

## 1. Session 2023 – Jour1 – Asie Pacifique

## EXERCICE I – AUTOUR DE SATURNE (11 points)

La planète Saturne, connue pour ses anneaux, compte pas moins de 80 satellites naturels ou « lunes ».

La plus grande de ces lunes, Titan, n'est pas visible à l'œil nu. Elle a été découverte en 1655 par Christian Huygens (1629-1695) grâce à une lunette astronomique de sa conception.

L'une des lunes les plus proches de Saturne est Janus, découverte en 1966 par plusieurs astronomes dont le français Audouin Dollfus (1924-2010).



Illustration tirée de : starwalk.spa

Cet exercice a plusieurs objectifs : justifier l'utilisation d'une lunette astronomique pour observer Titan (**parties A et B**), étudier ses limites d'observation (**partie C**), puis étudier le mouvement des anneaux et de Janus (**partie D**).

## Données

- Diamètre apparent d'un objet et pouvoir séparateur de l'œil, **document 1**.

**Document 1 – Diamètre apparent d'un objet et pouvoir séparateur**

Le **diamètre apparent** d'un objet, noté  $\theta$ , est l'angle sous lequel un objet AB est vu par un observateur (Cf. figure).



Le **pouvoir séparateur de l'œil**, noté  $\varepsilon$ , est la valeur minimale de l'angle  $\theta$  sous lequel les deux points A et B peuvent être vus séparément. Pour l'œil humain,  $\varepsilon = 3 \times 10^{-4}$  rad.

- Distance moyenne Titan - Terre :  $D = 1,43 \times 10^9$  km
- Diamètre de Titan :  $d = 5,2 \times 10^3$  km
- Angle sous lequel est vue la lune Janus depuis la Terre :  $\theta_j = 1,3 \times 10^{-7}$  rad
- Dans tout l'exercice les angles sont suffisamment petits pour que l'on puisse faire l'approximation :  $\tan \theta \approx \theta$ , avec  $\theta$  en radian.

**Partie A - Observation de Titan à l'œil nu**

1. Montrer que l'angle  $\theta$  sous lequel se présente Titan depuis la Terre vaut approximativement  $3,6 \times 10^{-6}$  rad.
2. Justifier que Titan n'est pas observable à l'œil nu.
3. En déduire la valeur  $G_{min}$  du grossissement minimal que doit avoir un instrument d'optique, telle une lunette, pour observer Titan depuis la Terre.

**Partie B - Observation de Titan à l'aide d'une lunette astronomique**

Une élève se rend à l'Observatoire historique de Marseille pour observer Saturne et ses satellites. Elle fait ses observations à l'aide d'une lunette astronomique dont les caractéristiques sont données ci-dessous.

Objectif : Distance focale  $f'_{ob} = 3,10$  m.      Diamètre  $d_{ob} = 260$  mm.

