OS – TP 4

Focométrie de lentilles convergentes

Identifications

Une lentille convergente peut être identifiée grâce aux caractéristiques suivantes :

— par sa forme : elle est à bords minces ;

— par son effet optique :

  — elle forme d'un *objet réel éloigné* une *image renversée* ;

  — elle forme d'un *objet réel proche* une *image droite et agrandie (principe de la loupe).*

On a accès facilement à une estimation de la focale d'une lentille convergente en faisant sur le sol une image de l'éclairage du plafond d'une salle (= objet très éloigné). Si la longueur focale de la lentille n'est pas trop grande, la distance qui sépare le sol de la lentille est alors approximativement sa longueur focale.

I - Préparation à rédiger sur feuille avant le TP

I.1 - Constructions géométriques

Nous disposons d'une lentille convergente de foyers F et F'.

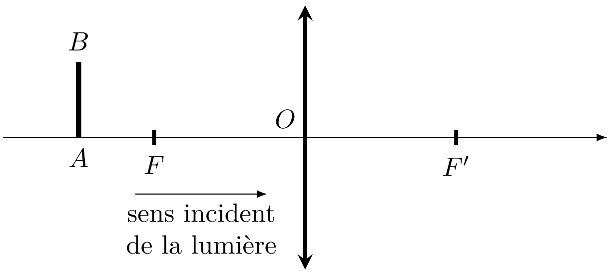

Figure 1.1 – Lentille convergente

Nous voulons construire l'image $A'B'$ de l'objet AB à travers cette lentille.

1. Faire sur papier quadrillé quatre constructions différentes avec :
   (a) A à gauche de F ; (b) A entre F et O ;
   (c) A entre O et F' ; (d) A à droite de F'.

   Préciser dans chaque cas, la nature réelle ou virtuelle de l'objet et de l'image.

   (e) Quelles constructions géométriques correspondent aux effets optiques indiqués dans la rubrique « Identifications » ?
2. Démontrer, en utilisant un raisonnement **purement géométrique**[1] associé à un schéma optique, que la condition $\gamma = -1$, mène à une position particulière de l'objet, qu'on explicitera, ainsi que celle de l'image associée.
3. Expliquer que les résultats de la question précédente constituent une méthode de détermination expérimentale de la distance focale $f' = \overline{OF'}$ d'une lentille convergente. Décrire cette méthode (dite de Silbermann).

I.2 - Formules de conjugaison

1. Rappeler les relations de conjugaison de Descartes et Newton et les trois expressions du grandissement pour les lentilles minces.
2. Redémontrer grâce aux relations et expressions précédentes les résultats géométriques du I.1.2.

1. C'est-à-dire sans utiliser ni les relations de conjugaisons ni les expressions mathématiques du grandissement. Seuls la définition du grandissement et des théorèmes géométriques peuvent être utilisés.

I.3 - Focométrie par autocollimation

L'autocollimation est une méthode de détermination des distances focales des lentilles convergentes, simple, rapide et n'entraînant que peu de calculs, c'est pourquoi elle est très utilisée. Elle est également expliquée dans le TP sur les mesures d'angles au goniomètre. L'objet AB est situé dans le plan focal objet de la lentille qui est suivie d'un miroir (voir figure 1.2).

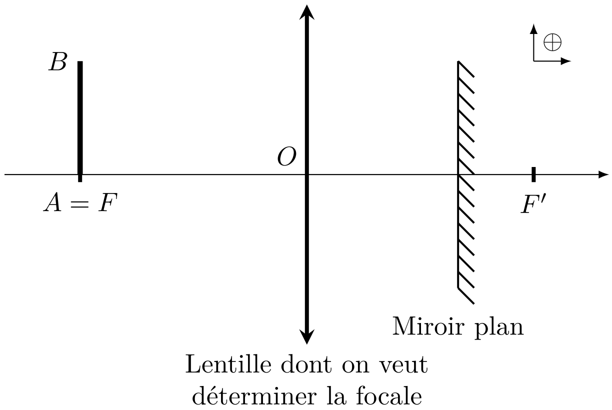

FIGURE 1.2 – Dispositif autocollimateur.

