ONDES LUMINEUSES
OPTIQUE – LA LUNETTE ASTRONOMIQUE

3 Schématiser une lunette afocale

| Faire un schéma adapté.

On modélise une lunette afocale par deux lentilles minces convergentes, un objectif de distance focale 20,0 cm et un oculaire de distance focale 5,0 cm.

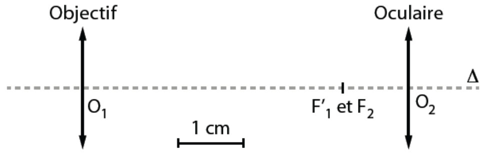
1. Définir une lunette astronomique afocale.

2. Schématiser cette lunette afocale (échelle : 1,0 cm sur le schéma représente 5,0 cm dans la réalité).

3 Schématiser une lunette afocale

1. Une lunette astronomique afocale est constituée de deux lentilles minces convergentes, l'objectif et l'oculaire. Les deux lentilles ont le même axe optique. La distance focale de l'objectif est supérieure à la distance focale de l'oculaire. Le foyer image de l'objectif est confondu avec le foyer objet de l'oculaire.

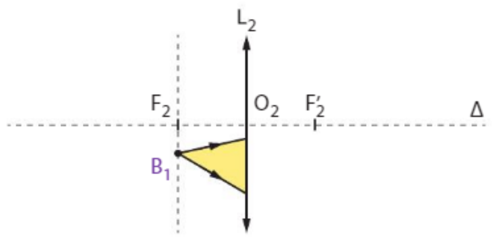
2.



5 Représenter un faisceau lumineux émergent

| Faire un schéma adapté.

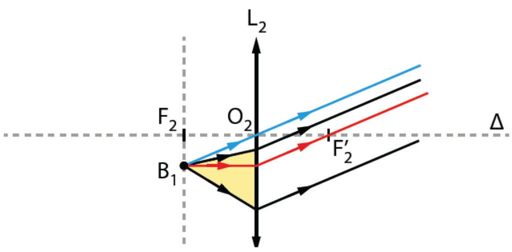
Un point objet B_1 éclaire une lentille mince convergente. Sur le schéma ci-dessous, on a représenté le faisceau lumineux incident.



• Reproduire le schéma et représenter le faisceau émergeant de la lentille mince convergente.

5 Représenter un faisceau lumineux émergent

On trace d'abord le rayon lumineux (B_1O_2) qui n'est pas dévié par la lentille. Ensuite, on trace le rayon passant par B_1 et parallèle à l'axe optique qui converge vers F'_2. Ces deux rayons émergents sont parallèles, ils donnent la direction du faisceau émergent. On complète alors le tracé des rayons donnés par l'énoncé.

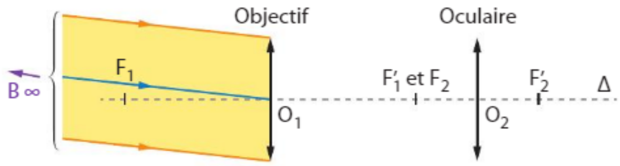


6 Représenter le faisceau émergeant d'une lunette afocale

CORRIGÉ

| Faire un schéma adapté.

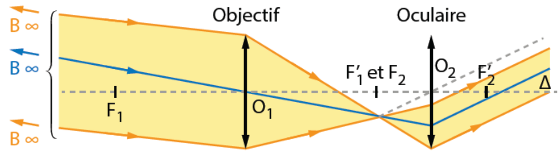
On a schématisé ci-dessous une lunette astronomique afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes. On a représenté le faisceau lumineux issu d'un point objet B situé à l'infini éclairant l'objectif de la lunette.



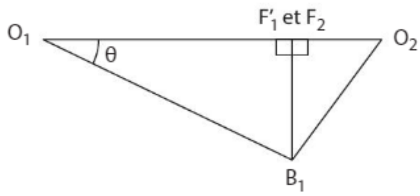
• Reproduire le schéma et représenter le faisceau émergent issu du point objet B après traversée de cette lunette.

