

- sa **puissance** $P = \frac{\theta'}{AB}$, où AB est la taille de l'objet et θ' l'angle (positif) sous lequel l'œil placé au niveau du cercle oculaire voit l'image finale $A'B'$ (figure 7.11).

P est une grandeur positive¹⁷ homogène à l'inverse d'une longueur. Si AB est mesurée en mètres, P est mesurée en dioptries (δ) ou m^{-1} ;

- son **grossissement** $G = \frac{\theta'}{\theta}$. θ est l'angle (positif) sous lequel l'objet AB est vu à l'œil nu à une distance d (figure 7.12). θ' possède la même signification que précédemment. G est une grandeur positive sans dimension.

L'image finale $A'B'$ étant vue sous un angle θ' plus grand que θ , sa taille sur la rétine sera plus grande (figure 7.12). **Le grossissement G mesure le rapport des tailles des images rétinianes lorsque l'objet est vu respectivement à travers un instrument d'optique et à l'œil nu**¹⁸.

Dans la limite des petits angles, $\theta \approx \tan \theta = \frac{AB}{d}$ d'où $G = \frac{\theta'}{AB} d = Pd$ et donc $[G = Pd]$.

Dans la pratique, on utilise les notions de puissance intrinsèque P_i et de grossissement commercial G_c . La puissance intrinsèque P_i correspond à une des deux situations suivantes :

- image $A'B'$ rejetée à l'infini ;
- œil placé au foyer image de l'instrument.

Dans les deux cas, on montre que¹⁹ $P_i = \frac{1}{|f'|}$.

Lors d'une utilisation normale du microscope, l'œil est placé au niveau du cercle oculaire, dont le centre est pratiquement confondu avec le foyer principal image F' . L'angle θ' et la puissance P sont alors indépendants de la position de l'objet AB sur l'axe (cf. annexe). La puissance P est égale à la puissance intrinsèque P_i .

Le grossissement commercial G_c est défini pour les mêmes conditions d'utilisation, la distance d'observation à l'œil nu d étant de plus normalisée. Elle

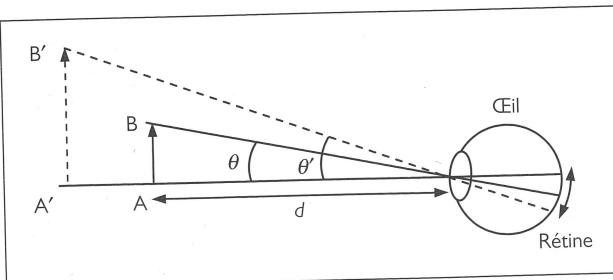


Figure 7.12 Grossissement à travers une loupe ou un microscope.

¹⁷ P et G sont définies positives mais l'image finale est bien renversée.

¹⁸ Cette définition reste valable pour d'autres instruments comme la loupe.

¹⁹ Le calcul de la puissance d'un système centré dans le cas général puis intrinsèque est détaillé en annexe.

correspond à la distance au *punctum proximum* d'un œil normal, soit²⁰ $d_m = 25 \text{ cm} = \frac{1}{4} \text{ m}$.

Puissance intrinsèque P_i et grossissement commercial G_c sont alors reliés par la relation :
$$G_c = \frac{P_i}{4\delta}.$$

On peut exprimer P_i et G_c en fonction des caractéristiques de l'objectif et de l'oculaire.

Dans le triangle rectangle ($O_2A_1B_1$), figure 7.11, on a : $\theta' \approx \tan \theta' = \frac{A_1B_1}{f'_oc}$ d'où $P_{oc} = \frac{\theta'}{A_1B_1} = \frac{1}{f'_oc}$

$$P_i = \frac{\theta'}{AB} = \frac{\theta'}{A_1B_1} \frac{A_1B_1}{AB} = P_{oc} |\gamma_{ob}| = \frac{|\gamma_{ob}|}{f'_oc}$$

Par ailleurs, $\gamma_{ob} = -\frac{F'_ob A_1}{f'_ob} = -\frac{F'_ob F_{oc}}{f'_ob} = -\frac{\Delta}{f'_ob}$, où $\Delta = \frac{F'_ob F_{oc}}{f'_ob}$ est appelé **intervalle optique**.

