

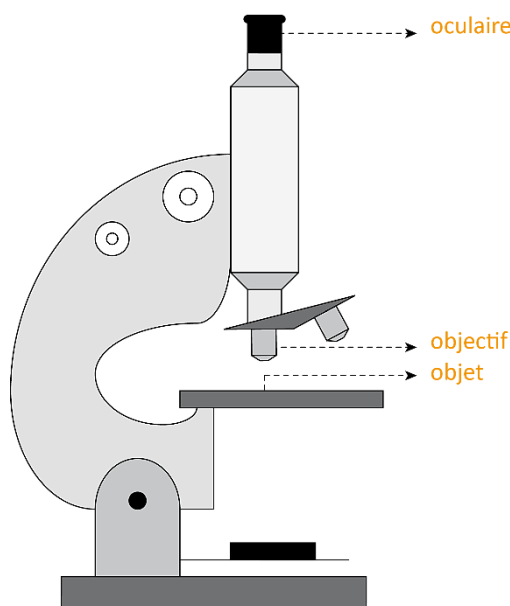


Exercices de la partie J

Instruments d'optique – 1^{er} volet : le microscope

EXERCICE 1 : constitution et principe de fonctionnement du microscope

1. Légender la figure ci-dessous à l'aide des termes suivants : oculaire, objectif, objet.



2. Compléter les phrases suivantes :
- L'objectif donne de l'objet observé une image **réelle, agrandie et renversée**. Cette image est appelée **image intermédiaire**.
 - Lorsque la mise au point est effectuée, l'image donnée par l'oculaire est **virtuelle et à l'infini**.
3. Afin d'augmenter le grossissement du microscope, on peut (plusieurs réponses sont correctes) :
- ☐ modifier la distance objectif—oculaire
 - ☐ modifier la distance objet—objectif ;
 - ☐ remplacer l'oculaire par un autre de distance focale plus élevée ;
 - ☒ remplacer l'oculaire par un autre de distance focale plus faible ;
 - ☐ remplacer l'objectif par un autre de distance focale plus élevée ;
 - ☒ remplacer l'objectif par un autre de distance focale plus faible.

EXERCICE 2 : le microscope et sa modélisation sur banc d'optique

Un microscope est un appareil constitué

- d'un objectif assimilable à une lentille mince convergente (L_1) de vergence $C_1 = 250 \delta$.
- d'un oculaire, lentille convergente (L_2) de vergence $C_2 = 40 \delta$.

L'intervalle optique, distance fixe séparant le foyer image F_1' de l'objectif du foyer principal objet F_2 de l'oculaire vaut :

$$\Delta = F_1'F_2 = 16,0 \text{ cm}$$

On utilise cet appareil pour observer un objet AB perpendiculaire à l'axe optique du microscope, le point A étant supposé placé sur axe.

On appelle A_1B_1 l'image de AB à travers l'objectif (L_1) et A_2B_2 l'image de A_1B_1 à travers (L_2).

**1^{ère} partie : le microscope réel**

1. Calculer les distances focales f_1' et f_2' de l'objectif et de l'oculaire.

Distance focale de l'objectif :

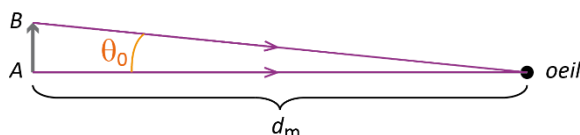
$$f_1' = \frac{1}{C_1} = 4,00 \times 10^{-3} \text{ m} = 4,00 \text{ mm}$$

Distance focale de l'oculaire :

$$f_2' = \frac{1}{C_2} = 0,025 \text{ m} = 25 \text{ mm}$$

2. L'objet AB est une spore de champignon de $2,0 \mu\text{m}$.

Faire un schéma permettant de déterminer le diamètre apparent θ de la spore lorsqu'elle est observée à l'œil nu à une distance $d_m = 25 \text{ cm}$.