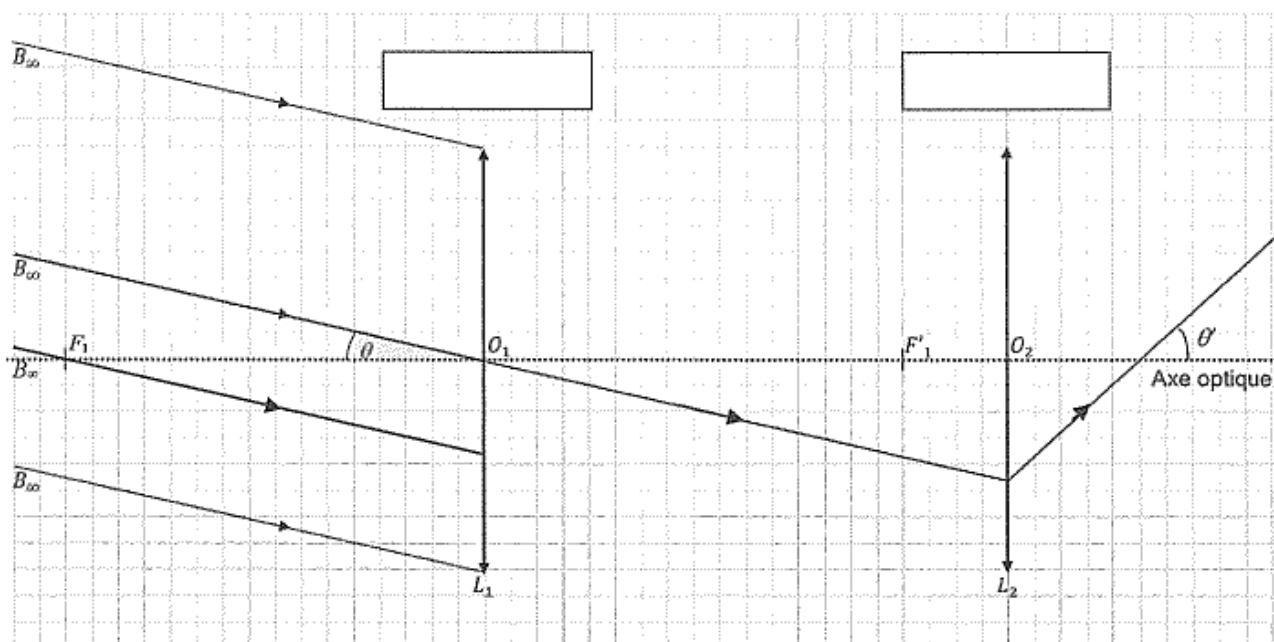
Pour l'oculaire, trois distances focales  $f'_{oc}$  sont possibles : 12 mm, 25 mm, 40 mm.

Le schéma de principe modélisant cette lunette est présenté en ANNEXE PAGE 13/13 À RENDRE AVEC LA COPIE. L'objet  $A_\infty B_\infty$  observé est situé à l'infini, il est perpendiculaire à l'axe optique ; le point  $A_\infty$  est sur l'axe optique. Seuls quelques rayons issus de  $B_\infty$  sont représentés. Les angles ne sont pas à l'échelle. On rappelle qu'un système optique est dit « afocal » s'il donne d'un objet à l'infini une image à l'infini.

4. Identifier l'objectif et l'oculaire sur le schéma en ANNEXE PAGE 13/13 À RENDRE AVEC LA COPIE et positionner les foyers  $F_2$  et  $F'_2$  de la lentille  $L_2$  pour obtenir une lunette afocale.
5. Construire sur le schéma en ANNEXE PAGE 13/13 À RENDRE AVEC LA COPIE la marche complète des rayons lumineux incidents issus d'un point objet  $B_\infty$  situé à l'infini, en faisant apparaître l'image intermédiaire  $B_1$  donnée par la lentille  $L_1$ .
6. À partir de la définition du grossissement  $G$ , établir que dans le cas d'une lunette afocale :

$$G = \frac{f'_{ob}}{f'_{oc}}$$

7. Parmi les différents oculaires disponibles, indiquer en justifiant celui qui permet d'obtenir le grossissement maximal.
8. Indiquer s'il est possible d'observer chacune des deux lunes, Titan et Janus, à l'aide de cette lunette.
9. Donner une estimation de la longueur  $L$  de la lunette de l'observatoire de Marseille en s'appuyant sur le schéma de principe de la lunette représentée en ANNEXE PAGE 13/13 et sur les valeurs des distances focales.



## 2. Session 2023 – Jour1 – Métropole

### EXERCICE 1 - À LA DÉCOUVERTE DE SATURNE (11 points)

La planète Saturne a été observée à travers une lunette astronomique pour la première fois par l'astronome Galilée en 1610. Il a pu entrevoir la planète, mais sa lunette ne lui a pas permis de distinguer clairement ce qui l'entourait (figure 1).

Ce n'est qu'en 1655, grâce à une lunette plus perfectionnée, que Christian Huygens comprend que ce qui entoure Saturne sont des anneaux dont l'aspect varie avec l'angle d'observation. La même année, il découvre également Titan, le plus gros satellite de Saturne (figures 2 et 3).



