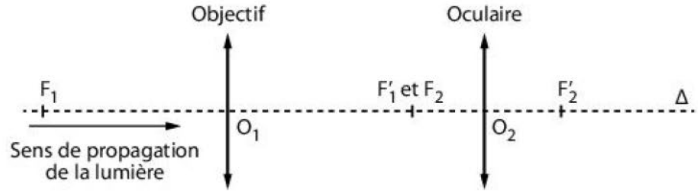
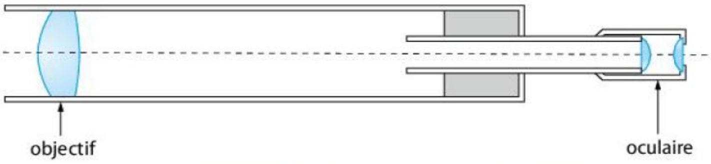
1 La lunette astronomique

Modélisation d'une lunette astronomique afocale



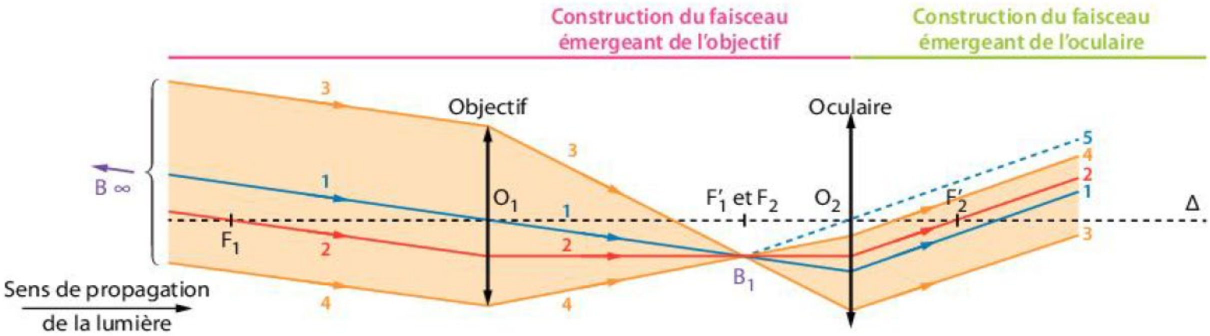
Le foyer image F'_1 de l'objectif est **confondu** avec le foyer objet F_2 de l'oculaire.

Une lunette astronomique est formée de deux systèmes optiques :
– un **objectif** (orienté vers l'objet à observer) de **distance focale** de l'ordre du **mètre** ;
– un **oculaire** (devant lequel on place l'œil) qui joue le rôle de loupe dont la distance focale est de l'ordre du **centimètre**.



Une lunette astronomique qui donne d'un **objet à l'infini**, une **image à l'infini**, donc observable sans accommodation pour un œil normal, est dite **afocale**. Le foyer image **F'_1** de l'objectif **coïncide** avec le foyer objet **F_2** de l'oculaire.

2 La construction du faisceau traversant une lunette afocale

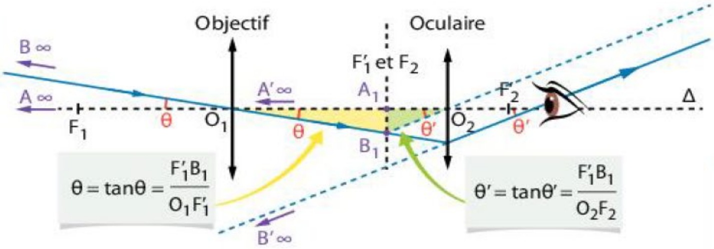


Système **afocal** :
Le faisceau qui est **parallèle à l'entrée** de la lunette (objectif) émerge **parallèle à la sortie** de la lunette (oculaire).

