

Chapitre VI : Généralités sur les instruments optiques

I. Définition

Un instrument d'optique est une association de plusieurs systèmes ayant pour intérêt l'amélioration de la vision des objets. On distingue deux catégories d'instruments d'optiques :

✚ Instrument subjectif (ou oculaire) ce sont des instruments associés à l'œil qui examine l'image virtuelle obtenue ; exemple de la Loupe – Microscope – Lunette astronomique etc....

✚ Instrument objectif (ou de projection) ce sont des instruments qui donnent une image réelle reçue sur un écran de projection ; exemple d'un Rétroprojecteur, un projecteur, un Appareil Photographique etc,

Un instrument d'optique a pour but soit de rapprocher les objets lointains, soit d'observer les objets très petits situés à des distances finies. La qualité de l'image obtenue à travers un instrument d'optique est fonction grandeurs caractéristiques de cet instrument, qui peuvent se résumer sur les points suivants :

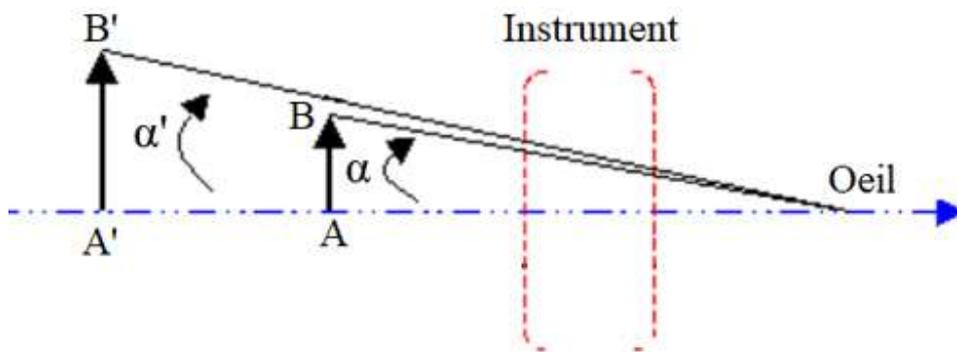
- Le grossissement
- La puissance
- Le pouvoir de résolution ou pouvoir séparateur
- Le champ de vision

1. Grandeurs caractéristiques des instruments d'optique

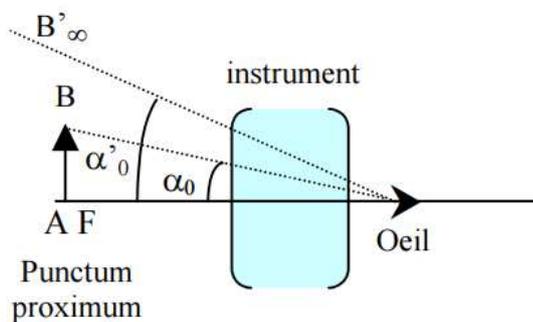
a. Grossissement

Le grossissement G d'un instrument d'optique est défini par le rapport du diamètre angulaire α' sous lequel est vue l'image $\overline{A'B'}$ d'un objet donnée par un instrument d'optique à celui α sous lequel l'objet \overline{AB} est vu à l'œil nu :

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



Le grossissement commercial est la valeur particulière G_0 de G pour laquelle α_0 est le diamètre angulaire d'un objet placé au punctum proximum de l'œil de l'observateur (voir définition donnée au paragraphe suivant) et α'_0 le diamètre angulaire de l'image donnée par un instrument dont le foyer objet F est également placé au punctum proximum. Cette image est donc à l'infini.



b. Puissance

La puissance P d'un instrument d'optique est définie par le rapport du diamètre apparent α' de l'image à la taille AB de l'objet :

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

La puissance s'exprime en dioptries, AB en mètres et α' en radians. On définit la puissance intrinsèque d'un instrument en se plaçant dans les conditions où l'on observe l'image à travers l'instrument sans fatiguer l'œil. L'image doit être à l'infini et donc l'objet dans le plan focal objet de l'instrument.

c. Pouvoir de résolution ou pouvoir séparateur

Le pouvoir de résolution ou pouvoir séparateur d'un instrument représente la plus petite distance entre deux points que l'instrument permet de distinguer l'un de l'autre.

