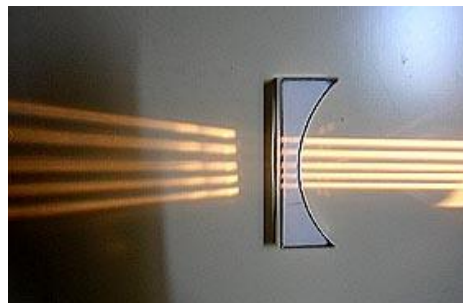
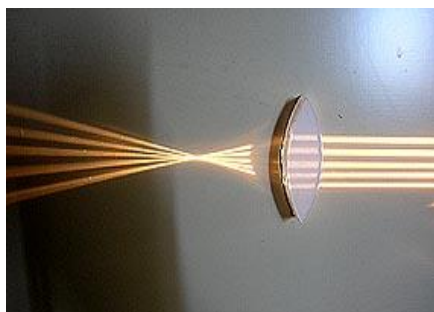


Année Universitaire  
2017 - 2018  
Travaux Pratiques de  
Physique  
Licences Scientifiques  
Semestre 1



## Travaux Pratiques d'Optique 1

TP n°1 : Focométrie  
TP n°2 : Instruments d'optique



### LA PREPARATION

Les énoncés de Travaux Pratiques sont à étudier avant de vous rendre à la séance. Des recherches, constructions, calculs préliminaires,... sont à réaliser chez vous et à faire valider par l'enseignant lors de la séance.

*Ce travail, même s'il n'est pas difficile, peut vous demander du temps et il est **Impératif** de ne pas s'y prendre la veille.*

## MODALITES D'EVALUATION

- Les travaux pratiques d'optique s'effectuent en **binômes**, lors de séances de 3 heures.
- La présence des étudiants est **obligatoire** et toute absence non justifiée entraîne une note nulle au TP concerné. Dans le cas d'une absence justifiée (certificat médical, convocation,...), une autre date de TP sera proposée à l'étudiant.
- La note de chaque de TP est obtenue par la somme d'une **note de compte-rendu (note CR) et d'une note de manipulation (note Manip)** attribuée par l'enseignant lors de la séance. La note finale de TP est constituée par la moyenne des TP n°1 et TP n°2.
- Les comptes rendus sont à **rendre à la fin de la séance** de TP, il est donc **IMPERATIF** de lire (préparer) son TP avant la séance. Tout compte rendu non remis à la fin de la séance sera sanctionné par une note CR nulle.
- Le CR est constitué :
  - du **travail préparatoire** à la séance qui doit être rédigé **individuellement** par chaque étudiant et donné à l'enseignant **au moment de votre arrivée dans la salle de TP**.
  - d'un compte-rendu du **travail de manipulation** effectué sur place, à raison d'**un CR par binôme**.
- Le matériel mis à votre disposition pour ces travaux pratiques est utilisé par un grand nombre d'étudiants. Comme tout matériel, il est susceptible de se dégrader avec le temps, de s'user, de tomber en panne ou de nécessiter des entretiens et des réglages. Il vous est demandé de **manipuler ce matériel avec précaution** et de signaler tout défaut nécessitant une intervention technique afin de le garder en bon état. En fin de séance, votre table de travail doit être rangée ainsi que les chaises.

## COMMENT REDIGER UN COMPTE-RENDU

Un compte rendu de TP est un document scientifique destiné à :

- Présenter une problématique donnée à un lecteur (non nécessairement spécialiste du sujet).
- Expliquer et justifier la démarche suivie lors des expériences, afin de résoudre une problématique ou mettre en évidence le phénomène physique souhaité.

À ce titre, un compte rendu de TP doit être rédigé avec soin, de manière claire et concise. Plusieurs parties demeurent incontournables lors de la rédaction :

• **Introduction** : elle consiste à décrire succinctement la problématique et la démarche entreprise pour y faire face.

• **Dispositif expérimental** : présenter le dispositif expérimental en précisant les grandeurs qui vous semblent pertinentes. Des schémas clairs et annotés sont souvent d'une grande utilité pour la compréhension du lecteur. Cette description doit être suffisamment détaillée pour qu'une personne n'ayant pas vu l'expérience soit en mesure de la reproduire à la lecture du compte rendu de TP.

• **Résultats expérimentaux** :

- Les résultats expérimentaux se présentent la plupart du temps sous forme de graphiques ou de schémas (notamment dans le cas de travaux pratiques d'optique où des constructions de tracés de rayons sont indispensables à la compréhension).

