

Chapitre 3

Modèles de quelques dispositifs optiques

I. L'œil

1. Modélisation de l'œil
 - 1.1 Aspect physiologique
 - 1.2 Modélisation
2. Accommodation

3. Limite de résolution angulaire
4. Les défauts de l'œil

II. La lunette astronomique

1. Système afocal
2. Principe d'une lunette astronomique
3. Grossissement



I. L'œil

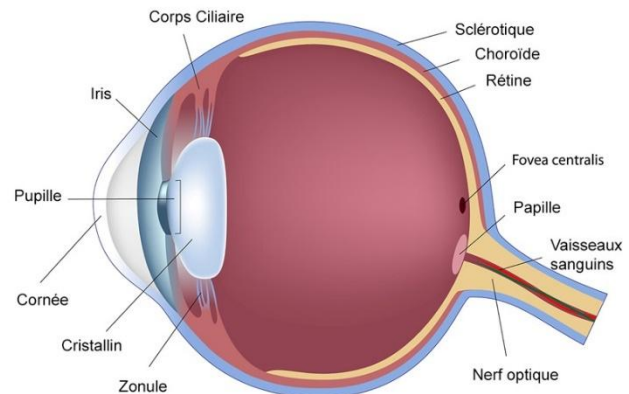
1. Modélisation de l'œil

1.1 Aspect physiologique

L'œil se présente comme un globe de 25 mm de diamètre environ et limité par une membrane résistante, la sclère ou sclérotique. Ses éléments principaux sont :

- **La cornée** : Dioptré entre l'air et l'humeur aqueuse d'indice voisin de 1.336, son rôle est de capter et de focaliser la lumière sur le cristallin.
- **Le cristallin** : Lentille biologique biconvexe (donc convergente) et élastique qui donne d'un objet une image réelle renversée sur la rétine.

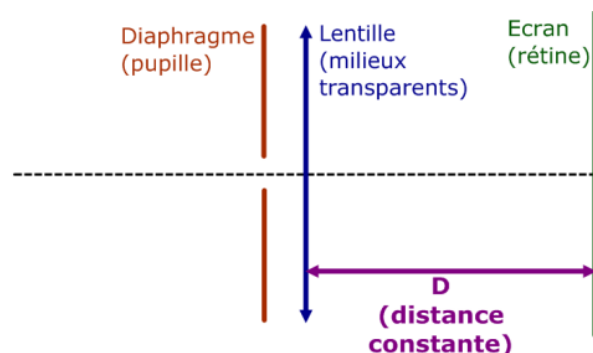
La focale du cristallin est variable grâce à sa capacité à modifier sa courbure sous l'action des muscles ciliaires



- **L'iris et la pupille** : L'iris, une membrane diversement colorée, délimite un diaphragme, la pupille, qui limite l'intensité lumineuse pénétrant dans l'œil. L'iris réagit automatiquement aux variations d'intensité lumineuse et va permettre de recevoir la quantité de lumière nécessaire en se rétrécissant ou en s'agrandissant, le diamètre de la pupille peut alors varier entre 2 et 8 mm.
- **La rétine** : Membrane fixe regroupant des cellules nerveuses photoréceptrices appelées cônes (cellules coniques) et bâtonnets (cellules cylindriques), servant à la transformation des signaux lumineux en signaux électriques véhiculés par l'intermédiaire des nerfs optiques. Leurs tailles varient entre 1,5 μm et 5 μm . La sensibilité de la rétine est maximale sur un petit cercle voisin de l'axe, de rayon 1 mm, appelé fovéa et ne contenant que des cônes.

L'ensemble rétine - nerf optique code cette image sous forme d'influx nerveux et le transmet au cerveau qui l'interprète (retournement de l'image, correction de la distorsion, impression du relief grâce aux informations transmises par les deux yeux) et qui reconstitue la sensation visuelle en couleur et profondeur.

