

MP07 : Instruments d'optique

Introduction

Un instrument d'optique est un ensemble d'éléments optiques qui modifient la trajectoire ou les propriétés de la lumière. On peut dire que l'œil est un instrument d'optique naturel, mais il ne permet pas de tout observer, c'est pourquoi on construit d'autres instruments.

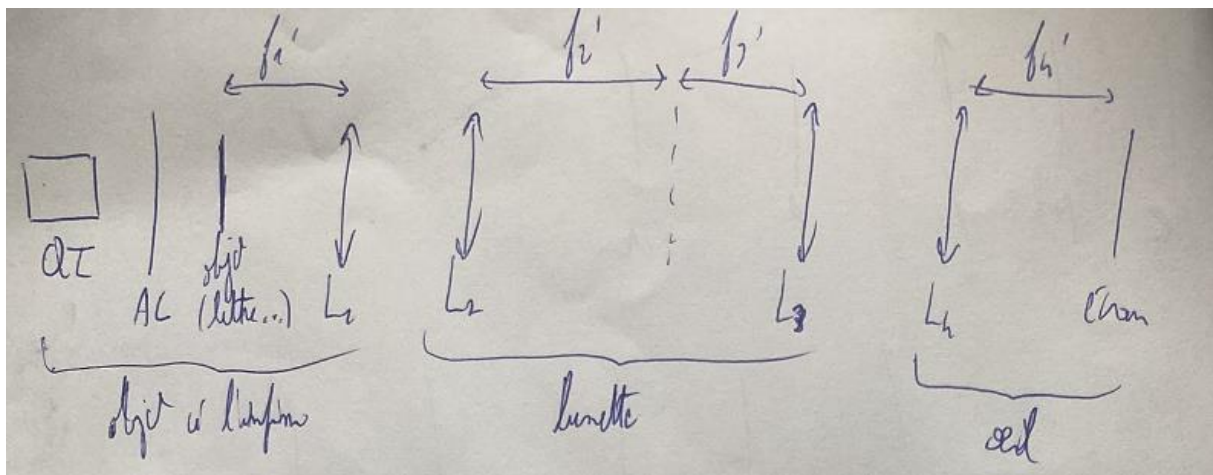
Dans ce montage nous verrons deux instruments dits « subjectifs », c'est-à-dire qui sont destinés à l'observation directe à l'œil. Ces instruments permettent de s'affranchir de la résolution angulaire de l'œil.

Matériel

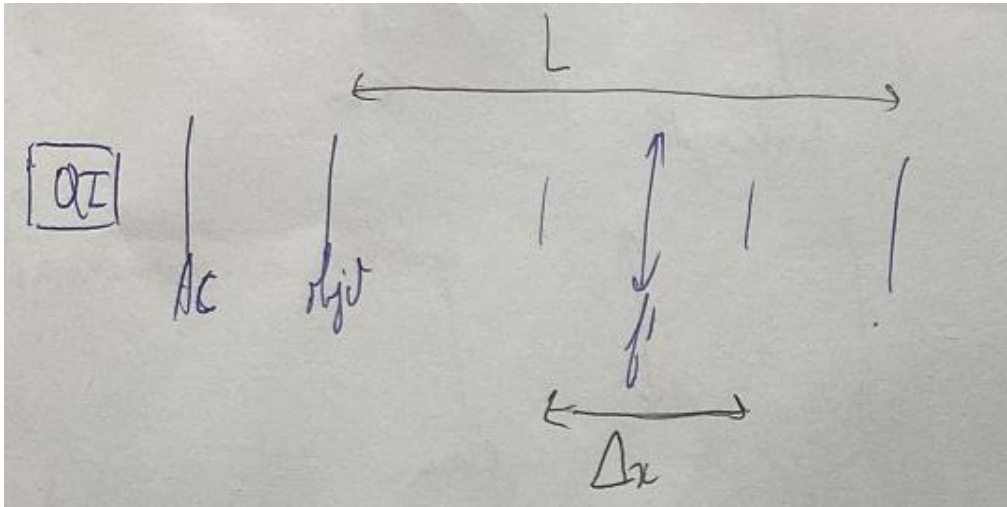
- lampe QI
- filtre AC
- objet (lettre par exemple)
- 5 lentilles convergentes (dont une de 500 mm)
- 2 écrans
- miroir
- microscope

I La lunette

La lunette astronomique est un système afocal, c'est-à-dire que les rayons parallèles en entrée sont parallèles en sortie. On réalise en premier un objet à l'infini \rightarrow collimateur et œil fictif.



