

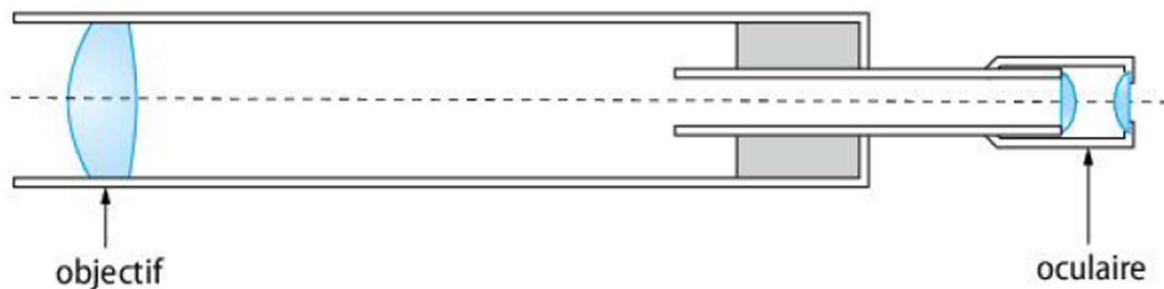
Lunette Astronomique

Modèle optique d'une lunette afocale

Constitution

Une lunette astronomique est formée de deux système convergents :

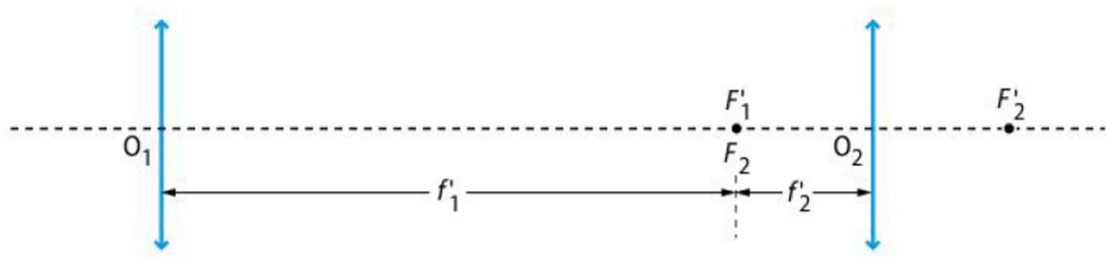
- Un objectif, orienté vers l'objet à observer, et de distance focale de l'ordre du mètre
- Un oculaire, devant lequel on place l'œil, et qui joue le rôle de loupe dont la distance focale est de l'ordre du centimètre



Remarque : l'oculaire est un système optique convergent composé d'une association de plusieurs lentilles convergentes.

Schéma d'une lunette afocale

- L'objectif et l'oculaire sont modélisés par deux lentilles minces convergentes ayant le même axe optique
- Lorsque le foyer image de l'objectif et le foyer image de l'oculaire sont confondus, la lunette est dite afocale.



