

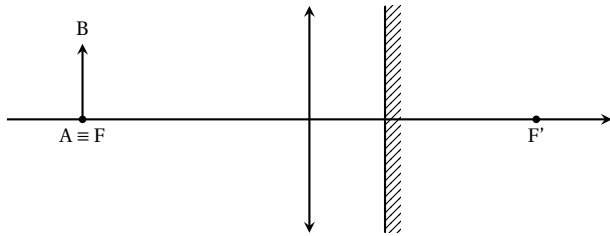
TP n° 4 : Focométrie des lentilles minces

La focométrie est l'ensemble des techniques de mesurage de la distance focale d'un système optique. Nous allons présenter dans ce TP quelques unes de ces méthodes, l'intérêt étant de les comparer en terme de rapidité, de simplicité et de précision. Pour cela il sera intéressant, autant que possible, de garder d'une expérience à l'autre une même lentille afin de comparer les valeurs obtenues par les différents mesurages.

1 Méthode d'autocollimation

1.1 Lentille convergente

► Allumer votre source lumineuse. Placer sur le banc optique une lentille convergente et, juste derrière, un miroir plan (voir figure ci-dessous). Vous pouvez accoler le miroir à la lentille en les plaçant l'un contre l'autre sur le même support. Déplacer le système {lentille + miroir} sur le banc optique jusqu'à voir apparaître dans le même plan que celui de l'objet, son image par le système {lentille + miroir}. **L'objet se trouve alors dans le plan focal objet de la lentille.**



- 1) (Analyser) Sur la figure ci-dessus, montrer à l'aide d'un tracé de rayons que si AB se trouve dans le plan focal objet de la lentille, alors son conjugué par le système {lentille+miroir} se trouve dans le même plan. Quel est le grandissement ?
- 2) (Réaliser + Valider) En déduire une mesure de la distance focale f' puis de la vergence V d'une lentille de votre choix (la conserver pour les expériences suivantes). Préciser les sources d'erreurs et estimer l'incertitude-type $u(f')$ et $u(V)$ sur ces valeurs. On admettra que $\frac{u(f')}{|f'|} = \frac{u(V)}{|V|}$.

1.2 Lentille divergente : méthode d'association

L'autocollimation ne fonctionne pas avec une lentille divergente ; on peut toutefois utiliser cette méthode de façon indirecte, en accolant à la lentille divergente de vergence V_d inconnue une lentille convergente de vergence V_c connue (prenez celle dont vous venez de mesurer la vergence).

- 3) (Analyser) L'association de deux lentilles accolées est équivalente à une lentille unique ; rappeler l'expression de la vergence équivalente V_{eq} en fonction de V_c et V_d . À quelle condition sur V_d et V_c la lentille équivalente est-elle convergente ?
- 4) (Réaliser) Proposer une valeur pour la distance focale de la lentille divergente, avec son incertitude-type.

2 Méthode de Bessel

Cette méthode s'applique uniquement aux lentilles convergentes. L'objet et l'écran étant **fixés** sur le banc optique, à une distance D l'un de l'autre (obligatoirement supérieure à $4f'$), on déplace la lentille sur le banc optique entre l'objet et l'écran jusqu'à trouver deux positions (notées O_1 et O_2) pour lesquelles on observe une image nette sur l'écran. Soit $d = \overline{O_1O_2}$ la distance entre ces deux positions, alors la distance focale de la lentille est donnée par la relation suivante (cf exo 6 du TD 3) :

$$f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}$$

- 5) (Analyser) Mesurer sur le banc optique les positions x_1 et x_2 correspondant respectivement aux points O_1 et O_2 et proposer une valeur pour leur incertitude type $u(x_1)$ et $u(x_2)$. En déduire une mesure de la distance focale f' puis de la vergence V de votre lentille.
- 6) (Réaliser + Valider) Ouvrir le fichier Jupyter Notebook "TP_focométrie.ipynb". Vous y trouverez le code Python qui a servi au TP précédent. Adapter ce code dans le cas de la méthode Bessel et déterminer $u(f')$ puis $u(V)$.

Rq : Une alternative à la méthode de Bessel, appelée **méthode de Silbermann**, consiste à faire varier D jusqu'à ce qu'il n'y ait plus qu'une seule position de la lentille qui permette de projeter l'image de l'objet sur l'écran. Dans ce cas, on a $f' = D/4$.

