

Formation des images optiques

IV - Instruments d'optique

IV.1 - L'œil

a) Un peu d'anatomie et une modélisation

L'œil est l'organe de la vision, sens qui permet à un être vivant de capter la lumière pour ensuite l'analyser et interagir avec son environnement. À titre culturel, dans le monde animal, il existe au moins quarante types d'organes visuels que l'on appelle des yeux, dont les plus simples permettent à peine de distinguer obscurité et pleine lumière.

Un schéma anatomique de l'œil humain est représenté figure 1. La lumière entre dans l'œil par la cornée, qui est une pellicule protectrice transparente. Elle traverse ensuite l'humeur aqueuse, liquide peu visqueux servant à fixer la pression mécanique s'exerçant sur la face avant du cristallin. La pupille diaphragme cette lumière, qui arrive ensuite sur le cristallin. Le cristallin est un petit disque fibreux, transparent et flexible qui permet de focaliser l'image sur la rétine. La rétine est la tunique sensible de l'œil. Elle est formée de cellules sensorielles, les cônes (vision diurne) et les bâtonnets (vision nocturne), et de cellules nerveuses, les neurones. Tous les neurones se regroupent au niveau du nerf optique, qui transmet l'information nerveuse au cerveau.

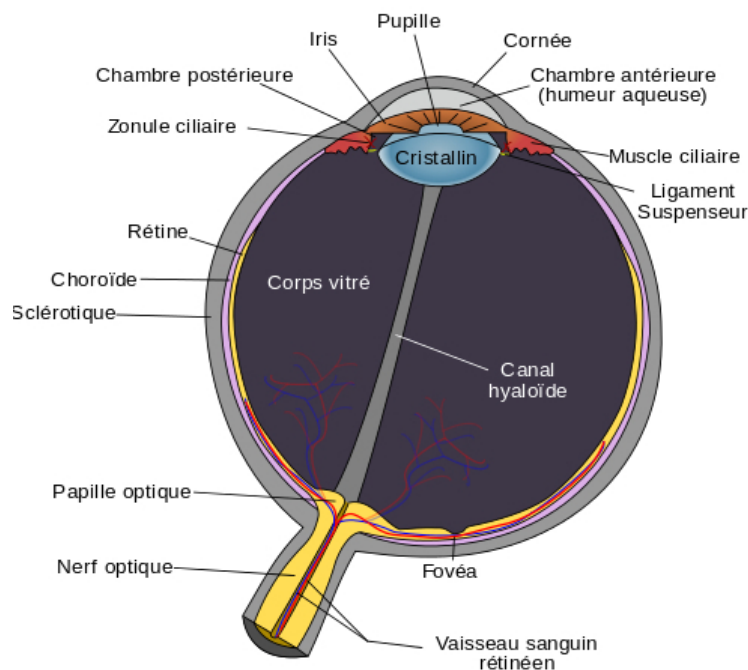
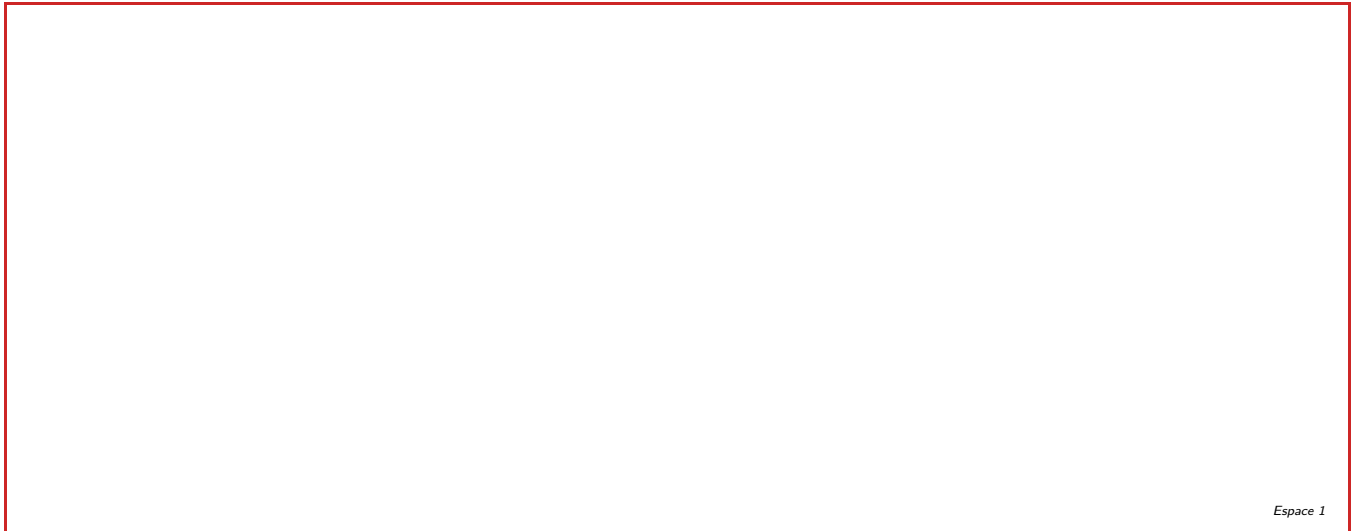


