

OS – Chapitre E

Modèles de quelques dispositifs optiques

I - Œil humain

1.1 - Présentation physiologique

L'œil est l'organe de la vision, qui permet de capter la lumière puis, par l'intermédiaire du nerf optique, de la transmettre au cerveau qui va l'analyser. Un schéma anatomique de l'œil humain est représenté figure 1.1. Les parties qui interviennent dans le processus de formation des images sont :

- la **pupille** qui joue le rôle d'un diaphragme et limite la quantité de lumière entrant dans
- le **cristallin** qui est un petit disque fibreux, transparent et flexible, qui joue le rôle d'une lentille convergente et permet de focaliser l'image sur
- la **rétine** qui rassemble de cellules photosensibles et joue le rôle d'un écran. Elle est constituée de bâtonnets (environ 120 M, qui assurent la vision en faible luminosité mais ne sont pas sensibles à la couleur) et de cônes (environ 7 M, qui permettent de distinguer les couleurs et assurent la vision précise des détails. Ces derniers sont principalement positionnés sur la partie centrale de la rétine (fovea ou tâche jaune).

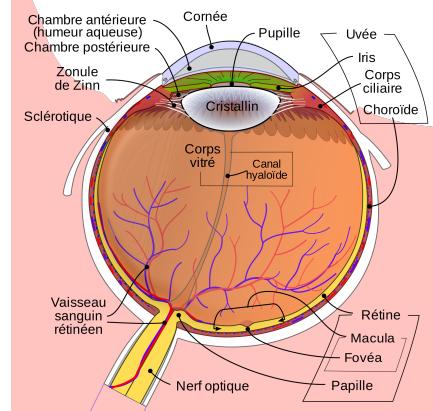


FIGURE 1.1 – Schéma anatomique d'un œil humain.
Rhcastilhos derivative work : - lyhana8 (Talk), Jmarchn
CC BY-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)

1.2 - Modélisation et caractéristiques optiques

Propriété : Modèle optique

D'un point de vue optique, l'œil peut être vu comme l'association d'un diaphragme (pupille), d'une lentille convergente (cristallin) et d'un écran (rétine) comme indiqué figure 1.2

FIGURE 1.2 – Modélisation optique simplifiée de l'œil humain.

Caractéristiques optiques

- **champ visuel** : décrit la portion d'espace visible par l'œil. Il est défini par l'angle entre les rayons extrêmes arrivant sur la rétine. Pour un œil humain, il vaut environ 120° pour la vision périphérique mais seulement 10° pour la vision des détails.
- **Résolution angulaire** : décrit sa capacité à distinguer deux points très proches (appelée également acuité visuelle ou pouvoir séparateur). Elle est définie comme l'angle minimum que doivent former deux rayons pour pouvoir être perçus comme provenant de deux points différents. Pour un œil humain, il vaut environ $1' \approx 3 \cdot 10^{-4}$ rad
- **accommodation** : pour pouvoir voir net un objet à une distance donnée, l'œil doit accommoder pour que l'image se forme sur le plan de la rétine. Des muscles vont se contracter pour augmenter la courbure du cristallin et ainsi **diminuer sa focale**. La distance cristallin-rétine reste *fixe* (de l'ordre de 18 mm. Au repos, lorsque l'œil n'accorde pas et pour un œil emmétrope (i.e. sans défaut), le plan focal image se trouve au niveau de la rétine. (voir figure 1.3)

On appelle **punctum remotum (PR)** le point le plus éloigné de l'œil qui est visible nettement.

On appelle **punctum proximum (PP)** le point le plus proche de l'œil qui est visible nettement.