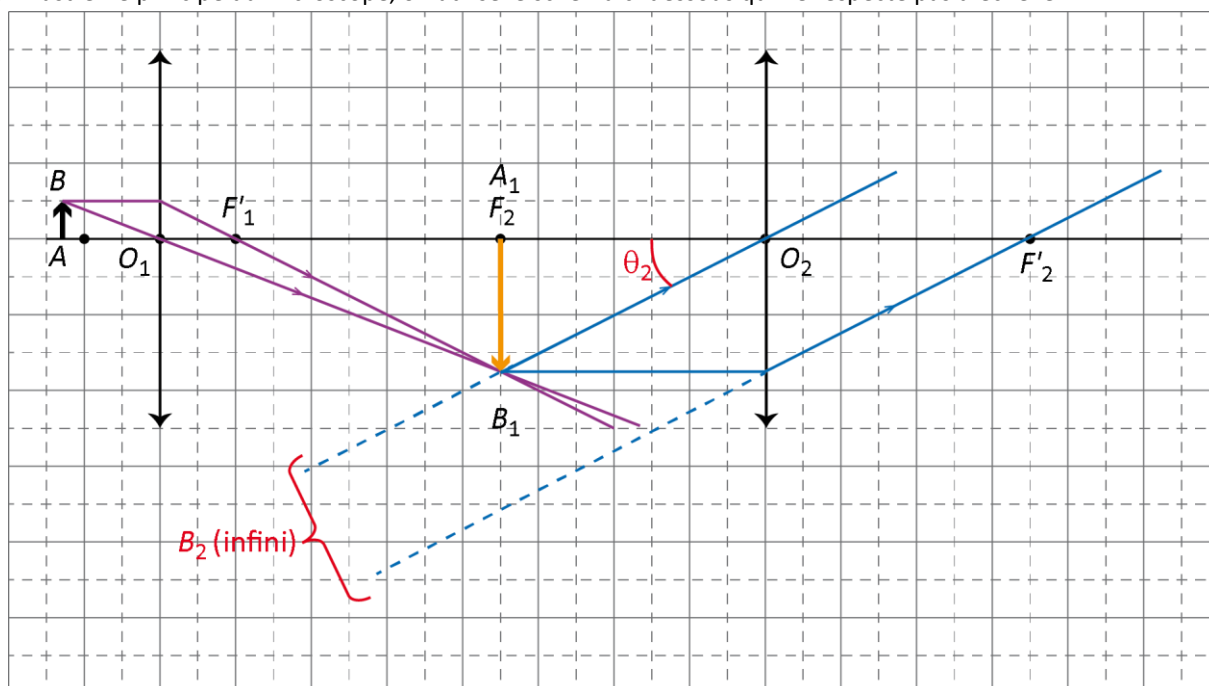
3. Calculer θ (on fera l'approximation $\tan \theta \approx \theta$). Cette spore est-elle observable à l'œil nu ?

$$\theta \approx \tan \theta = \frac{AB}{d_m} = 8,0 \times 10^{-6} \text{ rad}$$

Cette valeur est inférieure au pouvoir séparateur de l'œil : on ne peut pas voir la spore à l'œil nu.

2^{ème} partie : le microscope modélisé sur banc d'optique

Pour illustrer le principe du microscope, on utilise le schéma ci-dessous qui ne respecte pas d'échelle :



4. Construire l'image A_1B_1 de AB à travers l'objectif (L_1).
5. Où l'image A_1B_1 doit-elle se trouver pour l'oculaire si l'on veut que l'image définitive A_2B_2 soit à l'infini ?
Elle doit se former dans le plan focal objet de l'oculaire.
6. Représenter l'oculaire sur le schéma, sans souci d'échelle.
7. Construire l'image définitive A_2B_2 et indiquer sur le schéma l'angle θ_2 , diamètre apparent de A_2B_2 , c'est-à-dire pour un observateur utilisant le microscope.

3^{ème} partie : mise au point du microscope réel

Les valeurs numériques doivent être obtenues par le calcul et non par mesure graphique.



