

OPTIQUE 4 :

Notions sur les instruments d'optique

École Centrale Pékin

Année 3

Table des matières

1	L'œil	2
1.1	L'œil réel et l'œil réduit	2
1.2	Observer des objets nets	3
1.3	Voir des objets en fonction de leur taille angulaire	4
1.4	Défauts de l'œil et correction	5

Un instrument d'optique est un instrument formant une image d'un objet : c'est l'association de plusieurs systèmes optiques (par exemple objectif et oculaire). Dans ce chapitre, nous étudierons des instruments d'optique constitués de lentilles minces. Tous ce que nous avons étudié aux chapitres précédents nous permettent de comprendre le fonctionnement et réaliser des instruments d'optique tels que l'œil, la loupe, les oculaires, ou encore lunettes astronomiques.

1 L'œil

1.1 L'œil réel et l'œil réduit

L'œil humain est constitué de nombreux éléments comme illustré sur la figure 1 où les principaux constituants ont été nommé : c'est l'œil réel.

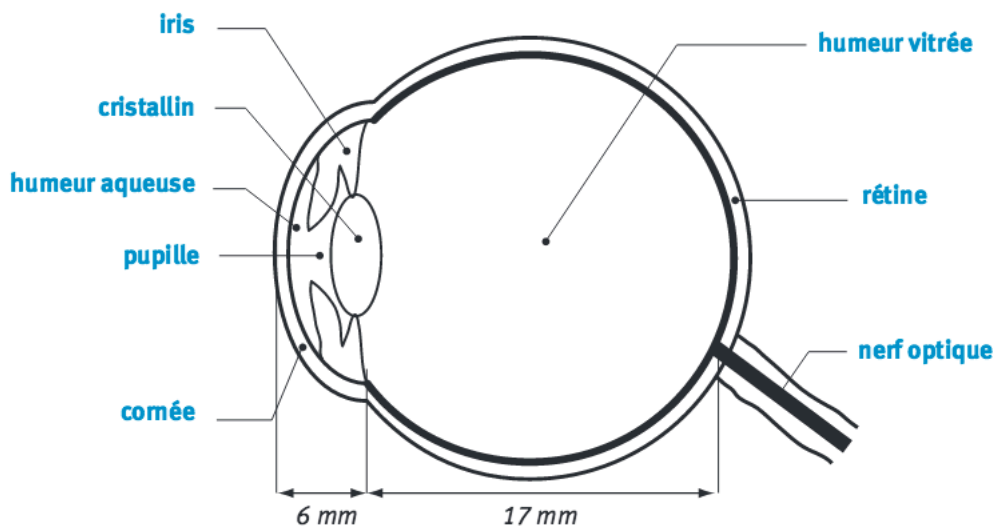


FIGURE 1 – Schéma de l'œil réel

Du point de vue optique, on peut schématiser l'œil par un modèle simple avec seulement trois élément : c'est l'œil réduit

- l'**iris** réglable qui permet de faire varier la taille du faisceau lumineux entrant dans l'œil (et donc la quantité de lumière incidente). L'ouverture correspondante est appelée la **pupille** :
 - en lumière faible l'iris se dilate, la pupille s'ouvre, on fait entrer beaucoup de lumière ;
 - en lumière forte l'iris se contracte, la pupille se ferme, on fait entrer peu de lumière.

On dit que l'iris diaphragme la pupille.

- le **cristallin** en forme de lentille biconvexe qui permet de faire converger les rayons lumineux sur le fond de l'œil. La courbure du cristallin est réglable : lorsque les muscles de l'œil appuient sur les bords du cristallin, sa courbure augmente et il devient plus convergent.
- la **rétine** au fond de l'œil où se forme l'image par le cristallin. C'est un capteur constitué de cellules photosensibles, les cônes et les bâtonnets pour percevoir l'image nette et en couleur. La rétine est reliée au cerveau qui interprète les images par le **nerf optique**.