Application : Formation des images vues au PR et au PP

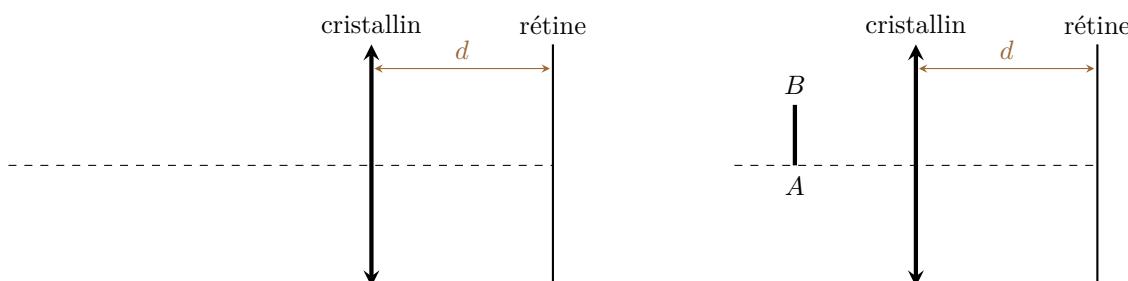


FIGURE 1.3 – Formation des images au punctum remotum à gauche et au punctum proximum à droite pour un œil emmétrope

Pour un œil emmétrope (i.e sans défaut) le PR se situe à l'infini et le PP environ 25 cm devant la cornée.

Défauts de l'œil

: parmi les défauts classiques de l'œil, on peut citer :

- **la myopie** caractérisée, pour la plupart des cas, par un bulbe trop long et parfois par un cristallin trop convergent ; l'œil ne voit pas de loin (c'est-à-dire à l'infini) mais voit de plus près. Son PR est maintenant à distance finie. Pour une image située au PR, l'œil n'accorde pas, l'image est nette sur la rétine (voir figure 1.4). Pour la myopie, les lunettes correctrices sont donc divergentes.

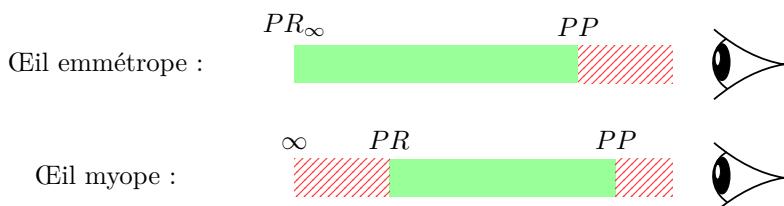


FIGURE 1.4 – Comparaison des punctum remutum et punctum proximum pour un œil emmétrope et un œil myope

- **L'hypermétrie** caractérisée pour la plupart des cas par un bulbe trop court et parfois par un cristallin pas assez convergent. L'œil doit accorder même pour voir à l'infini, le PP est plus éloigné que l'œil normal. La lentille correctrice est convergente.
- **L'astigmatisme** est lié à un défaut de symétrie de révolution de l'œil, il y a des aberrations géométriques. La lentille correctrice n'est pas sphérique.

- **La presbytie** est liée au vieillissement de l'œil qui perd sa faculté d'accommodation. L'œil ne voit bien que de loin c'est-à-dire vers son PR. Il voit mal les objets proches. Cela nécessite l'utilisation de plusieurs lentilles correctrices suivant la distance objet-œil. On utilise des verres à deux ou trois foyers (ou verres à foyers progressifs).

II - Lunette astronomique

Une lunette astronomique est constituée de deux lentilles convergentes :

- **l'objectif** en entrée de l'instrument qui capte la lumière d'un objet à l'infini et en fait l'image sur son plan focal image ,
- **l'oculaire** en sortie de l'instrument qui renvoie l'image de l'objet à l'infini afin d'en faciliter l'observation à l'œil.

Dans une lunette astronomique, le foyer principal image F'_1 de l'objectif (lentille L_1) est confondu avec le foyer principal objet F_2 de l'oculaire (lentille L_2). L'image d'un objet à l'infini se retrouve donc également à l'infini, ce qui permet à l'œil de l'observateur de ne pas avoir à accomoder. Une lunette astromnomique est ainsi un système est **afoocal**. On place souvent un réticule sur le plan focal commun aux deux lentilles : il s'agit d'une lame de verre sur laquelle est gravée une croix et qui est solidaire de la lunette. Le réticule sert d'objet pour régler la lunette et permet de viser précisément une direction donnée (voir figure 1.5).

