Spécialité : Lunette astronomique d'amateur

Bac S 2008 Polynésie (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 L'image nette du Soleil donnée par l'objectif est recueillie sur un écran. Quelle distance objectif-écran doit-on normalement mesurer ? Justifier.

Données utiles $f'_1 = 1{,}15$ m

Le Soleil est un objet très éloigné, considéré à l'infini : dans la relation de conjugaison, $\frac{1}{\overline{O_1A}}$ tend vers 0, donc $\frac{1}{\overline{O_1A'}} = \frac{1}{f'_1}$.

L'image se forme dans le plan focal image de l'objectif ; l'écran s'y trouve quand l'image est nette.

Distance objectif-écran : $\overline{O_1A'} = f'_1 = 1{,}15$ m

COMPRENDRE
Un objet à l'infini envoie sur la lentille des rayons parallèles entre eux : ils convergent dans le plan focal image. C'est la façon la plus rapide d'estimer la distance focale d'une lentille convergente.

1.2.1 Faire la construction graphique de l'expérience de Silbermann : deux rayons remarquables issus de B donnant B', puis placer les foyers F_2 et F'_2 de l'oculaire.

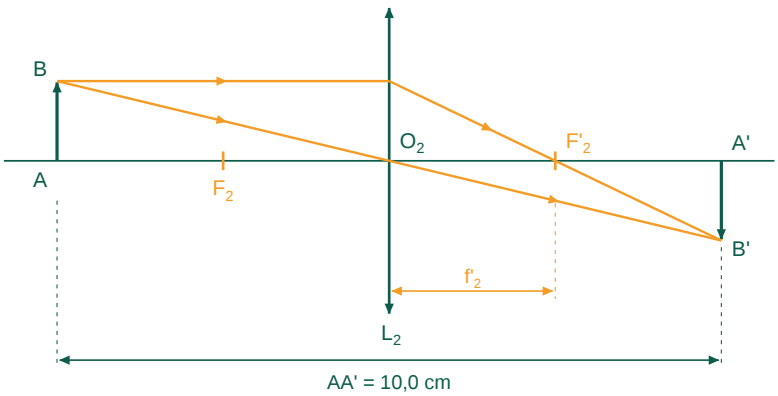
Données utiles image $A'B'$ renversée, de même grandeur que AB ; $AA' = 10{,}0$ cm

On place A et A' sur l'axe optique, puis AB et $A'B'$ de même taille et de sens opposés.

- Le rayon (BB') n'est pas dévié : il passe par le centre optique. Il coupe l'axe en O_2, où l'on dessine la lentille (au milieu de $[AA']$).
- Le rayon issu de B parallèle à l'axe optique ressort de la lentille en direction de B' : il coupe l'axe au foyer image F'_2.
- Le foyer objet F_2 est le symétrique de F'_2 par rapport à O_2.

Construction ci-dessous : O_2 au milieu de $[AA']$, F_2 au milieu de $[AO_2]$, F'_2 au milieu de $[O_2A']$.

MÉTHODE
Ici la lentille n'est pas donnée : on part de l'objet et de l'image. Le rayon passant par le centre optique donne la position de la lentille, le rayon parallèle à l'axe donne ensuite le foyer image.



1.2.1 · Méthode de Silbermann : construction à l'échelle 1/2 environ

1.2.2 À partir du schéma, trouver la relation entre f'_2 et AA'. La valeur de f'_2 obtenue est-elle conforme à l'indication du constructeur ?

Données utiles $AA' = 10{,}0$ cm ; valeur du constructeur : $f'_2 = 25$ mm

Sur le schéma, $AF_2 = F_2O_2 = O_2F'_2 = F'_2A' = f'_2$, donc $AA' = 4\,f'_2$.

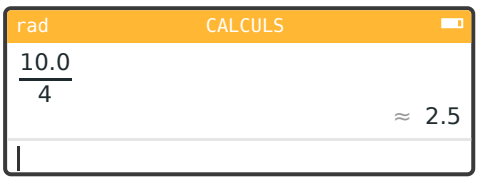
$$f'_2 = \frac{AA'}{4} = \frac{10{,}0}{4} = 2{,}50\text{ cm} = 25{,}0\text{ mm}$$

$f'_2 = \dfrac{AA'}{4} = 25{,}0$ mm : la valeur est conforme à celle du constructeur (25 mm).

