EXERCICES PHYSIQUE

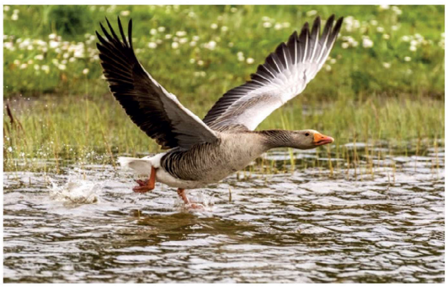
CH17 La lumière: image et photons, lunette astronomique

Bac 2023 Métropole septembre Jour 1 https://labolycee.org

EXERCICE 1 - OBSERVATION ORNITHOLOGIQUE D’UNE OIE CENDRÉE (11 pts)

Certains parcs ornithologiques proposent des sorties mêlant observations des oiseaux, suivies d’analyse d’échantillons récoltés comme par exemple des plumes.

Cet exercice s’intéresse dans un premier temps à l’observation d’une oie cendrée à l’œil nu et à l’aide d’une longue-vue. Puis, dans un second temps, le phénomène d’interférences lumineuses est utilisé pour déterminer des dimensions caractéristiques de la structure d’une plume d’oie.



Oie cendrée

Données :

- Taille approximative d’une oie cendrée : 80 cm ;
- Taille approximative du bec d’une oie cendrée : 7 cm ;
- Distance focale de l’objectif L_1 de la longue-vue : $f_1' = 450$ mm ;
- Distance focale de l’oculaire L_2 de la longue-vue : $f_2' = 30$ mm ;
- Relation de conjugaison pour une lentille L de centre optique O : $\dfrac{1}{\overline{OA'}} = \dfrac{1}{\overline{OA}} + \dfrac{1}{f'}$ où $\overline{OA'}$ est la distance algébrique entre le centre optique de la lentille L et le point A’, $\overline{OA}$ est la distance algébriqueentre le centre optique de la lentille L et le point A et f' est la distance focale de la lentille ;
- Grandissement transversal $\gamma = \dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ où $\overline{A'B'}$ est la taille algébrique de l’image A’B’ et $\overline{AB}$ est celle de l’objet AB ;
- Approximation dans le cas de petits angles ($\theta << 1$ rad) : $\sin\theta = \theta$; $\tan\theta = \theta$.

1. Observation d’une oie cendrée à l’œil nu

L’œil est un système complexe que l’on peut modéliser par l’association (**figure 1**) :

- d’une lentille mince convergente L, d’axe optique Δ, de distance focale $f' = \overline{OF'} = 17$ mm, de centre optique O ;
- d’un écran situé à une distance D = 17 mm du centre optique O.

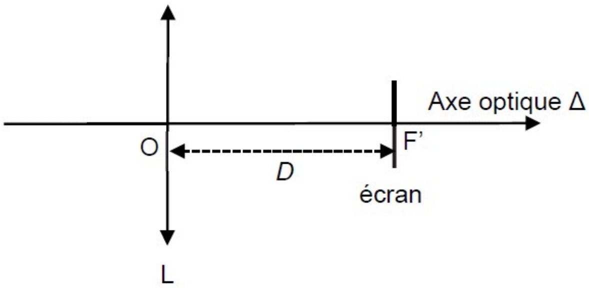


Figure 1. Schéma simplifié du modèle de l’œil

La rétine est une membrane qui tapisse le fond de l’œil et qui joue le rôle d’écran. L’oie cendrée est modélisée par un objet de hauteur AB perpendiculaire à l’axe optique en A et situé à 280 m du centre optique O. L’imagede AB à travers la lentille L est notée A’B’.

Q1. Justifier que la position de l’image A’B’ de l’oie par la lentille L est telle que $\overline{OA'}$ = 17 mm.

