

Chapitre 6 : Optique instrumentale

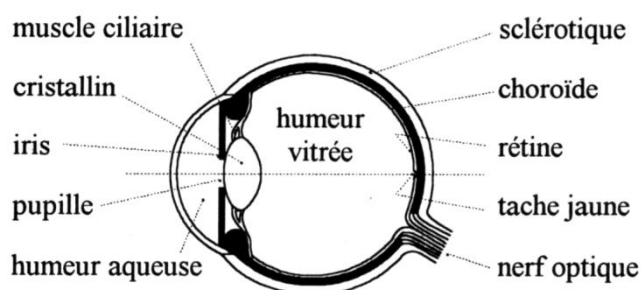
Ce chapitre sera consacré à l'étude de certains instruments d'optique, parmi lesquels l'œil humain, la loupe, le microscope et la lunette astronomique.

I. L'œil

I.1. Définition

L'œil peut être assimilé au système optique suivant :

- Une lentille convergente de centre optique O dont l'élément essentiel est le cristallin.
- Un écran sensible : la rétine située pour un œil normal dans le plan focal image de la lentille et à 15mm de son centre optique.
- Un diaphragme (iris) dont le diamètre s'adapte pour ne laisser passer ni trop peu ni trop de lumière (le diamètre change avec l'intensité de la lumière), le trou correspondant est la pupille.

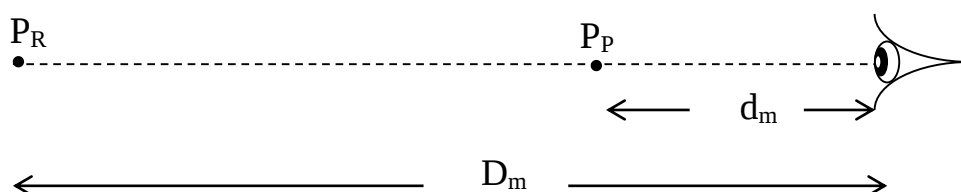


I.2. Punctum remotum, punctum proximum et acuité visuelle

Un objet est vu nettement par l'œil normal quand son image se fait exactement sur la rétine. Le point nettement visible le plus éloigné, qui correspond à une accommodation nulle est le punctum remotum noté P_R .

L'accommodation est la faculté que possède l'être humain de faire varier la distance focale de la lentille, de manière à pouvoir voir les objets éloignés ou proches, ceci s'obtient par la déformation du cristallin.

Le point nettement visible le plus rapproché est le punctum proximum noté P_P . Les positions de P_R et P_P dépendent des individus et de l'âge.



L'œil normal atteint sa limite d'accommodation lorsque l'objet se trouve à la distance de 25cm du cristallin.

L'acuité visuelle ou pouvoir séparateur de l'œil est l'aptitude que possède celui-ci de séparer deux points objets proches. Soient deux points A et B vus depuis l'œil sous un angle ε . Les images de ces points se formeront en A' et B' sur la rétine. Le pouvoir séparateur de l'œil est :

$$\varepsilon = \frac{A'B'}{f} = \frac{5.10^{-6}}{15.10^{-3}} = 3.10^{-4} \text{ rad}$$

I.3. Les défauts de l'œil

a. Myopie

L'œil myope est trop convergent. Le foyer image se forme en avant de la rétine. La myopie se corrige en munissant l'œil d'un verre divergent.

b. La presbytie

C'est une fatigue des muscles d'accommodation ou un manque de souplesse du cristallin, cette anomalie apparaît avec l'âge. L'œil accomode mal, il ne peut voir les objets rapprochés. On corrige ce défaut en utilisant des verres convergents.

