

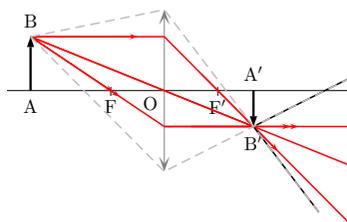
**Objectifs :**

- Mesurer la distance focale de lentilles convergentes et divergentes par différentes méthodes.
- Estimer et comparer les précisions des méthodes.

**Matériel :**

- Lentilles et montures sur banc d'optique,
- source lumineuse éclairant un verre dépoli sur lequel figure une lettre
- source lumineuse éclairant un verre dépoli sur lequel figure une grille
- écran quadrillé, écran blanc
- logiciel SciDAVis (Scientific Data Analysis and Visualization) ou tout autre logiciel dont vous auriez l'habitude permettant de réaliser des ajustements numériques :
  - en donnant l'incertitude-type sur les paramètres,
  - en tenant compte des barres d'erreur.

- On illustrera (quand le cours sur les relations de conjugaison aura été fait) chaque manipulation par un schéma représentant la source lumineuse (primaire ou secondaire), la construction de son image à l'aide d'au moins deux rayons hors de l'axe et l'enveloppe du faisceau pouvant traverser la lentille (en traits interrompus sur la figure ci-contre).
- On énumérera, pour chaque mesure, les sources d'erreur dont on évaluera l'incertitude-type.



**Capacités mises en œuvre :**

- Éclairer un objet de manière adaptée.
- Estimer une valeur approchée d'une distance focale.
- L'ensemble des capacités exigibles relatives à « Mesures et incertitudes », en particulier :
- Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle.

**I Détermination de la distance focale image d'une lentille convergente**

- On appliquera chaque méthode à la mesure de deux lentilles, une lentille de vergence indiquée  $V = +3$  et une de vergence  $V = +8$  si disponibles. On pourra sinon utiliser deux lentilles accolées pour obtenir des vergences proches de celles-ci.
- Chaque groupe remplira un tableau comme celui ci-dessous.

- Chaque groupe saisira également sur l'ordinateur du bureau les résultats des mesures afin de comparer son estimation de l'incertitude-type à l'incertitude-type de type A des résultats de l'ensemble des groupes.

	Autocollimation	Points conjugués	Bessel	Silbermann
$V = +3$	$f'$			
	$\Delta f'$			
	$\Delta f' / f'$			
$V = +8$	$f'$			
	$\Delta f'$			
	$\Delta f' / f'$			

**I.1 Méthode d'autocollimation**

**Manipulations :**

Accoler un miroir plan immédiatement après la lentille convergente. Ajuster la position de l'ensemble pour former l'image de l'objet dans le même plan que celui-ci. L'objet se trouve alors au foyer objet de la lentille, à la distance  $f'$ .

**Questions :**

- Mesurer  $f'$  et estimer son incertitude-type.

Cette méthode permet de placer précisément un objet au foyer d'une lentille convergente bien qu'elle puisse être très imprécise pour déterminer sa distance focale.

**I.2 Méthode des points conjugués**

Quand un objet est placé en amont du foyer objet d'une lentille convergente de distance focale  $f'$ , l'image qu'elle en donne est réelle. Les distances<sup>a</sup> entre l'objet et la lentille notée  $p$ , et entre la lentille et l'image, notée  $p'$  vérifient :

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f'}$$

**Manipulations :**

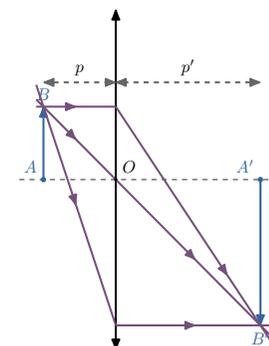
Relever différents couples de valeurs  $(p, p')$  et estimer, pour chacun les incertitudes-types  $\Delta p$  et  $\Delta p'$ .

**Questions :**

Comment s'exprime l'incertitude-type sur  $1/p$  en fonction de  $\Delta p$  ?

