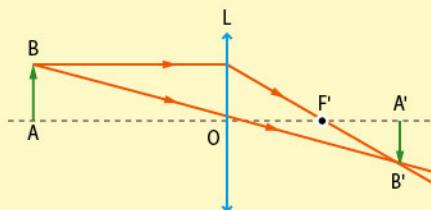


# Avant d'aborder le chapitre

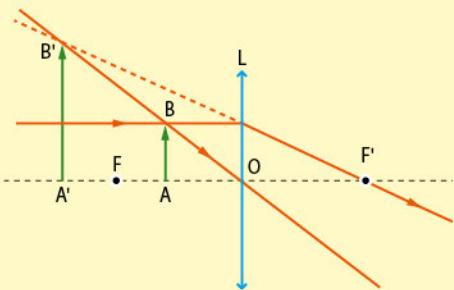
**EN AUTONOMIE**

## LES ACQUIS INDISPENSABLES

- L'image  $A'B'$  est réelle, renversée et plus petite que l'objet.



- L'image  $A'B'$  est virtuelle, à l'endroit et plus grande que l'objet.



● Seconde ● 1<sup>re</sup> Enseignement de spécialité

- Le **grandissement  $\bar{\gamma}$**  est la grandeur algébrique définie par le rapport de la taille de l'image sur la taille de l'objet :

$$\text{sans unité} \rightarrow \bar{\gamma} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

Il dépend de la lentille utilisée et de la position de l'objet.

- Une image est **réelle** lorsqu'on peut la visualiser sur un écran, sinon elle est **virtuelle**.

- La **relation de conjugaison** donne le lien entre la position de l'objet et la position de son **image conjuguée** à travers la lentille :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}$$

position de l'image      distance focale  
                                ↑  
                                    position de l'objet

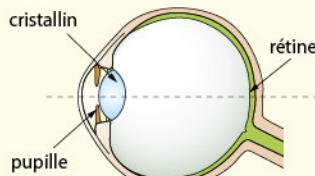
## POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement.



### SITUATION 1

L'œil est capable d'accorder pour observer des objets situés à des distances différentes.



Comment expliquer ce phénomène ?

### SITUATION 2

À quelle distance d'une lentille convergente faut-il placer un objet  $AB$  pour que la lentille en donne une image  $A'B'$  à l'infini ?



### SITUATION 3

Un gémologue observe une pierre précieuse située à 6,0 cm d'une loupe de distance focale de 75 mm.

Calculer la valeur du grandissement  $\bar{\gamma}$  dans ces conditions d'observation.



# Formation d'images

# 18

PHYSIQUE



L'observation des objets lointains nécessite l'utilisation d'instruments d'optique particuliers comme la lunette astronomique. Quel est son principe de fonctionnement ?

EXERCICE 36

## NOTIONS ET CONTENUS

- Modèle optique d'une lunette astronomique avec objectif et oculaire convergent.
- Grossissement.

## CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

- Réaliser une maquette de lunette astronomique ou utiliser une lunette commerciale pour en déterminer le grossissement. ➔ **Activités 1 et 3**
- Vérifier la position de l'image intermédiaire en la visualisant sur un écran. ➔ **Activité 3**

# 1. DÉMARCHE D'INVESTIGATION

TP

## COMPÉTENCES :

- (APP) Représenter la situation par un schéma  
(REA) Mettre en œuvre un protocole expérimental

## Maquette d'une lunette astronomique afocale

### LE PROBLÈME À RÉSOUVRIR

Une lunette astronomique est un instrument d'optique destiné à observer les astres ou les objets éloignés.

Comment modéliser une lunette afocale sur le banc d'optique ?

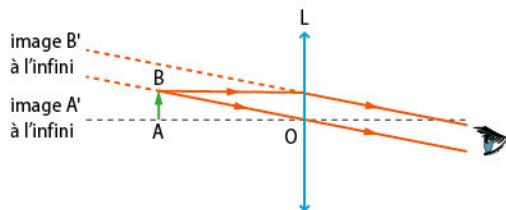
### DOC 1 Constitution d'une lunette astronomique

Une lunette astronomique peut se résumer à un tube muni d'une lentille convergente à chaque extrémité. Celle qui est tournée vers le ciel capte la lumière et concentre les rayons lumineux issus de l'objet éloigné : c'est l'objectif. La deuxième lentille, l'oculaire, permet à l'œil d'observer, sans accommoder, une image grossie de l'objet visé.



### DOC 2 Modélisation d'un objet à l'infini

En plaçant un objet AB dans le plan du foyer objet d'une lentille convergente, on obtient une image A'B' à l'infini qui peut jouer le rôle d'objet pour la lunette astronomique.



Les rayons lumineux issus de l'image A'B' qui arrivent dans l'œil proviennent de l'infini.

### VOCABULAIRE

► Une lunette astronomique qui donne d'un objet à l'infini une image à l'infini est dite **afocale**.

### DOC 3 Matériel disponible

- banc d'optique
- objet à l'« infini »
- lentille convergente de distance focale  $f' = 5,0 \text{ cm}$
- lentille convergente de distance focale  $f' = 33 \text{ cm}$
- 2 tubes emboîtés pouvant coulisser l'un dans l'autre
- pinces pour maintenir l'ensemble sur le banc d'optique



### PISTES DE RÉSOLUTION

1 À partir du matériel disponible, construire une lunette afocale au travers de laquelle on peut observer une image grossie de l'objet à « l'infini ».

2 a. Réaliser un schéma à l'échelle de la lunette ainsi réalisée en faisant apparaître les foyers objet et image de l'objectif et de l'oculaire.

b. Construire l'image  $A_1B_1$  par l'objectif d'un objet AB qui serait situé « à l'infini ».

c. Construire l'image finale A'B' par l'oculaire de l'image intermédiaire  $A_1B_1$  obtenue.

### CONCLUSION

- 3 a. Parmi les deux lentilles utilisées, identifier celle qui joue le rôle de l'oculaire et celle qui joue le rôle de l'objectif.  
b. Quelle distance doit séparer l'oculaire de l'objectif pour que la lunette soit afocale ?

### Je réussis si...

- Je sais schématiser un montage d'optique.
- Je sais identifier l'objectif et l'oculaire d'une lunette.
- Je sais représenter le faisceau émergent issu d'un point objet situé « à l'infini » et traversant une lunette afocale.

## 2. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

### COMPÉTENCES :

(APP) Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée

(VAL) Faire preuve d'esprit critique

# L'infini, c'est loin ?

### LE PROBLÈME À RÉSOUTRE

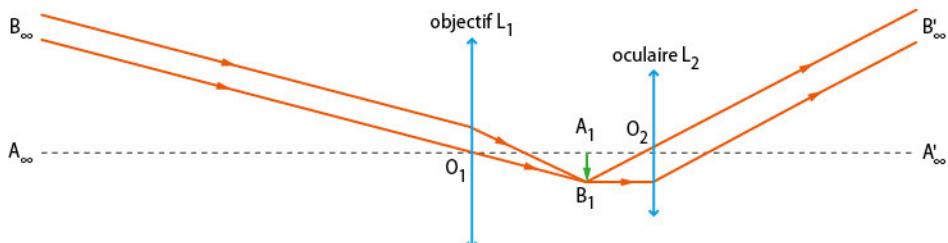
Dans le cadre de l'étude du principe de fonctionnement d'une lunette afocale, le professeur propose à ses élèves d'utiliser un objet suffisamment éloigné de l'objectif pour pouvoir considérer qu'il est situé à l'infini.

À partir de quelle distance peut-on estimer que cette approximation est acceptable ?



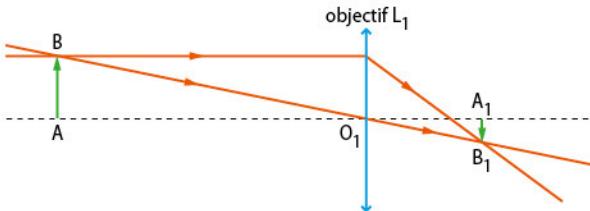
### DOC 1 Modélisation de la visée d'un objet situé à l'infini par la lunette

Lorsqu'on vise un objet éloigné  $A_{\infty}B_{\infty}$  à travers une lunette, l'image finale  $A'B'$  donnée par l'oculaire est située à l'infini pour qu'un œil normal puisse l'observer sans accommodation.



### DOC 2 Modélisation de la visée d'un objet moins éloigné par l'objectif

Lorsque l'objet AB se trouve à une distance  $d$  finie de la lunette, il faut modifier la distance objectif-oculaire pour que l'observation puisse se faire sans accommodation.



### DOC 3 Une autre relation de conjugaison

Pour déterminer des positions sur l'axe optique, on a l'habitude d'appliquer la relation de conjugaison établie par Descartes :

$$\frac{1}{OA'} = \frac{1}{OA} + \frac{1}{f'}$$

Il est parfois plus facile d'utiliser la relation de conjugaison suivante établie par Newton :

$$FA \cdot F'A' = -f'^2$$

### EXPLOITATION ET ANALYSE

#### 1 Visée d'un objet situé à l'infini

- Au niveau de quel point particulier se forme l'image intermédiaire ?
- À quelle distance de l'objectif faut-il placer l'oculaire pour qu'un œil normal puisse observer sans effort ? Justifier.



#### 2 Visée d'un objet moins éloigné

- Utiliser la relation de conjugaison de Descartes pour situer la position de l'image intermédiaire par rapport au foyer image  $F'_1$  de l'objectif  $L_1$ .
- Dans quel sens faut-il déplacer l'oculaire pour que l'image finale  $A'B'$  soit observable sans effort par un œil normal ?
- Utiliser la relation de conjugaison de Newton pour calculer la distance dont il faut déplacer l'oculaire pour viser successivement un objet situé à 1,0 km, à 100 m, à 10 m puis à 1,0 m de l'objectif de distance focale 20 cm.

- Estimer l'incertitude-type  $u(d)$  sur la mesure d'une distance réalisée sur le banc d'optique gradué en millimètres.

- Déterminer la valeur de la distance entre l'objet visé et l'objectif à partir de laquelle la conséquence de l'approximation sera masquée par cette incertitude.

### CONCLUSION

- Conclure quant à la signification du terme « à l'infini ». De quelle caractéristique de la lunette dépend la distance limite déterminée ?

### Je réussis si...

- Je sais déterminer la position de l'image intermédiaire donnée par l'objectif d'une lunette astronomique.