- Tout résultat présenté devra absolument être commenté et interprété ; un résultat présenté sans explication adjacente ne comporte aucune valeur, donc n'oubliez surtout pas d'analyser vos résultats, les expliquer, les comparer à la théorie, les critiquer si nécessaire (est-ce que les résultats sont dans le bon ordre de grandeur?...).

- Il faut faire apparaître les unités des mesures que vous effectuez (m, rad, ...). Une **unité absente coûte 0,5 point** dans la note de compte rendu.

- Pour les graphiques il faut : indiquer les axes, ce qu'ils représentent, l'échelle (**qui utilise au mieux la feuille de papier millimétré**) et les unités. Étalonnez clairement les axes en choisissant des correspondances avec les graduations du papier qui permettent un **report facile des coordonnées des points expérimentaux**. Donnez un titre, mettez en évidence les valeurs particulières que vous jugerez utiles, mettez un numéro (figure 1 par exemple) que vous utiliserez en référence dans le compte rendu (la figure 1 représente l'évolution de la déviation...).

• **Conclusion** : la conclusion doit en quelques lignes tirer une leçon du travail réalisé par rapport à l'objectif initialement fixé. Le cas échéant, elle peut également être l'occasion d'apporter une appréciation personnelle sur les travaux réalisés (points forts et points faibles de la méthode utilisée, améliorations du dispositif expérimental, . . . ).

**N'hésitez pas à vous adresser à l'enseignant si vous avez des questions à poser.**

**Bon Travail !**

## ÉVALUATION DE L'INCERTITUDE D'UNE MESURE

**Chaque fois** que l'on réalise une mesure, quelles que soient les performances de l'appareillage et le soin apporté, celle-ci est entachée d'erreurs. Cette erreur ne pouvant être connue, on en estime un majorant appelé incertitude, qui définit un intervalle de valeurs à l'intérieur duquel on est sûr de trouver le résultat exact de la mesure :

$$A_{\text{mesuré}} - \Delta A \leq \text{valeur exacte} \leq A_{\text{mesuré}} + \Delta A$$

En focométrie on peut trouver :

- 1) **L'incertitude de lecture** (en général égale à **1/2 de la plus petite graduation**).
- 2) **La latitude de mise au point** (propre à la focométrie) est liée à l'intervalle de mesure pour lequel il y a une estimation visuelle sur la netteté de l'image : l'opérateur considère que, entre  $x_{\min}$  et  $x_{\max}$ , l'image est nette. La valeur expérimentale de  $x$  est alors :  $(x_{\min} + x_{\max})/2$  et l'incertitude absolue est :  $(x_{\max} - x_{\min})/2$ . Cette incertitude est tributaire de l'expérimentateur, elle peut prendre des valeurs élevées.
- 3) Dans bien des cas pour lesquels les mesures sont entachées d'erreurs aléatoires, l'incertitude est estimée en réalisant la mesure plusieurs fois, et en appliquant une loi statistique : la **loi de l'étendue**, qui donne les limites de l'intervalle de confiance encadrant le résultat en fonction du nombre  $n$  de mesures effectuées et du niveau de confiance souhaité. Soit  $a_{\text{moyen}}$  la moyenne des  $n$  mesures,  $a_{\min}$  et  $a_{\max}$  les valeurs extrêmes rencontrées. On pose  $r = a_{\max} - a_{\min}$ . On choisit un niveau de confiance, c'est-à-dire une probabilité  $P$  d'encadrer correctement la valeur exacte de la mesure. L'intervalle de confiance est alors  $[a_{\text{moyen}} - qr, a_{\text{moyen}} + qr]$  où le paramètre  $q$  dépend de  $n$  et de  $P$ ,  $\Delta a = qr$ . La table ci-dessous donne les valeurs de  $q$  pour plusieurs valeurs de  $n$  et deux niveaux de confiance, 95% et 99% :

n	q (95%)	q (99%)	n	q (95%)	q (99%)
2	6,35	31,8	9	0,26	0,57
3	1,30	3,01	10	0,23	0,33
4	0,72	1,32	12	0,19	0,28
<b>5</b>	0,51	<b>0,84</b>	14	0,17	0,20
6	0,40	0,63	16	0,15	0,21
7	0,33	0,51	18	0,14	0,19
8	0,29	0,43	20	0,13	0,18

i) L'intervalle de confiance est souvent calculé en choisissant un niveau de confiance de 99% et en faisant 5 mesures par raison de commodité ( $q=0,84$ ).

ii) Si plusieurs paramètres sont nécessaires pour déterminer une grandeur donnée (mesure "indirecte"), l'incertitude sur cette grandeur s'obtient à partir des incertitudes affectées à chacun de ces paramètres à l'aide des règles classiques du calcul d'erreur (en utilisant le calcul différentiel).