1. Faire un dessin clair du parcours de deux rayons afin de déterminer l'image finale $A'B'$ de AB à travers tout le système {lentille + miroir}.
   - on choisira par exemple un rayon parallèle à l'axe optique issu de B et un rayon passant par O également issu de B.
   - on remarquera que ces deux rayons en repartant du miroir sont parallèles entre eux. Ils doivent donc passer, en sortant pour la deuxième fois de la lentille, par un même foyer secondaire image de celle-ci qu'il faudra déterminer.
   - on prendra garde au fait que lorsque la lumière change de sens, il faut inverser les foyers de la lentille (voir figure 1.3).

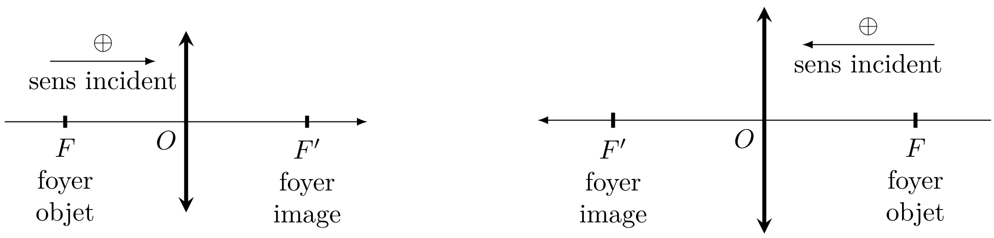

FIGURE 1.3 – Inversion des foyers d'une lentille.

2. La solution du I.3.1. dépend-elle de la distance lentille–miroir ? Justifier.
3. Expliquer comment on peut expérimentalement déterminer une distance focale avec la méthode d'autocollimation.

I.4 - Méthode de Bessel

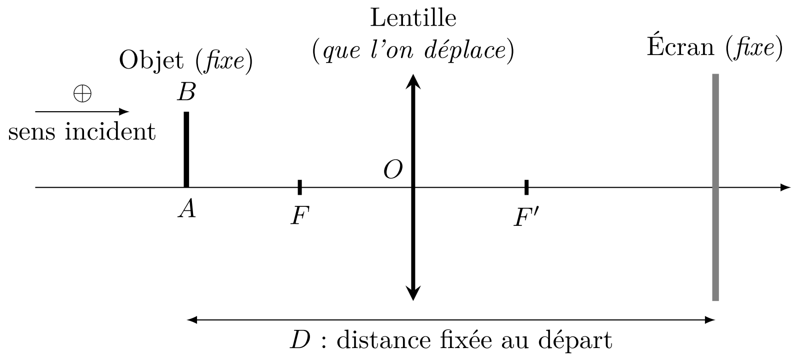

Figure 1.4 – Dispositif expérimental de la méthode de Bessel.

On place AB (objet) à une distance D de l'écran et on ne déplace plus ces 2 éléments (D = constante). On déplace la lentille de sorte que l'image $A'B'$ de AB se forme sur l'écran (cf. figure 1.4).

1. On pose $p = \overline{OA}$ et $p' = \overline{OA'}$. Montrer que p vérifie une équation du second degré dans laquelle apparaissent les constantes D et f'. (On partira de la relation de conjugaison.)
2. En déduire que, si D vérifie une condition que l'on exprimera, il existe toujours deux solutions à cette équation, correspondant à deux positions de la lentille (L) permettant d'obtenir une image nette de AB sur l'écran. On appelle p_1 et p_2 les deux solutions de l'équation.
3. Que se passe-t-il si D ne vérifie pas la condition exprimée au I.4.2. ? Montrer que la solution unique trouvée correspond au cas particulier étudié aux questions I.1.2 et I.1.3.
4. On appelle d la distance qui sépare les deux positions possibles de la lentille trouvées au I.4.2. Exprimer d en fonction de p_1 et p_2. Montrer alors que f' s'exprime facilement en fonction de D et d uniquement.

II - Focométrie des lentilles minces

L'objet utilisé est une lettre éclairée (par exemple lettre « P »). Dans le compte rendu, on décrira les manipulations avec des schémas clairs.

