

## TP N.02

### Focométrie des lentilles minces

La focométrie désigne l'ensemble des méthodes expérimentales permettant de **mesurer la distance focale  $f$**  d'une lentille mince.

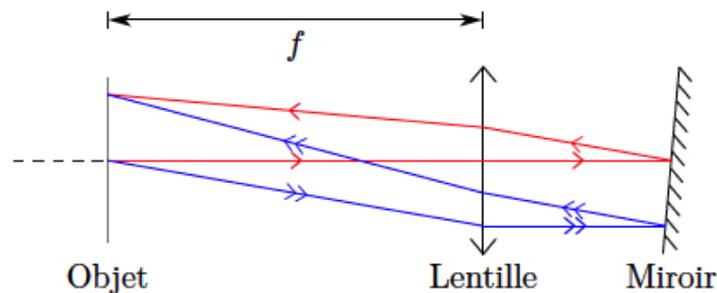
**Matériel :** des lentilles convergentes (10 cm, 15 cm, 20 cm, ...), un objet optique avec une source de lumière blanche, un écran, un petit miroir, un banc optique.

**Capacités exigibles :**

- Mettre en oeuvre une mesure de longueur par déplacement d'un viseur entre deux positions sur un banc optique.
- Éclairer un objet de manière adaptée.
- Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, et choisir leur focale de façon raisonnée.
- Estimer l'ordre de grandeur d'une distance focale.

### 1 Méthode d'auto-collimation :

Cette méthode est avant tout utilisée pour former à l'infini l'image d'un objet à travers une lentille en plaçant l'objet dans le plan focal objet de la lentille. Se contenter de placer l'objet à la distance focale annoncée est en effet trop imprécis pour former des images de bonne qualité. Une fois la lentille placée, il suffit de mesurer la distance la séparant de l'objet pour estimer la focale.



L'objet étant situé dans le plan focal objet, l'image en sortie de lentille est à l'infini. Le miroir inverse géométriquement ce faisceau, et ainsi, pour le trajet retour, le faisceau incident provient de l'infini. En retraversant la lentille, les rayons convergent dans le plan focal, et donc sur l'objet. Le miroir doit être légèrement incliné par rapport à l'axe optique pour que l'image ne se superpose pas complètement à l'objet.

- Réaliser grossièrement le montage décrit par le schéma.
- 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 lui. Le grandissement doit alors valoir **-1**.

**remarque 1.** Attention, l'image de l'objet doit bien être réalisée sur l'objet lui-même et non pas sur une monture qui ne serait pas dans le même plan.

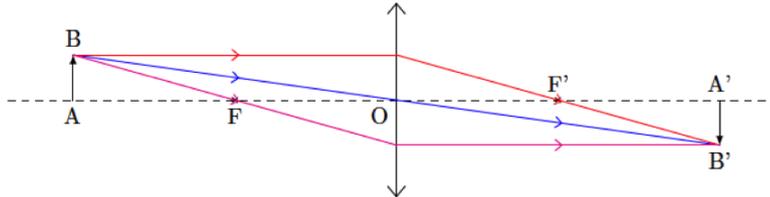
- Déplacer lentement le miroir le long de l'axe optique. Si l'image reste nette et de même taille que l'objet, ce dernier est situé dans le plan focal objet de la lentille. Mesurer alors la focale de la lentille.

**remarque 2.** Cette étape permet de s'assurer que l'image est bien à l'infini.

- On prendra soin à estimer l'incertitude de position en cherchant la gamme de positions correspondant à ce critère.

## 2 Vérification de la relation de conjugaison :

Cette méthode consiste à vérifier la relation de conjugaison :  $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$  en mesurant pour plusieurs positions d'objets la position de l'image.



On se propose de vérifier la relation de conjugaison. Pour cela, on commence par remarquer qu'elle peut se réécrire après un peu d'algèbre :  $\overline{OA} \cdot \overline{OA'} = f'(\overline{OA} - \overline{OA'})$

- Pour une lentille convergente, mesurer au moins cinq positions d'objet la position de l'image correspondante.
- On prendra bien soin d'estimer les incertitudes de mesure.
- Montrer que la relation algébrique est vérifiée.
- En déduire la distance focale (et son incertitude) de la lentille considérée.

## 3 Méthode de Bessel :

La méthode de Bessel exploite à nouveau la relation de conjugaison, mais d'une façon plus subtile. Elle permet une mesure très précise de la distance focale.

### 3.1 Analyse théorique :

Notons  $L = \overline{AA'}$  la distance géométrique fixée entre l'objet et l'écran sur lequel on observe l'image. Cherchons les positions de la lentille qui conjuguent l'objet et l'écran. Notons  $x = \overline{OA}$  la distance géométrique lentille-objet correspondant à l'une de ces positions. La relation de conjugaison s'écrit alors :