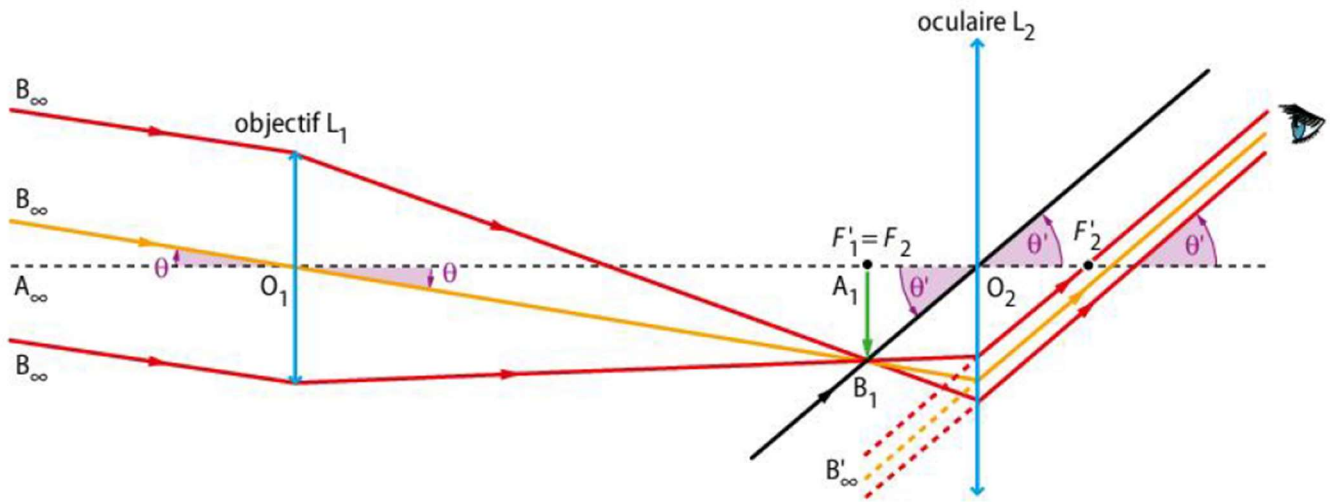
Remarque : la distance focale de l'objectif est toujours beaucoup plus grande que celle de l'oculaire.

Formation des images

Hypothèse : l'objet est placé à l'infini.

- On admet qu'un point objet B infiniment éloigné de l'objectif émet un faisceau lumineux parallèle vers l'objectif.
- L'objectif donne de ce point objet, un point B_1 appelé image intermédiaire.
- Ce point image intermédiaire sert ensuite de point objet pour l'oculaire, qui se comporte comme une loupe.
- L'oculaire forme alors l'image finale B' de l'objet.

Remarque : L'image B' se trouve à l'infini. Par conséquent, l'œil n'a pas besoin d'accommoder.



- Relation de conjugaison :

Appliquée à l'objectif

$$\frac{1}{\overline{O_1 A_1}} = \frac{1}{\overline{O_1 A}} + \frac{1}{f'_1}$$

L'objet AB étant à l'infini :

$$\overline{O_1 A} \rightarrow \infty \text{ donc } \frac{1}{\overline{O_1 A}} \rightarrow 0$$

$$\text{soit } \overline{O_1 A_1} = f'_1 = \overline{O_1 F'_1}$$

Le point A_1 image du point A est donc confondu avec le foyer image F'_1 et **l'image intermédiaire $A_1 B_1$ se forme dans le plan focal image de l'objectif.**

Appliquée à l'oculaire

$$\frac{1}{\overline{O_2 A'}} = \frac{1}{\overline{O_2 A_1}} + \frac{1}{f'_2}$$

L'image $A' B'$ étant à l'infini :

$$\overline{O_2 A'} \rightarrow \infty \text{ donc } \frac{1}{\overline{O_2 A'}} \rightarrow 0$$

$$\text{soit } \overline{O_2 A_1} = -f'_2 = -\overline{O_2 F'_2} = \overline{O_2 F_2}$$

Le point A_1 image du point A est donc confondu avec le foyer objet F_2 et **l'image intermédiaire $A_1 B_1$ se forme dans le plan focal objet de l'oculaire.**

Limite en l'infini de la fonction $\frac{1}{x}$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{x} = 0$$

Méthode de construction graphique :

Première étape de construction

1^{re} étape – Faisceau émergent de l'objectif

- Tracer :
 - le rayon (1) issu de B passant par O_1 , non dévié ;
 - le rayon (2) issu de B passant par le foyer F_1 qui émerge de l'objectif parallèlement à l'axe optique ;
 - le point B_1 , image du point B, situé à l'intersection des rayons (1) et (2) :