Q2. Vérifier que la taille de l’image A’B’ de l’oie sur la rétine de l’observateur est voisine de 49 µm. Sachantque la rétine est assimilée à un disque de rayon égal à 6 mm centré en F’, préciser si l’oie est vue en entierpar un observateur.

Le pouvoir séparateur de l’œil humain est l’anglelimite, noté α_m, sous lequel un objet peut être vudistinctement par l’œil (voir figure 2) ; sa valeur estde 3×10^{-4} rad.

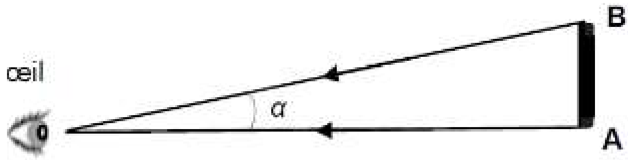


Figure 2. L’objet AB est vu sous un angle α parl’œil. Il peut être distinctement vu par l’œil si $\alpha > \alpha_m$

Q3. Déterminer la distance minimale séparant deux points A et B d’un objet pouvant être vus lorsqu’ils sontsitués à une distance de 280 m de l’œil.

En déduire si l'oie peut être vue distinctement parl'observateur à l'œil nu puis déterminer si le bec de l'oie peut être observé distinctement.

2. Observation avec une longue-vue assimilée à une lunette astronomique afocale

L'oie est désormais observée à l'aide d'une longue-vue assimilée à une lunette astronomique afocale. Cettelunette est composée d'une lentille L_1 de distance focale f_1' jouant le rôle de l'objectif et d'une lentille L_2 dedistance focale f_2' jouant le rôle de l'oculaire. On considère que l'oie, modélisée par un objet AB perpendiculaireà l'axe optique en A, est « à l'infini ». L'image de AB à travers la lentille L_1 est notée A_1B_1. L'image de A_1B_1 àtravers la lentille L_2 est notée A_2B_2.

Q4. Compléter la figure A1 de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**pour représenter l'image A_1B_1 forméepar la lentille L_1 d'un objet AB (représentant l'oie) situé à l'infini.

Q5. Placer, en justifiant, le foyer objet F_2 de la lentille L_2 sur la figure A_1de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE.**

Une lunette astronomique est caractérisée par son grossissement d'expression :

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

avecα l'angle sous lequel l'objet AB est vu à l'œil nu et α' l'angle sous lequel l'image A_2B_2 est vue à travers lalunette astronomique afocale.

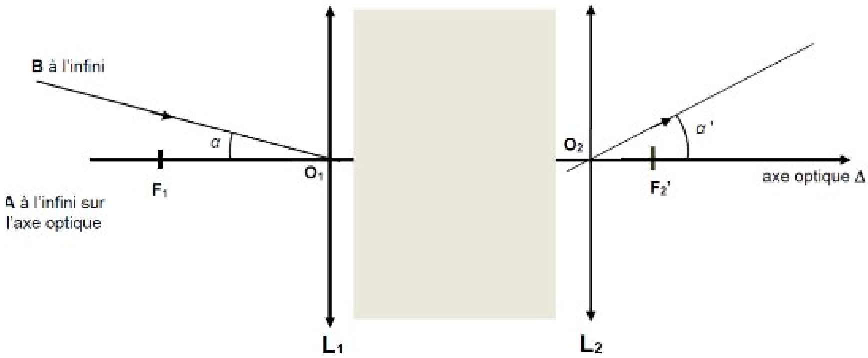


Figure 3. Représentation, sans souci d'échelle, de la lunette astronomique.

Q6. En considérant les angles α et α' exprimés en radians comme petits, montrer que le grossissement de lalunette astronomique afocale peut s'exprimer par la relation :

$$G = \frac{f_1'}{f_2'}.$$

On peut s'appuyer sur la figure A_1de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q7. Calculer la valeur du grossissement G de la lunette astronomique afocale.

