la lentille tel que $\overline{OA} = -6{,}6$ cm. On a mesuré $\overline{OA'} = 3{,}3$ cm (doc. 11).

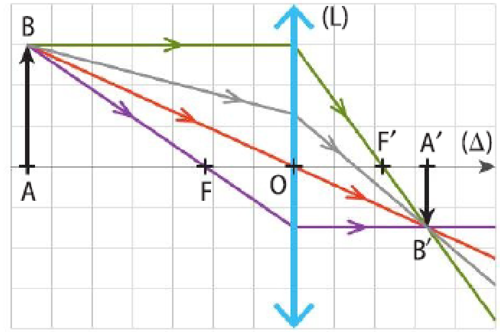
On cherche la taille de l'image, $\overline{A'B'}$.

On écrit $\gamma = \dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \dfrac{3{,}3}{-6{,}6} = -0{,}50$. Comme $\gamma = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ par ailleurs,

on a $\overline{A'B'} = \gamma\overline{AB} = -0{,}50 \times 3{,}0 = -1{,}5$ cm.

L'image est **renversée** et **rétrécie**.

Exercice 35 p. 369



Doc. 11 Schéma de la situation à l'échelle $\dfrac{1}{2}$.

f. Relation de conjugaison de Descartes

Les positions de l'objet et de l'image sont reliées par une relation mathématique, appelée **relation de conjugaison*** de Descartes :

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

$\overline{OA'}$, $\overline{OA}$ et f' exprimées dans la même unité de longueur

À partir des expressions de la distance focale $f' = \overline{OF'}$ et de la vergence $C = \dfrac{1}{f'}$, on peut écrire cette relation sous deux autres formes :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = C$$

Étymologie

« Conjugaison » vient du verbe latin *conjungere* qui signifie « lier », « unir ». Une relation de conjugaison relie les positions de l'objet et de l'image.

Démonstration de la relation de conjugaison

D'après la construction du doc. 12, le théorème de Thalès appliqué dans les triangles hachurés en jaune donne la relation $\dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{OI}} = \dfrac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}}$.

Comme $\overline{OI} = \overline{AB}$, on en déduit que le grandissement s'écrit : $\gamma = \dfrac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}}$

D'après la relation de Chasles, appliquée aux mesures algébriques, on peut écrire : $\overline{F'A'} = \overline{F'O} + \overline{OA'}$

Il vient donc $\gamma = \dfrac{\overline{F'O} + \overline{OA'}}{\overline{F'O}}$,

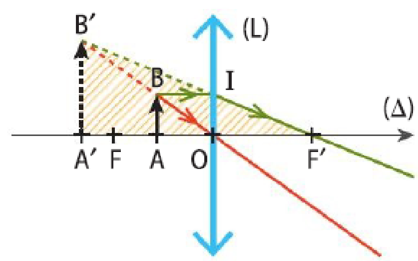
soit $\gamma = 1 + \dfrac{\overline{OA'}}{\overline{F'O}}$.

Comme $\gamma = \dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$ par ailleurs, on en déduit l'égalité $\dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = 1 + \dfrac{\overline{OA'}}{\overline{F'O}}$.

En divisant les deux membres par $\overline{OA'}$ (différent de 0), on obtient :

$$\frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OA'}} + \frac{1}{\overline{F'O}} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = -\frac{1}{\overline{F'O}}$$

Comme $\overline{F'O} = -\overline{OF'} = -f'$, on obtient bien $\dfrac{1}{\overline{OA'}} - \dfrac{1}{\overline{OA}} = \dfrac{1}{f'}$.



Doc. 12 Application du théorème de Thalès pour la relation de conjugaison.

Unités

Dans les relations du grandissement et de conjugaison, les distances peuvent être exprimées dans n'importe quelle unité de longueur (centimètres, millimètres, etc.) à condition qu'elles soient toutes dans la même unité.

Exemple

Soit A′B′ l'image d'un objet AB par une lentille de distance focale $f' = \overline{OF'} = 20$ cm. L'objet est à la position $\overline{OA} = -12$ cm (doc. 13).

On cherche la position de l'image A′B′ sur l'axe optique, c'est-à-dire $\overline{OA'}$.

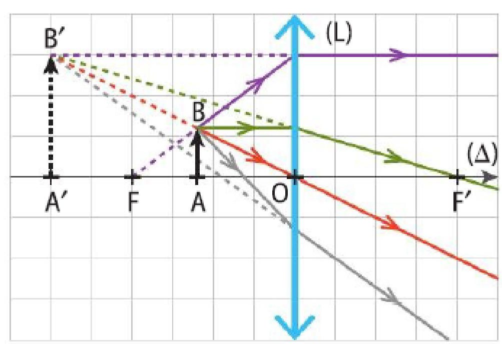
D'après la relation de conjugaison de Descartes, $\dfrac{1}{\overline{OA'}} - \dfrac{1}{\overline{OA}} = \dfrac{1}{f'}$

d'où l'on extrait $\dfrac{1}{\overline{OA'}} = \dfrac{1}{\overline{OA}} + \dfrac{1}{f'}$ puis $\overline{OA'} = \dfrac{1}{\dfrac{1}{\overline{OA}} + \dfrac{1}{f'}}$.

On calcule ainsi : $\overline{OA'} = \dfrac{1}{\dfrac{1}{-12} + \dfrac{1}{20}} = -30$ cm

L'image est positionnée du même côté que l'objet : elle est **virtuelle** car $\overline{OA'} < 0$.

Activité d'exploitation 3 p. 356 Exercice 37 p. 369



Doc. 13 Schéma de la situation à l'échelle $\dfrac{1}{10}$.