Figure 1 – Schéma anatomique de l'œil humain. Extrait de Wikipédia.

Sur le strict plan optique, les éléments les plus importants sont

- ▷ l'iris et la pupille, qui jouent un rôle analogue à un diaphragme et permettent de contrôler la quantité de lumière entrant dans l'œil ;
- ▷ le cristallin dont les déformations servent à conjuguer l'objet et la rétine, où doit se former l'image ;
- ▷ la rétine, qui sert de porte d'entrée vers le cerveau qui analyse l'image.



☹☹☹ **Attention !** C'est la focale du cristallin qui varie, mais pas la distance entre le cristallin et la rétine qui est fixée par l'anatomie à environ 1,7 cm.

b) Caractéristiques optiques

• Champ visuel

Le **champ visuel** décrit la portion d'espace visible pour un capteur optique. Il est défini comme l'angle entre les rayons extrêmes accessibles au capteur.

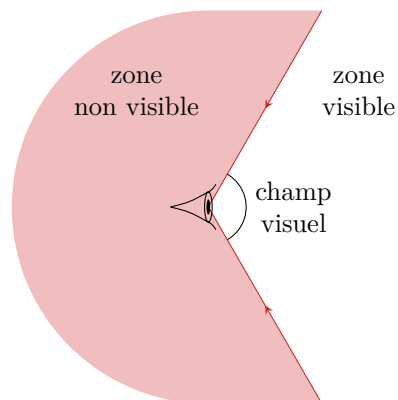


Figure 2 – Définition du champ visuel d'un capteur. Les objets situés dans la zone grisée ne sont pas visibles pour le capteur, alors que ceux situés dans la zone blanche le sont. Sur la figure, le champ visuel vaut 120° .

Ordre de grandeur pour l'œil :

- ▷ en tournant : 180° en horizontal, 150° en vertical ;
- ▷ pour un œil fixe : 10° pour une vision précise (lecture, etc.) mais 120° pour la perception du mouvement.

• Pouvoir séparateur ou acuité visuelle

Le **pouvoir séparateur** d'un capteur optique décrit sa capacité à pouvoir distinguer deux points très proches. Il est défini comme l'angle minimal que doivent former deux rayons pour pouvoir être interprétés comme provenant de deux points différents.



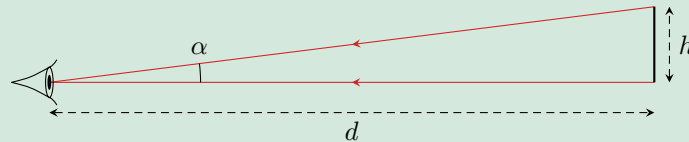
Figure 3 – Définition du pouvoir de résolution d'un capteur. Tous les points situés dans la zone grisée ne sont pas discernables par le capteur : ils seront interprétés comme un seul et unique point. Sur la figure, le pouvoir de résolution vaut 2° .

Il est assez intuitif que le pouvoir de résolution soit défini par un angle plutôt que par une longueur : on ne voit pas avec la même précision les objets éloignés et les objets proches.

Ordre de grandeur pour l'œil : environ $1'$ d'arc ($= 1/60^\circ = 0,017^\circ = 3 \cdot 10^{-4}$ rad) au centre du champ visuel et dans des conditions d'éclairage optimales.