Prenons l'exemple de la détermination d'une distance focale  $f'$ , vous allez faire un certain nombre de mesures :  $x_1, x_2, \dots$ . Une fois les incertitudes  $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots$  évaluées, il faut les relier à  $\Delta f'$ .

Ex : si  $f' = x_2 - x_1$  alors :  $\Delta f' = \Delta x_1 + \Delta x_2$  : ici, les erreurs sur chacune des mesures de position s'ajoutent (on majore l'incertitude sur la mesure).

Vos résultats sont donc compris dans une certaine « fourchette » et doivent être présentés de la façon suivante :

$$f' = \dots \text{cm} \pm \Delta f' \text{ cm}$$

# TP n°1 : Focométrie



*La focométrie est l'ensemble des méthodes de détermination expérimentale des éléments d'un système optique centré dans l'approximation de Gauss, c'est-à-dire dans le cas des lentilles minces, des rayons peu inclinés par rapport à l'axe optique et faisant des angles petits par rapport aux normales des surfaces des lentilles.*

## **Objectifs**

*Lors de cette séance de TP, nous allons déterminer les distances focales  $f'$  de lentilles minces (convergentes et divergentes) par différentes méthodes. On déterminera aussi l'incertitude  $\Delta f'$  sur  $f'$ .*

## **Compétences visées**

- *Utiliser des systèmes optiques dans les conditions de Gauss (alignement axial et vertical, éclairage de l'objet, ...).*
- *Mettre simplement en évidence le caractère convergent ou divergent d'une lentille mince.*
- *Fabriquer un objet virtuel pour un système optique.*
- *Réaliser la projection d'un objet réel sur un écran en utilisant une lentille convergente.*
- *Mettre en place plusieurs protocoles permettant de déterminer la distance focale d'une lentille convergente ou divergente (en particulier les méthodes de Bessel des points conjugués et d'autocollimation).*
- *Estimer les incertitudes de mesure*

## Partie I. Reconnaissance rapide d'une lentille mince

### Préparation à réaliser avant le TP

Visualisez la vidéo proposée à l'adresse suivante :

[http://www.youtube.com/watch?v=VFoGqp4\\_xMI&list=PL9D5EE0CD0A2D02FA&index=11](http://www.youtube.com/watch?v=VFoGqp4_xMI&list=PL9D5EE0CD0A2D02FA&index=11)

Les énoncés de TP se trouvent sur le site L1 MSPI de Sakai, les liens pourront être activés directement !

Répondez aux questions :

#### **Forme de lentille :**

Une lentille à bords minces est convergente, une lentille à bords épais est divergente.

- Est-il facile de les différencier par ce critère en pratique ?

#### **Taille de l'image d'un objet proche :**

- Qu'observe-t-on lorsqu'on regarde à travers la lentille un objet placé à courte distance de celle-ci ? Le caractère convergent ou divergent de la lentille modifie-t-il le résultat observé ?
- Justifier les réponses faites à la question précédente par 2 constructions graphiques (on précisera la signification de courte distance).
- Conclure.

#### **Sens de l'image d'un objet éloigné :**

- Qu'observe-t-on lorsqu'on regarde à travers la lentille un objet à grande distance de celle-ci ? Le caractère convergent ou divergent de la lentille modifie-t-il le résultat observé ?
- Justifier les réponses faites à la question précédente par 2 constructions graphiques. Conclure.

### Travail expérimental à réaliser en TP

- Quatre lentilles  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  et  $L_4$  sont disposées sur le banc d'optique placé sur votre table. Préciser **en le justifiant** le caractère convergent ou divergent de chacune de ces lentilles.

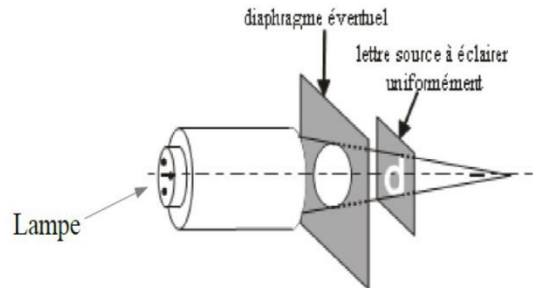
- Demandez à l'enseignant de noter votre manipulation.

