

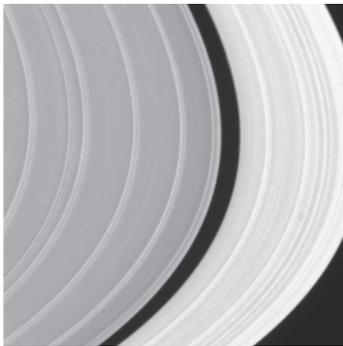
# Exercices du chap.1: Lunette astronomique

## 1 La division de Cassini

En 1675, l'astronome français Jean-Dominique Cassini découvre, dans les anneaux de Saturne, une interruption nette dans les anneaux. Cassini était très habile et disposait de lentilles de qualités inégalées à l'époque. Ces deux conditions étaient nécessaires car la division de Cassini a un diamètre apparent de 0,6 seconde d'arc depuis la Terre et la limite de résolution de l'œil humain n'est que d'une minute d'arc.

a. Déterminer le grossissement minimal que doit avoir un instrument d'optique permettant de voir la division de Cassini.

b. Sachant que Cassini disposait d'oculaires de distances focales allant de 2 à 8 cm et d'un objectif de distance focale 35 pieds, montrer que son matériel était suffisant pour faire cette observation.



**Données** On utilisera les données de l'exercice ci-dessus.

## 2 Démontrer et appliquer le cours

On dispose de lentilles convergentes de vergences variées. Pour construire une lunette astronomique, on fixe une lentille à une extrémité d'un tube en carton et une autre à l'autre extrémité. On observe ensuite le ciel à travers ce dispositif.

1. a. Laquelle des deux lentilles est nommée objectif : celle qui est du côté des étoiles ou celle qui est du côté de l'œil ? On notera  $O_1$  son centre optique,  $C_1$  sa vergence et  $f_1'$  sa distance focale.

b. Comment l'autre lentille se nomme-t-elle ?

On notera  $O_2$  son centre optique,  $C_2$  sa vergence et  $f_2'$  sa distance focale.

c. On considère un objet AB à l'infini, A étant dans la direction de l'axe optique.

Où se trouve l'image  $A_1B_1$  de cet objet par la première lentille rencontrée ?

d. Comment faut-il placer la deuxième lentille pour que l'œil ne se fatigue pas pendant l'observation ? Justifier. Comment nomme-t-on un tel système ?

e. Quelle doit donc être l'expression de la longueur du tube en carton utilisé pour construire la lunette ?

2. a. Réaliser un schéma de principe de cette lunette en matérialisant les lentilles et leurs caractéristiques et en traçant le trajet d'au moins deux rayons issus de B.

b. Sur le schéma précédent, matérialiser l'angle  $\theta$  sous lequel l'objet est vu à l'œil nu et l'angle  $\theta'$  sous lequel il est vu à travers la lunette.

c. Définir le grossissement  $G$  d'un tel système optique en fonction de  $\theta$  et  $\theta'$ .

d. Déterminer l'expression de  $G$  en fonction des vergences  $C_1$  et  $C_2$ . On utilisera l'approximation des petits angles :  $\tan\theta \approx \theta$  si  $\theta$  est petit, avec  $\theta$  exprimé en radians.

3. On dispose de lentilles de vergences suivantes :  $1,0 \delta$  ;  $2,0 \delta$  ;  $5,0 \delta$  ;  $8,0 \delta$  ;  $10,0 \delta$  ;  $20,0 \delta$  ;  $50,0 \delta$

a. Pour réaliser une lunette qui grossit 25 fois, lesquelles faut-il choisir ? Préciser leurs rôles.

b. Quel est l'encombrement (c'est-à-dire la longueur totale) d'une telle lunette ?

c. Qu'observe-t-on si on utilise cette lunette dans le mauvais sens ?

4. La planète Mars, de diamètre  $d = 6,8 \times 10^3$  km, est à  $D = 78$  millions de kilomètres de la Terre, au plus près. Une lunette de grossissement  $G = 25$  permet-elle d'observer Mars avec un diamètre apparent supérieur à la résolution de l'œil humain,  $3 \times 10^{-4}$  rad ?