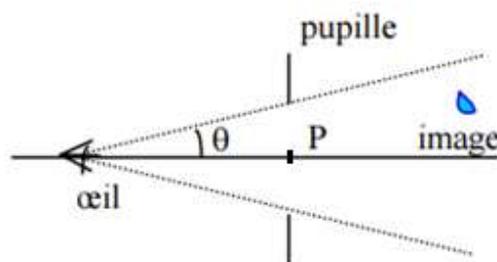
Si " d " est la distance minimale distinguée de deux objets et " a " la distance de ces objets,

le pouvoir de résolution est défini par : $\varepsilon = \frac{a}{d}$

d. Champ de vision

Le champ de vision est défini par l'angle maximal sous lequel on peut voir l'image à travers l'instrument d'optique. Il est limité par la pupille de sortie de l'instrument. Si r

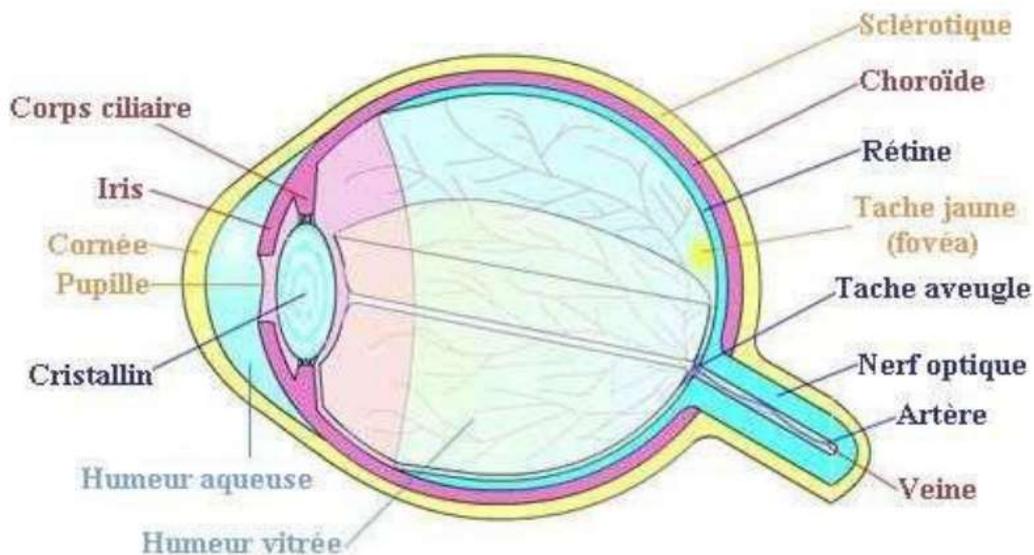
est le diamètre de cette pupille et OP la distance œil-pupille, on a : $\tan\theta = \frac{r}{OP}$



II. L'œil et des défauts

L'œil est un élément très important pour de nombreux instruments d'optiques. Il serait donc intéressant de faire une étude détaillée de l'œil.