1.2 Modélisation



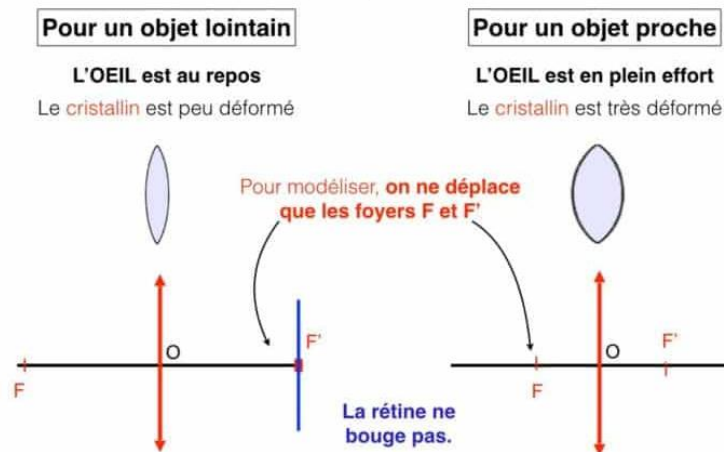
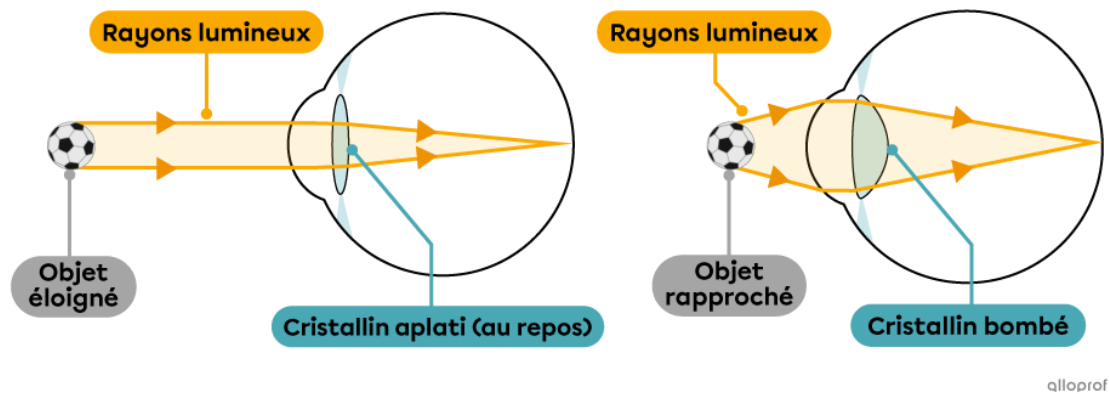
2. Accommodation

L'œil ne voit une image nette que si elle se forme sur la rétine.

Lorsque l'objet se rapproche, la distance cristallin-rétine étant fixe, le cristallin se déforme et sa convergence augmente afin que l'image de l'objet se forme encore sur la rétine. L'œil effectue une mise au point : on dit que l'œil accommode.

Le processus d'accommodation est l'ensemble des modifications oculaires adaptatives permettant d'assurer la netteté des images pour différentes distances de vision.

L'accommodation se réalise grâce au changement de courbures des deux faces du cristallin.

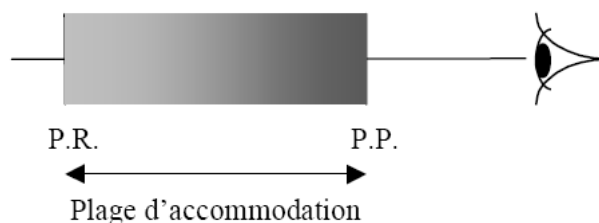


✓ **Accommodation minimale** : l'œil est au repos, il voit nettement tout objet situé à une distance maximale $d_{\max}$ correspondant au **punctum remotum** PR.

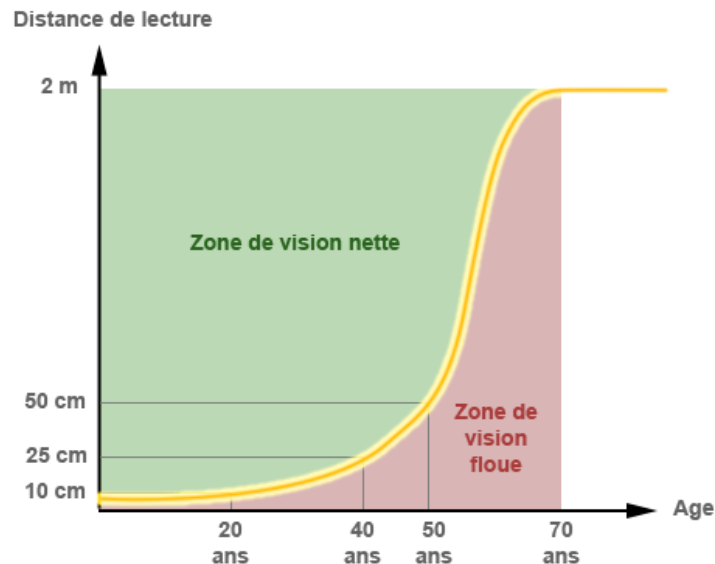
Pour un œil normal ou emmétrope au repos le PR est situé à l'infini.