### 3 Tracé à l'échelle

Une lunette astronomique est constituée d'un objectif de distance focale  $f'_1 = 500$  mm et d'un oculaire de distance focale  $f'_2 = 10$  cm.

- Réaliser un schéma de cette lunette à l'échelle  $\frac{1}{5}$ .

On matérialisera le trajet de trois rayons provenant d'un point B à l'infini dans une direction inclinée par rapport à l'axe optique, ainsi que les angles  $\alpha$  et  $\alpha'$ , diamètres apparents de l'objet observé avec et sans la lunette.

**Pour l'exercice 5**, on admettra que le grossissement d'une lunette astronomique est le quotient de la distance focale de son objectif par la distance focale de son oculaire.

### 4 Grossissements et vergences

- Recopier et compléter le tableau suivant, où  $G$  est le grossissement d'une lunette astronomique,  $C_1$  la vergence de son objectif et  $C_2$  celle de son oculaire.

$G$	400		1 000	250
$C_1$ (en $\delta$ )	0,50	2,0		
$C_2$ (en $\delta$ )		40,0	50,0	100,0

### 5 Lunette astronomique de Nice

La quatrième plus grande lunette astronomique du monde est en service à l'Observatoire de Nice.

- À l'aide de la photographie présentée en ouverture de chapitre p. 489, évaluer la longueur de cette lunette.
- Son grossissement maximal est 2 250. Justifier que la longueur de la lunette est approximativement la distance focale de son objectif.
- En déduire une estimation de la distance focale de l'oculaire utilisé pour avoir ce grossissement.

### 6 Lunette déréglée

Une lunette astronomique est constituée d'un objectif de distance focale  $f'_1 = 0,500$  m et d'un oculaire de distance focale  $f'_2 = 5,00$  cm, placé à une distance  $d$  de l'objectif.

- Que doit valoir  $d$  pour que cette lunette soit afocale ? Justifier.
- La lunette est mal réglée, de sorte que  $d = 54,0$  cm. Où se situe, par rapport à l'oculaire, l'image intermédiaire  $A_1B_1$  d'un objet AB à l'infini ? Que peut-on dire de l'image définitive  $A'B'$  ?
- Réaliser un schéma à l'échelle  $\frac{1}{5}$  où l'on fera figurer les lentilles et leurs caractéristiques, les images  $A_1B_1$  et  $A'B'$  et où l'on tracera le trajet de trois rayons issus d'un point B à l'infini hors de l'axe optique.
- L'œil voit-il cette image nette sans accommoder ? Et en accommodant ?

### 7 Mesures à l'aide d'une lunette

Pour effectuer des mesures de distances astronomiques à l'aide d'une lunette astronomique, on peut lui adapter un oculaire micrométrique. Il s'agit d'un oculaire contenant, dans son plan focal objet, une graduation au micromètre près. Cette graduation se superpose à l'image intermédiaire  $A_1B_1$  donnée de l'objet par l'objectif. On mesure ainsi à l'aide de la graduation la taille de  $A_1B_1$  et on en déduit le diamètre angulaire  $\alpha$  de l'objet.

On notera  $f'_1$  la distance focale de l'objectif,  $f'_2$  celle de l'oculaire.

- Faire un schéma de principe de la lunette et montrer que  $\tan \alpha = \frac{A_1B_1}{f'_1}$ .

On admettra que l'angle  $\alpha$  est assez petit pour que l'on puisse faire l'approximation des petits angles, c'est-à-dire  $\tan \alpha \approx \alpha$ , avec  $\alpha$  exprimé en rad.