6 Représenter le faisceau émergeant d'une lunette afocale

CORRIGÉ



8 Manipuler une tangente



1. Exprimer la tangente de l'angle θ dans le triangle $B_1O_1F'_1$.

2. Dans le triangle $B_1O_2F_2$, on écrit : $\tan\theta' = \dfrac{F_2B_1}{O_2F_2}$.

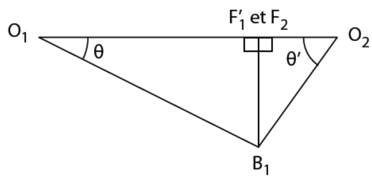
a. Reproduire le schéma et repérer l'angle θ'.

b. À quelle condition peut-on écrire que $\theta' = \dfrac{F_2B_1}{O_2F_2}$?

8 Côté maths
Manipuler une tangente

1. D'après le schéma, $\tan\theta = \dfrac{F'_1B_1}{O_1F'_1}$.

2. a. En appliquant la définition de θ' donnée dans l'énoncé :



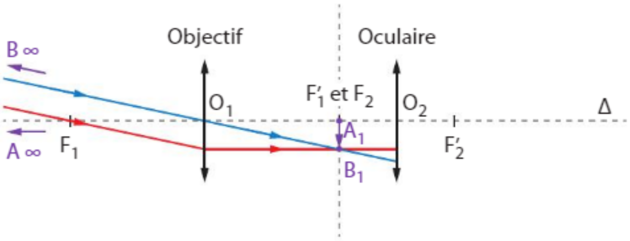
b. Il faut que l'angle θ' soit petit et exprimé en radian (inférieur à 0,3 rad, soit 17°).

9 Tracer l'image d'un objet situé à l'infini donnée par une lunette astronomique (1)

CORRIGÉ

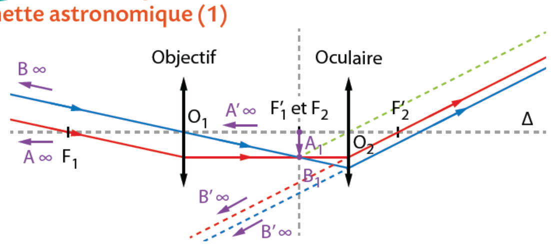
| Faire un schéma adapté.

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.



• Reproduire le schéma et le compléter avec les deux rayons émergeant de l'oculaire.

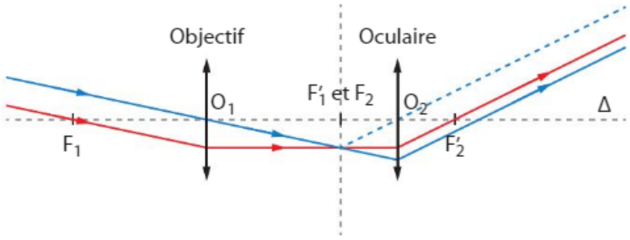
9 Tracer l'image d'un objet situé à l'infini donnée par une lunette astronomique (1)



10 Tracer l'image d'un objet situé à l'infini donnée par une lunette astronomique (2)

| Exploiter un schéma.

On a tracé sur le schéma ci-dessous deux rayons issus du point B d'un objet AB situé à l'infini, le point A étant sur l'axe optique.



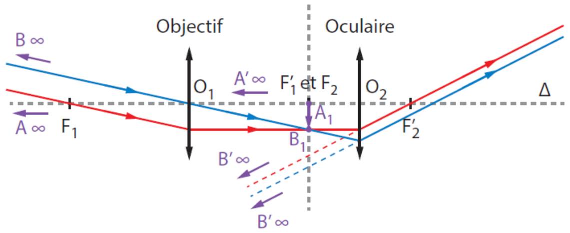
1. Reproduire le schéma.

2. a. Placer l'image A_1B_1 de l'objet AB donnée par l'objectif.

b. Où se situe l'image A'B' de l'objet A_1B_1 donnée par l'oculaire ?

10 Tracer l'image d'un objet situé à l'infini donnée par une lunette astronomique (2)

1. et **2. a.** Construction de l'image A_1B_1 :



b. L'oculaire donne une image A'B' rejetée à l'infini.

14 Exploiter les caractéristiques d'une lunette commerciale

| Exploiter des informations.

1. Quelle est la distance focale de l'objectif de cette lunette astronomique ?

2. Quel est le diamètre de l'objectif de cette lunette astronomique ?

14 Exploiter les caractéristiques d'une lunette commerciale (2)

1. Le deuxième nombre indiqué correspond à la distance focale, en millimètre, de l'objectif de la lunette commerciale. On a $f' = 900$ mm.

