

Thème I. Ondes et signaux (Optique géométrique)

TP n°2 Focométrie : Mesure de distances focales

Vendredi 12 septembre 2025

Compétences exigibles du programme :

- ✓ Estimer l'ordre de grandeur d'une distance focale.
- ✓ Mesurer une longueur sur un banc d'optique.
- ✓ Mesures et incertitudes :
 - ✓ Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A).
 - ✓ Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).
 - ✓ Évaluer l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs, dont les incertitudes-types sont connues, à l'aide d'une somme, d'une différence, d'un produit ou d'un quotient.
 - ✓ Capacité numérique : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.

Matériel : source de lumière et un objet (lettre F), lentille mince convergente, écran, miroir plan, banc d'optique.

Travail préparatoire



- Lire la totalité de l'énoncé du TP et identifier ce qu'il faudra faire pendant la séance.

-  S'aider de l'animation (voir qr-code ci-contre) :

<https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/focometrie/autocollimation.php>

Objectif

L'objectif de ce TP est de mesurer la distance focale d'une lentille mince convergente en utilisant la méthode d'autocollimation.

I Méthode d'autocollimation

Méthode d'autocollimation

À quoi sert-elle ? La technique de l'autocollimation permet de **placer un objet dans le plan focal objet d'une lentille convergente**, ce qui a deux utilités principales :

- Mesurer la distance focale d'une lentille convergente.
- Créer un objet à l'infini (l'objet à l'infini créé étant l'image de l'objet situé dans le plan focal objet de la lentille).

Comment la mettre en œuvre ?

1. Disposer, dans l'ordre, sur un banc d'optique les éléments suivants :

- Lampe+objet
- Lentille convergente \mathcal{L}
- Miroir plan \mathcal{M}

2. Déplacer la lentille par rapport à l'objet jusqu'à **observer l'image de l'objet dans le même plan que l'objet**, de même taille et renversée.

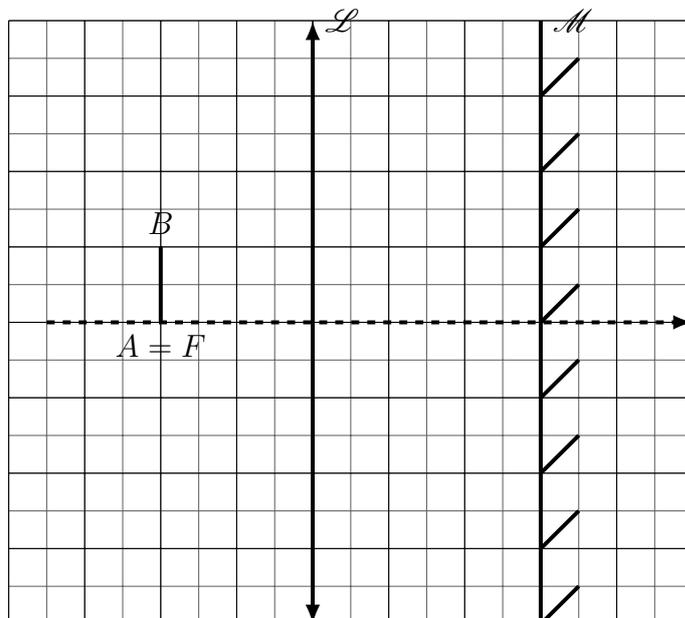
L'objet est alors dans le plan focal objet de la lentille convergente, autrement dit la distance qui sépare l'objet de la lentille est la distance focale.

Justification de la méthode :

Lorsque l'objet réel AB est dans le plan focal objet de la lentille (\mathcal{L}) :

- Son image A_1B_1 par la lentille est donc
- On note A_2B_2 l'image de A_1B_1 par (\mathcal{M}) qui se trouve donc
- Ainsi l'image $A'B'$ de A_2B_2 par (\mathcal{L}) se trouve dans le de (\mathcal{L}).

$$AB \xrightarrow{\mathcal{L}} \dots \xrightarrow{\mathcal{M}} \dots \xrightarrow{\mathcal{L}} \dots$$



II Mise en œuvre

II.1 Une première mesure

Expérience

☞ Mettre en œuvre la méthode d'autocollimation et effectuer les mesures nécessaires pour en déduire la valeur de f' .

