

Lunette astronomique

Objectifs

- ▷ Étudier expérimentalement un système optique composé de plusieurs lentilles ;
- ▷ Réaliser un objet à l'infini à l'aide d'une lentille ;
- ▷ Choisir une lentille en fonction des contraintes expérimentales, et choisir sa focale de façon raisonnée ;
- ▷ Optimiser la qualité d'une image (alignement, limitation des aberrations, etc.).
- ▷ Estimer une incertitude de type B sur une longueur lue à la règle ;
- ▷ Réaliser une régression linéaire prenant en compte les incertitudes.

Matériel :

- ▷ Boîte de lentilles minces de différentes focales ;
- ▷ Un miroir plan ;
- ▷ Lampe halogène et verre dépoli ;
- ▷ Objet optique type diapositive ou lettre ;
- ▷ Un diaphragme à iris ;
- ▷ Banc d'optique, quatre pieds et un écran.

L'objectif de ce TP est d'étudier une lunette astronomique, modélisée par une association de deux lentilles sur un banc d'optique. Une première étape est de construire cette lunette modèle. Ensuite, nous vérifierons expérimentalement que le grossissement de la lunette est bien relié aux distances focales des deux lentilles la constituant, avant de proposer une seconde mesure de grossissement exploitant le cercle oculaire. Enfin, si le temps le permet, nous définirons expérimentalement les notions de diaphragme d'ouverture et de champ.

I - Construction de la lunette

Une lunette astronomique est destinée à observer à l'œil un objet situé à l'infini. Avant de construire la lunette proprement dite, il est donc nécessaire de réaliser cet objet à l'infini et de construire un œil modèle, qui doivent être placés sur le banc d'optique. L'ensemble du montage est récapitulé figure 1.

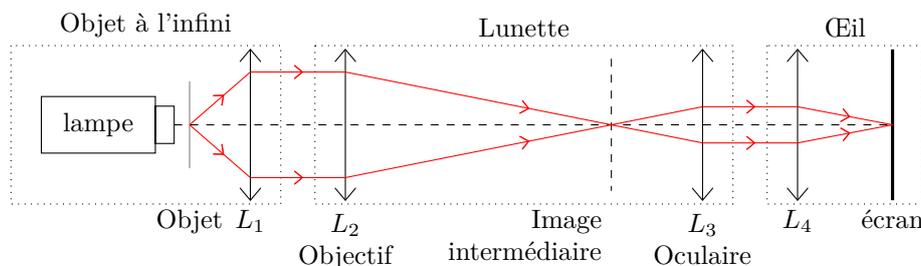


Figure 1 – Schéma de principe du montage.

I.1 - Construction d'un objet à l'infini

Étude théorique

1 - Justifier que le premier bloc « objet à l'infini » de la figure 1 remplit correctement sa fonction : l'image de l'objet réel par L_1 est bien un objet à l'infini pour L_2 .

2 - La taille d'un objet à l'infini est décrite non pas par sa hauteur H mais par l'angle α que forment avec l'axe optique les rayons issus de ses extrémités. En raisonnant sur un schéma, montrer que

$$\tan \alpha \simeq \alpha = -\frac{H}{f'_1}.$$

3 - Pour que l'expérience soit bien visible, on cherche à avoir un objet relativement grand : comment faut-il choisir la focale f'_1 ? Quel avantage pratique supplémentaire ce choix a-t-il ?

Réalisation expérimentale

Par une autocollimation **très soignée**, placer un objet rétroéclairé (lettre) dans le plan focal objet d'une lentille convergente L_1 qu'on prendra de focale $f'_1 \simeq 15$ cm.

La réussite de la suite du TP dépend beaucoup de la qualité de l'auto-collimation. Soyez précis.

I.2 - Construction d'un œil modèle

Étude théorique

Comme discuté en cours, l'œil modèle est constitué d'une lentille convergente L_4 , qui modélise le cristallin, suivie d'un écran, qui modélise la rétine.

4 - Justifier que dans le cas présent l'écran doit être placé dans le plan focal image de L_4 .

5 - L'image finale formée par la lunette se trouve à l'infini, et sa taille est décrite par l'angle α' des rayons les plus inclinés par rapport à l'axe optique. En raisonnant sur un schéma, montrer que la hauteur H' de l'image formée sur la rétine-écran vaut

$$H' = f'_4 \tan \alpha' \simeq f'_4 \alpha'.$$

6 - Pour que l'expérience soit bien visible, on cherche à avoir une image finale relativement grande : comment faut-il choisir la focale f'_4 ?

