

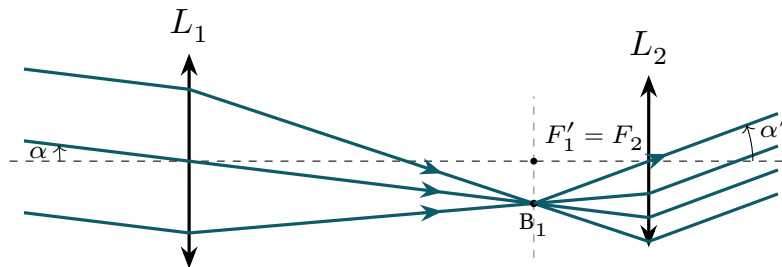
## Exercices

## Corrigé de l'exercice 1 — Qui est l'objectif ?

1.  $G = f'_1/f'_2$  : pour que la lunette grossisse ( $G > 1$ ), il faut  $f'_1 > f'_2$  — l'objectif est la lentille de 500 mm.
2.  $G = 500/20 = 25$ ;  $L = f'_1 + f'_2 = 520 \text{ mm} = 52 \text{ cm}$ .
3. Montage inversé : l'angle serait **divisé** par 25 au lieu d'être multiplié — l'instrument réduirait l'angle apparent (voir exercice 6).

## Corrigé de l'exercice 2 — Compléter la construction

1. Le rayon passant par  $O_1$  n'est pas dévié : il coupe le plan focal commun en  $B_1$  — l'image intermédiaire  $A_1B_1$  est le petit segment vertical joignant l'axe à  $B_1$ , sous l'axe.
2. Les deux rayons gris, parallèles au premier, convergent en  $B_1$  (même point du plan focal), puis repartent vers  $L_2$ .
3.  $B_1$  est dans le plan focal objet de l'oculaire : tous les rayons émergent **parallèles** à la droite  $B_1O_2$ . L'angle  $\alpha'$  (émergents/axe) est nettement plus grand que  $\alpha$  (incidents/axe) — c'est tout l'intérêt de l'instrument.



## Corrigé de l'exercice 3 — La silhouette au loin

1.  $\theta = h/d = \frac{1,8}{500} = 3,6 \times 10^{-3} \text{ rad}$  : dix fois la limite de l'œil ( $3 \times 10^{-4} \text{ rad}$ ) — on voit une silhouette, et des détails de l'ordre du dixième de sa taille : les bras se distinguent à peine.
2.  $\alpha' = G \cdot \theta = 20 \times 3,6 \times 10^{-3} = 7,2 \times 10^{-2} \text{ rad} = 4,1^\circ$ .
3. Même angle à l'œil nu à 500 m :  $h' = \alpha' \cdot d = 7,2 \times 10^{-2} \times 500 = 36 \text{ m}$  — la personne « paraît » haute comme un immeuble de douze étages.

## Corrigé de l'exercice 4 — La lunette du débutant

1. Diamètre de l'objectif 70 mm ; distance focale de l'objectif  $f'_1 = 900 \text{ mm}$ .

2.  $G = f'_1/f'_2$  : avec l'oculaire de 25 mm,  $G = 900/25 = 36$  ; avec celui de 10 mm,  $G = 900/10 = 90$ .
3. Angle de sortie pour la Lune entière :  $36 \times 0,53 = 19^\circ (< 40^\circ$  : elle tient largement) ;  $90 \times 0,53 = 48^\circ (> 40^\circ$  : elle déborde du champ — on n'en voit qu'un morceau).
4. L'oculaire de 25 mm : champ le plus large, pointage facile ; on ne passe au 10 mm qu'une fois l'astre centré.

### Corrigé de l'exercice 5 — Les anneaux de Saturne

1.  $\theta = \frac{2,7 \times 10^5}{1,3 \times 10^9} = 2,1 \times 10^{-4}$  rad — juste sous la limite de l'œil. Avec  $G = 100$  :  $\alpha' = 2,1 \times 10^{-2}$  rad  $\simeq 1,2^\circ$ , soit deux pleines lunes : parfaitement visibles.
2. Épaisseur :  $\theta = \frac{1}{1,3 \times 10^9} = 7,7 \times 10^{-10}$  rad ; même grossis cent fois ( $7,7 \times 10^{-8}$  rad), on reste près de quatre mille fois sous la limite de l'œil.

Leur épaisseur n'est donc pas **résolue**. Vus presque par la tranche, les anneaux deviennent pratiquement indétectables : tous les quinze ans environ, quand la Terre traverse leur plan, ils semblent « disparaître » — comme Galilée l'observa en 1612.

