

L'ŒIL, instrument d'astronomie

Le monde animal peut se vanter d'une grande variété au niveau de la perception des formes et des couleurs. Les possibilités d'acquisition d'une image interprétable par le cerveau sont très diverses, pour n'en citer que quelques-unes :

- Le poisson rouge est sensible à certains rayonnements UV et IR et est spécialisé dans la vue de près
- Le chat, le dauphin voient la nuit ou dans les profondeurs aquatiques sombres
- L'aigle a une résolution angulaire 3 fois supérieure à celle de l'homme
- Le lapin est capable de détecter les plus infimes mouvements
- Le caméléon a une vue sur 360°, avec deux yeux totalement indépendants
- L'araignée possède 8 yeux de divers modèles
- Les yeux de certains insectes ont une structure à facettes.

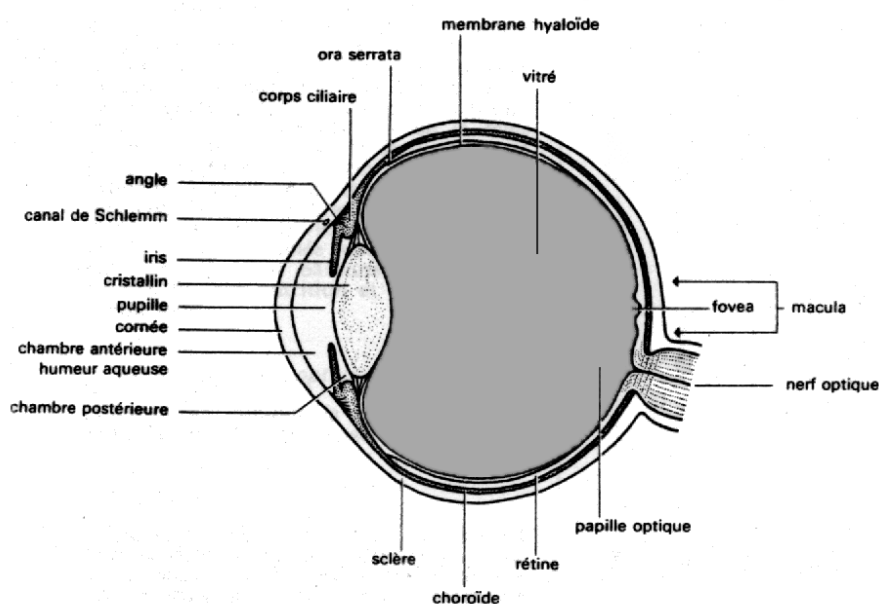
ANATOMIE DE L'ŒIL HUMAIN

Il n'est pas question ici de décrire toutes les caractéristiques anatomiques de l'œil, mais de se limiter à ce qui est utile pour comprendre et améliorer notre vision de nuit.

Pour simplifier, l'œil est composé, comme l'appareil photo qui s'en est inspiré, d'une lentille (le **crystallin**), diaphragmée par la **pupille**, et qui forme une image renversée sur la **rétine**, à la fois écran et capteur qui envoie les informations reçues au **cerveau** par l'intermédiaire du **nerf optique**.

L'ensemble cristallin-rétine est situé dans le **globe oculaire**, dont la forme sphérique est stabilisée par la pression exercée par un liquide visqueux transparent qui l'emplit (**l'humeur vitreuse ou vitré et l'humeur aqueuse**).