Deuxième étape de construction

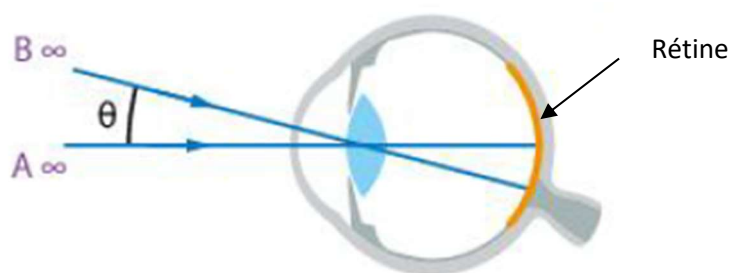
2^e étape – Faisceau émergent de l'oculaire

- Tracer le rayon (5) issu de B_1 passant par O_2 , non dévié.
- Prolonger :
 - le rayon (2) émergent de l'oculaire qui coupe l'axe optique au foyer F'_2 ;
 - les rayons (3) et (4) émergent de l'oculaire qui sont parallèles aux rayons (2) et (5).

Caractéristiques d'une lunette commerciale

Remarques

Observation d'un objet situé à l'infini pour l'œil :

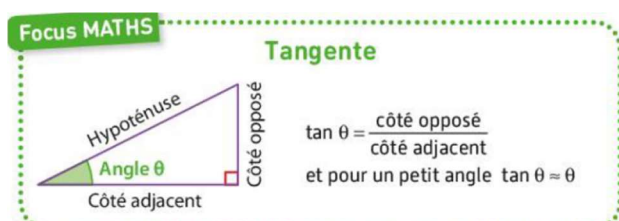


L'œil peut être modélisé par une lentille convergente. Pour un objet situé à l'infini, l'image se forme dans le foyer image de la lentille qui correspond à la rétine.

Pour un objet qui n'est pas situé à l'infini, l'image ne se forme pas dans le plan focal image de la lentille. L'œil est obligé de s'accommoder c'est-à-dire de modifier sa distance focale pour que l'image se forme sur la rétine.

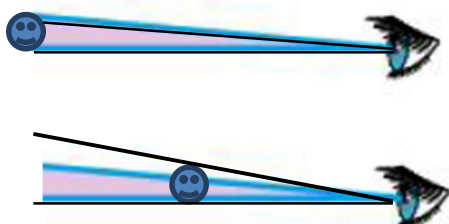
La distance entre le cristallin (lentille convergente) et la rétine ne peut être modifiée. C'est la distance focale de la lentille convergente qui est modifiée pour que l'image se forme toujours au même endroit sur la rétine.

Tangente

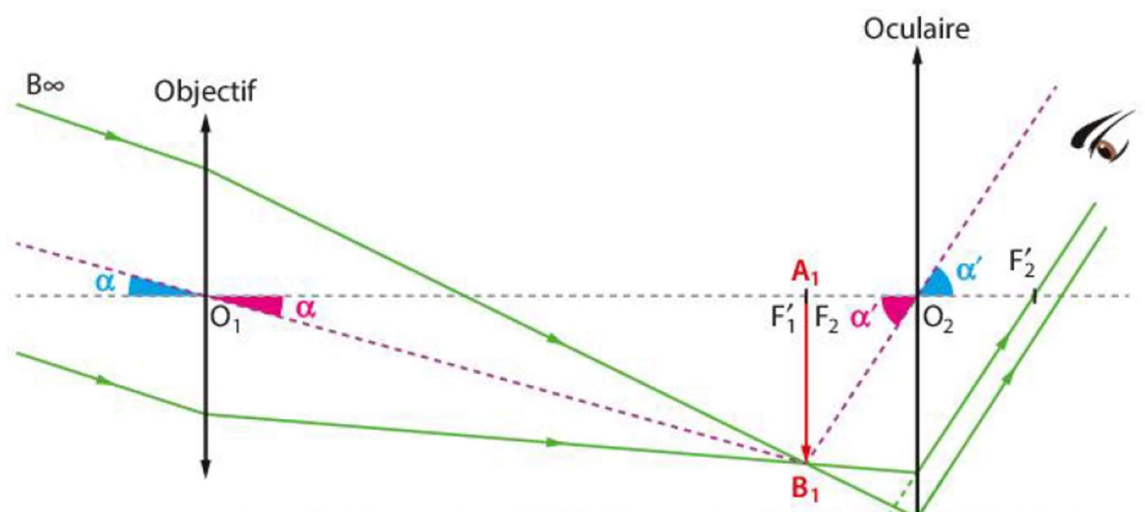


Grossissement

- Le diamètre apparent d'un objet est l'angle α sous lequel un observateur voit l'objet. Cet angle dépend de la distance à laquelle se trouve l'objet :