On peut mesurer les focales avec la méthode de Bessel :



$$f' = \frac{L^2 - (\Delta x)^2}{4L}$$

L est la distance entre l'objet et l'écran, Δx est la distance sur laquelle l'image est nette (entre l'objet et l'écran).

On mesure le grossissement en mesurant la taille de l'image sur l'écran avec et sans lunette.

On place un diaphragme d'ouverture juste derrière L2 et un diaphragme de champ au plan focal de L2 (derrière L3).

Cercle oculaire → on place un écran/feuille après L3 (avant L4) et on observe une image circulaire nette, on mesure son diamètre.

$$\overline{O_{oc}A} = (f'_{obj} + f'_{oc}) \frac{f'_{oc}}{f'_{obj}}$$

On mesure ensuite le diamètre du cercle sur l'écran et le diamètre d'ouverture du diaphragme et on en déduit le grossissement.

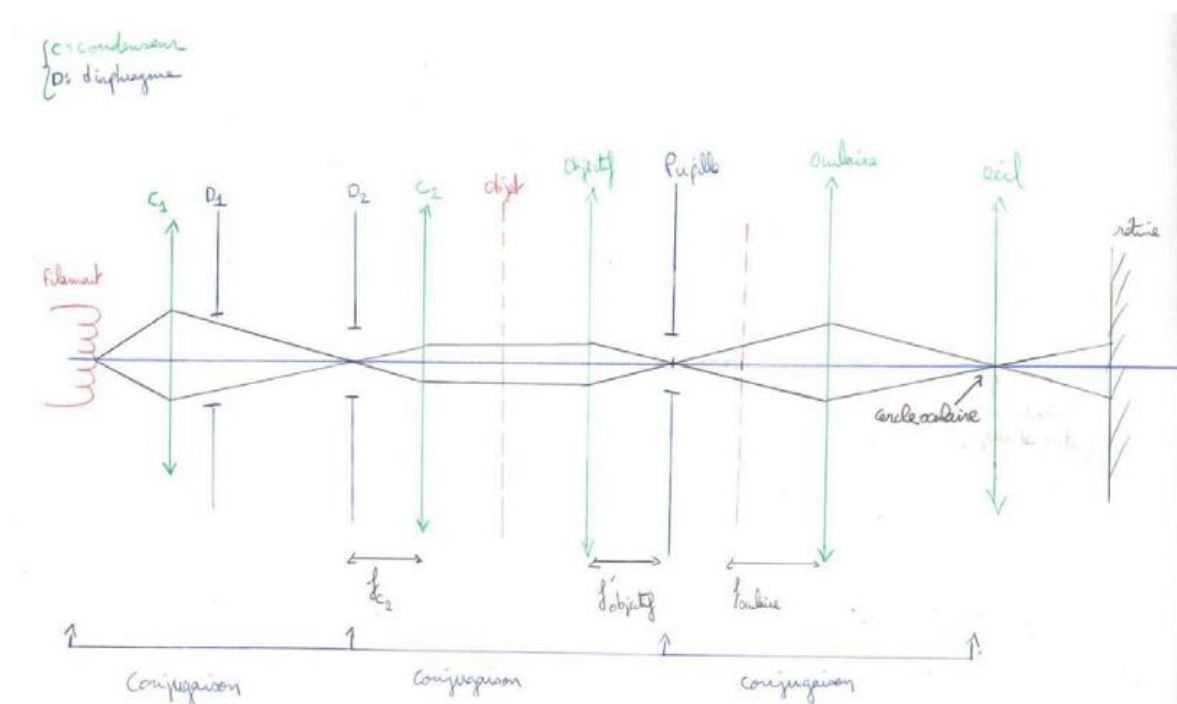
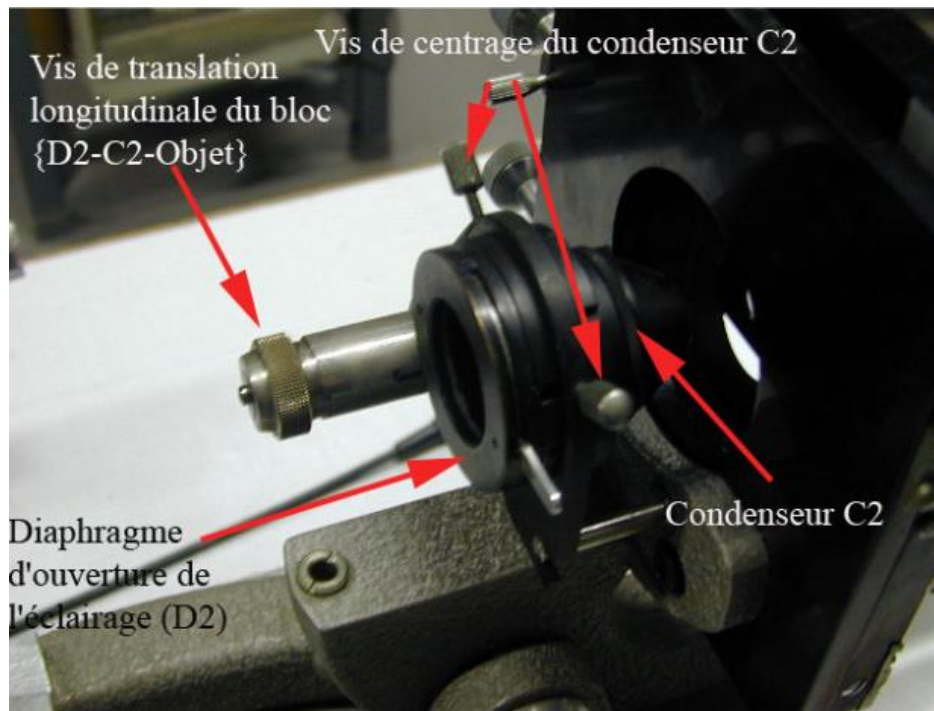
Verre de champ : placer l'œil au cercle oculaire et une lentille de focale assez grande entre L2 et L3 → la taille de l'image augmente

