

TP6 : Lunette astronomique

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES TRAVAILLÉES :

- ▷ Mettre en oeuvre un dispositif optique modélisable à l'aide de deux lentilles.
- ▷ Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, choisir leur focale de façon raisonnée et aligner l'ensemble du système optique.
- ▷ Estimer une valeur approchée d'une distance focale.

MATÉRIEL :

Source de lumière blanche, objet (lettre P), lentilles minces convergentes, banc d'optique, supports, écran, miroir.

Une **lunette astronomique** est un instrument d'optique destiné à l'observation, à l'œil, d'astres lointains (considérés à l'infini). Elle a pour fonction d'augmenter leur taille apparente et leur luminosité lors de l'observation.



Une lunette astronomique est constituée d'une association complexe de systèmes optiques. Afin de mettre en évidence son fonctionnement et ses principales caractéristiques, nous la modéliserons par une simple association de deux lentilles minces convergentes, L_1 et L_2 .

▷ Un **objectif** (placé du côté de l'objet), modélisé par la lentille mince convergente L_1 , donne d'un objet AB situé à l'infini, une image intermédiaire A_1B_1 dans son **plan focal image** (plan perpendiculaire à l'axe optique, contenant le foyer image F' de la lentille). L'objectif possède typiquement une très grande distance focale f'_1 (de 10 à 20 m dans les lunettes d'observatoires).

▷ Un **oculaire** (placé du côté de l'œil), modélisé par la lentille mince convergente L_2 , donne de l'objet A_1B_1 une image finale $A'B'$ à l'infini. L'oculaire possède typiquement une courte distance focale f'_2 (de l'ordre du centimètre dans les lunettes d'observation), et joue le rôle de loupe : il grossit l'image par rapport à l'objet.

Pour que l'œil emmétrype (sans défaut de vision) puisse observer l'objet AB à l'infini sans accommoder, la lunette doit donner de cet objet AB à l'infini, une image $A'B'$ également à l'infini. Un tel système optique est alors dit **afocal** (sans foyer).

Pour ce faire, le foyer objet F_2 de l'oculaire doit être confondu avec le foyer image F'_1 de l'objectif.

Une lunette astronomique est caractérisée par son **grossissement** :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

où α est l'angle algébrique sous lequel l'objet AB à l'infini est vu à l'œil nu (comme si l'œil était placé au centre optique O_1 de l'objectif) et α' l'angle algébrique sous lequel l'image A'B' est vue à travers la lunette (comme si l'œil était placé au centre optique O_2 de l'oculaire).



PROBLÉMATIQUE :

Comment mesurer le grossissement d'une maquette de lunette astronomique ?

1 Fabrication d'un objet à l'infini

Aucun objet de la salle de TP ne peut facilement et rigoureusement être exploité comme objet à l'infini. Il faut commencer par en construire un sur le banc d'optique, en se servant de la propriété suivante : les rayons lumineux provenant d'un objet à l'infini sont parallèles entre eux.

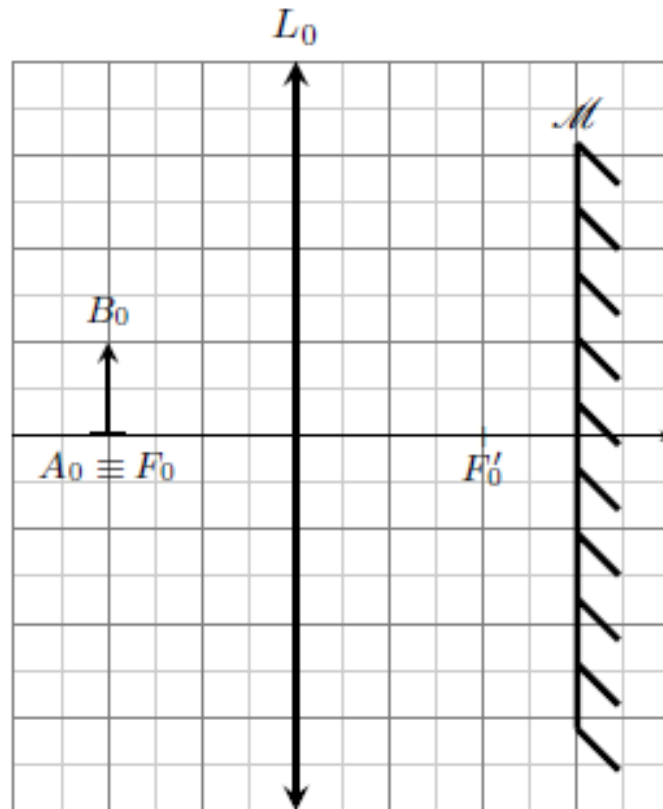
1.1 Protocole 1 - Mesure de distance focale par autocollimation

Le but de ce protocole est de placer l'objet dans le **plan focal objet** (plan perpendiculaire à l'axe optique, contenant le foyer objet F) d'une lentille L_0 , afin que les rayons ressortent de cette lentille parallèles les uns aux autres. Ce mode opératoire permet au passage de mesurer la distance focale de la lentille L_0 par la méthode d'**autocollimation**.

