

Mesures et incertitudes : activité pour les élèves

Comparaison de trois méthodes focométriques



Cette activité est adossée au programme de la partie « Image » de spécialité SPCL (Sciences Physiques et Chimiques en Laboratoire) de la classe de première. Elle peut être proposée dans la séquence 5 : « images données par les lentilles convergentes ».

Objectif de l'activité

Les lentilles convergentes vendues aux établissements scolaires ont souvent des distances focales pouvant s'écarter de 10% à 15% des valeurs affichées par les fabricants, d'où l'intérêt de la focométrie : on appelle ainsi une méthode de mesure de la distance focale d'une lentille. Cette activité propose de tester trois méthodes focométriques sur une même lentille avec de les comparer en termes de dispersion.

1. Réalisation des mesures

Se munir d'une lentille convergente dont la distance focale affichée par le fabricant vaut 20 cm. Toutes les manipulations à suivre seront réalisées avec cette lentille.

Tous les résultats de mesure seront saisis dans la feuille de calcul « MI_Focométrie_Résultats » disponible sur le site des collections numériques.

1.1. 1^{ère} méthode testée : l'autocollimation

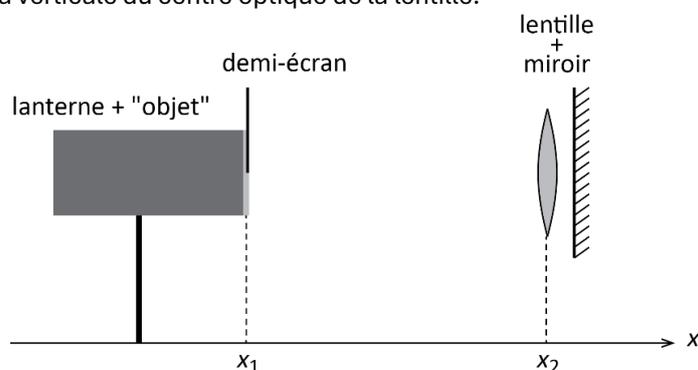
Préparation de l'expérience

- Se munir d'une lanterne à la sortie de laquelle se trouve une figure de forme reconnaissable (lettre, flèche...) : ce sera notre objet.
- Masquer l'objet à moitié à l'aide d'un demi-écran.
- Sur un support adapté, accoler la lentille convergente à un miroir plan.

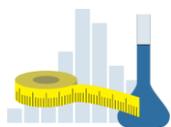
Mesures :

Les résultats sont à saisir dans le premier onglet du fichier tableur « MI_Focométrie_Résultats ».

- Placer la lanterne et le demi-écran à un endroit quelconque du banc d'optique.
- Positionner l'association lentille + miroir de manière à observer une image sur le demi-écran.
- Relever et noter dans le tableur les valeurs de :
 - ▶ x_1 : graduation à la verticale de l'objet et du demi-écran ;
 - ▶ x_2 : graduation à la verticale du centre optique de la lentille.



- On montre que la distance focale de la lentille est égale à la distance objet – lentille, lorsque l'image se forme sur le demi-écran. Calculer cette distance focale et vérifier que l'ordre de grandeur est bien voisin des 20 cm attendus.



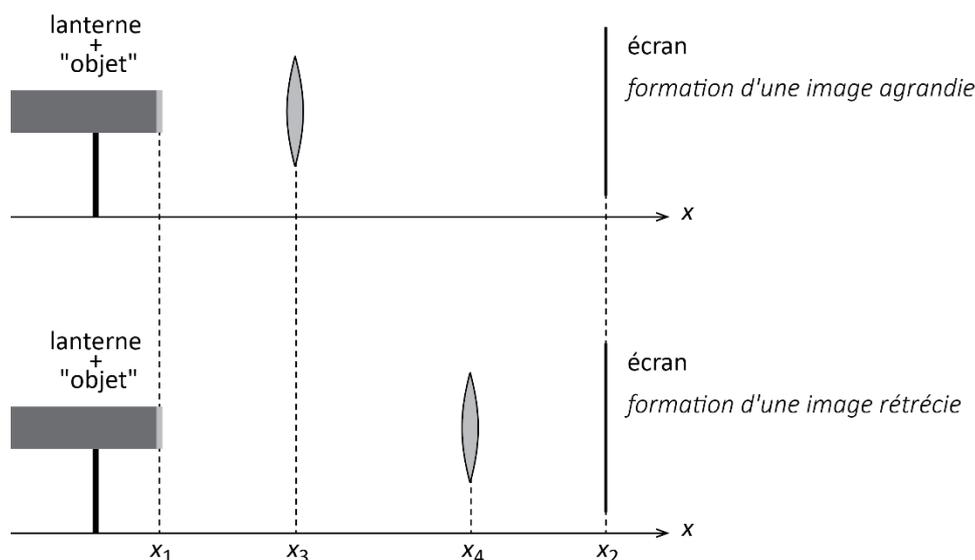
- Ôter tous les accessoires du banc d'optique et recommencer jusqu'à obtenir 20 séries de valeurs de x_1 et x_2 .

1.2. 2^{ème} méthode testée : la méthode de Bessel

Première mesure et prise en main de la méthode de Bessel

Les résultats sont à saisir dans le deuxième onglet du fichier tableur « MI_Focométrie_Résultats ».

