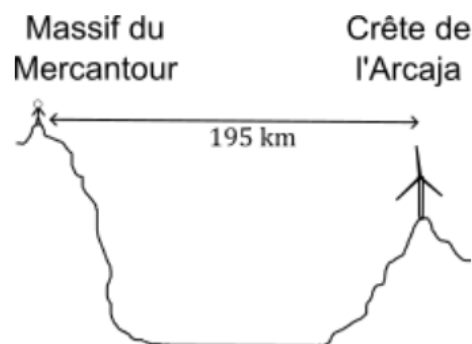


Exercice 01 – Observation distance

Par temps clair, il est possible d'apercevoir la crête de l'Arcaja (nord de la Corse) depuis le massif du Mercantour (sud de la France) alors qu'ils sont séparés d'environ 195 km.

Cet exercice étudie les conditions requises pour distinguer les pales d'une éolienne située sur la crête de l'Arcaja depuis le massif du Mercantour. Pour cela, on envisage d'abord une observation à l'œil nu, puis avec une lunette afocale.



Données :

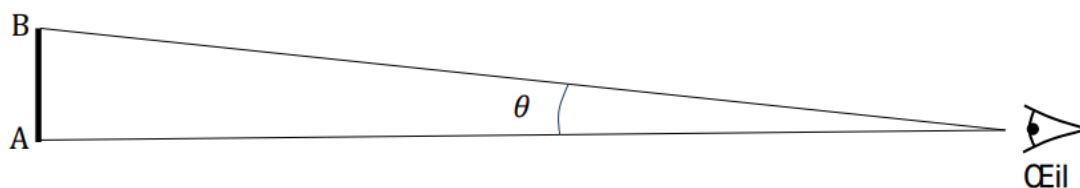
- Distance entre le lieu d'observation et la crête de l'Arcaja : $D = 195 \text{ km}$
- Longueur d'une pale d'éolienne : $L = 44 \text{ m}$

Discernabilité à l'œil nu

Dans un premier temps, on s'intéresse à la possibilité de discerner les pales de l'éolienne à l'œil nu.

La capacité à distinguer à l'œil nu des détails sur des objets éloignés est caractérisée par le pouvoir séparateur de l'œil. Noté ε et exprimé en radian, ce pouvoir séparateur correspond à l'angle minimal devant exister entre les rayons issus de deux objets A et B lorsqu'ils atteignent l'œil d'un observateur éloigné pour qu'il puisse distinguer A et B. En appelant θ l'angle entre ces rayons (voir le document 1), la règle est donc :

- Si $\theta > \varepsilon$, les points A et B sont perçus comme distincts (on perçoit l'extension de l'objet AB).
- Si $\theta < \varepsilon$, les points A et B sont perçus comme un point unique.

Document 1 – Observation à l'œil nu d'un objet distant

Données :

- Pouvoir séparateur de l'œil de l'observateur : $\varepsilon = 3,0 \times 10^{-4} \text{ rad}$
- Pour des angles très petits, exprimés en radian : $\tan \theta \approx \theta$

Q1- Montrer que la valeur de l'angle θ lorsque l'observateur cherche à observer une pale de l'éolienne à l'œil nu est $2,3 \times 10^{-4} \text{ rad}$.

Q2- Indiquer si l'observateur parvient à discerner la pale de l'éolienne à l'œil nu.

Recours à une lunette afocale

Pour mieux discerner des objets distants, une des méthodes les plus simples est d'utiliser une lunette de visée, ou lunette afocale. Une telle lunette modifie le trajet des rayons issus des points A et B de sorte qu'ils parviennent à l'œil de l'observateur sous un nouvel angle θ' plus grand que l'angle θ initial. On appelle « grossissement » de la lunette, noté G , le rapport entre θ' et θ :

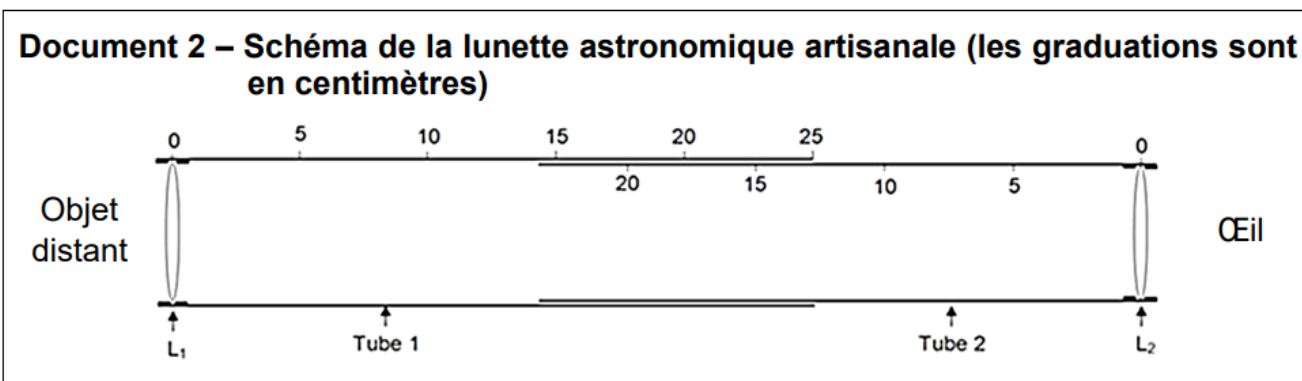
$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

Le critère pour pouvoir distinguer les détails d'un objet éloigné au travers de la lunette afocale devient alors :

$$\theta' > \varepsilon$$

L'observateur souhaite fabriquer une lunette afocale pour pouvoir discerner les pales de l'éolienne. Pour cela, il a besoin de connaître la relation qui lie le grossissement de la lunette aux grandeurs caractéristiques des éléments qui la constituent.