Q1. 📝 Noter vos observations, les mesures effectuées, et la valeur de f' .

Le résultat de la mesure n'est pas une valeur unique, mais un ensemble de valeurs numériques dont la valeur mesurée est une mesure possible. Nous allons nous intéresser à différentes méthodes d'évaluation de l'incertitude-type sur une telle mesure, qui est une indication de cette dispersion.

II.2 Série de mesures : évaluation de type A de l'incertitude

Expérience

☞ Mettre en œuvre la méthode d'autocollimation au moins 10 fois.

Q2. 📝 Noter les mesures dans un tableau du type :

position de l'objet (cm)					
position de la lentille (cm)					

Récupération du Notebook pré-rempli

Pour exploiter les mesures, nous allons utiliser un fichier Notebook en python, en utilisant **capytale**

- 🖥️ Saisissez l'URL (ou cliquez directement sur le fichier disponible sur cahier-de-prepa) :
<https://capytale2.ac-paris.fr/web/c/7fba-3868193>
- 🖥️ Cliquez sur Ma Classe en Région (Auvergne-Rhône-Alpes), et connectez-vous avec vos codes EduConnect.
- 🖥️ Cliquez sur « GO » (il est à droite du code du TP : 7fba-3868193).

Exploitation avec python

💡 voir §II du poly « Les incertitudes ».

☞ 🖥️ Compléter la cellule des mesures.

☞ 🖥️ Réaliser l'histogramme.

- ☞ Exécuter les différentes cellules pour calculer :
 - la valeur moyenne des valeurs de f'
 - l'écart-type de la série de mesures de f'

Q3. ☞ Recopier les valeurs obtenues.

- ☞ Exécuter la cellule pour calculer l'incertitude-type sur la moyenne $u(\overline{f'})$.

Q4. ☞ Recopier la valeur obtenue pour l'incertitude-type sur f' .

Conclusion

- Q5. ☞ Écrire le résultat de l'expérience. 💡 Voir §I.1 du poly « Les incertitudes » pour l'écriture du résultat.

Par manque de temps, ou parce que l'expérience détruit le système (pensez à un dosage en chimie par exemple), il n'est pas toujours possible d'effectuer de nombreuses mesures comme précédemment.

Nous allons voir ci-après deux façons d'évaluer l'incertitude-type à partir d'une mesure unique.

II.3 Mesure unique : évaluation de type B

Expérience

- ☞ Mettre en œuvre la méthode d'autocollimation une fois.

Expérience : évaluation des demi-largeur

- 💡 Voir §III.1 (le début) du poly « Les incertitudes ».

- ☞ Évaluer la demi-largeur de l'intervalle de la position de l'objet où vous êtes raisonnablement certain.e qu'il se trouve.

- ☞ Évaluer la demi-largeur de l'intervalle de la position de la lentille où vous êtes raisonnablement certain.e que la valeur recherchée se trouve. 💡 *Indication : déplacez la lentille légèrement au voisinage de la position où vous estimez que l'image est nette, que constatez-vous ? estimez alors la plage de netteté.*

Q6. ☞ Noter sur votre compte-rendu comment vous avez évalué les demi-largeurs, et leurs valeurs.

Exploitation avec python

- ☞ Calculer les incertitudes-types sur les deux positions mesurées. 💡 Voir §III.1 (l'encadré) du poly « Les incertitudes ».

- ☞ En déduire l'incertitude-type sur la distance focale. 💡 Voir §III.2 du poly « Les incertitudes ».

Q7. ☞ Recopier les valeurs obtenues.