- Disposer sur le banc d'optique les éléments suivants : lampe et objet (lettre P), lentille convergente L_0 de focale f'_0 d'environ 30 cm et miroir plan M (à placer derrière L_0 sur le même support de façon à réfléchir la lumière qui sort de L_0).
- Déplacer L_0 par rapport à l'objet jusqu'à observer l'image de l'objet dans le même plan que l'objet lui-même, de même taille et renversée. L'objet est alors dans le plan focal objet de L_0 .
- Mesurer la distance d entre l'objet et L_0 .

Q1. Donner la valeur de d mesurée.

Q2. Afin de justifier que la distance d est égale à la distance focale de la lentille, construire géométriquement sur le schéma de la page suivante l'image de l'objet réel A_0B_0 , placé dans le plan focal objet de la lentille L_0 , par l'ensemble $\{L_0 + \mathcal{M}\}$. Commencer par construire l'image par L_0 , puis par $\mathcal{M}$, et utiliser si besoin les règles de construction avancées présentées en annexe.



<https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/focometrie/autocollimation.php>

C'est l'image de A_0B_0 par la lentille L_0 qui sera ensuite utilisée comme objet AB pour la lunette astronomique.

2 Fabrication d'un œil artificiel

Il faut ensuite simuler le rôle de l'œil qui est en sortie de la lunette astronomique (donc qui n'accommode pas, car il observe une image à l'infini). L'œil est modélisé de manière réduite par l'association d'une lentille convergente (qui joue rôle de l'association cornée-cristallin) et d'un écran (qui joue le rôle de la rétine), qui reste placée à distance constante de la lentille-cristallin.

2.1 Protocole 2 - Réglage de l'œil artificiel et mesure de la taille de l'image sur la rétine

- Placer une lentille convergente L_3 , de focale f'_3 d'environ 10 cm, à environ 50 cm après L_0 .
- Placer un écran approximativement dans le plan focal image de L_3 .
- Déplacer l'écran de façon à régler l'œil artificiel, c'est-à-dire à obtenir une image nette sur l'écran. La distance entre L_3 et l'écran simule alors la distance entre le cristallin et la rétine pour une observation d'un objet à l'infini.
- Mesurer, à la règle, la taille de l'image $A'B'_{\text{œil.nu}}$ sur la rétine (on mesure la partie arrondie de la lettre p, qui modélise un croissant de lune). Cette image $A'B'_{\text{œil.nu}}$

est l'image de AB, vue sans la lunette astronomique.

Q3. A partir de la mesure de $A'B'_{\text{œil nu}}$, déterminer par un raisonnement géométrique la valeur de l'angle algébrique α sous lequel l'objet AB est vu à l'œil nu. On rappelle que dans l'approximation des petits angles, $\tan(\alpha) \simeq \alpha$, où l'angle α est exprimé en radian.

3 Fabrication de la lunette astronomique

L'image de A_0B_0 par L_0 est à l'infini et constitue un objet à l'infini AB pour la lunette astronomique. Elle en forme une image $A'B'$ à l'infini, observable sans fatigue pour l'œil (placé à la sortie de la lunette).

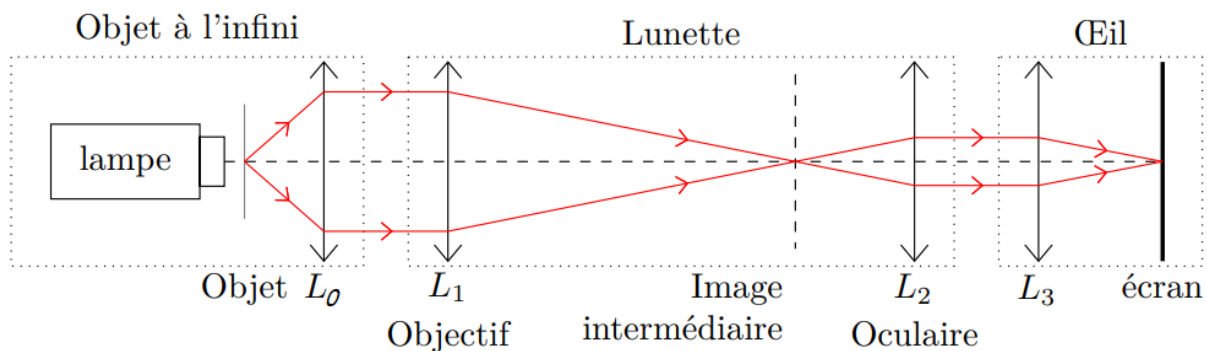


FIGURE 1 – Schéma de la maquette de lunette complète

3.1 Protocole 3 - Réglage de la lunette astronomique et mesure de la taille de l'image sur la rétine

- Placer une lentille convergente L_1 (qui joue le rôle d'objectif), de focale f'_1 d'environ 20 cm, juste après L_0 (afin qu'un maximum de lumière entre dans la lunette).
- Utiliser une feuille de papier blanche pour repérer la position de l'image intermédiaire A_1B_1 de AB par L_1 .
- Placer une lentille convergente L_2 (qui joue le rôle d'oculaire), de focale f'_2 d'environ 5 cm, entre L_1 et L_3 .
- Déplacer L_2 de façon à obtenir une image nette sur la rétine. Attention, il ne faut déplacer que L_2 et pas l'écran, ni L_3 , ni rien d'autre (car tout a déjà été réglé avant).
- Mesurer, à la règle, la taille de l'image $A'B'_{\text{lunette}}$ sur la rétine. Cette image $A'B'_{\text{lunette}}$ est l'image finale de AB, vue à travers la lunette astronomique.