Réalisation expérimentale

Pour des raisons d'encombrement et de lentilles disponibles, prendre $f'_4 = 25$ cm. Placer la lentille L_4 à une soixantaine de centimètres de L_1 .

Pour placer l'écran dans le plan focal de L_4 , il n'y a pas de méthode miracle : puisque vous disposez déjà d'un objet à l'infini, vous ferez en sorte que l'image finale obtenue sur l'écran soit la plus nette possible. La qualité du réglage repose donc beaucoup sur la qualité de l'autocollimation précédente ... Une fois que le réglage vous semble visuellement correct, vérifiez-le :

- ▷ la distance entre L_4 et l'écran doit être égale à f'_4 ;
- ▷ comme il n'y a pas encore de lunette alors $\alpha = \alpha'$ et donc

$$H' = \frac{f'_4}{f'_1} H.$$

Si ces vérifications ne sont pas convaincantes, il faut recommencer le montage.

Une fois ces réglages faits et vérifiés, vous ne toucherez plus ni à l'objet ni à l'œil.

Pour préparer la mesure de grossissement, relever la taille H'_{sans} de l'image finale sur l'écran-rétine sans lunette entre l'objet et l'œil, ou plus précisément relever la taille d'un détail de cette image qui sera toujours visible lorsqu'elle sera grossie (largeur d'une barre de la lettre, etc.). Estimer (rapidement) l'incertitude sur cette mesure.

I.3 - Construction de la lunette

🚫🚫🚫 **Attention !** Avant de construire la lunette, il faut avoir mesuré de H'_{sans} , voir paragraphe précédent ... et je commence à vous connaître : as-tu fait cette mesure ?

Construire une lunette à partir d'une lentille convergente L_2 jouant le rôle d'objectif et d'une lentille convergente L_3 jouant le rôle d'oculaire, en prenant $f'_2 = 30$ cm et $f'_3 = 10$ cm. Pour que le maximum de lumière entre dans la lunette, placer la lentille-objectif L_2 proche de L_1 .

Pour réaliser une lunette afocale, procéder comme pour le réglage de l'œil, c'est-à-dire en ajustant la netteté de l'image sur l'écran. Une fois que le réglage vous semble visuellement correct, vérifiez-le en observant l'image intermédiaire dans la lunette et en vérifiant qu'elle se trouve à la bonne distance de chaque lentille. Si ces vérifications ne sont pas convaincantes, il faut recommencer le montage.

II - Mesure directe du grossissement

Étude théorique

Comme une lunette est afocale, le grossissement devient la notion pertinente pour décrire la façon dont elle agrandit les images. Il est défini par $G = \alpha'/\alpha$ où α et α' sont la taille angulaire de l'objet vu avec et sans lunette,

voir figure 2. Nous avons montré en cours qu'il était donné par

$$G = -\frac{f'_{obj}}{f'_{oc}} = -\frac{f'_2}{f'_3}$$

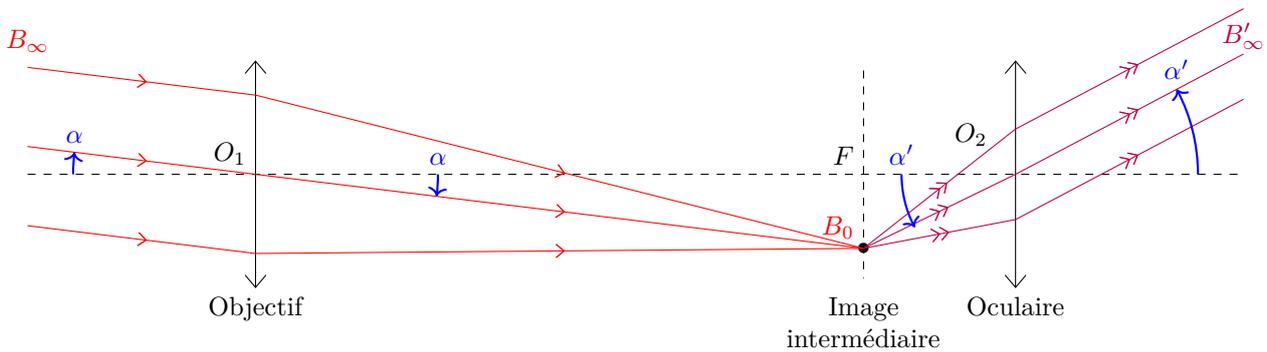


Figure 2 – Schéma des angles utiles à la définition du grossissement.