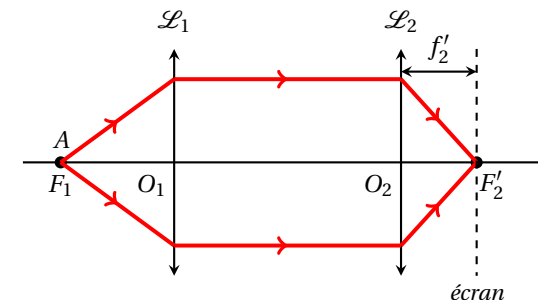
3 Méthode du focomètre de Badal

Cette méthode permet de mesurer la distance focale d'une lentille divergente. On dispose de trois lentilles minces :

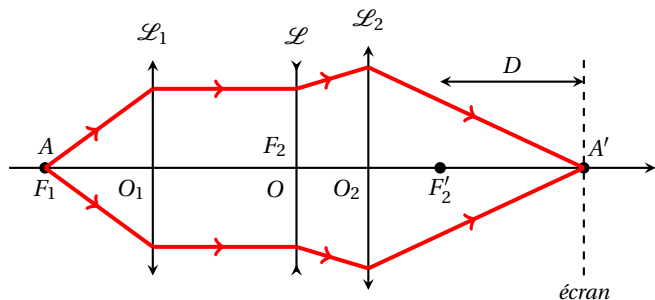
- une lentille convergente \mathcal{L}_1 , de distance focale image f'_1 connue et de centre optique O_1 ;
- une lentille convergente \mathcal{L}_2 , de distance focale image f'_2 connue et de centre optique O_2 ;
- une lentille divergente \mathcal{L} , de distance focale image f' inconnue et de centre optique O .

Afin de déterminer f' , on met en œuvre l'expérience suivante (appelée méthode de Badal) :

Un objet ponctuel lumineux A est placé au foyer objet de \mathcal{L}_1 et son image par \mathcal{L}_2 est projetée sur un écran situé à une distance f'_2 de \mathcal{L}_2 .



La lentille \mathcal{L} est intercalée entre \mathcal{L}_1 et \mathcal{L}_2 , au niveau du foyer objet F_2 de \mathcal{L}_2 ; il est alors nécessaire de reculer l'écran d'une distance D pour y recevoir l'image nette A' de A .



La distance focale f' est alors obtenue par la relation suivante :

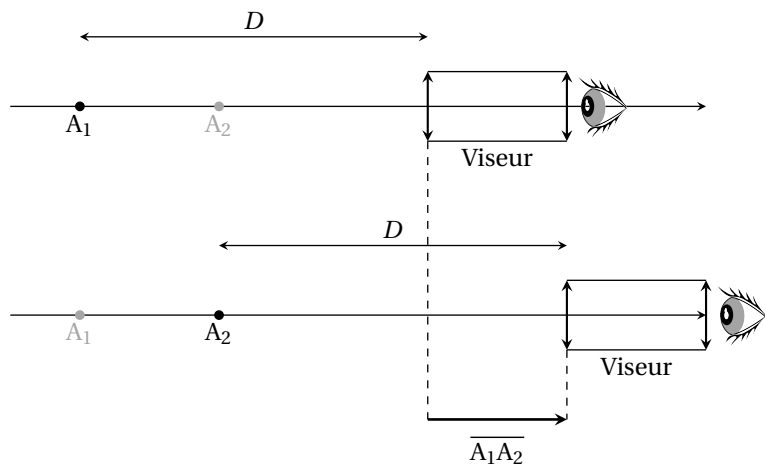
$$f' = -\frac{f_2'^2}{D}$$

► Prenez pour \mathcal{L}_1 une lentille convergente quelconque et pour \mathcal{L}_2 la lentille convergente que vous avez utilisé tout au long du TP. Placer A au foyer objet de \mathcal{L}_1 en utilisant la méthode d'autocollimation. Placer la lentille \mathcal{L}_2 à une distance de \mathcal{L}_1 supérieure à f_2' . Pour placer la lentille \mathcal{L} dans le plan focal objet de \mathcal{L}_2 , utilisez la valeur de f_2' que vous avez obtenue par autocollimation au début du TP.

