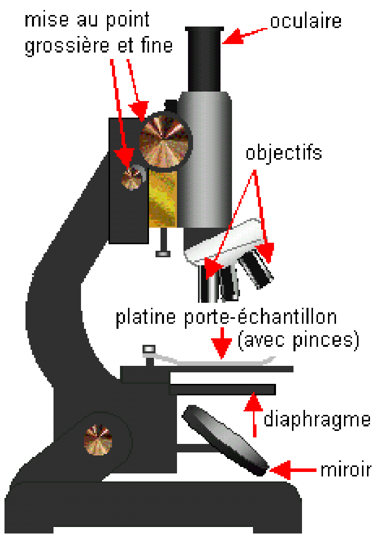
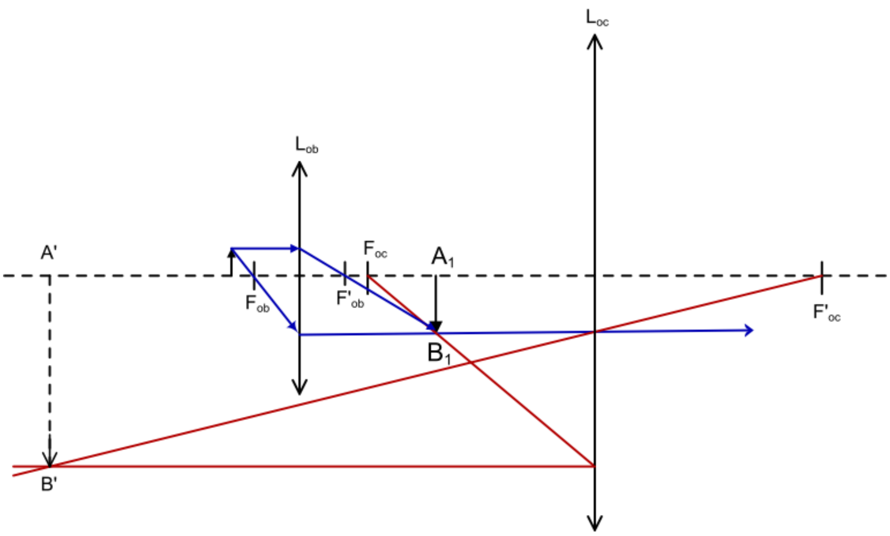
Étude du microscope
23 septembre 2016

I Introduction

Un microscope est un appareil optique permettant d'observer de très petits objets ou certains de ses détails.



On peut de manière simplifiée représenter le fonctionnement d'un microscope par le schéma suivant :



En réalité l'objectif est un système complexe que l'on assimilera à un système centré convergent. L'oculaire est en général composé de deux lentilles minces convergentes.
La distance focale image de l'objectif f'_{obj} est beaucoup plus courte que la distance focale image f'_{oc} de l'oculaire.

Les microscopes sont caractérisés par leur longueur optique ou intervalle optique $\Delta = \overline{F'_{obj}F_{oc}}$.
Si l'oeil est emmétrope l'image intermédiaire doit se former au foyer objet de l'oculaire pour obtenir une image finale à l'infini et permettre une observation sans accomodation. L'image finale est inversée et virtuelle.

II Etude du microscope

En utilisant les formules d'association des systèmes centrés.

1 Distance focale image

$$f'_{mic} = -\frac{f'_{obj}f'_{oc}}{\Delta} \tag{1}$$

avec $\Delta = \overline{F'_{obj}F_{oc}}$.
$f'_{obj} > 0$
Si l'oculaire est positif, $f'_{oc} > 0$, la distance f'_{mic} est donc négative et donc le microscope est un système divergent.

2 Vergence

$$D_{mic} = D_{obj} + D_{oc} - eD_{obj}D_{oc} \tag{2}$$

Où $e = \overline{H'_{obj}H_{oc}}$ l'interstice de l'association objectif oculaire.

3 Grandissement et puissance

Si l'image se forme à l'infini c'est que l'objet est placé au foyer objet du microscope. On peut alors définir la puissance intrinsèque du microscope
$P_i = \dfrac{\alpha'}{AB} = \dfrac{\alpha'}{A_1B_1} \times \dfrac{A_1B_1}{AB}$

