Spécialité : Observation d'objets de petites dimensions

Bac S 2010 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Par construction graphique sur la figure 1 de l'annexe, déterminer l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB donnée par la lentille L_1.

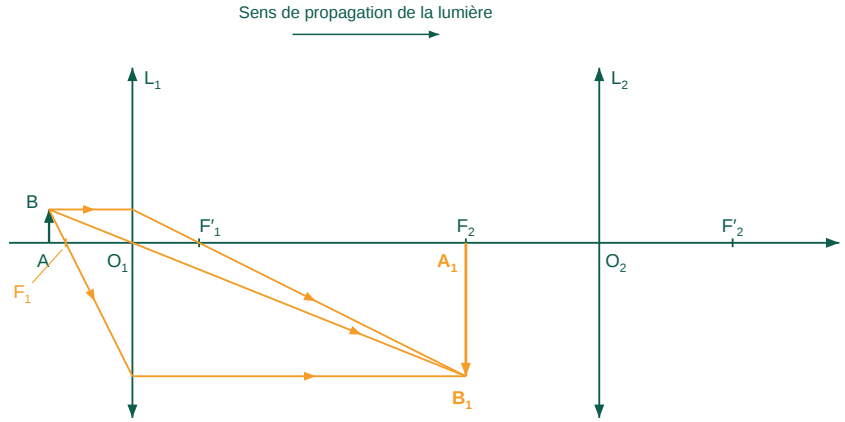
Données utiles $f'_1 = 2{,}0$ cm ; $AB = 1{,}0$ cm ; échelle : 1 cm sur la figure représente 2 cm

On place le foyer objet F_1, symétrique de F'_1 par rapport à O_1, puis on trace trois rayons issus de B :

- celui qui passe par O_1 n'est pas dévié ;
- celui qui arrive parallèlement à l'axe optique ressort en passant par F'_1 ;
- celui qui passe par F_1 ressort parallèlement à l'axe optique.

Ces rayons se coupent en B_1, et A_1 est le projeté de B_1 sur l'axe. On constate que A_1 tombe sur F_2. La flèche A_1B_1 mesure 2,0 cm sur la figure, soit 4,0 cm en réalité.

A_1B_1 est réelle, renversée et quatre fois plus grande que l'objet : $\overline{A_1B_1} = -4{,}0$ cm, avec A_1 en F_2.



1.1 · Figure 1 de l'annexe : construction de l'image intermédiaire A₁B₁ (en orange)

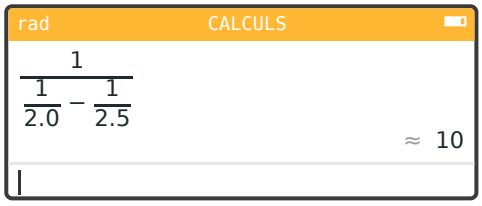
COMPRENDRE

Contrôle par le calcul : la figure donne $\overline{O_1A} = -2{,}5$ cm, donc $\frac{1}{\overline{O_1A_1}} = \frac{1}{2{,}0} - \frac{1}{2{,}5}$, soit $\overline{O_1A_1} = 10$ cm : c'est bien la position de F_2.

MÉTHODE

Deux rayons suffisent pour trouver B_1 ; le troisième sert de contrôle. S'ils ne concourent pas, le tracé est à reprendre.

À LA CALCULATRICE



1.2.1 Quelle est la position particulière de A_1B_1 par rapport à la lentille L_2 ? Où se forme l'image définitive A_2B_2 ?

A_1 est confondu avec F_2 : l'image intermédiaire A_1B_1 se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire L_2.

Relation de conjugaison pour L_2, avec $\overline{O_2A_1} = \overline{O_2F_2} = -f'_2$:

$$\frac{1}{\overline{O_2A_2}} = \frac{1}{f'_2} + \frac{1}{\overline{O_2A_1}} = \frac{1}{f'_2} - \frac{1}{f'_2} = 0$$

A_1B_1 est dans le plan focal objet de L_2 : l'image définitive A_2B_2 se forme à l'infini.