Il choisit de réaliser la lunette en utilisant deux lentilles convergentes L_1 et L_2 fixées à l'extrémité de tubes pouvant coulisser l'un dans l'autre (voir document 2). La lentille L_1 est orientée vers l'objet distant que l'on veut observer et l'œil est positionné après la lentille L_2 .



Dans la suite, on étudie ce dispositif afin d'identifier comment positionner les lentilles pour assembler une lunette afocale, puis de caractériser le grossissement de la lunette obtenue.

Pour mener cette étude, on s'appuie sur le schéma de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE. Il s'agit d'un schéma de principe ; il n'est pas à l'échelle.

On note :

- F_1 , F'_1 , F_2 et F'_2 respectivement les foyers objets et images des lentilles L_1 et L_2 .
- f'_1 et f'_2 les distances focales de ces lentilles.

Q3- Sur le schéma de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE, associer aux lentilles les termes d'objectif et d'oculaire.

Le principe d'une lunette afocale est de former l'image à l'infini d'un objet situé à l'infini.

- Q4-** En expliquant le raisonnement suivi, indiquer comment doit être positionné le foyer objet de l'oculaire par rapport au foyer image de l'objectif pour former une lunette afocale.
- Q5-** Placer sur le schéma de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE les foyers F_2 et F'_2 de la lentille L_2 .
- Q6-** En déduire l'expression de la distance $d = O_1O_2$ devant séparer les lentilles L_1 et L_2 , en fonction de f'_1 et f'_2 , pour que la lunette soit afocale.

Pour déterminer l'expression du grossissement, on doit étudier le trajet de rayons provenant d'un point B lointain et hors axe optique.

- Q7-** Sur le schéma de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE, tracer la marche des deux rayons lumineux issus du point B lointain au travers de la lunette, en faisant apparaître l'image intermédiaire A_1B_1 qui se forme dans la lunette.
- Q8-** Sur le schéma de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE, positionner les angles θ et θ' .
- Q9-** En exploitant le schéma obtenu, montrer que le grossissement G peut être exprimé en fonction des distances focales des lentilles par la relation :

$$G = \frac{f'_1}{f'_2}$$

Pour assembler la lunette, l'observateur dispose d'un ensemble de lentilles dont les distances focales sont listées ci-dessous.

Données :

- Distances focales des lentilles disponibles :
5,0 cm ; 10,0 cm ; 12,5 cm ; 20,0 cm ; 30,0 cm.
- Distance entre le lieu d'observation et la crête de l'Arcaja : $D = 195$ km
- Longueur d'une pale d'éolienne : $L = 44$ m
- Pouvoir séparateur de l'œil de l'observateur : $\varepsilon = 3,0 \times 10^{-4}$ rad

Important - critère d'observation :