COMPRENDRE

Vérification possible : avec $\overline{O_2A} = -2f'_2$, la relation de conjugaison donne $\overline{O_2A'} = +2f'_2$, et le grandissement vaut -1. Trois chiffres significatifs, comme AA' : le 4 est un nombre exact.

À LA CALCULATRICE

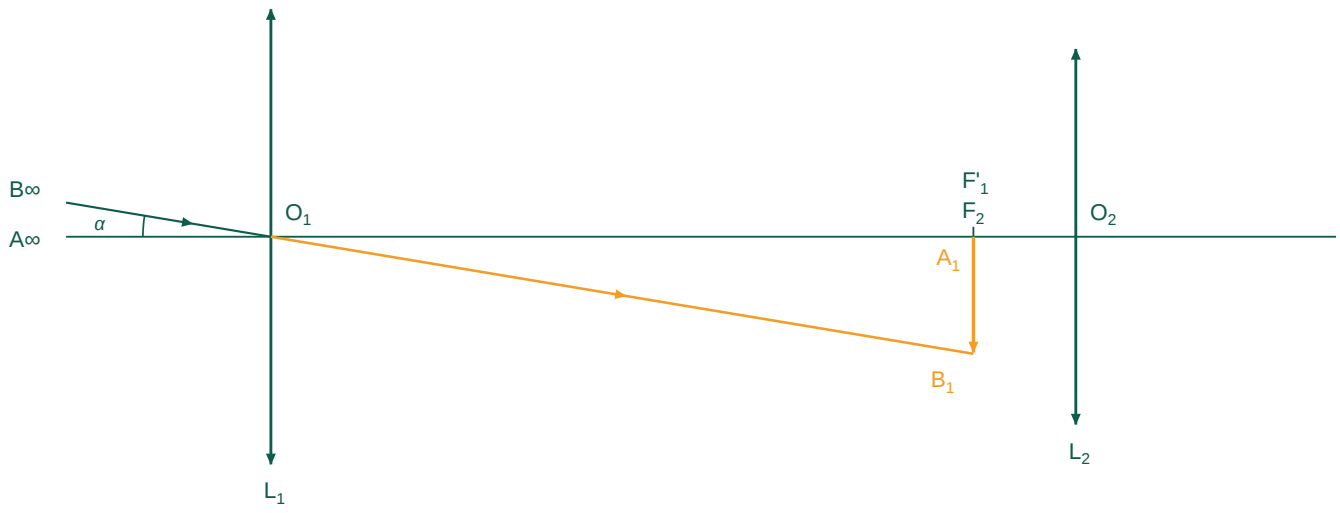


2.1 Construire sur l'annexe l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB donnée par l'objectif L_1.

L'objet AB est à l'infini : son image A_1B_1 se forme dans le plan focal image de l'objectif (comme à la question 1.1).

- A est sur l'axe optique, donc A_1 est confondu avec F'_1.
- Le rayon issu de B passant par O_1 n'est pas dévié : B_1 est à l'intersection de ce rayon prolongé et du plan perpendiculaire à l'axe passant par F'_1.

A_1B_1 est dans le plan focal image de L_1, avec A_1 en F'_1 ; l'image est renversée.



2.1 · Annexe : image intermédiaire A_1B_1 dans le plan focal image de l'objectif

2.2 Où se forme l'image définitive $A'B'$ donnée par la lunette ? Justifier.

A_1B_1 joue le rôle d'objet pour l'oculaire L_2. La lunette est afocale : F_1' et F_2 sont confondus, donc A_1B_1 se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire.

Avec $\overline{O_2A_1} = \overline{O_2F_2} = -f_2'$, la relation de conjugaison donne $\frac{1}{\overline{O_2A'}} = \frac{1}{f_2'} - \frac{1}{f_2'} = 0$.

L'image définitive $A'B'$ se forme à l'infini.

COMPRENDRE
Une image à l'infini s'observe sans accommoder : l'œil reste au repos, ce qui évite la fatigue. C'est l'intérêt du réglage afocal.

2.3 Tracer le rayon émergent de l'oculaire correspondant au rayon incident issu de B et passant par O_1, en laissant la construction apparente.