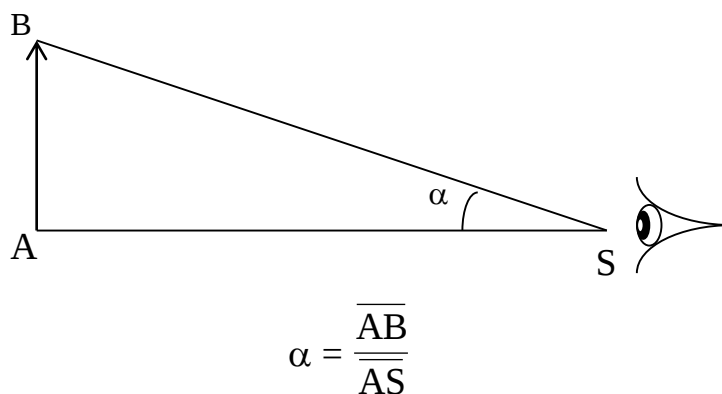
c. Hypermétropie

L'œil hypermétrope n'est pas assez convergent. Le foyer principal image se forme en arrière de la rétine. Cette anomalie se corrige en munissant l'œil d'un verre convergent.

II. Caractéristiques d'un instrument d'optique

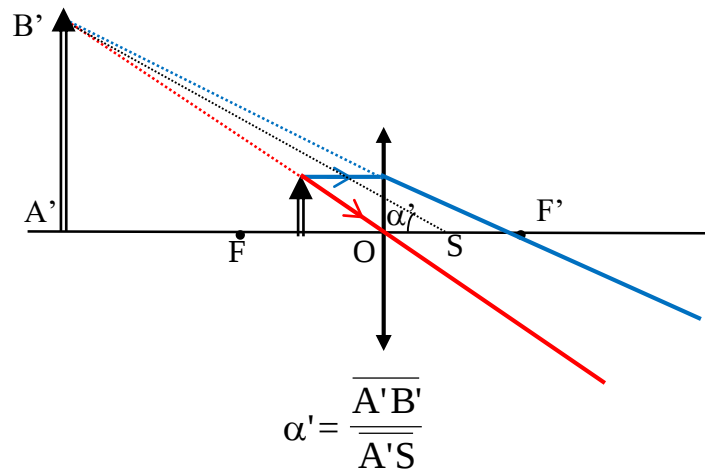
II.1. Diamètre apparent d'un objet AB observé directement

Le diamètre apparent d'un objet AB observé directement, pour un observateur dont l'œil est placé en un point S, est l'angle formé par deux rayons arrivant des deux points extrêmes A et B.



II.2 Diamètre apparent d'un objet AB observé à travers un instrument d'optique

Le diamètre apparent α' d'un objet AB observé à travers un instrument d'optique pour un observateur placé en S est l'angle formé par deux rayons arrivant des points extrêmes A' et B' de l'image sur l'œil de l'observateur.



II.3 Puissance d'un instrument d'optique

La puissance d'un instrument d'optique est définie par

$$P = \frac{\alpha'}{AB}$$

II.4. Grossissement d'un instrument d'optique

On définit le grossissement G d'un instrument d'optique par :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

On définit le grossissement commercial G_c comme étant le grossissement correspondant à

$$\overline{AS} = 25\text{cm}, G_c = \frac{P}{4}$$

II.5. Latitude de mise au point

L'image A'B' d'un objet AB peut être placée entre deux limites, le punctum remotum P_R défini par la distance D_m de l'image à l'œil et le punctum proximum P_P de l'œil défini par la distance d_m de l'image à l'œil. Il s'ensuit que l'objet AB peut être déplacé entre deux limites :

- Δ_m correspondant à l'image au punctum remotum

- δ_m correspondant à l'image au punctum proximum

La distance $L = \Delta_m - \delta_m$ représente la latitude de mise au point ou profondeur de champ, on pose alors :

$$\Delta_m = \overline{A_1S} \quad \text{et} \quad \delta_m = \overline{A_2S}$$

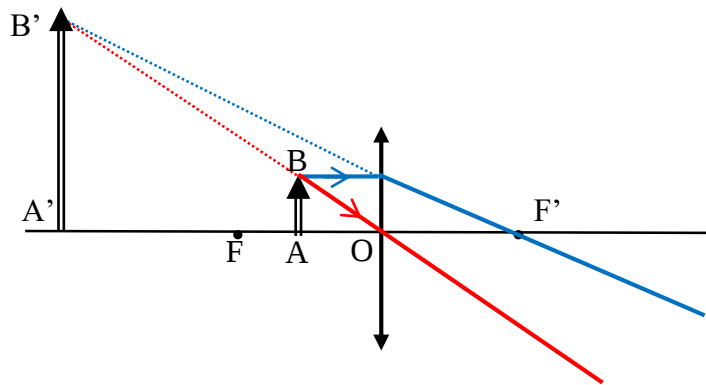
$$D_m = \overline{A'_1S} \quad \text{et} \quad d_m = \overline{A'_2S}$$