Conclusion

- Q8. ☞ En déduire le résultat de l'expérience en l'écrivant sous la même forme que précédemment.

II.4 Mesure unique : utilisation de la simulation Monte-Carlo

Dans le cas qui nous intéresse ici la formule reliant la grandeur recherchée (f') aux grandeurs mesurées (positions de l'objet et de la lentille) est très simple, aussi nous avons pu calculer l'incertitude-type sur f' très facilement à l'aide de celles sur les mesures. Mais si la formule est plus compliquée, le calcul de l'incertitude-type peut s'avérer très laborieux. Pour palier à cela, nous pouvons utiliser la simulation Monte-Carlo. **L'idée est de simuler un très grand nombre d'expériences** à partir de l'unique effectuée, et ensuite d'effectuer les **calculs statistiques sur les résultats de ce très grand nombre de simulations**.

 Voir §III.3 du poly « Les incertitudes ».

Mise en œuvre avec python

 Mettre en œuvre la simulation Monte-Carlo avec le **Jupyter Notebook**.

Q9.  Recopier les résultats de la simulation : valeur moyenne et écart-type.

Conclusion

Q10.  En déduire le résultat de l'expérience en l'écrivant sous la même forme que précédemment.

Bilan du TP

■ Bilan en optique

- La méthode d'_____ **autocollimation** _____ permet de placer un objet dans le _____ **plan focal** _____ **objet** _____ d'une lentille mince convergente.
- Pour la mettre en œuvre, il faut, en plus de l'objet et de la lentille convergente, un _____ **miroir** _____ **plan** _____
- La méthode d'_____ **autocollimation** _____ permet de mesurer la _____ **distance focale** _____ d'une _____ **lentille** _____ **convergente** _____.

■ Bilan sur les incertitudes

- Le résultat d'une mesure doit comporter le bon nombre de _____ **chiffres** _____ **significatifs** _____. Celui-ci est défini par l'_____ **incertitude-type** _____ : il est recommandé de fournir une incertitude-type avec **deux** chiffres significatifs. La valeur mesurée devra ensuite être arrondie pour que le _____ **dernier chiffre de l'incertitude-type corresponde à celui de la valeur mesurée** _____.
- Il existe deux méthodes pour évaluer une incertitude-type :
 - lorsque l'on dispose d'une série de mesures, un _____ **traitement** _____ **statistique** _____ donne accès à une évaluation de type **A** _____.
 - si on ne dispose que d'_____ **une seule mesure** _____, on détermine l'incertitude-type avec une évaluation de type **B** _____.

Pour déterminer des incertitudes composées, on peut mettre en œuvre une méthode calculatoire (qui peut s'avérer fastidieuse et/ou incorrecte) ou faire appel à une méthode _____ **numérique** _____ (simulation de type **Monte- Carlo** _____)

Thème I. Ondes et signaux (Optique géométrique)
TP n°2 Focométrie : Mesure de distances focales —
Corrigé

