Travaux pratiques | [O] TP n°1

Introduction aux lentilles minces

Une lentille est un composant fait d'un matériau transparent, qui est à la base de nombreux instruments d'optique : appareil photographique, lunette astronomique, microscope... Elles ont été utilisées pour la première fois en Grèce antique (vers 500 avant J.C.) pour faire converger la lumière du soleil afin de produire un feu, et dans l'empire romain (vers 50 avant J.C.) pour corriger des défauts de vision.

Dans ce TP, nous allons commencer par réaliser plusieurs manipulations simples avec des lentilles afin de mieux s'approprier le modèle de la lentille mince et d'apprendre à former des images de qualité. Dans un deuxième temps, nous détaillerons une technique très puissante pour estimer rapidement la focale d'une lentille (l'autocollimation).

I - Formation d'une image avec une lentille mince

I.1 - Aberrations géométriques

Rappeler les conditions de Gauss.

Pour s'éloigner grandement des conditions de Gauss, il est possible d'utiliser une lentille avec une grande ouverture et une faible distance focale. Ici, nous allons utiliser une lentille de grande ouverture et de distance focale $f' = +120\ \mathrm{mm}$.

Sur la paillasse professeur, observer les défauts de stigmatisme et d'aplanétisme du montage réalisé.

I.2 - Les lentilles convergentes et divergentes

Les lentilles convergentes sont plus épaisses au centre que sur les bords et ont une distance focale positive ($f' > 0$). À l'opposé, les lentilles divergentes sont plus fines au centre que sur les bords et ont une distance focale négative ($f' < 0$).

ATTENTION à ne pas laisser de traces de doigts sur les lentilles !

Constater visuellement que les lentilles convergentes et divergentes n'ont pas la même courbure.

Prendre deux lentilles de distance focale $+200\ \mathrm{mm}$ et $-200\ \mathrm{mm}$. Si on observe une page de texte à travers une lentille positionnée proche de la feuille (à une distance $< 20\ \mathrm{cm}$), pour quel type de lentille observe-t-on un grandissement du texte ? Pour quel type de lentille observe-t-on un rapetissement du texte ?

Ces manipulations vous permettent de vérifier en quelques secondes le caractère convergent ou divergent d'une lentille inconnue.

I.3 - Première image dans les conditions de Gauss

En optique géométrique dans les conditions de Gauss, une « image » est par définition nette. Si une figure floue est observée sur un écran, il est donc faux de la qualifier « d'image floue ».

Lors d'un montage d'optique, il faut s'efforcer d'obtenir une « belle image », c'est-à-dire une figure nette, centrée et bien éclairée. Pour cela, il est nécessaire de faire attention aux points suivants.

Préréglage ▪ Placer la lampe à l'extrémité gauche du banc d'optique et placer un objet proche de la lampe.

Alignement des composants ▪ Placer les composants de manière à avoir un axe optique commun à tous les objets utilisés : régler la hauteur, le centrage, la perpendicularité des objets au banc d'optique, etc.

Éclairage ▪ Un curseur situé sur le côté de la lampe permet de régler la convergence du faisceau lumineux. Faire en sorte que le faisceau ne soit ni trop convergent, ni trop divergent.

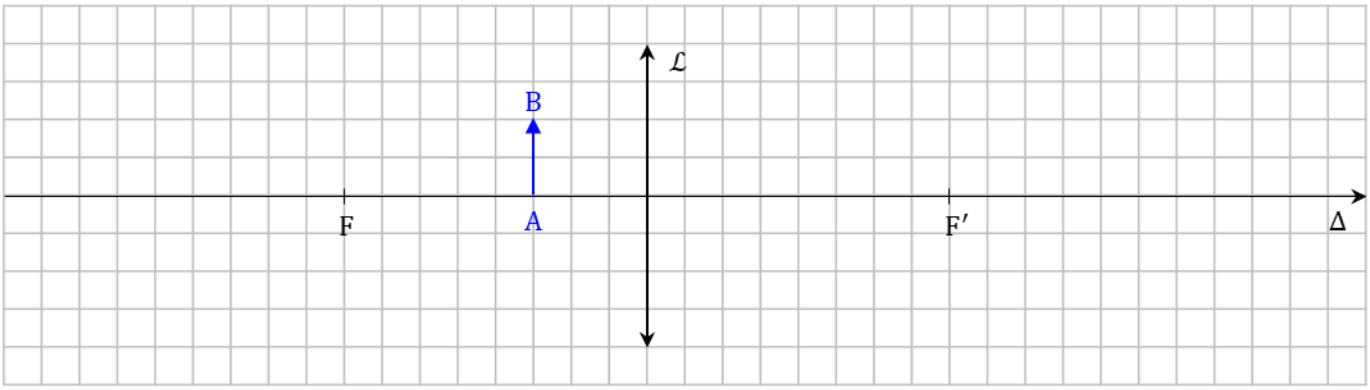
Limitation des aberrations ▪ Si vous observez des aberrations géométriques (rarement avec du matériel de TP), placer un diaphragme juste devant la lentille.