### 3. DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

TP

#### COMPÉTENCES :

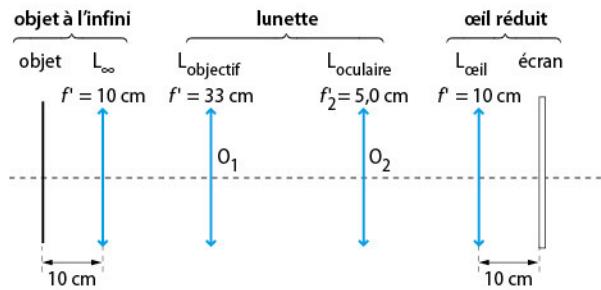
- (APP) Représenter la situation par un schéma  
(REA) Mettre en œuvre un protocole expérimental

## Caractéristiques d'une lunette afocale

Sur la notice d'une lunette astronomique commerciale on peut lire deux valeurs : 250 et 80. Le premier nombre indiqué est sans dimension et le second est exprimé en mm. À quelles caractéristiques de la lunette correspondent ces deux nombres ?

### DOC 1 Schéma du dispositif expérimental

L'objectif donne de l'objet AB, à l'infini, une image intermédiaire A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> qui joue le rôle d'objet pour l'oculaire. L'image définitive est notée A'B'.



### DOC 2 Grossissement d'un instrument d'optique

Le grossissement  $G$  d'une lunette est défini comme le rapport :  $G = \frac{\theta'}{\theta}$

$\theta'$  est l'angle sous lequel l'image définitive A'B' est vue à travers la lunette ;  $\theta$  est l'angle sous lequel l'objet est vu à l'œil nu.

#### Remarques :

- $\theta$  correspond également à l'angle que forment les rayons issus de l'objet à l'infini avec l'axe optique de la lunette.
- Dans l'approximation des petits angles, on peut considérer que  $\tan(\theta) \approx \theta$ .

#### VOCABULAIRE

- Une lunette astronomique qui donne d'un objet à l'infini une image à l'infini est dite **afocale**.

#### EXPÉRIMENTATION ET EXPLOITATION

##### 1 Formation des images successives

- Positionner les éléments du montage optique dans l'ordre indiqué par le **document 1**.
- Régler la distance entre l'objectif et l'oculaire de telle manière qu'on observe une image nette sur l'écran de l'œil réduit.

- a. La position de la lunette sur le banc a-t-elle une importance ?
- b. Où se situe l'image finale A'B' donnée par la lunette ?
- c. Mesurer la distance O<sub>1</sub>O<sub>2</sub> entre l'objectif et l'oculaire et retrouver la relation entre O<sub>1</sub>O<sub>2</sub>, f<sub>1</sub> et f<sub>2</sub> qui permet de vérifier que la lunette ainsi réglée est afocale.
- d. Schématiser la lunette avec une échelle horizontale de 1/4 et faire apparaître les foyers de l'objectif et de l'oculaire.

- Retirer l'oculaire et placer un écran à la place.
- Déplacer l'écran de façon à observer l'image intermédiaire nette.

- a. Dans quel plan particulier doit se former cette image intermédiaire A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> ? Vérifier que c'est bien le cas.
- b. Comment est orientée l'image intermédiaire A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> par rapport à l'objet AB ?
- c. Sur le schéma précédent, représenter l'image intermédiaire A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> et construire le trajet d'un faisceau lumineux issu du point B à l'infini qui arrive au point B<sub>1</sub> puis construire l'image définitive A'B' donnée par l'oculaire.

##### 3 Grossissement de la lunette afocale

Faire apparaître les angles  $\theta$  et  $\theta'$  sur le schéma précédent.

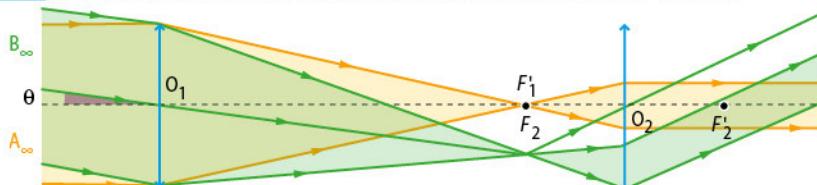
- a. En appliquant les relations trigonométriques, montrer que dans le cas d'une lunette afocale :  $G = \frac{f'_1}{f'_2}$ .
- b. En déduire pourquoi l'oculaire d'une lunette est nécessairement plus convergent que l'objectif.
- c. Calculer le grossissement  $G$  de la lunette étudiée.

## Caractéristiques d'une lunette afocale (suite)

### DOC 3 Cercle oculaire

Le cercle oculaire correspond à l'image de la monture de l'objectif par l'oculaire. C'est à cet endroit qu'il faut placer la pupille de l'œil pour recevoir le maximum de lumière en provenance de l'objet visé.

### DOC 4 Trajet de faisceaux lumineux à travers une lunette afocale



La lunette vise un objet AB situé à l'infini : le point A est dans la direction de l'axe optique et le point B dans la direction donnée par l'angle  $\theta$ .

Le faisceau jaune correspond à la lumière provenant du point A collectée par l'objectif et le faisceau vert à la lumière provenant du point B.

### DOC 5 Collecter la lumière

Lorsqu'on observe des étoiles à travers une lunette, celles-ci apparaissent sous forme de points lumineux comme à l'œil nu. Elles sont trop éloignées de la Terre pour qu'on puisse observer leur surface. Dans ces conditions, la lunette joue le rôle de collecteur de lumière : la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil après avoir traversé la lunette est plus importante que celle qui pénétrerait directement dans l'œil.

Cela explique qu'on observe davantage d'étoiles avec une lunette astronomique qu'à l'œil nu.



### EXPLOITATION ET ANALYSE

#### 4 Cercle oculaire

- a. Reproduire le schéma du document 4 et déterminer graphiquement la position du cercle oculaire, notée C.

- Retirer l'œil réduit.
- Positionner l'oculaire à la même place que précédemment.
- Rechercher l'image nette de l'objectif en déplaçant l'écran.

- b. Sur le montage expérimental, relever la position  $\overline{O_2C}$  du cercle oculaire par rapport à l'oculaire et mesurer son diamètre  $d_{CO}$ .

- c. Appliquer les relations de conjugaison et de grandissement pour calculer la position  $\overline{O_2C}$  du cercle oculaire et le diamètre  $d_{CO}$  du cercle oculaire.

Vérifier la concordance des résultats obtenus avec les valeurs expérimentales.

- d. Quel est l'intérêt de placer son œil au niveau du cercle oculaire ?

#### 5 Luminosité des images

- Remplacer l'objet par un trou source qui jouera le rôle d'étoile.
- Observer cette étoile à travers la lunette afocale.
- Retirer la lunette et observer l'**« étoile »** à l'œil nu.

- a. Comparer la luminosité de l'étoile dans les deux cas.

- b. En prenant appui sur les informations du document 5, réaliser deux schémas qui illustrent cette observation.

- c. Quel paramètre de la lunette conditionne la luminosité des images observées ?

### CONCLUSION

- 6 a. À quelles caractéristiques correspondent les deux nombres indiqués sur la notice de la lunette astronomique commerciale ?  
b. Déterminer les caractéristiques de la lunette modélisée au laboratoire.

### Je réussis si...

- Je sais réaliser un montage optique comportant deux lentilles minces.
- Je sais vérifier la position de l'image intermédiaire en la visualisant sur un écran.
- Je sais représenter le schéma d'une lunette afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes.
- Je sais établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale.

# 1 Fonctionnement d'une lunette astronomique

## ▶ Constitution

La lunette astronomique est un instrument d'optique destiné à l'observation des astres ou des objets très éloignés (FIG. 1).

Une lunette astronomique est formée de deux systèmes optiques (FIG. 2) :

- un **objectif** orienté vers l'**objet** à observer ;
- un **oculaire** devant lequel on place l'**œil**.

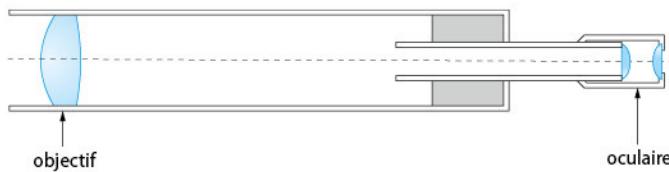


FIG. 2 Schéma simplifié d'une lunette astronomique.

**Remarque.** L'oculaire d'une lunette astronomique est un système optique convergent composé d'une association de plusieurs lentilles.

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**.

## ▶ Modélisation

Une lunette astronomique peut être modélisée par deux lentilles convergentes alignées le long d'un même axe optique.

Dans le cas d'une lunette afocale, **le foyer image  $F'_1$  de l'objectif coïncide avec le foyer objet  $F_2$  de l'oculaire** (FIG. 3).

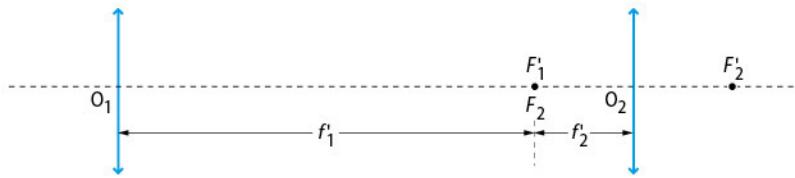


FIG. 3 Modélisation d'une lunette astronomique afocale.

L'objectif  $L_1$ , de **grande distance focale**  $f'_1$ , donne de l'**objet**  $\overline{AB}$  situé à l'**infini**, une **image intermédiaire**  $\overline{A_1B_1}$  dans son plan focal image.

L'**oculaire**  $L_2$  de **distance focale**  $f'_2$  **beaucoup plus faible**, donne de l'**image intermédiaire**  $\overline{A_1B_1}$ , une **image**  $\overline{A'B'}$  à l'**infini** pour que l'**œil** n'ait pas besoin d'**accommoder** (FIG. 4).



FIG. 4 Étapes de la construction de l'image donnée par une lunette astronomique.

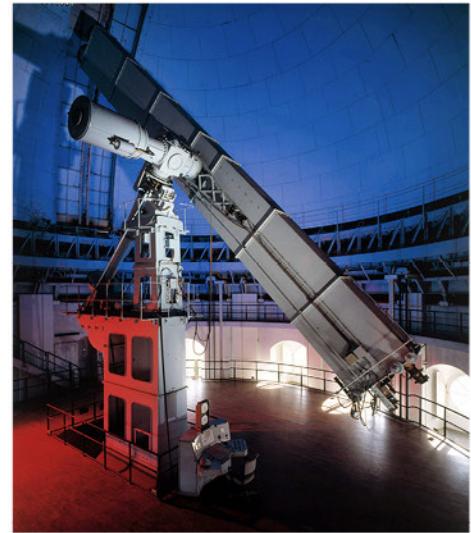


FIG. 1 L'objectif de la grande lunette de l'Observatoire de Meudon a une distance focale  $f'_1 = 16$  m pour une distance focale de l'oculaire  $f'_2 = 4$  cm.

