Observation d'un avion en vol

Bac 2024 Métropole Jour 1 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q1 Donner la définition d'une lunette afocale.

Une lunette afocale forme, d'un objet situé à l'infini, une image finale elle aussi à l'infini.

Lunette afocale : objet à l'infini, image à l'infini ; le foyer image F_1' de l'objectif coïncide avec le foyer objet F_2 de l'oculaire.

COMPRENDRE
L'image étant à l'infini, l'œil l'observe sans accommoder, donc sans fatigue. Des rayons qui entrent parallèles entre eux ressortent parallèles entre eux.

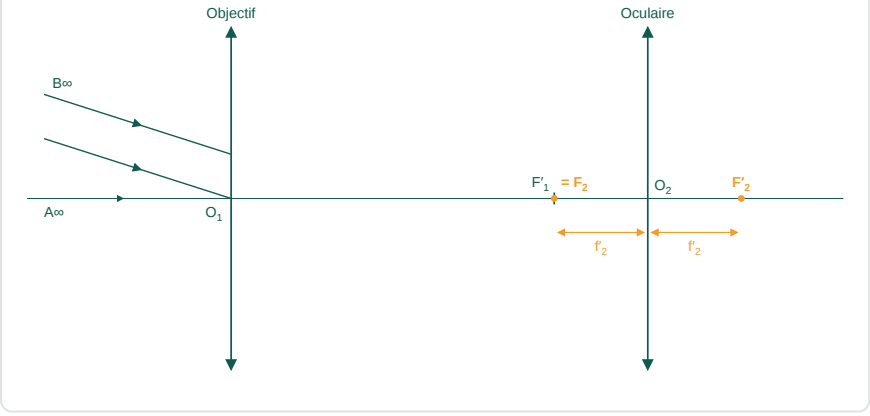
Q2 Sur le schéma en annexe, placer le foyer objet F_2 puis le foyer image F_2' de l'oculaire.

La lunette est afocale : F_2 est confondu avec F_1', déjà placé sur l'annexe.

Les deux foyers d'une lentille mince sont symétriques par rapport à son centre optique : F_2' est de l'autre côté de l'oculaire, à la même distance, $O_2F_2' = O_2F_2$.

F_2 en F_1' ; F_2' symétrique de F_2 par rapport à O_2 (voir l'annexe).

PIÈGE
Inverser les deux foyers. La lumière vient de l'objectif : le foyer objet F_2 est du côté de l'objectif, le foyer image F_2' du côté de l'œil.



Q2 · Annexe : foyers de l'oculaire placés (en orange)

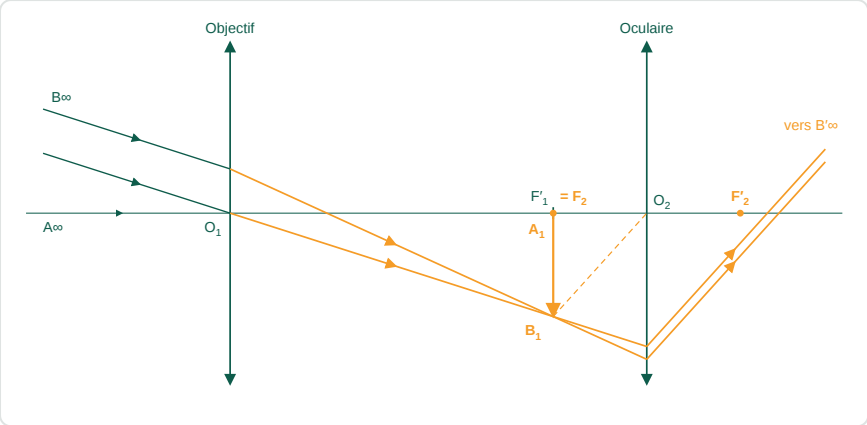
Q3 Construire sur l'annexe la marche des deux rayons lumineux issus de B_∞ qui émergent de la lunette, en faisant apparaître l'image intermédiaire A_1B_1.

- Le rayon qui passe par le centre optique O_1 de l'objectif n'est pas dévié.
- B_∞ est à l'infini : son image B_1 se forme dans le plan focal image de l'objectif, là où ce rayon coupe la perpendiculaire à l'axe menée par F_1'. A_1 est en F_1'.
- Le second rayon, après l'objectif, passe lui aussi par B_1.
- B_1 est dans le plan focal objet de l'oculaire : les deux rayons sortent parallèles entre eux, dans la direction de la droite (B_1O_2), tracée en pointillés.

Image intermédiaire A_1B_1 dans le plan focal commun ; rayons émergents parallèles à (B_1O_2) (voir l'annexe).

PIÈGE
Faire sortir les rayons parallèles à l'axe optique, ou dans la direction des rayons incidents. L'image A_1B_1 est renversée par rapport à l'objet.