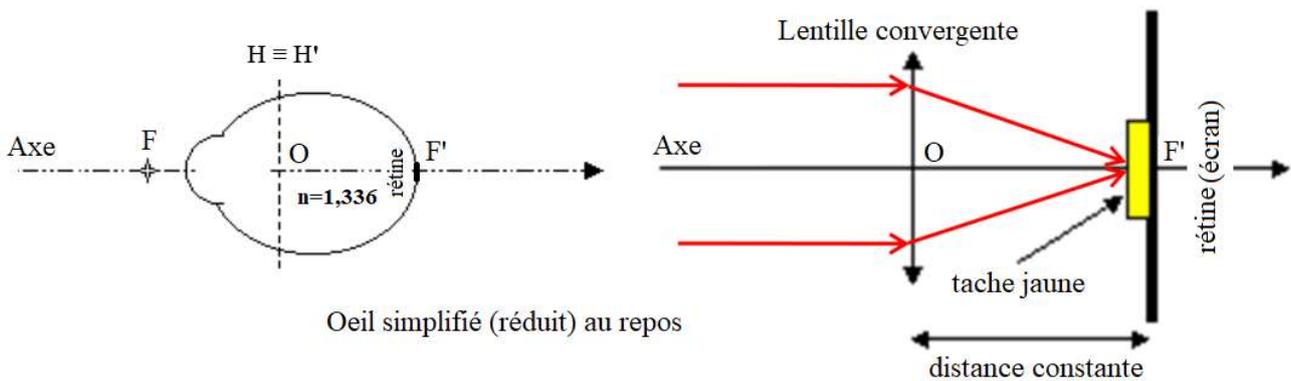
1. Constitution de l'œil



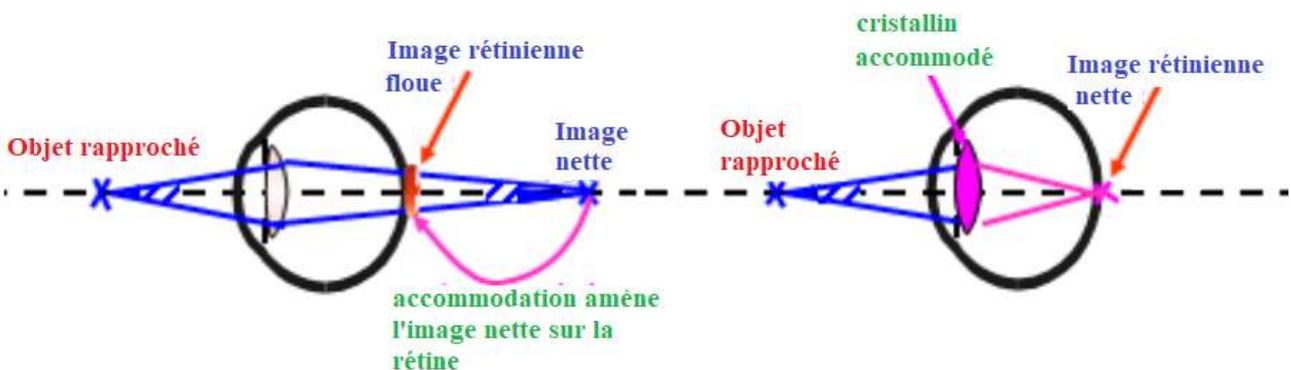
L'œil est composé à l'avant par la cornée, membrane transparente et dure. A l'arrière de la cornée se trouve l'iris qui est percé par la pupille, jouant le rôle d'un diaphragme. Le cristallin est le milieu situé en avant de l'iris correspond à un milieu non homogène d'indice n variant d'environ 1,33 à 1,44. Vers le fond de l'œil se trouve la rétine, partie séparée du cristallin par le corps vitré, et représente la partie la plus sensible de l'œil. Une image est vue nettement si elle est formée sur la partie appelée tache jaune de la rétine. Enfin l'œil peut être considéré comme une sphère dont le diamètre moyen est d'environ 24 mm.

