

Chaque binôme consacra une heure à chacun des deux sujets suivants. Il sera donc indispensable de bien les avoir étudiés au préalable pour être rapidement efficace.

Focométrie

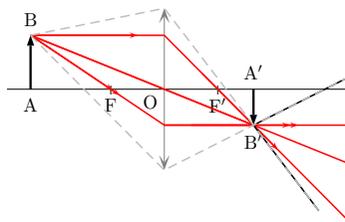
Objectifs :

- 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 une fente (s'assurer qu'elle est bien munie d'un papier diffusant),
- écran quadrillé.

- Il est préférable d'avoir revus les cours « Notions sur la mesure en sciences physiques » (en particulier le IV, relatif aux estimations des imprécisions) et les formules de conjugaison et zones des lentilles minces.
- On illustrera 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).



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

	Autocollimation	Bessel	Silbermann
$V = +3$	$\frac{f'}{\Delta f'}$		
$V = +8$	$\frac{f'}{\Delta f'}$		

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. Mesurer la distance d entre l'objet et la lentille et estimer son imprécision Δd .

Questions :

- Déduire de la valeur de d la valeur de la distance focale f' .
- Identifier la principale source d'imprécision et en déduire l'imprécision $\Delta f'$.
- Justifier que 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 de Bessel

Questions :

On cherche à former à l'aide d'une lentille convergente de distance focale image f' l'image réelle d'un objet réel sur un écran situé à une distance D .

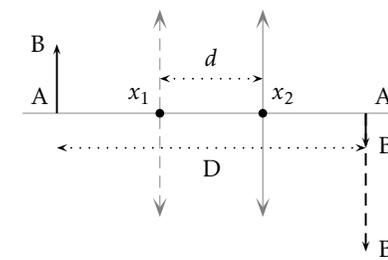
- Montrer qu'il est nécessaire que $D \geq 4f'$ et qu'il existe alors deux positions (d'abscisses x_1 et x_2) pour la lentille, séparées d'une distance d telle que :

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

Comment sont placés x_1 et x_2 par rapport au milieu du segment objet-écran ?

- 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'imprécision $\Delta f'$ en fonction des imprécisions estimées : Δd et ΔD , 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 :

- Disposer l'écran à une distance $D > 4f'$ (prendre pour f' la valeur estimée par autocollimation) de l'objet lumineux, mesurer précisément la valeur de D et estimer l'imprécision ΔD . Mesurer également la taille de l'objet.
- Déterminer les deux abscisses x_1 et x_2 pour lesquelles l'image est nette sur l'écran. Estimer les imprécisions Δx_1 et Δx_2 sur chacune de ces positions.
- Déterminer la taille de chaque image ($A'B'_1$ et $A'B'_2$).

Exploitation :

- Calculer la distance d et en déduire la valeur de la distance focale f' .
- Déduire des imprécisions Δx_1 et Δx_2 l'imprécision Δd . En déduire l'imprécision $\Delta f'$.

Questions :

Est-il nécessaire ici de connaître précisément la position du centre optique ?

I.3 Méthode de Silbermann

Questions :

☞ Combien de positions de la lentille obtient-on dans le cas $D = 4f'$. Que vaut alors le grandissement ? Calculer également l'imprécision $\Delta f'$ en fonction de l'imprécision ΔD .

Manipulations :

Placer l'écran à environ $4f'$. Ajuster les positions de la lentille et de l'écran pour obtenir le grandissement voulu et mesurer la distance D correspondante. Estimer l'imprécision ΔD .

Exploitation :

Déduire de la valeur de D la valeur de f' et de l'imprécision ΔD celle sur f' .

I.4 Analyse des résultats

Exploitation :

- Vérifier, pour chacune des deux lentilles, la compatibilité des valeurs mesurées par les différentes méthodes. On s'assurera que la valeur obtenue par chaque méthode se situe dans l'intervalle de confiance estimé par les autres méthodes.
- Vérifier de même que l'intervalle de confiance estimé est comparable à l'écart-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

Questions :

- ☞ Montrer, 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 :

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

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 $f' < 0$ d'une lentille mince divergente (\mathcal{L} , 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 $\overline{O_1O_2} > f'_2$. On place un objet AB au foyer objet de \mathcal{L}_1 et on nomme $A'B'$ l'image obtenue après la traversée des deux lentilles.