Figure 1. Saturne représentée par Galilée en 1610

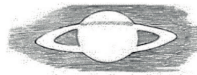


Figure 2. Un des premiers dessins de Saturne réalisé par Huygens en 1655



Figure 3. Positions respectives de Saturne et de Titan schématisées par Huygens en 1655

Source : *Systema Saturnium* de Huygens

Le but de cet exercice est d'étudier la lunette astronomique de Huygens afin de comparer ses observations de Saturne et de ses anneaux à celles de Galilée. La fin de l'exercice est consacrée à l'étude du mouvement du satellite Titan à partir des observations de Huygens.

**Données :**

- caractéristiques des lunettes astronomiques utilisées par Galilée et Huygens :

	Distance focale $f_1'$ de l'objectif	Distance focale $f_2'$ de l'oculaire	Diamètre $a$ de l'objectif	Grossissement
Lunette de Galilée utilisée en 1610			29,0 mm	$G_{Gal} = 14$
Lunette de Huygens utilisée en 1655	329 cm	7,0 cm	51,0 mm	

- un observateur peut distinguer deux points différents d'un objet si l'angle sous lequel sont vus ces deux points, depuis le point d'observation, est supérieur ou égal à  $3,0 \times 10^{-4}$  rad ;
- approximation dans le cas de petits angles ( $\theta \ll 1$  rad) :  $\tan(\theta) = \theta$  ;
- constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$  ;
- masse de Saturne :  $M_S = 5,68 \times 10^{26} \text{ kg}$  ;
- masse de Titan :  $M_T = 1,34 \times 10^{23} \text{ kg}$  ;
- distance moyenne entre la Terre et Saturne :  $D_{T-S} = 1,42 \times 10^9 \text{ km}$  ;
- rayon de l'orbite de Titan autour de Saturne :  $R = 1,22 \times 10^6 \text{ km}$ .

**1. Observation de Saturne par Huygens**

La lunette de Huygens, considérée comme afocale, est modélisée par un système de deux lentilles minces convergentes notées  $L_1$  et  $L_2$ . La lentille  $L_1$  représente l'objectif et la lentille  $L_2$  l'oculaire. Leurs centres optiques sont notés  $O_1$  et  $O_2$  et leurs distances focales respectives sont notées  $f_1'$  et  $f_2'$ .

Sur la figure A1 de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE, réalisée sans souci d'échelle, sont représentées les deux lentilles et la position du foyer image  $F_1'$  de la lentille  $L_1$ . La lunette est utilisée pour observer un objet AB, supposé « à l'infini », dont l'image par l'objectif sera notée  $A_1B_1$ . Deux rayons lumineux issus de B sont représentés sur le schéma.

**Q1.** Préciser le sens du terme « afocal ».

**Q2.** Placer, sur la figure A1 de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE, les foyers objet  $F_2$  et image  $F_2'$  de la lentille  $L_2$  dans le cas d'une lunette afocale.

**Q3.** Construire, sur la figure A1 de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE, la marche des deux rayons lumineux issus de B qui émergent de la lunette en faisant apparaître l'image intermédiaire  $A_1B_1$ .

La lunette de Huygens est constituée d'un tube long de 372 cm. Comme indiqué sur la figure 4, l'oculaire est placé à une extrémité du tube. L'objectif quant à lui est enfoncé de 36 cm par rapport à l'autre extrémité, afin de le protéger de la buée.