D'où finalement :

$$P_i = |\gamma_{ob}| P_{oc} = \frac{\Delta}{f'_ob f'_oc} \quad \text{et} \quad G_c = |\gamma_{ob}| G_{oc,c} = \frac{\Delta}{(4\delta) f'_ob f'_oc}$$

Le grossissement commercial du microscope est égal au produit du grossissement de l'objectif par le grossissement commercial de l'oculaire. La puissance et le grossissement du microscope sont d'autant plus importants que les distances focales de l'objectif et de l'oculaire sont petites, et que l'intervalle optique Δ est grand.

Enfin, le microscope fournit une image renversée de l'objet et possède une distance focale $f' = H'F'$ négative : $P_i = \frac{1}{|f'|} = -\frac{1}{f'} \text{ donc } f' = -\frac{f'_ob f'_oc}{\Delta}$.

Applications numériques

On prend $\Delta = 160 \text{ mm}$ (valeur standard), $f'_ob = 40 \text{ mm}$ et $f'_oc = 25 \text{ mm}$.

$$|\gamma_{ob}| = \frac{160}{40} = 4 \text{ (objectif } \times 4)$$

$$G_{oc,c} = \frac{250}{25} = 10 \text{ (oculaire } \times 10)$$

$$G_c = |\gamma_{ob}| \times G_{oc,c} = 4 \times 10 = 40$$

$$P_i = \frac{\Delta}{f'_ob f'_oc} = \frac{160}{40 \times 25 \cdot 10^{-3}} = 160 \delta$$

$$f' = -\frac{1}{P_i} = -\frac{1}{(4\delta) G_c} = -6,25 \cdot 10^{-3} \text{ m} = -6,25 \text{ mm.}$$

En règle générale, la puissance d'un microscope optique varie de quelques centaines à quelques milliers de dioptries, mais ne dépasse jamais 5000δ . En effet, le pouvoir de résolution du microscope est limité par la diffraction, ce qui rend inutile l'utilisation de puissances ou grossissements supérieurs.

²⁰ Dans les pays anglo-saxons, on prend $d_m = 254 \text{ mm (10 inches)}$, de sorte qu'un oculaire $\times 10$ possède une distance focale $f'_oc = \frac{1}{P_{oc,i}} = \frac{d_m}{G_{oc,c}} = \frac{254}{10} = 25,4 \text{ mm (1 inch)}$.

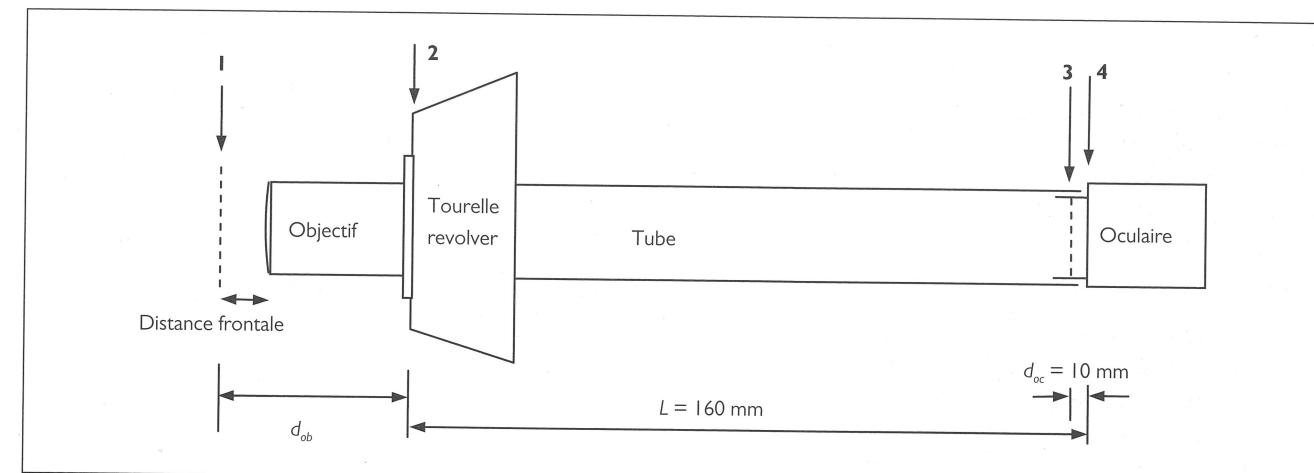


Figure 7.13 Normes et standardisation d'un microscope.