**ANIMATION**

**La lunette astronomique**

astre → objectif → A<sub>1</sub> → oculaire → A'<sub>1</sub>

rayon à l'œil

grossissement : 7,00

la lunette est utilisée en visée

Retour arrière   Retour   Cliquez pour zoomer   Fermer

Une animation pour observer le trajet des rayons lumineux à l'intérieur d'une lunette astronomique

## 2 Formation des images

### ► Construction graphique

L'astre qui joue rôle de l'objet AB est situé à l'infini (FIG. 5). Le point A est situé sur l'axe optique et les rayons lumineux issus de B pénètrent dans la lunette en formant un angle  $\theta$  avec l'axe optique.

Pour construire l'image intermédiaire, il suffit de prolonger le rayon lumineux issu de B (en orange sur la FIG. 6) qui passe par le centre optique  $O_1$  de l'objectif et qui n'est pas dévié : le point  $B_1$  correspond à son intersection avec le plan focal image de l'objectif. Tous les rayons lumineux issus du point B viennent alors converger au point  $B_1$ .

**L'image intermédiaire** se forme dans le **plan focal image de l'objectif** qui coïncide avec le **plan focal objet de l'oculaire** dans le cas de la **lunette afocale**.

L'image intermédiaire  $A_1B_1$  étant située dans le plan focal objet de l'oculaire, l'image définitive  $A'B'$  se formera à l'infini dans la direction  $\theta'$ , donnée par le rayon issu du point  $B_1$  (en noir sur la FIG. 6) qui traverserait l'oculaire en passant par son centre optique  $O_2$  sans être dévié. Tous les rayons lumineux issus de  $B_1$  émergent de la lunette dans la direction  $\theta'$ .

### VOCABULAIRE

► Un plan perpendiculaire à l'axe optique de la lentille qui passe par un foyer est appelé **plan focal**.

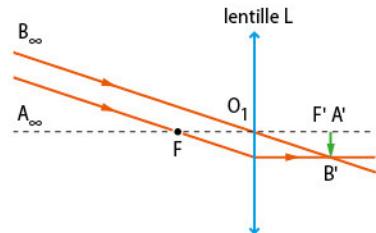


FIG. 5 L'image d'un objet situé à l'infini se forme dans le plan focal image de la lentille convergente.

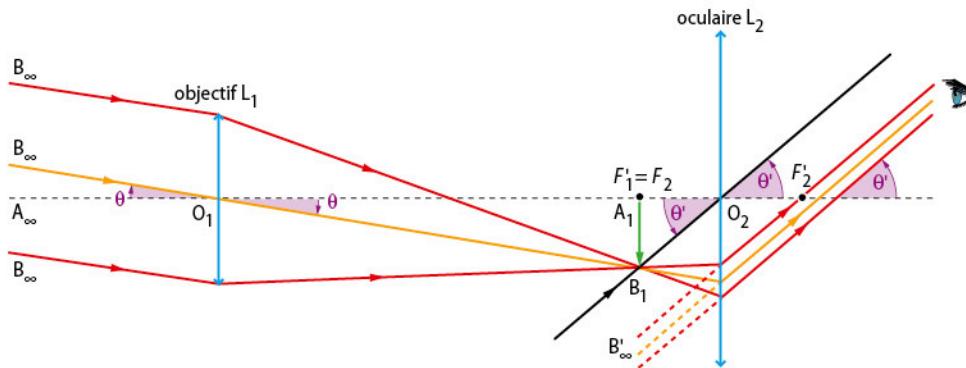


FIG. 6 Marche de trois rayons à travers une lunette afocale.

**Remarque.** Les angles sont orientés entre l'axe optique et le rayon lumineux.  $\theta'$  est orienté dans le sens trigonométrique : il est compté positivement ;  $\theta$  est négatif.

### ► Relation de conjugaison

#### Appliquée à l'objectif

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

L'objet AB étant à l'infini :

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

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  $A_1B_1$  se forme dans le plan focal objet de l'objectif**.

#### Appliquée à l'oculaire

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

L'image  $A'B'$  étant à l'infini :

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

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  $A_1B_1$  se forme dans le plan focal image de l'oculaire**.

### VOCABULAIRE

► Vu de l'extérieur de la lunette, tout faisceau lumineux parallèle qui pénètre dans la lunette en ressort parallèle. Comme la lunette semble ne pas avoir de foyer on dit qu'elle est **afocale**.

### UN PONT VERS LES MATHS

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

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

### 3 Caractéristiques d'une lunette

#### ► Grossissement

À travers la lunette, on voit l'astre comme s'il était situé à une distance plus petite que la distance réelle (FIG. 7).

##### EXEMPLE

Une lunette qui grossit 20 fois permet d'observer un astre comme s'il était placé à une distance 20 fois moins grande.

Le **grossissement**  $\bar{G}$  d'une lunette est défini comme le rapport :

$$\text{grossissement} \rightarrow \bar{G} = \frac{\theta'}{\theta} \quad \begin{array}{l} \text{angle sous lequel l'image définitive} \\ A'B' \text{ est vue à travers la lunette} \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{angle sous lequel l'objet} \\ AB \text{ est vu à l'œil nu} \\ \hline \end{array}$$

**Remarque.** Comme la taille de l'objet (lointain) et celle de l'image (virtuelle) ne sont pas accessibles, on ne détermine pas le **grandissement** mais le **grossissement**.

Dans le cas où la lunette est afocale, les points  $F'_1$ ,  $F'_2$  et  $A_1$  sont confondus, on peut donc écrire dans les triangles  $O_1A_1B_1$  et  $O_2A_1B_1$ , rectangles en  $A_1$  (FIG. 6) :

$$\tan(\theta) \approx \theta = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{O_1A_1}} = \frac{\overline{A_1B_1}}{f'_1} \quad \text{et} \quad \tan(\theta') \approx \theta' = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{O_2A_1}} = \frac{\overline{A_1B_1}}{-f'_2}$$

Soit : 
$$\frac{\theta'}{\theta} = \frac{\frac{\overline{A_1B_1}}{-f'_2}}{\frac{\overline{A_1B_1}}{f'_1}} = \frac{\overline{A_1B_1}}{-f'_2} \times \frac{f'_1}{\overline{A_1B_1}} = -\frac{f'_1}{f'_2}$$

Le **grossissement d'une lunette afocale** est une grandeur négative :

$$\text{grossissement} \rightarrow \bar{G} = -\frac{f'_1}{f'_2} \quad \begin{array}{l} \text{distance focale de l'objectif} \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{distance focale de l'oculaire} \\ \hline \end{array}$$

**Remarque.** La valeur absolue du grossissement devant être la plus élevée possible, la distance focale de l'objectif doit être nettement supérieure à celle de l'oculaire :  $f'_1 > f'_2$ .

#### ► Diamètre de l'objectif

Les faisceaux lumineux collectés par la lunette sont limités par la **monture de l'objectif**.

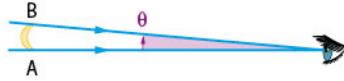
Par définition, le **cercle oculaire** d'une lunette correspond à l'image donnée par l'oculaire de la **monture de l'objectif**. C'est à cet endroit qu'il faut placer l'œil pour recevoir un **maximum de lumière** en provenance de l'objet à l'infini.

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** (FIG. 8).

L'angle  $\theta$  sous lequel un astre est vu depuis le lieu d'observation est également appelé **diamètre apparent**.

A

Diamètre apparent d'un objet observé à l'œil nu



B

Image virtuelle, renversée et grossie observée à travers la lunette

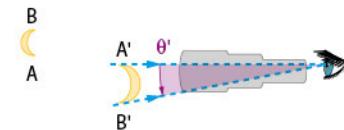
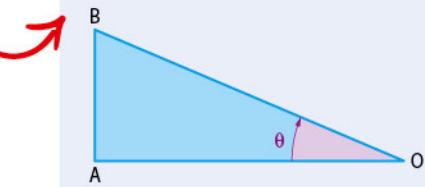


FIG. 7 Diamètre apparent et image virtuelle.

#### UN PONT VERS LES MATHS

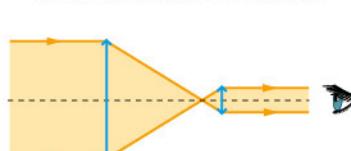
##### Relation trigonométrique dans un triangle rectangle

Dans le triangle  $OAB$ , rectangle en  $A$ , on peut écrire :



$$\tan(\theta) = \frac{\overline{AB}}{\overline{OA}}$$

Observation d'une étoile à l'œil nu



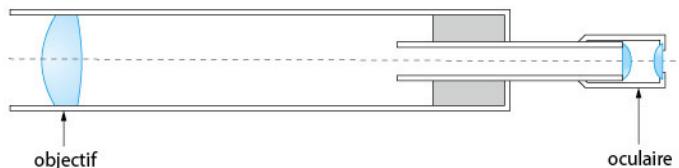
Observation d'une étoile à travers la lunette

FIG. 8 La lunette collecte la lumière en provenance d'une étoile nous permettant ainsi de la voir alors qu'elle est invisible à l'œil nu.

## 1 Fonctionnement d'une lunette astronomique

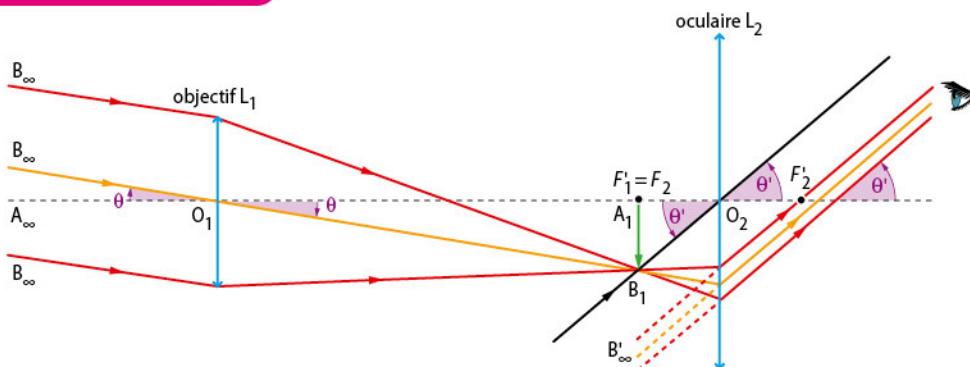
Une lunette astronomique est formée de deux systèmes optiques :

- 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 Formation des images



L'**image intermédiaire** se forme dans le **plan focal image** de l'objectif qui coïncide avec le **plan focal objet** de l'oculaire dans le cas de la **lunette afocale**.