$$P_i = P_{i_{oc}} \times \left|\gamma_{t_{obj}}\right| \tag{3}$$

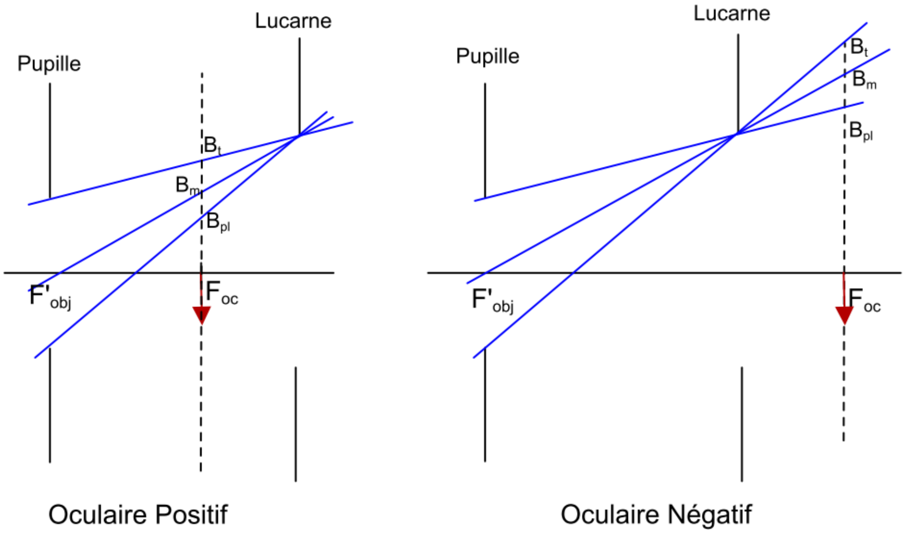
On obtient ainsi de la même façon le grossissement commercial du microscope

$$G_c = \frac{P_i}{4} = \frac{P_{i_{oc}}}{4} \times \left|\gamma_{t_{obj}}\right| = G_{c_{oc}} \times \left|\gamma_{t_{obj}}\right| \tag{4}$$

On pourra utiliser pour le grandissement transversal de l'objectif les formules classiques : $\gamma_{t_{obj}} = \dfrac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = -\dfrac{\overline{F'_{obj}A_1}}{f'_{obj}}$ par exemple

4 Etude des champs

On se place le plus souvent entre l'objectif et l'oculaire pour étudier les champs. Le diaphragme d'ouverture D_O se trouve en général en F'_{obj}. C'est donc la pupille P dans cet espace intermédiaire. Le diaphragme de champ (la lucarne) est un des verres de l'oculaire (en géneral le premier)



5 Ouverture numérique de l'objectif

Un système est aplanétique s'il satisfait à la relation d'Abbé

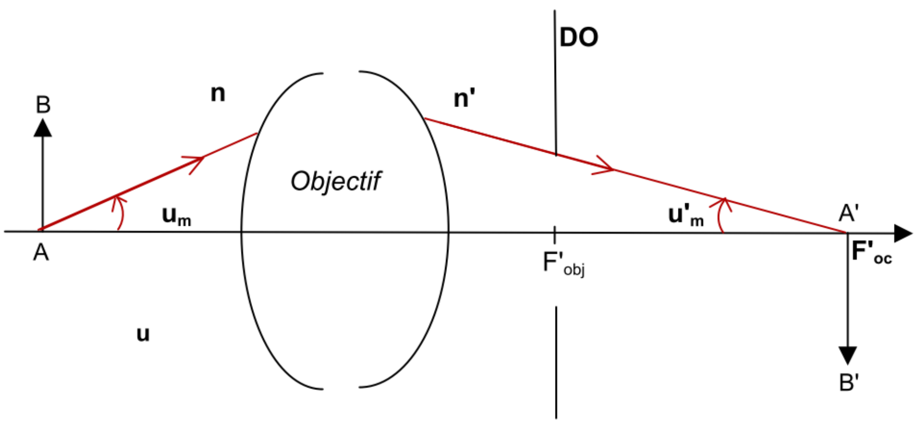


FIGURE 1 – Relation d'Abbé

$$n\overline{AB}\sin(u) = n'\overline{A'B'}\sin(u') \quad (5)$$

Le Diaphragme DO est dans l'espace intermédiaire est en F'_{obj}. La pupille d'entrée est donc à l'infini. $P_e \xrightarrow{objectif} DO$

L'angle limite u_m qui correspond au rayon passant par A et le bord de la pupille permet de définir l'ouverture numérique ON

$$ON = n \sin u_m; \tag{6}$$

$A'_1B'_1$ est en F'_{obj} et $n' = 1$.
la relation 5 s'écrit alors :
$n\overline{AB} \sin u_m = \overline{A_1B_1} \sin u'_m$
$\sin u'_m = \dfrac{ON}{|\gamma_{t_{obj}}|}$
$\Delta = \overline{F'_{obj}F_{oc}}$. Et $\tan u'_m = \dfrac{\Phi_{DO}/2}{\Delta}$.
Dans l'approximation de Gauss $\tan u'_m \sim \sin u'_m \sim u'_m$.
Le diamètre de D_O est donc :

