Chapitre 1
Vision et image

1.1 La lentille mince convergente

Une *lentille mince convergente* est un objet transparent et homogène qui va faire converger la lumière qui la traverse. Elle est définie par une ou deux calottes sphériques. Si son épaisseur est faible par rapport à son rayon, on dit qu'elle est mince. Elle est épaisse au centre, fine sur les bords. Elle possède un axe de symétrie cylindrique passant par son centre (figure 1.1).

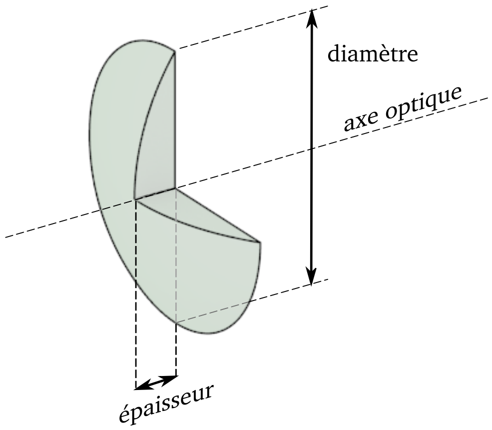

Figure 1.1 – *La lentille mince convergente, son épaisseur est faible devant son diamètre, son centre est plus épais que le bord*

La *lentille mince convergente* est un élément essentiel pour la fabrication d'instruments scientifiques (télescope, jumelles, longue vue, microscope, oculaires, objectifs de caméras, lunettes de visées). C'est également un modèle simplifié pour faire certains calculs en optique.

1.2 Image réelle et image virtuelle

Définition Une image fournie par un dispositif optique est réelle quand on peut la projeter sur un écran car tous les rayons lumineux convergent sur l'image.
Une image virtuelle ne peut pas être projetée, il faut regarder à travers le dispositif pour l'observer (cas de la loupe par exemple).

Cas de la lentille mince convergente
La lentille mince convergente peut fournir une image réelle ou virtuelle d'un objet selon la distance entre cet objet et la lentille.

1.3 Distance focale et vergence

Définition Une lentille mince convergente permet de focaliser la lumière venant d'un objet à l'infini en un point appelé foyer image F'. Elle peut aussi envoyer à l'infini la lumière d'un objet placé au foyer objet F. La distance entre le foyer image et le centre de la lentille O s'appelle la distance focale $f' = OF'$ (figure 1.2).

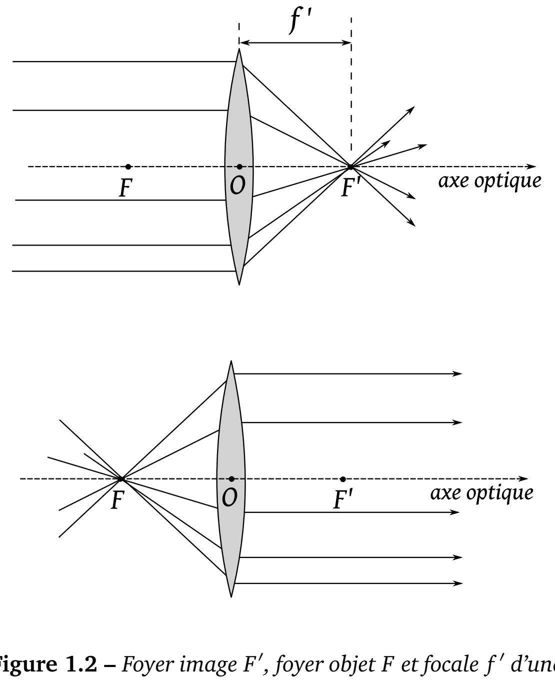

Figure 1.2 – *Foyer image F', foyer objet F et focale f' d'une lentille*

Table 1.1 – *Grandissement d'une image*

Grandissement γ	Aspect de l'image
$\gamma \geq 1$	Image droite, agrandie
$0 < \gamma < 1$	Image droite, diminuée
$-1 < \gamma < 0$	Image renversée, diminuée
$\gamma \leq -1$	Image renversée, agrandie

Définition La vergence V est l'inverse de la distance focale f exprimée en mètre.

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

avec V en dioptries (δ) et la focale f en mètres (m).

Exemple Une lentille a une focale $f' = 200\ mm$. Calculons sa vergence V. On utilise la relation $V = \frac{1}{f'}$ avec f' qui doit être exprimée en mètre. Donc $f' = 200\ mm = 200 \times 10^{-3}\ m$ et donc $V = \frac{1}{0.200} = 5\ \delta$.
Si une autre lentille a une vergence $V = 1.2\ \delta$, on pourra calculer sa focale en mètre en utilisant la relation $f' = \frac{1}{V}$ et donc$f' = \frac{1}{1.2} = 833\ mm$.