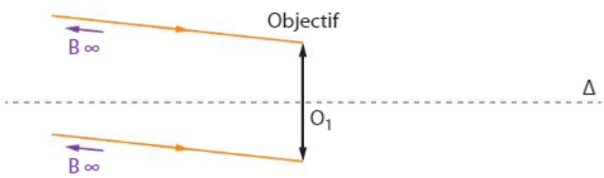
2. Le premier nombre indiqué correspond au diamètre, en millimètre, de l'objectif de la lunette commerciale.
On a $D = 70$ mm.

15 Trajet d'un faisceau lumineux

CORRIGÉ

| Faire un schéma adapté ; mobiliser et organiser ses connaissances.

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 ?

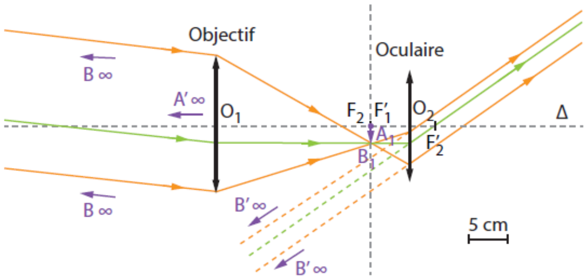
b. Le plan perpendiculaire à l'axe optique qui contient B_1 est le plan focal image de l'objectif et également le plan focal objet de l'oculaire. Justifier l'expression « plan focal ».

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.

15 Trajet d'un faisceau lumineux

1. La distance focale de l'objectif devrait être 4 cm sur le schéma (20 cm à taille réelle) et celle de l'oculaire 1 cm (5 cm à taille réelle).



2. Le point objet B est à l'infini.
3. a. L'image intermédiaire B_1 se trouve dans le plan perpendiculaire à l'axe optique et contenant le foyer image F'_1, à l'intersection de ce plan avec le rayon émergeant de l'objectif.
b. L'expression « plan focal » signifie que ce plan perpendiculaire à l'axe optique contient le foyer objet de l'oculaire et image de l'objectif.
4. Voir figure.
5. a. et **b.** L'image B' est rejetée à l'infini, dans l'espace objet de l'oculaire. Les rayons qui émergent de l'oculaire sont parallèles entre eux.
c. Voir figure.

17 Construction graphique

| Faire un schéma adapté.

On observe un objet AB à l'infini à l'aide d'une lunette afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes de distance focale 5,0 cm et 50,0 cm. Le point objet A se situe sur l'axe optique de la lunette.

1. Quelle lentille modélise l'objectif ?

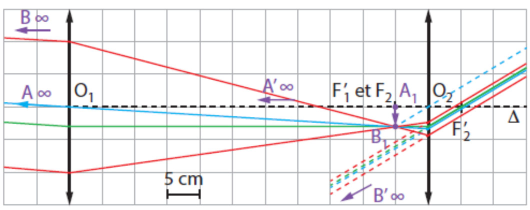
2. Schématiser cette lunette en prenant comme échelle 1,0 cm sur le schéma pour 5,0 cm dans la réalité.

3. Construire l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB donnée par la lentille objectif.

4. Construire l'image A'B' de l'objet AB à travers la lunette.

17 Construction graphique

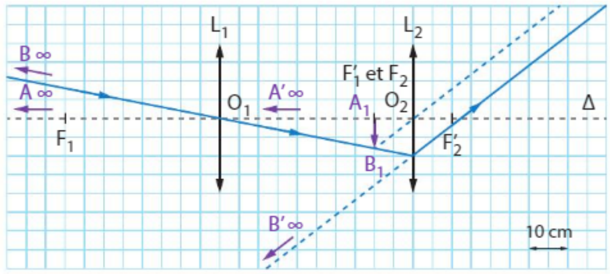
1. La lentille de plus grande distance focale (50,0 cm) modélise l'objectif.
L'oculaire a pour distance focale 5,0 cm.
2. 3. et **4.**



19 Une lunette par le calcul

| Exploiter un schéma, des informations ; effectuer des calculs.

On a schématisé ci-dessous une lunette astronomique afocale modélisée par deux lentilles minces L_1 et L_2. On a également représenté la construction graphique de l'image A'B' d'un objet AB, situé à l'infini, donnée par la lunette astronomique.



1. a. Quelle lentille modélise l'objectif ?

b. Déterminer graphiquement les distances focales de l'objectif et de l'oculaire.
2. a. Déterminer graphiquement la position de l'image intermédiaire A_1B_1 donnée par L_1.
b. Retrouver ce résultat à l'aide de la relation de conjugaison appliquée à la lentille L_1.