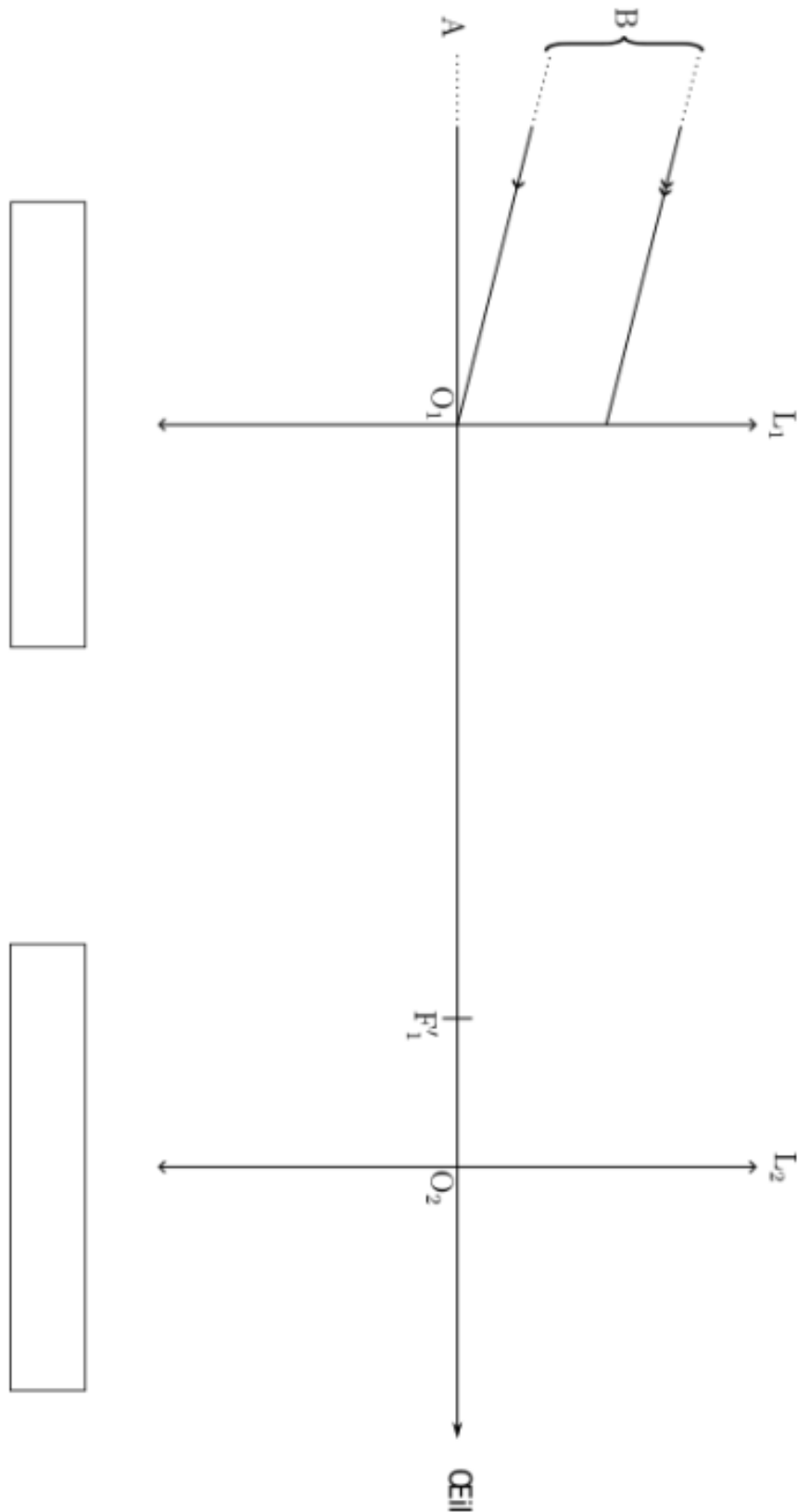
On fixe comme critère que l'observateur pourra distinguer les pales « confortablement » si l'angle θ' est au moins quatre fois plus grand que le pouvoir séparateur de l'œil nu.

- Q10-** Proposer un choix de lentilles pour l'objectif et l'oculaire permettant à l'observateur de distinguer confortablement les pales de l'éolienne.

Pour répondre à cette question, 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 doit être correctement présentée.

Annexe – Exercice 01 – Schéma de la lunette afocale

Indiquer la fonction de chaque lentille (objectif ou oculaire) dans les cadres sous les lentilles.



Exercice 02 – Observation d'un avion en vol

Le trafic aérien est source de fascination pour beaucoup de gens. Notre observation se limite souvent à la traînée de l'avion dans le ciel ou, plus récemment, à un suivi en direct (trajectoire, vitesse, altitude) grâce à des applications en ligne.

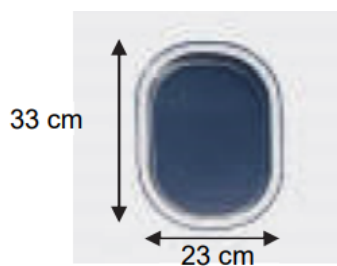
L'objectif de cet exercice est d'étudier l'observation, avec une lunette astronomique afocale commerciale, de certains détails de la structure d'un avion de type A312 en vol, puis de déterminer la vitesse de cet avion en phase d'atterrissage grâce à un enregistrement du son émis par le moteur.

Données :

- les valeurs du grossissement G de la lunette astronomique utilisée sont comprises entre 16 et 48 ;
- un observateur peut distinguer deux points différents A et B d'un objet si l'angle α sous lequel ces deux points sont vus depuis le point d'observation (voir figure ci-dessous) est supérieur ou égal à $3,0 \times 10^{-4}$ rad ;



- approximation dans le cas des petits angles ($\alpha \ll 1$ rad) : $\tan(\alpha) = \alpha$;
- quelques données concernant un avion A312 :
 - longueur de l'avion : $L = 44,5$ m ;
 - altitude de vol de croisière de l'avion : $h = 10,4$ km ;
 - vitesse de vol de croisière de l'avion : $v_c = 863$ km·h⁻¹ ;
 - hublot de l'avion A312 :



1. Observation d'un avion A312 avec une lunette astronomique

Q1. Donner la définition d'une lunette afocale.

Q2. Sur le schéma **EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, placer le foyer objet F_2 puis le foyer image F'_2 de l'oculaire de la lunette astronomique.

L'avion vole à la verticale de l'observateur et se trouve donc à la distance h de celui-ci.

Sur le schéma **EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, les extrémités avant et arrière de l'avion observé sont respectivement modélisées par les points A_∞ et B_∞ , situés à une très grande distance de l'observateur.

Q3. Construire, sur le schéma **EN 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 .

L'angle α désigne l'angle sous lequel l'avion est observé à l'œil nu. L'angle sous lequel l'avion est observé au travers de l'oculaire de la lunette astronomique est nommé α' .

Q4. Vérifier à l'aide d'un calcul que l'on peut distinguer, à l'œil nu, l'avant de l'avion de sa queue.

Q5. Après avoir placé les angles α et α' sur le schéma **EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, rappeler l'expression du grossissement G d'une lunette astronomique en fonction des angles α et α' .