1.4 Position d'une image et grandissement

1.4.1 Objectifs

Position de l'image Connaissant la position d'un objet par rapport au centre de la lentille, on veut pouvoir prédire la position de son image par rapport à ce centre, connaissant la distance focale f' de la lentille.

Taille et orientation de l'image Connaissant la taille de l'objet, on va chercher à prédire la taille de son image (agrandie ou diminuée) ainsi que son orientation par rapport à l'objet (renversée ou non). On regroupe ces deux informations dans un nombre γ appelé le grandissement (table 1.1).

1.4.2 Méthode géométrique

Propriétés des lentilles minces

— Tout rayon lumineux incident parallèle à l'axe optique d'une lentille, sort en passant par le foyer image F' (figure 1.3.a).
— Tout rayon lumineux incident passant par le foyer objet F ressort parallèle à l'axe optique (figure 1.3.b).
— Tout rayon lumineux incident passant par le centre optique O reste rectiligne (figure 1.3.c).

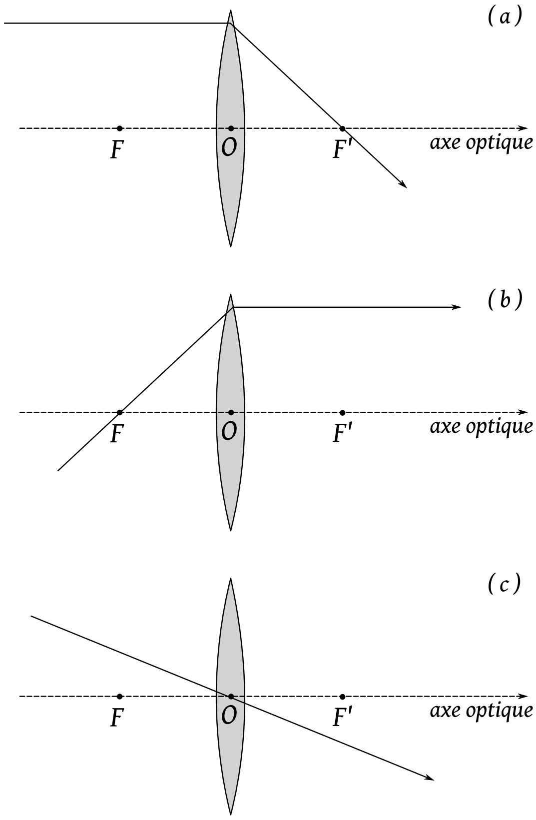

Figure 1.3 – *Propriétés des lentilles minces*

Construction géométrique de l'image d'un objet par une lentille convergente
La figure 1.4 illustre les différentes étapes de la construction de l'image $A'B'$ d'un objet AB à travers une lentille convergente de focale $f' = OF'$.

— On prend un point sur l'objet à partir duquel on va dessiner trois rayons lumineux particuliers.
— Le premier rayon est parallèle à l'axe optique et passe donc à la sortie de la lentille par le foyer image F'.
— Le deuxième rayon passe par le foyer objet F et sort de la lentille parallèle à l'axe optique.
— Le troisième rayon passe par le centre optique O de la lentille sans être dévié.
— Le point image est le point de convergence de ces trois rayons particuliers.
— Tout autre rayon émis par le point de l'objet arrive au point image.
— le grandissement γ se calcule après avoir mesuré les longueurs $A'B'$ et AB sur le schéma soigneusement tracé, et en tenant compte du fait que l'image est renversée ($\gamma < 0$) à l'aide de la formule $\gamma = \frac{A'B'}{AB}$.

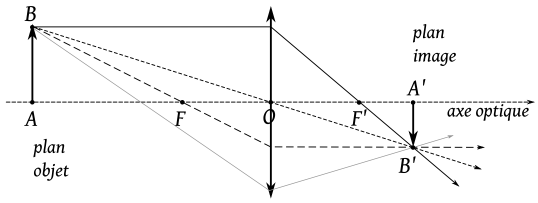

Figure 1.4 – *Construction géométrique d'une image par une lentille*

1.4.3 Méthode algébrique

Dans la méthode algébrique, on utilise les coordonnées des points de l'objet et la focale de la lentille pour calculer littéralement puis numériquement les coordonnées du point image, et ensuite calculer le grandissement de l'image. Ces formules peuvent se démontrer à partir des propriétés géométriques des lentilles des paragraphes précédents. La figure 1.5 présente le repère cartésien associé à la formule de conjugaison dont l'origine sera le centre O de la lentille de focale f'.