3. a. Déterminer graphiquement la position de l'image finale A'B' de l'objet A_1B_1 donnée par L_2.

b. Retrouver ce résultat à l'aide de la relation de conjugaison appliquée à la lentille L_2.

Donnée

Relation de conjugaison :
$$\frac{1}{x_{A'}} - \frac{1}{x_A} = \frac{1}{f'} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

19 Une lunette par le calcul

1. a. La lentille L_1 modélise l'objectif.
b. On relève $f'_1 = 40$ cm et $f'_2 = 10$ cm.
2. a. On relève $x'_1 = 40$ cm.
b. On a : $\frac{1}{x'_1} - \frac{1}{x} = \frac{1}{f'_1}$; or $x \to -\infty$ et donc $x'_1 = f'_1$ soit 40 cm.

3. a. L'image A'B' est rejetée à l'infini.
b. On a $O_2A_1 = O_1O_2 - O_1A_1$, soit 50 cm − 40 cm = 10 cm.
D'où : $x_2 = -f'_2 = -10$ cm et $\frac{1}{x'_2} - \frac{1}{x_2} = \frac{1}{f'_2}$; on en déduit que $x'_2 \to -\infty$.

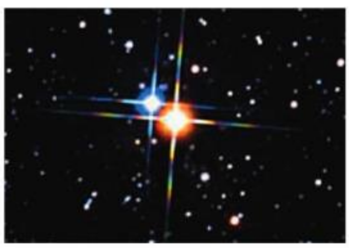
20 À chacun son rythme

L'étoile Albireo

| Effectuer des calculs ; exploiter des informations ; rédiger une explication.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

L'étoile Albireo de la constellation de Cassiopée est une « étoile double ». Ces deux étoiles sont vues à l'œil nu, depuis la Terre, sous un angle de 34 secondes d'arc.



A Fiche technique d'une lunette astronomique afocale

Focale de l'objectif	700 mm
Diamètre de l'objectif	70 mm
Masse du tube optique	1,45 kg
2 oculaires interchangeables	10 mm et 25 mm
1 trépied réglable	Hauteur 67 cm à 119 cm

B Le pouvoir séparateur de l'œil

Le pouvoir séparateur est l'angle minimal ε sous lequel deux points lumineux peuvent être vus séparés. Pour l'œil humain, $\varepsilon = 3 \times 10^{-4}$ rad. Ainsi, deux points lumineux distincts, vus sous un angle inférieur à 3×10^{-4} rad, sont perçus par l'œil comme un seul point lumineux.

Énoncé compact

Peut-on distinguer les deux étoiles d'Albireo ?

Énoncé détaillé

1. Exprimer, en radian, l'angle θ sous lequel l'étoile double Albireo est vue à l'œil nu.

2. a. Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale. On pourra s'aider d'un schéma.
b. Calculer le grossissement maximal de cette lunette astronomique.

3. Calculer l'angle maximal θ' sous lequel est vue l'image de l'étoile double Albireo à travers cette lunette afocale.

4. Peut-on distinguer les deux étoiles d'Albireo ?

Donnée

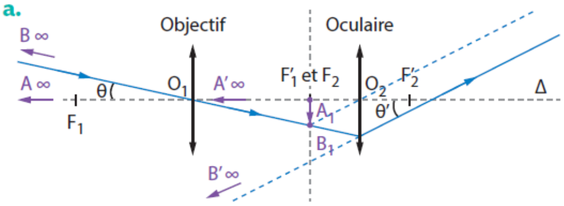
1 degré d'arc est égal à 3 600 secondes d'arc.

20 L'étoile Albiréo

1. 1 degré d'arc = 3 600 secondes d'arc
360 ° d'arc = 2π radians.

$$\theta = \frac{1^\circ \times 34\ \text{s} \times 2\pi\ \text{rad}}{3\,600\ \text{s} \times 360^\circ} = 1{,}6 \times 10^{-4}\ \text{rad}$$

2. a.



La lunette est afocale de sorte que le foyer objet F_2 de l'oculaire est confondu avec le foyer image F'_1 de l'objectif : $O_2F'_1 = O_2F_2 = O_2A_1$.

Dans le triangle $O_2A_1B_1$ rectangle en A_1, l'angle $\widehat{A_1O_2B_1}$ est égal à θ' (angles correspondants).

On a donc : $\tan\theta' = \dfrac{A_1B_1}{O_2A_1} = \dfrac{A_1B_1}{O_2F_2}$.