Application : Lunette astronomique

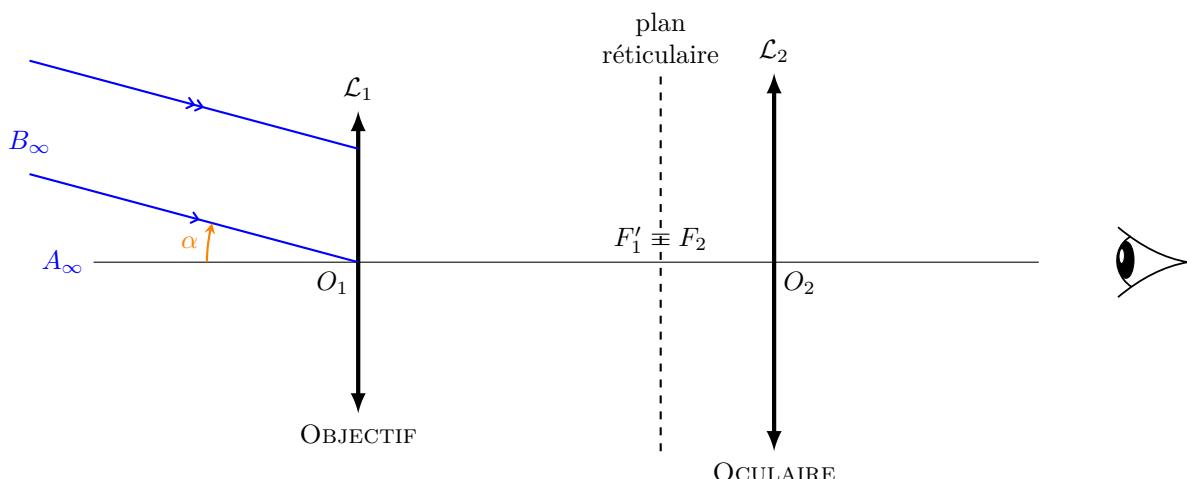


FIGURE 1.5 – Schéma de principe d'une lunette astronomique.

Comme on a affaire à des objets et images à l'infini, on utilise le grossissement de la lunette, défini par $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$.
On montre aisément que
$$G = -\frac{f'_1}{f'_2}$$
. Le signe – traduit que l'image est inversée. L'objectif est évidemment d'avoir $|G| > 1$.

Démonstration

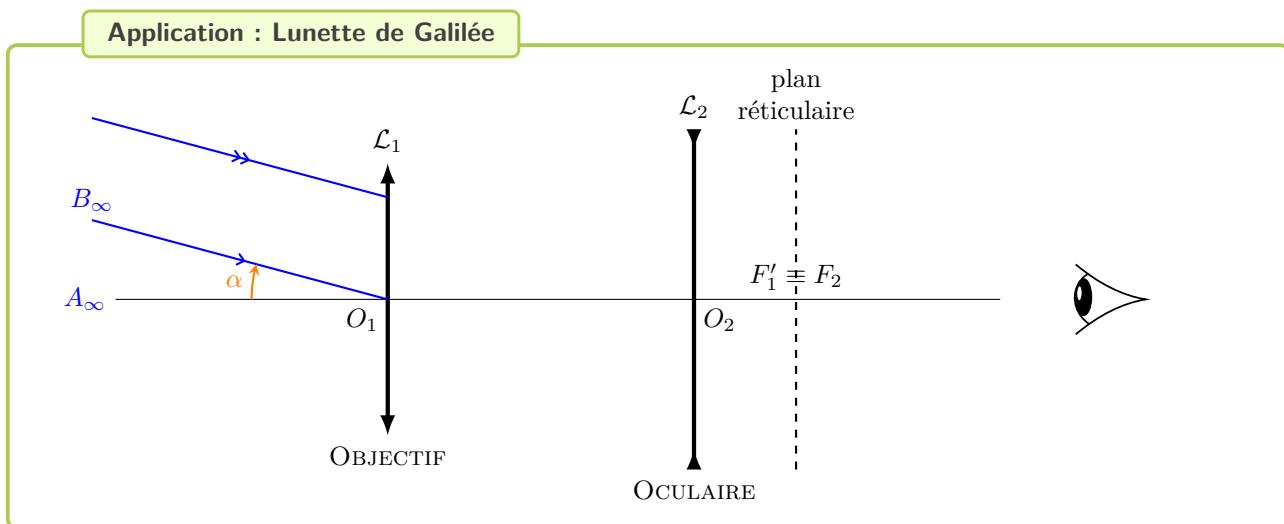
III - Appareil photographique

voir document pdf du diaporama.