**Indication :** Ne pas oublier qu'une image formée par un système optique, jouant le rôle d'objet pour l'oeil, doit être au moins à une distance d'environ 25 cm (distance minimale de vision distincte correspondant au Punctum Proximum (PP) de l'oeil) devant l'œil.

## Partie 2. Formation des images

### A) Description du dispositif expérimental

Les différentes manipulations font intervenir un objet lumineux. On l'obtient à l'aide d'une lampe produisant un faisceau que l'on peut rabattre sur l'objet choisi (une lettre découpée dans une plaque métallique par exemple) grâce au condenseur intégré dans la lampe.



Dans la pratique, on place l'objet assez près du condenseur pour ne pas perdre trop de lumière, mais pas trop près pour ne pas trop le chauffer. Enfin, si l'image de l'objet sur l'écran n'est pas suffisamment nette (lentille d'ouverture trop grande), on peut améliorer la netteté en plaçant un diaphragme circulaire à proximité de la lentille afin de supprimer les rayons marginaux.

### B) Utilisation d'une lentille convergente

#### Préparation à réaliser avant le TP

- Déterminer par une construction graphique l'image d'un objet AB situé entre  $-\infty$  et F, en F, entre F et O, entre O et F' et entre F' et  $l'\infty$ .

Ces quatre constructions seront réalisées sur quatre figures différentes. Les constructions seront vérifiées en utilisant la simulation disponible à l'adresse [http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/optiqueGeo/lentilles/lentille\\_mince.html](http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/lentilles/lentille_mince.html)

#### Travail expérimental à réaliser en TP

- Vérifier expérimentalement avec la lentille convergente L1 les 2 cas (parmi les 4 évoqués précédemment) qui correspondent à l'obtention d'une image réelle.
- Demandez à l'enseignant de noter votre manipulation.

**Indication :** Pour réaliser un objet virtuel : réaliser une image d'un objet à l'aide de la lentille annexe L4.

## C) Utilisation d'une lentille divergente

### Préparation à réaliser avant le TP

- Déterminer par une construction graphique l'image d'un objet AB situé entre  $-\infty$  et F, en F, entre F et O, entre O et F' et entre F' et l' $\infty$ .

Ces quatre constructions seront réalisées sur quatre figures différentes. Les constructions seront vérifiées en utilisant la simulation disponible à l'adresse [http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/optiqueGeo/lentilles/lentille\\_mince.html](http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/lentilles/lentille_mince.html) (choisir une distance focale négative)

### Travail expérimental à réaliser en TP

- Vérifier expérimentalement avec la lentille divergente L3 le cas qui correspond à l'obtention d'une image réelle.
- Demandez à l'enseignant de noter votre manipulation.

**Indication** : Pour réaliser un objet virtuel : réaliser une image d'un objet à l'aide de la lentille annexe convergente L<sub>4</sub>.



## Partie 3. Détermination de la distance focale d'une lentille mince

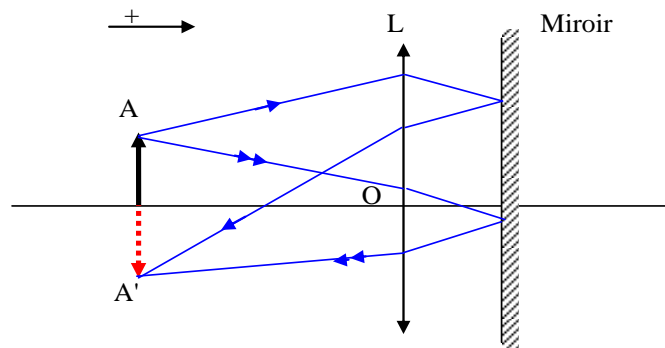
### A) Lentille Convergente - Méthode d'auto-collimation

#### Préparation à réaliser avant le TP

La mesure de la distance focale d'une lentille convergente est décrite dans la vidéo disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=M9lxnPu8udw>

- Dresser la liste du matériel à utiliser dans cette expérience.
- Décrire en quelques phrases la méthode mise en œuvre.
- En pratique, à quoi sera égale la distance focale  $f'$  ?