II.1 - Méthode d'autocollimation

1. Pour la lentille proposée, en utilisant un miroir plan, déterminer f' par la méthode d'autocollimation. Chaque élève du groupe effectue, de façon indépendante des autres, un ou deux mesurages de f'. On retient comme estimateur de la distance focale, la grandeur $\bar{f}' = \frac{f'_{max}+f'_{min}}{2}$ de l'*ensemble* des valeurs trouvées et comme demi-étendue la grandeur $\frac{f'_{max}-f'_{min}}{2}$. Dans le compte-rendu, indiquer les résultats de mesurage, l'estimateur de f' et sa demi-étendue.
2. Estimation de l'*incertitude-type de mesure*. L'incertitude-type sur f' est constituée d'une incertitude-type de lecture $u_{f',lec}$ due à l'imprécision des graduations du banc d'optique et d'une incertitude-type de mise au point $u_{f',map}$ due au fait qu'il est difficile d'évaluer précisément la netteté de l'image ou au fait que différents expérimentateurs font des évaluations différentes de f'.
   (a) Incertitude-type de lecture. On peut modéliser l'*incertitude-type de lecture* d'une position repérée sur un banc d'optique gradué par une distribution rectangulaire qui donne une incertitude-type $\frac{1\text{ graduation}}{\sqrt{12}}$. Étant donné que f' est déterminée par la différence entre deux positions (position de la lentille et position de l'objet), on a $u^2_{f',lec} = 2\left(\frac{1\text{ graduation}}{\sqrt{12}}\right)^2$, d'où $u_{f',lec} = \frac{1\text{ graduation}}{\sqrt{6}}$. Calculer $u_{f',lec}$.
   (b) On modélise l'*incertitude-type de mise au point* par une distribution rectangulaire entre f'_{min} et f'_{max}. On a alors $u_{f',map} = \frac{f'_{max}-f'_{min}}{2\sqrt{3}}$. Calculer $u_{f',map}$.
   (c) Finalement, on aura $u^2_{f'} = u^2_{f',lec} + u^2_{f',map}$. Calculer $u_{f'}$.
3. Écrire le résultat du mesurage de f'.

II.2 - Méthode de Bessel

En tenant compte des résultats du I.4, se placer dans les conditions nécessaires pour obtenir une image sur l'écran. On fera attention au fait que les grandeurs mesurées sont des grandeurs algébriques, qui peuvent donc être positives ou négatives.

1. Fixer une valeur de D compatible avec les résultats du I.4. Mesurer les deux valeurs de distance lentille–objet p_1 et p_2 donnant une image nette. Faire varier la distance objet–écran D et recommencer. On fera au moins 10 mesures, c'est-à-dire au moins 5 relevés de p_1 et 5 relevés de p_2 pour 5 valeurs différentes de D. À chacune des mesures, pour éviter des erreurs grossières, on mesurera aussi p'_1 et p'_2 afin de vérifier que la relation $D = p'_1 - p_1 = p'_2 - p_2$ est bien respectée.

   Pour chaque valeur de D, remplir un tableau expérimental selon l'exemple suivant après avoir calculé $d = |p_1 - p_2|$ puis f' grâce à la formule trouvée en préparation au I.4.

D	p_1	p'_1	p_2	p'_2	d	f'

2. Calculer la valeur moyenne $\bar{f}'$ des cinq valeurs de f' trouvées à la question précédente ainsi que l'écart-type échantillonnal[2] $\sigma = \sqrt{\dfrac{1}{n-1}}\sqrt{\displaystyle\sum_{k=1}^{n}(f'_k - \bar{f}')^2}$. En déduire l'incertitude-type de type A associée à la valeur moyenne $u_{f'} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.
3. Écrire le résultat du mesurage. Ce résultat est-il compatible avec celui obtenu au II.1 ?

II.3 - Estimation graphique manuelle

1. Tracer courbe représentative de $(D^2 - d^2)$ en fonction de D **sur papier millimétré**. D'après les résultats du I.4, la courbe attendue est une droite de coefficient directeur $4\,f'$. À la main, déterminer graphiquement une estimation de ce coefficient directeur, puis une estimation de la valeur de f'.

2. Aussi appelé écart-type expérimental, c'est l'écart-type calculé par défaut par un tableur sur la base d'un échantillon de valeurs. La fonction à utiliser est `ECARTYPE`.