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

Questions :

☞ Réaliser les schémas optiques correspondant aux deux étapes.

\mathcal{L}_1 et \mathcal{L}_2 seules. Où se trouve l'image de AB par \mathcal{L}_1 seule ? En déduire le lieu de l'image $A'B'$. Est-elle réelle ou virtuelle ?

\mathcal{L}_1 , \mathcal{L} et \mathcal{L}_2 . Où se trouve l'image $A''B''$ après la traversée de \mathcal{L}_1 et \mathcal{L}_2 ? Est-elle réelle ou virtuelle ?

Montrer, en utilisant une relation de conjugaison bien choisie, que la mesure du déplacement $\overline{A'B''}$ de l'image entre étapes permet de déterminer la valeur de f' .

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 $\overline{O_1O_2} > f'_2$.
- Déterminer, par autocollimation, les plans focaux objets de \mathcal{L}_2 puis \mathcal{L}_1 (on déplacera pour cela l'objet lumineux). Laisser l'objet lumineux AB dans le plan focal objet de \mathcal{L}_1 .
- Déterminer la position de l'image $A'B'$ 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 . Déterminer la nouvelle position de l'image $A''B''$.

Exploitation :

Déduire des valeurs de $\overline{A'A''}$ et de f'_2 la vergence de la distance focale de la lentille divergente.

Utilisation d'instruments d'optique

Objectifs :

Savoir régler et utiliser les instruments fondamentaux des montages d'optique.

La lunette autocollimatrice permet de déterminer précisément si l'objet qu'on observe est à l'infini.

Le collimateur réalise un « objet à l'infini ».

le viseur à frontale fixe permet de mesurer précisément la distance entre deux objets.

On consacra une heure au III et l'autre au ??.

Matériel :

- lunette autocollimatrice, collimateur, viseur à frontale fixe,
- écran quadrillé et lame à face parallèles sur banc d'optique,
- pied à coulisse (un pour plusieurs groupes),
- papier millimétré,

Le réglage de la lunette autocollimatrice sur « l'infini » est nécessaire au réglage du collimateur, et des autres instruments utilisés lors de prochains travaux pratiques. Il doit donc être réalisé avec soin.

On allumera les lampes à décharge au début de la première séance et on ne les éteindra qu'à la fin de la deuxième séance.

On illustrera 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 non parallèles hors de l'axe et l'enveloppe du faisceau pouvant traverser le système optique.

III Viseur

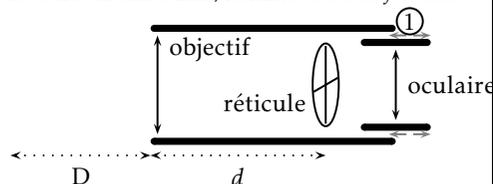
III.1 Présentation

III.1.a Constitution

Le viseur est, comme la lunette, un instrument subjectif. Il forme, au *punctum remotum* de l'observateur une image d'un objet en amont (réel ou virtuel) mais situé à une distance finie, nommée *distance frontale*.

Il est formé :

- d'un objectif (simple ou composé),
- d'un réticule,
- d'un oculaire (un doublet le plus souvent).

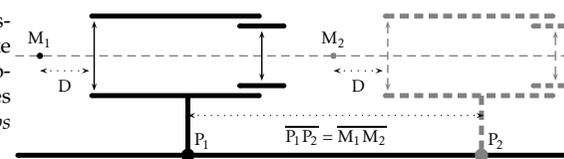


Questions :

Quelle relation doivent vérifier la distance frontale (notée D), la distance focale image de l'objectif f' et la distance d entre l'objectif et le réticule ?

III.1.b Utilisation

On utilise le viseur pour mesurer la distance entre deux objets M_1 et M_2 sur l'axe optique en pointant successivement les positions P_1 et P_2 du viseur pour lesquelles les objets apparaissent nets en même temps que le réticule.



Une mesure à l'aide du viseur nécessite toujours deux pointés.