- Placer l'objet à un endroit quelconque du banc d'optique (en laissant au moins 1 m à droite).
- Placer l'écran à environ 90 cm à droite de l'objet.
- Noter dans le tableur les valeurs de :
 - ▶ x_1 : graduation à la verticale de l'objet ;
 - ▶ x_2 : graduation à la verticale de l'écran.
- Placer la lentille convergente proche de l'objet et la déplacer jusqu'à obtenir une image **agrandie** sur l'écran. Noter la valeur x_3 de la graduation à la verticale de son centre optique.
- Éloigner la lentille de l'objet jusqu'à observer sur l'écran une image **rétrécie**. Noter la valeur x_4 de sa nouvelle position.



Calcul d'une distance focale

On montre que la distance focale de la lentille convergente se calcule par :

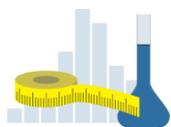
$$f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}$$

D étant la objet – écran et d la distance dont il a fallu déplacer la lentille pour passer d'une image agrandie à une image rétrécie.

1. Calculer D et d à partir des valeurs de x_1 , x_2 , x_3 et x_4 mesurées précédemment.
2. En déduire la valeur de la distance focale mesurée par cette méthode. On pourra consulter l'onglet « Synthèse » de la feuille de calcul pour vérifier.

Obtention d'un échantillon de valeurs mesurées

- Revenir au deuxième onglet de la feuille de calcul.
- Ôter tous les accessoires du banc et reproduire les étapes de la méthode de Bessel sans chercher à remettre l'objet à sa position précédente.
- Recommencer jusqu'à obtenir un échantillon de 20 valeurs de distances focales mesurées avec la méthode de Bessel.



1.3. 3^{ème} méthode testée : exploitation de la relation de conjugaison

Première mesure et prise en main de la méthode

Les résultats sont à saisir dans le troisième onglet du fichier tableur « MI_Focométrie_Résultats ».

- Placer l'objet à un endroit quelconque du banc d'optique (en laissant au moins 1 m à droite).
- Placer la lentille à environ 30 cm à droite de l'objet.
- Placer l'écran de manière à observer l'image de l'objet à travers la lentille.
- Noter les valeurs de :
 - ▶ x_1 : graduation à la verticale de l'objet ;
 - ▶ x_2 : graduation à la verticale du centre optique de la lentille ;
 - ▶ x_3 : graduation à la verticale de l'écran.

Calcul d'une distance focale

On rappelle l'expression de la loi de conjugaison :

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

O étant le centre optique de la lentille, A la position d'un point-objet et A' celle d'un point image, tous deux situés sur l'axe optique.

3. Calculer \overline{OA} et $\overline{OA'}$ à partir de valeurs de x_1 , x_2 et x_3 mesurées précédemment.
4. En déduire la valeur de la distance focale en exploitant la loi de conjugaison. On pourra consulter l'onglet « Synthèse » de la feuille de calcul pour vérifier.

Obtention d'un échantillon de valeurs mesurées

- Revenir au deuxième onglet de la feuille de calcul.
- Ôter tous les accessoires du banc et reproduire les étapes de la méthode précédente sans chercher à remettre l'objet à sa position précédente.
- Recommencer jusqu'à obtenir un échantillon de 20 valeurs de distances focales mesurées avec cette méthode.

2. Analyse des résultats de mesures et comparaison des trois méthodes

La feuille de calcul est programmée pour que les distances focales se calculent automatiquement, pour chaque mesure et pour chacune des trois méthodes (les relations étant celles que nous avons utilisées « à la main » pour les questions 2 et 4). Ouvrir l'onglet « Histogrammes » : la répartition des valeurs des distances focales mesurées avec chacune des trois méthodes s'affiche.

5. Moins une méthode de mesure donne des résultats dispersés, plus on la qualifie de « fidèle ». Classifier les trois méthodes de mesure testées par fidélités croissantes. Expliquer le critère appliqué pour faire ce classement.
6. Ouvrir l'onglet « Synthèse ». Les résultats des mesures y sont rassemblés et les moyennes et écarts-types de chaque échantillon de valeurs y sont calculés.
7. L'écart-type étant un estimateur de la dispersion des valeurs d'un échantillon, vérifier que ces paramètres statistiques confirment le constat effectué en observant les histogrammes.

Lorsque l'on dispose d'un échantillon de n valeurs mesurées avec la même méthode, alors :

- la moyenne des valeurs de l'échantillon est le meilleur estimateur de la valeur mesurée ;
- son incertitude-type peut être évaluée avec la relation :

$$u(f'_{\text{moy}}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

s étant l'écart-type de l'échantillon et n le nombre de valeurs qu'il contient.

8. Évaluer les incertitudes-types des distances focales moyennes obtenues par chacune des trois méthodes.
9. Formuler trois phrases (une par méthode testée) sur le modèle :
« La méthode ... donne une distance focale de valeur moyenne ... avec une incertitude-type de ... ».
10. Finalement, si l'on devait ne retenir qu'une valeur pour la distance focale de la lentille testée, indiquer celle qui semble la plus réaliste et justifier à l'aide des incertitudes-types évaluées à la question précédente.