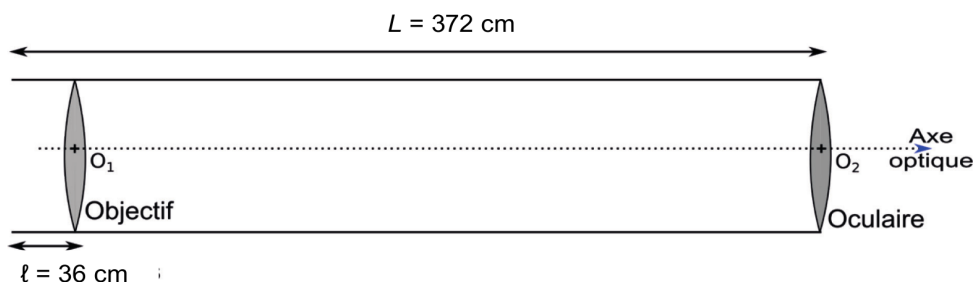


Figure 4. Représentation schématique de la lunette de Huygens (échelle non respectée)

**Q4.** Vérifier, à partir des données, que la lunette d'Huygens peut être considérée comme « afocale ».

L'angle  $\theta$ , représenté sur la figure A1 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, désigne l'angle sous lequel l'espace AB entre la surface de Saturne et son premier anneau est vu à l'œil nu depuis la Terre, lorsque les anneaux de Saturne sont vus de face (voir figure 5).

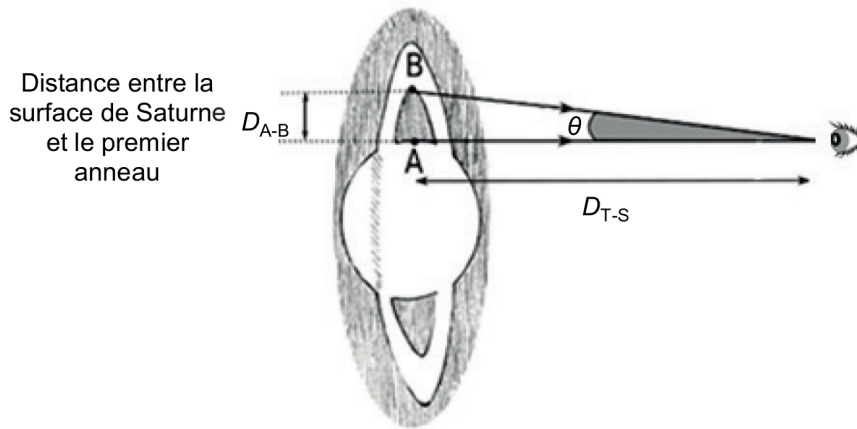


Figure 5. Angle sous lequel Saturne est vue par Huygens sans la lunette (échelle non respectée)

On note  $\theta'$  l'angle sous lequel un observateur voit l'image A'B' de l'espace AB, à travers la lunette astronomique.

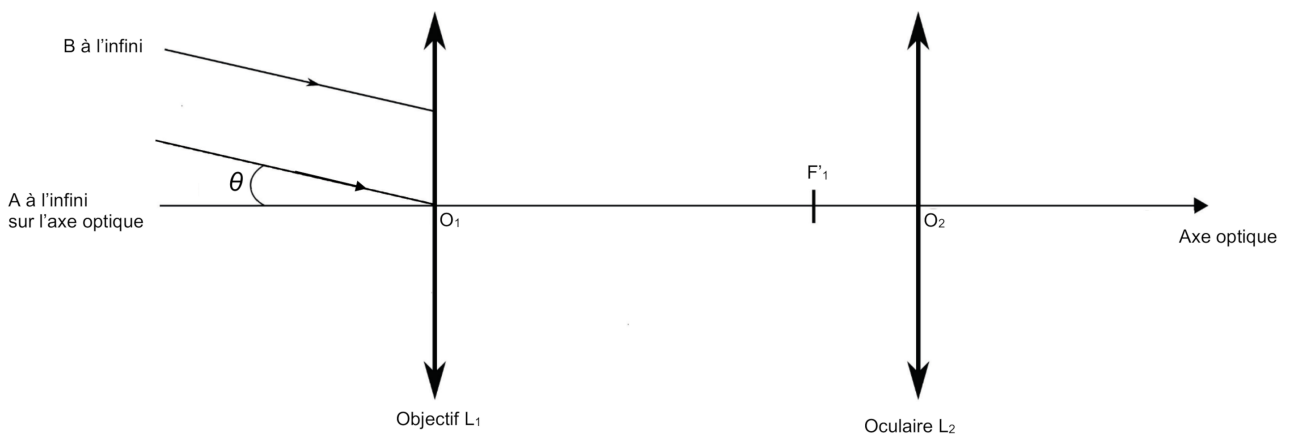
**Q5.** Placer l'angle  $\theta'$  sur la figure A1 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