Vendredi 12 septembre 2025

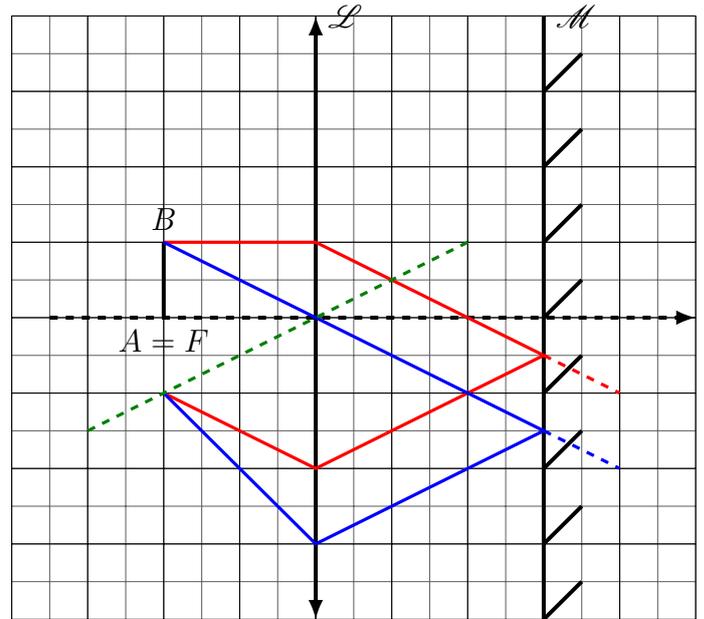
I Méthode d'autocollimation

Justification de la méthode :

Lorsque l'objet réel AB est dans le plan focal objet de la lentille (\mathcal{L}) :

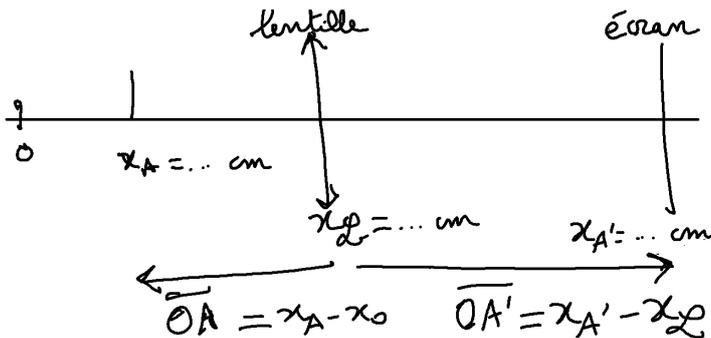
- Son image A_1B_1 par la lentille est donc à l'infini
- On note A_2B_2 l'image de A_1B_1 par (\mathcal{M}) qui se trouve donc à l'infini
- Ainsi l'image $A'B'$ de A_2B_2 par (\mathcal{L}) se trouve dans le plan focal image (au retour) de (\mathcal{L}).

$$AB \xrightarrow{\mathcal{L}} A_1B_1 \infty \xrightarrow{\mathcal{M}} A_2B_2 \infty \xrightarrow{\mathcal{L}} A'B'$$



II Mise en œuvre

II.1 Une première mesure



Avec la lentille ayant l'indication +100

- Q1. Position de l'objet : $x_{\text{objet}} = 82$ cm
 Position de la lentille : $x_{\text{lentille}} = 72,7$ cm
 Donc $f' = x_{\text{objet}} - x_{\text{lentille}} = 9,3$ cm

II.2 Série de mesures : évaluation de type A de l'incertitude

Q2.	x_{objet} (cm)	82	82	82	82	82	82	82	82	82
	x_{lentille} (cm)	72,7	72,8	72,6	72,7	72,7	72,8	72,8	72,6	72,7

Q3. On calcule les 10 valeurs de f' correspondantes.

Moyenne : $\overline{f'} = 9,28000$ cm

Ecart-type : $s_{f'} = 0,078881$ cm

Q4. Incertitude-type sur la moyenne : $u(f') = 0,024944$ cm

Q5. Conclusion : $f' = 9,280$ cm ; $u(f') = 0,025$ cm

```

1 x_o=82 # cm
2 x_l=np.array([72.7,72.8,72.6,72.7,72.7,72.8,72.8,72.6,72.7,72.8]) #cm
3 fp=x_o-x_l # tableau des distances focales
4 fp_moy=np.mean(fp) # valeur moyenne de la série de mesure
5 s_fp=np.std(fp,ddof=1) # écart-type de la série de mesure
6 u_fp=s_fp/np.sqrt(len(fp)) # incertitude-type sur la moyenne

```

II.3 Mesure unique : évaluation de type B

Q6. Position de l'objet : $x_{\text{objet}} = 82$ cm

L'incertitude sur la lecture de la position de l'objet vient de la lecture sur la règle graduée au mm. Dans de bonnes conditions d'éclairage pour lire la graduation, j'évalue la demi-largeur de l'intervalle à : $\Delta_{\text{objet}} = 0,5$ mm

