

Travaux pratiques d'Optique n° 1

Thème : Optique géométrique

TP Optique 1 Focométrie

Introduction

L'objectif de cette activité expérimentale est de mettre en œuvre différentes méthodes de mesures de distance focale de lentille mince convergente et divergente.

On fera attention à présenter les résultats avec **leur incertitude-type**.

Les attentes :

- ◇ Soigner l'organisation de votre paillasse.
- ◇ Soigner l'estimation des incertitudes-types.
- ◇ Soigner votre compte-rendu pour qu'il soit complet et précis : schémas, grandeurs mesurées, méthodes utilisées, mesures multiples sous forme de tableau, ...

Données : relation de conjugaison et de grandissement

On rappelle les relations de conjugaison et de grandissement des lentilles minces utilisées dans les conditions de GAUSS :

Relation	DESCARTES (origine au centre)	NEWTON (origine aux foyers)
Conjugaison	$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} = V$	$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2$
Grandissement $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$	$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$	$\gamma = \frac{f'}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}$

avec V est la vergence, qui s'exprime en dioptrie δ .

1. Rappeler les conditions de GAUSS.
2. Comment reconnaître rapidement si une lentille est convergente ou divergente ?

I. Focométrie pour une lentille convergente

Dans cette partie, on s'attache à évaluer la distance focale d'une lentille mince convergente à l'aide de différentes méthodes.

- ◇ Choisir une lentille convergente parmi celle proposée, gardez la même pour les différentes méthodes proposées.

3. À partir de la vergence indiquée notée sur la lentille, calculer la distance focale théorique associée.

I.1. Méthode par autocollimation

On utilise un miroir plan placé sur le banc optique après la lentille étudiée. Par commodité, on accole le miroir derrière la lentille, sur la même monture, mais en fait le résultat ne dépend pas de la position du miroir.

4. Montrer par un schéma que lorsque l'objet est placé dans le plan focal objet, alors l'image se forme dans ce même plan. Préciser le grandissement.

- ◇ Déplacer l'objet par rapport à l'ensemble {lentille + miroir} jusqu'à ce que l'image nette de l'objet se forme dans le plan de celui-ci. Pour quantifier l'incertitude-type :
 - ↪ déterminer l'intervalle de distance objet-lentille, noté $[f'_{\min}; f'_{\max}]$ de largeur $2\Delta_{f'}$, au sein duquel il est « certain » que le résultat de la mesure se trouve.
 - ↪ on fait l'hypothèse raisonnable que le résultat de mesure est décrit par une variable aléatoire à densité uniforme, entre deux bornes : $[f' - \Delta_{f'}; f' + \Delta_{f'}]$, où f' est la valeur centrale de cette plage et $\Delta_{f'}$ sa demi-largeur. Quel est lien alors entre $\Delta_{f'}$ et $u(f')$?
- 5. En déduire la distance focale f' de la lentille étudiée ainsi que l'incertitude-type associée; vérifier la valeur du grandissement.

I.2. Méthode de Bessel

◆ **Principe de la méthode :** Si la distance D entre l'objet et l'écran est fixée (figure 1), on montre qu'il existe deux positions d'une lentille convergente donnant une image nette de l'objet sur l'écran, ces deux positions étant séparées d'une distance d . Ces deux positions existent à condition que $D > 4f'$, et on a

alors la relation suivante : $f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}$