2. Système équivalent d'un œil

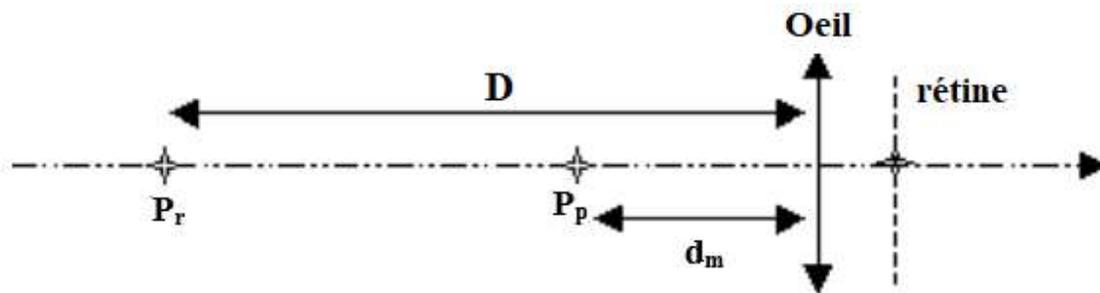
Du point de vue optique, l'œil est équivalent à un dioptre sphérique de 6 mm de rayon séparant l'air d'un milieu d'indice $n = 1,336$ (humeur vitrée). Le foyer image du dioptre est situé sur la rétine. On peut également symboliser un œil par une lentille convergente de 15 mm de distance focale baignant dans l'air (Figure ci-dessous)



La figure ci-dessus montre que l'image d'un objet à l'infini se forme directement sur la rétine. Pour un objet rapproché (figure ci-dessous), l'image reste sur la rétine grâce à la faculté d'accommodation qui résulte de la dilatation ou la contraction du cristallin. En effet, le cristallin est un milieu dont l'indice peut varier, il est considéré comme une lentille dont les rayons de courbures changent pour permettre une accommodation convenable



Il existe cependant une limite au-delà de laquelle la vision devient floue. Ce point appelé punctum proximum (P_p) est situé à une distance appelée distance minimale de vision distincte d_m et dont la valeur moyenne est de 25 cm. Le point le plus éloigné qu'un œil au repos (sans accommodation) peut voir nettement, appelé punctum remotum (P_r) est situé à une distance D (voir figure ci-dessous).



Remarque

Un œil est dit normal ou emmétrope lorsque son punctum remotum (P_r) est situé à l'infini et son punctum proximum (P_p) est situé à 25 cm en moyenne devant l'œil.



3. Défauts et correction de l'œil

Un œil peut présenter des anomalies et ses capacités d'accommodation se trouvent modifiées. On traitera dans ce cours les défauts tels que : la myopie, l'hypermétropie et la presbytie.

a. La myopie

Un œil myope est trop convergent, même quand il est repos. Son plan focal image F' est en avant de la rétine. La distance entre O et le point P_R peut être inférieur à 100 cm ($D < 1m$). On corrige l'œil myope en plaçant une lentille divergente.



b. L'hypermétropie

L'œil n'est pas assez convergent, au repos son plan focal image F' est derrière la rétine. Le punctum remotum P_R d'un œil hypermétrope est virtuel est son punctum proximum P_p est plus important que pour un œil normal. Il se corrige en plaçant une lentille convergente devant l'œil de manière à ce que le foyer F'_1 de cette lentille soit au point P_R de cet œil hypermétrope.



c. La presbytie

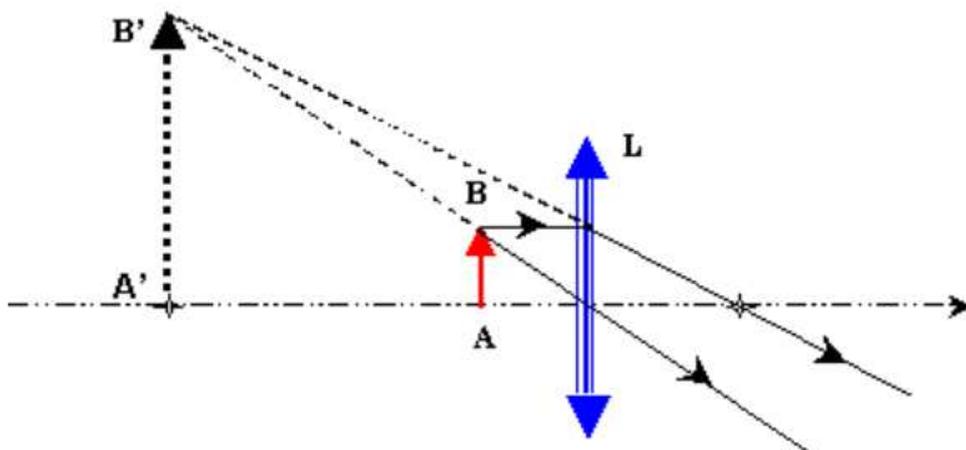
Elle se définit comme la baisse de la faculté d'accommodation d'un œil. Elle est due au vieillissement de l'œil et peut affecter des yeux normaux, myopes ou hypermétropes.