S étant la position de l'œil sur l'axe de l'instrument d'optique dont le centre optique est O et le foyer image F'.

$$L = \Delta_m - \delta_m = \overline{A_1S} - \overline{A_2S} = \overline{A_1A_2}$$

III. La loupe

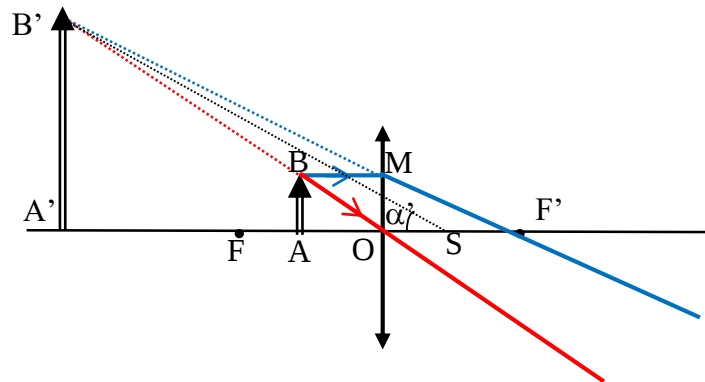
La loupe appartient à la série d'instruments destinés à examiner des objets proches. Son rôle consiste à augmenter le diamètre apparent de l'objet examiné par l'œil et accroître ainsi le pouvoir séparateur de l'œil. La loupe est représentée par une lentille convergente de petite distance focale. L'objet est placé entre la loupe et son foyer objet. La loupe en donne une image virtuelle éloignée et agrandie.



La mise au point s'effectue en amenant l'image virtuelle dans les limites de vision distincte.

III.1. Puissance de la loupe

Elle est définie par $P = \frac{\alpha'}{AB}$ avec $\alpha' = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'S}}$, S : position de l'œil



$$P = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \cdot \frac{1}{\overline{A'S}} \text{ avec } \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{OM}} = \frac{\overline{A'F'}}{\overline{OF'}}, \text{ ce qui donne :}$$

$$P = \frac{\overline{A'F'}}{\overline{OF'}} \frac{1}{\overline{A'S}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \left(\frac{\overline{A'S} + \overline{SF'}}{\overline{A'S}} \right)$$

$$\text{D'où : } P = \frac{1}{\overline{OF'}} \left(1 - \frac{\overline{F'S}}{\overline{A'S}} \right)$$

*Si l'œil est au foyer image F' , $P = \frac{1}{OF'} = \frac{1}{f'} = P_i$, elle est appelée puissance intrinsèque.

*Si l'image est à l'infini $P = \frac{1}{OF'} = \frac{1}{f'}$

III.2. Grossissement de la loupe

L'œil est supposé être au foyer image F' de la loupe, le grossissement G s'écrira :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{\alpha'}{AB} \cdot \frac{AB}{\alpha} = \frac{1}{OF'} \frac{AB}{\alpha} = P_i \cdot \frac{AB}{\alpha}$$

Si l'objet est placé au punctum proximum, c.à.d. à d_m , il résulte que $\alpha = \frac{AB}{d_m}$,

Le grossissement s'écrira alors : $G = \frac{1}{OF'} \frac{AB}{\alpha} = \frac{1}{OF'} d_m = \frac{1}{f'} d_m = P_i \cdot d_m$

Le grossissement commercial G_c est donné par : $G_c = P_i \cdot d_m$ avec $d_m = 25\text{cm}$, $G_c = \frac{P_i}{4}$