II Le microscope

Éclairage de Köhler :

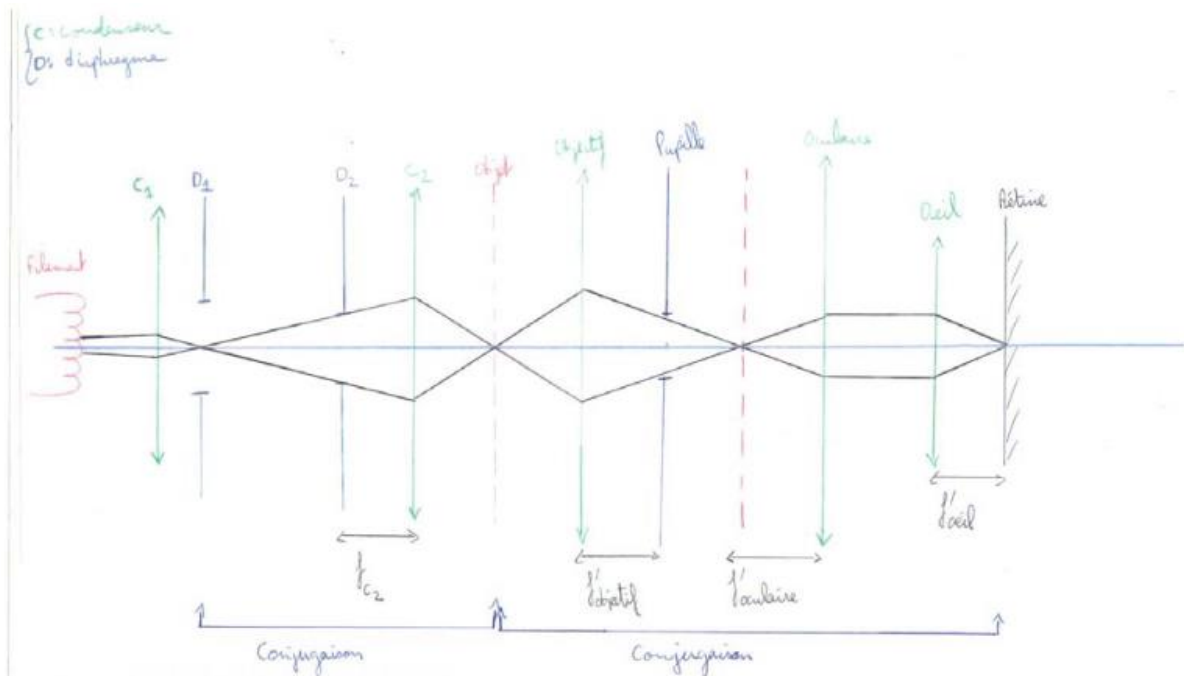
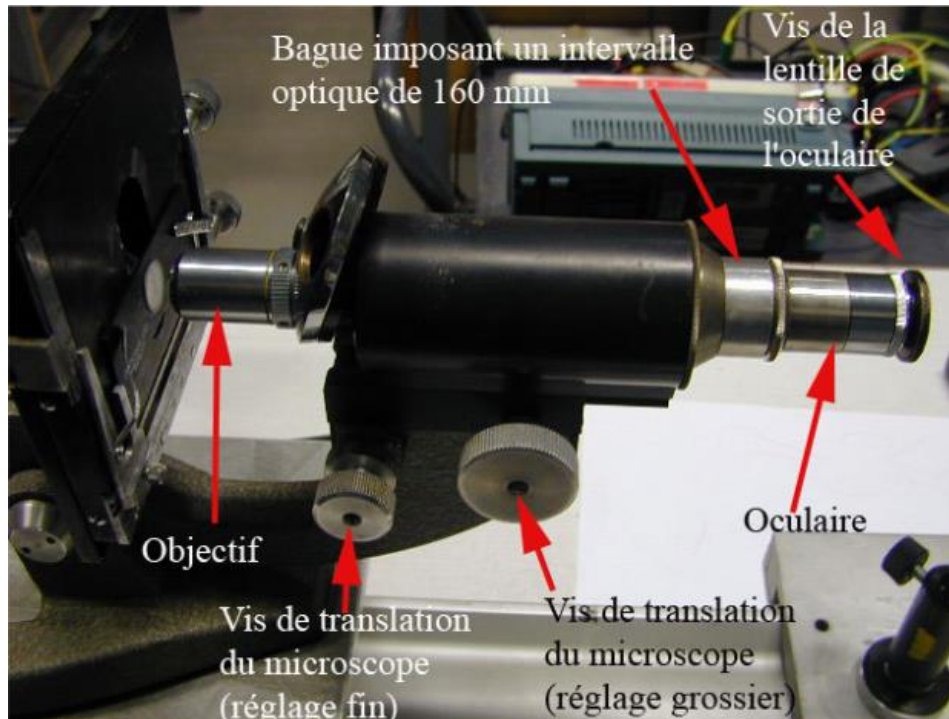
Réglage de la source : conjugaison filament – diaphragme d'ouverture :

Faire l'image du filament sur le diaphragme D2 (fermer D2). Centrer l'image du filament en ajustant la hauteur et l'orientation latérale de la lampe. Comme D2 est dans le plan focal objet de C2, et que la pupille est dans le plan focal image de l'objectif, D2 et la pupille sont conjugués. Le conjugué de la pupille à travers la suite du montage est le cercle oculaire. Le cercle oculaire est donc conjugué avec le filament. Et on voit que chaque point de la source éclaire uniformément la rétine de l'œil.