Q8. Indiquer en justifiant si l'observateur voit distinctement, à travers la longue-vue, le bec de l'oie situéeà 280 m.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

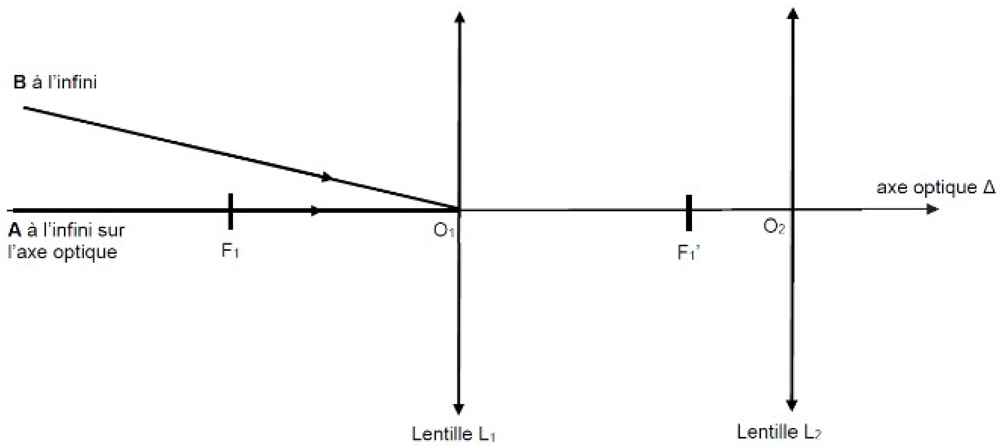


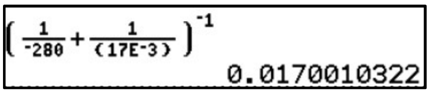
Figure A1. Schéma de la longue-vue (représentée sans souci d'échelle) assimilée à une lunetteastronomique afocale

EXERCICE 1 - OBSERVATION ORNITHOLOGIQUE D'UNE OIE CENDRÉE (11 pts)

1. Observation d'une oie cendrée à l'œil nu

Q1. Justifier que la position de l'image A'B' de l'oie par la lentille L est telle que $\overline{OA'}$ = 17 mm.

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'} \Leftrightarrow \overline{OA'} = \left(\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}\right)^{-1}$$ avec $\overline{OA} = -280$ m et f' = 17 mm = $1{,}7\times10^{-2}$ m.



$$\overline{OA'} = \left(\frac{1}{-280} + \frac{1}{17\times10^{-3}}\right)^{-1}$$ **$=1{,}7\times10^{-2}$ m = 17 mm.**

L'image de l'oie se forme sur la rétine.

(1pt)

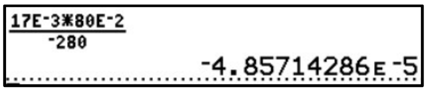
Remarque : à 280 m, l'objet AB est considéré à l'infini.

Ainsi : $\overline{OA} \to -\infty$ et $\frac{1}{\overline{OA}} \to 0$ donc $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'} = \frac{1}{f'}$ et **$\overline{OA'} = f'$ = 17 mm.**

Q2. Vérifier que la taille de l'image A'B' de l'oie sur la rétine de l'observateur est voisine de 49 µm. Sachantque la rétine est assimilée à un disque de rayon égal à 6 mm centré en F', préciser si l'oie est vue en entierpar un observateur.

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \text{ soit } \overline{A'B'} = \frac{\overline{OA'}\times\overline{AB}}{\overline{OA}}$$ avec $\overline{OA'} = f'$ = 17 mm ; $\overline{AB}$=80 cm et $\overline{OA} = -280$ m.

$$\overline{A'B'} = \frac{17\times10^{-3}\times80\times10^{-2}}{(-280)}$$ **$= -4{,}9\times10^{-5}$ m**



(0,75pt) Donc la taille de l'oie sur la rétine vaut **AB = 49×10^{-6} m = 49 µm.**

Comme **49×10^{-6} m < 6 mm = 6×10^{-3} m,** l'oie est vue en entier par l'observateur.