Questions :

Justifier qu'il n'est pas nécessaire de connaître précisément ni la distance frontale ni la distance entre l'objectif et le pied du viseur.

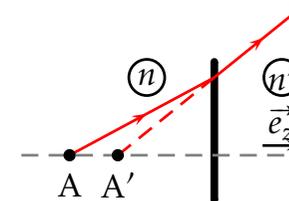
Pour cette raison, seul l'oculaire doit être réglé à la vue de l'observateur, de manière à voir net le réticule sans accommoder. La distance objectif-réticule reste, quant à elle, fixée.

Manipulations :

- Estimer la distance frontale D du viseur en pointant un objet réel lumineux plan, la table par exemple.
- La profondeur de champ du viseur est la largeur (selon l'axe optique) de la zone dans laquelle un objet paraît net en même temps que le réticule. Estimer de même la profondeur de champ du viseur. Quelle est-elle si on n'utilise pas le réticule ?

III.2 Lame à faces parallèles

On rappelle la relation de conjugaison (vue en travaux dirigés) d'un dioptre plan séparant deux milieux d'indices respectifs n et n' : $\frac{n}{SA} = \frac{n'}{SA'}$ où A est l'objet, A' son image et S le projeté orthogonal de A sur le dioptre, pour une propagation de n vers n' (selon \vec{e}_z).



Questions :

- En déduire que pour une lame à faces parallèles d'indice n , plongée dans l'air d'indice n_0 , les positions de l'objet A et l'image A' vérifient :

$$\overline{AA'} = \frac{n - n_0}{n} \overline{S_1 S_2} \quad \text{ou} : \quad AA' = \frac{n - n_0}{n} e,$$

avec S_1 et S_2 les intersections de l'axe optique normal au dioptre avec celui-ci, ou en utilisant l'épaisseur e .

- En déduire l'expression de l'écart $\Delta n = n - n_0$ en fonction de $\overline{AA'}$ et e .
- Faire un schéma illustrant la construction géométrique de l'image formée par une lame à faces parallèles.

III.3 Mesure d'indice

Manipulations :

- Mesurer à l'aide d'un pied à coulisse l'épaisseur e de la lame. On utilisera son vernier pour atteindre une imprécision de 0,1 mm.
- Aligner soigneusement sur le banc d'optique une source lumineuse, l'objet quadrillé, et le viseur.
- Régler le vernier du viseur en bout de course (position 0) puis placer le viseur pour voir nette, en même temps que le réticule, l'image de la grille.
- Intercaler la lame à faces parallèles entre l'objet et le viseur et viser l'image de la grille, en utilisant le vernier et sans toucher au pied du viseur. Relever la distance d dont a été translaté le viseur ainsi que l'imprécision expérimentale de cette mesure.

Exploitation :

Déduire de d et e la valeur de l'écart Δn (on prendra $n_0 \simeq 1$), ainsi que l'imprécision de cette détermination. Quelle serait-elle si l'on n'avait pas utilisé le vernier ?

Questions :

Pourquoi ne peut-on pas utiliser le viseur pour mesurer l'épaisseur de la lame en pointant ses deux faces ?

Manipulations :

Pointer les images des deux faces de la lame. Mesurer au vernier la distance e' correspondante.

Questions :

Comparer e et e' et commenter.

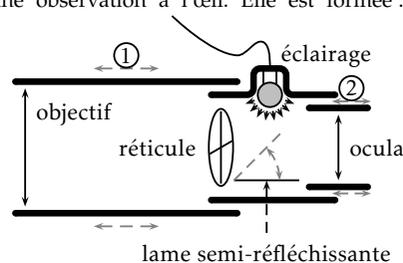
IV Lunette autocollimatrice

IV.1 Constitution

Une lunette est un instrument subjectif, ie permettant une observation à l'œil. Elle est formée :

- d'un *objectif*, formant une image intermédiaire réelle de l'objet observé.
- d'un *réticule* (deux fils orthogonaux) placés dans le *plan réticulaire* où se forme l'image intermédiaire (quand la lunette est convenablement réglée),
- d'un *oculaire* formant de l'image intermédiaire une image (virtuelle) située au *punctum remotum* de l'observateur et éviter toute fatigue oculaire. Cet oculaire est réglable pour pouvoir être utilisé par des observateurs dont l'œil n'est pas emmétrope.