Q6. Déterminer si on peut distinguer l'un de l'autre les deux bords verticaux d'un hublot de l'avion, à l'aide de la lunette astronomique étudiée.

2. Détermination de la vitesse d'un avion A312 en phase d'atterrissage

Au voisinage de l'aéroport, un observateur enregistre le son du moteur de l'avion passant au-dessus de lui lors de sa phase d'atterrissage. L'observateur est supposé fixe lors de l'enregistrement du son.

L'analyse du signal sonore enregistré permet de déterminer les fréquences des signaux reçus par l'observateur. Lorsque l'avion s'avance en direction de l'observateur la fréquence mesurée est $f_A = 2,2 \text{ kHz}$, et lorsqu'il s'éloigne la fréquence est $f_E = 1,5 \text{ kHz}$.

Q7. Donner le nom du phénomène mis en jeu dans cette expérience.

On note f_0 la fréquence du signal émis par la source immobile, c la vitesse du son dans l'air dans les conditions de l'expérience et v la vitesse de l'avion par rapport au sol. On donne $c = 345 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

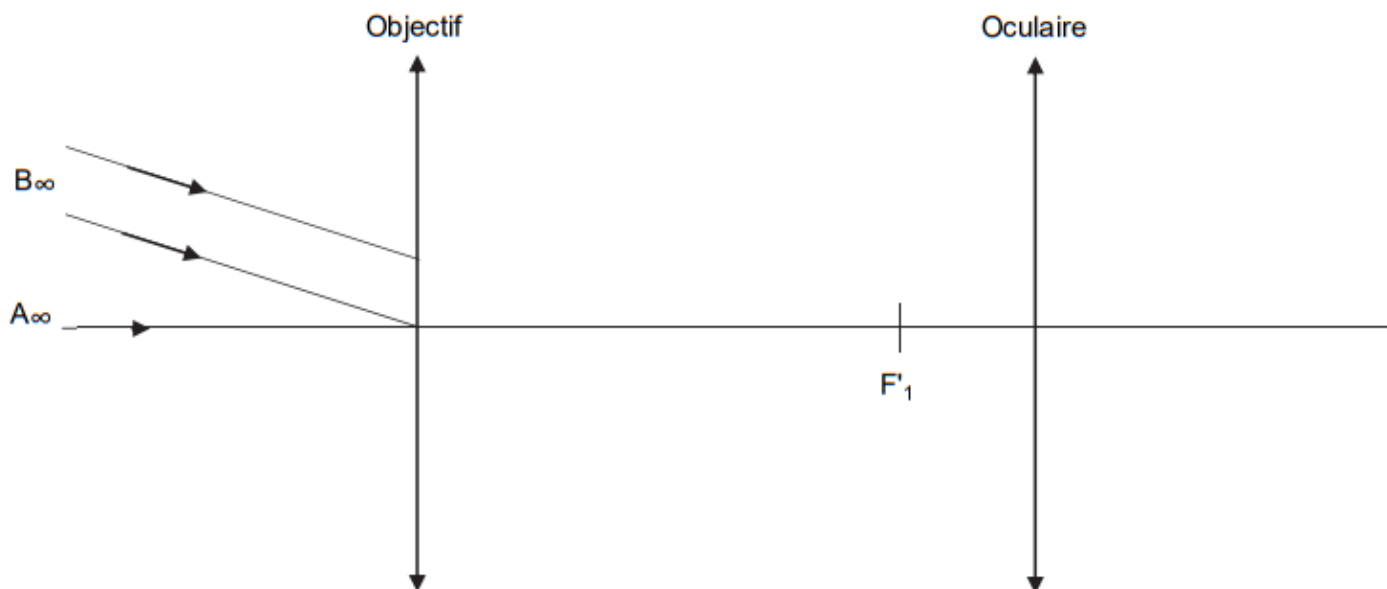
Q8. Parmi les propositions A, B, C et D suivantes, choisir et recopier sur la copie la proposition correcte. Expliquer pourquoi les autres propositions sont à écarter.

A	B	C	D
$f_A = \frac{c}{c - v}$	$f_A = f_0 \cdot \frac{c}{c - v}$	$f_A = f_0 \cdot \frac{c}{c + v}$	$f_A = f_0 \cdot \frac{c}{c - 2v}$
$f_E = \frac{c}{c + v}$	$f_E = f_0 \cdot \frac{c}{c + v}$	$f_E = f_0 \cdot \frac{c}{c - v}$	$f_E = f_0 \cdot \frac{c}{c + v}$

Q9. Déterminer la vitesse v de l'avion, exprimée en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, lors de cet atterrissage. Commenter.

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.