Cette anomalie se traduit par un éloignement du P_P qui se rapproche du P_R .

Un œil presbyte voit nettement des objets éloignés et doit pouvoir compenser l'insuffisance de l'accommodation par l'emploi de lentilles convergentes.

III. La loupe

Une loupe est une lentille convergente de distance focale généralement comprise entre 2 et 10 cm. L'objet à observer doit être placé entre son centre et son plan focal objet. Elle sert à augmenter le pouvoir séparateur de l'œil, autrement dit, elle est utilisée pour agrandir la taille des objets qui ne sont pas visibles à l'œil nu. L'image obtenue est virtuelle, agrandie et droite. On schématise une loupe par :



IV. Le microscope

1. Principe de l'instrument

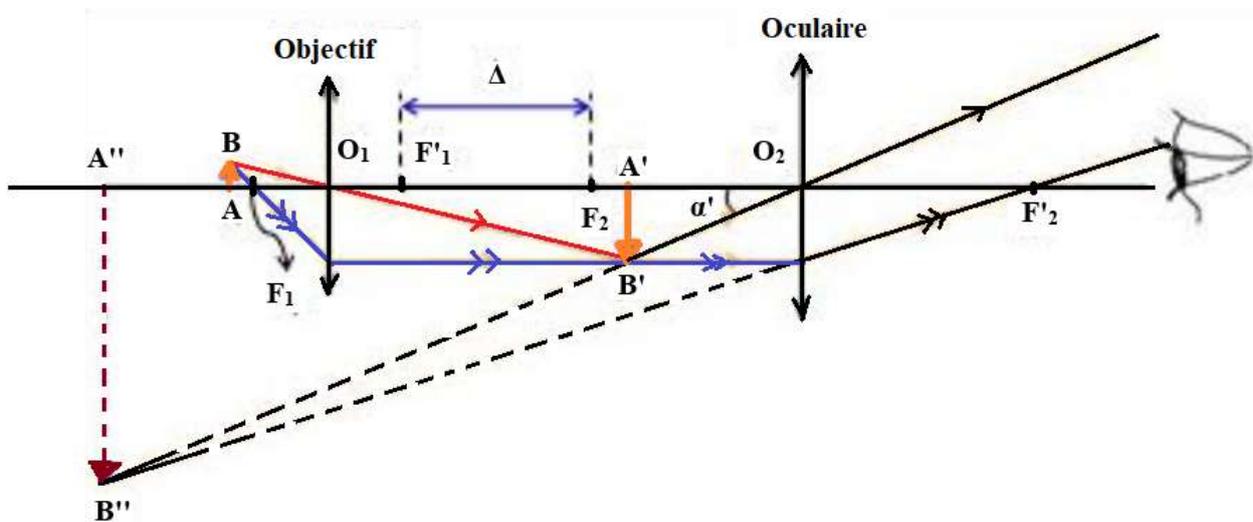
Le microscope est un instrument d'optique subjectif très grossissant, construit pour l'observation d'objets dont les dimensions sont trop petites pour que l'œil puisse les voir, même à travers une loupe. Il est constitué de deux systèmes optiques :

- Le premier est l'objectif, assimilé à une lentille convergente, donne d'un petit objet AB une image réelle très agrandie A'B' qui est observée à travers un second système.
- Le second est l'oculaire, également assimilé à une lentille convergente ou loupe.