Coupe simplifiée de l'œil

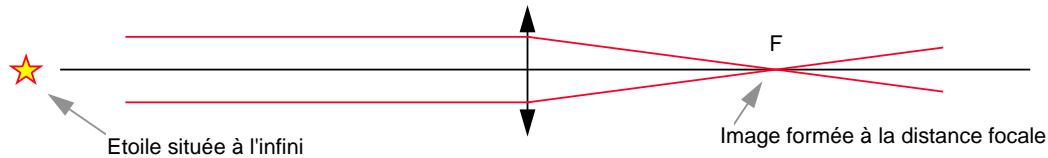


Le cristallin

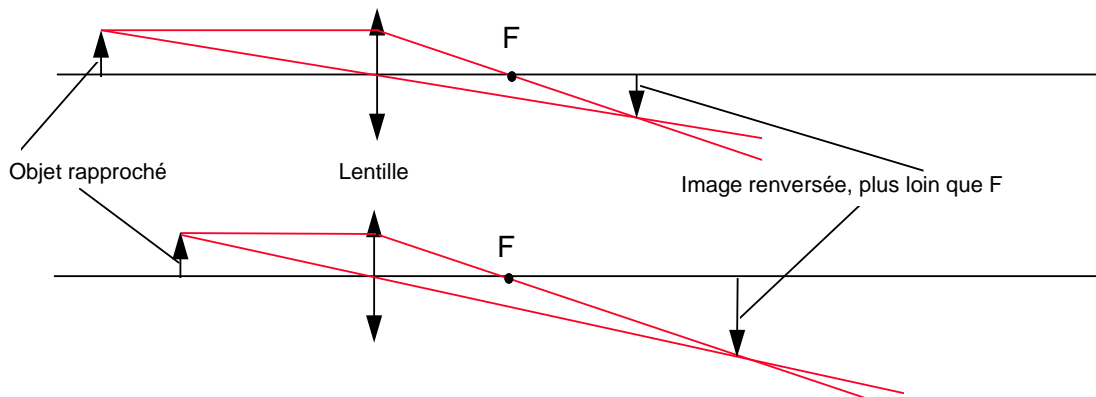
C'est la lentille convexe qui forme l'image sur la rétine. Elle est caractérisée par le diamètre de sa pupille et sa distance focale.

Elle a la particularité d'être à géométrie variable, c'est-à-dire de pouvoir, grâce aux **muscles ciliaires**, modifier à volonté sa courbure et son indice de réfraction, et donc sa distance focale. Cette possibilité s'appelle l'**accommodation**. Pourquoi devoir modifier sa distance focale ?

Construction d'une image située à l'infini :

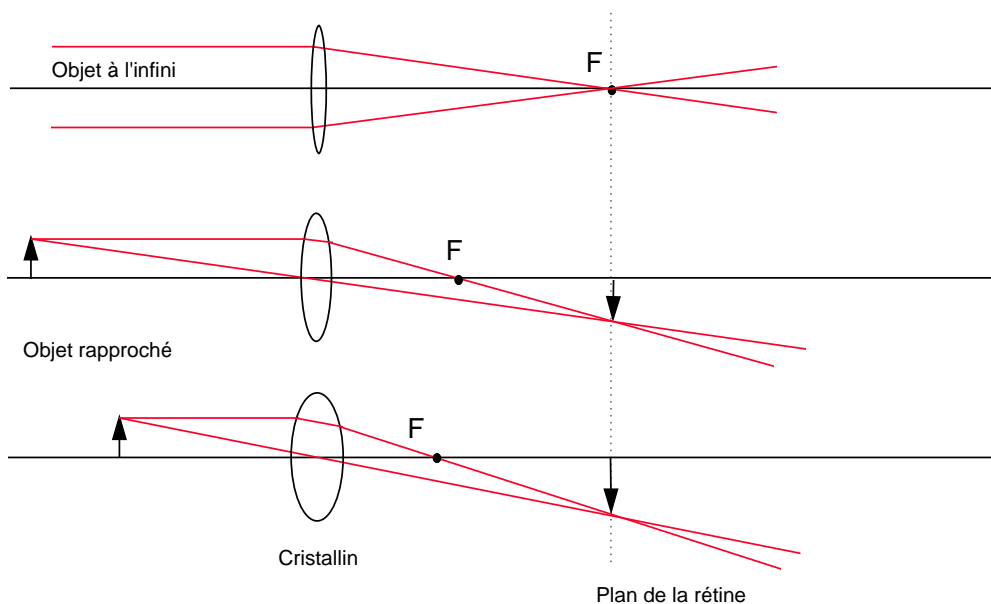


Construction d'une image d'un objet rapproché :



Pour une lentille de même focale et un même objet, plus cet objet sera rapproché, et plus son image sera éloignée du point focal F , et plus l'image sera grande, mais toujours renversée.