- Le grossissement G



Le grossissement G d'un instrument d'optique est une grandeur sans unité et se calcule à l'aide de la relation :

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

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

$$\tan \alpha = \frac{A_1 B_1}{O_1 F'_1} = \frac{A_1 B_1}{f'_1} \quad \text{et} \quad \tan \alpha' = \frac{A_1 B_1}{O_2 F_2} = \frac{A_1 B_1}{f'_2}$$

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

$$\alpha = \frac{A_1 B_1}{f'_1} \quad \text{et} \quad \alpha' = \frac{A_1 B_1}{f'_2}$$

Finalement, on obtient :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{A_1 B_1}{f'_2} \times \frac{f'_1}{A_1 B_1} = \frac{f'_1}{f'_2}$$

- Pour que $G > 1$, il faut bien évidemment que $f'_1 > f'_2$
- Une lunette afocale donne d'un objet AB à l'infini une image $A'B'$ à l'infini. Cette image $A'B'$ à l'infini devient pour l'objet pour l'œil qui peut l'observer sans accommoder. L'œil ne fatigue pas.

1. Caractéristiques d'une lunette



Une lunette astronomique est caractérisée par deux nombres :

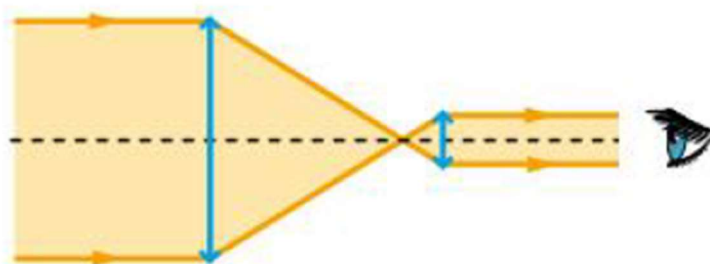
- Le diamètre de son objectif exprimé en millimètre ;
- La distance focale de l'objectif exprimée en millimètre.

On donne également la distance focale des oculaires vendus avec la lunette ;

Les caractéristiques d'une lunette permettent notamment de calculer son grossissement dans le cas d'une utilisation en tant que lunette afocale.

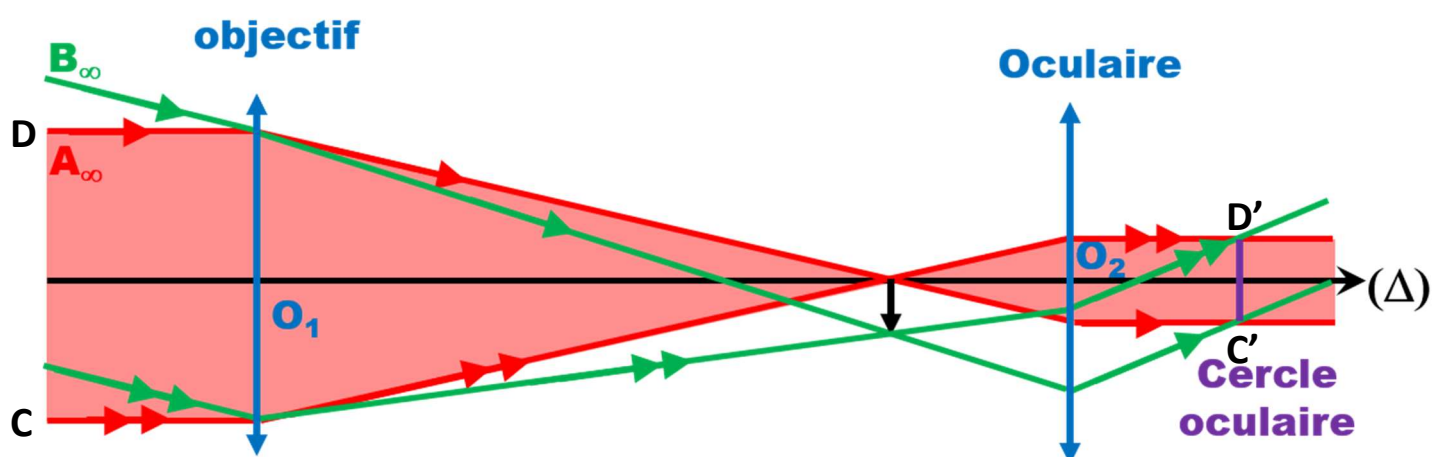
Remarques :