7 - Rappelons que H' désigne la taille de l'image finale sur l'écran modélisant la rétine. Justifier que le grossissement de la lunette est donné par le rapport de cette taille avec et sans lunette,

$$G = \frac{H'_{avec}}{H'_{sans}}$$

Réalisation expérimentale

Mesurer le grossissement et le comparer à la valeur attendue. Estimer l'incertitude sur la mesure.

III - Cercle oculaire

Le cercle oculaire d'un instrument d'optique, aussi appelé pupille de sortie, est le plus petit cercle au travers duquel passent tous les rayons sortant de l'instrument. Nous avons montré en cours que le cercle oculaire est l'image par l'oculaire de la monture de l'objectif, appelée pupille d'entrée.

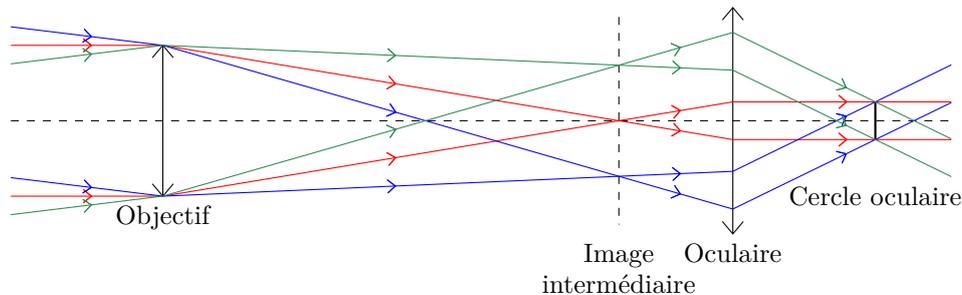


Figure 3 – Cercle oculaire. La marche des rayons issus de trois points de l'objet est représentée. On remarque qu'il existe une position derrière l'oculaire où le faisceau est plus resserré : c'est le cercle oculaire.

On peut montrer que la distance entre le plan du cercle oculaire et le plan de l'oculaire vaut

$$d = (f'_{oc} + f'_{obj}) \frac{f'_{oc}}{f'_{obj}}$$

Le vérifier sur la lunette modèle. Vous pouvez maintenant démonter l'œil modèle et déplacer directement l'écran pour repérer le cercle oculaire.

On peut également montrer que le diamètre D_{CO} est relié au diamètre D_{obj} de la monture de l'objectif par

$$D_{CO} = \frac{D_{obj}}{G}$$

Placer un diaphragme à iris juste devant l'objectif. En utilisant le diaphragme à iris pour modifier artificiellement le diamètre de l'objectif, exploiter cette relation pour mesurer à nouveau le grossissement de la lunette. Une comparaison à la mesure directe sont attendues.

IV - Diaphragme d'ouverture et diaphragme de champ

Cette partie n'est à aborder que s'il vous reste du temps (...). Mettre en évidence le rôle des diaphragmes peut être relativement délicat lorsque le diaphragme à iris est placé trop loin des lentilles.

Le diamètre de l'objectif et de l'oculaire a un fort impact sur l'image finale, mais les deux lentilles jouent des rôles différents qu'on propose d'explorer expérimentalement.

Commencer par reconstruire l'œil modèle.

Placer le diaphragme à iris le plus proche possible de l'objectif, et le fermer progressivement. Vérifier que cela modifie la luminosité de l'image finale, mais pas la portion de l'objet visible sur l'écran. Interpréter cette observation à l'aide d'un schéma. Dans le vocabulaire des instruments d'optique, on dit que l'objectif joue le rôle de diaphragme d'ouverture : il limite la quantité de lumière entrant dans l'instrument, et donc se retrouvant sur l'image.

Placer maintenant le diaphragme à iris le plus proche possible de l'oculaire, et le fermer progressivement. Vérifier que cela modifie la portion de l'objet visible sur l'écran, qui se réduit, mais n'a (presque) pas d'influence sur sa luminosité. Interpréter cette observation à l'aide d'un schéma. Dans le vocabulaire des instruments d'optique, on dit que l'objectif joue le rôle de diaphragme de champ : il modifie le champ visuel de l'instrument, c'est-à-dire la portion d'espace dont il peut former l'image.