COMPRENDRE

Un inverse nul signifie une distance infinie. C'est la propriété réciproque du foyer objet : tout point du plan focal objet donne, après la lentille, un faisceau de rayons parallèles.

1.2.2 Justifier la position de A_2B_2 en complétant la construction graphique de la figure 1 de l'annexe.

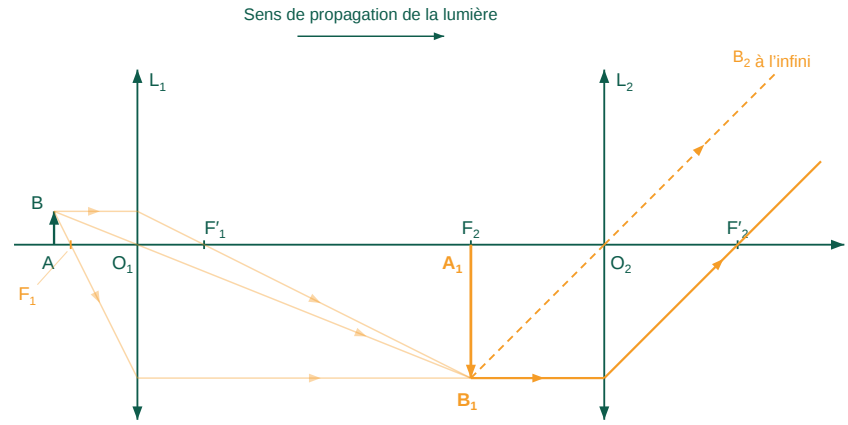
On trace deux rayons issus de B_1 :

- celui qui arrive sur L_2 parallèlement à l'axe optique ressort en passant par F_2' ;
- celui qui passe par O_2 (tracé en pointillés) n'est pas dévié.

Après L_2, ces deux rayons ont la même inclinaison : ils sont parallèles et ne se coupent pas à distance finie.

Les rayons issus de B_1 émergent de l'oculaire parallèles entre eux : B_2 est à l'infini, donc l'image A_2B_2 aussi.

PIÈGE
Le rayon B_1O_2 est un rayon de construction : il indique la direction des rayons émergents. On le trace en pointillés, car aucun rayon venu de l'objectif ne suit ce chemin sur la maquette.



1.2.2 · Figure 1 complétée : les rayons issus de B₁ sortent de L₂ parallèles entre eux, l'image A₂B₂ est à l'infini

1.3 Justifier l'intérêt, pour l'observateur, de la position de l'image finale donnée par le microscope. Quel avantage présente ce système optique pour observer des objets de petites dimensions ?

Données utiles œil emmétrope : vision nette de l'infini (au repos) jusqu'à $d_m = 25$ cm (accommodation maximale)

L'image finale est à l'infini. Or un œil emmétrope voit net à l'infini en restant au repos : l'observateur regarde donc dans le microscope sans accommoder, ce qui évite la fatigue visuelle lors d'une observation prolongée.

Par ailleurs, l'image finale est vue sous un angle bien plus grand que celui sous lequel l'objet serait vu à l'œil nu, même placé au plus près, à la distance d_m.

Image à l'infini : observation sans accommodation, donc sans fatigue. Le microscope agrandit l'angle de vision et rend visibles des détails indiscernables à l'œil nu.

COMPRENDRE
La lunette astronomique afocale repose sur la même idée : l'objectif forme une image intermédiaire dans le plan focal objet de l'oculaire, qui la renvoie à l'infini.

2.1.1 L'image finale est à l'infini. Où est située l'image intermédiaire donnée par l'objectif ? Déterminer sa position $\overline{O_1A_1}$ par rapport à l'objectif.