3 Le grossissement d'une lunette afocale

Grossissement G : $G = \dfrac{\theta'}{\theta}$

Avec θ et θ′ petits :



$\theta = \tan\theta = \dfrac{F'_1B_1}{O_1F'_1}$

$\theta' = \tan\theta' = \dfrac{F'_1B_1}{O_2F_2}$

$O_1F'_1 = f'_1$ et $O_2F_2 = O_2F'_2 = f'_2$

Conclusion : $G = \dfrac{f'_1}{f'_2}$

Une lunette astronomique commerciale est caractérisée par deux nombres exprimés en millimètre :
– le **diamètre de son objectif** ;
– la **distance focale de son objectif**.
Il faut donc aussi connaître la distance focale de l'oculaire pour calculer le grossissement d'une lunette afocale.

QCM

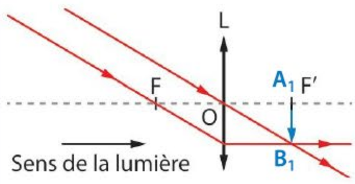
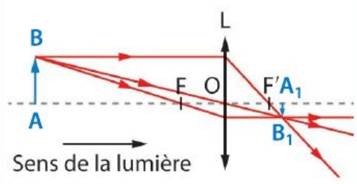
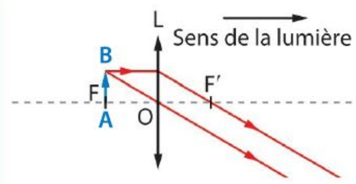
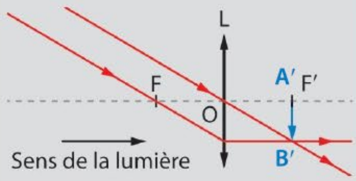
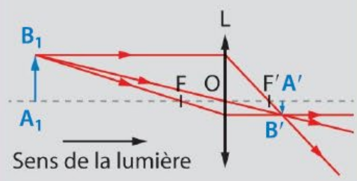
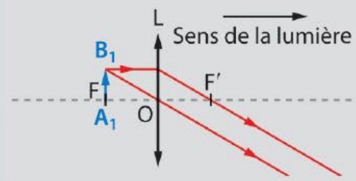
A Lunette afocale

	A	B	C
1 La lunette astronomique est constituée de :	deux lentilles divergentes	deux lentilles convergentes	une lentille convergente puis une lentille divergente
2 La lunette astronomique est également appelée lunette afocale car :	des rayons parallèles incidents ressortent du système en restant parallèles	les deux lentilles utilisées possèdent la même distance focale	le foyer image de l'objectif est confondu avec le foyer objet de l'oculaire
3 Les lunettes astronomiques ont vu leur taille augmenter au cours du XVIII^e siècle :	afin de pouvoir observer des objets plus éloignés	pour limiter l'importance des défauts des lentilles	pour obtenir une image de plus grand taille

B Construction graphique

	A	B	C
4 Pour une observation sans accommodation de l'œil, la distance entre l'objet observé et la lunette astronomique :	doit être faible	doit être très grande	doit donner une image au foyer objet de l'œil
5 L'image donnée par l'objectif se trouve :	entre le centre optique O et le foyer image F′ de l'objectif	au foyer image F′ de l'objectif	après le foyer image F′ de l'objectif
6 L'image obtenue avec l'objectif, qui joue le rôle d'objet pour l'oculaire, doit se trouver :	entre le centre optique O et le foyer objet F de l'oculaire	au foyer objet F de l'oculaire	après le foyer objet F de l'oculaire
7 L'image finale donnée par l'oculaire se trouve :	à l'infini	entre le centre optique O et le foyer image F′ de l'oculaire	après le foyer image F′ de l'oculaire