Exercice C7 : Pouvoir de résolution et taille d'objets

Déterminer la hauteur h du plus petit objet que l'œil peut distinguer à une distance $d = 25$ cm, 5 m et 100 m.



Espace 2

À titre de comparaison, le diamètre d'un cheveu est de l'ordre de $100 \mu\text{m}$ et les lettres sur les panneaux routiers urbains sont normalisées $12,5$ cm de haut ... mais comme elles sont lues d'un véhicule en mouvement, les conditions sont loin d'être optimales.

• Plage d'accommodation

L'œil ne voit net que si l'image se forme sur la rétine. Il est simple de se rendre compte que cela n'est pas possible quelle que soit la distance à laquelle se trouve l'objet : lorsqu'on approche un crayon de son œil, il devient flou lorsqu'il est trop près.

On appelle **punctum proximum** le point le plus proche de l'œil qui est visible nettement.
On appelle **punctum remotum** le point le plus éloigné de l'œil qui est visible nettement.

Lorsque l'œil est au repos, le cristallin n'est pas contracté, c'est-à-dire qu'il est dans sa position la moins courbée. On en déduit que l'œil a alors sa focale maximale. Dans cette configuration, le plan focal image du cristallin se trouve au niveau de la rétine.

Un œil qui n'accommode pas voit au punctum remotum, qui se situe pour un œil normal à l'infini.

Remarque : Comme l'absence d'accommodation est le moins fatiguant pour l'œil, les instruments d'optique forment en général une image à l'infini, qui est vue au punctum remotum.

Si maintenant l'œil accommode « naturellement », c'est-à-dire sans avoir la sensation de forcer, il peut voir jusqu'au punctum proximum.

Le punctum proximum d'un œil normal se trouve 20 à 25 cm devant l'œil.

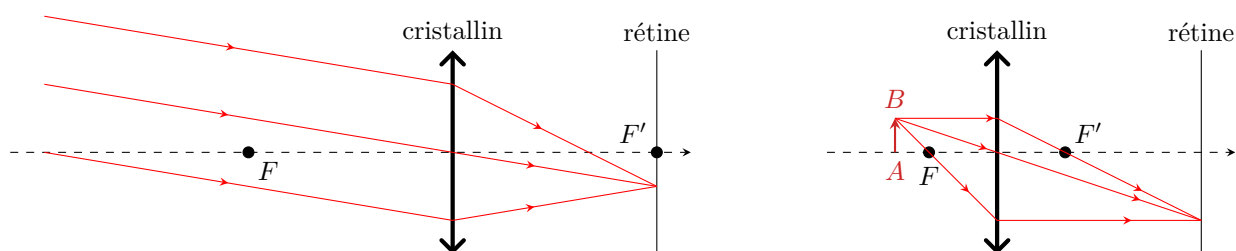


Figure 4 – Formation d'images vues au punctum remotum et au punctum proximum. Évidemment, les figures ne sont pas à l'échelle d'un œil humain.

Remarque : En forçant volontairement, on peut voir jusqu'à une distance de l'ordre de 10 cm, mais cela entraîne une forte fatigue.

🚫🚫🚫 **Attention !** Il est crucial de bien noter que la distance entre le cristallin et la rétine *ne change pas*. Seule la distance focale du cristallin peut varier.

Exercice C8 : Variations de focale du cristallin

De combien la focale du cristallin peut-elle varier lorsque l'œil accomode? Rappel : la distance entre le cristallin et la rétine est de l'ordre de 1,7 cm.

▷ Observation au punctum remotum :

Espace 3

▷ Observation au punctum proximum en forçant :

Espace 4

c) Complément culturel : défauts de vision

Un œil sans défaut est qualifié d'œil **emmétrope**.

• Myopie

Le cristallin d'un myope est trop convergent, si bien que le punctum proximum d'un myope se trouve plus près de l'œil que pour un emmétrope mais le punctum remotum n'est pas à l'infini, voir figure 5. En effet, contracter le cristallin ne peut que le rendre plus convergent que ce qu'il n'est au repos. Comme il faut rendre l'œil moins convergent, les verres de lunettes sont des lentilles divergentes dont la correction est exprimée par une vergence (le nombre de dioptries) négative.