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{L - x}$$

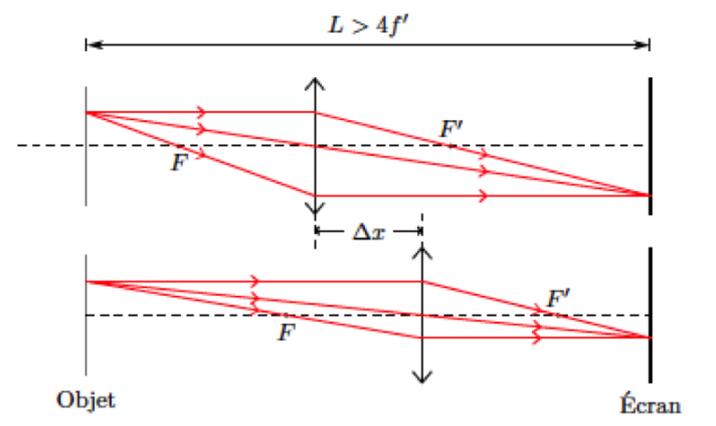
que l'on peut réécrire sous la forme d'une équation du second degré :  $x^2 - Lx + f'L = 0$

Pour que des positions de lentille conjuguant l'objet et l'écran existent, cette équation doit admettre des solutions réelles. Son discriminant  $L(L - 4f')$  doit donc être positif. On retiendra que **pour que deux plans soient conjugués par une lentille donnée, il faut qu'ils soient séparés d'une distance supérieure à quatre fois la distance focale de celle-ci.**

**remarque 3.** Ce critère est essentiel pour choisir une lentille adaptée à l'encombrement d'un montage.

Dans ce cas, deux positions de la lentille conjuguant l'objet et l'écran existent. Ces positions sont représentées sur la figure suivante. La distance qui les sépare s'écrit :

$$x = \sqrt{L(L - 4f')} \quad \Longrightarrow \quad L^2 - \Delta x^2 = 4f'L.$$



**Principe de la méthode de Bessel :** Pour une distance  $L$  donnée entre l'objet et l'écran, supérieure à quatre fois la distance focale de la lentille, il existe deux positions séparées de  $x$  qui conjuguent l'écran et l'objet.

### 3.2 Protocole :

- Fixer la distance entre l'objet et l'écran puis chercher les deux positions de la lentille qui conjuguent ces deux positions.
- Comme pour les méthodes précédentes, il faut prendre soin de mesurer la plage de position qui, selon le jugé de l'expérimentateur, conjuguent les deux plans.
- Il faut bien faire attention à mesurer la distance entre les éléments. En particulier, l'utilisation de pieds pour fixer sur le banc optique peut induire une erreur systématique de mesure qu'il faut prendre en compte.
- Reproduire le processus pour différentes valeurs de  $L$ .
- Enregistrer les valeurs de  $L$ ,  $x_1$  et  $x_2$  puis calculer puis  $L^2 - \Delta x^2$  en fonction de  $4L$ .
- En déduire la distance focale.

### 3.3 Cas particulier : méthode de Silbermann

Un cas particulier de la méthode de Bessel est celui où  $L = 4f'$ . Il n'existe alors qu'une seule position de la lentille qui conjugue l'écran et l'objet.

On déplace donc alternativement l'écran et la lentille de façon à ce que l'on ne puisse plus distinguer deux positions distinctes conjuguant l'objet et l'écran. Pour affiner le résultat, on bouge à nouveau l'écran et la lentille afin que la plage de netteté à l'écran soit la plus restreinte possible. La mesure de  $L$  permet alors d'obtenir la focale.

## 4 Méthode de Badal appliquée aux lentilles divergentes (partie théorique pour ceux qui voudraient aller plus loin)

Les méthodes précédentes ne fonctionnent pas pour les lentilles divergentes. Voici une méthode appliquée aux lentilles divergentes car elles sont toutes basées sur une conjugaison entre un objet réel et une image réelle, ce qui est impossible en pratique pour une lentille divergente.

### 4.1 Manipulation 1 :

- En utilisant la méthode d'auto-collimation sur une lentille convergente ( $L_1$ ) de distance focale  $f'_1 = 50\text{mm}$  fabriquer, à l'aide de la technique d'auto-collimation, un objet à l'infini pour une lentille ( $L_2$ ) de distance focale  $f'_2 = 200\text{mm}$  placée après sur le banc optique.
- Placer ensuite l'écran de manière à voir l'image réelle à travers la lentille .

## 4.2 Questions :

1. Faites le schéma de l'ensemble en précisant bien la position de l'objet, des lentilles, de l'écran.
2. Compléter la transformation optique :

$$A = ? \xrightarrow{L_1} A_{1,\infty} \xrightarrow{L_2} A' = ?$$

## 4.3 Manipulation 2 :

- Entre les lentilles ( $L_1$ ) et ( $L_2$ ) placer une lentille divergente ( $L_3$ ) de distance focale  $f'_3$  inconnue sur le foyer principal objet de la lentille ( $L_2$ ) .
- Pour retrouver une image nette, il faut déplacer l'écran. Mesurer la distance  $\overline{A'A''}$  ,  $A''$  étant la nouvelle position de l'image sur l'axe optique.

## 4.4 Questions :

1. Compléter la transformation optique :

$$A = ? \xrightarrow{L_1} A_{1,\infty} \xrightarrow{L_3} ? \xrightarrow{L_2} A''$$

2. Montrer que la distance focale image de la lentille ( $L_3$ ) s'exprime de la manière suivante :

$$f'_3 = -(f'_2)^2 / \overline{A'A''}$$

3. On a mesuré  $\overline{A'A''} = 23,7\text{cm}$  , en déduire la valeur de la distance focale image  $f'_3$ .