**Q6.** Donner l'expression du grossissement  $G_{Huy}$  de la lunette de Huygens en fonction des angles  $\theta$  et  $\theta'$ .

**Q7.** Montrer que le grossissement  $G_{Huy}$  de la lunette de Huygens s'exprime en fonction des distances focales des lentilles  $L_1$  et  $L_2$  constituant la lunette :

$$G_{Huy} = \frac{f_1'}{f_2'}$$

**Q8.** Calculer la valeur du grossissement  $G_{Huy}$  de la lunette utilisée par Huygens.



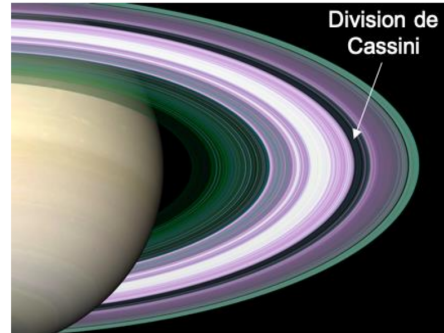
**EXERCICE B - OBSERVATION DE LA DIVISION DE CASSINI (5 points)**

**Mots-clés:** lunette afocale, choix de l'oculaire.

Pour un astronome amateur, l'observation de Saturne et de ses anneaux est un émerveillement. Ceux-ci sont observables avec une lunette astronomique.

La division de Cassini est une ligne sombre qui sépare deux anneaux concentriques. On l'observe à l'aide d'une lunette commerciale dont les caractéristiques sont :

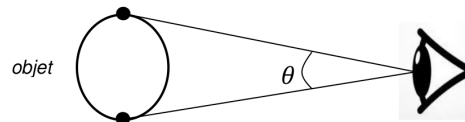
- ✓ Objectif de focale 650 mm ;
- ✓ Trois oculaires interchangeables de focales respectives : 6 mm, 12,5 mm et 20 mm.



Cet exercice porte sur le choix de l'oculaire pour pouvoir distinguer la division de Cassini.

**Document :** Diamètre apparent et pouvoir de résolution

- Le diamètre apparent d'un objet est l'angle  $\theta$  entre les rayons lumineux issus des points extrémaux de cet objet lorsqu'ils atteignent l'œil nu d'un observateur.



- Le pouvoir de résolution  $\theta_s$  de l'œil est l'angle limite en deçà duquel l'œil ne peut distinguer séparément les deux points extrémaux.

**Données :**

- ✓ Pour un œil humain, le pouvoir de résolution a pour valeur :  $\theta_s = 3,0 \times 10^{-4}$  rad.
- ✓ Diamètre apparent de Saturne, anneaux compris :  $\theta_{sat} = 2,08 \times 10^{-4}$  rad.
- ✓ Diamètre apparent de la division de Cassini :  $\theta_{cas} = 3,39 \times 10^{-6}$  rad.
- ✓ On rappelle que le grossissement  $G$  de la lunette est défini comme étant le rapport du diamètre apparent de l'image observée à travers la lunette  $\theta'$  à celui de l'objet  $\theta$  observé à l'œil nu :

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

- Une lunette est dite afocale si elle donne une image à l'infini d'un objet situé à l'infini.
- Pour un petit angle  $\alpha$ , exprimé en radians,  $\tan \alpha \approx \alpha$ .

**Grossissement nécessaire**

1. Expliquer pourquoi la division de Cassini ne peut pas être distinguée à l'œil nu.
2. Montrer que le grossissement minimal nécessaire pour observer la division de Cassini est d'environ 89.