- Plus le diamètre de l'objectif est grand, plus la quantité de lumière collectée par la lunette et qui pénètre dans l'œil à la sortie de l'oculaire est grande.



Observation d'une étoile
à travers la lunette

- Le cercle oculaire :



Le cercle oculaire $C'D'$ est l'image de l'objectif CD par l'oculaire. Le cercle oculaire constitue la section la plus étroite du faisceau qui sort de la lunette ; C' est en plaçant la pupille de l'œil dans le plan du cercle oculaire que l'œil recevra le plus de lumière. Pour une bonne lunette le diamètre du cercle oculaire est plus petit que celui de la pupille.

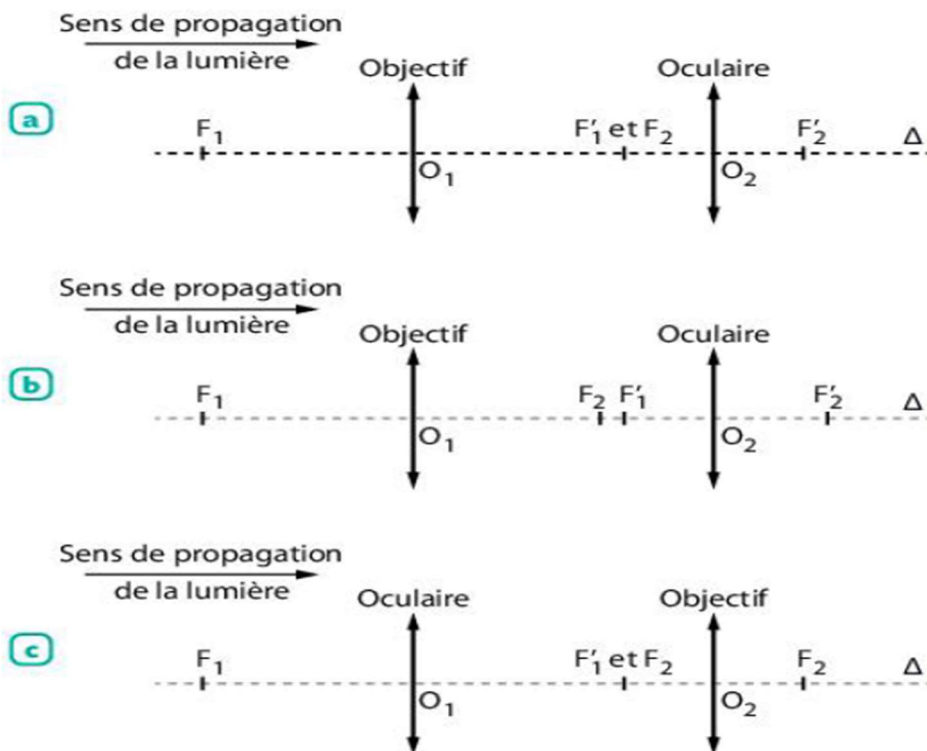
Exercices

Exercice 1 : QCM

Exercice 2 : Reconnaître la schématisation d'une lunette afocale