MÉTHODE
Pour connaître la direction de sortie, tracer en pointillés le rayon fictif issu de B_1 qui passe par O_2 : il n'est pas dévié et tous les rayons issus de B_1 sortent parallèles à lui.



Q3 · Annexe : marche des deux rayons issus de B∞ et image intermédiaire A_1B_1

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.

Données utiles $L = 44{,}5$ m ; $h = 10{,}4$ km ; angle minimal de séparation : $3{,}0 \times 10^{-4}$ rad

L'avion, de longueur L, est vu à la distance h sous l'angle α tel que $\tan\alpha = \dfrac{L}{h}$. L'angle est petit, donc $\tan\alpha = \alpha$:

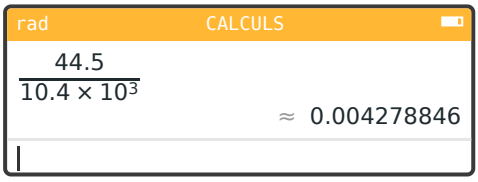
$$\alpha = \frac{L}{h} = \frac{44{,}5}{10{,}4 \times 10^3} = 4{,}28 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$\alpha = 4{,}28 \times 10^{-3}$ rad $> 3{,}0 \times 10^{-4}$ rad : l'avant et la queue de l'avion sont distingués à l'œil nu.

PIÈGE
Laisser h en kilomètres : L et h doivent être dans la même unité. Le rapport de deux longueurs donne directement un angle en radians, pas en degrés.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme L et h. L'angle vaut environ 14 fois le seuil de l'œil.

À LA CALCULATRICE

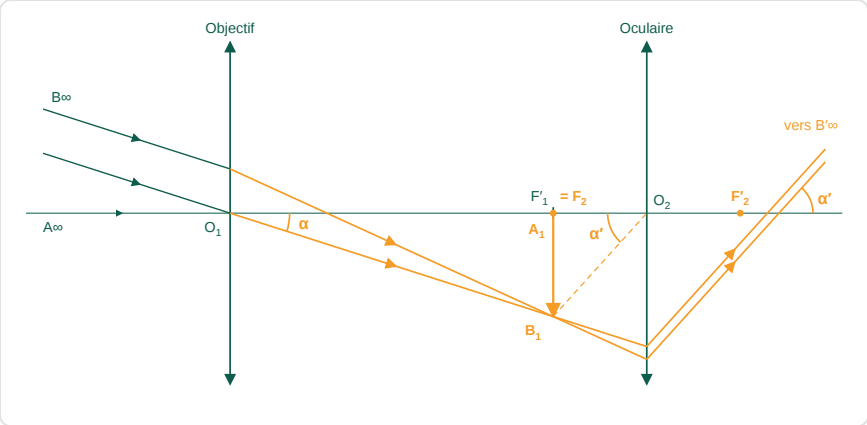


Q5 Après avoir placé les angles α et α' sur l'annexe, rappeler l'expression du grossissement G d'une lunette astronomique en fonction de α et α'.

α est l'angle entre l'axe optique et les rayons issus de B_∞ qui entrent dans la lunette ; on le retrouve en O_1, entre l'axe et le rayon non dévié. α' est l'angle entre l'axe optique et les rayons qui sortent de l'oculaire ; on le retrouve en O_2, entre l'axe et la droite (B_1O_2).

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

PIÈGE
Écrire le rapport à l'envers. La lunette agrandit l'angle de vue : $\alpha' > \alpha$, donc $G > 1$. G n'a pas d'unité.



Q5 · Annexe complétée : 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.

Données utiles largeur du hublot : $d = 23$ cm ; $h = 10{,}4$ km ; $16 \leqslant G \leqslant 48$; angle minimal de séparation : $3{,}0 \times 10^{-4}$ rad

Les deux bords verticaux sont séparés par la largeur du hublot, $d = 23\ \text{cm} = 0{,}23\ \text{m}$. À l'œil nu, ils sont vus sous l'angle :

$$\alpha = \frac{d}{h} = \frac{0{,}23}{10{,}4 \times 10^3} = 2{,}2 \times 10^{-5}\ \text{rad}$$

Cet angle est inférieur à $3{,}0 \times 10^{-4}$ rad : l'œil nu ne sépare pas les deux bords.

À travers la lunette, $\alpha' = G\,\alpha = G\,\dfrac{d}{h}$. Avec le plus petit grossissement, $G = 16$:

$$\alpha' = 16 \times \frac{0{,}23}{10{,}4 \times 10^3} = 3{,}5 \times 10^{-4}\ \text{rad}$$

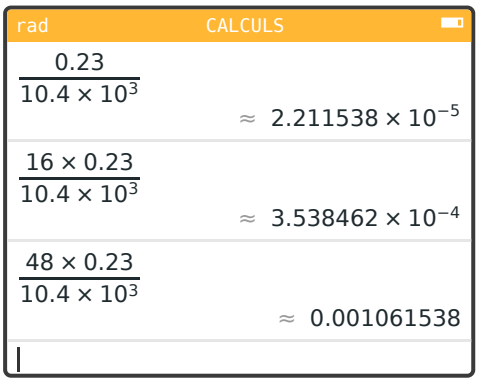
Avec $G = 48$, $\alpha' = 1{,}1 \times 10^{-3}$ rad, encore plus grand.