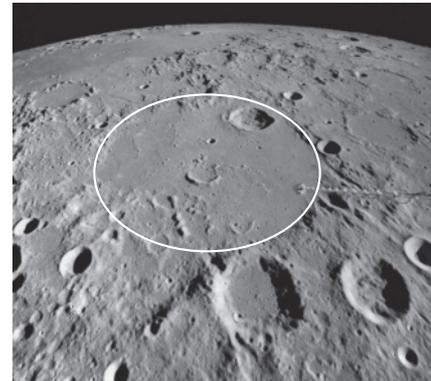
- On observe à l'aide de cette lunette un objet céleste de longueur  $d$  situé à la distance  $D$  de l'observateur. Donner l'expression de  $\alpha$  en fonction de  $d$  et  $D$ . On pourra s'aider d'un schéma.

On pourra s'aider d'un schéma.

- En déduire l'expression de  $d$  en fonction de  $D$ ,  $f'_1$  et  $A_1B_1$ .

- On utilise une lunette astronomique dont l'objectif a une distance focale  $f'_1 = 60$  cm  $\pm$  1 cm, afin d'observer le cirque Hipparque, un cratère lunaire (photographie ci-contre).

La mesure du cirque au micromètre montre que l'image intermédiaire a une taille  $A_1B_1 = 25$   $\mu$ m  $\pm$  1  $\mu$ m.



Le cirque Hipparque, très érodé suite à de nombreux impacts.

#### Données

- La distance entre le centre de la Terre et celui de la Lune  $D_{TL}$  varie entre  $3,567 \times 10^5$  km et  $4,063 \times 10^5$  km.
- La distance réelle Terre-Lune n'est pas connue à la date de la mesure.
- Le rayon terrestre moyen est  $R_T = 6\,378$  km.
- Le rayon lunaire est  $R_L = 1\,737$  km.

- Proposer une mesure pour la distance  $D$  avec son incertitude.
- Calculer le diamètre  $d$  du cratère.
- L'incertitude-type sur  $d$  vérifie :

$$\frac{u(d)}{d} = \sqrt{\left(\frac{u(f'_1)}{f'_1}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(A_1B_1)}{A_1B_1}\right)^2}$$

où l'on a noté  $u(X)$  l'incertitude-type sur la grandeur  $X$ . Calculer  $u(d)$  et exprimer le résultat de la mesure de  $d$  avec son incertitude-type.

- Une encyclopédie donne la valeur de référence  $d_{\text{réf}} = 150$  km.

Calculer le quotient  $\frac{|d - d_{\text{réf}}|}{u(d)}$  et commenter le résultat.

## Données pour les exercices 9 et 10

Soit une lentille de centre optique O et de distance focale  $f'$  donnant d'un objet AB une image A'B' :

- le **grandissement** s'écrit  $\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$  ;
- la **relation de conjugaison** de Descartes est  $-\frac{1}{OA} + \frac{1}{OA'} = \frac{1}{f'}$ .

Lorsque (MN) est parallèle à l'axe optique, la **mesure algébrique** MN est positive si N est à droite de M, négative sinon. Lorsque (MN) est perpendiculaire à l'axe optique, MN est positive si M est au-dessus de N, négative sinon.

## 8 Cercle oculaire

Le cercle oculaire est le cercle où il est préférable de placer l'œil pour observer un objet à l'infini à travers une lunette. C'est l'image de l'objectif par l'oculaire.

Soit une lunette astronomique afocale constituée d'un objectif de distance focale  $f'_1 = 1,00$  m et de diamètre  $d = 20$  cm, et d'un oculaire de distance focale  $f'_2 = 10,0$  cm.



L'acteur Denis Lavant interprétant Johannes Kepler dans le film *L'Œil de l'astronome* (2012).

1. On nomme  $O_1$  le centre optique de l'objectif et  $O_2$  celui de l'oculaire.

a. À l'aide de la relation de conjugaison, déterminer la position de l'image  $O'_1$  de  $O_1$  par l'oculaire.

b. Le dégagement oculaire est la distance entre l'oculaire et le cercle oculaire. Elle ne doit pas être trop petite pour éviter l'inconfort, ni trop grande pour faciliter le placement de l'œil sur le cercle oculaire.