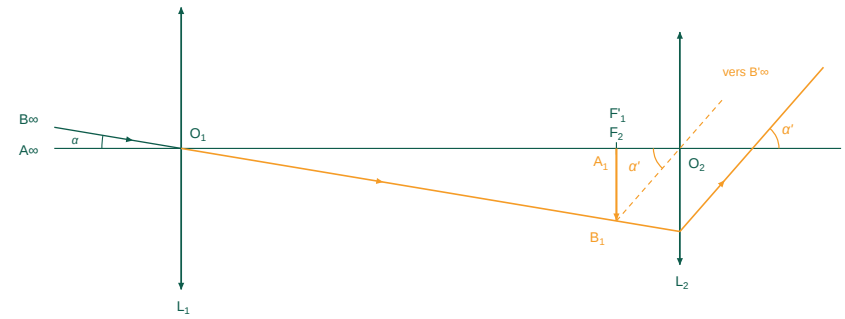
Le rayon issu de B passe par O_1, par B_1, puis atteint l'oculaire L_2.

Construction : on trace en pointillés la droite (B_1O_2). Un rayon qui suivrait cette droite passerait par le centre optique O_2 et ne serait pas dévié.

B_1 est dans le plan focal objet de L_2 : tous les rayons issus de B_1 ressortent de l'oculaire parallèles entre eux.

Le rayon émergent part du point d'arrivée sur L_2, parallèlement à la droite (B_1O_2) ; il se dirige vers B' à l'infini.

PIÈGE
Faire passer le rayon émergent par F_2' : ce serait vrai pour un rayon incident parallèle à l'axe optique, ce qui n'est pas le cas ici.



2.3 · Annexe : rayon émergent et angle α' (questions 2.3 et 2.4)

2.4 Indiquer α' sur l'annexe, exprimer le grossissement $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ en fonction de f_1' et f_2', puis calculer sa valeur.

Données utiles $f_1' = 1{,}15$ m ; $f_2' = 25$ mm ; $\tan\alpha = \alpha$ et $\tan\alpha' = \alpha'$

α' est l'angle entre l'axe optique et les rayons émergents : on le retrouve en O_2, entre l'axe et la droite (B_1O_2) (annexe de la question 2.3).

Triangle $O_1A_1B_1$, rectangle en A_1 : $\alpha = \tan\alpha = \frac{A_1B_1}{O_1F_1'} = \frac{A_1B_1}{f_1'}$

Triangle $O_2A_1B_1$, rectangle en A_1 : $\alpha' = \tan\alpha' = \frac{A_1B_1}{O_2F_2} = \frac{A_1B_1}{f_2'}$

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{A_1B_1}{f_2'} \times \frac{f_1'}{A_1B_1} = \frac{f_1'}{f_2'} = \frac{1{,}15}{25 \times 10^{-3}} = 46$$

$$G = \frac{f_1'}{f_2'} = 46$$

PIÈGE
Laisser f_1' en mètres et f_2' en millimètres : on obtiendrait 0,046. Un grossissement est un rapport sans unité, les deux distances focales doivent être dans la même unité.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $f_2' = 25$ mm, la donnée la moins précise. Sur l'annexe, les angles ne sont pas petits et α' n'est pas 46 fois plus grand que α : le schéma n'est pas à l'échelle.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{1.15}{25 \times 10^{-3}} \approx 46$$

2.5 Pour obtenir un grossissement inférieur sans changer d'objectif, faut-il un oculaire de distance focale supérieure ou inférieure à 25 mm ? Justifier.

Données utiles $G = \frac{f'_1}{f'_2}$ (2.4)

f'_1 ne change pas et $G = \frac{f'_1}{f'_2}$: G est inversement proportionnel à f'_2. Pour que G diminue, il faut que f'_2 augmente.

Il faut un oculaire de distance focale supérieure à 25 mm.

3.1 Donner la définition du cercle oculaire.

Le cercle oculaire est l'image de l'objectif (de sa monture circulaire) donnée par l'oculaire.

COMPRENDRE
Toute la lumière entrée par l'objectif et sortant de l'oculaire traverse ce petit disque : c'est l'endroit où le faisceau émergent est le plus étroit.