Données utiles $f_1' = 10$ mm ; $\Delta = \overline{F_1'F_2} = 160$ mm

L'image finale est à l'infini : l'image intermédiaire A_1B_1 est donc dans le plan focal objet de l'oculaire, c'est-à-dire que A_1 est en F_2.

$$\overline{O_1A_1} = \overline{O_1F_1'} + \overline{F_1'F_2} = f_1' + \Delta = 10 + 160$$

A_1 est en F_2 et $\overline{O_1A_1} = 170$ mm.

MÉTHODE
Sur un axe, on décompose une mesure algébrique en passant par des points connus (relation de Chasles) : ici $O_1 \to F_1' \to F_2$.

2.1.2 Par application de la formule de conjugaison, calculer la distance $\overline{O_1A}$ entre l'objet et l'objectif.

Données utiles $\overline{O_1A_1} = 170$ mm (2.1.1) ; $f'_1 = 10$ mm

Pour la lentille L_1 : $\frac{1}{\overline{O_1A_1}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{1}{f'_1}$, donc $\frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{1}{\overline{O_1A_1}} - \frac{1}{f'_1}$.

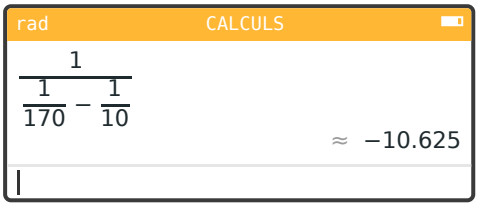
$$\overline{O_1A} = \left(\frac{1}{170} - \frac{1}{10}\right)^{-1} = -10{,}625 \text{ mm}$$

$\overline{O_1A} \approx -10{,}6$ mm, soit -11 mm avec deux chiffres significatifs : l'objet est à environ 11 mm devant l'objectif, juste avant F_1.

PIÈGE
Le signe : l'objet est avant la lentille, $\overline{O_1A}$ est négatif. Un résultat positif révèle une erreur de signe dans la relation de conjugaison.

COMPRENDRE
Les données ont deux chiffres significatifs, d'où -11 mm. On garde pourtant $-10{,}625$ mm pour la suite : c'est l'écart avec F_1, inférieur au millimètre, qui compte.

À LA CALCULATRICE



2.2.1 Comparer les deux distances $\overline{F_1A}$, dans le cas où l'œil n'accommode pas et dans celui où il accommode. Calculer la différence.

Données utiles sans accommodation : $\overline{F_1A} = -0{,}63$ mm ; avec accommodation : $\overline{F_1A} = -0{,}59$ mm ; $\overline{O_1A} = -10{,}625$ mm (2.1.2)

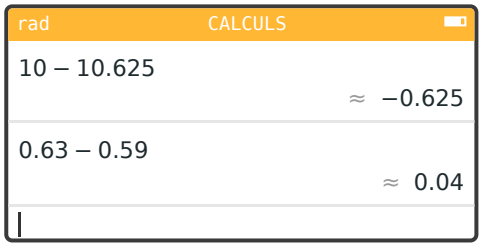
La valeur sans accommodation se retrouve avec la question 2.1.2 : $\overline{F_1A} = \overline{F_1O_1} + \overline{O_1A} = 10 - 10{,}625 = -0{,}625 \approx -0{,}63$ mm.

Dans les deux cas l'objet est à moins d'un millimètre devant F_1, et les deux positions sont presque identiques :

$0{,}63 - 0{,}59 = 0{,}04$ mm

Les deux distances sont très proches : elles diffèrent de $0{,}04$ mm, soit 40 μm. L'objet est un peu plus près de F_1 quand l'œil accommode.