#### Travail expérimental à réaliser en TP



- Sur le porte-objet, on positionne côté source le verre diffuseur et ensuite la lettre objet. On remarquera que, par construction, l'objet est décalé de l'index positionnant son support d'une distance que vous mesurerez.
- Noter la position de l'objet après l'avoir fixé.
- Déplacer l'ensemble lentille  $L_1$ -miroir (le miroir étant accolé à la lentille) jusqu'à ce que l'image se forme nettement dans le plan de l'objet.
- Noter la position de la lentille et en déduire la distance focale image  $f'_1$  de la lentille  $L_1$ .
- Retourner la lentille (on intervertit faces d'entrée et de sortie de la lentille) et déterminer de la même manière la distance focale image  $f'_2$ .
- Comparer les résultats. Conclusion.

## B) Lentille Convergente - Méthode de Bessel

### Préparation à réaliser avant le TP

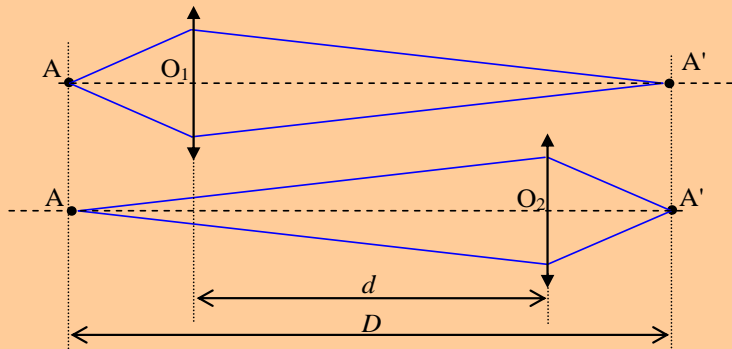
La mesure de la distance focale d'une lentille convergente est décrite dans la vidéo disponible à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=F6bsccUghZw>

Dresser la liste du matériel à utiliser dans cette expérience.

Décrire en quelques phrases la méthode mise en œuvre.

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

Démontrer la relation où  $d$  et  $D$  représentent les grandeurs explicitées dans la vidéo, soit :



Pour la démonstration, vous pouvez vous aider d'ouvrages disponibles en BU ou faire des recherches sur internet...

- **Remarque** : Dans le cas particulier où  $d=0$ , il n'existe qu'une seule position de la lentille qui donne une image de l'objet nette sur l'écran fixe. Cette méthode porte le nom de méthode de SILBERMANN :  $f' = D/4$ .
- **Attention** : Ces deux méthodes ne sont utilisables que si  $D \geq 4f'$  : si cette condition n'est pas remplie, on ne peut recueillir d'image nette  $A'$  sur l'écran

### Travail expérimental à réaliser en TP

- Positionner l'objet A. Fixer et noter  $x_A = \dots\dots\dots$ ;  $\Delta x_A = \dots\dots\dots$  (incertitude de lecture)
- Positionner l'écran  $A'$  à l'extrémité du banc. Fixer et noter  $x_{A'} = \dots\dots\dots$ ;  $\Delta x_{A'} = \dots\dots\dots$  (incertitude de lecture)
- Calculer  $D$  et l'incertitude  $\Delta D = \Delta x_A + \Delta x_{A'}$
- Choisir la lentille L1. Repérer les deux positions  $O_1$  et  $O_2$  (abscisses  $x_1$  et  $x_2$ ) pour lesquelles une image nette se forme sur l'écran. Réaliser cinq fois la mesure et présenter les résultats  $x_1$ ,  $x_2$  et  $d = x_2 - x_1$  dans un tableau. En déduire une valeur moyenne de  $d$  et évaluer  $\Delta d$  (méthode de l'étendue).
- En déduire la distance focale  $f'$ .
- Le calcul différentiel conduit à l'expression suivante pour  $\Delta f'$  :