Alignement et conjugaison D1 – objet :

Placer une lentille de focale 500 mm derrière l'oculaire et un écran (à 500 mm de la lentille). Placer une mire objet dans les étriers et faire la mise au point (à l'aide des 2 vis de translation, réglage grossier. réglage fin), ne pas confondre la mire objet et le réticule de l'oculaire.



Ouverture du diaphragme de champ D1 :

Le but de cette opération est de limiter le faisceau d'éclairage uniquement à la zone de la préparation couverte par l'objectif afin d'éliminer toute la lumière parasite préjudiciable à la qualité de l'image. Fermer D1 et ouvrir D2. Ouvrir D1 progressivement jusqu'à ce qu'il ne limite plus le champ. Il est possible que l'éclairage ne soit pas encore tout à fait uniforme sur les bords, on peut corriger cela

ajustant encore les vis de centrage de C2, et si cela ne suffit pas, on peut jouer légèrement sur le premier réglage (en déplaçant le filament de quelques millimètres).

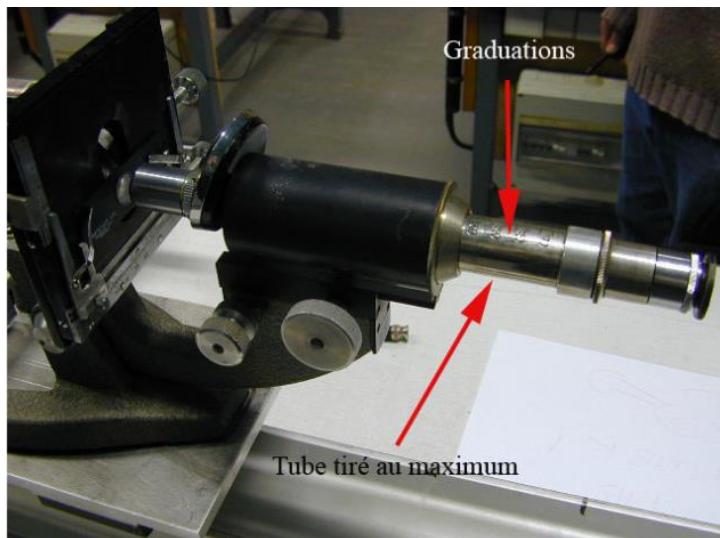
A l'écran on voit la mire et le réticule : facteur 10 (environ) entre les deux.

Régler l'oculaire à l'infini : retirer l'oculaire du microscope, dévisser la bague de la lentille de sortie au maximum (pas trop quand même), viser une surface éclairée éloignée, le réticule qui se trouve alors en avant du plan focal objet de l'oculaire apparaîtra flou. Revisser alors la lentille de sortie jusqu'à ce que la mire devienne nette. A ce moment-là, l'oculaire est réglé. Si on continue à visser, la mire sera toujours nette car l'œil accommode, mais l'oculaire ne sera pas réglé à l'infini.

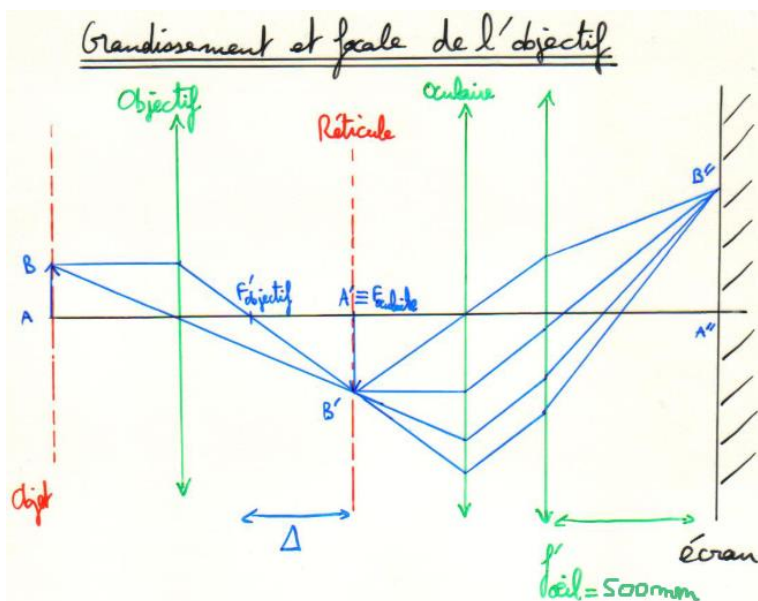
On mesure le grandissement : $\gamma = \frac{A'B'}{AB} (\gamma_{\text{objectif}})$

Pour un intervalle optique $\Delta = 160$ mm, le grandissement vaut 10.