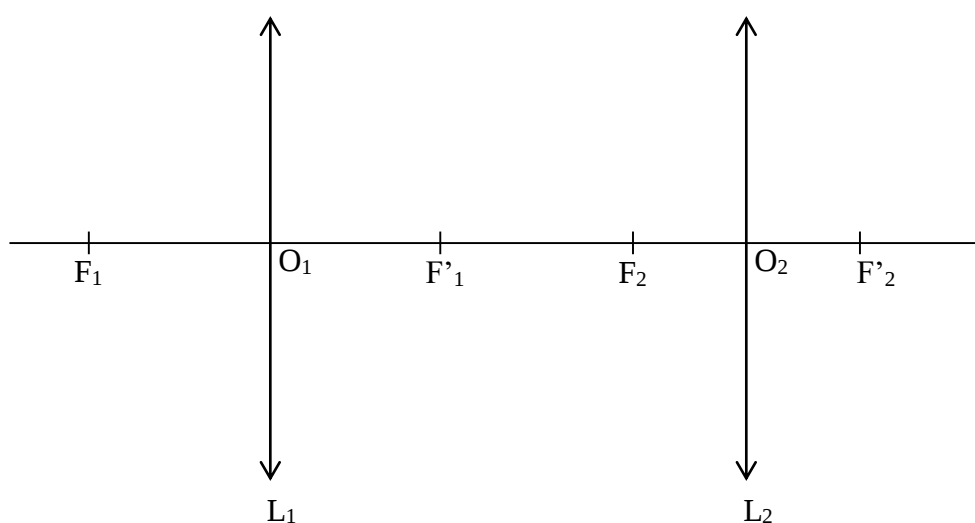
IV. Le microscope

IV.1. Définition

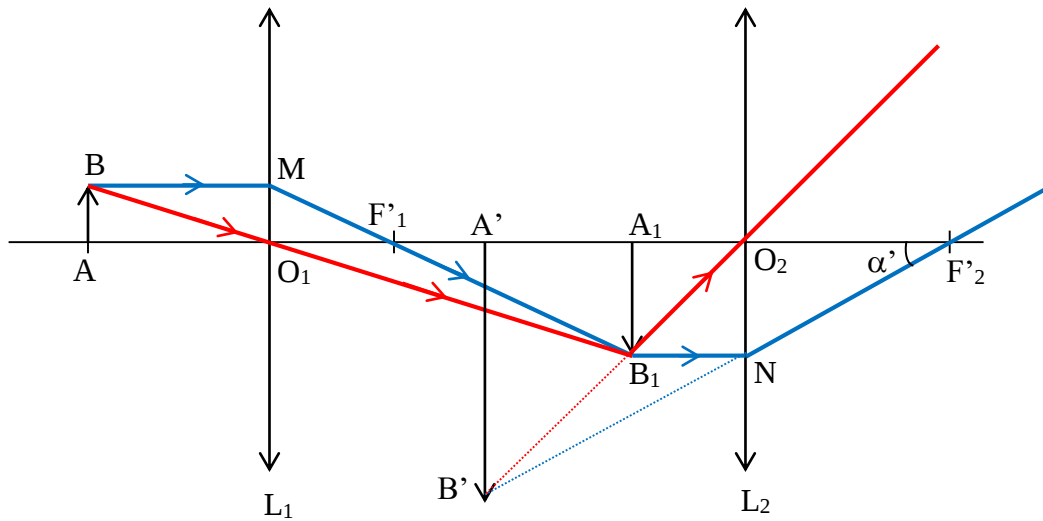
Le microscope est un système de plusieurs lentilles minces servant à examiner de près les objets très petits, il se compose de deux systèmes convergents :

- l'objectif, système très convergent constitué par un ensemble de lentilles.
- Un oculaire, formé par une ou plusieurs lentilles de quelques cm de distance focale

Dans notre cas, on va assimiler l'objectif et l'oculaire à des lentilles minces convergentes



IV.2. Construction des images



IV.3- Puissance du microscope

La puissance se définit par : $P = \frac{\alpha'}{AB} = \frac{\alpha'}{A_1B_1} \frac{\overline{A_1B_1}}{AB} = P_o \cdot \gamma$;

Où $P_o = \frac{\alpha'}{A_1B_1}$: Puissance de l'oculaire et $\gamma = \frac{\overline{A_1B_1}}{AB}$: Grandissement de l'objectif.

