

Focométrie

*On prendra soin de reporter dans le compte-rendu :
courbes visualisées, mesures et leur incertitude, commentaires et interprétations.
Les questions sont là pour orienter la rédaction, donner une idée des choses à discuter.*

Objectifs :

- Découvrir différentes de mesure de distance focale, évaluations rapides ou plus précises.
- Mettre en évidence les avantages et les inconvénients de chacune de ces méthodes, en précisant les sources d'incertitudes sur les mesures.
- Mettre en œuvre une vérification expérimentale de la loi de conjugaison de Descartes par une régression linéaire, et évaluer les incertitudes dans ce cadre.

Compétences expérimentales exigibles :

- Sécurité : utiliser les sources laser et les diodes électroluminescentes de manière adaptée.
- Utiliser un viseur à frontale fixe. Mettre en œuvre une mesure de longueur par déplacement d'un viseur entre deux positions.
- Former une image. Éclairer un objet de manière adaptée. Optimiser la qualité d'une image (alignement, limitation des aberrations, etc.).
- Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, et choisir leur focale de façon raisonnée.

Les valeurs de distances focales indiquées sur les lentilles ne sont données qu'à titre indicatif et ne constituent en aucun cas une référence exacte. Pour l'évaluation des incertitudes, on se référera à l'annexe.

I. ESTIMATION rapide de la distance focale d'une lentille : objet à l'infini

Si l'on ne cherche pas une grande précision mais une simple estimation rapide, on utilise l'image d'un objet très éloigné.

• MANIP 1

Estimez les focales de deux lentilles convergentes différentes.

Q : Confondre l'objet éloigné avec un objet à l'infini induit une erreur sur la focale.

- Cette méthode est-elle plus adaptée pour les grandes ou pour les petites focales ? Justifier.
- La focale mesurée est-elle plus petite ou plus grande que la focale réelle ? Justifier.

Q : Comment pourriez-vous réaliser l'estimation de la focale d'une lentille divergente, toujours par formation de l'image d'un objet très éloigné ?

II. Mesures PRÉCISES de distances focales de lentilles CONVERGENTES

On gardera la **même lentille** dans les différentes méthodes de façon à pouvoir les comparer.

II.1. Autocollimation : Mesures précises à l'aide d'un viseur

La méthode d'autocollimation a été vue au TP N°1. Ici on mesure la distance objet-lentille de façon précise, à l'aide d'un viseur.

• MANIP 2

- Réalisez le montage d'autocollimation avec l'une des lentilles convergentes précédentes.
- En utilisant le viseur, déterminez la distance focale f' de cette lentille.
- Estimer l'incertitude $u(f')$ de la mesure.

II.2. Utilisation de la relation de conjugaison de Descartes

Dans cette section, on se sert de la formule de conjugaison de Descartes :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

Plutôt que de l'exploiter sur un seul couple de points conjugués, on préfère répéter la mesure pour plusieurs couples. Cela permet non seulement d'améliorer la précision sur f' , mais aussi de **vérifier que la loi de Descartes est vraie** par la même occasion.

- Q** : Peut-on appliquer la méthode décrite pour $\overline{AO} < f'$? Si oui comment ?
Q : Si l'on se restreint au cas $\overline{AO} > f'$, et compte tenu du matériel dont on dispose, quel est l'ordre de grandeur des plus grandes focales que l'on peut mesurer par cette méthode ?
Q : Pour vérifier la loi de Descartes, quelle graphie doit-on tracer à partir des mesures ?

Les mesures seront faites au viseur. On mesure une distance à l'aide de 2 pointés x_1 et x_2 . On prendra soin de consigner dans un tableau de mesure les données brutes x_1 et x_2 , avant de passer à toute application numérique.

On ajoutera aussi des lignes (ou colonnes) pour le calcul des incertitudes de mesure utiles. Le traitement des données sera fait à la calculatrice ou au tableur. Le graphe sera fait à la main sur papier millimétré.

• MANIP 3

- Effectuer les pointés pour mesurer \overline{OA} et $\overline{OA'}$ en pour une série de couples (A, A') (on fera varier \overline{OA}). Puis calculer ces distances.
- Estimez les incertitudes $u(\overline{OA})$ et $u(\overline{OA'})$. En déduire les incertitudes sur $\frac{1}{\overline{OA}}$ et $\frac{1}{\overline{OA'}}$.
- Exploiter ces données pour tracer la courbe adaptée pour la vérification de la loi de Descartes, et pour la mesure de la distance focale f' . En déduire la valeur de f' .
- Reportez sur le graphe précédent les incertitudes. Estimer l'incertitude $u(f')$ à l'aide de la méthode des droites extrêmes.

II.3. Méthode de Bessel

On place un objet et un écran à une distance donnée D . On intercale la lentille convergente entre l'objet et l'écran.

• MANIP 4

Déplacez la lentille (sans déplacer ni l'objet, ni l'écran) et constatez qu'il existe deux positions de la lentille pour laquelle on forme une image sur l'écran.