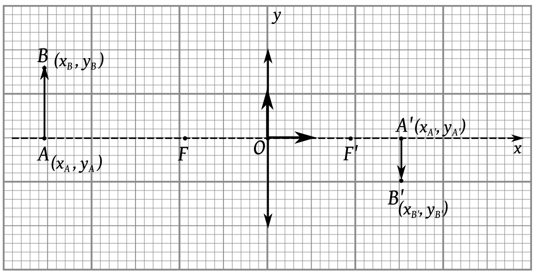

Figure 1.5 – *Repère cartésien associé à la méthode algébrique*

Définition
La formule de conjugaison donne une relation entre la distance lentille objet x_A, la position lentille image $x_{A'}$ et la focale f' de cette lentille :

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

Les trois longueurs doivent être exprimées dans la même unité.

Définition
Le grandissement γ se calcule à partir des coordonnées des points objets et images par la formule :

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

1.5 L'appareil photo

Un appareil photo peut être schématiquement décrit comme étant composé d'un objectif de focale fixe, suivi d'un diaphragme en iris permettant de doser la quantité de lumière sortant de l'objectif, et d'un écran sensible à la lumière où se projette l'image. Le détecteur peut être photochimique (photo argentique) ou électronique (capteur CMOS).
Pour faire la mise au point, on doit avancer ou reculer l'objectif devant le capteur.

La distance entre l'objectif et le capteur change, la focale est fixe.

1.6 L'œil

L'œil peut de façon simplifié être décrit comme étant constitué d'un cristallin (une lentille naturelle souple), d'un iris qui permet de limiter la quantité de lumière entrant dans l'œil et de la rétine, tapissée de cellules nerveuses photosensibles (cônes et bâtonnets), sur laquelle se projette l'image formée par le cristallin.
Pour faire la mise au point, l'œil va accommoder, c'est à dire que des muscles vont déformer le cristallin qui changera de focale, ce qui permettra d'avoir une image nette sur la rétine.

La distance rétine cristallin ne change pas mais la focale du cristallin change.

1.7 Exercices

Ex. 7 p.24	Ex. 8 p.24	Ex. 9 p.24
Ex. 10 p.24	Ex. 11 p.24	Ex. 12 p.24
Ex. 13 p.24	Ex. 14 p.24	Ex. 15 p.25
Ex. 20 p.26	Ex. 21 p.26	Ex. 22 p.26

1.8 Corrections

Exercice 7 p.24 **1.** Voir doc.1 p.15, 1-iris, 2-cristallin, 3-rétine. **2.a** Voir doc2 p.17. **2.b** 1-l'iris est le diaphragme, 2-le cristallin est la lentille convergente, 3-la rétine est l'écran.

Exercice 8 p.24 Voir figure 1.6.

Exercice 9 p.24 **1.** C'est une lentille convergente symbolisée par la double flèche. **2.** En lisant la distance OF' sur le schéma, entre le centre de la lentille et le foyer F', on trouve $f' = 4\ cm$. **3.** En utilisant la formule p.18 du manuel, on a $V = \frac{1}{4{\times}10^{-2}\ m} = 25\ \delta$.

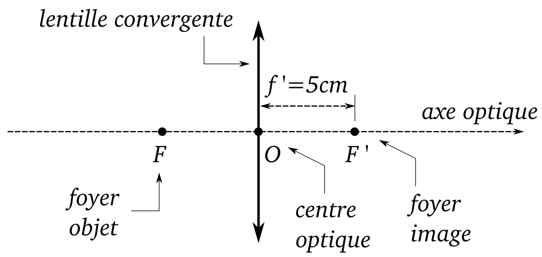

Figure 1.6 – *Exercice 8 page 24*

Exercice 10 p.24 **1.** On utilise la formule p.18 du manuel, $V = \frac{1}{5.0 \times 10^{-2}\ m} = 20\ \delta$. **2.** On modifie la formule de la vergence pour isoler la focale $f' = \frac{1}{V}$ et donc $f' = \frac{1}{5.0} = 0.20\ m = 20\ cm$. **3.** La lentille la plus convergente a la focale la plus petite, c'est donc le première lentille (figure 1.7).