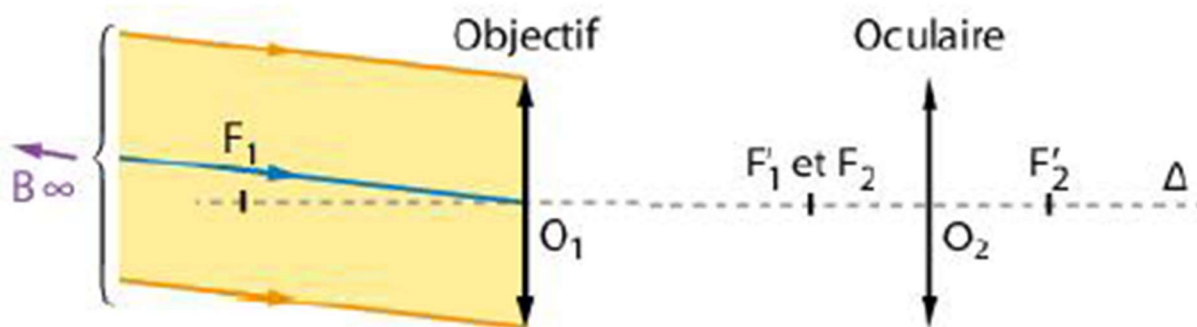
- Quelle est la schématisation correcte d'une lunette afocale parmi celles ci-dessous ? Justifier le choix.

exe 1



Exercice 3 : Représenter le schéma émergent d'une lunette afocale

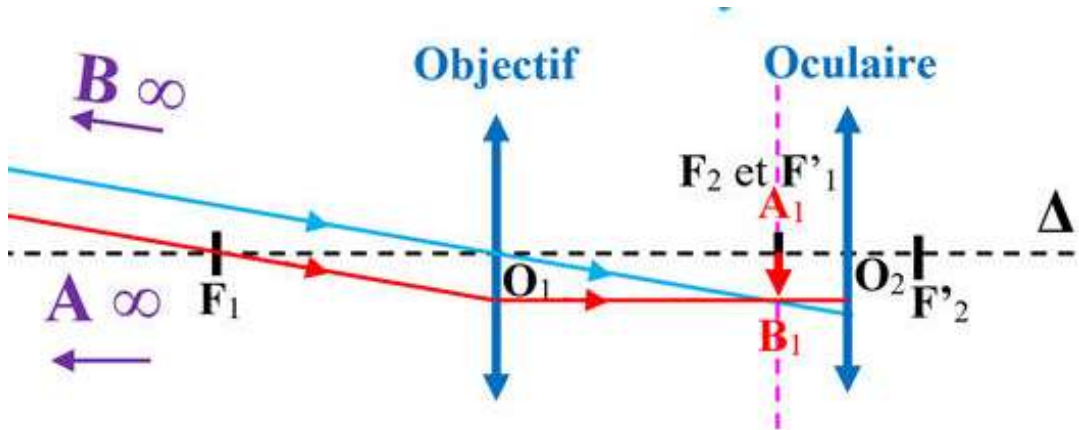
On a schématisé ci-dessous une lunette astronomique afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes. On a représenté le faisceau lumineux issu d'un point objet B situé à l'infini éclairant l'objectif de la lunette.



Représenter les faisceau émergent issu du point objet B après traversé de cette lunette

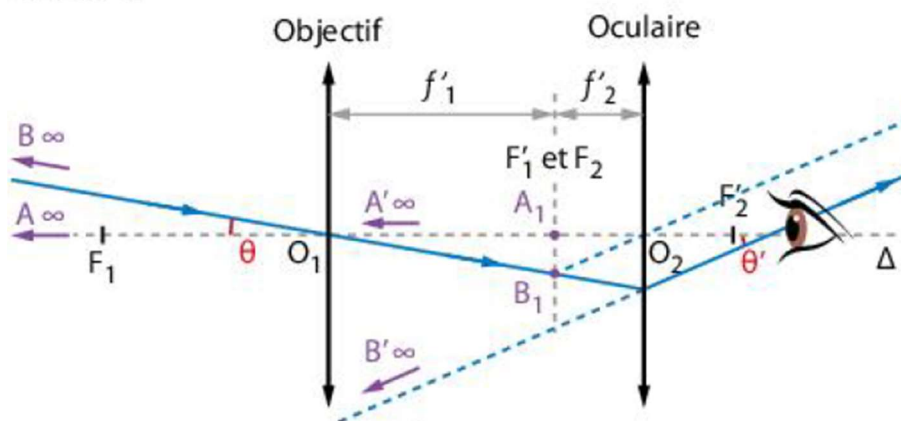
Exercice 4 : Tracer l'image d'un objet situé à l'infini donnée par une lunette astronomique