## 3 Caractéristiques d'une lunette

Le **grossissement**  $\bar{G}$  d'une lunette est défini comme le rapport :

$$\text{grossissement (sans unité)} \rightarrow \bar{G} = \frac{\theta'}{\theta}$$

angle sous lequel l'image définitive A'B' est vue à travers la lunette  
angle sous lequel l'objet AB est vu à l'œil nu

Le **grossissement d'une lunette afocale** s'écrit également :

$$\text{grossissement (sans unité)} \rightarrow \bar{G} = -\frac{f'_1}{f'_2}$$

distance focale de l'objectif  
distance focale de l'oculaire

Le **rôle de la lunette** est de **collecter le maximum de lumière** provenant des astres observés : le **diamètre de l'objectif** doit donc être **important**.

# EXERCICES

## Vérifier l'essentiel

EN AUTONOMIE

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➔ **SOLUTIONS EN PAGE 592**



### 1 Fonctionnement d'une lunette astronomique

	A	B	C
1 Lorsqu'on observe une étoile à travers une lunette astronomique, le faisceau :	traverse l'oculaire avant de pénétrer dans la lunette.	émerge par l'oculaire.	traverse l'objectif avant de pénétrer dans la lunette.
2 L'objectif est assimilé à une lentille convergente dont la distance focale est :	du même ordre de grandeur que celle de l'oculaire.	plus grande que celle de l'oculaire.	plus petite que celle de l'oculaire.
3 La distance qui sépare l'objectif ( $f'_1 = 60 \text{ cm}$ ) de l'oculaire ( $f'_2 = 20 \text{ mm}$ ) d'une lunette afocale vaut :	80 cm.	62 cm.	58 cm.

### 2 Formation des images

	A	B	C
4 Le faisceau issu d'un point situé à l'infini converge :	au foyer image de l'objectif.	au foyer objet de l'oculaire.	dans le plan focal image de l'objectif.
5 L'image intermédiaire est :	réelle à l'endroit.	réelle et renversée.	virtuelle et renversée.
6 Avec une lunette afocale, l'image intermédiaire se forme dans :	le plan focal image de l'objectif.	le plan focal objet de l'oculaire.	le plan focal image de l'oculaire.
7 L'image observée à travers la lunette est :	à l'endroit.	virtuelle.	renversée.

### 3 Caractéristiques d'une lunette

	A	B	C
8 La valeur absolue du grossissement $\bar{G}$ d'une lunette afocale correspond au rapport :	$\frac{f'_\text{oculaire}}{f'_\text{objectif}}$ .	$\frac{f'_\text{objectif}}{f'_\text{oculaire}}$ .	$\frac{\text{diamètre objectif}}{f'_\text{oculaire}}$ .
9 Pour augmenter le grossissement d'une lunette, on peut :	augmenter le diamètre de l'objectif.	diminuer la distance focale de l'oculaire.	augmenter distance focale de l'objectif.
10 Pour une observation dans de bonnes conditions, l'œil doit être placé :	au niveau du foyer image de l'oculaire.	au niveau du cercle oculaire.	contre l'oculaire.

# Acquérir les bases

## 1 Fonctionnement d'une lunette astronomique

### EN AUTONOMIE

#### Ce qu'on attend de moi le jour du BAC

- Représenter le schéma d'une lunette afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes ; identifier l'objectif et l'oculaire.

► Acquérir les bases : 16 ► S'entraîner : 23 24 28

## 11 Vrai ou faux

Répondre par vrai ou par faux aux affirmations suivantes. Corriger celles qui sont fausses.

- Dans une lunette astronomique, la distance focale de l'oculaire est toujours plus grande que celle de l'objectif.
- Une lunette est dite afocale lorsque le foyer objet de l'oculaire coïncide avec le foyer image de l'objectif.

## 12 Choix de lentilles

Pour réaliser une maquette de lunette astronomique sur banc d'optique, on dispose de trois lentilles convergentes de distances focales respectives 50, 125 et 300 mm.

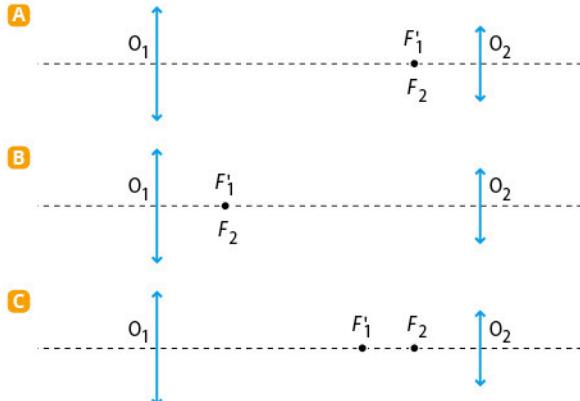
- Quelle association est la plus judicieuse ? Argumenter la réponse.

- Préciser quelle lentille joue le rôle de l'oculaire et de l'objectif.



## 13 L'association correcte

- Parmi les modélisations suivantes, identifier celle qui correspond à une lunette astronomique afocale.



- Expliquer pourquoi les autres ne conviennent pas.

## 14 Lunette afocale

Une lunette astronomique est composée :

- d'un objectif de distance focale 100 cm et de diamètre 10 cm ;
- d'un oculaire de distance focale 5 cm et de diamètre 6 cm.

- Quelle distance  $O_1O_2$  doit séparer les centres optiques de l'objectif et de l'oculaire pour que la lentille soit afocale ?
- a. Réaliser le schéma de cette lunette à l'échelle 1/10 le long de l'axe optique et à l'échelle 1/2 dans la direction perpendiculaire.
- b. Faire apparaître les foyers de l'oculaire et le foyer image de l'objectif.

## 2 Formation des images

### EN AUTONOMIE

#### Ce qu'on attend de moi le jour du BAC

- Représenter le faisceau émergent issu d'un point objet situé « à l'infini » et traversant une lunette afocale.

► Acquérir les bases : 16 ► S'entraîner : 23 24 31

### DONNÉES

- Relation de conjugaison

$$\frac{1}{OA'} = \frac{1}{OA} + \frac{1}{f'}$$

- Relation de grandissement

$$\bar{\gamma} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{O'A'}}{\overline{OA}}$$

## 15 Position de l'image intermédiaire

- Appliquer la relation de conjugaison à l'objectif de la lunette astronomique pour montrer que l'image intermédiaire d'un objet situé à l'infini se forme dans le plan focal image de la lentille.

- À quelle distance de l'objectif faut-il placer l'oculaire pour qu'un œil normal puisse observer l'image définitive sans accomoder ?

## 16 Construction graphique

- Sur le schéma de l'exercice 14, représenter un rayon lumineux provenant d'un point B situé à l'infini et incliné d'un angle  $\theta$  par rapport à l'axe optique.

- Déterminer, par construction, la position du point  $B_1$ , image de B par l'objectif.

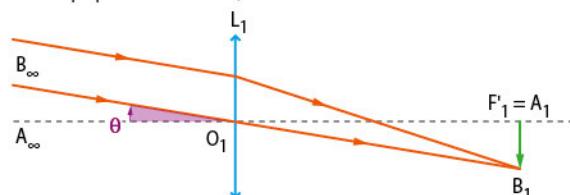
- Dans quel plan particulier se forme cette image intermédiaire ?

- Construire l'image définitive  $B'$ , image de  $B_1$  par l'oculaire.

- Un œil normal doit-il accomoder pour observer cette image ? Justifier la réponse.

## 17 Caractéristiques des images formées à travers une lunette

L'objectif  $L_1$  de la lunette astronomique donne d'un objet AB de diamètre apparent  $\theta$ , situé à l'infini, une image intermédiaire  $A_1B_1$  comme indiqué sur le schéma suivant.



**Données :** le diamètre apparent de l'objet vaut  $0,51^\circ$  ; l'objectif de la lunette a une distance focale  $f'_1 = 80\text{ cm}$  ; l'oculaire de la lunette a une distance focale  $f''_1 = 20\text{ mm}$ .

- Déterminer par le calcul la taille de l'image  $A_1B_1$ .

- Expliquer pourquoi il n'est pas possible de déterminer le grandissement.

- À quelle distance de l'objectif faut-il placer l'oculaire pour que l'image définitive se forme à l'infini ?

- L'image définitive est-elle réelle ou virtuelle ?

- L'image définitive est-elle dans le même sens ou renversée par rapport à l'objet visé ?

# EXERCICES

## 3 Caractéristiques d'une lunette

### EN AUTONOMIE

#### Ce qu'on attend de moi le jour du BAC

- Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale.
- Acquérir les bases : 19 • S'entraîner : 23 24 34
- Exploiter les données caractéristiques d'une lunette commerciale.
- Acquérir les bases : 22 • S'entraîner : 23 24 34

### 18 Vrai ou faux

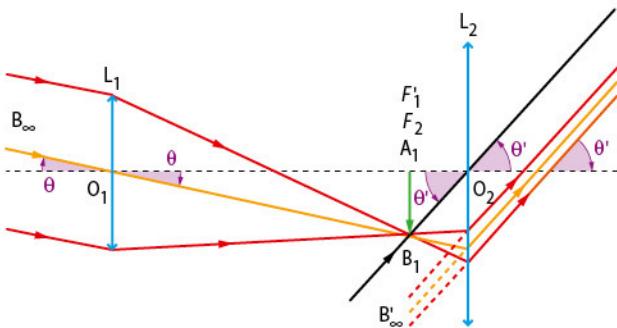
Répondre par vrai ou par faux aux affirmations suivantes. Argumenter soigneusement la réponse.

1. Le grossissement de la lunette dépend du diamètre de l'objectif et de la distance focale de l'oculaire.
2. La qualité d'une lunette dépend à la fois du grossissement et du diamètre de l'objectif.

### 19 Grossissement d'une lunette afocale

La distance focale de l'objectif d'une lunette astronomique afocale est  $f_1' = 50$  cm et celle de l'oculaire est  $f_2' = 1,0$  cm.

1. Rappeler la définition du grossissement d'une lunette astronomique.
2. En prenant appui sur le schéma suivant, montrer que le grossissement s'exprime en fonction de  $f_1'$  et  $f_2'$ .