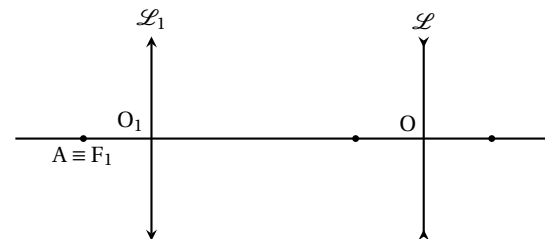
7) (Réaliser) Mesurer les positions x_1 et x_2 de l'image finale formée par la lentille \mathcal{L}_2 , respectivement sans la lentille \mathcal{L} intercalée et avec. En déduire la valeur de D puis celles de la distance focale f' ainsi que la vergence V de la lentille divergente (pas d'estimation d'incertitude-type demandée ici).

8) (Analyser) Quels sont les conjugués successifs du point A par les lentilles \mathcal{L}_1 , puis \mathcal{L} et enfin \mathcal{L}_2 ? Démontrer alors la relation ci-dessus.

4 Mesurage avec un viseur



Le viseur est un instrument d'optique constitué de deux lentilles convergentes : l'objectif et l'oculaire (et parfois d'un réticule). Il permet de voir nette sans accommodation l'image d'un objet situé à une distance D de l'objectif appelée **distance de visée** D . Cette dernière étant **fixe**, le viseur permet de mesurer avec précision la distance entre deux points de l'axe optique. Sur le schéma de la page précédente, le viseur est d'abord placé de manière à voir net le point A_1 , puis le point A_2 . En mesurant la distance sur laquelle on a déplacé le viseur, on obtient la distance qui sépare les points A_1 et A_2 .



9) (Analyser) On cherche à déterminer la distance focale d'une lentille divergente \mathcal{L} . Pour cela, on commence par réaliser le montage ci-dessus. Reproduire la figure sur votre compte-rendu et construire l'image de A par les deux lentilles. A est placé au niveau du foyer principal objet de la lentille convergente \mathcal{L}_1 . La distance $\overline{O_1O}$ a-t-elle une importance dans ce montage? Pourquoi vaut-il mieux éviter de la choisir trop élevée?

10) (Analyser) Pour mesurer la distance focale f' de la lentille \mathcal{L} , on vient placer le viseur derrière cette lentille. Préciser les deux points qu'il faudra viser successivement. Expliquer pourquoi la distance de visée ne doit pas être trop faible.

► En utilisant la méthode d'autocollimation, placer l'objet lumineux dans le plan focal objet de \mathcal{L}_1 (lentille convergente de votre choix). Placer la lentille \mathcal{L} inconnue derrière \mathcal{L}_1 .

► Mettre en œuvre le protocole proposé à la question précédente. Pour viser le centre optique d'une lentille, faites la mise au point sur la monture ou éventuellement sur les poussières ou traces de doigt qui se trouvent à sa surface.

11) (Valider) Déterminer la valeur de la distance focale f' puis de la vergence V de la lentille \mathcal{L} .

12) (Analyser) On étudie le principe de fonctionnement du viseur. Soit A un objet ponctuel sur l'axe optique, A' l'image intermédiaire formée par l'objectif et A'' l'image finale renvoyée par l'oculaire.

a) Où doit se trouver A' pour que l'image A'' soit vue nette sans accommodation par un œil emmetrope?

b) On note :

- $\Delta = \overline{F'_{\text{obj}}F_{\text{ocu}}}$ la distance algébrique entre le foyer principal image de l'objectif et le foyer principal objet de l'oculaire ;
- f'_{obj} et f'_{ocu} les distances focales respectives de l'objectif et de l'oculaire.

Déterminer l'expression littérale de D en fonction de Δ et f'_{obj} . Commenter le cas $\Delta = 0$. Pour viser de plus en plus près, faut-il rapprocher les deux lentilles l'une de l'autre ou bien les éloigner? Justifier.

c) On suppose désormais que l'objet est étendu, transverse, de hauteur h . Exprimer la taille angulaire α de l'image finale en fonction de h , Δ , f'_{obj} et f'_{ocu} .