✓ **Accommodation maximale** : l'œil voit nettement tout objet situé à la distance minimale de vision distincte $d_{\min}$ correspondant au **punctum proximum** PP.

L'œil peut voir nettement, grâce au processus d'accommodation, tout objet situé entre le PP et le PR.



La distance minimale de vision distincte varie d'un individu à l'autre et change avec l'âge mais on la prend généralement égale à 25 cm. Cette réduction de l'amplitude d'accommodation est due à une perte de souplesse du cristallin. **La presbytie est une déficience de la vision due au vieillissement de l'œil qui perd sa faculté d'accommodation en vieillissant.**



3. Limite de résolution angulaire

L'œil ne peut séparer deux objets que si leurs images sur la rétine sont suffisamment éloignées pour se former sur des récepteurs différents. La capacité de l'œil à distinguer des rayons de directions voisines possède une limite.

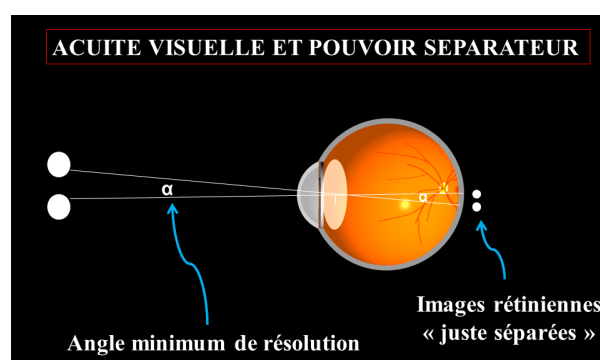
En considérant la taille h du plus petit détail enregistrable sur la rétine (de l'ordre de la taille d'une cellule réceptrice, ces cellules étant très proches les unes des autres au centre de la rétine) et la distance cristallin-rétine de l'œil d , on peut obtenir une estimation de la résolution angulaire de l'œil :

$$\alpha = \frac{h}{d} \approx 3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$

Si $\alpha < 3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$: l'œil ne distingue pas les 2 images et ne voit qu'un seul point.

Si $\alpha > 3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$: l'œil distingue les 2 images.

La limite de résolution angulaire est le plus petit angle sous lequel un objet est observable. Dans de bonnes conditions d'éclairement, il est de l'ordre d'une minute d'arc, soit $3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$.



Application 1 : Pointillisme ♥

Le pointillisme est un courant artistique issu du mouvement impressionniste qui consiste à peindre par juxtaposition de petites touches de peinture de couleur. Placé à une certaine distance du tableau ces touches ne se distinguent plus et se confondent permettant de faire apparaître des variétés de couleurs.



Déterminer à quelle distance d'un tableau exécuté avec la technique pointilliste doit se placer un observateur pour ne plus distinguer les touches de couleurs. On supposera que la plus grande distance qui sépare 2 touches est voisine de 4 mm.

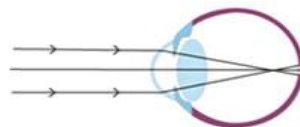
Cette valeur doit en fait être nuancée, elle dépend aussi de la taille de la pupille et ne concerne que quelques degrés d'ouverture du champ de vision.

4. Les défauts de l'œil

Amétropie : Nom général pour un œil souffrant d'un défaut cité ci-dessous. Ces défauts sont habituellement dus à une convergence et/ou une profondeur de l'œil mal ajustées.

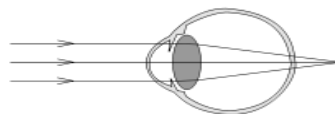
Myopie :

La myopie est une déficience de la vision due à une trop grande distance séparant la cornée et la rétine, le foyer va donc se trouver devant la rétine. Un tel défaut est attribué à un allongement horizontal de l'œil ou à un trop fort indice du cristallin.



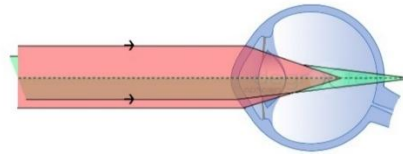
L'hypermétropie :

L'hypermétropie est une déficience de la vision due à une trop courte distance entre la cornée et la rétine, le foyer va donc se trouver derrière la rétine.