L'intervalle $\Delta = \overline{F'_1 F_2}$ est appelé intervalle optique du microscope.

IV.4. Grossissement du microscope

Le grossissement G est défini par $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$, on considérera α comme étant l'angle sous lequel on verrait l'objet AB à l'œil nu à la distance minimale de vision distincte, c'est-à-dire d_m .

$$\alpha = \frac{\overline{AB}}{d_m}$$

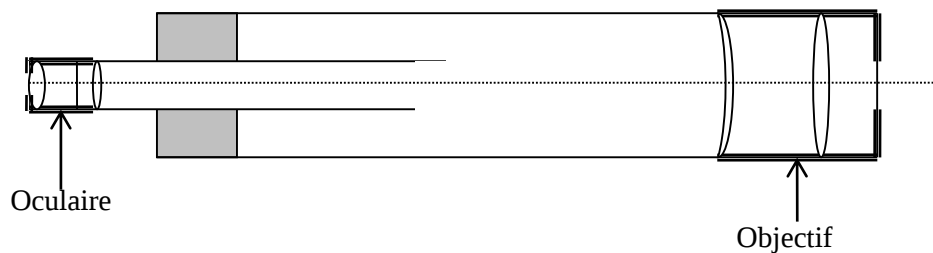
ce qui donne $G = \frac{\alpha' d_m}{AB} = P \cdot d_m$

V. Lunette astronomique

V.1. Description

Une lunette astronomique est un instrument d'optique destiné à observer les astres ou les objets éloignés. Elle est formée de deux systèmes convergents :

- un objectif de très grande distance focale ($f'_1 > 1 \text{ m}$) et de très grand diamètre ;
- un oculaire qui joue le rôle de loupe, dont la distance focale est de l'ordre du centimètre.



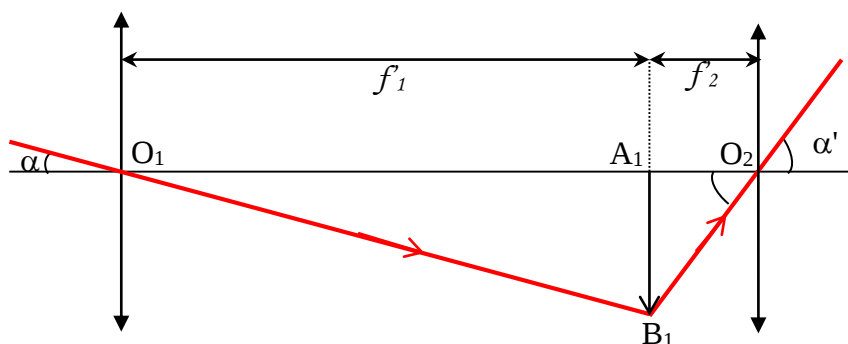
IV.2. Modélisation

Les deux systèmes convergents d'une lunette astronomique peuvent être modélisés par deux lentilles minces convergentes de même axe principal. Les objets observés sont, dans tous les cas, considérés comme étant à l'infini.

IV.3. Construction des images

L'objet AB est à l'infini, vu depuis le lieu d'observation sous l'angle α (diamètre apparent). Son image A_1B_1 se trouve dans le plan focal image de l'objectif. Le rayon issu de B qui passe par le centre suffit pour la construire. L'image définitive $A'B'$ est virtuelle. Dans le cas général elle se situe entre le **PR** et le **PP** de l'œil. Dans le cas d'une vision sans accommoder, l'image $A'B'$ est à l'infini et l'image intermédiaire dans le plan focal objet de l'oculaire. Le foyer image de l'objectif et le foyer objet de l'oculaire sont alors confondus. Dans ce cas la lunette est dite **afocale**.

IV.4. Grossissement d'une lunette afocale



$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f_1}{f_2}$$