C Grossissement d'une lunette astronomique

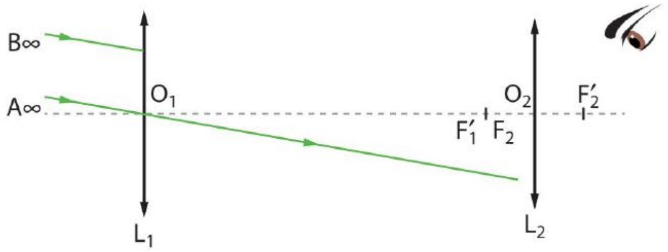
	A	B	C
8 Le parcours des rayons lumineux à travers l'objectif est :			
9 Le parcours des rayons lumineux à travers l'oculaire est :			

10 Focus MÉTHODE 1 Savoir représenter le faisceau émergent issu d'un point objet situé « à l'infini » et traversant une lunette afocale

• Poursuivre le tracé du faisceau incident issu d'un objet à l'infini à travers une lunette astronomique.

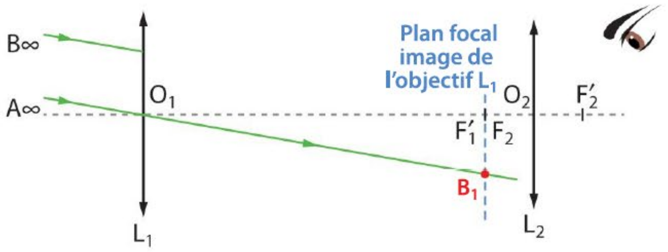
Résolution **Méthode**

1.



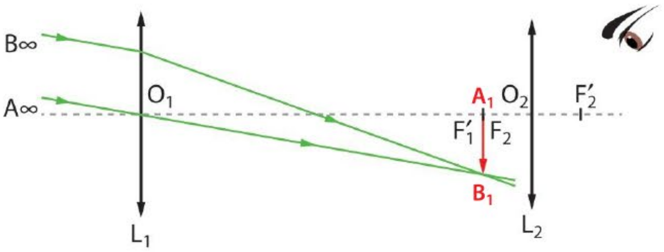
1 Il faut s'appuyer sur des faisceaux dont on est capable de connaître la déviation à travers la lentille. L'objet étant à l'infini, les faisceaux incidents sont tous parallèles entre eux. Le plus simple à tracer est le faisceau passant par le centre optique O_1 puisqu'il n'est pas dévié.

2.



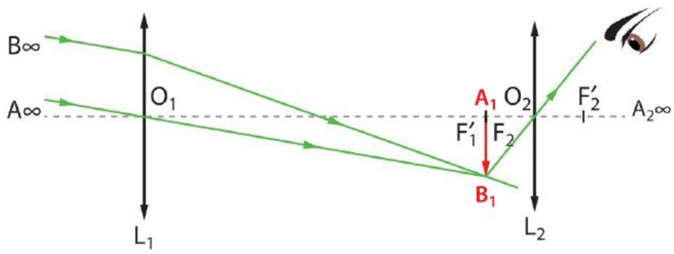
2 Puisque les faisceaux incidents sont parallèles entre eux, ils vont se croiser dans le plan focal image de l'objectif L_1 : au niveau du foyer secondaire image B_1.

3.



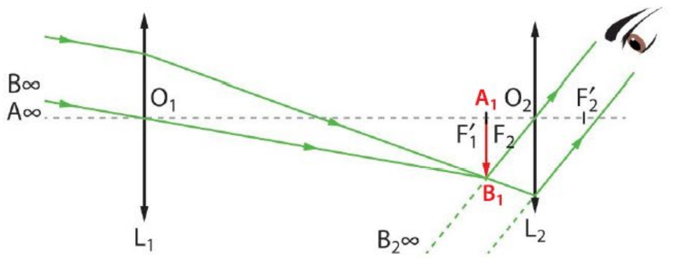
3 Tous les faisceaux émergents de l'objectif L_1 se croisent en B_1. Le point A_1 est placé sur l'axe optique de façon à obtenir l'image intermédiaire A_1B_1 perpendiculaire à l'axe optique.

4.