L'image définitive A''B'' est virtuelle et beaucoup plus grande que l'objet.

2. Construction de l'image

L'objectif et l'oculaire sont généralement représentés par deux lentilles convergentes ; le microscope est alors dit réduit.



- ✚ L'objet AB est généralement placé en avant du foyer objet de l'objectif
- ✚ A'B' est une image réelle renversée beaucoup plus grande que l'objet AB.
- ✚ A''B'' est l'image finale renversée, virtuelle et sera perçue par l'œil.

Remarque

La distance focale image f' du système équivalent est négative ce qui implique que le microscope est divergent.

3. Mise au point

Pour un microscope, l'œil observe à travers l'oculaire et l'image formée doit être située entre le P_P et P_R de cet œil. Cette condition impose à l'objet un déplacement dans un intervalle $A_R A_P$, appelé latitude de mise au point et qui est généralement très faible.

4. Puissance, grandissement et grossissement

- On appelle puissance du microscope la quantité :

$$P_{mic} = \frac{\alpha'}{AB} = \frac{\alpha'}{A'B'} \frac{A'B'}{AB} = P_{oc} \gamma_{obj}$$

Où : P_{oc} est la puissance de l'oculaire.

γ_{obj} est le grandissement linéaire de l'objectif.

- Le grandissement linéaire d'un microscope est donné par :

$$\gamma_{mic} = \frac{A''B''}{AB} = \left(\frac{A''B''}{A'B'} \right) \left(\frac{A'B'}{AB} \right) = \gamma_{oc} \cdot \gamma_{obj}$$

Où : γ_{oc} est le grandissement linéaire de l'oculaire.

- Le grossissement d'un microscope est donné par :

$$G_{mic} = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{\alpha'}{AB} \cdot \frac{AB}{\alpha} = P_{mic} \cdot d_m$$

Où : d_m est la distance minimale de vision distincte.

5. Pouvoir de résolution ou pouvoir séparateur

On appelle pouvoir de résolution ou pouvoir séparateur du microscope l'inverse du plus petit angle sous lequel peuvent être vus distinctement, à travers le microscope, deux objets très petits et très rapprochés. L'augmentation de la puissance améliore le pouvoir séparateur mais des phénomènes dus au caractère ondulatoire de la lumière (diffraction, ...) interviennent alors et limitent ce pouvoir de résolution.

V. La lunette astronomique

Comme son nom l'indique, cet instrument sert à l'observation des astres (objets situés à l'infini).