Annexe – Exercice 02 – Observation d'un avion en vol



Exercice 03 – L'observation de Saturne

« Le 20 juin 2019, Saturne s'est retrouvée au plus près de la Terre à **1,36 milliard de kilomètres**. [...] Le télescope spatial Hubble a pu photographier Saturne, particulièrement visible, car entièrement éclairée par le Soleil (**figure 1**). Saturne et son système d'anneaux offriront toujours un spectacle exceptionnel. [...] Ils sont composés de particules de glaces et de roches de plusieurs dizaines de milliers de kilomètres de dimension sur une très faible épaisseur. »

Source : d'après www.futura-sciences.com

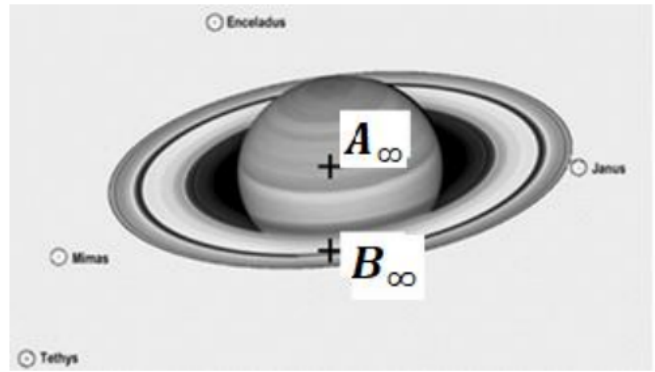


Figure 1 : Image de Saturne depuis le télescope spatial Hubble © Nasa, ESA, photo prise le 20 juin 2019, <https://hubblesite.org>

L'exercice proposé étudie la capacité de l'œil à profiter du « spectacle exceptionnel » que peut offrir l'observation de la planète Saturne à l'aide d'une lunette astronomique.

On repère sur la **figure 1** deux points considérés comme infiniment éloignés de la Terre :

- le centre de la planète Saturne, noté A_∞ ;
- un point de l'anneau externe, noté B_∞ .

Données :

- Distance $A_\infty B_\infty = 1,1 \times 10^8$ m.
- La longueur d'onde de la radiation la plus lumineuse diffusée par Saturne est $\lambda = 705$ nm.
- L'angle apparent α sous lequel est vu un objet AB à l'œil nu est représenté sur la **figure 2**.
- On considère qu'un œil normal ne peut pas distinguer deux points objets A et B très proches si l'angle apparent sous lequel ils sont vus est inférieur à $2,9 \times 10^{-4}$ rad.
- L'angle apparent sous lequel le système d'anneaux de Saturne est vu depuis la Terre vaut $\alpha = 8 \times 10^{-5}$ rad quand Saturne est au plus près de la Terre.
- Pour des petits angles exprimés en radians, on peut écrire $\tan \alpha \approx \alpha$.
- Le pouvoir séparateur d'un instrument d'optique représente sa capacité à séparer deux points objets A et B très proches.

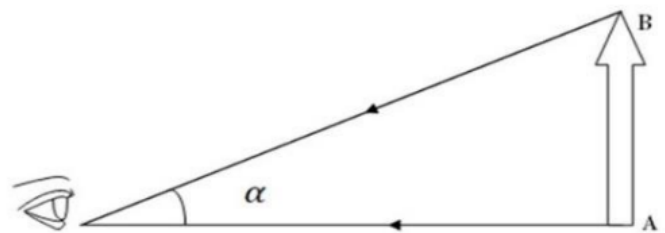


Figure 2

La limite de résolution angulaire d'un instrument d'optique est le plus petit angle apparent α_{lim} sous lequel sont observés deux points objets dont la lunette donne des images distinctes.

D'après le critère de Rayleigh, deux points objets sont séparés si α (en radians) est supérieur à la limite de résolution α_{lim} , c'est-à-dire $\alpha > \alpha_{\text{lim}} = 1,22 \times \frac{\lambda}{D}$ où D est le diamètre de l'objectif et λ la longueur d'onde de la radiation émise avec le maximum d'intensité par les points objets observés.

Partie A - Limite de résolution d'une lunette astronomique et pouvoir séparateur de l'œil

La lunette astronomique et l'œil sont limités dans leur capacité à discerner deux points objets.

A.1. Déterminer s'il est possible ou non de profiter du « spectacle exceptionnel » que peut offrir l'observation de la planète Saturne avec ses anneaux à l'œil nu.

On observe Saturne avec une lunette astronomique dont un extrait de la notice technique est reproduit **figure 3**.

Diamètre de l'objectif (en mm)	70
Distance focale de l'objectif (en mm)	900
Mouvement lent	à friction
Monture	azimutale
Ouverture	70
Distances focales des oculaires	20 mm et 10 mm
Grossissement avec équipement livré	45 X et 90 X

Figure 3 : Extrait de la notice d'une lunette astronomique

A.2. À partir du critère de Rayleigh, déterminer la limite de résolution angulaire α_{lim} de cette lunette commerciale.

A.3. Indiquer si le phénomène ondulatoire limitant la résolution empêche ou pas l'observation de Saturne avec la lunette proposée.

Partie B - Formation de l'image de Saturne et de ses anneaux

Sur le schéma de l'**ANNEXE II À RENDRE AVEC LA COPIE** on modélise la lunette astronomique à l'aide de deux lentilles minces convergentes L_1 et L_2 , de centres optiques respectifs O_1 et O_2 et d'axe optique Δ .

La lunette afocale est réglée de façon à procurer les meilleures conditions d'observations. Elle donne d'un objet $A_\infty B_\infty$, situé à l'infini, une image $A'_\infty B'_\infty$ située à l'infini, observable sans accommoder pour un œil normal.

La planète Saturne et ses anneaux, supposés à l'infini, sont représentés sans souci d'échelle par $A_\infty B_\infty$, le point A_∞ étant sur l'axe optique. Un rayon lumineux issu de B_∞ est également représenté.