**Modélisation de la lunette astronomique utilisée**

Pour atteindre le grossissement nécessaire, on a le choix entre plusieurs oculaires repérés par leur distance focale. Afin d'identifier le plus adapté, on cherche une relation entre le grossissement et les distances focales de l'objectif et de l'oculaire.

Pour cela, on modélise la lunette commerciale sur un banc optique par deux lentilles convergentes,  $(L_1)$  et  $(L_2)$ , de distances focales respectives  $f'_1$  et  $f'_2$ . On place la lentille  $(L_1)$  suivie de la lentille  $(L_2)$ . L'objet lumineux se trouve avant  $(L_1)$  ; l'observateur place son œil après  $(L_2)$ .

On ajuste ensuite la position des deux lentilles de telle sorte que le foyer image  $F'_1$  de la première lentille coïncide avec le foyer objet  $F_2$  de la seconde lentille.

On observe un objet  $AB$  situé à l'infini :

- Le point  $A$  est sur l'axe optique. Les rayons issus de  $A$  parviennent à la lentille  $(L_1)$  parallèlement à l'axe optique.
- Le point  $B$  est situé hors axe optique. Les rayons issus de  $B$  parviennent à la lentille  $(L_1)$  parallèlement entre eux et avec un angle  $\theta$  avec l'axe optique.

Sur le schéma en **ANNEXE PAGE 16/16 À RENDRE AVEC LA COPIE**, deux rayons issus de  $B$  sont tracés. Ce schéma n'est pas à l'échelle.

3. Sur le schéma en **ANNEXE PAGE 16/16 À RENDRE AVEC LA COPIE**, identifier l'objectif et l'oculaire de cette lunette en écrivant ces termes au-dessus des lentilles concernées.
4. Sur le schéma en **ANNEXE PAGE 16/16 À RENDRE AVEC LA COPIE**, construire l'image  $A_1B_1$  de  $AB$  donnée par la lentille  $(L_1)$ .
5. Sur le schéma en **ANNEXE PAGE 16/16 À RENDRE AVEC LA COPIE**, représenter le faisceau émergent délimité par les deux rayons issus de  $B$  et traversant la lunette.
6. Indiquer la position de l'image définitive  $B'$  du point  $B$  à travers la lunette et justifier que cette lunette est bien afocale.
7. Indiquer sur le schéma en **ANNEXE PAGE 16/16 À RENDRE AVEC LA COPIE** le diamètre apparent de l'image  $\theta'$  à travers la lunette.
8. Etablir, en précisant les étapes, la relation liant le grossissement  $G$  aux distances focales  $f'_1$  et  $f'_2$ .

### Choix de l'oculaire

9. Sur la base des résultats précédents, déterminer l'oculaire que doit choisir l'utilisateur parmi les trois proposés en introduction pour pouvoir observer la division de Cassini. Justifier.



### EXERCICE B - ÉCLIPSE SOLAIRE DU 10 JUIN 2021 (5 points).

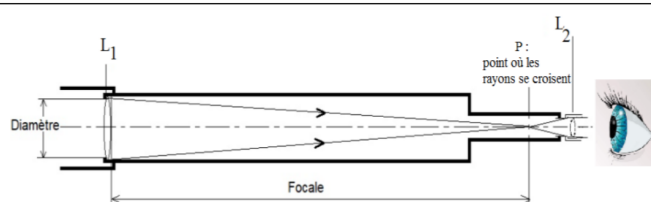
**Mots-clés : modèle optique, lunette astronomique, grossissement, diamètre apparent**

Les scientifiques ont développé différents instruments d'optique telle que la lunette astronomique.

Dans cet exercice, nous allons nous intéresser au fonctionnement d'une lunette astronomique commerciale utilisée lors de l'observation de l'éclipse solaire du 10 juin 2021, l'observation du phénomène s'étant faite avec des lunettes de protection afin de ne pas altérer la vue.