$$\Phi_{DO} = \frac{2ON \cdot \Delta}{|\gamma_{t_{obj}}|} \tag{7}$$

Le cercle oculaire est le conjugué de DO à travers l'oculaire . Soit C_O la position de ce cercle oculaire, on a $DO \xrightarrow{oculaire} C_O$
.
Si on applique la relation de Newton à DO et C_O :
$\overline{F_{oc}DO} \cdot \overline{F'_{oc}C_O} = -f'^2_{oc}$
On obtient le diamètre de l'oculaire Φ_{C_0} par la relation $\Phi_{C_0} = \Phi_{DO} \times |\gamma_{t_{oc}}|$.
Avec $\gamma_{t_{oc}} = \dfrac{-f_{oc}}{\overline{F_{oc}DO}} = \dfrac{-f_{oc}}{\overline{F_{oc}F'_{obj}}}$ soit $|\gamma_{t_{oc}}| = \dfrac{f'_{oc}}{\Delta}$.
En se rappelant que la puissance intrinsèque de l'oculaire $P_{i_{oc}} = \dfrac{1}{f'_{oc}} = 4G_{c_{oc}}$.
On obtient finalement une expression pour Φ_{C_O}

$$\Phi_{C_O} = \frac{ON}{2|\gamma_{t_{obj}}|G_{c_{oc}}} \tag{8}$$

6 Latitude de mise au point

On note R le remotum et P le proximum de l'observateur. On note A_R et A_P leur conjugué dans l'espace objet.
$A_R \xrightarrow{microscope} R$
$A_P \xrightarrow{microscope} P$

6.1 Rappel Accommodation

On rappelle que l'accommodation quand un observateur regarde un point M est $\mathcal{A} = \dfrac{1}{\overline{H_{oeil}R}} - \dfrac{1}{\overline{H_{oeil}M}}$
L'amplitude de l'accommodation maximale est $\Lambda = \dfrac{1}{\overline{H_{oeil}R}} - \dfrac{1}{\overline{H_{oeil}P}}$

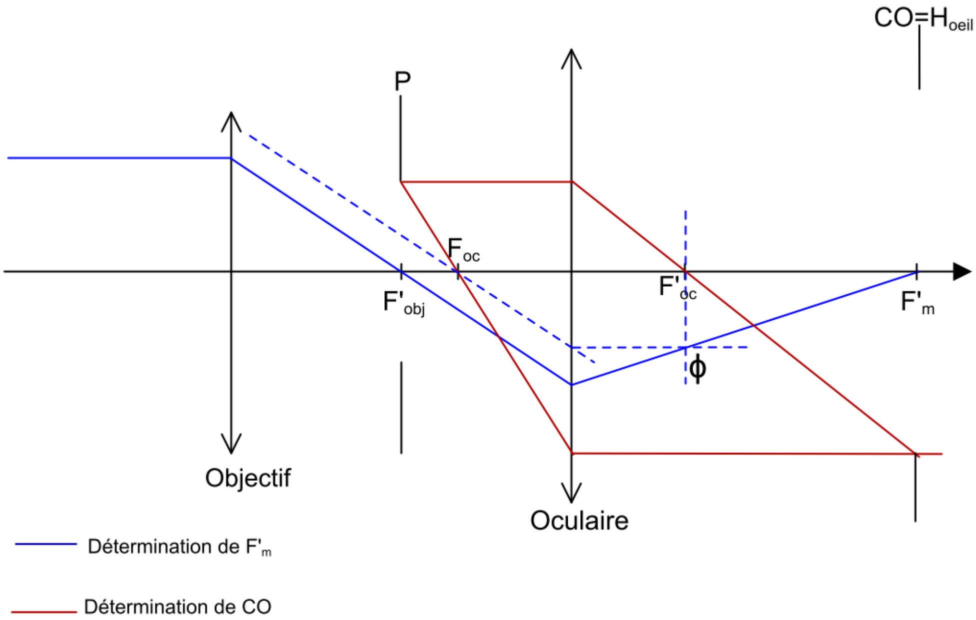
6.2 latitude de mise au point

La latitude de mise au point est la distance entre A_R et A_P.
Pour ces deux points on peut écrire la relation de Newton.
$\overline{F_m A_R} \cdot \overline{F'_m R} = -f'^2_m$
$\overline{F_m A_P} \cdot \overline{F'_m P} = -f'^2_m$
où f'_m est la distance focale du microscope.

$$\overline{A_R A_P} = \overline{A_R F_m} + \overline{F_m A_P} = \frac{f'^2_m}{\overline{F'_m R}} - \frac{f'^2_m}{\overline{F'_m P}} \tag{9}$$

6.3 cas particulier

Dans l'hypothèse où la pupille P à la sortie de l'objectif est sur F'_{obj} voir 4. Le cercle oculaire (conjugué de P à travers l'oculaire) se forme en F'_m.



Si l'observateur place son oeil au niveau du cercle oculaire on a dans ce cas $H_{oeil} = F'_m$.
On obtient alors :

$$\overline{A_R A_P} = f'^2_m \left(\frac{1}{\overline{H_{oeil} R}} - \frac{1}{\overline{H_{oeil} P}} \right) = f'^2_m \Lambda. \tag{10}$$

En remplaçant f'_m par $\frac{1}{P_{i_m}} = \frac{1}{4G_c}$ où G_c est le grossissement commercial du microscope. On obtient finalement pour l'amplitude d'accommodation

$$\overline{A_R A_P} = \frac{\Lambda}{16 G_c^2} \tag{11}$$