Q3. Déterminer la distance minimale séparant deux points A et B d'un objet pouvant être vus lorsqu'ils sontsitués à une distance de 280 m de l'œil.
En déduire si l'oie peut être vue distinctement parl'observateur à l'œil nu puis déterminer si le bec de l'oie peut être observé distinctement.

(0,75pt) Un objet est vu distinctement par l'œil si $\alpha > \alpha_m = 3\times10^{-4}$ rad.

Or $\tan\alpha = \frac{AB}{OA} \approx \alpha$ dans l'approximation des petits angles.

Pour $\alpha = \alpha_m$ on a AB = d_m = distance minimale entre A et B

soit $\alpha_m = \frac{d_m}{OA}$ d'où : $\boxed{d_m = OA\times\alpha_m}$

d_m = 280 × 3×10^{-4} m = **$8{,}4\times10^{-2}$ m = 8,4 cm.**

L'oie mesure 80 cm > 8,4 cm : elle est vue distinctement à l'œil nu.

Le bec mesure 7 cm < 8,4 cm : il n'est pas vu distinctement à l'œil nu.

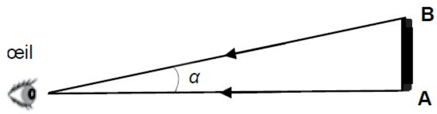


Figure 2. L'objet AB est vu sous un angle α par l'œil. Il peut être distinctement vu par l'œil si $\alpha > \alpha_m$

2. Observation avec une longue-vue assimilée à une lunette astronomique afocale

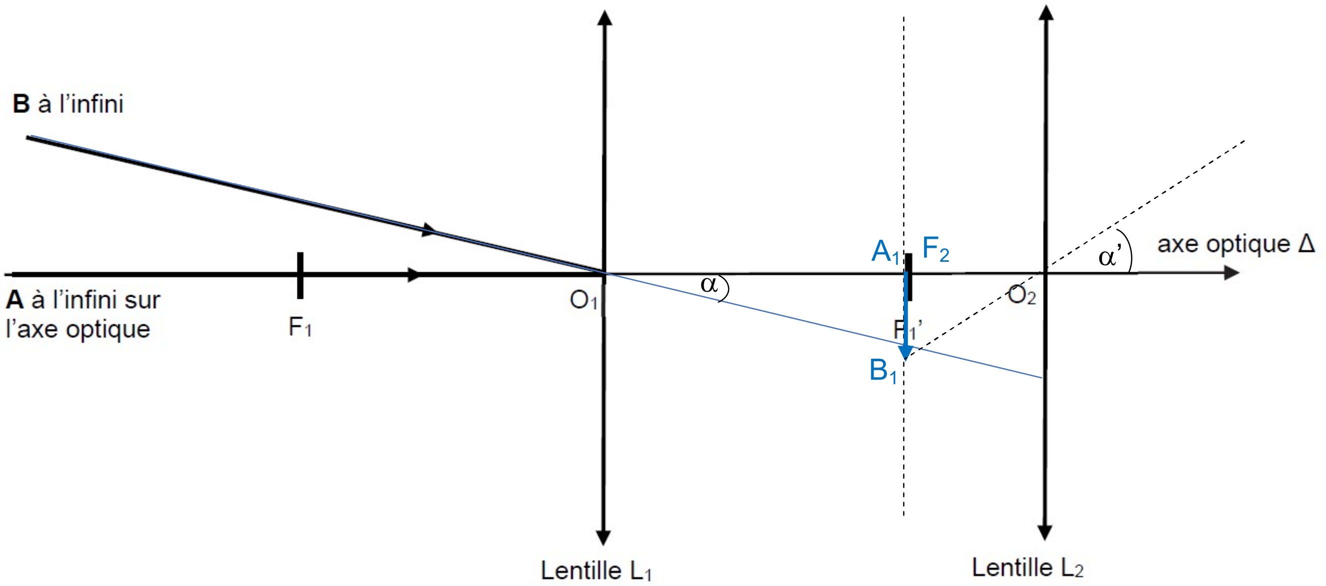
Q4. Compléter la figure A1 de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE pour représenter l'image A_1B_1 forméepar la lentille L_1 d'un objet AB (représentant l'oie) situé à l'infini.