B.1.1. Identifier sur le schéma de l'**ANNEXE II À RENDRE AVEC LA COPIE** l'objectif L_1 et l'oculaire L_2 .

B.1.2. Positionner sur le schéma de l'**ANNEXE II À RENDRE AVEC LA COPIE**

- les centres optiques respectifs O_1 et O_2 ;
- le foyer image F'_1 de L_1 et le foyer objet F_2 de L_2 sans souci d'échelle mais de façon cohérente.

B.2. Représenter sur le schéma de l'**ANNEXE II À RENDRE AVEC LA COPIE**

- l'image intermédiaire $A_1 B_1$ de l'objet $A_\infty B_\infty$ donnée par l'objectif L_1 ;
- le faisceau émergent de la lunette issu de B_∞ et passant par les bords de l'objectif.

Partie C - Grossissement de la lunette astronomique

Le grossissement de la lunette est donné par l'expression : $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$, α' étant l'angle sous lequel on voit l'image $A'_\infty B'_\infty$ de l'objet $A_\infty B_\infty$ à travers l'instrument.

C.1. Repérer α' sur le schéma de l'**ANNEXE II À RENDRE AVEC LA COPIE**.

C.2. Établir l'expression du grossissement G en fonction des distances focales f'_1 de l'objectif et f'_2 de l'oculaire.

L'observateur utilise l'oculaire de distance focale 20 mm.

C.3. Valider la valeur du grossissement « 45 X » de la lunette commerciale décrite en **figure 3**.

C.4. Déterminer si l'œil peut théoriquement discerner les anneaux de Saturne avec l'aide de cette lunette.

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.

Annexe II - Exercice 03 – L'observation de Saturne – Modélisation de la lunette astronomique



Exercice 04 – Partie de l'exercice : Mars vue sous l'œil de Kepler

2. Observer Mars à l'aide d'une lunette astronomique

En 1611, Johannes Kepler propose dans son ouvrage *Dioptricae* une nouvelle combinaison optique pour la lunette astronomique utilisée par Galilée en remplaçant la lentille divergente par une lentille convergente.

D'après La science moderne : de 1450 à 1800, de René Taton

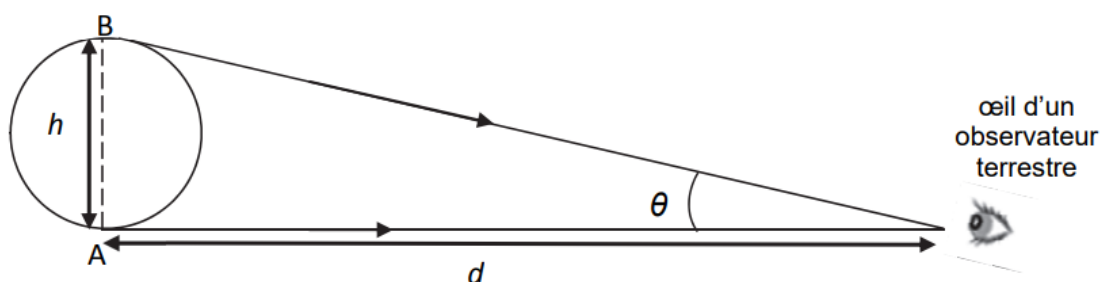
Fondées sur ce modèle, les lunettes astronomiques actuelles sont formées de deux lentilles minces convergentes. On a représenté sur la figure A1 de l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE** le schéma optique d'une lunette astronomique afocale.

Données :

- la distance minimale entre Mars et la Terre est de 62,07 millions de kilomètres ;
- à l'œil nu, l'angle sous lequel est vue la Lune est de $9,0 \times 10^{-3}$ rad ;
- le diamètre de Mars est de 6 794 km ;
- pour des angles suffisamment petits, c'est-à-dire très inférieurs à 1 radian, on peut écrire :

$$\tan \theta \approx \theta \text{ (où } \theta \text{ est exprimé en radian).}$$

On présente sur le schéma ci-dessous l'angle θ sous lequel un observateur voit un objet AB de hauteur h lorsqu'il se situe à une distance d grande devant h .



Q6. Sur la figure A1 de l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**, on note L_1 et L_2 les deux lentilles minces convergentes. Préciser la lentille correspondant à l'objectif et celle correspondant à l'oculaire de la lunette.

On considère un objet situé à l'infini, noté $A_\infty B_\infty$. On observe cet objet avec la lunette.

Q7. Tracer sur la figure A1 de l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE** la marche des rayons lumineux provenant de B_∞ à travers la lentille L_1 et la lentille L_2 en faisant apparaître l'image intermédiaire, notée A_1B_1 , de l'objet $A_\infty B_\infty$ à travers la lentille L_1 .

La plupart du temps, il est difficile d'observer Mars depuis la Terre, notamment à cause de sa petite taille. La situation la plus favorable est quand Mars est en opposition, c'est-à-dire alignée avec la Terre et le Soleil. Cette situation correspond au moment où Mars est au plus près de la Terre.

D'après <https://www.observatoiredeparis.psl.eu>

On observe Mars à l'aide d'une lunette astronomique dont les caractéristiques sont données en tableau 2.