De même, $\tan\theta = \dfrac{A_1B_1}{O_1F'_1}$.

Si les angles sont petits, on peut confondre la tangente et l'angle.

Donc $G = \dfrac{\theta'}{\theta} = \dfrac{\tan\theta'}{\tan\theta} = \dfrac{O_1F'_1}{O_2F_2} = \dfrac{f'_1}{f'_2}$.

b. Le grossissement maximal est obtenu avec l'oculaire de plus petite distance focale.

On a alors : $G = \dfrac{f'_1}{f'_2} = \dfrac{700\ \text{mm}}{10\ \text{mm}} = 70$.

3. $\theta' = G \times \theta = 70 \times 1{,}6 \times 10^{-4}$ rad
$\theta' = 1{,}1 \times 10^{-2}$ rad.

4. Cet angle est supérieur au pouvoir séparateur de l'œil humain. Les deux étoiles sont vues séparément à travers cette lunette.

23 Lunette astronomique et luminosité

| Effectuer des calculs ; extraire et organiser l'information.

A La luminosité

Une lunette astronomique est caractérisée notamment par son grossissement. L'espace étant peu lumineux, il faut essayer de capter le maximum de lumière pour réaliser une observation exploitable.

Sur des sites spécialisés dans les lunettes astronomiques, on peut lire : « Une lunette de 120 mm de diamètre récolte 44 % de luminosité supplémentaire par rapport à une lunette de 100 mm. » On admet que la quantité de lumière captée est proportionnelle à la surface de l'objectif.

B Un télescope

Un télescope est un instrument d'optique permettant des observations astronomiques. La différence essentielle par rapport à une lunette astronomique est que l'objectif d'un télescope est un miroir concave (courbe et convergent). À diamètre égal, ce miroir concave est bien moins onéreux qu'une lentille convergente.

C Tableau comparatif pour l'observation de Saturne

Diamètre de l'objectif	G entre 30 × et 70 ×	G entre 70 × et 140 ×	G supérieur à 140 ×
70 mm	On commence à distinguer Saturne en tout petit.	On voit ses anneaux et son plus gros satellite Titan.	Les bandes de Saturne peuvent être visibles.
114 mm	Idem	Idem et deux satellites sont visibles.	Idem et les trois anneaux séparés sont visibles.
150 mm	Idem	Idem et trois satellites sont visibles.	L'anneau extérieur peut être observé distinctement.

Extrait du site www.naturoptic.com

1. Justifier par le calcul l'indication écrite entre guillemets dans le texte **A**.

2. Que permettent un grossissement et un diamètre d'objectif plus grands quand on observe l'espace ?

3. Comment expliquer qu'à grossissement égal, certains satellites de Saturne soient ou non visibles ?

4. À grossissement égal, quel est l'intérêt d'utiliser un télescope plutôt qu'une lunette astronomique ?

Donnée

La surface d'un disque de rayon R est $\pi \times R^2$.

23 Lunette astronomique et luminosité

1. La quantité de lumière captée Φ est proportionnelle à la surface S de l'objectif qui est un disque.

$S = \pi \times \frac{D^2}{4}$. Donc $\Phi_1 = k \times \pi \times \frac{D_1^2}{4}$ et $\Phi_2 = k \times \pi \times \frac{D_2^2}{4}$.

Donc $\frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$; avec $D_1 = 100$ mm et $D_2 = 120$ mm, on obtient : $\frac{\Phi_2}{\Phi_1} = 1{,}44$.

Avec $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$, on a un écart relatif (en %) qui vaut :

$100 \times \frac{\Delta\Phi}{\Phi_1}$ ou $100 \times \frac{(1{,}44 - 1)}{1}$ soit 44 %.

Donc on gagne bien 44 % de luminosité !

2. Un diamètre d'objectif plus grand permet de collecter davantage de lumière. Plus on collecte de lumière issue de l'astre, plus l'image observée gagne en luminosité et en contraste. On distingue alors des détails qui seraient invisibles si peu de lumière était recueillie. Plus le grossissement est important, plus on peut détailler (zoomer en quelque sorte) la structure de l'objet observé.

3. Avec un objectif de grande ouverture, l'image est plus lumineuse et donc mieux contrastée, ce qui permet de voir des détails comme certains satellites de Saturne.

4. Un télescope, à grossissement égal, est moins onéreux qu'une lunette.