À LA CALCULATRICE



2.2.2 Justifier l'utilisation d'une vis micrométrique pour effectuer la mise au point.

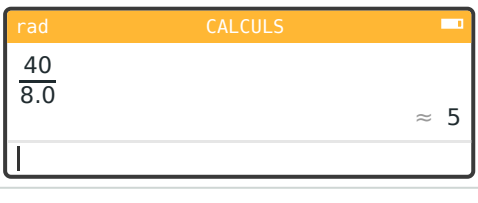
Données utiles écart entre les deux positions extrêmes de l'objet : $0{,}04$ mm (2.2.1)

L'image finale n'est visible nettement, entre l'infini et d_m, que si la distance objet-objectif est réglée dans un intervalle large de $0{,}04$ mm seulement. Un tel réglage est impossible à la main ou avec la seule crémaillère.

La mise au point se joue à quelques centièmes de millimètre (40 μm) : il faut une vis micrométrique, qui déplace l'ensemble objectif-oculaire de façon très fine.

COMPRENDRE
La crémaillère sert au réglage rapide, la vis micrométrique au réglage fin. La plage utile, 40 μm, ne vaut que cinq fois le diamètre du globule rouge observé.

À LA CALCULATRICE



2.3.1 Schématiser l'observation de l'objet à l'œil nu, placé à la distance d_m. Exprimer $\tan\theta$ et en déduire la valeur de θ.

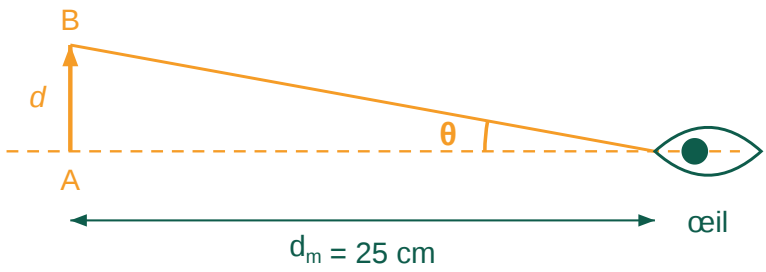
Données utiles $d = 8{,}0\ \mu\text{m}$; $d_m = 25$ cm ; $\tan\theta \approx \theta$ (en radian) si θ est petit

Dans le triangle rectangle formé par l'objet et l'œil : $\tan\theta = \dfrac{d}{d_m}$.

L'angle est très petit, donc $\theta \approx \tan\theta$ avec θ en radian :

$$\theta = \frac{d}{d_m} = \frac{8{,}0 \times 10^{-6}}{25 \times 10^{-2}} = 3{,}2 \times 10^{-5}\ \text{rad}$$

$$\boxed{\tan\theta = \frac{d}{d_m} \text{ et } \theta = 3{,}2 \times 10^{-5}\ \text{rad}}$$



2.3.1 · Objet AB de hauteur d observé à l'œil nu à la distance d_m (schéma sans échelle)

PIÈGE
Les deux longueurs doivent être dans la même unité : $8{,}0\ \mu\text{m} = 8{,}0 \times 10^{-6}$ m et $25\ \text{cm} = 25 \times 10^{-2}$ m. Le résultat est en radian, pas en degré.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{8.0 \times 10^{-6}}{25 \times 10^{-2}}$ $\approx 3.2 \times 10^{-5}$

2.3.2 Noter sur la figure 1 l'angle θ' sous lequel est vue l'image définitive. En déduire son expression littérale, puis calculer θ' pour le microscope réel.

Données utiles $d = 8{,}0\ \mu\text{m}$; $f'_2 = 50$ mm ; $\overline{O_1A_1} = 170$ mm (2.1.1) ; $\overline{O_1A} = -10{,}625$ mm (2.1.2)

θ' est l'angle entre l'axe optique et les rayons qui sortent de l'oculaire, parallèles à (B_1O_2). Dans le triangle $O_2A_1B_1$, rectangle en A_1, avec $O_2A_1 = f'_2$:

$\tan\theta' = \dfrac{A_1B_1}{f'_2}$, soit, pour le microscope réel où l'angle est petit, $\theta' = \dfrac{A_1B_1}{f'_2}$.