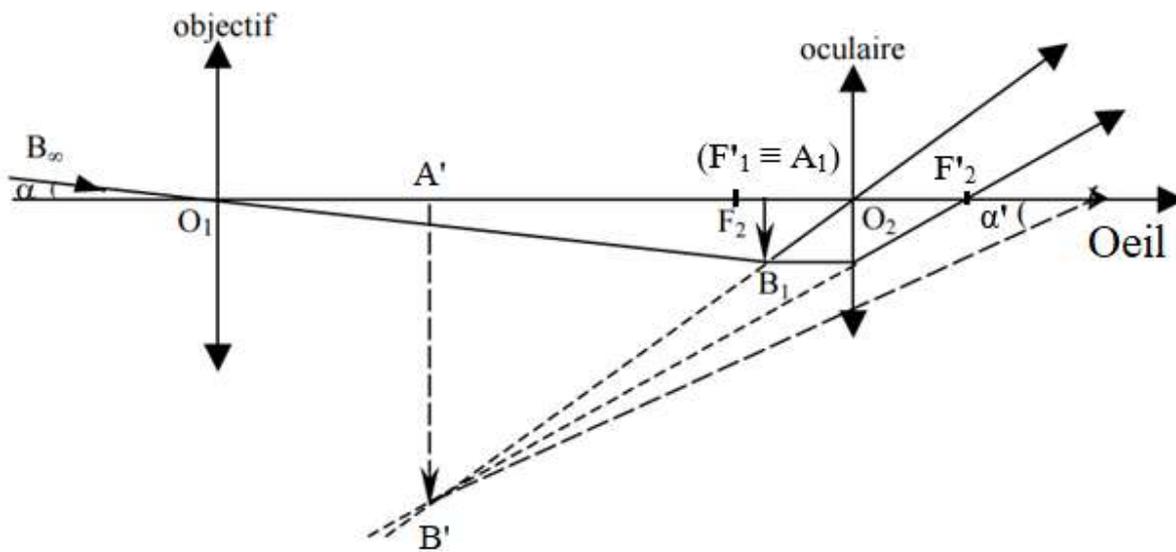
1. Composition de l'instrument

Comme le microscope, cet instrument se compose de deux systèmes que nous supposerons réduits à deux lentilles minces convergentes : l'objectif et l'oculaire.

- L'oculaire : son rôle est le même que dans le microscope, il sert de loupe pour l'observation de l'image donnée par l'objectif, sa distance focale est encore de l'ordre de quelques centimètres.

- L'objectif : son rôle diffère essentiellement de celui du microscope, il fournit de l'objet à l'infini une image dans son plan focal image qui est d'autant plus grande que la distance focale de l'objectif est elle-même plus grande. L'objectif atteint de très grandes dimensions pour les lunettes des observatoires : jusqu'à un mètre d'ouverture et 20 mètres de distance focale.

La figure ci-dessous montre l'image donnée pour un objet AB situé pratiquement à l'infini, tel que, le point A est placé sur la direction de l'axe et le point B est dans la direction qui fait avec l'axe l'angle α qui est le diamètre apparent de l'objet.



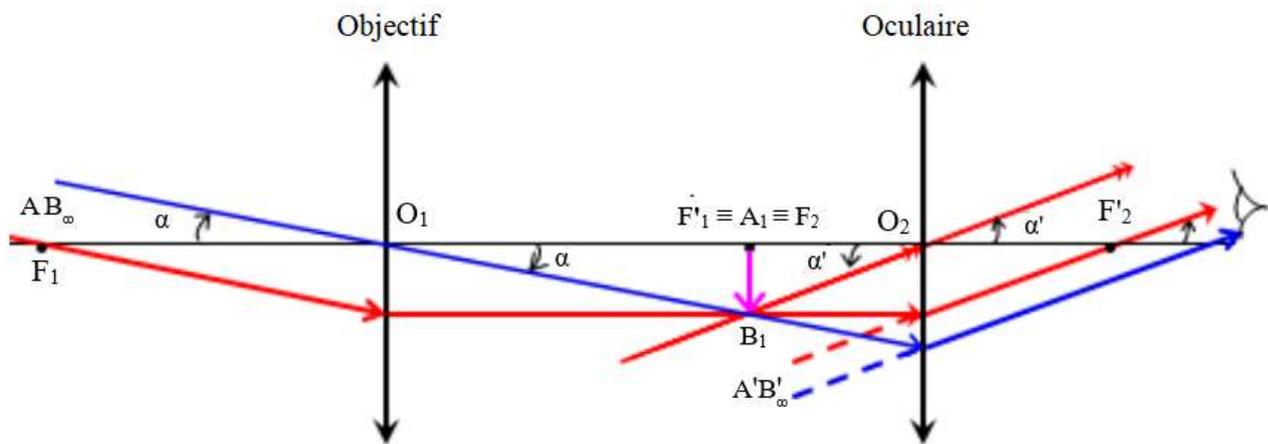
2. Explication

L'image intermédiaire fournie par l'objectif est A_1B_1 . Elle est située dans le plan focal image de celui-ci ($F'_1 \equiv A_1$). Elle sert d'objet pour l'oculaire qui fonctionne comme une loupe : le point A_1 est situé entre son centre optique et son foyer objet.