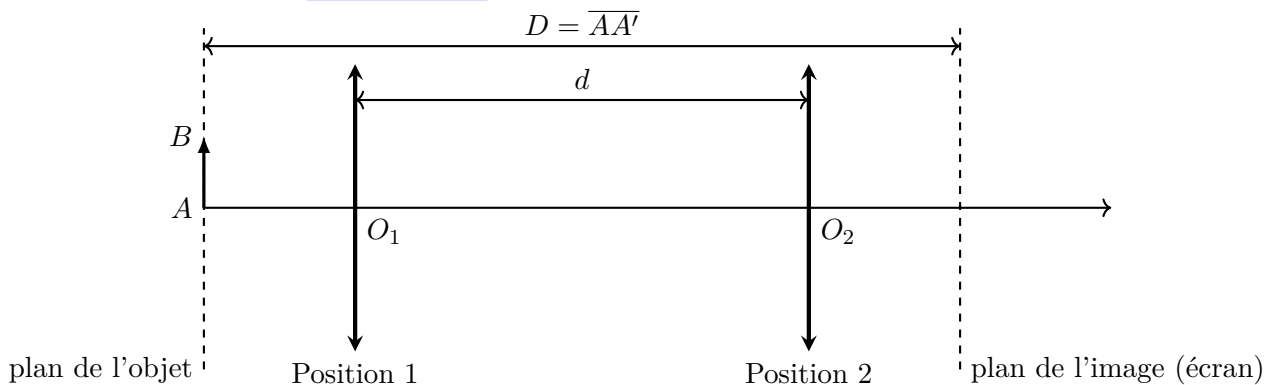


FIGURE 1 – Méthode de BESSEL : recherche des deux positions possibles d'une lentille convergente pour obtenir une image nette de AB , D étant fixé.

- 6. Prouver les deux relations précédentes.

◆ Mise en œuvre expérimentale :

- ◇ Donner à D la plus grande valeur possible (i.e. placer l'écran à l'extrémité du banc optique). Noter sa position et ne plus le déplacer. En déduire D et sa précision Δ_D .
- ◇ Pour une lentille donnée, trouver les deux positions donnant une image nette de l'objet sur l'écran et notez ces positions. On cherchera à déterminer les intervalles $[\overline{O_1A}_{\min}, \overline{O_1A}_{\max}]$ et $[\overline{O_2A}_{\min}, \overline{O_2A}_{\max}]$ qui permettent la netteté de l'image pour chaque position.
- ◇ Répéter les mesures pour différentes valeurs de D .

◆ Détermination f' et l'incertitude-type par simulation Monte Carlo :

- ◇ Compléter le programme Python fourni « TP_Optique1_Bessel.py » (sur le site <https://cahier-de-prepa.fr/mp-troyes> et présent dans l'annexe à la page 4).
- ◇ En déduire la valeur de f' et son incertitude-type.

I.3. Comparaison et conclusion

- 7. Comparer les distances focales obtenues et conclure.

II. Focométrie pour une lentille divergente

◇ Choisir une lentille divergente parmi celle proposée.

8. À partir de la vergence indiquée notée sur la lentille, calculer la distance focale théorique associée.
9. Expliquez quelle est la difficulté majeure quand on veut mesurer la focale d'une lentille divergente, qui fait que la plupart des méthodes utilisées pour les lentilles convergentes ne s'appliquent plus.

II.1. 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. La détermination de la focale du doublet f'_d permet alors de remonter à f'_{DV} , à condition de connaître la focale f'_{CV} de la lentille convergente (préalablement déterminée). En effet, d'après le théorème des Vergences, les vergences de deux lentilles accolées se somment : $V_d = V_{DV} + V_{CV}$.

10. Mettre en œuvre cette méthode, en utilisant la méthode par autocollimation, pour déterminer la focale du doublet puis celle de la lentille divergente ainsi que son incertitude.

II.2. Méthode de Badal

La méthode consiste à associer deux lentilles minces convergentes $\mathcal{L}_1$ et $\mathcal{L}_2$ séparées de $D = \overline{O_1O_2}$ supérieure à la distance focale de $\mathcal{L}_2$, f'_2 connue (voir figure 2). On procédera comme suit :

- ◇ Placer un objet AB réel dans le plan focal objet de la lentille $\mathcal{L}_1$ (réglage par autocollimation).
- ◇ Placer la lentille convergente $\mathcal{L}_2$ à une distance $D = \overline{O_1O_2}$ supérieure à la distance focale de $\mathcal{L}_2$. Régler l'image $A'B'$ de AB par l'association $\{\mathcal{L}_1 + \mathcal{L}_2\}$ pour qu'elle soit nette sur l'écran. Repérer la position 1 de l'écran.
- ◇ Placer la lentille divergente ($\mathcal{L}$) à étudier dans le plan focal objet de ($\mathcal{L}_2$). L'image $A''B''$ de AB par l'ensemble des 3 lentilles, se forme au-delà du plan focal image de $\mathcal{L}_2$. Translater l'écran pour retrouver l'image nette et repérer la position 2 de l'écran. Déterminer la distance d entre ces deux positions.