4 Il faut maintenant considérer l'image intermédiaire A_1B_1 comme l'objet de l'oculaire. Pour cela, il faut chercher l'image de B_1 à travers l'oculaire L_2. Pour cela, on choisit le rayon le plus simple, celui passant par le centre optique O_2.

5.



5 Dernière étape, on prolonge le rayon d'étude jusqu'à l'oculaire et on trace sa partie émergente. L'image intermédiaire se trouvant dans le plan focal objet de l'oculaire, tous les faisceaux émergents sont parallèles entre eux : l'image définitive A_2B_2 est à l'infini (c'est bien le but de la lunette afocale !).

11 Focus MÉTHODE 2 — Exploiter les données caractéristiques d'une lunette commerciale

Énoncé Une lunette astronomique est constituée d'un objectif possédant une distance focale de 600 mm et d'un oculaire permettant un grossissement de 25.

1. Calculer la distance focale de l'oculaire.

2. Calculer la distance qui sépare l'objectif de l'oculaire dans le cas d'une lunette afocale.

3. L'oculaire est remplacé par une lentille convergente de distance focale 4,0 cm.
Indiquer quel réglage doit être fait pour conserver une lunette afocale.

4. Calculer le grossissement de cette nouvelle lunette.

Résolution

1. $G = \dfrac{f'_{\text{objectif}}}{f'_{\text{oculaire}}}$ ce qui donne : $f'_{\text{oculaire}} = \dfrac{f'_{\text{objectif}}}{G} = \dfrac{600\text{ mm}}{25} = 24\text{ mm}$

La distance focale de l'oculaire vaut 24 mm.

2. La distance séparant l'objectif de l'oculaire vaut :

$$D = f'_{\text{objectif}} + f'_{\text{oculaire}} = 600 + 24 = 624\text{ mm}$$

3. Il faut allonger la distance séparant l'objectif de l'oculaire afin de conserver la coïncidence entre le foyer image de l'objectif et le foyer objet de l'oculaire.

4. $G = \dfrac{f'_{\text{objectif}}}{f'_{\text{oculaire}}} = \dfrac{600\text{ mm}}{40\text{ mm}} = 15.$

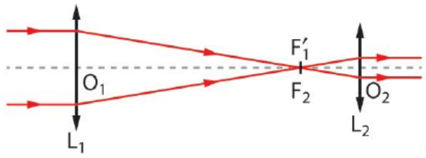
Le grossissement est maintenant de 15.

Méthode

1 Faire appel à la formule du grossissement et isoler la distance focale de l'oculaire f'_2.

2 Pour une lunette afocale, se rappeler que les centres optiques sont séparés de la somme des distances focales de l'objectif et de l'oculaire.

3



4 Faire appel à la formule du grossissement et faire attention aux unités.

12 Focus MÉTHODE 3 — Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale

Énoncé Le grossissement G d'un instrument d'optique se calcule : $G = \dfrac{\alpha'}{\alpha}$.

1. Établir l'expression du grossissement de la lunette astronomique en fonction des distances focales de l'objectif et de l'oculaire dont les caractéristiques sont les suivantes : $f'_{\text{objectif}} = 500\text{ mm}$ et $f'_{\text{oculaire}} = 20\text{ mm}$.

2. Calculer le grossissement de cette lunette.

Résolution

1. Le grossissement peut se calculer à l'aide des distances focales des objectif et oculaire. Pour cela, exprimons $\tan\alpha$ et $\tan\alpha'$:

$$\tan\alpha = \frac{A_1B_1}{O_1F'_1} = \frac{A_1B_1}{f'_1} \text{ et } \tan\alpha' = \frac{A_1B_1}{O_2F_2} = \frac{A_1B_1}{f'_2}$$

Étant donné que les angles α et α' sont petits, on peut assimiler $\tan\alpha$ à α et $\tan\alpha'$ à α', ce qui nous permet d'écrire :

$$\alpha = \frac{A_1B_1}{f'_1} \text{ et } \alpha' = \frac{A_1B_1}{f'_2}$$

Finalement, on obtient :