Les objectifs de cet exercice sont de déterminer le grossissement de la lunette astronomique utilisée par un amateur lors de l'observation de l'éclipse solaire du 10 juin 2021 et de déterminer le diamètre approximatif de la Lune.

La lunette astronomique est un instrument afocal composé d'un tube principal contenant, à chacune de ses extrémités, une lentille convergente.



Le principe de cet instrument est de collecter la lumière émise par les astres, de la concentrer et de renvoyer à l'œil une image agrandie de l'objet observé.

Figure 1. La lunette astronomique

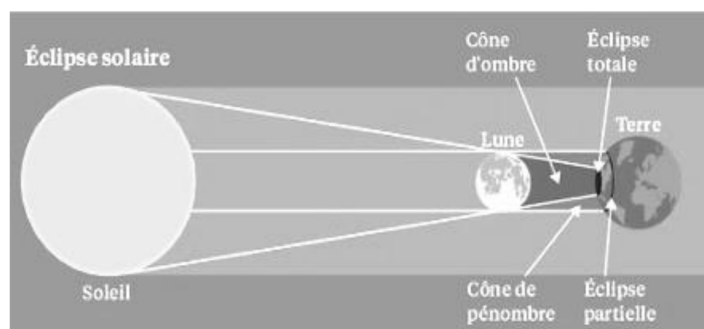
#### La lunette astronomique

La figure 1 présente de façon simple la lunette de Galilée.

1. Associer aux lentilles  $L_1$  et  $L_2$  les termes d'objectif et d'oculaire.
2. Pour la lentille  $L_1$ , donner le nom scientifique du point P où les rayons se croisent.

#### Données :

➤ L'éclipse solaire du 10 juin 2021 :  
une éclipse solaire consiste en l'alignement des centres du Soleil, de la Lune et de la Terre. Le 10 juin 2021, la Lune s'est intercalée entre le Soleil et la Terre conformément à la figure ci-contre.



D'après : <https://www.la-croix.com/Sciences-et-ethique/Sciences/Eclipse-quand-astre-cache-autre-2019-01-05-1200993316>

- Notice d'informations de la lunette astronomique utilisée lors de l'observation :

« La lunette informatisée utilisée est le compagnon idéal pour vos premières observations : la surface lunaire, Vénus et ses phases, Mars, Jupiter et ses 4 lunes, Saturne avec ses anneaux bien visibles et bien plus grâce à sa base de données intégrées dans la raquette de commande pour plus de 4 000 objets. Elle peut également être utilisée comme une longue-vue. »

Données techniques :	
Désignation	Lunette utilisée
Construction optique	Lentilles
Diamètre de l'objectif (en mm)	102
Focale de l'objectif (en cm)	66
Focale de l'oculaire (en mm)	9,0
Grossissement maximal	73 ×
Référence	ACEC298

Le document réponse à rendre avec la copie représente l'observation de la Lune avec la lunette astronomique commerciale utilisée lors de l'éclipse du 10 juin 2021. Ce document est représenté sans souci d'échelle. La Lune, située à l'infini, est représentée par l'objet  $A_{\infty}B_{\infty}$ .

- La lunette commerciale utilisée est afocale. Positionner, sur le document réponse à rendre avec la copie, le foyer principal objet  $F_2$  et le foyer principal image  $F'_2$  de la lentille  $L_2$ , sans souci d'échelle.
- Indiquer comment le rayon lumineux issu de  $B_{\infty}$  passant par le centre optique  $O_1$  traverse la lentille  $L_1$ .
- Sur le document réponse à rendre avec la copie, tracer le rayon lumineux issu de  $B_{\infty}$  passant par le centre optique  $O_1$  de la lentille  $L_1$  permettant d'obtenir l'image intermédiaire  $A_1B_1$ .
- Donner les deux caractéristiques de l'image  $A_1B_1$  obtenue.
- Sur le document réponse à rendre avec la copie, tracer le rayon lumineux issu de  $B_1$  passant par le centre optique  $O_2$  de la lentille  $L_2$ . On obtient alors l'image finale  $A_2B_2$  de la Lune.
- Sur le document réponse à rendre avec la copie, représenter le faisceau de rayons lumineux issu de l'objet  $B_{\infty}$  passant par les bords de la lentille  $L_1$  puis la lentille  $L_2$ .