3.2 Dans le cas de la lunette afocale, construire le cercle oculaire sur l'annexe.

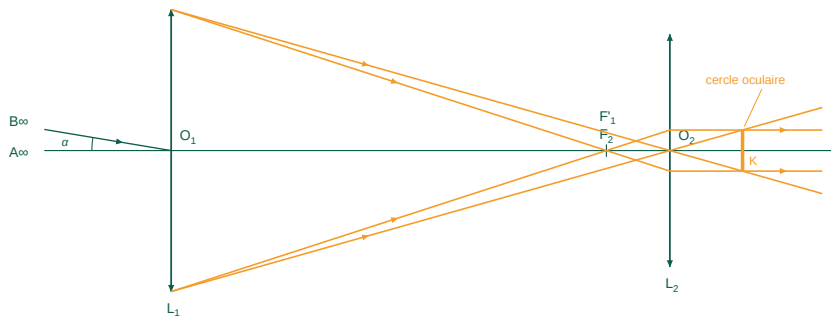
On construit l'image, par l'oculaire L_2, de chacun des deux bords de l'objectif L_1, avec deux rayons issus de ce bord :

- le rayon passant par O_2 n'est pas dévié ;
- le rayon passant par le foyer objet F_2 ressort de L_2 parallèlement à l'axe optique.

Leur intersection donne l'image du bord. On procède de même pour l'autre bord.

Le cercle oculaire est le segment joignant les deux points obtenus ; il est centré en K sur l'axe optique, un peu après F'_2.

MÉTHODE
Pour un objet qui n'est ni à l'infini ni dans un plan focal, on revient à la construction de base : deux rayons remarquables issus d'un même point, dont l'intersection après la lentille donne le point image.



3.2 · Annexe : construction du cercle oculaire, image de l'objectif par l'oculaire

3.3 Calculer la valeur d du diamètre du cercle oculaire.

Données utiles $D_1 = 40$ mm ; $f'_1 = 1{,}15$ m ; $f'_2 = 25$ mm

Sur l'annexe (3.2), le rayon issu du bord de l'objectif et passant par F_2 fait avec l'axe un petit angle β ; il atteint L_2 à la distance $\frac{d}{2}$ de l'axe, puis ressort parallèle à l'axe en passant par le bord du cercle oculaire.

Côté objectif : $\tan\beta = \frac{D_1/2}{f'_1}$. Côté oculaire : $\tan\beta = \frac{d/2}{f'_2}$.

Donc $\frac{D_1}{2f'_1} = \frac{d}{2f'_2}$, soit $d = D_1 \times \frac{f'_2}{f'_1}$.

$$d = 40 \times 10^{-3} \times \frac{25 \times 10^{-3}}{1{,}15} = 8{,}7 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

$$d = D_1 \frac{f'_2}{f'_1} = 0{,}87\ \text{mm}$$

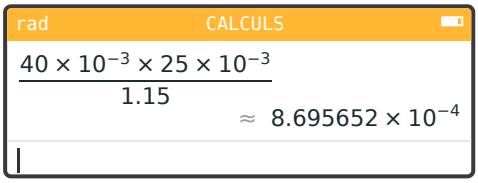
COMPRENDRE

On remarque que $d = \frac{D_1}{G}$: plus la lunette grossit, plus le faisceau qui en sort est étroit. Vérification : $40 \div 46 = 0{,}87$ mm.

MÉTHODE

Autre voie, plus longue : position du cercle oculaire par la relation de conjugaison avec $\overline{O_2O_1} = -(f'_1 + f'_2)$, soit $O_2K = 2{,}55$ cm, puis grandissement $\frac{d}{D_1} = \frac{O_2K}{O_1O_2}$. On retrouve 0,87 mm.

À LA CALCULATRICE



3.4 Où l'astronome doit-il placer son œil, et quel doit être le diamètre de sa pupille, pour recevoir le maximum de lumière ?

Données utiles $d = 0{,}87$ mm (3.3)

Toute la lumière qui sort de la lunette traverse le cercle oculaire.

L'œil doit être placé au niveau du cercle oculaire, juste derrière l'oculaire (environ 2,5 cm), et le diamètre de la pupille doit être au moins égal à celui du cercle oculaire : 0,87 mm.

COMPRENDRE

La pupille de l'œil mesure quelques millimètres, bien plus que 0,87 mm : toute la lumière collectée par l'objectif de 40 mm de diamètre entre alors dans l'œil.