Chacun de ces éléments de l'œil réduit peut être modélisé par des composants optiques simples comme indiqué sur la figure 2 :

- iris \equiv **diaphragme réglable**
- cristallin \equiv **lentille convergente**
- rétine \equiv **écran plan** (on néglige la courbure de la rétine)

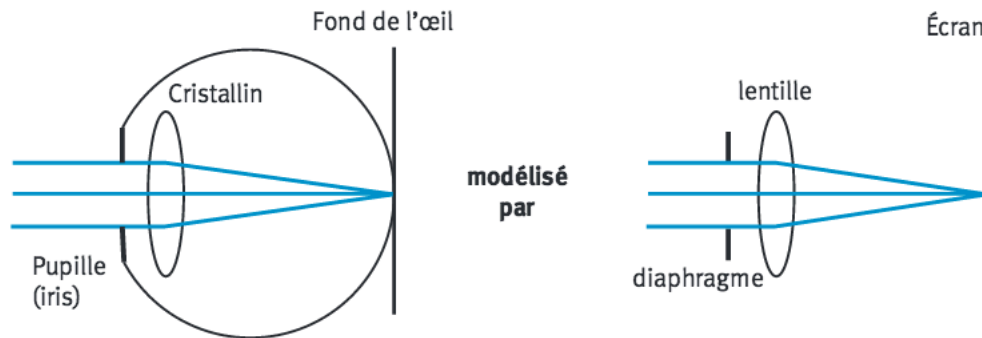


FIGURE 2 – Modèle de l'œil réduit

1.2 Observer des objets nets

Lorsque l'on observe un objet, l'image est nette si elle se forme sur la rétine au fond de l'œil de l'observateur (là où les rayons convergent après passage du cristallin). Sinon, elle est floue.

1.2.1 Observation à l'infini

Lors de l'observation d'un objet à l'infini, l'œil normal (sans défaut de vision) forme une image nette sur la rétine. L'œil est alors considéré comme un système optique centré qui conjugue le plan à l'infini avec la rétine : la distance entre le cristallin et la rétine est la distance focale de la lentille (cristallin). Dans ce cas, on dit que l'œil est **au repos** : les muscles de l'œil n'appuient pas sur le cristallin et celui-ci est peu courbé. On dit que l'œil **n'accommode pas** et ne se fatigue pas.

1.2.2 Observation à une distance finie

Lors de l'observation d'un objet à une distance finie, l'image se forme naturellement derrière la rétine et est donc floue. Pour éviter cela, les muscles de l'œil se contractent et augmentent la courbure du cristallin qui devient **plus convergent** : sa **distance focale diminue** permettant à l'image de se former sur la rétine. On parle d'**accommodation**.

Plus l'objet est proche, plus l'œil doit accommoder pour voir une image nette. Cette accommodation présente une limite : pour un objet trop proche, l'œil ne peut plus accommoder et l'image est floue. Cette limite est appelée le **Punctum Proximum** noté PP : c'est la distance minimale entre l'œil et l'objet pour voir une image nette. Le PP se situe typiquement à environ 25 cm de l'œil pour un adulte.

À l'inverse, le point le plus loin que l'on peut voir nettement est appelé de **Punctum Remotum** noté PR . Pour un œil normal, le PR se situe à l'infini.

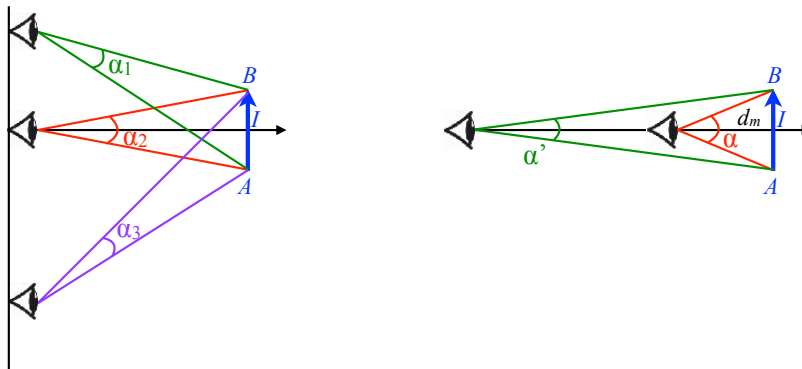
Les points vus nettement par l'œil sont ainsi situés entre le PP et le PR : c'est la **plage d'accommodation** ou la **latitude de mise au point** de l'œil. La taille de cette plage définit la **profondeur de champ**. Pour un œil normal, elle est infinie.

1.3 Voir des objets en fonction de leur taille angulaire

1.3.1 Caractère angulaire de l'œil et puissance oculaire

En plus de voir nettement une image, il faut pouvoir en distinguer les détails. L'œil est sensible à la taille angulaire des objets : quand on dit populairement "bien voir", on pense à "voir sous un grand angle".

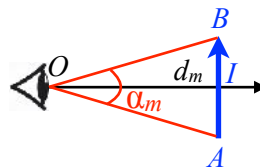
En effet, quand on observe un objet AB , le plus grand angle sous lequel l'œil voit AB est obtenu pour un œil sur l'axe de symétrie de AB à la distance d_m du milieu I de AB . Si on s'écarte de l'axe, l'angle sous lequel on voit AB diminue, comme le montre le schéma de gauche. Si on reste sur l'axe en s'éloignant du point I , l'angle sous lequel on voit AB diminue, comme le montre le schéma de droite.