3. En déduire la valeur du grossissement de cette lunette.

## 20 Oculaire au choix

Voici un extrait de la notice d'une lunette astronomique :

Ouverture : 50 mm Longueur focale : 600 mm  
Livrée avec : 3 oculaires de 20 mm, 12 mm et de 4 mm

1. À quelles caractéristiques de la lunette correspondent les différentes valeurs exprimées en mm ?
2. Calculer les valeurs de grossissement possibles.

## 21 Une étoile double dans la constellation du cygne

Une lunette astronomique, dont le grossissement vaut -40, est utilisée pour observer l'étoile double Albiréo dans la constellation du Cygne. L'axe optique de la lunette est dirigée vers l'une des étoiles et la distance angulaire qui sépare les deux étoiles vaut  $\theta = (9,4 \times 10^{-3})^\circ$ .



Donnée : le pouvoir séparateur de l'œil est estimé à  $(1,7 \times 10^{-2})^\circ$ .

1. Sous quel angle  $\theta'$  l'observateur voit-il ces étoiles à travers l'instrument ?
2. Calculer la valeur minimale du grossissement qui permet la séparation de ces deux étoiles.

## 22 L'Universarium de Nice

D'importants travaux ont été réalisés à l'Observatoire de la Côte d'Azur pour le rendre plus accessible au grand public. La grande lunette de 76 cm avec 17,89 m de distance focale offre une échelle au foyer de 87 µm pour 1,0". Les oculaires disponibles permettent d'obtenir des valeurs de grossissement de -1 800 et -2 200.

1. À quelle grandeur caractéristique de la lunette correspond la valeur 76 cm ?
2. a. Construire, sur un schéma, l'image intermédiaire  $A_1B_1$  donnée par l'objectif d'un objet AB situé à l'infini de diamètre apparent  $\theta$ .  
b. Calculer  $A_1B_1$  et vérifier qu'un angle de 1" se traduit dans le plan focal de l'objectif par l'**« échelle au foyer »** annoncée.  
3. Calculer la valeur des distances focales des oculaires disponibles.

## Faire le point avant d'aller plus loin

Pour vérifier ses connaissances, répondre aux questions suivantes (sans regarder le cours !)

PRÉPA  
BAC

Quels sont les critères de choix d'une lunette commerciale ?

Modéliser une lunette astronomique afocale en situant les foyers des lentilles qui la constituent.

Construire le faisceau émergent issu d'un point objet situé « à l'infini » après avoir traversé une lunette afocale.

Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale en fonction des distances focales de l'objectif et de l'oculaire.

Expliquer pourquoi le foyer image de l'objectif d'une lunette afocale est confondu avec le foyer objet de l'oculaire.

Que signifie qu'une lunette commerciale a un grossissement égal à 20 ?

Écrire la relation qui permet de calculer le grossissement d'un instrument d'optique en explicitant chaque grandeur et son unité.



Retrouver ces questions en version numérique

bordas  
Flash PAGE  
cartes mémos

## Exercice résolu EN AUTONOMIE

### 23 Modélisation d'une lunette astronomique

Une lunette astronomique est modélisée sur un banc d'optique à l'aide de deux lentilles convergentes. Le montage expérimental est réglé de telle manière que l'objet AB, situé à l'infini, de diamètre apparent  $\alpha$  donne une image définitive observable sans accommodation par un œil normal.

- Qualifier la lunette ainsi réglée.
- Expliquer qualitativement à quelle position particulière se forme l'image intermédiaire donnée par l'objectif.
- En déduire la distance qui sépare les deux lentilles sur le banc d'optique.
- Représenter le schéma optique de la lunette avec une échelle horizontale 1/10.
- Représenter le faisceau émergent issu du point objet B situé « à l'infini » qui traverse la lunette et construire l'image intermédiaire A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>.
- Établir l'expression du grossissement de cette lunette en fonction des distances focales de l'objectif et de l'oculaire.
- Calculer la valeur du grossissement.

**Données : caractéristiques des lentilles utilisées**

	distance focale	diamètre intérieur de la monture
objectif	$f_1 = 50 \text{ cm}$	40 mm
oculaire	$f_2 = 10 \text{ cm}$	80 mm

#### LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- Le réglage de la lunette donne des informations sur la distance qui sépare l'objectif de l'oculaire.
- Toutes les données sont nécessaires pour réaliser le schéma du montage à l'échelle.

#### EXEMPLE DE RÉDACTION

- Une lunette qui donne d'un objet à l'infini une image à l'infini est afocale.
- L'objectif donne de l'objet à l'infini une image intermédiaire située au foyer image de l'objectif. Comme l'oculaire donne de cette image intermédiaire une image définitive à l'infini, l'image intermédiaire doit être située au foyer objet de l'oculaire.
- Le foyer image F<sub>1</sub>' et le foyer objet F<sub>2</sub> doivent être confondus donc O<sub>1</sub>O<sub>2</sub> = O<sub>1</sub>F<sub>1</sub>' + F<sub>1</sub>'F<sub>2</sub> + F<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = f<sub>1</sub>' + f<sub>2</sub>'. La distance qui sépare les deux lentilles vaut 50 + 10 soit 60 cm.

- Modélisation de la lunette :
- Par définition, le grossissement de la lunette est le rapport :

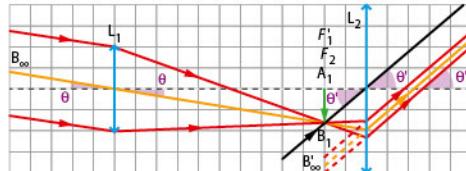
$$\bar{G} = \frac{\theta'}{\theta}.$$

Dans les triangles rectangles O<sub>1</sub>A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> et O<sub>2</sub>A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>, rectangle en A<sub>1</sub>, on peut écrire respectivement :

$$\tan(\theta) \approx \theta = \frac{A_1B_1}{O_1A_1} = \frac{A_1B_1}{f_1} \quad \text{et} \quad \tan(\theta') \approx \theta' = \frac{A_1B_1}{O_2A_1} = \frac{A_1B_1}{-f_2}$$

$$\text{Soit } \bar{G} = \frac{\theta'}{\theta} = -\frac{f_1}{f_2}$$

- Le grossissement de la lunette ainsi réglée vaut  $\bar{G} = -\frac{50}{10} = -5,0$ .



#### LES VERBES D'ACTION

- Qualifier** : caractériser par un mot ou une expression.
- Expliquer qualitativement** : donner une justification à une observation ou une affirmation sans faire de calcul.
- En déduire** : utiliser le résultat précédent pour répondre.
- Établir** : utiliser une définition ou une loi pour répondre.

#### QUELQUES CONSEILS

- L'énoncé précise que l'image d'un objet à l'infini se situe à l'infini.
- Utiliser les propriétés des foyers d'une lentille.
- Il faut appliquer les relations de trigonométrie en faisant l'approximation des petits angles.
- Les données sont exprimées avec 2 chiffres significatifs donc le résultat également.

#### EXERCICE SIMILAIRE

### 24 Message à déchiffrer

Un observateur trop éloigné pour pouvoir déchiffrer l'indication d'un panneau utilise une lunette équipée d'un objectif de distance focale 300 mm et de l'oculaire de distance focale 50 mm.

- Réaliser un schéma annoté de la marche, à travers l'objectif, d'un faisceau provenant d'un point B d'une lettre qui forme un angle  $\beta$  avec l'axe optique puis construire l'image intermédiaire A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>.
- À quelle distance de l'objectif faudrait-il placer un écran pour observer l'image intermédiaire ?

- Positionner, sur le schéma, l'oculaire de telle manière que la lunette soit afocale puis construire le faisceau lumineux issu de B<sub>1</sub> qui traverse l'oculaire et faire apparaître l'angle  $\beta'$  sous lequel l'image A'B' sera observée à travers la lunette.
- Montrer que le grossissement  $\bar{G}$  de la lunette peut s'exprimer en fonction des distances focales de l'oculaire et de l'objectif.
- Sachant qu'un grossissement de -10 est nécessaire pour que les inscriptions soient visibles par l'observateur, la distance focale de l'oculaire utilisé permet-elle de déchiffrer l'indication ? Justifier la réponse.

## S'entraîner pour maîtriser

### SAVOIR RÉDIGER

#### 25 Proposer une correction de la solution proposée par un élève à l'énoncé.

##### Énoncé

On souhaite réaliser une lunette afocale sur le banc d'optique avec deux lentilles convergentes de distance focale respective 50 mm et 30 cm.

- Preciser quelle lentille joue le rôle de l'oculaire, de l'objectif.

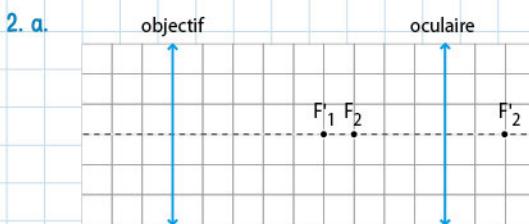
- Réaliser un schéma annoté du montage en faisant apparaître les foyers des lentilles utilisées.
- Quelle distance doit séparer les deux lentilles sur le banc ?

- Calculer le grossissement  $\bar{G}$  de la lunette ainsi modélisée.

##### Solution proposée par un élève

1. La distance focale de l'objectif est toujours plus grande que celle de l'oculaire donc l'objectif est à une distance focale de 50 et l'oculaire de 30.

Attention aux unités des distances focales



2. a. La distance qui doit séparer les deux lentilles doit être supérieure à 80.

Quelle particularité présente une lunette afocale ?

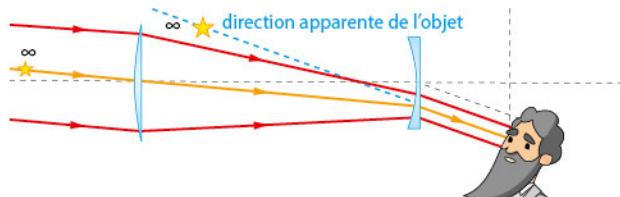
3. Par définition :  $G = f'_1/f'_2 = 50/30 \approx 1,6666$

Attention aux conversions et aux chiffres significatifs

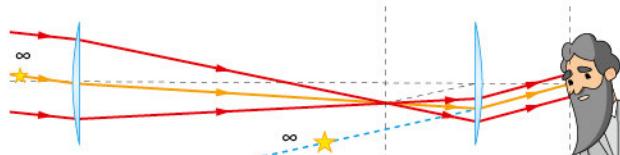
#### 26 De la lunette de Galilée à celle de Kepler

##### HISTOIRE DES SCIENCES

Bien qu'il n'ait pas été l'inventeur du principe de la lunette astronomique, c'est Galilée (1564-1642) qui a réalisé celle qui lui a permis de découvrir les reliefs à la surface de la Lune. Il a fabriqué sa lunette en polissant deux lentilles : l'une concave et l'autre convexe.