Taille de l'image intermédiaire, par le grandissement de l'objectif : $\dfrac{A_1B_1}{AB} = \dfrac{O_1A_1}{O_1A}$ (en distances), avec $AB = d$:

$$A_1B_1 = d \times \frac{O_1A_1}{O_1A} = 8{,}0 \times 10^{-6} \times \frac{170}{10{,}625} = 1{,}28 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

$$\theta' = \frac{d \times O_1A_1}{O_1A \times f'_2} = \frac{1{,}28 \times 10^{-4}}{50 \times 10^{-3}} = 2{,}56 \times 10^{-3}\ \text{rad}$$

$$\boxed{\theta' = \frac{A_1B_1}{f'_2} = \frac{d \times O_1A_1}{O_1A \times f'_2} \approx 2{,}6 \times 10^{-3}\ \text{rad}}$$

COMPRENDRE
Sur la maquette, $\tan\theta' = 4{,}0/4{,}0 = 1$: l'angle vaut 45° et n'est pas petit. L'approximation $\tan\theta' \approx \theta'$ ne vaut que pour le microscope réel.

MÉTHODE
L'objectif agrandit 16 fois ($170 \div 10{,}625$) : l'image intermédiaire du globule mesure 0,128 mm. L'oculaire joue ensuite le rôle d'une loupe pour l'observer.

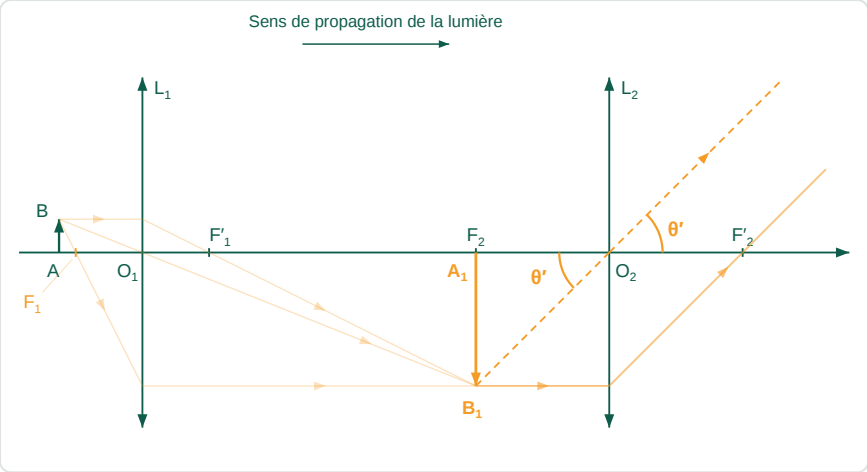
À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{8.0 \times 10^{-6} \times 170}{10.625}$ $\approx 1.28 \times 10^{-4}$

$\dfrac{1.28 \times 10^{-4}}{50 \times 10^{-3}}$ ≈ 0.00256

$\dfrac{170}{10.625}$ ≈ 16



2.3.2 · Figure 1 : l'angle θ′ entre l'axe optique et les rayons qui sortent de l'oculaire

2.3.3 En déduire le grossissement G.

Données utiles $\theta = 3{,}2 \times 10^{-5}$ rad (2.3.1) ; $\theta' = 2{,}56 \times 10^{-3}$ rad (2.3.2)

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{2{,}56 \times 10^{-3}}{3{,}2 \times 10^{-5}} = 80$$

$G = 80$: le globule rouge est vu sous un angle 80 fois plus grand qu'à l'œil nu.