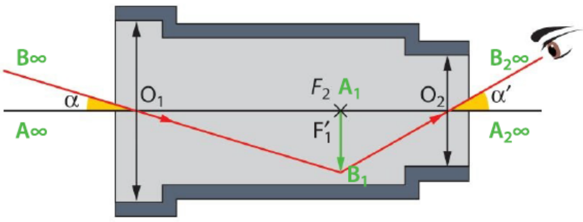
$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{A_1B_1}{f'_2} \times \frac{f'_1}{A_1B_1} = \frac{f'_1}{f'_2} = \frac{f'_{\text{objectif}}}{f'_{\text{oculaire}}}$$

2. $G = \dfrac{f'_{\text{objectif}}}{f'_{\text{oculaire}}} = \dfrac{500\text{ mm}}{20\text{ mm}} = 25$

Le grossissement de cette lunette est de 25.

Méthode

1 Pour bien comprendre la situation, il faut commencer par se représenter les angles α (l'angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu) et α' (l'angle sous lequel on voit l'image d'un objet à travers l'instrument).



2 Lors de l'application numérique, il faut que les deux distances focales soient exprimées dans la même unité. Le grossissement ne possède pas d'unité.

1 Exercice

Une lunette astronomique

| Faire un schéma adapté ; effectuer des calculs.

Une lunette astronomique afocale est constituée d'un objectif de distance focale $f'_1 = 800$ mm et d'un oculaire de distance focale $f'_2 = 100$ mm.

1. Schématiser cette lunette astronomique sans souci d'échelle mais de façon cohérente.

2. On observe un point objet B situé à l'infini. Un rayon issu de B atteint le centre optique de l'objectif selon une direction faisant un angle $\theta = 0{,}020$ rad par rapport à l'axe optique.
a. Représenter ce rayon issu de B sans souci d'échelle.
b. Représenter le point image B_1 de B donné par l'objectif, puis le point image B' donné finalement par l'oculaire.
c. Représenter le faisceau émergent issu du point B s'appuyant sur les bords de l'objectif et traversant la lunette.

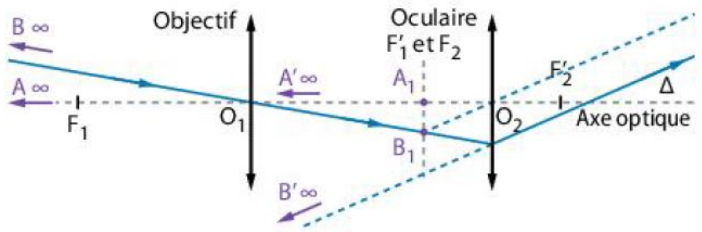
3. On observe un objet AB infiniment éloigné avec cette lunette, le point A étant sur l'axe optique. θ est l'angle sous lequel cet objet est vu à l'œil nu et θ' l'angle sous lequel son image A'B' est vue à travers la lunette.
a. Exprimer la taille de l'image intermédiaire A_1B_1 en fonction de $O_1F'_1$ et θ. Calculer A_1B_1.
b. Exprimer la tangente de l'angle θ' en fonction de O_2F_2 et A_1B_1. Calculer l'angle θ'.
c. Calculer le grossissement G.

4. Établir le grossissement G en fonction des distances focales f'_1 et f'_2. Le calculer et le comparer au résultat précédent.

24 (40 min) Grossissement et œil réduit

| Faire un schéma adapté ; mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs ; écrire un résultat de manière adaptée.

On modélise une lunette astronomique afocale par deux lentilles minces convergentes L_1 et L_2 de distances focales respectives $f'_1 = (50{,}0 \pm 0{,}1)$ cm et $f'_2 = (5{,}0 \pm 0{,}1)$ cm.
On dispose d'une troisième lentille mince convergente L_3 de distance focale $f'_3 = 20{,}0$ cm et d'un écran afin de modéliser un œil.
On souhaite observer, à l'aide de la lunette afocale, un bâtiment AB supposé à l'infini et vu à l'œil nu sous un angle θ.
On a schématisé ci-dessous la situation sans souci d'échelle.