Distance focale de l'objectif	900 mm
Diamètre de l'objectif	70 mm
Masse du tube optique	1,75 kg
Distance focale des oculaires interchangeables	10 mm ; 25 mm ; 40 mm

Tableau 2. Fiche technique d'une lunette astronomique 70/900 (d'après www.maison-astronomie.com)

Q8. Représenter les angles θ_1 (angle sous lequel est vu Mars à l'œil nu) et θ_2 (angle sous lequel est vu Mars à l'aide de la lunette) sur la figure A1 de l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q9. On rappelle que le grossissement G de la lunette s'écrit : $G = \frac{\theta_2}{\theta_1}$. Établir que le grossissement s'exprime en fonction des distances focales de l'objectif et de l'oculaire notées respectivement f'_{obj} et f'_{ocu} : $G = \frac{f'_{\text{obj}}}{f'_{\text{ocu}}}$.

Q10. Dans la situation où Mars est au plus près de la Terre, déterminer parmi les oculaires fournis avec la lunette décrite au tableau 2, celui qui permet à un observateur de voir Mars au moins aussi grosse que la Lune vue à l'œil nu.

ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE

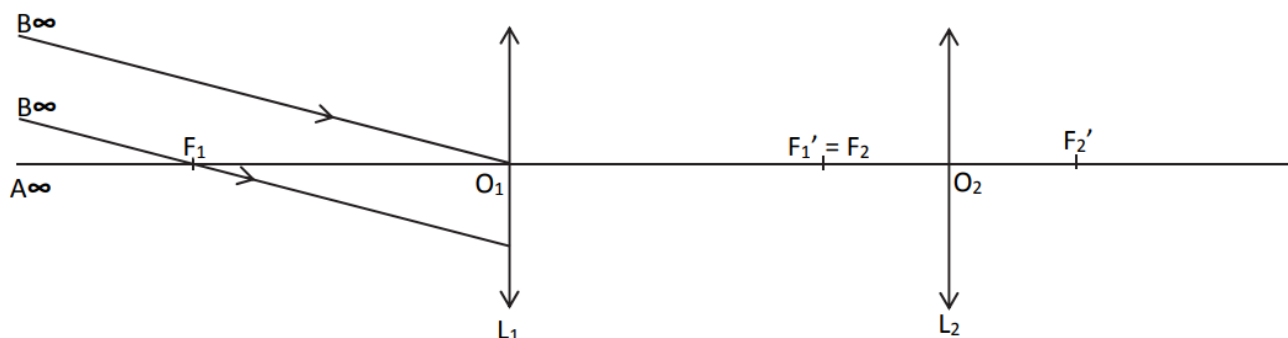


Figure A1 – Modèle de la lunette astronomique

Exercice 05 – Observer les anneaux de Saturne

Les anneaux de Saturne sont parmi les objets les plus fascinants et les plus accessibles à l'observation pour l'astronome amateur.

Selon la qualité de l'instrument d'observation, on peut distinguer plusieurs niveaux d'observation de cette planète. On présente en figure 1 les 4 premiers niveaux accessibles à l'astronome amateur :



Par Voyager 2 —
<http://www.ciclops.org/view/3163/Saturn-taken-from-Voyager-2>.



Figure 1. Premiers niveaux d'observation des anneaux de Saturne

Dans cet exercice, on s'intéresse à une lunette astronomique commerciale et on cherche à déterminer quel niveau d'observation de Saturne elle permet d'atteindre.

Données :

- dans tout l'exercice on admet l'approximation des petits angles suivante valable pour tout angle α , exprimé en radian, très petit par rapport à 1 rad : $\tan \alpha \approx \alpha$;
- la lunette astronomique étudiée possède un objectif de distance focale $f_1' = 700$ mm et peut être associée à différents oculaires.

1. Modélisation optique de la lunette astronomique commerciale

La lunette astronomique que l'on propose d'étudier est modélisée par deux lentilles minces convergentes, notées L_1 et L_2 , possédant le même axe optique. La modélisation de cette lunette est proposée sur la figure de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, où sont indiqués le foyer objet F_2 de la lentille L_2 et les foyers images F_1' et F_2' des deux lentilles.

Dans cette première partie, on s'intéresse aux trajets des rayons lumineux modélisant la propagation de la lumière dans la lunette. On note f_2' la distance focale de la lentille L_2 .

Q1. Indiquer, dans les cadres correspondant sur la figure de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, les noms « objectif » et « oculaire ».

Q2. Justifier que la lunette astronomique modélisée constitue un système optique afocal.

Q3. Construire, sur la figure de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, l'image d'un objet à l'infini vu sous un angle θ , formée par la lunette astronomique, en construisant l'image intermédiaire et en faisant apparaître l'angle θ' , angle sous lequel est vue l'image finale en sortie de lunette.

Q4. Donner la définition du grossissement G de la lunette astronomique en fonction des angles θ et θ' .