Astigmatisme :

L'astigmatisme est une déficience de la vision due à une irrégularité de la courbure de la cornée ou du cristallin. Plus généralement ce phénomène est causé par une cornée non ronde. L'œil ne possède pas la symétrie de révolution. La vision est difficile de loin comme de près. *Ce défaut de l'œil peut également être combiné à d'autres défauts cités ci-dessus.*



II. La lunette astronomique

1. Système afocal

Un système afocal a comme propriété de laisser ressortir de façon parallèle des rayons incidents qui sont parallèles entre eux.

On rencontrera de tels systèmes afocaux dans les instruments d'optique destinés à faire l'observation d'objets éloignés et destinés à être utilisés par un observateur dont la vision est normale c'est à dire qu'il **visse à l'infini sans accommoder**.

Ces instruments tels les **lunettes** et les **télescopes** comportent un objectif associé à un oculaire et pour rendre le système afocal **il suffira de faire coïncider le foyer image de l'objectif avec le foyer objet de l'oculaire**.

Dans un système afocal, le foyer image de l'objectif doit être confondu avec le foyer objet de l'oculaire :

$$\overline{O_1 O_2} = f'_1 + f'_2$$

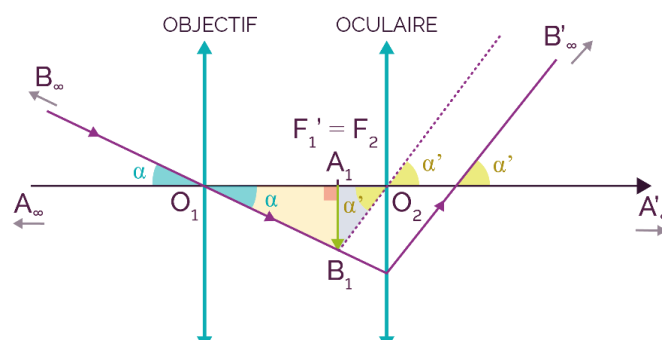
2. Principe d'une lunette astronomique

La lunette est un système afocal qui forme d'un objet à l'infini une image définitive également à l'infini mais de diamètre apparent plus grand.

En plus de permettre de former sur la rétine de l'observateur une image plus grande qu'avec une observation directe, elle permet également de collecter un maximum de lumière, plus que celle qui entrerait par la pupille de l'œil en observation directe.

Elle est constituée de deux lentilles :

- L'**objectif**, convergent, de grande focale f'_1 .
- L'**oculaire**, convergent ou divergent (lunette de Galilée), de plus courte focale f'_2 , placé de façon à ce que l'œil observe à travers de la lunette l'image définitive **sans accommoder**.



3. Grossissement

Le grossissement est le rapport entre le diamètre apparent de l'image et celui de l'objet : $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$

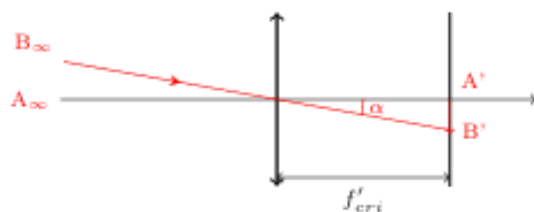
Si on oriente les angles, $G < 0$: l'observation au travers de la lunette astronomique renverse le sens de l'image sur la rétine. Cette lunette est difficilement utilisable pour l'observation terrestre.

Application 2 : Grossissement d'une lunette astronomique ♥

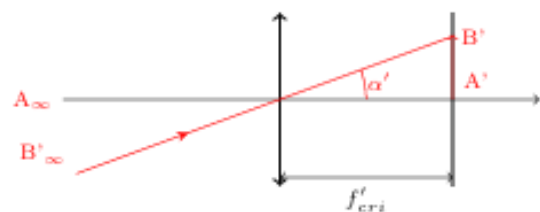
Démontrer l'expression du grossissement d'une lunette astronomique : $G = \frac{\alpha'}{\alpha} = -\frac{f'_1}{f'_2}$

La lunette de Galilée présente l'avantage de ne pas renversée l'image.

Remarque : La taille de l'image sur la rétine est, dans l'approximation des petits angles, proportionnelle au diamètre apparent.



objet vu sans la lunette



objet vu au travers de la lunette

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{(A'B')_{\text{avec lunette}}}{(A'B')_{\text{sans lunette}}}$$