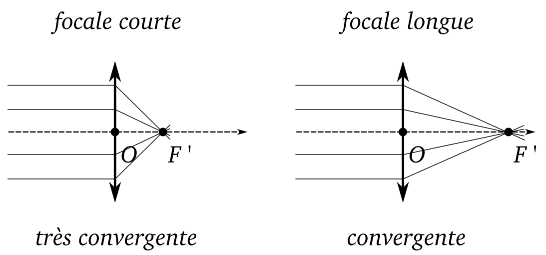

Figure 1.7 – *Exercice 10 page 24*

Exercice 11 p.24 Un rayon passant par O n'est pas dévié, un rayon passant par F ressort parallèle à l'axe optique, un rayon sortant passant par F' était parallèle à l'axe optique en arrivant sur la lentille (figure 1.8).

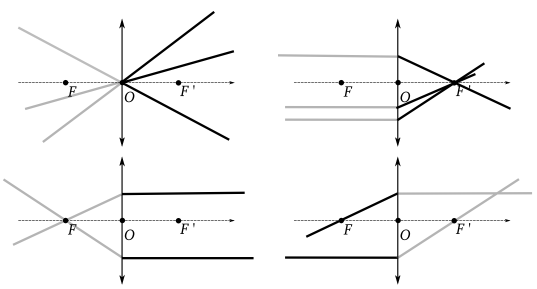

Figure 1.8 – *Exercice 11 page 24*

Exercice 12 p.24 Une lentille inverse l'image, le haut est en bas, la gauche est à droite, donc la bonne réponse est le dessin n°2.

Exercice 13 p.24 **1.** Voir p.18 du manuel et figure 1.9. **2.** L'image est à 35 cm du centre optique de la lentille, elle mesure 13 cm de haut environ et elle est inversée.

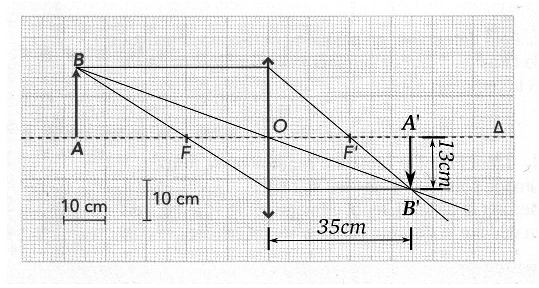

Figure 1.9 – *Exercice 13 page 24*

Exercice 14 p.24 **1.** La vergence V étant connue, on a $V = \frac{1}{f'}$. On connaît aussi la position de l'objet x_A. En utilisant la formule de conjugaison, on va isoler l'inconnue qui est la position de l'image $x_{A'}$.
On a

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

On ajoute à gauche et à droite la quantité $\frac{1}{x_A}$ puis on simplifie pour obtenir

$$\frac{1}{x_{A'}} = V + \frac{1}{x_A}$$

On réduit au même dénominateur le membre à droite

$$\frac{1}{x_{A'}} = \frac{V \times x_A + 1}{x_A}$$

Puis on inverse l'égalité

$$x_{A'} = \frac{x_A}{V \times x_A + 1}$$

On effectue ensuite le calcul, avec les distances exprimées en mètre et V en dioptrie

$$x_{A'} = \frac{-0.25\ m}{8\ \delta \times -0.25\ m + 1} = 0.25\ m$$

2. Dans la formule de conjugaison , on isole la position de l'objet x_A On a

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

On soustrait à droite et à gauche $\frac{1}{x_{A'}}$ puis on simplifie

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

On multiplie par -1 l'égalité puis on met au même dénominateur le membre à droite

$$\frac{1}{x_A} = -V + \frac{1}{x_{A'}} = \frac{1 - V \times x_{A'}}{x_{A'}}$$

On inverse l'égalité et on effectue le calcul numérique

$$x_A = \frac{x_{A'}}{1 - V \times x_{A'}} = \frac{0.15\ m}{1 - 8\ \delta \times 0.15\ m} = -0.75\ m$$

L'objet est à 75 cm avant la lentille.

Exercice 15 p.25 **1.** Reprendre le doc.7 p.19 qui est à savoir redessiner. **2.** Les distances $x_{A'}$ et y_B sont positives. **3.** On connaît $y_B = 10.0 \times 10^{-3}\ m$, $x_A = -300 \times 10^{-3}\ m$ et $f' = 100 \times 10^{-3}\ m$. On isole $x_{A'}$ dans la formule de conjugaison :

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

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

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

$$x_{A'} = \frac{x_A \times f'}{f' + x_A}$$

On effectue ensuite le calcul numérique $x_{A'} = 150\ mm$. **4.** Comme le grandissement $\gamma = \frac{y_{B'}}{y_B} = \frac{x_{A'}}{x_A}$, on isole la taille de l'image $y_{B'}$ dans cette équation

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

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

et on effectue le calcul numérique

$$y_{B'} = \frac{150\ mm}{-300\ mm} \times 10\ mm = -5\ mm$$

L'image est inversée et plus petite.