Q5. Établir l'expression suivante du grossissement de la lunette astronomique : $G = \frac{f_1'}{f_2'}$

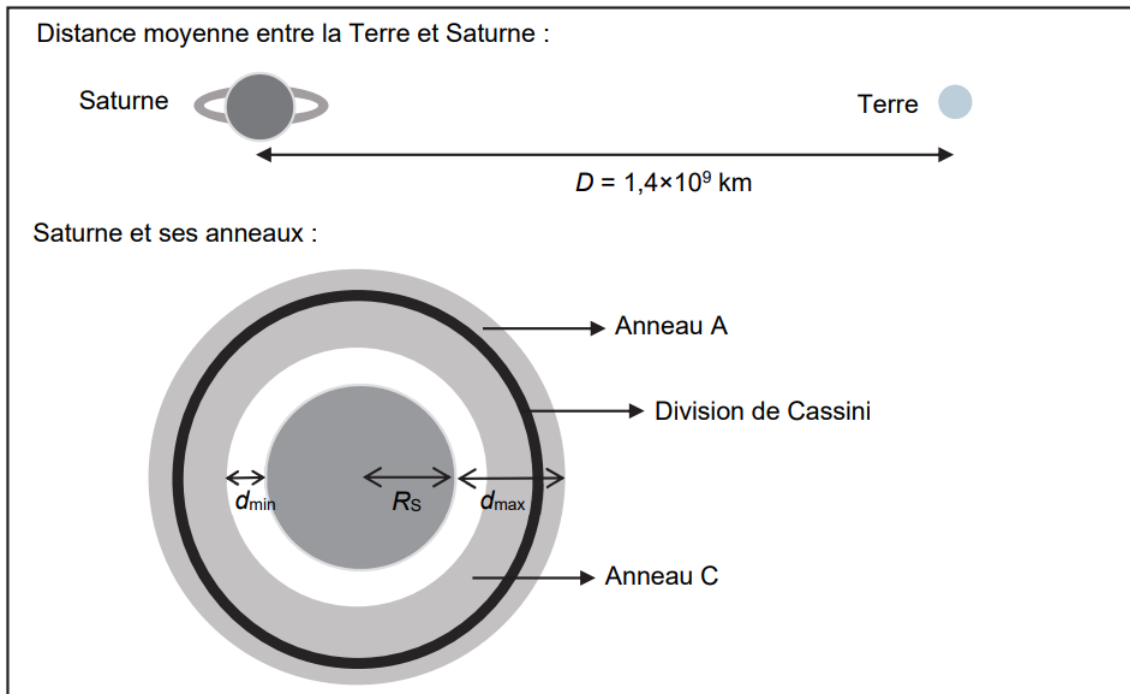
Q6. En déduire la valeur de la distance focale f_2' de l'oculaire à choisir afin d'obtenir une lunette astronomique dont le grossissement est de 78.

2. Observation des anneaux de Saturne

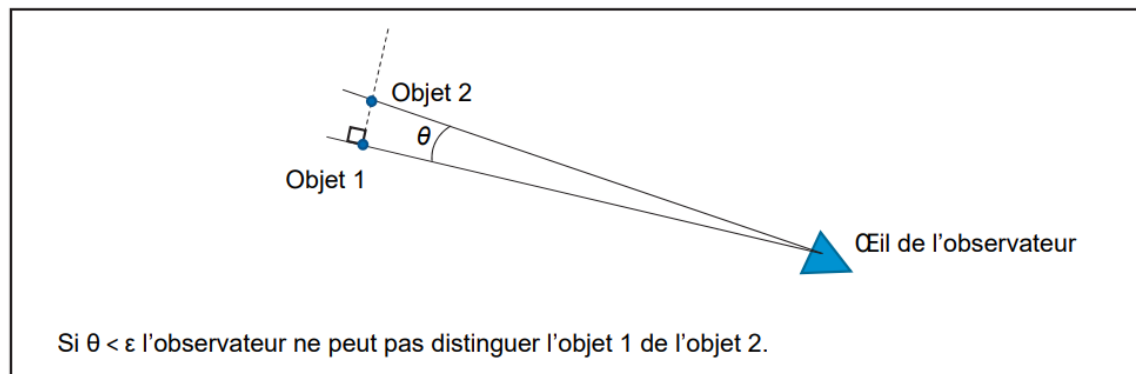
On utilise la lunette astronomique de grossissement 78 modélisée dans la partie précédente pour observer Saturne et essayer de distinguer ses anneaux.

Données :

- distance moyenne entre les centres de la Terre et de Saturne : $D = 1,4 \times 10^9$ km ;
- distance entre la surface de Saturne et l'extrémité la plus proche de l'anneau C (anneau le plus proche considéré visible) : $d_{\min} = 1,4 \times 10^4$ km ;
- distance entre la surface de Saturne et l'extrémité la plus éloignée de l'anneau A (anneau le plus éloigné considéré visible) : $d_{\max} = 7,7 \times 10^4$ km ;
- largeur de la division de Cassini : $d_{\text{cas}} = 4,8 \times 10^3$ km ;
- rayon de Saturne : $R_s = 5,8 \times 10^4$ km considéré comme faible devant D .



- angle minimal à partir duquel notre œil peut distinguer deux objets très proches : $\varepsilon = 2,9 \times 10^{-4} \text{ rad}$.



Q7. Décrire, en s'appuyant sur un calcul, comment apparaît Saturne à un observateur lors d'une observation à l'œil nu.

Q8. Déterminer le niveau d'observation de Saturne (figure 1) que l'on atteint avec la lunette astronomique utilisée.

Annexe

Nom de la lentille L_1 (à légender) :

Nom de la lentille L_2 (à légender) :