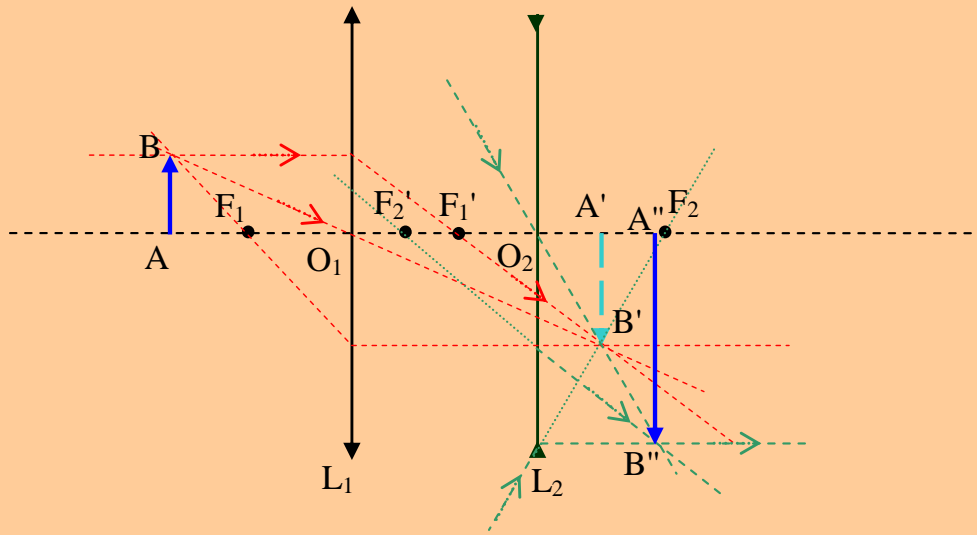
$$\Delta f' \leq \left( \frac{d}{2D} \right) \Delta d + \left[ \frac{1}{4} + \left( \frac{d}{2D} \right)^2 \right] \Delta D$$

- En déduire l'incertitude  $\Delta f'$  sur la valeur de  $f'$
- Pour une position de la lentille (en  $O_1$  ou  $O_2$ ), mesurer la hauteur  $\overline{A'B'}$  de l'image. Après avoir mesuré la hauteur  $\overline{AB}$  de l'objet, calculer le grandissement  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$  et vérifier la relation de grandissement  $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

### C) Lentille Divergente - Méthode des points conjugués

#### Préparation à réaliser avant le TP

- Étudiez la construction suivante :



- Expliquer pourquoi il est nécessaire d'associer à la lentille divergente  $L_2$ , une lentille convergente pour mesurer la distance focale de  $L_2$ .

- Une lentille convergente auxiliaire  $L_1$  fabrique d'un objet  $AB$  réel une image  $A'B'$  réelle. La lentille divergente  $L_2$  à étudier est placée :

- avant  $A'B'$  :  $A'B'$  est donc un objet virtuel pour  $L_2$ .

- proche de  $A'B'$ , de façon à être quasi-certain que  $A'$  soit entre  $O_2$  et  $F_2$ .

- La méthode de conjugaison consiste à mesurer les distances  $\overline{O_2A'}$  et  $\overline{O_2A''}$  et à en déduire la distance focale  $f_2'$  inconnue à l'aide de la formule de conjugaison :

$$-\frac{1}{\overline{O_2A'}} + \frac{1}{\overline{O_2A''}} = \frac{1}{f_2'}$$

- Il est préférable de placer  $L_1$  de façon que  $AA'$  soit égal à quatre fois la distance focale de la lentille convergente.

## Travail expérimental à réaliser en TP

- Placer l'objet A et la lentille convergente de façon à obtenir une image A' sur un écran. Déterminer la latitude de mise au point pour A'. En déduire les valeurs de la position de la position  $x_{A'}$  et l'incertitude absolue  $\Delta x_{A'}$  :

$$x_{A'} = \quad ; \Delta x_{A'} =$$

- Ne plus modifier les positions de la lentille convergente ( $L_1$ ) et de l'objet A.
- Placer la lentille divergente  $L_2$  après  $L_1$  mais avant l'image A', c'est-à-dire telle que  $x_{O1} < x_{O2} < x_{A'}$ . Reculez l'écran de façon à recueillir l'image finale A'' nette.
- Relever l'abscisse  $x_{O2}$  de la lentille divergente.  

$$x_{O2} = \quad ; \Delta x_{O2} =$$
- Déterminer la latitude de mise au point pour A''. En déduire les valeurs de la position de la position  $x_{A''}$  et l'incertitude absolue  $\Delta x_{A''}$
- En déduire  $f_2'$ .
- Le calcul différentiel appliqué à la relation de conjugaison conduit à l'expression suivante pour  $\Delta f_2'$  :

$$\Delta \left( \frac{1}{f_2'} \right) = \frac{\Delta f_2'}{(f_2')^2} = \frac{\Delta x_{A'}}{(O_2 A')^2} + \frac{\Delta x_{A''}}{(O_2 A'')^2} + \Delta x_{O2} \left[ \frac{1}{(O_2 A')^2} - \frac{1}{(O_2 A'')^2} \right]$$

- En déduire l'incertitude  $\Delta f_2'$  sur la valeur de  $f_2'$ .