Plage de positions de la lentille donnant une image nette : [72,5 cm ; 72,9 cm]

En déplaçant la lentille entre 72,5 cm et 72,9 cm, l'image paraît toujours nette. Donc la demi-largeur $\Delta_{\text{lentille}} = 0,2$ cm

Q7. Incertitude-type sur la position de l'objet : $u(x_{\text{objet}}) = \frac{\Delta_{\text{objet}}}{\sqrt{3}} = 0,288675$ mm

Incertitude-type sur la position de l'objet : $u(x_{\text{lentille}}) = \frac{\Delta_{\text{lentille}}}{\sqrt{3}} = 0,11547$ cm

L'incertitude-type sur f' est donnée par : $u(f') = \sqrt{u(x_{\text{objet}})^2 + u(x_{\text{lentille}})^2} = 0,11902$ cm

Q8. Conclusion : $f' = 9,30$ cm ; $u(f') = 0,12$ cm

II.4 Mesure unique : utilisation de la simulation Monte-Carlo

```

Q9.
1 x_o=82 # cm
2 Delta_o=0.05 # cm
3 x_l=72.7 # cm
4 Delta_l=0.2 # cm
5 # N simulations :
6 N=10000 # nombre de simulations
7 x_o_MC = np.random.uniform(x_o-Delta_o,x_o+Delta_o,N)
8 x_l_MC = np.random.uniform(x_l-Delta_l,x_l+Delta_l,N)
9 fp_MC = x_o_MC - x_l_MC
10 # Exploitation :
11 fp_MC_moy=np.mean(fp_MC)
12 u_fp_MC=np.std(fp_MC,ddof=1)

```

Valeur moyenne : $f' = 9,29894545$ cm

Incertitude-type : $u(f') = 0,1179614$ cm

Q10. Conclusion : $f' = 9,30$ cm ; $u(f') = 0,12$ cm

On retrouve le même résultat que précédemment, ce qui est normal : nous avons considéré les mêmes mesures, seule la méthode de calculs des incertitudes est différentes. Les résultats obtenus par ces deux méthodes sont strictement identiques.

♥ Bilan du TP

■ Bilan en optique

- La méthode d'_____ **autocollimation** _____ permet de placer un objet dans le _____ **plan focal** _____ **objet** _____ d'une lentille mince convergente.
- Pour la mettre en œuvre, il faut, en plus de l'objet et de la lentille convergente, un _____ **miroir** _____ **plan** _____.
- La méthode d'_____ **autocollimation** _____ permet de mesurer la _____ **distance** _____ **focale** _____ d'une _____ **lentille** _____ **convergente** _____.

■ Bilan sur les incertitudes

- Le résultat d'une mesure doit comporter le bon nombre de _____ **chiffres** _____ **significatifs** _____. Celui-ci est défini par l'_____ **incertitude-type** _____ : il est recommandé de fournir une incertitude-type avec **deux** chiffres significatifs. La valeur mesurée devra ensuite être arrondie pour que le _____ **dernier chiffre de l'incertitude-type corresponde à celui de la valeur mesurée** _____.
- Il existe deux méthodes pour évaluer une incertitude-type :
 - lorsque l'on dispose d'une série de mesures, un _____ **traitement** _____ **statistique** _____ donne accès à une évaluation de type **A** _____.
 - si on ne dispose que d'_____ **une seule mesure** _____, on détermine l'incertitude-type avec une évaluation de type **B** _____.

Pour déterminer des incertitudes composées, on peut mettre en œuvre une méthode calculatoire (qui peut s'avérer fastidieuse et/ou incorrecte) ou faire appel à une méthode _____ **numérique** _____ (simulation de type **Monte- Carlo** _____)