- 1 : Plan de l'objet 2 : Plan d'appui de l'objectif 3 : Plan de l'image intermédiaire = plan focal objet de l'oculaire
4 : Plan d'appui de l'oculaire

7.2.4. Normes et standardisation²¹

L'image intermédiaire A_1B_1 donnée par l'objectif devant se trouver impérativement au voisinage du plan focal objet de l'oculaire, l'ensemble objectif/oculaire est maintenu solidaire par le biais d'un tube. Lors de la mise au point, l'ensemble objectif/tube/oculaire se déplace en bloc vis-à-vis de l'objet. Afin de permettre un échange standard des objectifs et des oculaires de différentes marques, une normalisation des différents paramètres géométriques du microscope a été adoptée (figure 7.13) :

- la longueur mécanique L du tube, mesurée entre les plans d'appui 2 et 4 de l'objectif et de l'oculaire est fixée à **160 mm** ;
- la distance d_{oc} entre le plan focal objet et le plan d'appui de l'oculaire est fixée à 10 mm ;
- la **distance parafocale** d_{ob} entre le plan de l'objet et le plan d'appui de l'objectif est égale à 45 mm lorsque la mise au point est effectuée par un œil emmétrope au repos (image finale rejetée à l'infini). Par contre, l'intervalle optique $\Delta = F'_ob F_{oc}$ et la distance focale image f'_ob de l'objectif ne sont pas normalisés²².

7.2.5. Profondeur de champ

La profondeur de champ ou **latitude de mise au point** est la plage de distance objet/objectif pour laquelle l'œil, placé au niveau du cercle oculaire, obtiendra une image nette de l'objet. Elle est déterminée par deux positions extrêmes de AB qui correspondent respectivement :

²¹ Cf. G. ROBLIN, *Microscopie optique*, dossier n° 44 de l'Adasta, juin 1995, p. 12, et SEXTANT, *Optique expérimentale*, coll. Enseignement des sciences, Éd. Hermann, 1997, p. 50.

²² Dans SEXTANT, *Optique expérimentale*, coll. Enseignement des sciences, Éd. Hermann, 1997, p. 50, on trouve une formule approchée de $\gamma_{ob} = \frac{\Delta}{f'_ob}$ qui conduit à l'expression approchée : $\Delta \approx 150 + d_{ob} - 2f'_ob$ en mm.

- à une image finale $A'B'$ située au *punctum remotum* de l'œil, c'est-à-dire rejetée à l'infini pour un œil emmétrope. Dans ce cas, l'image intermédiaire A_1B_1 est située dans le plan focal objet de l'oculaire ;
- à une image finale $A'B'$ située au *punctum proximum* de l'œil, c'est-à-dire à $d_m = 25 \text{ cm}$ (à gauche) de l'œil pour un œil emmétrope. L'image intermédiaire A_1B_1 est située cette fois entre le plan focal objet de l'oculaire et l'oculaire lui-même.

En appliquant les formules de Newton au microscope global, on montre que la latitude de mise au point ℓ est inversement proportionnelle au carré de la puissance intrinsèque²³. Elle varie **d'une fraction de millimètre pour des grossissements faibles** ($\ell = 0,16 \text{ mm}$ pour $P_i = 160 \delta$) **à quelques microns seulement pour des grossissements élevés** ($\ell = 1,6 \mu\text{m}$ pour $P_i = 1600 \delta$).

7.2.6. Exemples d'observation

La figure 7.14 représente un microscope standard utilisé en biologie. La stabilité des différents éléments constitutifs est assurée par une monture appelée **statif**. 1. La lamelle porte-échantillon 2 est calée sur la platine porte-objet 3 à l'aide d'un clip, et éclairée par en dessous par un système source 4 (dans le pied du statif) + condenseur 9 (situé sous la platine). À l'aide de deux vis de réglage 5, on commence par positionner l'échantillon à l'aplomb de la lentille du condenseur. Afin de pouvoir bénéficier de plusieurs grossissements, l'objectif

²³ Cf. A. MOUSSA, P. PONSONNET, *Cours de Physique – Optique*, Éd. Desvigne, 1963, p. 266 et 309, ou

B. BALLAND, *Optique géométrique – Imagerie et instruments*, coll. Enseignement des Sciences appliquées de l'INSA de Lyon, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2007, p. 574-575. On trouve $\ell = A_R A_p = \frac{n D_{ac}}{P^2}$, où n est l'indice du milieu objet et D_{ac} la puissance dioptrique de l'œil. Pour un objectif à sec et un œil normal : $n = 1$ et $D_{ac} = 4 \delta$.