Kepler (1571-1630) met au point un instrument basé sur deux lentilles convexes.



Le problème majeur de cet instrument est l'aberration chromatique : plusieurs images colorées d'un même astre se forment à une distance différente les unes des autres. Pour limiter ce désagrement, il faut diminuer la courbure des lentilles, les lunettes atteignent bientôt des longueurs démesurées.

- Les lentilles convergentes sont-elles concaves ou convexes ?
- Quelle est la différence essentielle entre l'image observée par Galilée et celle observée par Kepler ?

- Expliquer pourquoi on observe des aberrations chromatiques lorsqu'un faisceau de lumière blanche traverse une lentille. Nommer le phénomène optique qui se produit.
- Faut-il augmenter ou diminuer l'épaisseur de verre traversé pour limiter les aberrations ? Argumenter la réponse.
- Justifier la taille atteinte par les lunettes astronomiques.

#### 27 The great red spot of Jupiter

By observing Jupiter using a telescope, one can observe a red spot which corresponds to a gigantic high pressure of the planet's atmosphere.

*Data : the separating power of the eye is estimated at one minute of arc ( $1' = 1/60^\circ$ ).*



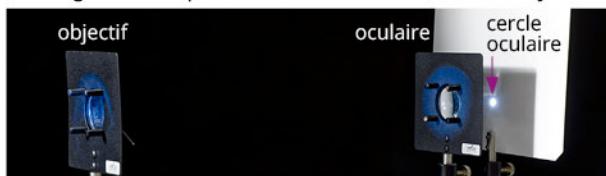
- Calculate the apparent diameter of Jupiter when this planet with a diameter of  $1.4 \times 10^5$  km is  $6.3 \times 10^8$  km from Earth.
- Which of the three 10 mm, 20 mm and 25 mm focal length eyepieces should you use to get the best magnification?
- Then calculate the apparent diameter of Jupiter through the telescope whose objective has a focal length of 600 mm.
- Will the large red spot which measures approximately 1/6 the diameter of the planet, be visible through this telescope?

## 28 Construction du cercle oculaire

Une lunette astronomique est modélisée par deux lentilles de même diamètre 4,0 cm et de distances focales 10 cm et 1,0 m.

- Réaliser le schéma de cette lunette à l'échelle 1/10 le long de l'axe optique et à l'échelle 1 dans la direction perpendiculaire.

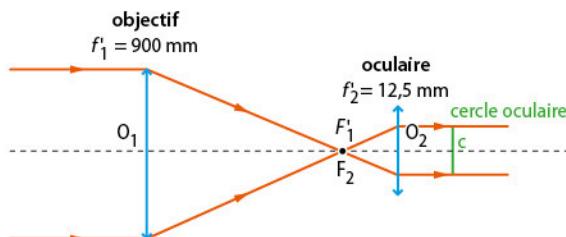
- Construire le cercle oculaire de la lunette qui correspond à l'image donnée par l'oculaire de la monture de l'objectif.



- Tracer la marche d'un faisceau lumineux parallèle à l'axe optique, venant de l'infini et couvrant tout l'objectif.
- Tracer la marche d'un faisceau lumineux formant un angle  $\theta$  avec l'axe optique et couvrant tout l'objectif.
- Expliquer pourquoi il est intéressant de placer l'œil de l'observateur au niveau du cercle oculaire.
- Retrouver la position et le diamètre du cercle oculaire en appliquant les relations de conjugaison et de grossissement.

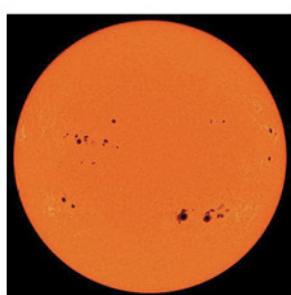
## 29 Attention au Soleil

Pour évaluer le danger d'une observation du soleil à travers la lunette, on étudie la concentration d'énergie réalisée par l'instrument. En admettant qu'il n'y a pas de perte d'énergie lumineuse dans la lunette, on considère que la puissance lumineuse entrant dans la lunette par l'objectif en ressort par le cercle oculaire.



- Calculer la position  $O_2C$  du cercle oculaire.
- En déduire le diamètre  $d$  du cercle oculaire lorsque l'objectif utilisé a un diamètre  $D = 60$  mm.
- Déterminer le facteur de concentration défini comme le rapport des puissances lumineuses par unité de surface entre le cercle oculaire et l'objectif.
- Sachant que le diamètre de la pupille de l'œil en plein jour est estimé à 3 mm, conclure sur la dangerosité de l'observation du ciel à travers une lunette.

## 30 Projection de l'image solaire



Il est possible d'observer le Soleil sans danger, en projetant simplement son image sur un écran. C'est grâce à cette technique que Galilée découvrit les taches solaires au début du XVII<sup>e</sup> siècle.

Pour ce faire, on fixe un écran à une distance  $O_2A' = 30$  cm de l'oculaire.

- Prévoir sans calcul le sens de déplacement de l'oculaire par rapport à l'objectif nécessaire à l'observation d'une image nette du Soleil sur l'écran.

- Calculer la valeur de ce déplacement dans le cas de la lunette étudiée dans l'exercice 29.

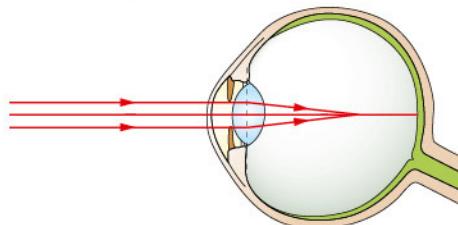
- En déduire la dimension de l'image du Soleil projetée sur l'écran.

- Calculer la taille réelle de la tache solaire sachant que son image à l'écran mesure 6,1 mm.

**Données :** Le soleil a un diamètre  $D_{\text{soleil}} = 1,39 \times 10^6$  km et un diamètre apparent depuis la Terre  $\theta_{\text{soleil}} = 9,3 \times 10^{-3}$  rad.

## 31 Œil myope utilisant une lunette

Lors d'un TP, un élève myope place son œil au foyer image de la lunette astronomique afocale réglée par son binôme. Le cristallin d'un œil myope est trop convergent pour pouvoir observer un objet à l'infini.



Les distances focales des lentilles modélisant l'objectif et l'oculaire valent respectivement 60 cm et 10 cm.

- Expliquer pourquoi il doit modifier le réglage de la lunette pour pouvoir observer une image nette.
- Quand il n'accorde pas, il voit nettement les objets situés à 50 cm devant lui.
  - En considérant que le cercle oculaire est confondu avec le foyer image de l'oculaire, déterminer la distance à laquelle l'image intermédiaire  $A_1B_1$  doit se former et préciser s'il faut rapprocher ou éloigner l'oculaire de l'objectif.
  - Réaliser un schéma de la situation sans souci d'échelle et faire apparaître les angles  $\theta$  et  $\theta'$  sous lesquels sont vus respectivement l'objet AB et l'image A'B' à travers la lunette.
  - L'objet AB est vu sous un angle  $\theta = 2,0 \times 10^{-2}$  rad.
    - Calculer la taille de l'image intermédiaire  $A_1B_1$ .
    - En déduire la taille de l'image définitive A'B' ainsi que l'angle  $\theta'$  sous lequel elle est vue par l'œil myope.
  - Calculer le grossissement de la lunette ainsi réglée.
  - Comparer ce grossissement à celui de la lunette afocale qui serait constituée des mêmes lentilles.

### Coup de pouce

► Définition du grossissement :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

# EXERCICES

## 32 Une éraflure sur l'objectif DÉMARCHE DIFFÉRENCIÉES

Un astronome observe une étoile à travers une lunette afocale dont l'objectif a été rayé lors de son nettoyage.

**Données :**

- l'objectif est une lentille convergente de distance focale 8,0 m et de diamètre 1,2 m ;
- l'oculaire de distance focale 1,0 cm et de diamètre 2,0 cm ;
- l'éraflure mesure 2,8 mm de long et se situe à l'extérieur de l'objectif à 10 cm de son centre optique.

### DÉMARCHE EXPERTE

L'astronome peut-il être perturbé par l'éraflure sur l'objectif lorsqu'il observe un astre ?

### DÉMARCHE AVANCÉE

1. Déterminer la position de l'image donnée par la lunette de l'éraflure.
2. Où se forme l'image de l'étoile ? Justifier.
3. Est-il possible que l'astronome observe simultanément dans l'oculaire une image nette de l'étoile et de l'éraflure ?

## 33 Mesure de distance avec une lunette

Une lunette ( $f_{\text{objectif}} = 20 \text{ cm}$  et  $f_{\text{oculaire}} = 40 \text{ mm}$ ) astronomique est équipée d'un micromètre placé dans le plan focal objet de l'oculaire. Il s'agit d'une plaque de verre sur laquelle sont gravés des traits fins équidistants de  $100 \mu\text{m}$ .



Image vue à l'œil nu

1. Quelle doit être la distance entre l'objectif et l'oculaire pour qu'un œil sans défaut observe simultanément une image nette du micromètre et d'un objet éloigné à travers la lunette ?

2. a. Calculer alors la valeur du grossissement.  
b. Montrer que l'observation ci-dessous permet de vérifier la valeur du grossissement.

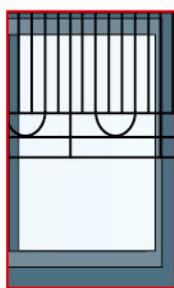


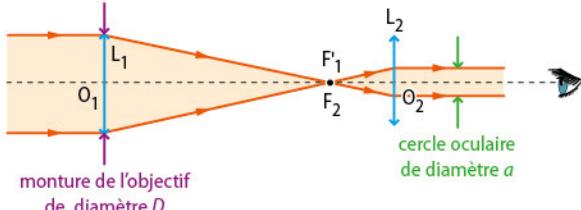
image vue à travers la lunette

3. L'image d'un immeuble de hauteur  $h = 15 \text{ m}$  couvre 14 divisions du micromètre.
- a. Calculer la dimension de l'image intermédiaire.
  - b. En déduire la distance qui sépare l'immeuble du lieu d'observation.

## 34 Cercle oculaire et grossissement

Le schéma ci-dessous représente le trajet d'un faisceau lumineux qui traverse une lunette avec une direction parallèle à l'axe optique.