<sup>a</sup> Il s'agit du cas particulier de la relation de conjugaison de Descartes  $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$  dans le cas où

$\overline{OA} < 0$  et  $\overline{OA'} > 0$ .



**Exploitation :**

- Tracer la courbe des valeurs de  $1/p'$  en fonction de  $1/p$ , en y faisant figurer les barres d'erreurs sur  $1/p$  et  $1/p'$ .

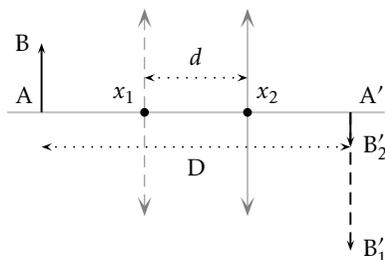
- Déterminer, au moyen d'un ajustement numérique par une fonction linéaire la valeur de la distance focale  $f'$  ainsi que son incertitude-type.

### I.3 Méthode de Bessel

On forme à l'aide d'une lentille convergente de distance focale image l'image réelle d'un objet réel sur un écran situé à une distance ainsi que son incertitude-type  $D$ . On montre que :

- la distance  $D$  doit être supérieure à  $4f'$  ;
- il existe alors deux positions (d'abscisses  $x_1$  et  $x_2$ ) pour la lentille, séparées d'une distance  $d$  telle que :

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



#### Questions :



- Comment sont placés  $x_1$  et  $x_2$  par rapport au milieu du segment objet-écran ? Justifier.
- Justifier sans calcul que les valeurs absolues des grandissements transversaux dans les deux configurations sont inverses l'un de l'autre.
- Calculer les dérivées partielles :  $\left(\frac{\partial f'}{\partial d}\right)_D$  et  $\left(\frac{\partial f'}{\partial D}\right)_d$ . En déduire l'expression de l'incertitude-type  $\Delta f'$  en fonction des ainsi que son incertitude-type incertitudes-types estimées :  $\Delta d$  et  $\Delta D$ , selon :

$$\Delta f' = \sqrt{\left|\left(\frac{\partial f'}{\partial d}\right)_D\right|^2 \Delta d^2 + \left|\left(\frac{\partial f'}{\partial D}\right)_d\right|^2 \Delta D^2}.$$

- On pourra à défaut utiliser le logiciel GUM

#### Manipulations :

Choisir une position de l'écran permettant de former une image avec un grandissement de l'ordre de mais significativement différent de  $-1$  (on en précisera la valeur mesurée). Chercher les deux positions de la lentille permettant d'obtenir une image nette sur l'écran.

Mesurer  $D$ ,  $x_1$  et  $x_2$  ainsi que leurs imprécisions.

#### Exploitation :

Calculer la valeur de  $f'$  et estimer son incertitude-type.

### I.4 Méthode de Silbermann

#### Questions :

- Combien de positions de la lentille obtient-on dans le cas  $D = 4f'$ . Que vaut alors le grandissement ?

#### Manipulations :

Placer l'écran à environ  $4f'$ . Ajuster les positions de la lentille et de l'écran pour obtenir le grandissement voulu.

#### Exploitation :

Calculer la valeur de  $f'$  et estimer son incertitude-type.

## I.5 Analyse des résultats

#### Exploitation :

- Vérifier, pour chacune des deux lentilles, la compatibilité des valeurs mesurées par les différentes méthodes au moyen de ainsi que son incertitude-type l'écart normalisé.
- Vérifier de même que l'incertitude-type estimée est comparable à l'incertitude-type des mesures des différents groupes.
- Commenter les imprécisions des différentes mesures. Quelles sont les plus précises ? Leur imprécision relative est-elle différente selon qu'on mesure une petite ou une grande distance focale ?