On a représenté, sur le schéma ci-dessous, l'image A_1B_1 d'un objet AB situé à l'infini donnée par l'objectif d'une lunette afocale. A_1B_1 devient objet pour l'oculaire. Compléter les deux rayons émergeant de l'oculaire.



Exercice 5 : Etablir l'expression du grossissement

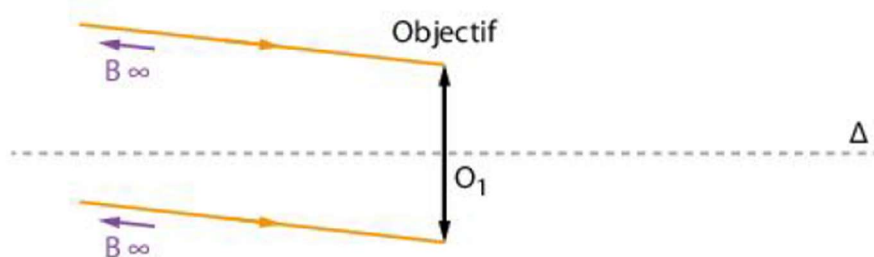
On a représenté ci-dessous le schéma d'une lunette afocale.



1. Justifier que $\tan \theta = \frac{A_1B_1}{O_1F_1'}$.
2. Exprimer $\tan \theta'$ en fonction de A_1B_1 et O_2F_2 .
3. Les angles θ et θ' étant petits, exprimer le grossissement G en fonction de f_1' et f_2 .

Exercice 6 : Tracer d'un faisceau lumineux

On a représenté ci-dessous un faisceau lumineux délimité par deux rayons issus d'un point objet B situé à l'infini. Ces rayons arrivent sur une lentille mince convergente modélisant l'objectif d'une lunette astronomique afocale.



L'objectif a une distance focale $f'_1 = 20$ cm et la lentille oculaire, non représentée, a une distance focale $f'_2 = 5,0$ cm.

1. Reproduire le schéma de cette lunette astronomique afocale en prenant pour échelle 1,0 cm sur le schéma pour 5,0 cm dans la réalité.
2. Où le point objet B est-il situé ?
3. a. Où l'image intermédiaire B_1 du point objet B à travers l'objectif de la lunette se forme-t-elle ?
b. Le plan perpendiculaire à l'axe optique qui contient B_1 est le plan focal image de l'objectif et également le plan focal objet de l'oculaire. Justifier l'expression « plan focal ».
4. Tracer le trajet du faisceau lumineux entre les lentilles objectif et oculaire.
5. a. Où l'image finale B' de B_1 donnée par l'oculaire se forme-t-elle ?
b. Comment les rayons émergent-ils de l'oculaire ?
c. Prolonger le faisceau émergeant de la lunette astronomique.

En 1834, François ARAGO (ci-contre) propose à Victor HUGO d'observer la Lune à l'aide d'une lunette astronomique. Victor HUGO écrit plus tard dans « Le promontoire du songe » :



« ARAGO : Regardez.

Un instant après, ARAGO poursuivit.

ARAGO : Vous venez de faire un voyage.

HUGO : Quel voyage ?

ARAGO : Tout à l'heure, comme tous les habitants de la Terre, vous étiez à quatre-vingt-dix mille lieues de la Lune.

HUGO : Eh bien ?