### Grossissement de la lunette astronomique.

La Lune représentée par l'objet  $A_{\infty}B_{\infty}$  est vue à l'œil nu sous l'angle  $\theta$ , appelé diamètre apparent de la Lune.

- Sur le document réponse à rendre avec la copie, positionner l'angle  $\theta'$  sous lequel est observée l'image finale de la Lune au travers de la lunette utilisée.

Le grossissement  $G$  de la lunette a pour expression :  $G = \frac{\theta'}{\theta}$ . Puisque les angles  $\theta$  et  $\theta'$  sont petits, on acceptera, pour ces angles exprimés en radian, les approximations suivantes :  $\tan \theta = \theta$  et  $\tan \theta' = \theta'$ .

10. Démontrer que le grossissement  $G$  s'exprime, également, par la relation  $G = \frac{f_1}{f_2}$  où  $f_1$  représente la distance focale de l'objectif et  $f_2$  représente la distance focale de l'oculaire

11. Calculer la valeur du grossissement  $G$  pour la lunette utilisée.

12. Comparer la valeur de  $G$  obtenue avec celle du fabricant.

L'observation de l'éclipse solaire du 10 juin 2021 peut se résumer simplement par le schéma ci-contre avec :

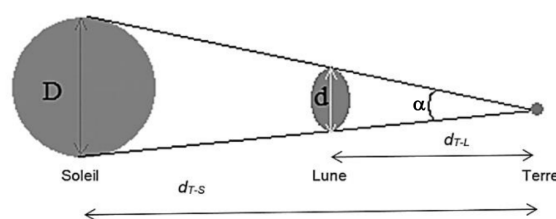
$D$  : diamètre du soleil :  $1,39 \times 10^6$  km

$d$  : diamètre de la lune à déterminer

$d_{T-L}$  : distance Terre-Lune :  $3,84 \times 10^5$  km

$d_{T-S}$  : distance Terre-Soleil :  $1,50 \times 10^8$  km

$\alpha$  : diamètre apparent sous lequel un observateur voit la Lune et le Soleil lors de l'éclipse



Aux environs de midi ce jeudi 10 juin 2021, en levant les yeux au ciel, il sera possible d'observer - avec une protection adéquate - le disque du Soleil se faire recouvrir partiellement par la Lune. Ce phénomène appelé éclipse solaire a lieu lorsque la Lune se place entre le Soleil et la Terre, et que les trois sont alignés.

« ... »

Dans le cas d'une éclipse totale, la Lune ayant un diamètre 400 fois plus petit que celui du Soleil, mais étant aussi 400 fois plus proche de la Terre, leurs deux diamètres coïncident et le recouvrement sera presque parfait. Mais ce type d'éclipse ne se produit que très rarement, car l'alignement entre le Soleil, la Lune et la Terre doit être parfait. Jeudi 10 juin, c'est une éclipse partielle de Soleil qui aura lieu. Ce phénomène se produit lorsque la Lune ne recouvre pas entièrement le Soleil, soit parce que son diamètre apparent est inférieur à celui du Soleil – on parle alors d'éclipse annulaire -, soit lorsque l'alignement n'est pas complètement parfait.

Extrait de la revue « Sciences et Avenir » du 7 juin 2021

*Dans la question suivante, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.*

13. Montrer que l'exploitation des données de l'éclipse solaire du 10 juin 2021 puis de l'extrait de la revue « Sciences et Avenir » du 7 juin 2021, pour déterminer le diamètre de la Lune, donne des valeurs similaires.

DOCUMENT RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE

EXERCICE B - ÉCLIPSE SOLAIRE DU 10 JUIN 2021  
La figure a été réalisée sans soucis d'échelle.

Questions 3., 5., 7., 8. et 9. :