## II Détermination de la distance focale image d'une lentille divergente

### II.1 Réalisation d'une lentille mince convergente

On montre, en utilisant les relations de conjugaison de Descartes que deux lentilles minces accolées, de distances focales images  $f'_1$  et  $f'_2$  sont équivalentes à une unique lentille mince, de distance focale image  $f'$  vérifiant :

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2}.$$

#### Questions :

- Exprimer l'imprécision  $\Delta f'_1$  en fonction des imprécisions  $\Delta f'$  et  $\Delta f'_2$  si l'on déduit  $f'_1$  des mesures de  $f'$  et  $f'_2$ .
- On souhaite mesurer, par une des méthodes précédentes, la distance focale image  $f'_1 < 0$  d'une lentille divergente en lui accolant une lentille convergente de distance focale  $f'_2 > 0$ . Quelle inégalité doivent vérifier  $f'_1$  et  $f'_2$  ?

#### Manipulations :

- Choisir une lentille divergente ( $f'_1$ ) et former un doublet convergent ( $f'$ ) en lui accolant l'une des lentilles convergentes ( $f'_2$ ) caractérisées précédemment (on placera les deux lentilles sur la même monture).
- Mesurer la distance focale image  $f'$  de ce doublet par l'une des méthodes précédentes. Estimer également l'imprécision  $\Delta f'$ .

#### Exploitation :

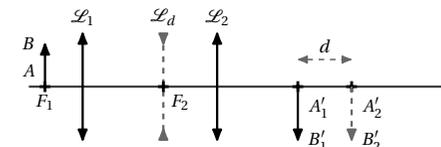
Calculer la valeur de  $f'_1$  et estimer son imprécision  $\Delta f'_1$ . Commenter.

### II.2 Méthode de Badal

On utilise deux lentilles minces convergentes ( $\mathcal{L}_1$  et  $\mathcal{L}_2$ , de centres optiques respectifs  $O_1$  et  $O_2$  et de distances focales images respectives  $f'_1 > 0$  et  $f'_2 > 0$ ) pour déterminer la distance focale image  $f'_d < 0$  d'une lentille mince divergente ( $\mathcal{L}_d$ , de centre  $O$ ).

$\mathcal{L}_1$  et  $\mathcal{L}_2$  seules. On utilise tout d'abord uniquement  $\mathcal{L}_1$  et  $\mathcal{L}_2$ , disposées de telle sorte que  $O_1 O_2 > f'_2$ . On place un objet  $AB$  au foyer objet de  $\mathcal{L}_1$  et on nomme  $A'_1 B'_1$  l'image obtenue après la traversée des deux lentilles.

$\mathcal{L}_1$ ,  $\mathcal{L}$  et  $\mathcal{L}_2$ . On intercale ensuite  $\mathcal{L}_d$  placée au foyer objet de  $\mathcal{L}_2$ . On note  $A'_2 B'_2$  l'image obtenue après la traversée des trois lentilles.



En notant  $d$  la distance entre  $A'_1$  et  $A'_2$ , on peut montrer qu'on a :

$$d |f'_d| = f_2'^2$$

On pourra utiliser les simulations proposées par

• [uel.unisciel.fr](http://uel.unisciel.fr) 

• [www.sciences.univ-nantes.fr](http://www.sciences.univ-nantes.fr) 

### Manipulations :

On utilise pour  $\mathcal{L}_1$  et  $\mathcal{L}_2$  des lentilles de vergence proches de  $V = 3$  et  $V = 8$ .

- Placer  $\mathcal{L}_1$  et  $\mathcal{L}_2$  de telle sorte que :  $\overline{O_1O_2} > f_2'$ .
- Quelle méthode permet de déterminer précisément le plan focal objet d'une lentille. L'utiliser :
  - déterminer le plan focal objet de  $\mathcal{L}_2$ ,
  - placer l'objet lumineux  $AB$  dans le plan focal objet de  $\mathcal{L}_1$ .
- Repérer la position de l'image  $A'_1B'_1$  de l'objet par l'ensemble des deux lentilles.
- Placer une lentille divergente (de vergence assez importante) dans le plan focal objet de  $\mathcal{L}_2$ . Repérer la nouvelle position de l'image  $A'_2B'_2$ .

### Exploitation :

Calculer la distance focale  $f'_d$  de la lentille divergente et estimer son incertitude-type.