Si le cristallin avait une distance focale fixe, l'œil ne pourrait voir nettement que des objets situés à l'infini. L'astuce trouvée par la nature est de réduire la focale du cristallin au fur et à mesure que l'objet se rapproche, de façon à conserver l'image nette *sur* la rétine. Ceci est réalisé en contractant le cristallin grâce aux muscles ciliaires.



La pupille

L'**iris** est situé devant le cristallin et possède une ouverture circulaire en son centre, la pupille. La taille de cette ouverture est contrôlée par un muscle placé à sa périphérie. Lorsque le muscle se contracte, par réflexe en cas de forte illumination, la pupille se ferme, contrôlant ainsi la quantité de lumière pénétrant dans l'œil. Son diamètre varie de 1 mm au soleil, à 7 mm en vision nocturne.

La rétine

La rétine est la couche cellulaire sensible qui tapisse l'intérieur du globe oculaire. C'est un assemblage compliqué de cellules spécialisées, sensibles à la lumière dite visible (justement parce qu'elle impressionne la rétine). Elle est constituée de cellules réceptrices de deux types, les **cônes** et les **bâtonnets**. Ces récepteurs envoient leurs signaux au cerveau par l'intermédiaire de neurones situés également dans la rétine. Les structures nerveuses sont transparentes. Le tout cohabite avec des vaisseaux sanguins capillaires chargés d'alimenter les capteurs. Les terminaisons des neurones sont collectées dans le nerf optique. L'endroit exact où il sort de la rétine (un peu en dessous de l'axe optique du cristallin) ne comporte pas de cellules réceptrices et s'appelle la **tache aveugle de Mariotte**. La vision binoculaire et l'adaptation psychique font que cette tache n'est pas perçue.

Les **cônes** sont des cellules sensibles aux couleurs et aux fortes illuminations. Ils sont directement connectés au nerf optique et fournissent individuellement des informations au cerveau. Ils procurent une excellente acuité visuelle¹. Ils sont de plus en plus nombreux au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'axe optique du cristallin. Ce point de l'axe optique, de 2 mm de diamètre, contenant majoritairement des cônes s'appelle la **Macula**. La **Fovea** en constitue la partie centrale, ne contient aucun bâtonnet mais une forte densité de cônes très fins. Elle permet une acuité visuelle maximale dans la direction du regard. Les cônes sont absents de la périphérie de la rétine.

Les cônes contiennent un pigment brun qui sert à les protéger des très fortes illuminations. Dans ce cas, le pigment migre en surface du capteur en jouant le rôle de filtre.

Les **bâtonnets** sont sensibles aux faibles illuminations. Ils ne distinguent pas les couleurs et ont une piètre acuité visuelle car connectés au nerf optique par groupes. Ils sont situés majoritairement en périphérie de la rétine. La Fovea n'en contient pas. Inutile donc de rechercher des faibles lumières dans la direction du regard.

La sensibilisation des bâtonnets aux faibles lumières est réalisée grâce à la synthèse par la cellule d'un produit coloré appelée pourpre rétinien². La vitamine A est nécessaire à la production de ce pigment. Il n'est synthétisé que dans l'obscurité. Sa fabrication prend 10 à 15 mn, ce qui explique le délai nécessaire à l'accoutumance à l'obscurité avant de pouvoir « voir » la nuit. Les fortes lumières détruisent très rapidement le pourpre rétinien et rendent inopérants les bâtonnets.