Exercice 20 p.26 **1.** $f' = \frac{1}{V} = \frac{1}{20} = 5\ cm$. **2.** Voir figure 1.10. **3.** La taille de l'objet est de 1.8 cm, il est situé à 6.0 cm avant la lentille. **4.** Le grandissement est de $\gamma = \frac{-12}{1.8} = \frac{40}{-6} = -6.7$.

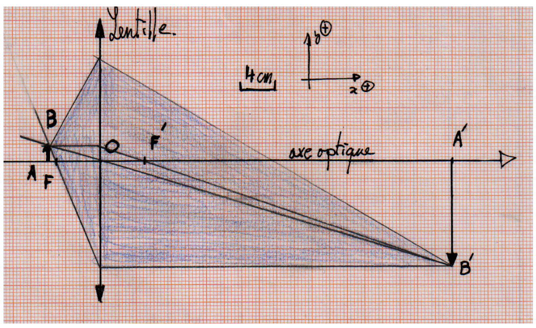

Figure 1.10 – *Exercice 20 page 26*

Exercice 21 p.26 **1.** Voir figure 1.11. **2.** On constate que $\frac{1}{x_{A'}} = \frac{1}{x_A} + 0.10$ ou encore que $\frac{1}{x_{A'}} - \frac{1}{x_A} = 0.10$. Donc on a en identifiant avec la formule de conjugaison que $\frac{1}{f'} = 0.10\ cm^{-1}$ (Attention aux unités sur le graphique !). Donc en inversant la valeur $f' = 10\ cm$.

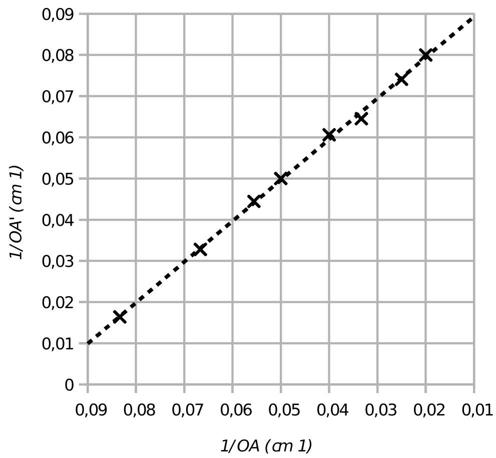

Figure 1.11 – *Exercice 21 page 26*

Exercice 22 p.26 **1.** Voir figure 1.12. **2.** L'œil ne peut pas se déformer, la distance rétine cristallin est constante. Pour accommoder, c'est à dire faire la mise au point, le cristallin de déforme de manière à changer sa focale. **3.** Au repos, un œil accommode à l'infini, les rayons lumineux sont focalisés au foyer qui se situe alors sur la rétine. Donc $f' = d = 25\ mm$. **4.** On a une lentille telle que $x_A = -0.25\ m$ et $x_{A'} = 0.025\ cm$, on cherche la focale f' grâce à la relation de conjugaison $\frac{1}{f'} = \frac{1}{0.025} - \frac{1}{-0.25} = 44\ \delta$ donc $f' = 22.7\ mm$, la focale de l'œil a diminuée pour accommoder.

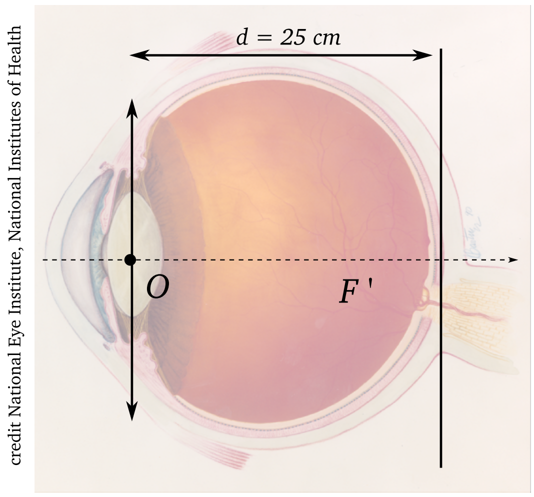

Figure 1.12 – *Exercice 22 page 26*