### Corrigé de l'exercice 6 — Yeux de chouette

1. Le raisonnement du §4 est symétrique : en entrant par  $L_1$  devenue « oculaire de sortie », l'angle est divisé :  $\alpha' = \alpha/G$ .
2.  $\alpha' = \frac{3,6 \times 10^{-3}}{20} = 1,8 \times 10^{-4}$  rad  $< 3 \times 10^{-4}$  rad : la personne peut rester perceptible comme une petite tache contrastée, mais sa silhouette n'est plus **résolue**.
3. À faire tenir un grand champ dans un petit angle : c'est le principe du **judas** de porte (et du viseur « réducteur » de certains appareils) — un instrument qui élargit le champ au prix du détail.

### Corrigé — Exercice de réflexion — Tout est à l'envers

Le renversement naît à l'**image intermédiaire** : l'objectif, comme toute lentille convergente formant une image réelle, renverse (B au dessus de l'axe donne  $B_1$  dessous — fiche **R9**), et l'oculaire, simple loupe, ne redresse rien. Pour l'astronome, aucune importance : la notion de « haut » n'a guère de sens pour Jupiter, et retourner une carte lunaire suffit. Pour le marin, un horizon inversé est inutilisable : les lunettes terrestres intercalent un **redresseur** (lentille supplémentaire ou prismes, comme dans les jumelles) — au prix de lumière perdue et d'encombrement, ce que l'astronome refuse justement de payer.

## Corrigé — Problème de Fermi — La lumière ramassée

Ordres de grandeur choisis : diamètre de la pupille de l'œil adapté à la nuit  $d_{\text{œil}} \sim 10^{-2}$  m (quelques millimètres) ; diamètre de l'objectif  $D \sim 10^{-1}$  m. La lumière collectée est proportionnelle à la **surface** :

$$\frac{S_{\text{lunette}}}{S_{\text{œil}}} \sim \left( \frac{10^{-1}}{10^{-2}} \right)^2 = 10^2.$$

L'ordre de grandeur est donc la **centaine** : une lunette de 100 mm collecte de l'ordre de cent fois plus de lumière que l'œil. C'est bien le **diamètre**, pas le grossissement, qui permet de détecter des astres plus faibles. Grossir sans collecter davantage ne montre qu'une tache plus grande.

## E.C.E. — Exploitation

1. L'objet est au foyer objet de  $L_0$  ( $10,0 - 0 = 10,0$  cm =  $f'_0$ ) : les rayons sortent de  $L_0$  parallèles — objet à l'infini pour la suite. Entre l'objectif et l'oculaire :  $85,0 - 25,0 = 60,0$  cm =  $f'_1 + f'_2 = 50,0 + 10,0$  cm : la maquette est afocale ( $F'_1 = F_2$ ).
2. L'image intermédiaire doit être dans le plan focal image de l'objectif :  $25,0 + 50,0 = 75,0$  cm — c'est la graduation observée, et l'image y est renversée, comme prévu.
3. La lunette étant afocale, elle transforme le faisceau d'angle  $\alpha$  en faisceau d'angle  $\alpha' = G \cdot \alpha$ . La lentille de projection forme dans son plan focal une image de taille  $h = f'_p \cdot \tan(\text{angle du faisceau})$  : avec la lunette,  $h_{\text{avec}} = f'_p \tan \alpha'$  ; sans elle,  $h_{\text{sans}} = f'_p \tan \alpha$ . En petits angles, le rapport  $h_{\text{avec}}/h_{\text{sans}} = \alpha'/\alpha = G$ .
4. Avant arrondi,  $G_{\text{exp}} = 39,0/8,0 = 4,875$  et

$$u(G) = G \sqrt{\left( \frac{0,5}{39,0} \right)^2 + \left( \frac{0,5}{8,0} \right)^2} = 0,311.$$

L'incertitude-type arrondie à un chiffre significatif par excès donne  $G_{\text{exp}} = 4,9 \pm 0,4$ . La valeur attendue vaut  $G_{\text{réf}} = f'_1/f'_2 = 5,00$ . Avec les valeurs non arrondies :

$$z = \frac{|4,875 - 5,00|}{0,311} = 0,40 < 2.$$

La mesure est compatible avec le modèle de la lunette afocale.

## Programmation Python

1. Le rayon passant par  $O_1$  a la pente  $-\alpha$  : au plan focal commun,  $y_1 = -f_1 \cdot \alpha$  (ici  $-0,50$  cm — image intermédiaire sous l'axe).
2.  $\alpha_{\text{prime}} = \alpha \cdot f_1 / f_2$  (le script affiche  $\alpha' = 0,050$  rad et  $G = 5,0$ ).

3. Avec  $f'_2 = 5,0$  cm :  $\alpha'$  double (0,10 rad,  $G = 10$ ) et la lunette raccourcit ( $L = 55$  cm). Cette augmentation a une contrepartie : l'oculaire plus « fort » resserre le champ (exercice 4) et grossit aussi tous les défauts. Au-delà, c'est la diffraction qui tranchera (chapitre 11).