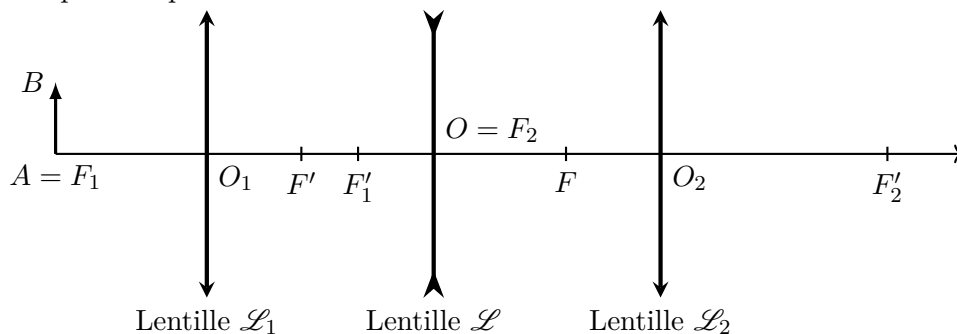


FIGURE 2 – Méthode de Badal : trajet lumineux en l'absence de $\mathcal{L}$.

Pour interpréter cette expérience, répondre aux questions suivantes.

11. La lentille $\mathcal{L}$ n'étant pas présente, tracer le chemin suivi à travers l'association $\{\mathcal{L}_1 + \mathcal{L}_2\}$ par un rayon issu de A et incliné par rapport à l'axe optique. Déterminer la position de l'image A' .
12. Tracer le chemin suivi par ce même rayon en présence de la lentille divergente $\mathcal{L}$. Déterminer la position de l'image A'' .
13. Montrer que la mesure du déplacement $d = \overline{A'A''}$ de l'image permet d'accéder à la distance focale de ($\mathcal{L}$) par :

$$f' = \frac{-f_2'^2}{d}$$

14. En suivant la démarche explicitée ci-dessus déterminer f' en prenant : pour $\mathcal{L}_1$ la lentille convergente de plus grande focale et pour $\mathcal{L}_2$ celle de plus courte focale. N'oubliez pas d'indiquer l'incertitude-type.

ANNEXES : Codes Python

Code Python : Méthode de Bessel Fichier « TP_Optique1_Bessel.py » :

```

1  import numpy as np
2  import matplotlib.pyplot as plt
3
4  # compléter avec les mesures de D
5  D = np.array([ ... ]) # A compléter
6  # Incertitudes sur les mesures de D
7  Delta_D = np.array([ ... ]) # A compléter
8  u_D = Delta_D/np.sqrt(3)
9
10 # compléter avec les mesures des deux positions O1A et O2A de la lentille
11 O1A_min = np.array([ ... ]) # A compléter
12 O1A_max = np.array([ ... ]) # A compléter
13 O1A = # A compléter
14 Delta_O1A = # A compléter
15 u_O1A = Delta_O1A/np.sqrt(3) # A compléter
16 O2A_min = np.array([ ... ]) # A compléter
17 O2A_max = np.array([ ... ]) # A compléter
18 O2A = # A compléter
19 Delta_O2A = # A compléter
20 u_O2A = Delta_O2A/np.sqrt(3) # A compléter
21
22 # En déduire les valeurs de d
23 d = # A compléter
24 # Incertitudes sur les mesures de d
25 u_d = # A compléter
26 Delta_d = u_d/np.sqrt(3)
27
28 # Indiquer l'expression générale de f'
29 def fp(D, d):
30     return ... # A compléter
31 f_prime = fp(D,d)
32 f_pm = np.mean(f_prime)
33
34 # Détermination de l'incertitude sur f' par une simulation de Monte-Carlo
35 N = 2000
36 nD = len(D)
37 f_s = []
38 for i in range(nD):
39     D_simul = ... # A compléter
40     d_simul = ... # A compléter
41     f_s.append(fp(D_simul,d_simul))
42 f_simul = np.concatenate(f_s)
43
44 plt.close('all')
45 plt.figure()
46 plt.hist(f_simul)
47 plt.show()
48
49 # Incertitude-type sur f'
50 fmoy = np.mean(f_simul)
51 u_f_p = np.std(f_simul, ddof=1)
52
53 # Affichage du résultat
54 print(" Distance focale f' = {:.3f} ± {:.3f}".format(f_pm,u_f_p))
55 print(" Distance focale f' = {:.3f} ± {:.3f}".format(fmoy,u_f_p))

```