Il est possible de faire varier l'intervalle optique de 160 à 200 mm. En effet, l'oculaire est monté dans un tube gradué de 160 à 200 mm, susceptible de coulisser dans le microscope. On fait la mesure du grandissement pour $\Delta = 160$ mm et $\Delta = 200$ mm.



Une graduation correspond à 0,1 mm en réalité.



Pour $\Delta = 160$ mm, on ne trouve pas exactement un grandissement de 10, il doit y avoir une erreur sur l'étalonnage du tube, l'intervalle optique est probablement moindre.

A l'aide des deux mesures précédentes, il est possible d'évaluer la focale de l'objectif.

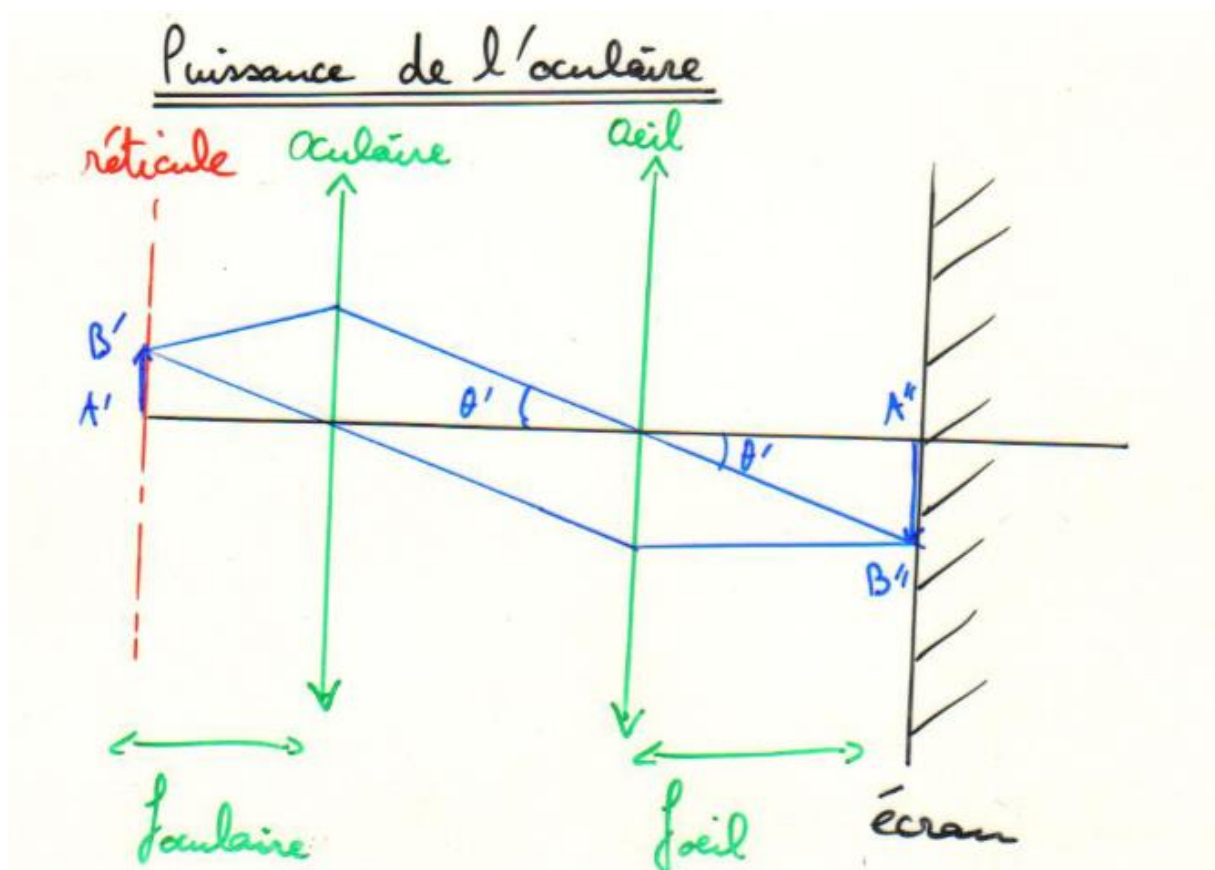
$L = \Delta_2 - \Delta_1 = 40 \pm 2$ mm (il y a un peu de jeu dans le tube)