Pour aller plus loin...

Lunette de Galilée

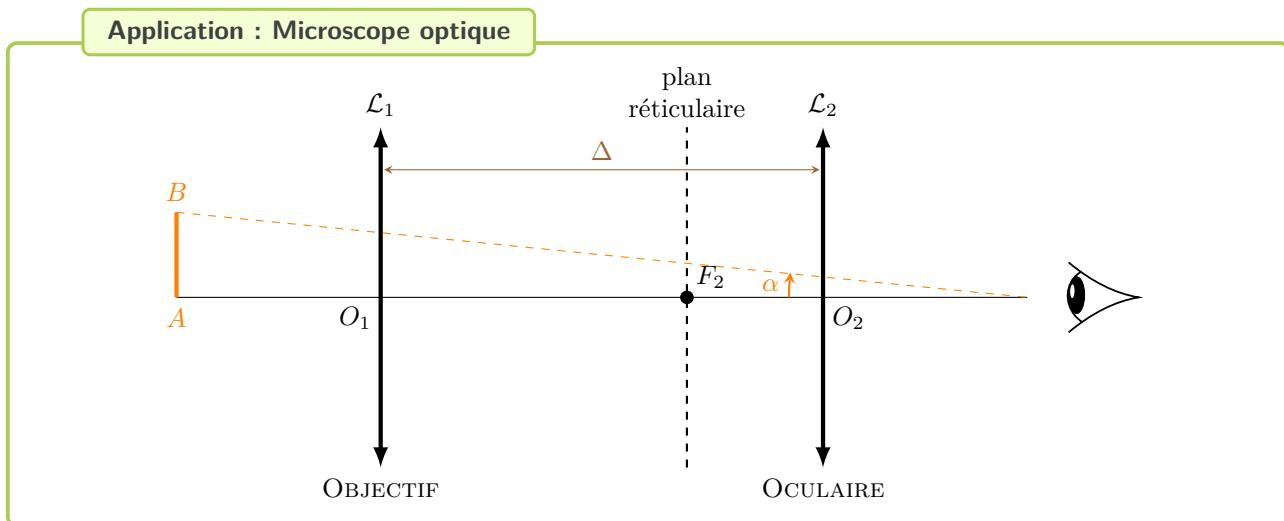
Une lunette de Galilée est constituée de deux lentilles : l'objectif est une lentille **convergente** (centre O_1 , focale $f'_1 > 0$) et l'oculaire une lentille **développante** (centre O_2 , focale $f'_2 < 0$). L'objectif est d'observer à l'œil une image **droite** et **agrandie** d'un objet à l'infini. Comme pour la lunette astronomique, il s'agit donc d'un système *afocal* où les foyers principaux image de l'objectif et objet de l'oculaire sont confondus : $F'_1 \equiv F_2$.



Microscope

Un microscope est constitué de deux lentilles *convergentes*. L'objectif est d'obtenir une image agrandie en terme de résolution angulaire, d'un objet à distance finie. Il ne s'agit donc plus d'un système afocal, les foyers image de l'objectif et objet de l'oculaire ne sont plus confondus. Pour un objet AB , pour que l'œil continue à voir l'image finale $A'B'$ sans accomoder, il faut que l'image intermédiaire soit dans le plan focal objet de l'oculaire :

$$AB \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A_1B_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A'_\infty B'_\infty \quad \text{soit} \quad A_1 \equiv F_2$$



On aura alors une image **inversée** et **agrandie** de l'objet initial : $G = \frac{\alpha'}{\alpha} < -1$.