(0,5pt) L'oie est située à l'infini. Son image A_1B_1 par la lentille L_1 est située dans le plan focal image de L_1, passant par F'_1 (en pointillés). Le point A_1 est confondu avec le foyer image F'_1 de L_1.

Le rayon issu du point B et passant par O_1n'est donc pas dévié. Il coupe le plan focal image de L_1 en B_1.

Q5. Placer, en justifiant, le foyer objet F_2 de la lentille L_2 sur la figure A_1 de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE.

(0,5pt) La lunette astronomique étant afocale le foyer objet F_2 est confondu avec le foyer image F'_1.



Q6. En considérant les angles *α* et *α'* exprimés en radians comme petits, montrer que le grossissement de lalunette astronomique afocale peut s'exprimer par la relation : $G = \frac{f_1'}{f_2'}$ **.**

(1,5 pt) $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$.

Dans le triangle $O_1A_1B_1$ $\tan\alpha = \frac{A_1B_1}{O_1F_1'} = \frac{A_1B_1}{f_1'} \approx \alpha$.

Dans le triangle $O_2A_1B_1$ $\tan\alpha' = \frac{A_1B_1}{O_2F_2} = \frac{A_1B_1}{O_2F'_2} = \frac{A_1B_1}{f_2'} \approx \alpha'$.

$$G = \frac{\frac{A_1B_1}{f_2'}}{\frac{A_1B_1}{f_1'}} = \frac{A_1B_1}{f_2'} \times \frac{f_1'}{A_1B_1} = \frac{f_1'}{f_2'} \text{ soit } \boxed{G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f_1'}{f_2'}}$$

Q7. Calculer la valeur du grossissement *G* de la lunette astronomique afocale.

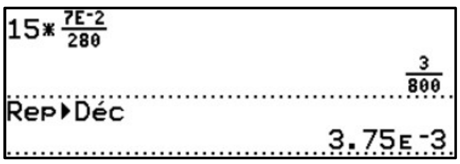
(0,5pt) $G = \frac{450 \text{ mm}}{30 \text{ mm}}$ **= 15.**

Q8. Indiquer en justifiant si l'observateur voit distinctement, à travers la longue-vue, le bec de l'oie situéeà 280 m.

(1pt) $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ = 15 donc α' = *G* × α.

Avec α l'angle sous lequel est vu le bec de taille AB = 7 cm à la distance O_1A = 280 m.

$\tan\alpha = \frac{AB}{O_1A} \approx \alpha$ donc $\boxed{\alpha' = G \times \frac{AB}{O_1A}}$.



$\alpha' = 15 \times \frac{7\times10^{-2}}{280} = 3{,}75\times10^{-3}$ rad> 3×10^{-4} rad.

L'observateur voit donc distinctement le bec de l'oie centrée à 280 m à travers la longue vue.

EXERCICE 3 - MARS VUE SOUS L'OEIL DE KEPLER (6 points)

Johannes Kepler (1571-1630) est un astronome allemand connu pour avoir établiles trois lois qui portent son nom et qui permettent notamment de décrire lemouvement des planètes du système solaire.

On étudie dans cet exercice la troisième loi de Kepler appliquée à la planète Mars,puis on détermine les caractéristiques d'une lunette astronomique permettantd'observer cette planète.