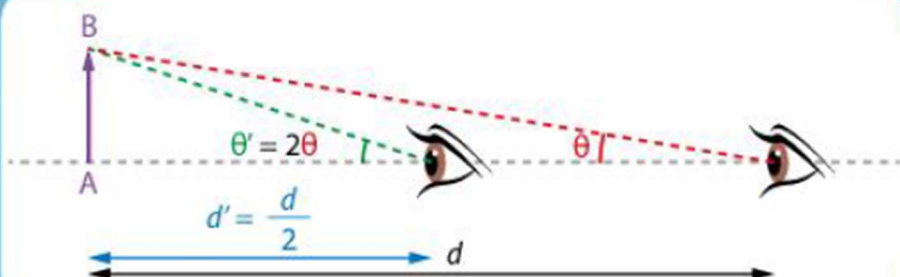
ARAGO : Vous en êtes maintenant à deux cent vingt-cinq lieues. »

- L'affirmation de François ARAGO est-elle exacte ?

A Lunette astronomique de François ARAGO

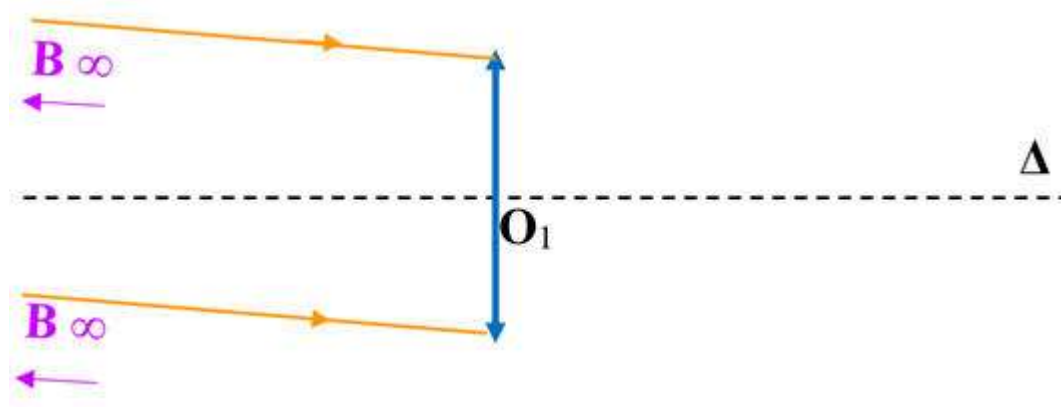
On estime que la lunette astronomique qu'utilisait F. ARAGO avait un objectif de distance focale $f'_1 = 6,0 \text{ m}$ et un oculaire de distance focale $f'_2 = 1,5 \text{ cm}$.

B Distance et angle



Exercice 9 : Une lunette astronomique

On a représenté ci-dessous un faisceau lumineux délimité par deux rayons issus d'un point objet **B** situé à l'infini. Ces rayons arrivent sur une lentille mince convergente modélisant l'objectif d'une lunette astronomique afocale.



L'objectif a une distance focale $f_1 = 20$ cm et la lentille oculaire, non représentée, a une distance focale $f_2 = 5,0$ cm.

1. Reproduire le schéma de cette lunette astronomique afocale en prenant l'échelle 1,0 cm sur le schéma pour 5,0 cm dans la réalité.
2. Où le point **B** est-il situé ?
3. A) Où l'image intermédiaire **B₁** du point **B** à travers l'objectif de la lunette se forme-t-elle ?
3. B) Le plan perpendiculaire à l'axe optique qui contient **B₁** est le plan focal image de l'objectif et également le plan focal objet de l'oculaire. Justifier l'expression « plan focal ».
4. Tracer le trajet du faisceau lumineux entre la lentille et l'oculaire.
5. A) Où l'image finale **B'** de **B₁** donnée par l'oculaire se forme-t-elle ?
5. B) Comment les rayons émergent-ils de l'oculaire ?
5. C) Prolonger le faisceau émergeant de la lunette astronomique ?