Q4. A partir de la mesure de $A'B'_{\text{lunette}}$ et en vous appuyant sur un raisonnement géométrique, déterminer l'angle α' sous lequel l'objet AB est vu à travers la lunette. On se placera dans l'approximation des petits angles.

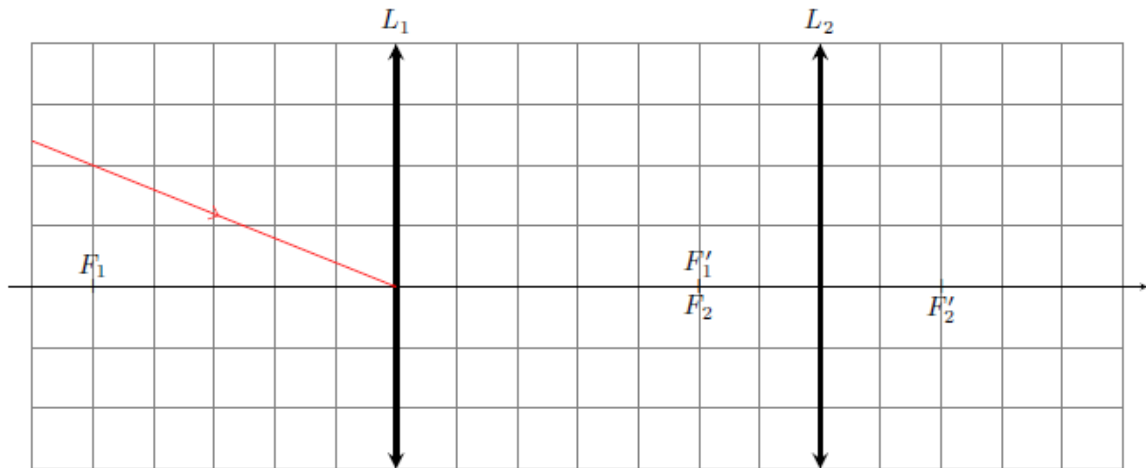
Q5. En déduire une estimation de la valeur absolue $|G_{\text{exp}}|$ du grossissement expérimental.

Q6. En complétant le schéma page suivante par des tracés de rayons et par un raisonnement géométrique s'appuyant sur l'approximation des petits angles,

justifier que le grossissement théorique vaut

$$G_{th} = -\frac{f'_1}{f'_2} = -\frac{f'_{\text{objectif}}}{f'_{\text{oculaire}}}.$$

Vous pourrez vous appuyer sur les règles de construction avancées présentées en annexe.



Q7. Le grossissement de cette lunette est négatif. Expliquer quelle conséquence cela a en pratique, et pourquoi ce n'est pas gênant.

4 Annexe : règles de construction avancées

Lorsqu'un faisceau de lumière dont les rayons sont parallèles atteint une lentille, les rayons qui émergent de la lentille se croisent tous dans le plan focal image, à la verticale du foyer image F' .

Un ensemble de rayons provenant d'un point dans le plan focal objet (à la verticale du foyer objet F) émerge de la lentille sous la forme d'un faisceau parallèle.

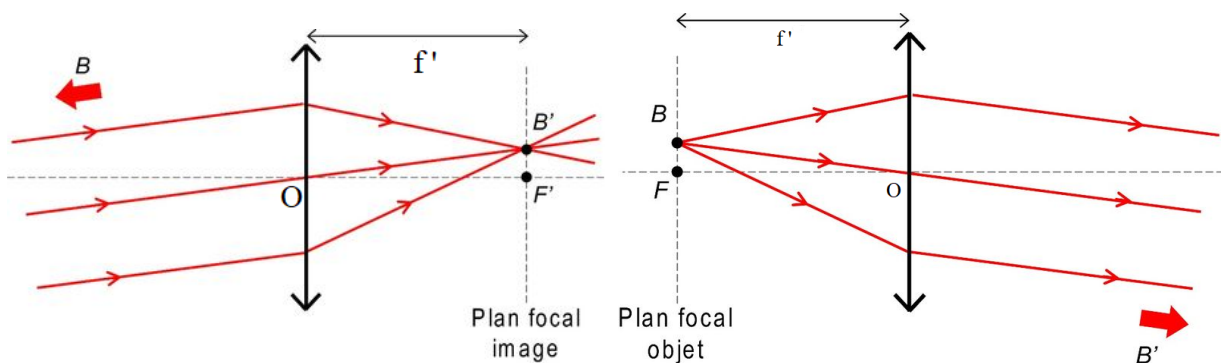


FIGURE 2 – Illustration des règles de construction avancées