1. a. Définir le grossissement G de cette lunette astronomique.
b. Recopier et compléter le schéma en plaçant les angles θ et θ' correspondants.

On remplace la lunette par le modèle de l'œil réduit.
2. a. Construire, sans souci d'échelle, l'image A_3B_3 de l'objet AB supposé à l'infini donnée par la lentille L_3.
b. Où retrouve-t-on l'angle θ sur le schéma ?
c. Exprimer puis calculer θ en fonction de f'_3 et A_3B_3, sachant que l'on mesure sur l'écran $A_3B_3 = 1{,}3$ cm.

On place maintenant le modèle de l'œil derrière la lunette astronomique afocale.
3. a. Que représente A'B' pour la lentille L_3 ?
b. Construire l'image $A'_3B'_3$ de A'B' à travers la lentille L_3. Où retrouve-t-on l'angle θ' ?
c. Calculer θ' sachant que l'on mesure $A'_3B'_3 = 14{,}9$ cm sur l'écran modélisant la rétine.

4. Calculer alors le grossissement G de cette lunette.

5. a. Exprimer le grossissement G de cette lunette astronomique afocale en fonction de f'_1 et f'_2. Le calculer.
b. Évaluer l'incertitude-type de mesure $u(G)$ sur le grossissement G qui a pour expression :

$$u(G) = G \times \sqrt{\left(\frac{u(f'_1)}{f'_1}\right)^2 + \left(\frac{u(f'_2)}{f'_2}\right)^2}$$

Exprimer le résultat sous la forme $G \pm u(G)$.
c. Ce résultat confirme-t-il le grossissement déterminé expérimentalement ?

39 Observations terrestre EXERCICE TYPE BAC

50 min

COM Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente

Une lunette astronomique peut être transformée en lunette terrestre en interposant entre l'objectif et l'oculaire une troisième lentille appelée véhicule.

Pour comprendre l'intérêt de ce dispositif, on modélise cette lunette à l'aide d'un objectif L_1 de distance focale $f'_1 = 10$ cm, d'un oculaire L_2 de distance focale $f'_2 = 2{,}0$ cm et d'un véhicule L_V de distance focale $f'_V = 2{,}0$ cm.

On observe à travers à travers la lunette un objet AB suffisamment éloigné pour pouvoir considérer qu'il est à l'infini.

Données : *La Tour Montparnasse, haute de 210 m, est située à 6 km de la Tour Eiffel.*

Pour une observation sans fatigue, l'image finale A'B' doit se trouver à l'infini.

1. Sur un schéma, à l'échelle 1/1, construire l'image intermédiaire A_1B_1 donnée par l'objectif L_1.

2. Le véhicule est placé à 14 cm de l'objectif de telle façon qu'il donne de l'image intermédiaire A_1B_1 une image A_VB_V de même taille que A_1B_1 mais renversée par rapport à A_1B_1.

a. Positionner la lentille L_V sur le schéma précédent et représenter l'image A_VB_V.

b. Vérifier graphiquement que le grandissement $\overline{\gamma}$ du véhicule vaut effectivement – 1.

c. Positionner, à l'échelle 1/1, la lentille L_2 sur le schéma précédent et construire l'image définitive A'B' donnée par la lentille L_2.

3. Justifier l'intérêt d'ajouter la lentille véhicule pour l'observation d'objets situés à la surface de la Terre alors que cela n'est pas nécessaire lorsqu'on observe un astre.

4. a. Déterminer l'expression du grossissement $\overline{G}$ de cette lunette et calculer sa valeur.

b. Calculer l'angle sous lequel on verrait la Tour Montparnasse à travers cette lunette située au deuxième étage de la Tour Eiffel.