

TP 11 : Focométrie

Les points du programme :

- Estimer l'ordre de grandeur d'une distance focale.
- Mesurer une longueur sur un banc d'optique.
- Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).
- Capacité numérique** : simuler, à l'aide d'un langage de programmation, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.

Objectifs

- Savoir évaluer la distance focale d'une lentille mince par différentes méthodes.
- Estimer l'incertitude-type pour chaque méthode et comparer la précision de ces méthodes.
- Savoir estimer l'incertitude-type de la mesure à l'aide d'une simulation de type Monte-Carlo.

1. Détermination de la distance focale d'une lentille convergente par une mesure unique

Quand on effectue une mesure, le résultat n'est pas une valeur unique, mais un ensemble de valeurs numériques dont la valeur mesurée est une mesure possible. L'incertitude-type est une indication de la dispersion de cet ensemble de mesures.

On se propose de comparer plusieurs méthodes de détermination de la distance focale d'une lentille convergente en estimant pour chacune l'incertitude-type associée à la mesure.

a. Méthode 1 : Autocollimation

Q1. Mettre en œuvre le protocole ci-dessous en utilisant une lentille de 10δ .

Méthode : Autocollimation

On peut déterminer la position du **plan focal objet** d'une lentille convergente en suivant le protocole suivant :

- Placer un miroir plan derrière la lentille convergente étudiée.
- Placer l'ensemble {lentille + miroir} devant l'objet.
- Déplacer l'ensemble {lentille + miroir} jusqu'à obtenir une image nette au niveau de l'objet : l'objet est alors dans le plan focal objet de la lentille.
- Relever la position x_A de l'objet et la position x_O de la lentille.

La distance entre l'objet et la lentille est alors égale à la distance focale f' de la lentille.

Q2. Associer à chaque position x_A et x_O un intervalle de confiance de la forme :

$$[X - \Delta X; X + \Delta X]$$

ΔX est appelée demi-largeur de l'intervalle. Il vous faut donc évaluer raisonnablement la valeur de ΔX pour être en accord avec le montage (prise en compte de l'incertitude sur la lecture de la position mais aussi sur la détermination de la position réelle de l'image/de la lentille).

On supposera que la probabilité d'avoir la vraie valeur est uniforme sur cette intervalle.

Q3. Calculer les incertitudes-type $u(x_A)$ et $u(x_O)$ associées à chaque position sachant que pour une distribution uniforme $u(X) = \frac{\Delta X}{\sqrt{3}}$.

Q4. Exprimer f' en fonction de x_A et x_O .

Q5. En utilisant le tableau ci-dessous, déterminer l'incertitude-type $u(f')$. Par convention on ne garde que 2 chiffres significatifs pour l'incertitude-type (arrondi toujours *par excès*).

Type de relation pour calculer la grandeur C	$C = A + B$	$C = A - B$	$C = \frac{A}{B}$	$C = A \times B$
Calcul de l'incertitude-type $u(c)$	$u(c) = \sqrt{u(a)^2 + u(b)^2}$		$\frac{u(c)}{c} = \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(b)}{b}\right)^2}$	

Q6. Exprimer le résultat de la mesure sous la forme : $f' = f'_{mes} \pm u(f')$. Le nombre de chiffres significatifs pour f'_{mes} doit être cohérent avec $u(f')$.

Q7. Votre mesure est-elle en accord avec la valeur de référence ? Utiliser l'écart normalisé (z-score) pour conclure.

Simulation Monte-Carlo :

Il n'existe pas toujours de résultat mathématique simple permettant d'évaluer l'incertitude-type d'une grandeur calculée à partir des incertitudes-type des mesures expérimentales directes. Dans ce cas, il est possible d'utiliser une simulation numérique faisant intervenir un tirage aléatoire. Cette méthode se nomme **simulation Monte-Carlo** (Monte-Carlo est un quartier de Monaco qui abrite un célèbre casino ...).

Q8. Ouvrir le script Python « autocollimation.py » à l'aide de Spyder (à télécharger sur le cahier de prépa).

Q9. Compléter le script avec les valeurs déterminées précédemment et exécuter le script. Bien lire le script : il est important de comprendre la signification de chaque ligne.

Q10. Noter le résultat de la mesure avec son incertitude-type. L'incertitude-type correspond à l'écart-type de la distribution de f' .

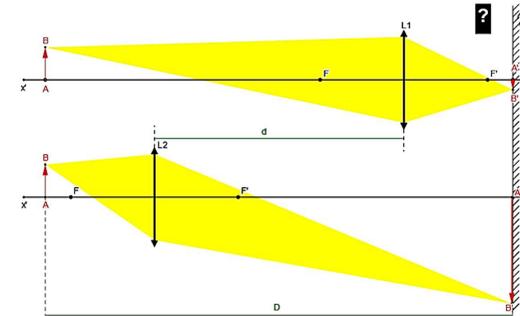
Q11. Le résultat de la mesure est-il cohérent avec celui obtenu à la question Q6 ?

b. Méthode 2 : Méthode de Bessel

Q12. Mettre en œuvre le protocole ci-dessous en utilisant une lentille de 10δ .