**Données :** le diamètre de la pupille d'un œil dans l'obscurité est estimée à 6 mm ; l'objectif utilisé a un diamètre de 9,0 cm et une distance focale de 60 cm.



1. Expliquer pourquoi on qualifie la lunette astronomique de collecteur de lumière.

2. Dans le cas d'une lunette afocale, on peut relier le diamètre du cercle oculaire avec le grossissement.

- a. En appliquant le théorème de Thalès, montrer que le grossissement peut s'écrire :  $\bar{G} = -\frac{D}{a}$ .
- b. Quel est le grossissement minimal nécessaire pour que toute la lumière en provenance de l'astre observé pénètre dans l'œil après la traversée de la lunette ?
- c. En déduire la distance focale de l'oculaire qu'il faut utiliser.

### À L'ORAL

## 35 Luminosité

Élaborer un court exposé oral pour expliquer le choix de la distance focale de l'oculaire lorsqu'on souhaite observer un astre peu lumineux en présentant :

- la réalisation expérimentale sur banc d'optique d'une lunette afocale ;
- le compromis à trouver entre grossissement et luminosité.

### Les mots-clés à utiliser

- objectif
- oculaire
- grossissement
- cercle oculaire
- collecteur de lumière

## 36 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

L'observation des objets lointains nécessite l'utilisation d'instruments d'optique particulier comme la lunette astronomique

**Préparer un exposé oral qui explique le principe de fonctionnement de la lunette astronomique.**



# Développer ses compétences

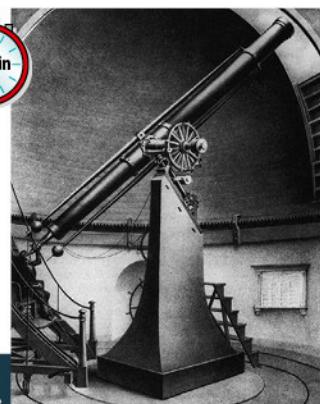
## 37 La première photographie d'étoile

RÉSOLUTION DE PROBLÈME



AN/RAI Proposer une stratégie de résolution

L'observatoire du Harvard College aux États-Unis, s'est doté en 1847 d'une lunette dont l'objectif a un diamètre de 38,0 cm et une distance focale de 6,80 m. Il s'agissait d'un instrument remarquable pour l'époque au point de rester célèbre sous le nom de « Grand réfracteur ». Cet instrument a permis de réaliser la première photographie stellaire par Bond et Whipple : il s'agissait d'un daguerréotype de l'étoile Véga (principale étoile de la constellation de la Lyre). Les premiers clichés du ciel profond et plus précisément de la grande nébuleuse d'Orion datent des années 1880.



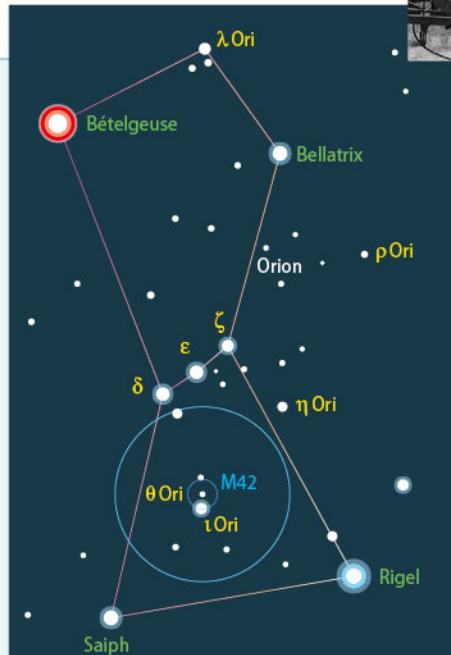
### DOC 1 La constellation d'Orion

Le corps d'Orion est facilement visible, marqué par quatre étoiles brillantes qui sont Bételgeuse ( $\alpha$  Ori), Rigel ( $\beta$  Ori), Bellatrix ( $\gamma$  Ori) et Saiph ( $\kappa$  Ori). Les deux plus brillantes sont nettement colorées : Bételgeuse est rouge et Rigel est bleue.

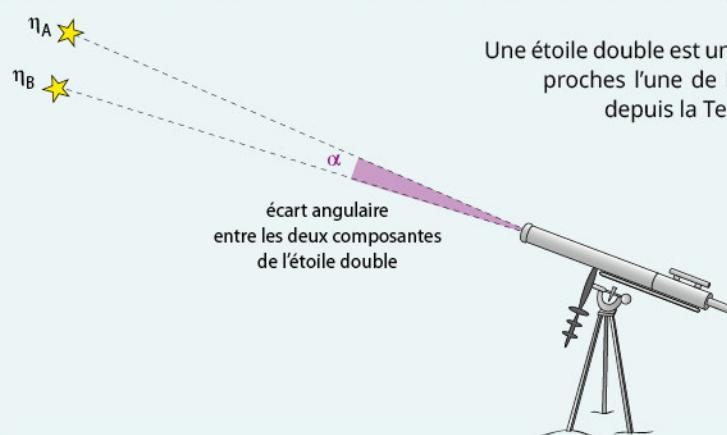
Au centre du corps, trois étoiles ( $\delta$ ,  $\epsilon$  et  $\zeta$ ), quasi parfaitement alignées, constituent la ceinture d'Orion. Sous cet alignement, on aperçoit l'épée d'Orion, qui se termine sur  $\tau$  Ori en passant par  $\theta$  Ori, autour de laquelle est centrée la nébuleuse M 42, visible à l'œil nu.

La constellation d'Orion compte également une centaine d'étoiles doubles séparées de 1" à 50" d'arc.

L'étoile double  $\eta$  Ori est un véritable test du pouvoir séparateur des instruments d'optique car les deux étoiles  $\eta_A$  et  $\eta_B$  qui la composent ne sont séparées que de 1,4" d'arc.



### DOC 2 Séparation des composantes d'une étoile double à l'aide d'une lunette



Une étoile double est une paire d'étoiles qui apparaissent comme proches l'une de l'autre dans le ciel lorsqu'on les observe depuis la Terre, à travers un instrument d'optique.

#### DONNÉES

- La minute ' et la seconde " d'arc sont des unités couramment utilisées en astronomie :  $1' = 1/60^\circ = (1,7 \times 10^{-2})^\circ$  et  $1'' = (2,8 \times 10^{-4})^\circ$ .
- Le pouvoir séparateur de l'œil vaut environ 1' d'arc.

#### QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

- Réaliser un schéma optique de la lunette qui vise l'étoile double  $\eta$  Ori et construire la marche d'un rayon lumineux issu de  $\eta_B$  qui émerge de l'oculaire en formant un angle  $\alpha'$  avec l'axe optique de la lunette.
- Exprimer le grossissement  $G$  de la lunette en fonction des distances focales de l'objectif et de l'oculaire.

#### PROBLÉMATIQUE

La lunette de l'observatoire de Harvard permet-elle de séparer le système d'étoile double  $\eta$  Ori dans la constellation d'Orion lorsqu'on utilise un oculaire de 4,0 cm ?

Toute prise d'initiatives et de présentation de la démarche suivie sera valorisée même si elle n'a pas abouti.

## 38 Photographier la Lune

ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

(COM) Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente

*L'astrophotographie est une des nombreuses disciplines de l'astronomie qui consiste à prendre des photographies du ciel. On peut par exemple utiliser un appareil photographique numérique que l'on fixe sur l'oculaire de la lunette.*

## DOC 1 Les instruments utilisés

La lunette est équipée d'un objectif de diamètre 110 mm, de distance focale 1 650 mm et d'oculaires de distances focales 4, 9, 18 et 33 mm.

L'appareil photographique numérique possède un objectif de distance focale 135 mm. Son capteur a pour dimensions : 22,3 mm × 14,9 mm.

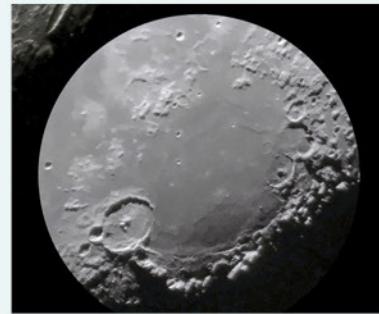


## DOC 2 Clichés réalisés à l'aide de la lunette et de l'appareil photographique

Photographie de la Lune



Détails observés avec un grossissement de -183



## DOC 3 Trajectoire de la Lune

La Lune, de diamètre 3 474 km, se déplace sur une orbite elliptique dont la Terre est l'un des foyers. La distance de la Terre à la Lune varie donc régulièrement suivant sa position :



Lorsque la Lune est au plus près de la Terre, on dit qu'elle est au périgée, lorsqu'elle est au plus loin elle est à l'apogée.

## QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

1. Déterminer la valeur de l'angle sous lequel nous apparaît la Lune lorsqu'elle se trouve à l'apogée de son orbite autour de la Terre.
2. a. Calculer la taille de l'image de la Lune formée sur le capteur de l'appareil photographique après traversée de la lunette avec l'oculaire de plus grande distance focale.  
b. Est-il possible de réaliser une photographie de la Lune complète avec l'un des oculaires disponibles ?
3. a. Calculer la taille de l'image intermédiaire donnée de la Lune par l'objectif de la lunette lorsque l'astre est au périgée puis à l'apogée de sa trajectoire.  
b. Où faut-il placer le capteur de l'appareil photographique pour pouvoir y former l'image complète de la Lune ?

## PROBLÉMATIQUE

Rédiger une synthèse qui rende compte des meilleures conditions expérimentales pour réaliser des photographies de l'astre lunaire. Préciser le réglage de l'association lunette - appareil photo en fonction de l'observation souhaitée.

Toute prise d'initiatives et de présentation de la démarche suivie sera valorisée même si elle n'a pas abouti.

**39 Observation terrestre EXERCICE TYPE BAC**

**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  $f'_1 = 10 \text{ cm}$ , d'un oculaire  $L_2$  de distance focale  $f'_2 = 2,0 \text{ cm}$  et d'un véhicule  $L_V$  de distance focale  $f'_V = 2,0 \text{ cm}$ .

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<sub>1</sub>B<sub>1</sub> donnée par l'objectif L<sub>1</sub>.

**2.** Le véhicule est placé à 14 cm de l'objectif de telle façon qu'il donne de l'image intermédiaire A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> une image A<sub>V</sub>B<sub>V</sub> de même taille que A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> mais renversée par rapport à A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>.