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

En 1611, Johannes Kepler propose dans son ouvrage *Dioptricae*une nouvelle combinaison optique pour lalunette 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

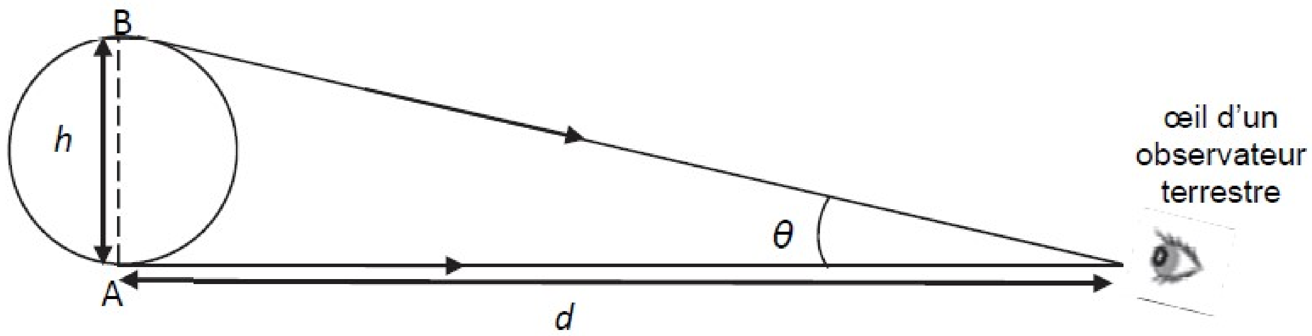
Fondées sur ce modèle, les lunettes astronomiques actuelles sont formées de deux lentilles mincesconvergentes. On a représenté sur la figure A1 de l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE** le schémaoptique d'une lunette astronomique afocale.

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 $9{,}0\times10^{-3}$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 :

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

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.



Q1. Sur la figure A1 de l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**, on note L_1 et L_2 les deux lentilles mincesconvergentes. 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.

Q2. Tracer sur la figure A1 de l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE** la marche des rayons lumineuxprovenant de B_∞ à travers la lentille L_1 et la lentille L_2 en faisant apparaitre 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. Lasituation 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)*

Q3. Représenter les angles θ_1 (angle sous lequel est vu Mars à l'œil nu) et θ_2 (angle sous lequel est vu Marsà l'aide de la lunette) sur la figure A1 de l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q4. On rappelle que le grossissement G de la lunette s'écrit : $G = \frac{\theta_2}{\theta_1}$. Établir que le grossissement s'exprimeen fonction des distances focales de l'objectif et de l'oculaire notées respectivement f'_{obj}et f'_{ocu} : $G = \frac{f'_{obj}}{f'_{ocu}}$.

Q5. Dans la situation où Mars est au plus près de la Terre, déterminer parmi les oculaires fournis avec lalunette décrite au tableau 2, celui qui permet à un observateur de voir Mars au moins aussi grosse que la Lunevue à l'œil nu.

ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE

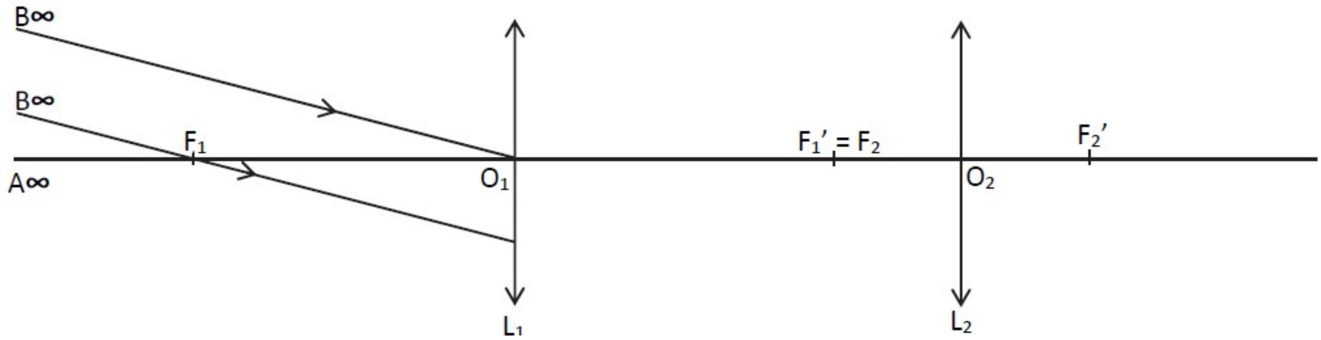


Figure A1 – Modèle de la lunette astronomique

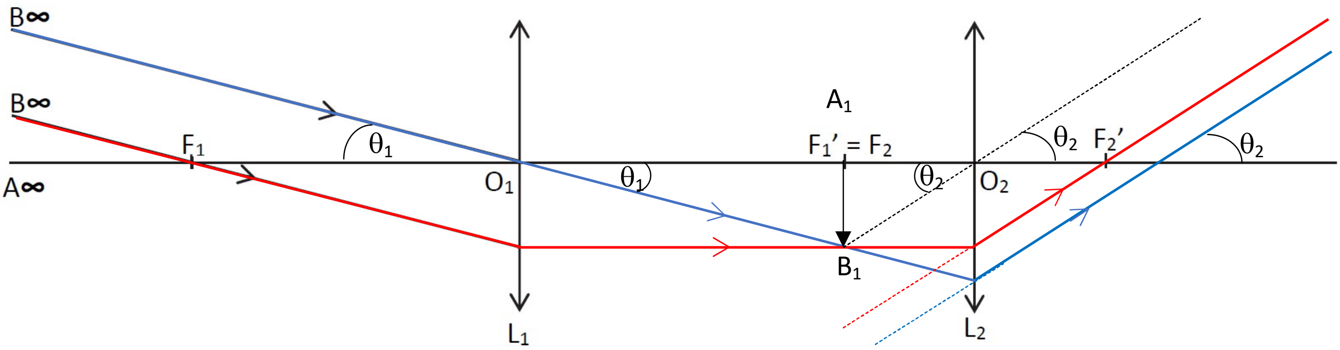
2. Observer Mars à l'aide d'une lunette astronomique

Q1. Sur la figure A_1 de l'ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE, on note L_1 et L_2 les deux lentilles mincesconvergentes. Préciser la lentille correspondant à l'objectif et celle correspondant à l'oculaire de la lunette.

(0,25pt) La lentille L_1 est la lentille la plus proche de l'objet à observer : **L_1 est l'objectif**.

La lentille L_2 est la lentille la plus proche de l'œil : **L_2 est l'oculaire**

Q2. Tracer sur la figure A_1 de l'ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE la marche des rayons lumineuxprovenant de B∞ à travers la lentille L_1 et la lentille L_2 en faisant apparaitre l'image intermédiaire, notée A_1B_1,de l'objet A∞B∞ à travers la lentille L_1.



(1pt) *Justifications ci-dessous non demandées.*

Le rayon issu de B_∞ et passant par le foyer objet F_1, émerge de L_1 parallèlement à l'axe optique (en rouge). Il sort de L_2 en passant par le foyer image F'_2 de L_2.

Le rayon issu de B_∞ et passant par le centre optique O_1 de L_1 n'est pas dévié (en bleu). Il sort de L_2 parallèle au rayon précédent car l'image définitive est située à l'infini.

L'objet $A_\infty B_\infty$ étant situé à l'infini, son image A_1B_1 par L_1 est située dans le plan focal image de L_1 : A_1 est donc confondu avec $F'_1 = F_2$ et B_1 est l'intersection des deux rayons issus de B_∞.