8. Calculer la distance entre l'objectif et l'image A_1B_1 .

$$\begin{aligned}\overline{O_1A_1} &= \overline{O_1F'_1} + \overline{F'_1A_1} \\ &= \overline{O_1F'_1} + \overline{F'_1F_2} \\ &= f'_1 + \Delta \\ &= 164 \text{ mm}\end{aligned}$$

9. En déduire la distance entre l'objet observé et l'objectif.

Il faut appliquer la relation de conjugaison à la lentille L_1 , soit :

$$\begin{aligned}\frac{1}{\overline{O_1A_1}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} &= \frac{1}{f'_1} \\ \overline{O_1A} &= \frac{\overline{O_1A_1} \times f'_1}{f'_1 - \overline{O_1A_1}} = -4,1 \text{ mm}\end{aligned}$$

10. Calculer la taille de l'image intermédiaire $\overline{A_1B_1}$ et le grandissement γ_1 de l'objectif. La valeur obtenue est-elle en accord avec l'indication ($\times 40$) signalée sur la monture de l'objectif ?

Grandissement :

$$\gamma_1 = \frac{\overline{O_1A_1}}{\overline{O_1A}} = -40$$

40 est bien la valeur absolue du grandissement de l'objectif utilisé.

L'image intermédiaire a donc une taille de valeur :

$$\overline{A_1B_1} = \gamma_1 \overline{AB} = -80 \text{ } \mu\text{m}$$

11. Établir l'expression de θ_2 (voir question 7) en fonction de $\overline{A_1B_1}$ et f'_2 . Calculer sa valeur en faisant la même approximation qu'à la question 3.

$$\theta_2 \approx \tan \theta_2 = \frac{\overline{A_1B_1}}{f'_2} = 3,2 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

4^{ème} partie : grossissement du microscope

Une des grandeurs importantes qui caractérise un microscope est son grossissement standard G , défini par le rapport :

$$G = \frac{\theta_2}{\theta}$$

12. Calculer le grossissement G de ce microscope.

$$G = \frac{\theta_2}{\theta} = 400$$

13. On peut aussi exprimer G en fonction du grandissement γ_1 de l'objectif et du grossissement G_2 de l'oculaire :

$$G = |\gamma_1| \cdot G_2$$

On a mélangé les trois oculaires dans la boîte qui les contient et qui comporte les indications $\times 4$; $\times 10$; $\times 40$. Quel oculaire a-t-on utilisé ?

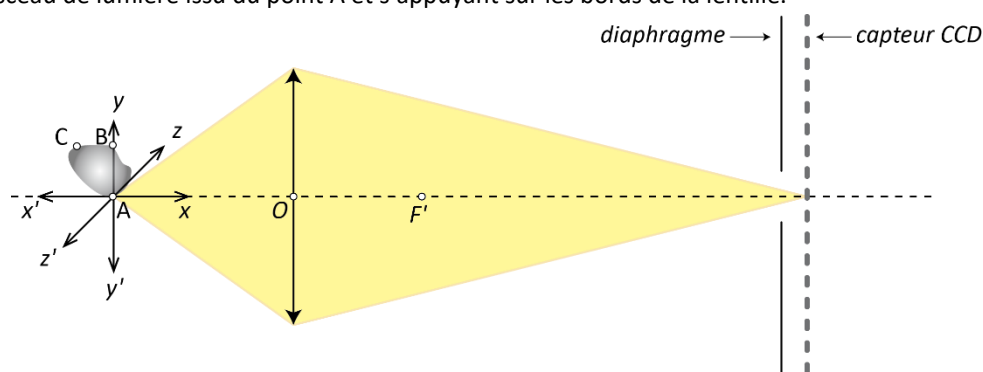
L'objectif utilisé a un grandissement de valeur absolue 40, le grossissement de l'oculaire associé vaut donc 10.