Méthode : Méthode de Bessel

- Imposer une distance D entre un objet A et un écran E .
- Rechercher les deux positions de la lentille L qui donnent une image nette de A sur l'écran E . On note respectivement x_1 et x_2 ces positions. S'il n'est pas possible de trouver ces deux positions on augmente la valeur de la distance D qui sépare l'objet A de l'écran E .



https://uel.unisciel.fr/physique/optique/optique_ch09/co/apprendre_ch09_08.html

- La valeur de la distance focale f' est donnée par $f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}$ où $d = x_1 - x_2$.

Afin de déterminer l'incertitude-type associée à la mesure pour la méthode de Bessel, on utilise de nouveau une simulation Monte-Carlo.

- Q13.** Ouvrir le script Python « Bessel.py » à l'aide de Spyder (script à télécharger sur le cahier de prépa O4/TP11).
- Q14.** Compléter le script avec les valeurs déterminées précédemment ainsi que les lignes 55 et 56 puis exécuter le script.
Bien lire le script : il est important de comprendre la signification de chaque ligne.
- Q15.** Noter le résultat de la mesure avec son incertitude-type.
- Q16.** Votre mesure est-elle en accord avec la valeur de référence ? Utiliser l'écart normalisé (z-score) pour conclure.
- Q17.** Comparaison des méthodes : laquelle des deux méthodes semble la plus précise ?

c. Méthode 3 : Relation de conjugaison

- Q18.** Mettre en œuvre le protocole ci-dessous en utilisant une lentille de 10 δ .

Méthode : Utilisation directe de la relation de conjugaison de Descartes

On peut déterminer la position la distance focale f' d'une lentille convergente en exploitant directement la relation de conjugaison de Descartes :

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

- Placer l'objet A à gauche sur le banc optique. Noter la position x_A de l'objet.
- Placer la lentille, dont le centre optique est noté O , devant l'objet. Noter la position x_O
- Rechercher la position de l'écran E donnent une image nette. La position de l'écran correspond alors à la position de l'image A' . Noter la position $x_{A'}$ de l'image. Si vous ne trouvez pas l'image, augmentez la distance entre l'objet et la lentille.
- Utiliser la relation de conjugaison pour obtenir f' .

Afin de déterminer l'incertitude-type associée à la mesure pour cette méthode, on utilise de nouveau une simulation Monte-Carlo.

- Q19.** Ouvrir le script Python « conjugaison1.py » à l'aide de Spyder (script à télécharger sur le cahier de prépa O4/TP11).
- Q20.** Compléter le script avec les valeurs déterminées précédemment ainsi que les lignes 37, 38 et 39 puis exécuter le script.
Bien lire le script : il est important de comprendre la signification de chaque ligne.
- Q21.** Noter le résultat de la mesure avec son incertitude-type.
- Q22.** Votre mesure est-elle en accord avec la valeur de référence ? Utiliser l'écart normalisé (z-score) pour conclure.
- Q23.** Comparaison des méthodes : laquelle des trois méthodes semble la plus précise ?

2. Relation de conjugaison et régression linéaire (pour les plus rapides)

Capacité numérique : Simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire de variation des valeurs expérimentales de l'une des grandeurs – simulation Monte-Carlo – pour évaluer l'incertitude sur les paramètres du modèle.

Pour augmenter la précision de la mesure, c'est-à-dire diminuer l'incertitude-type associée à la distance focale mesurée, on peut réaliser une série de mesures pour différentes distances entre l'objet et la lentille (position de l'objet fixée).

- Q24.** Réaliser le protocole de la méthode 3 pour différentes positions de la lentille et compléter le tableau suivant :

➤ Position de l'objet $x_A = \dots\dots\dots$

	1	2	3	4	5	6	7	8
Position de la lentille x_O (en mm)								
Position de l'image A' $x_{A'}$ (en mm)								

- Q25.** Ouvrir le script Python « conjugaison_multiples.py » à l'aide de Spyder (script à télécharger sur le cahier de prépa O4/TP11).
- Q26.** Compléter le script avec les valeurs déterminées précédemment puis exécuter le script.
- Q27.** Exploitation de la 1^{ère} figure : Les points de mesure sont-ils en accord avec la forme attendue pour le graphique $\frac{1}{OA'} = f'(\frac{1}{OA})$? Comment obtenir la valeur de la distance focale à partir de la modélisation par une fonction affine ?

On simule la répétition de ce protocole impliquant 8 mesures en prenant en compte la variabilité sur les positions. Pour chaque ensemble de mesures tirées aléatoirement dans l'intervalle de confiance associé, on réalise un ajustement par une fonction affine et on en déduit la valeur de la distance focale f' . En répétant un très grand nombre de fois cette simulation, on peut voir l'impact des incertitudes de mesure sur la distribution de la distance focale f' . On caractérise alors cette dernière par son écart-type, qui est égale à l'incertitude-type pour f' .

- Q28.** Noter le résultat de la mesure avec son incertitude-type.
- Q29.** Votre mesure est-elle en accord avec la valeur de référence ? Utiliser l'écart normalisé (z-score) pour conclure.
- Q30.** Comparaison des méthodes : l'utilisation de mesures multiples permet-elle bien d'améliorer la précision de la mesure par rapport à une mesure unique (méthode 3) ?