En suivant les indications ci-dessus, observer l'image d'un objet (une lettre F par exemple) sur un écran, à l'aide d'une lentille convergente.

L'objet est-il réel ou virtuel ? Même question pour l'image.

I.4 - Images virtuelles

Une image virtuelle n'est pas projetable sur un écran. Les rayons émergents semblent se croiser sur cette image, mais celle-ci étant située devant la lentille, ils ne s'y croisent pas réellement. L'œil va faire converger les rayons sur la rétine et rendre visible cette image virtuelle.



Sur le schéma ci-dessus, tracer l'image $A'B'$ de l'objet AB.

Réaliser un montage illustrant la situation ci-dessus. En plaçant votre œil derrière la lentille (attention à ne pas s'éblouir, vous pouvez décentrer la lampe en la tournant sur un côté pour réduire le flux lumineux entrant), vérifier que l'image est agrandie et droite (non renversée), comme l'indique votre schéma.

Cette expérience peut se résumer par :

$$AB \xrightarrow{\mathcal{L}} A_1B_1 \xrightarrow{\text{œil}} A'B'$$

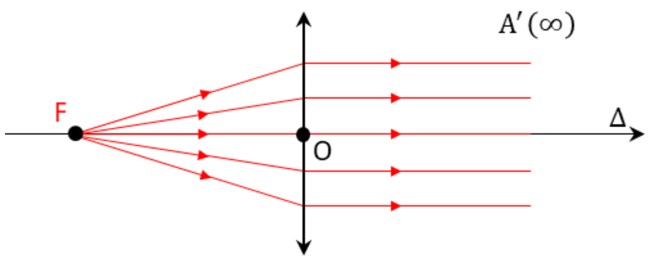
AB, A_1B_1 et $A'B'$ sont-ils des objets ou des images ? Sont-ils réels ou virtuels ?

II - Points focaux et méthode d'autocollimation

II.1 - Point focal objet

Le point focal objet (ou foyer principal objet), noté F, est le point objet situé sur l'axe optique et dont le point image conjugué est situé à l'infini sur l'axe optique. Tout rayon incident passant par F émerge de la lentille parallèle à l'axe optique.

$$F \underset{\mathcal{L}}{\longrightarrow} A'(+\infty \text{ sur } \Delta)$$



En pratique, en TP d'optique, un objet ou une image est dit « à l'infini » s'il est situé « très loin » de la lentille. On pourra donc considérer que cette condition est vérifiée dès lors qu'il se situe à plus de 10 fois la distance focale du centre de la lentille.

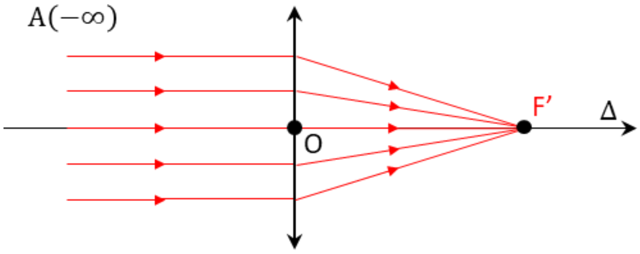
$$A'(+\infty) \quad \Leftrightarrow \quad OA' \gg |f'| \quad \Leftrightarrow \quad OA' > 10\,|f'|$$

À l'aide d'une lentille convergente, observer l'image à l'infini d'un objet réel. En déduire une estimation de la distance focale de la lentille.

II.2 - Point focal image

Le point focal image (ou foyer principal image), noté F', est le point image situé sur l'axe optique et dont le point objet conjugué est situé à l'infini sur l'axe optique. Tout rayon incident parallèle à l'axe optique passe par F' après avoir traversé la lentille.

$$\mathrm{A}(-\infty \text{ sur } \Delta) \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \mathrm{F}'$$



En utilisant la même lentille convergente, faire l'image d'un objet réel situé à l'infini. En déduire une estimation de la distance focale de la lentille.