Tout astronome amateur se doit donc :

- 1 - de manger des carottes ou des myrtilles ou tout autre aliment (comme le beurre, l'abricot ou l'épinard) qui contiennent du bêta-carotène, précurseur de la vitamine A (rétinol).
- 2 - de respecter un délai de 10 à 15 mn dans l'obscurité avant de faire des observations correctes.
- 3 - de proscrire toute lumière blanche forte pendant les observations. C'est pour cette raison qu'une lampe frontale rouge est utile sur le terrain. Attention toutefois à limiter la puissance de cette lampe. Une lampe rouge trop forte détruit la Rhodopsine.
- 4 - d'observer les objets faibles en vision décalée. En effet, les bâtonnets n'existent pas dans la direction du regard. Évidemment, éviter la tache aveugle.

¹ L'acuité visuelle est la possibilité de percevoir de fins détails. Elle dépend du diamètre de la pupille, mais aussi et surtout de la densité des capteurs de la rétine et de la faculté d'intégration du cerveau.

² C'est la Rhodopsine, composée de Rétinène (ou rétinol) et d'Opsine

Remarques

La dilatation de la pupille et l'accommodation du cristallin varient d'un individu à l'autre, mais surtout selon l'âge du sujet. Chez l'adulte, plus les années passent, plus le diamètre maximal de la pupille diminue (5, voire 4 mm), et plus l'accommodation est difficile, jusqu'à être impossible aux courtes distances. Un jeune enfant voit net à 6 cm. Cette distance passe à 15 cm à 30 ans, et à 40 cm à 50 ans. Ce vieillissement, rendant rigides les cellules du cristallin s'appelle la presbytie.

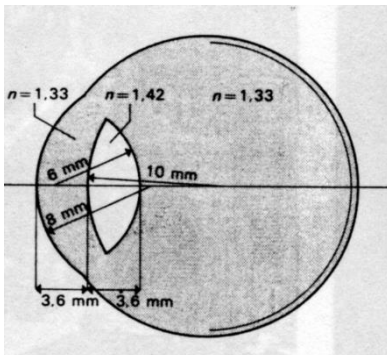
*Voir près contracte des muscles (accommodation)
Voir beaucoup de lumière contracte aussi des muscles (ceux de la pupille)
Donc, faire de l'astronomie à l'œil nu repose...*

Le globe oculaire a un diamètre, chez l'homme adulte, variant de 23 à 25 mm. La distance focale du système cristallin + cornée est d'environ 17 mm⁽³⁾. La pupille, entre le soleil et la nuit, passe de 1 à 7 mm, ce qui donne un rapport F/D variant entre 2,4 et 18. La résolution angulaire théorique correspondante est de 20" (pupille à 7 mm) à 2' d'angle (pupille à 1 mm). D'autres considérations, en particulier concernant la densité des bâtonnets, font que cette résolution maximale de 20" n'est jamais atteinte en astronomie à l'œil nu.

L'œil en quelques chiffres

Tous les chiffres sont donnés pour un œil moyen, non malade.

L'indice de réfraction du cristallin varie à l'intérieur de celui-ci et selon accommodation. La valeur 1,42 est une moyenne au repos.



Volume du globe oculaire :	6,5 cm ³
Poids :	7 grammes
Diamètre du globe oculaire :	24 mm
Diamètre du cristallin :	10 mm
Focale du cristallin seul :	4,6 mm
Focale du système oculaire :	17 mm
Surface de la rétine :	1 250 mm ²
Nombre de cônes :	6 500 000
Nombre de bâtonnets :	130 000 000
Épaisseur de la couche des récepteurs :	40 microns

L'ŒIL SIDERAL

Connaissant le mode de fonctionnement de l'œil humain, Bill Parkyn, dans un article de *Sky and Telescope* de juin 1994 s'est livré à un intéressant exercice intellectuel consistant à optimiser l'œil pour en faire un instrument spécialisé en astronomie. Il a conservé la géométrie générale de l'organe, en y adjoignant quelques améliorations surprenantes. Il s'est borné à réorganiser l'existant, sans toucher aux circuits nerveux, ni à l'interprétation que le cerveau fait des messages reçus. Seuls seront adaptés l'optique et les capteurs.