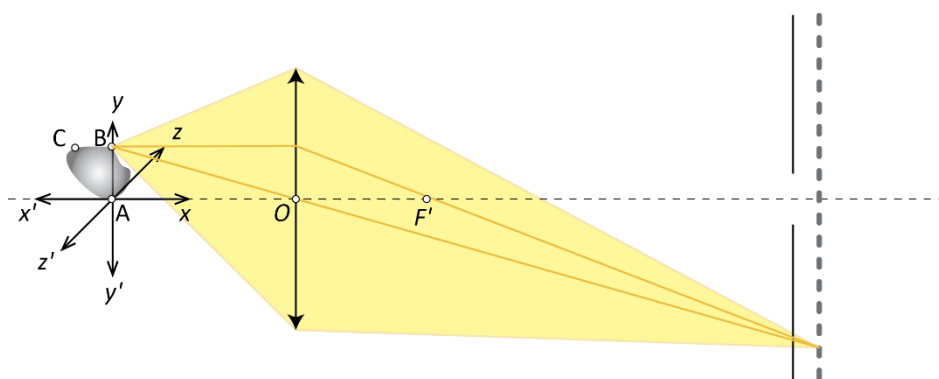
EXERCICE 3 : le microscope confocal

Le microscope confocal est une évolution du microscope optique étudié dans cette partie. Cet instrument ne possède pas d'oculaire. En revanche, un capteur CCD est placé derrière l'objectif et est relié à un système d'imagerie. L'objet peut être déplacé selon les trois axes définis ci-dessous : à chacune de ces positions une image est enregistrée et l'image globale est reconstituée informatiquement ensuite.

Dans la situation représentée ci-dessous, l'objet observé est une cellule. La mise au point est faite sur le point A, la figure représente le faisceau de lumière issu du point A et s'appuyant sur les bords de la lentille.



1. Sur la figure ci-dessous, tracer le faisceau de lumière issu du point B.



2. L'image du point B est-elle enregistrée dans cette position ? Justifier à l'aide de la figure précédente.
NON : on voit sur la figure précédente que le faisceau est bloqué par le diaphragme.
3. Selon quel axe et dans quel sens faut-il déplacer l'échantillon pour enregistrer une image du point B ?
Il faut déplacer la cellule dans le sens $y \rightarrow y'$
4. À partir de la situation précédente, selon quel axe et dans quel sens faut-il déplacer l'échantillon pour enregistrer une image du point C ?
Il faut déplacer la cellule dans le sens $x \rightarrow x'$

EXERCICE 4 : microscopie et pouvoir de résolution

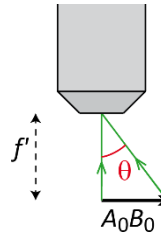
Un microscope est utilisé avec un objectif dont l'ouverture possède un diamètre de 1 mm et une distance focale de valeur $f' = 4$ mm.

1. Calculer le pouvoir de résolution de ce microscope.
Pour traiter cette question on supposera que la diffraction est le seul phénomène qui limite la résolution de l'instrument. On considère la longueur d'onde correspondant au maximum de sensibilité de l'œil : $\lambda \approx 550$ nm.

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{a} = 1,22 \times \frac{550 \times 10^{-9}}{1 \times 10^{-3}} = 7 \times 10^{-4} \text{ rad}$$



2. En considérant que les objets sont approximativement situés dans le plan focal objet de l'objectif, calculer la taille minimale d'un objet visible dans ce microscope. On pourra s'aider de la figure suivante, où sont représentés l'objectif, l'objet le plus petit observable et deux rayons de lumière qui en sont issus.



Puisque l'objet est à peu près dans le plan focal de l'objectif, on a :

$$\tan \theta \approx \theta = \frac{A_0B_0}{f'}$$

$$A_0B_0 \approx f' \times \theta = 3 \times 10^{-6} \text{ m} = 3 \mu\text{m}$$

3. Donner quelques exemples, en biologie, d'objets observables dans cet instrument.
Il s'agit de l'ordre de grandeur de la taille d'une cellule.
4. Comment faudrait-il modifier l'objectif pour que cette taille minimale diminue ? D'après vos connaissances sur les lentilles, pourquoi n'est-ce pas faisable aisément ?
Il faudrait augmenter l'ouverture de l'objectif mais cela augmenterait les aberrations des lentilles qui le composent.