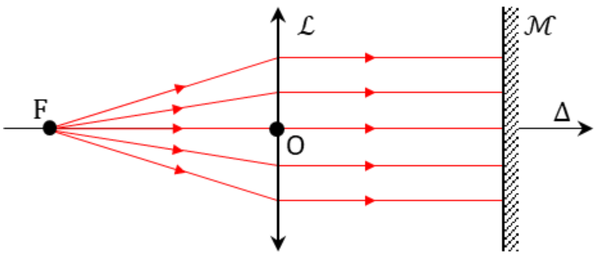
II.3 - Autocollimation

⚠⚠⚠ **Cette méthode est à maîtriser**, tant théoriquement qu'expérimentalement.

Lorsque l'objet est placé sur le point focal objet F d'une lentille $\mathcal{L}$, les rayons émergent de $\mathcal{L}$ parallèles entre eux et à Δ. L'image A' se trouve donc à l'infini sur l'axe optique. Si, à l'aide d'un miroir, ces rayons sont renvoyés vers $\mathcal{L}$, tout se passe comme si on éclairait la lentille avec un objet A' à l'infini sur l'axe optique. L'image se formera donc sur F.

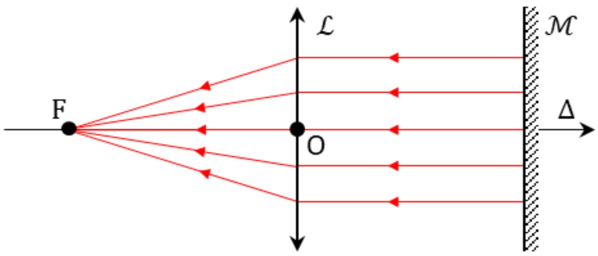
$$\mathrm{F} \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \mathrm{A}'(\infty \text{ sur } \Delta) \xrightarrow[\mathcal{M}]{} \mathrm{A}'(\infty \text{ sur } \Delta) \xrightarrow[\mathcal{L}]{} \mathrm{F}$$

L'image est donc superposée à l'objet. C'est la **méthode d'autocollimation**.



Propagation des rayons lumineux de F jusqu'à ℳ

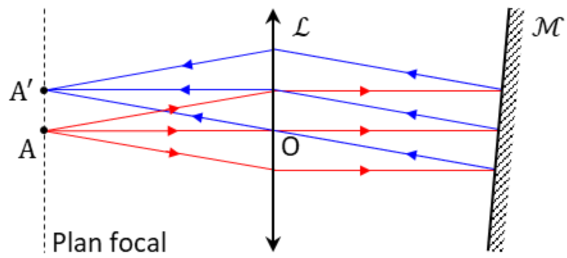
⇒



Propagation des rayons lumineux de ℳ jusqu'à F

Afin que l'image ne se superpose pas *exactement* à l'objet, il suffit d'incliner légèrement le miroir. L'objet et l'image se trouve alors dans le même plan (le plan focal), le premier au niveau du foyer principal et la seconde au niveau d'un foyer secondaire.

Cette méthode est à privilégier pour créer expérimentalement un « objet à l'infini ».



Réaliser grossièrement le montage décrit ci-dessus. Accoler le miroir à la lentille puis les déplacer conjointement jusqu'à ce que l'image de l'objet se forme dans le même plan que ce dernier. Déplacer lentement le miroir le long de l'axe optique, en l'éloignant de la lentille (qui reste fixe) : si la figure reste nette et de même taille que l'objet, ce dernier est bien situé dans le plan focal objet de la lentille.

Mesurer la distance focale de la lentille f' et estimer son incertitude-type $u(f')$.

III - Lentilles divergentes

Il est possible de montrer qu'un système de deux lentilles minces $\mathcal{L}_1$ et $\mathcal{L}_2$ accolées, de vergence respective V_1 et V_2, est équivalent à une lentille unique $\mathcal{L}$ de vergence :

$$\mathrm{V}_{\mathrm{tot}} = \mathrm{V}_1 + \mathrm{V}_2 \qquad \Leftrightarrow \qquad \frac{1}{f'_{\mathrm{tot}}} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2}$$

Nous allons utiliser cette propriété pour mesurer la distance focale d'une lentille divergente.

On accole deux lentilles minces, l'une divergente de distance focale $f'_\mathrm{d} < 0$ inconnue, et l'une convergente de distance focale $f'_\mathrm{c} > 0$ connue, de sorte que l'ensemble se comporte comme une lentille convergente $f'_\mathrm{tot} > 0$.

Quelle relation lie f'_d et f'_c pour que cette propriété soit vérifiée ?

Déterminer f'_d par autocollimation.