L'image définitive $A'B'$ est virtuelle et renversée par rapport à l'objet AB . L'œil la voit sous l'angle α' beaucoup plus grand que le diamètre apparent de la vision à l'œil nu.

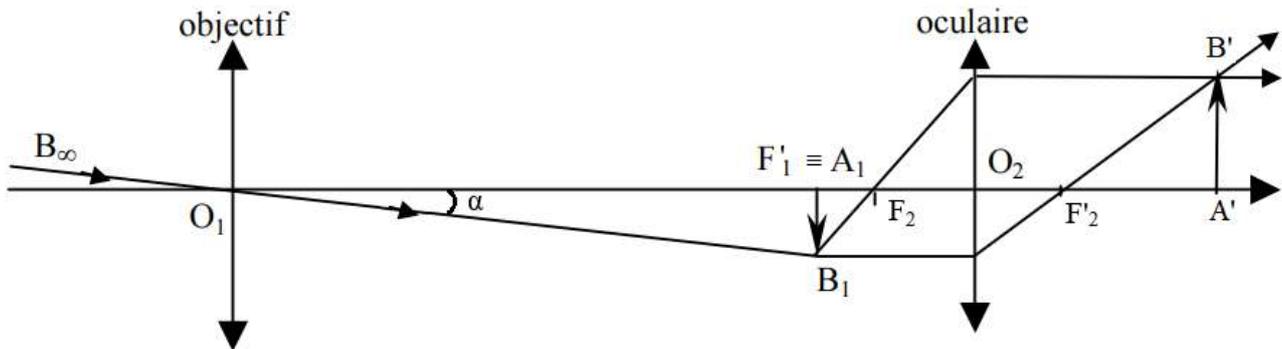
Remarque 1

Pour une vision non fatigante (observation optimale) le système doit être afocal, c'est-à-dire que les deux foyers, image F'_1 de l'objectif et objet F_2 de l'oculaire, sont alors confondus ($F'_1 \equiv A_1 \equiv F_2$). Pour ce faire, il suffit de déplacer l'oculaire vers l'observateur. Un faisceau parallèle issu de B est alors transformé à la sortie de la lunette en un autre faisceau parallèle. La lunette est donc, dans ce cas, un système afocal et l'image $A'B'$ est projetée à l'infini. Un tel système est représenté sur la figure ci-dessous.



Remarque 2

Pour avoir l'image définitive $A'B'$ sur un écran ou la photographier, ceci signifie que $A'B'$ doit être réelle. Cela impose sur l'image A_1B_1 d'être se formée avant le plan focal objet de l'oculaire. Ainsi l'image $A'B'$ sera donc réelle, droite et plus grande que l'objet (voir figure ci-dessous).



1. Grossissement d'une lunette astronomique

a. Cas général

Le grossissement d'une lunette s'écrit : $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$

Si l'on désigne par f_1 la distance focale de l'objectif et par f_2 celle de l'oculaire, on a :

- Dans le triangle $O_1A_1B_1$ ($O_1F'_1B_1$) : $\alpha = \frac{A_1B_1}{f_1}$

- La puissance de l'oculaire : $P_{oc} = \frac{\alpha'}{A_1B_1}$

D'où : $G = \frac{\alpha'}{\alpha} = P_{oc} \cdot f_1$

Le grossissement de la lunette est dans tous les cas égal au produit de la puissance de l'oculaire par la distance focale de l'objectif.

b. Cas d'une lentille afocale

Dans ce cas, la puissance de l'oculaire est égale à sa vergence : $P_{oc} = \frac{1}{f_2}$ (*)

D'où : $G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f_1}{f_2}$

(*) : Dans le triangle $O_2A_1B_1$ ($O_2F'_2B_1$)

$\alpha' = \frac{A_1B_1}{f_2}$ donc $P_{oc} = \frac{1}{f_2}$