**a.** Positionner la lentille L<sub>V</sub> sur le schéma précédent et représenter l'image A<sub>V</sub>B<sub>V</sub>.

**b.** Vérifier graphiquement que le grossissement  $\bar{\gamma}$  du véhicule vaut effectivement -1.



**c.** Positionner, à l'échelle 1/1, la lentille L<sub>2</sub> sur le schéma précédent et construire l'image définitive A'B' donnée par la lentille L<sub>2</sub>.

**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  $\bar{G}$  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.

**VERS LE SUP'****40 Visée d'objets proches**

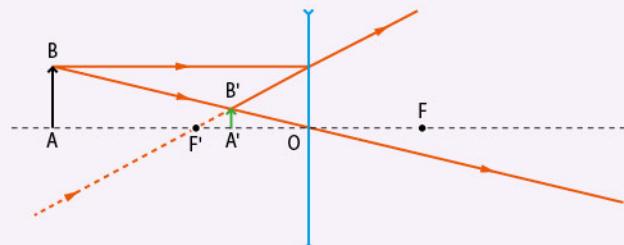
Une lunette de visée est un instrument de mesure couramment utilisé en travaux pratiques. Elle est constituée de :

- un objectif  $L_1$  de distance focale  $f'_1 = 12,0 \text{ cm}$  ;
- un réticule en croix ;
- un oculaire  $L_2$  de distance focale  $f'_2 = 1,0 \text{ cm}$  situé à une distance  $d$  du réticule.



- 1. a.** Quelle doit être la position du réticule par rapport à l'oculaire pour que l'utilisateur à vue normale puisse observer sans effort le réticule à travers l'oculaire ?
- b.** Le réglage de la lunette nécessite l'observation sans fatigue de l'image nette d'un objet situé à l'infini. Quelle est la distance objectif-oculaire dans ce cas ?
- c.** Faut-il augmenter ou diminuer le tirage (distance objectif-oculaire) pour observer un objet AB situé à une distance finie (supérieure à  $f'_1$ ) de l'objectif ?

- 2. a.** Le tirage de la lunette étant réglé à 18 cm, calculer la distance qui doit séparer l'objet visé de l'objectif.
- b.** Cette distance varie-t-elle si l'observateur souffre de myopie.
- c.** Expliquer pourquoi la lunette ainsi réglée est appelée « viseur à frontale fixe ».
- 3.** Une lentille divergente donne d'un objet réel une image virtuelle car son foyer image est situé avant la lentille (voir schéma ci-après).



Sa distance focale  $f' = \overline{OF}$  est alors négative et la détermination de sa valeur est plus complexe que dans le cas d'une lentille convergente. L'utilisation d'un viseur est alors intéressante.

**mesure 1 :** À l'aide du viseur précédemment réglé, on vise l'objet AB et on note la position  $x_A = 41,0 \text{ cm}$  du viseur.

**mesure 2 :** On place la lentille divergente après l'objet et on vise son centre O à l'aide d'une marque tracée sur le verre : il faut alors positionner le viseur sur la graduation  $x_O = 51,0 \text{ cm}$ .

**mesure 3 :** En déplaçant encore le viseur, on observe l'image A'B' donnée par la lentille : il faut avancer le viseur jusqu'à la graduation  $x'_A = 44,3 \text{ cm}$ .

**a.** Quelle distance sépare l'objet AB du viseur lors de la première mesure ?

**b.** Exploiter les résultats des mesures pour déterminer les valeurs de OA et OA'.

**c.** En déduire la valeur de la distance focale  $f'$  de la lentille divergente étudiée.

## Caractéristiques d'une lunette astronomique

GESTE  
ECE  
n° 8

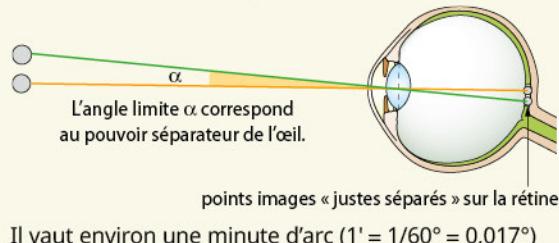


### Contexte

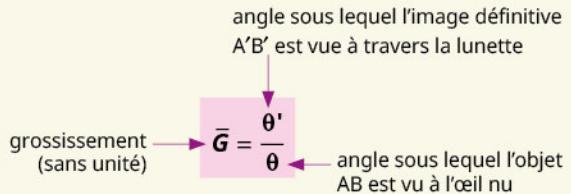
L'objectif est de modéliser une lunette astronomique et d'en déterminer le grossissement.

### Documents mis à disposition

#### Pouvoir séparateur de l'œil



#### Grossissement d'un instrument d'optique



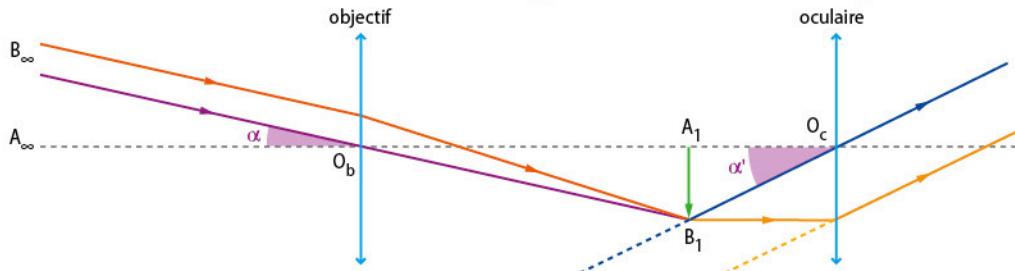
### Matériel mis à disposition

- une calculette type « collège » ou un ordinateur avec fonction « calculatrice »
- un banc d'optique avec les cavaliers et supports adaptés
- deux lentilles convergentes de distances focales inconnues
- dispositif « objet à l'infini » de diamètre apparent  $\alpha = -5 \times 10^{-2}$  rad
- un écran

### Travail à effectuer

#### 1. (AN/RAD) Proposition de protocole expérimental (20 min conseillées)

- Proposer une expérience permettant de déterminer la distance focale des deux lentilles à disposition.
- Evaluer l'incertitude type liée à la méthode utilisée.
- Sur le schéma suivant, faire apparaître le foyer image  $F'_{ob}$  de l'objectif et le foyer objet  $F_{oc}$  de l'oculaire.



- En déduire la distance qui doit séparer les deux lentilles sur le banc d'optique.



Être en mesure de présenter le protocole

#### 2. (RÉA) Mise en œuvre du protocole expérimental proposé (30 min conseillées)

- Mettre en œuvre l'expérience proposée pour déterminer les distances focales des lentilles et identifier l'objectif et l'oculaire.
- Sans toucher au réglage du dispositif « objet à l'infini », positionner l'objectif et l'oculaire de telle manière que la lunette modélisée soit afocale.
- Rechercher la position de l'image intermédiaire  $A_1B_1$  sur un écran et réaliser les mesures nécessaires pour calculer la valeur de l'angle  $\alpha'$  sous lequel l'image définitive  $A'B'$  est vue à travers la lunette.



Être en mesure de présenter le montage expérimental attendu

#### 3. (VAL) Exploitation du résultat obtenu (10 min conseillées)

- Cette lunette permettrait-elle de distinguer deux étoiles séparées d'une distance angulaire de 0,5 minute d'arc ?

Défaire le montage et ranger la paillasse.

## UNE QUESTION

### Comment observer... l'infini ?

#### Enjeu de la question

*La lunette astronomique et le télescope sont des instruments qui servent à observer le ciel et l'Univers. Bien qu'ils reposent sur des fonctionnements différents, ils sont tous les deux destinés à observer les astres à des distances très lointaines.*

#### Proposition de plan de présentation

1. Comparaison du fonctionnement de ces deux instruments d'observation.
2. Difficultés de réglage : la lumière et les effets de pollution.
3. Contrainte technique à la valeur du grossissement.
4. Conclusion : le choix de l'instrument dépend de l'astre à observer.

#### Les mots-clés

lentilles convergentes ▶ miroirs ▶ réflexion ▶ réfraction  
▶ luminosité ▶ diamètre de l'objectif

#### Exemple de support de présentation

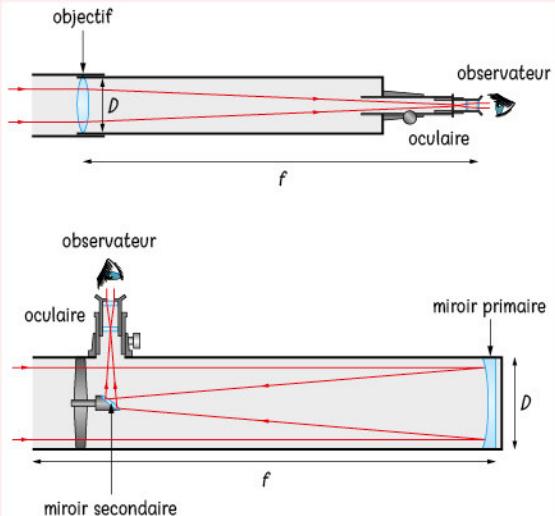


Schéma des deux instruments

## QUESTIONS D'APPROFONDISSEMENT POSSIBLES

Comment l'observation du ciel et des astres nous aide-t-elle à mieux comprendre l'Univers ?

Comment estimer expérimentalement la distance focale d'une lentille convergente ?

Que peuvent nous apprendre les instruments d'observation sur la théorie de la lumière ?

À propos des instruments d'observation du ciel...

Quelles évolutions technologiques ont permis le développement des télescopes ?

Pourquoi ne faut-il jamais observer le Soleil à travers un instrument d'optique ?

## UN EXEMPLE DE PROJET PROFESSIONNEL

Espace, médecine, lunetterie, photographie, contrôle de la pollution... Autant de secteurs où **le technicien en optique de précision** peut trouver sa place. Avec le chercheur ou l'ingénieur, il participe à la conception et à la réalisation d'instruments d'optique de haute technologie. Son travail peut inclure le montage et le réglage des composants. En dépit de l'évolution des techniques de robotisation, la minutie et le souci du détail sont des qualités nécessaires pour devenir technicien en optique.

**Après le bac :** Bac + 3 licence pro métiers de l'électronique : microélectronique, optronique, licence pro optique professionnelle. Bac + 5 diplôme d'ingénieur ou master du domaine de l'optique.  
**Autres métiers :** ingénieur-e opticien-ne, technicien-ne en optique de précision

**Le technicien en optique de précision** est amené à travailler dans des entreprises qui fabriquent des composants élémentaires ou des équipements de mesure et d'analyse. Le secteur de l'optique se développe et recrute des jeunes diplômés pour des postes d'ingénieurs et de techniciens supérieurs.