Quelle est la valeur du dégagement oculaire ici ? Vous paraît-elle convenir ?

2. Le bord de l'objectif sera repéré par un point I, dont l'image par l'oculaire est nommée I'.

a. Déterminer la distance  $O'_1 I'$ . En déduire le diamètre du cercle oculaire.

b. Dans l'idéal, le diamètre du cercle oculaire doit être inférieur à la taille d'une partie de l'œil. Laquelle ? Pourquoi ? Est-ce le cas ici ?

3.a. Réaliser un schéma figurant les deux lentilles et les rayons permettant la construction du cercle oculaire.

b. Sur ce schéma, ajouter le trajet de deux rayons parallèles, arrivant de l'infini, inclinés par rapport à l'axe optique, et s'appuyant sur les bords de l'objectif.

Montrer que c'est au niveau du cercle oculaire que le faisceau lumineux sortant est le plus étroit.

## 9 Lunette terrestre

Effectuer un calcul - Schématiser une situation

La lunette astronomique étudiée en Terminale donne des images renversées. Si ce n'est pas un inconvénient pour l'observation des astres, c'en est un pour les objets situés à la surface de la Terre.

On transforme la lunette astronomique en lunette terrestre en interposant entre l'objectif et l'oculaire une lentille convergente appelée véhicule.

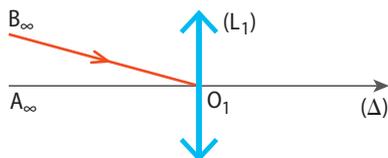
### 1. L'objectif

La lunette terrestre comme la lunette astronomique possède un objectif et un oculaire.

L'objectif d'une lunette terrestre est une lentille convergente ( $L_1$ ) de distance focale  $f'_1 = 10,0$  cm.

a. Télécharger et imprimer la figure 1 disponible à l'adresse [hatier-clic.fr/pct501](http://hatier-clic.fr/pct501).

Elle représente un objet lointain  $A_\infty B_\infty$  ( $A_\infty$  sur l'axe) pouvant être considéré à l'infini et observé à travers cette lentille, ainsi qu'un rayon issu de  $B_\infty$ .



Où se trouve l'image  $A_1 B_1$  donnée par ( $L_1$ ) ?

b. Placer, à l'échelle 1, le foyer de la lentille ( $L_1$ ) sur la figure 1.

c. Construire sur la figure 1 l'image intermédiaire  $A_1 B_1$  donnée par ( $L_1$ ).

### 2. Le véhicule

Le véhicule est modélisé par une lentille convergente ( $L_2$ ) de distance focale  $f'_2 = 2,0$  cm. Cette lentille est placée pour former de l'image intermédiaire  $A_1 B_1$  une image  $A_2 B_2$  de même taille que  $A_1 B_1$ .

a. Télécharger et imprimer la figure 2 disponible à l'adresse [hatier-clic.fr/pct501](http://hatier-clic.fr/pct501).

Compléter la figure 2 pour montrer que la lentille ( $L_2$ ) doit être positionnée de telle sorte que :

- son centre optique  $O_2$  soit le milieu de  $[A_1 A_2]$  ;
- les distances  $A_1 O_2$  et  $O_2 A_2$  soient égales à  $2f'_2$ .

b. Compléter la figure 1 en positionnant ( $L_2$ ), ses foyers et l'image  $A_2 B_2$ .

Quel est le rôle de cette lentille ?

### 3. L'oculaire

L'oculaire est modélisé par une lentille convergente ( $L_3$ ) de distance focale  $f'_3 = 2,0$  cm. Il joue le rôle d'une loupe et permet d'agrandir l'image  $A_2 B_2$ .

a. Pour une observation sans fatigue, l'image finale  $A_3 B_3$  doit se trouver à l'infini.

Où la lentille ( $L_3$ ) doit-elle être placée ?

b. À l'échelle 1, placer la lentille ( $L_3$ ) sur la figure 1.

c. Construire l'image finale  $A_3 B_3$  donnée par ( $L_3$ ).