$\alpha' \geqslant 3{,}5 \times 10^{-4}\ \text{rad} > 3{,}0 \times 10^{-4}\ \text{rad}$: la lunette permet de distinguer les deux bords verticaux du hublot, quel que soit le grossissement choisi.

PIÈGE
Prendre 33 cm. Les bords verticaux sont les côtés gauche et droit du hublot : c'est la largeur, 23 cm, qui les sépare.

MÉTHODE
Tester le cas le plus défavorable, ici $G = 16$. S'il convient, tous les autres conviennent. Autre rédaction : le grossissement minimal nécessaire est $3{,}0 \times 10^{-4} \div 2{,}2 \times 10^{-5} \approx 14$, inférieur à 16.

À LA CALCULATRICE



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

La fréquence reçue par l'observateur diffère de la fréquence émise parce que la source sonore est en mouvement par rapport à lui.

Il s'agit de l'effet Doppler.

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

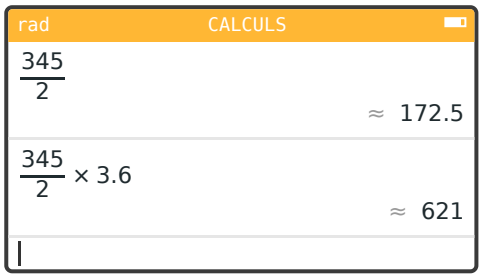
Données utiles $f_A = 2{,}2$ kHz ; $f_E = 1{,}5$ kHz ; $c = 345\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $v_c = 863\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$

- **A** : $\dfrac{c}{c-v}$ est le quotient de deux vitesses, donc un nombre sans unité. Il ne peut pas être égal à une fréquence, en hertz. La relation n'est pas homogène.
- **C** : comme $c+v > c-v$, elle donne $f_A < f_0 < f_E$. Or on mesure $f_A > f_E$: le son est plus aigu quand l'avion s'approche.
- **D** : l'avion s'approche puis s'éloigne à la même vitesse v ; rien ne justifie le facteur 2 dans f_A seulement. De plus f_A deviendrait infinie pour $v = \dfrac{c}{2} \approx 173\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, soit $621\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, vitesse que l'avion dépasse en croisière sans que rien de tel ne se produise.
- **B** : elle est homogène, symétrique, et donne bien $f_A > f_0 > f_E$.

Proposition B : $f_A = f_0 \dfrac{c}{c-v}$ et $f_E = f_0 \dfrac{c}{c+v}$

MÉTHODE
Trois tests pour trier des formules : l'homogénéité (unités), le sens de variation (approche : fréquence plus grande), un cas limite ($v = 0$ doit donner f_0, aucune valeur absurde pour une vitesse réaliste).

À LA CALCULATRICE



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

Données utiles $f_A = 2{,}2$ kHz ; $f_E = 1{,}5$ kHz ; $c = 345\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; relations B (Q8) ; $v_c = 863\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$

La fréquence f_0 est inconnue : on l'élimine en divisant membre à membre les deux relations de la proposition B.

$$\frac{f_A}{f_E} = \frac{c+v}{c-v}$$

$f_A(c-v) = f_E(c+v)$, soit $c(f_A - f_E) = v(f_A + f_E)$, d'où :

$$v = c\,\frac{f_A - f_E}{f_A + f_E}$$

$$v = 345 \times \frac{2{,}2 - 1{,}5}{2{,}2 + 1{,}5} = 65\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

En $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$: $v = 65{,}3 \times 3{,}6 = 235\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, soit $2{,}3 \times 10^2\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ avec deux chiffres significatifs.

Commentaire : cette vitesse est près de quatre fois plus faible que la vitesse de croisière ($863\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$). C'est cohérent : l'avion a fortement ralenti pour atterrir.

$v = 65\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \approx 2{,}3 \times 10^2\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ (environ $235\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$), bien inférieure à la vitesse de croisière : cohérent avec un atterrissage.

PIÈGE
Convertir la valeur arrondie : $65 \times 3{,}6 = 234$. Garder le résultat non arrondi dans la calculatrice. Les fréquences peuvent rester en kHz : seul leur rapport intervient.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme f_A et f_E. « Commenter » rapporte des points : comparer à une valeur connue, ici la vitesse de croisière donnée dans l'énoncé.

À LA CALCULATRICE