Transparence

La première amélioration consiste à augmenter la transparence à la lumière. Dans l'œil normal, seulement 10 % de la lumière pénétrant atteint les récepteurs de la rétine. Les causes de ces pertes sont bien connues : différentes membranes intermédiaires, diffractions, dispersions dans les différents fluides, dans la rétine⁴...

³ Soit une puissance de 60 dioptries

⁴ La rétine est formée de 10 couches cellulaires superposées

Enlevons donc ces membranes et remplaçons l'humeur vitreuse et l'humeur aqueuse par un fluide plus transparent. La transmission optique passe alors à 80 %, diminuant ainsi le seuil de sensibilité de 2 magnitudes. Au passage, une meilleure transparence améliore d'autant le contraste des images.

Ouverture

Après l'amélioration des possibilités optiques, l'ouverture de la pupille rendra l'image plus brillante et plus fine dans ses détails. Afin d'éviter toute chirurgie crânienne défigurant notre astronome sidéral, l'ouverture maximale admissible pour la pupille passera à un maximum de 20 mm, compte tenu de la taille naturelle de l'œil. Le rapport F/D devient égal à $25/20 = 1,25$. La résolution angulaire théorique passe à 7 secondes d'arc. 2,5 magnitudes sont encore gagnées.

Lentille

Bien entendu, le cristallin est un triplet asphérique, aux indices de réfraction ajustés pour limiter la diffraction, les aberrations chromatiques et les réflexions parasites.

Capteurs

La rétine n'est plus composée que de bâtonnets reliés individuellement au nerf optique. La couche de capteurs est placée sur la face interne de la rétine, alimentée par les capillaires et reliés aux neurones par l'extérieur. On obtient donc une rétine en deux couches principales : les capteurs en direction de la lumière, sans intermédiaire, et en dessous, l'alimentation et la transmission des informations. Ceci permet une forte densité de capteurs répartis sur toute la surface de la rétine, avec une accumulation dans l'axe du regard. L'acuité est fortement améliorée, et présente dans tout le champ visuel. Le point aveugle n'existe plus, de même que la fovea. La vision décalée n'est plus nécessaire. La résolution théorique est atteinte.

Les bâtonnets sont devenus sensibles aux couleurs, avec un spectre étendu aux proches Ultraviolets et Infrarouges.

Afin de protéger les capteurs des trop fortes lumières, on peut adjoindre une paupière à opacité variable, amovible comme chez les félins.

Performances

L'œil sidéral ainsi réalisé permettrait de distinguer, sur un bon site de montagne, des objets de magnitude 11 (soit un gain de 4,5 magnitudes) en couleurs, avec une résolution de moins de 10 secondes d'arc et un spectre agrandi vers l'Infrarouge et l'Ultraviolet.

Imaginons donc, à l'œil nu, les bandes de Jupiter et ses satellites, les phases de Venus, les astéroïdes les plus gros, les comètes, les aurores boréales ou les pluies d'étoiles filantes permanentes. Côté ciel profond, la galaxie d'Andromède laisse voir des détails dans ses bras spiraux, les amas d'étoiles apparaissent en couleurs. Les deux photos ci-dessous donnent une idée de la différence avec un œil ordinaire...



Vision normale



Même région vue par l'œil sidéral

Quelques inconvénients

En contrepartie, cet œil adapté à l'obscurité présente quelques inconvénients de taille !

- Accommodation n'est plus possible. Le port de lunettes est obligatoire pour voir de près.
- La vision de jour est faussée, voire impossible du fait d'une illumination trop forte. Obligation de porter des filtres.
- La Lune est trop brillante pour être observée sans filtre.
- Les oculaires des instruments astronomiques doivent être adaptés avec une pupille de sortie de 20 mm et un champ apparent de 60 °.

JP. MARATREY - Mai 1998 – MAJ 2017