Adapté du sujet de Bac Réunion, 2007.

## 10 Visibilité d'une nébuleuse annulaire

L'observatoire du Harvard College aux États-Unis, s'est doté en 1847 d'une lunette dont l'objectif a un diamètre de 38 cm. 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 d'une étoile en 1850 : l'astronome W. C. Bond a réalisé des daguerréotypes\* de l'étoile Véga dans la constellation de la Lyre.

*Astronomie*, Éditions Atlas, 1984.

### Vocabulaire

**Daguerréotype** : nom des premières photographies, issues d'un procédé inventé par le photographe français Louis Daguerre, en 1835.

Située près de la constellation de la Lyre, la nébuleuse annulaire de la Lyre (nommée M57) est le prototype des nébuleuses planétaires. Elle s'est formée il y a environ 20 000 ans à partir d'une étoile qui, en explosant, a libéré des gaz ayant une structure que l'on assimilera à un anneau circulaire (photographie ci-dessous).



L'exercice propose de déterminer le diamètre apparent de cette nébuleuse que l'on désignera par M57 dans le texte, observée avec la lunette de l'observatoire de Harvard. On négligera tout phénomène de diffraction. Une lunette est dite afocale lorsque le foyer image de l'objectif et le foyer objet de l'oculaire sont confondus.

**Données** • Année-lumière :  $1 \text{ al} = 1,00 \times 10^{13} \text{ km}$   
• Pour les angles petits et exprimés en radians :  $\tan \alpha \approx \alpha$

La lunette de l'observatoire de Harvard sera modélisée par un système de deux lentilles minces ( $L_1$ ) et ( $L_2$ ) :

- l'objectif ( $L_1$ ) est une lentille convergente de centre optique  $O_1$ , de diamètre 38,0 cm et de distance focale  $f'_1 = 6,80 \text{ m}$  ;

- l'oculaire ( $L_2$ ) est une lentille convergente de centre optique  $O_2$  et de distance focale  $f'_2 = 4,0 \text{ cm}$ .

**1.** La distance entre les centres optiques des deux lentilles est de 6,84 m.

**1.1.** Montrer que cette lunette est afocale.

**1.2.** Réaliser, sans souci d'échelle, un schéma de principe représentant les deux lentilles et matérialisant la position du foyer image  $F'_1$  de l'objectif ( $L_1$ ).

Sur ce schéma, placer les foyers  $F_2$  et  $F'_2$  de l'oculaire dans le cas d'une lunette afocale.

**2.** Télécharger et imprimer le schéma disponible à l'adresse [hatier-clic.fr/pct503](http://hatier-clic.fr/pct503).

La nébuleuse M57, supposée à l'infini, y est représentée par  $A_\infty B_\infty$  ( $A_\infty$  étant sur l'axe optique). Un rayon lumineux issu de  $B_\infty$  est également représenté.

**2.1.** Construire, sur le schéma, l'image  $A_1 B_1$  de l'objet  $A_\infty B_\infty$ , donnée par l'objectif.

**2.2.** On désigne par  $\alpha$  le diamètre apparent de la nébuleuse M57 :  $\alpha$  est l'angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu.

Quelle est, en fonction de  $f'_1$  et  $A_1 B_1$ , l'expression du diamètre apparent  $\alpha$  ? Justifier.

**3.** L'oculaire ( $L_2$ ) permet d'obtenir une image définitive  $A'B'$  de la nébuleuse M57.

**3.1.** La lunette étant afocale, où l'image  $A'B'$  sera-t-elle située ? Justifier la réponse.

**3.2.** Construire, sur le schéma, la marche d'un rayon lumineux issu de  $B_1$  permettant de trouver la direction de  $B'$ .

**4.** On désigne par  $\alpha'$  le diamètre apparent de l'image  $A'B'$  vue à travers la lunette.

**4.1.** Exprimer le diamètre apparent  $\alpha'$  en fonction de  $f'_2$  et  $A_1 B_1$ .

**4.2.** Définir le grossissement  $G$  de la lunette en fonction de  $\alpha$  et  $\alpha'$ .

Déduire des questions précédentes l'expression du grossissement  $G$  de la lunette de l'observatoire de Harvard, puis sa valeur numérique.