Q3. Représenter les angles θ_1 (angle sous lequel est vu Mars à l'œil nu) et θ_2 (angle sous lequel est vu Marsà l'aide de la lunette) sur la figure A1 de l'ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE.

(0,5pt) Angles représentés sur l'annexe A_1.

Q4. On rappelle que le grossissement G de la lunette s'écrit : $G = \dfrac{\theta_1}{\theta_2}$. Établir que le grossissement s'exprimeen fonction des distances focales de l'objectif et de l'oculaire notées respectivement f'_{obj}et f'_{ocu} : $G = \dfrac{f'_{obj}}{f'_{ocu}}$.

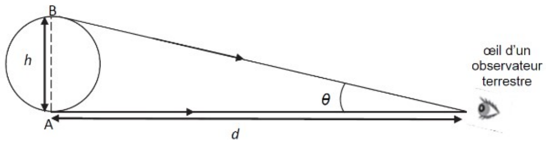
(0,5pt) Grossissement : $G = \dfrac{\theta_2}{\theta_1}$. Pour de petits angles exprimés en radian : $\tan\vartheta \approx \vartheta$.

Triangle $O_1A_1B_1$: $\tan\theta_1 = \dfrac{A_1B_1}{O_1F'_1} = \dfrac{A_1B_1}{f'_{obj}} \approx \theta_1$; Triangle $O_2A_1B_1$: $\tan\theta_2 = \dfrac{A_1B_1}{O_2F'_2} = \dfrac{A_1B_1}{f'_{ocu}} \approx \theta_2$

$$G = \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{\dfrac{A_1B_1}{f'_{ocu}}}{\dfrac{A_1B_1}{f'_{obj}}} = \frac{f'_{obj}}{f'_{ocu}} \Leftrightarrow \boxed{G = \frac{f'_{obj}}{f'_{ocu}}}$$

Q5. Dans la situation où Mars est au plus près de la Terre, déterminer parmi les oculaires fournis avec lalunette décrite au tableau 2, celui qui permet à un observateur de voir Mars au moins aussi grosse que la Lunevue à l'œil nu.
(1pt)

$G = \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{f'_{obj}}{f'_{ocu}}$ donc $f'_{ocu} = \frac{f'_{obj} \times \theta_1}{\theta_2}$ avec f'_{obj} = 900 mm.



Pour de petits angles en radian : tan $\vartheta \approx \vartheta = \frac{h}{D}$.

Angle sous lequel Mars est vue à l'œil nu : $\vartheta_M = \frac{h}{D} = \frac{6794 \text{ km}}{62{,}07 \times 10^6 \text{ km}}$ = **$1{,}095 \times 10^{-4}$ rad.**

Angle sous lequel la Lune est vue à l'œil nu : $\vartheta_L = 9{,}0 \times 10^{-3}$ rad.

L'observateur souhaite voir Mars à travers la lunette astronomique au moins aussi grosse que la Lune vue à l'œil nu donc :
$\vartheta_2 \geq \vartheta_L = 9{,}0 \times 10^{-3} \times 10^{-4}$ rad
$\vartheta_1 = \vartheta_M = 1{,}095 \times 10^{-4} \times 10^{-3}$ rad.

Dans le cas où $\vartheta_2 = \vartheta_L \Leftrightarrow f'_{ocu} = \frac{900 \text{ mm} \times 1{,}095 \times 10^{-4} \text{ rad}}{9{,}0 \times 10^{-3} \text{ rad}}$ = **11 mm**.

Le grossissement minimal correspondant est $G_{min} = \frac{f'_{obj}}{f'_{ocu}} = \frac{900}{11}$ = **82.**

Calculons les trois grossissements possibles pour les trois oculaires : $G = \frac{f'_{obj}}{f'_{ocu}} = \frac{900}{f'_{ocu}}$

f'_{ocu} (en m)	10	25	40
G	90	36	22,5

Seul l'objectif de distance focale **10 mm** convient car $G = 90 > G_{min} = 82$.