$$\gamma_1 = \frac{\Delta_1}{f'_{\text{objectif}}}, \gamma_2 = \frac{\Delta_2}{f'_{\text{objectif}}} \text{ donc } f'_{\text{objectif}} = \frac{L}{\gamma_2 - \gamma_1}$$

On doit trouver $f'_{\text{objectif}} = 16$ mm.

On peut maintenant calculer la puissance de l'oculaire : $P_{\text{oculaire}} = \frac{\theta'}{\overline{A'B'}} = \frac{\overline{A''B''}}{f'_{\text{œil}} \overline{A'B'}} = \frac{1}{f'_{\text{oculaire}}}$

La puissance de l'oculaire est le rapport de l'angle sous lequel est vu le réticule à travers l'oculaire, divisé par la taille du réticule.



On mesure 14,8 cm pour 80 graduations soit 8 mm, donc $P_{\text{oculaire}} = 37 \delta$ (on s'attend à 40 δ)

On en déduit f'_{oculaire} , qui vaut normalement 25 mm.

Les fabricants d'instruments d'optique ont également défini ce que l'on appelle le grossissement commercial pour répondre à la question des clients : « Ca grossit de combien votre truc ? »

$$G_c = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\overline{A''B''} \cdot 0,25}{f'_{\text{œil}} \overline{A'B'}}, \text{ le } 0,25 \text{ correspond au punctum proximum pour un œil emmétrpe (25 cm)}$$

On doit trouver $G_c = 10$

On peut ainsi déterminer la puissance optique du microscope : $P = \frac{\theta'}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A''B''}}{f'_{\text{œil}} \overline{AB}}$

$\overline{AB} = 0,1 \text{ mm}$ pour 1 graduation

On remarque que $P = \gamma P_{\text{oculaire}}$

Remarque : on peut également déterminer G_c grâce à la relation : $G_c = G_{c,\text{oculaire}} \gamma$

Conclusion

Bien que les instruments d'optiques permettent de grossir des images, ils possèdent une limite fondamentale due à la diffraction. Cette limite nous empêche de grossir un objet autant que l'on veut. La limite de résolution dépend de deux paramètres: la longueur d'onde et l'ouverture numérique.

Questions

- Dans le cas de la lunette, est-on dans les approximations de Gauss ?
 - ➔ Non. Pour l'objectif, si l'objet est assez proche, oui, mais l'oculaire est éclairé sur toute sa surface (d'autant plus vrai que les focales, donc les distances entre lentilles, sont grandes)
- Comment gérer la lampe ? Quelle est la position intéressante du condenseur pour travailler ?
 - ➔ Déplacer le filament permet de gérer la position de son image, on peut la faire sur la première lentille pour travailler dans les conditions de Gauss.
- Intérêt et choix du verre de champ ?
 - ➔ Augmenter le champ (plus de carreaux visibles sur l'image), permet de récupérer des rayons marginaux (donc de se rapprocher des conditions de Gauss). Il doit conjuguer objectif et oculaire.
- Qu'est-ce qu'une pupille, une lucarne, un cercle oculaire ?
 - ➔ La pupille est la surface, limitée par le diaphragme d'ouverture, par laquelle un faisceau lumineux peut traverser le système optique. La lucarne est le conjugué du diaphragme de champ. Le cercle oculaire correspond à la section la plus étroite du faisceau sortant de l'oculaire, où l'œil reçoit le maximum de lumière