### 5. Application

La nébuleuse M57, située à la distance  $L \approx 2\,600 \text{ al}$  de la Terre, a un diamètre  $D = A_\infty B_\infty = 1,3 \times 10^{13} \text{ km}$ .

**5.1.** Sachant que l'œil humain voit comme un point tout objet de diamètre apparent inférieur à  $3,0 \times 10^{-4} \text{ rad}$ , montrer qu'il peut théoriquement distinguer les points  $A_\infty$  et  $B_\infty$ .

**5.2.** En réalité, la nébuleuse M57 n'est pas observable à l'œil nu mais, à travers la lunette, elle devient faiblement visible. Proposer une explication.

Quel est, à votre avis, l'intérêt d'utiliser pour les observations, des lunettes (et actuellement des télescopes) qui ont un objectif de diamètre de plus en plus grand ?

**5.3.** Calculer le diamètre apparent de cette nébuleuse vue à travers la lunette de l'observatoire de Harvard.

*Adapté du sujet de Bac Asie, 2010.*

### DES CLÉS POUR RÉUSSIR

**1.1.** La réponse doit rappeler la définition d'un système afocal.

**2.1.** et **3.2.** Les tracés doivent être réalisés avec un crayon bien taillé. Revoir les règles de tracé de rayons.

**2.2.** et **4.1.** La justification doit s'appuyer sur le schéma et utilise l'approximation des petits angles.

## 11 Étude des taches solaires

On étudie une lunette astronomique qui permet d'observer l'image du Soleil par une projection sur un écran. Cette lunette est constituée : – d'un objectif convergent de diamètre 70 mm et de distance focale  $f'_1 = 900$  mm ;  
– d'un oculaire convergent dont la distance focale vaut  $f'_2 = 20$  mm.

### Données

- Diamètre apparent du Soleil :  $\alpha = 9,33 \times 10^{-3}$  rad
- Diamètre du Soleil :  $D = 1,39 \times 10^6$  km
- Vu les petits angles mis en jeu, on utilisera l'approximation des petits angles :  
 $\tan \alpha \approx \alpha$ , si  $\alpha$  est en radians.
- Soit une lentille de centre optique O et de distance focale  $f'$  donnant d'un objet AB une image A'B'.

La relation de conjugaison est :  $-\frac{1}{OA} + \frac{1}{OA'} = \frac{1}{f'}$

Dans la suite de l'exercice, on assimilera l'objectif de cette lunette à une lentille mince ( $L_1$ ) convergente de centre optique  $O_1$ , de foyers objet et image respectifs  $F_1$  et  $F'_1$ . L'oculaire sera assimilé à une lentille mince ( $L_2$ ) convergente de centre optique  $O_2$ , de foyers objet et image respectifs  $F_2$  et  $F'_2$ .

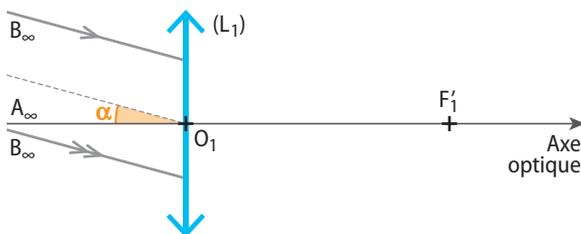
L'objectif de cette lunette donne d'un objet AB très éloigné (considéré à l'infini) une image intermédiaire  $A_1B_1$  située entre l'objectif et l'oculaire. L'oculaire, qui sert à examiner cette image intermédiaire, en donne une image définitive A'B'. Lorsque cette image définitive est à l'infini, la lunette est dite afocale.