Soit d la distance entre ces 2 positions de la lentille, on montre (cf cours d'optique) qu'elle vérifie :

$$1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2 = 4 \frac{f'}{D}$$

Comme précédemment, on souhaite effectuer plusieurs mesures de façon à d'une part vérifier cette loi, et d'autre part mesurer précisément f' . On rappelle que D doit être supérieur à $4f'$ pour que l'image puisse être projetée sur l'écran.

• MANIP 5

- Pour plusieurs distances D , mesurer la distance d entre les deux positions de la lentille donnant une image nette sur l'écran (réfléchir à la manière la plus précise de le faire).
- Estimez les incertitudes $u(d)$ et $u(D)$. En déduire les incertitudes sur $(d/D)^2$ et $1/D$.
- Sur papier millimétré, tracez une courbe adaptée à la vérification de la loi ci-dessus et la détermination de f' . Mesurer f' .
- Reporter sur le graphique précédent les incertitudes sur les quantités tracées. Estimer l'incertitude $u(f')$ sur la mesure de f' par la méthode des droites extrêmes.

II.4. Méthode de Silbermann

Méthode à n'effectuer que si vous en avez le temps. Sinon passez directement à la suite.

La méthode de Silbermann consiste à se placer dans le cas particulier de la méthode de Bessel où il n'y a plus deux positions possibles pour la lentille, mais une seule position double ($d = 0$). Dans ce cas, la distance entre l'objet et son image formée sur l'écran par la lentille convergente est $D = 4f'$. On montre qu'alors la lentille est à égale distance de l'objet et de l'image et donc que le grandissement transversal $\gamma = \overline{OA'}/\overline{OA}$ vaut -1.

• MANIP 6

- Mesurer la distance D entre l'objet et son image lorsque le grandissement γ est égal à -1 et précisez l'incertitude sur la mesure de D . Indiquez comment vous procédez.
- En déduire f' et son incertitude $u(f')$.

Q : Discuter les avantages et inconvénients de cette méthode de mesure par rapport aux autres méthodes.

III. Mesures PRÉCISES de distances focales de lentilles DIVERGENTES

On s'intéresse maintenant à la détermination de focales de lentilles divergentes. L'image d'un objet réel par une lentille divergente étant toujours virtuelle, il est impossible de déterminer directement la distance focale par projection de l'image sur un écran. Il est alors nécessaire de faire des **mesures indirectes**, soit à l'aide d'un **viseur**, soit en s'aidant d'une **lentille auxiliaire**.

III.1. Lentille auxiliaire : formation d'un doublet convergent

La méthode consiste à accoler à la lentille divergente de focale inconnue f'_{DV} une lentille suffisamment convergente pour que l'ensemble forme un doublet convergent. Les méthodes de mesure de focales vues pour les lentilles convergentes sont alors applicables au doublet. La détermination de la focale du doublet permet alors de remonter à f'_{DV} , à condition de connaître la focale f'_{CV} de la lentille convergente (préablement déterminée). En effet, on rappelle que les vergences de deux lentilles accolées se somment : $V_d = V_{CV} + V_{DV}$.

Q : Expliquez pourquoi les méthodes de Bessel ou de Silbermann sont plus adaptées à la détermination de la focale d'un doublet que l'utilisation de la relation de conjugaison de Descartes ou de l'autocollimation ?

• MANIP 7

- Choisir une lentille divergente de focale f'_{DV} à déterminer et vérifier si elle forme un doublet convergent avec la lentille convergente dont la focale f'_{CV} a été mesurée précisément au A (sinon, changer de lentille divergente).
- Par une évaluation rapide de la distance focale du doublet f'_d , vérifier que la condition $D > 4f'_d$ sera facilement applicable sur le banc.
- Placez le doublet sur le support adapté pour accoler les lentilles, comportant un ressort.
- Par une méthode au choix (on se contentera d'un point de mesure), déterminez la distance focale f'_d du doublet. En déduire f'_{DV} ainsi que son incertitude.
On montrera en exercice que

$$u(f'_{DV}) = f'^2_{DV} \sqrt{\left(\frac{u(f'_{CV})}{f'^2_{CV}}\right)^2 + \left(\frac{u(f'_d)}{f'^2_d}\right)^2}$$

III.2. Relation de conjugaison de Descartes

La distance focale d'une lentille divergente peut également être déterminée sans l'aide d'une lentille auxiliaire, par exemple en utilisant la relation de conjugaison de Descartes. L'image A' formée étant

virtuelle, vous utiliserez un viseur pour déterminer la distance lentille-image $\overline{OA'}$. En visant la lentille, on obtiendra aussi la distance objet-lentille \overline{OA} . Pour pouvoir faire des comparaisons, utilisez la même lentille divergente qu'au paragraphe précédent.

• **MANIP 8**

- Pour plusieurs positions de la lentille (au moins une, selon le temps qu'il vous reste), mesurez au viseur les distances \overline{OA} et $\overline{OA'}$. Indiquez les incertitudes $u(\overline{OA})$ et $u(\overline{OA'})$.
- En déduire la distance focale f' de la lentille divergente et son incertitude.

Q : Discutez des avantages et inconvénients de cette méthode.