COMPRENDRE

G est un rapport de deux angles : il n'a pas d'unité. On vérifie avec les caractéristiques de l'appareil : $G = \frac{\Delta \times d_m}{f_1' \times f_2'} = \frac{160 \times 250}{10 \times 50} = 80$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{2.56 \times 10^{-3}}{3.2 \times 10^{-5}} \approx 80$

$\frac{160 \times 250}{10 \times 50} \approx 80$

2.4.1 Tracer sur la figure 2 de l'annexe les rayons lumineux issus de l'objectif qui, après la traversée de l'oculaire, délimitent et positionnent le cercle oculaire.

Données utiles maquette : $f_2' = 4{,}0$ cm ; $O_1O_2 = 14$ cm (7,0 cm mesurés sur la figure)

Le cercle oculaire est l'image de la monture de l'objectif par L_2. On construit donc l'image de chaque bord de L_1 avec deux rayons :

- le rayon qui passe par O_2 n'est pas dévié ;
- le rayon qui passe par F_2 ressort parallèlement à l'axe optique.

Leur intersection donne l'image du bord. Les deux points obtenus, symétriques par rapport à l'axe, limitent le cercle oculaire.

Contrôle : $\frac{1}{\overline{O_2C}} = \frac{1}{f_2'} + \frac{1}{\overline{O_2O_1}} = \frac{1}{4{,}0} - \frac{1}{14}$, d'où $\overline{O_2C} = 5{,}6$ cm.

Le cercle oculaire est situé à 5,6 cm après O_2, soit 1,6 cm derrière F_2' sur la maquette (2,8 cm et 0,8 cm sur la figure).

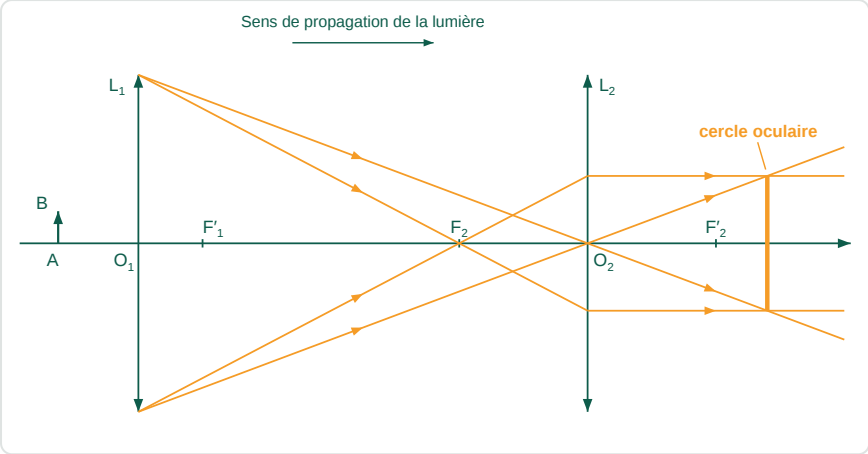
COMPRENDRE

Ici l'objet est la lentille L_1 elle-même, et non AB. Toute la lumière qui a traversé l'objectif puis l'oculaire passe à l'intérieur du cercle oculaire.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{1}{\frac{1}{4.0} - \frac{1}{14}} \approx 5.6$



2.4.1 · Figure 2 de l'annexe : les rayons issus des bords de l'objectif se recoupent, après l'oculaire, sur les bords du cercle oculaire

2.4.2 Lors d'une observation, l'œil doit être proche de F_2' et au centre du cercle oculaire. Justifier cette position idéale de l'œil.

D'après la construction, le cercle oculaire se forme juste derrière F_2'. Tous les rayons qui ont traversé l'objectif puis l'oculaire passent par ce cercle : c'est l'endroit où le faisceau émergent est le plus resserré.

En plaçant sa pupille au centre du cercle oculaire, près de F_2', l'œil reçoit le maximum de la lumière sortant du microscope : l'image est la plus lumineuse possible.

PIÈGE

Répondre « pour voir net » est hors sujet : la netteté dépend de la mise au point. La position de l'œil joue sur la quantité de lumière reçue.