Définition : L'angle maximum sous lequel on peut voir un objet AB est l'angle α_m tel que

$$\alpha_m = \frac{AB}{d_m}$$

dans les conditions de Gauss avec $d_m = OI$ la distance entre l'œil et le PP



Définition : La **puissance de l'œil** P regardant un objet AB sous l'angle α est le rapport :

$$P = \left| \frac{\alpha}{AB} \right|$$

Dans les conditions de Gauss, la puissance maximale de l'œil P_m correspond à la vision de l'œil sur l'axe à la distance d_m de AB :

$$P_m = \left| \frac{\alpha_m}{AB} \right| = \frac{1}{d_m}$$

1.3.2 Limite de résolution et pouvoir séparateur de l'œil

Soient deux points lumineux A et B séparés par la distance L . On les examine au mieux à l'œil nu : l'œil est donc sur la médiatrice de AB , à la distance d_m du milieu I de AB :

- si L est suffisamment grand, l'œil voit en détail les deux points
- si on rapproche symétriquement A de B , L diminue : il arrivera un moment où l'œil ne fera plus le détail et verra un seul point $A \equiv B$.

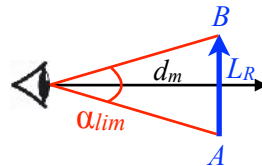
Définition : Lorsque l'on ne peut plus distinguer deux points A et B séparés d'une distance L , la distance L atteint la **limite de résolution** L_R . On dit qu'on ne plus **résoudre** les deux points.

La limite de résolution dépend beaucoup des individus : son ordre de grandeur est de quelques dixième de millimètre en général.

Définition : L'angle limite α_{lim} correspondant à une distance L_R entre deux points à une distance d_m définit le **pouvoir séparateur angulaire** de l'œil P_{SA} :

$$P_{SA} = \alpha_{lim} = \frac{L_R}{d_m}$$

dans les conditions de Gauss.



En ordre de grandeur, avec L_R égal à quelques dixièmes de mm et d_m égal à 10 cm par exemple, le pouvoir séparateur angulaire P_{SA} est égal à quelques millièmes de radian, c'est-à-dire quelques minutes d'angle, puisque $1' = 3 \times 10^{-4}$ rad.

On constate expérimentalement que la limite de résolution de deux points proches correspond au fait que les deux points A et B ont sur la rétine des images localisées sur deux cellules voisines. Si les images des deux points impressionnent la même cellule visuelle, l'œil ne fait pas la différence.

1.4 Défauts de l'œil et correction

Par opposition à l'œil normal étudié précédemment, l'œil peut avoir des défauts, modifiant ses caractéristiques et perturbant la vision nette d'images. Nous étudierons ici les principaux défauts de l'œil humain et comment les corriger pour assurer une vision nette.

1.4.1 Hypermétropie

Un premier défaut courant de la vision est l'**hypermétropie**. Un œil hypermétrope est moins profond qu'un œil normal : au repos le foyer image est alors après la rétine ce qui signifie que le cristallin n'est pas assez convergent pour former une image nette. Ainsi, il faut accommoder pour voir nettement un objet à l'infini et le PR reste donc à l'infini : l'œil voit nettement à l'infini mais se fatigue. Pour un objet proche, cela implique que l'accommodation maximale donne un objet net plus loin que pour l'œil normal : le PP est plus éloigné.

1.4.2 Myopie

À l'inverse de l'hypermétropie, la **myopie** concerne un œil plus profond que la normale : au repos le foyer image est alors avant la rétine, cela signifie que le cristallin est trop convergent pour former une image nette. Il n'est alors pas possible de voir nettement un objet à l'infini : le PR n'est plus à l'infini. En revanche, le PP d'un œil myope est plus près celui de l'œil normal : un objet proche sera vu nettement.

1.4.3 Presbytie

La myopie et l'hypermétropie sont des défauts liés à la forme de l'œil. En revanche, la **presbytie** est un défaut lié à l'âge. Les muscles d'un œil presbyte appuient moins sur le cristallin et celui-ci est plus rigide : l'œil perd peu à peu sa capacité à s'accommoder et sa zone d'accommodation est alors réduite. Les objets proches nécessitant le plus d'accommodation sont perçus flous : le PP recule au fur et à mesure de l'âge.