### A. La lunette est rendue afocale

1. Le point A de l'objet AB situé à l'infini est sur l'axe optique de la lentille ( $L_1$ ).

1.1. Où l'image intermédiaire  $A_1B_1$  de l'objet AB se forme-t-elle par rapport à l'objectif ?

1.2. Sur le modèle du document disponible à l'adresse [hatier-clic.fr/pct504](http://hatier-clic.fr/pct504), réaliser un schéma de principe sans souci d'échelle représentant l'axe optique, la lentille ( $L_1$ ) et un rayon incliné issu de B. Construire  $A_1B_1$ .



1.3. Calculer la taille de  $A_1B_1$ .

2. L'image intermédiaire  $A_1B_1$  donnée par l'objectif constitue un objet pour l'oculaire.

2.1. Quelle position particulière doit occuper  $A_1B_1$  pour que l'image A'B' soit rejetée à l'infini ?

2.2. Où se trouve alors le foyer objet  $F_2$  de l'oculaire par rapport au foyer image  $F'_1$  de l'objectif pour que la lunette soit afocale ?

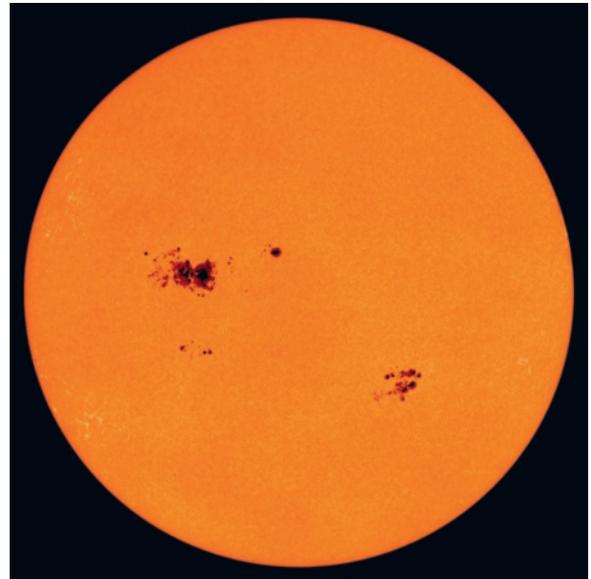
3. Ajouter sur le schéma les foyers  $F_2$  et  $F'_2$  de l'oculaire et tracer ensuite la marche du faisceau lumineux à travers la lunette.

4. Donner la définition du diamètre apparent image  $\alpha'$  et le représenter sur le schéma. Le calculer.

5. En déduire le grossissement  $G$  de cette lunette.

### B. Observation des taches solaires

Lorsque l'on observe le Soleil au travers de filtres appropriés ou lorsque l'on projette son image sur un écran, sa surface montre certaines irrégularités dans son éclat, appelées taches solaires, qui apparaissent en noir (photographie ci-dessous).



Tâches solaires mises en évidence par le satellite SoHO, en orbite autour du Soleil.

Pour une observation de ce phénomène, on règle la position de l'oculaire par rapport à l'objectif de façon à obtenir une image nette du Soleil sur un écran. L'écran est placé à 30 cm du foyer image  $F'_2$  de l'oculaire.

1. Montrer que  $\overline{O_2A'} = 32$  cm.

2. En utilisant la relation de conjugaison, calculer  $\overline{O_2A_1}$ . A-t-on éloigné ou rapproché l'oculaire de l'objectif pour observer l'image du Soleil sur l'écran ? Justifier la réponse.

3. On observe sur l'écran l'image d'une des taches solaires. Cette image supposée circulaire a un diamètre  $d' = 5$  mm. L'image du Soleil a un diamètre  $D' = 126$  mm. Calculer le diamètre  $d$  de cette tache solaire.

Adapté du sujet de Bac Antilles, 2006.

### DES CLÉS POUR RÉUSSIR

**A.** La démarche est très guidée : bien lire les questions et s'assurer qu'on y répond précisément.

Pour les constructions, même si aucune échelle n'est à respecter, les rapports de distances doivent être approximativement corrects.

**B.** L'image n'est plus à l'infini : le système n'est plus afocal.