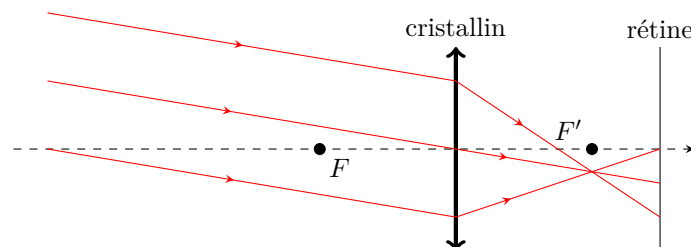


Figure 5 – Formation d'image du punctum remotum par un œil myope qui n'accomode pas.

• Hypermétropie

L'hypermétropie est l'opposée de la myopie : le cristallin d'un hypermétrope n'est pas assez convergent. Par conséquent, le punctum proximum d'un hypermétrope est plus éloigné de l'œil que celui d'un emmétrope, et un hypermétrope doit accommoder pour voir un objet à l'infini, voir figure 6. Cela entraîne une fatigue visuelle pouvant être importante et nécessiter une correction. Comme l'œil doit être rendu plus convergent, les verres de lunettes sont des lentilles convergentes, dont la correction est exprimée par une vergence positive.

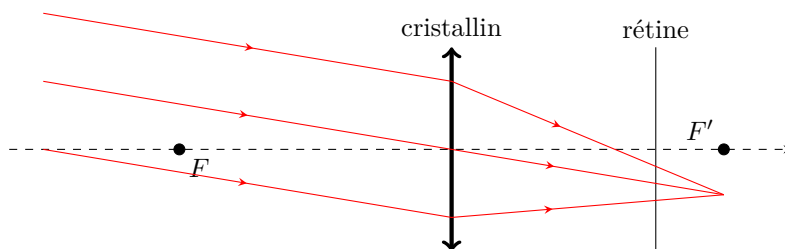


Figure 6 – Formation d'image du punctum remotum par un œil hypermétrope qui n'accomode pas.

- **Astigmatie ou astigmatisme**

Le cristallin d'un astigmate n'est plus parfaitement sphérique mais a plutôt une forme de ballon de rugby. Comme le nom de la maladie l'indique, le cristallin n'est alors plus stigmatique et les images qu'il forme sont entachées d'aberrations géométriques.

- **Presbytie**

La presbytie, d'un mot grec signifiant « vieillard » ou « ancien », est un trouble de la vision qui rend difficile la focalisation du cristallin, et donc la vision de près. Cela a pour conséquence d'éloigner le punctum proximum. Ce n'est pas une maladie mais un processus de vieillissement normal de l'œil, qui commence dès la naissance mais se manifeste classiquement entre 40 et 45 ans.

d) Taille apparente d'un objet

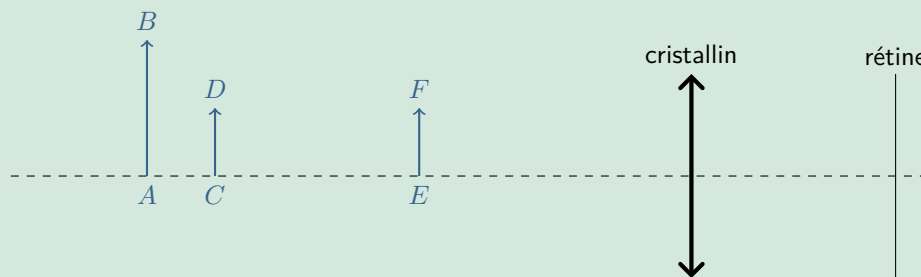
Beaucoup d'instruments d'optique ont pour finalité d'agrandir les images, ce qui mène naturellement à la question « quand un objet est-il vu grand ? ». Il est facile de se rendre compte que la question est différente de celle qui demande « quand un objet est-il grand ? » : un crayon tenu devant soi peut facilement paraître plus grand qu'une porte !

En toute logique, un objet est vu d'autant plus grand que son image sur la rétine est grande ... mais la taille de l'image dépend non seulement de celle de l'objet, mais aussi de la distance à laquelle l'objet se trouve.

Exemple :

Exercice C9 : Taille apparente d'un objet

Tracer l'image sur la rétine des trois objets représentés et comparer leur taille. Conclure : quel est le paramètre pertinent pour savoir si un objet est vu grand ou petit ?



Espace 5

Remarque : Selon le contexte, le mot « taille » peut être remplacé par hauteur, diamètre, rayon, etc.