L'objectif et l'oculaire peuvent être translatés pour varier leur distance au plan réticulaire. La lunette comporte également une lame semi-réfléchissante escamotable. Elle permet, quand elle est placée à 45° , de réfléchir la lumière d'une ampoule pour éclairer le réticule tout en en permettant l'observation depuis l'oculaire. Dans l'autre position, elle est hors du trajet des rayons lumineux.



La figure n'est pas l'échelle et l'oculaire est le plus souvent un doublet permettant de compenser partiellement les aberrations chromatiques.

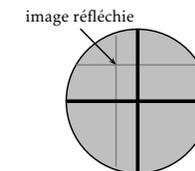
Il est inutile de conserver des verres correcteurs quand on utilise un instrument subjectif : l'oculaire est parfaitement capable de réaliser la même correction. Il faut au contraire les retirer car ils empêchent d'approcher suffisamment l'œil pour recueillir un maximum de lumière.

IV.2 Réglage sur l'infini par autocollimation

Le réglage fondamental de la lunette consiste à faire coïncider le foyer image de l'objectif avec le plan réticulaire.

Protocole :

- Brancher l'ampoule interne de la lunette.
- Régler l'oculaire pour qu'il permette de voir, sans verres correcteurs, le réticule net sans accommoder.
- Réglage grossier. Régler l'objectif de manière à voir net un objet lointain (le fond de la salle ou de la cour par exemple).
- Réglage fin. Placer la lame en position réfléchissante en s'assurant que la lumière sort de la lunette par l'objectif (sur certains modèles la lame est inamovible). Placer un miroir plan (tenu à la main, il est inutile de le fixer) contre l'objectif et régler ce dernier de manière à observer une deuxième image nette du réticule. On cherchera d'abord à rendre nets les bords du disque lumineux correspondant à la lumière réfléchiée par le miroir.
- Éteindre l'ampoule et escamoter la lame semi-réfléchissante pour qu'ils ne perturbent pas les observations suivantes.



On ne touchera plus au réglage de l'objectif dans toute la suite. On ajustera en revanche le réglage de l'oculaire à la vue de l'observateur chaque fois qu'il changera. Une fois l'oculaire réglé, un objet sera à l'infini s'il est vu net en même temps que le réticule.

IV.3 Collimateur : constitution et réglage

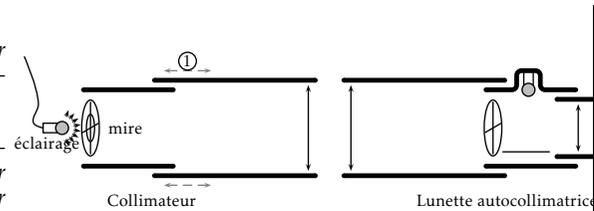
Le collimateur donne une image à l'infini d'un objet lumineux plan réel. Il est constitué :

- d'une mire ou réticule qu'on éclairera par une source lumineuse (lampe de bureau ou source sur banc),
- d'un objectif réalisé par une lentille convergente.

Son réglage consiste à faire coïncider le plan de l'objet lumineux plan avec le plan focal objet de l'objectif.

Protocole :

- Éclairer la mire du collimateur et accoler tête-bêche la lunette autocollimatrice réglée sur l'infini.
- Observer à travers la lunette (ne pas oublier de régler l'oculaire à sa vue) et régler l'objectif du collimateur de manière à voir la mire nette en même temps que le réticule.



Comme pour la lunette, on ne touchera plus au réglage du collimateur dans toute la suite.

IV.4 Manipulations**Manipulations :**

Proposer et mettre en œuvre des protocoles permettant de :

- placer précisément un objet réel au foyer objet d'une lentille convergente ;
- placer précisément un objet virtuel au foyer objet d'une lentille divergente ;
- mesurer la distance focale d'une lentille convergente ;
- mesurer la distance focale d'une lentille divergente.

On pourra utiliser la lunette autocollimatrice, le viseur, le collimateur.