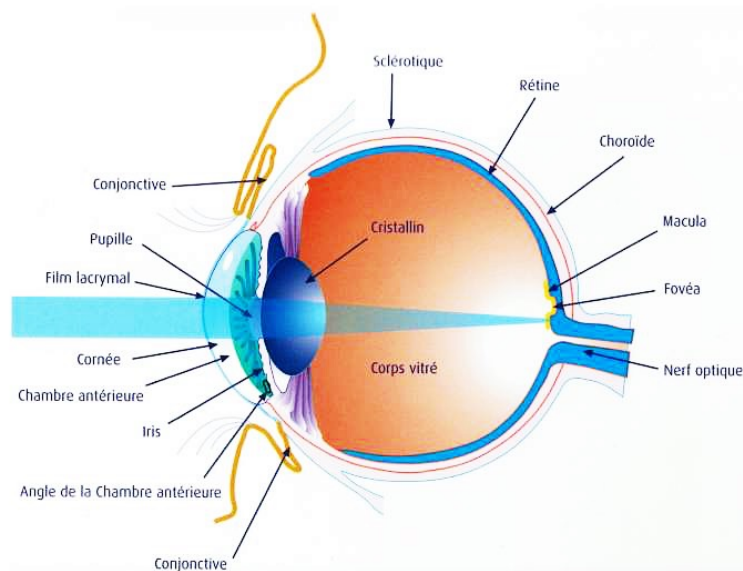


L'oeil



L'œil est un capteur très performant. Il suffit d'une dizaine de photons sur une cellule réceptrice de la rétine pour déclencher [l'influx nerveux](#) sur le nerf optique. En revanche, c'est un capteur lent. Les variations rapides de flux lumineux sont indétectables à l'œil. C'est le principe du cinéma : à 25 images par seconde, nous avons une impression de continuité.

À l'avant de l'œil, **la cornée** est une sorte de fenêtre transparente dure, d'indice de réfraction $n = 1,376$ qui laisse pénétrer la lumière dans l'œil. Sa courbure (≈ 12 mm) assure les 2/3 de la réfraction.

Le cristallin, sorte de lentille convergente souple, sépare l'intérieur de l'œil en 2 compartiments inégaux : à l'avant de l'œil, **l'humeur aqueuse** ($n=1,336$) et à l'arrière **l'humeur vitrée**, sorte de gelée dont l'indice de réfraction est voisin de celui de l'humeur aqueuse. Ces liquides transparents, outre leur contribution à la réfraction, ont pour effet de maintenir la forme du globe oculaire en y maintenant une certaine pression.

Situé devant le cristallin, **l'iris** coloré joue le rôle de diaphragme. La lumière le traverse par un orifice circulaire, apparemment noir, **la pupille** dont le diamètre peut varier de 2 mm en pleine lumière à 8 mm en vision nocturne.

Notons qu'un rapport de 4 sur les diamètres des diaphragmes correspond à un facteur 16 sur l'intensité lumineuse qui pénètre dans l'œil. Si, en plus, on tient compte de l'adaptation de la sensibilité des cellules de la rétine à la lumière ambiante, on évalue à un million le rapport des intensités lumineuses que l'œil peut percevoir.

Le fond de l'œil est tapissé par une membrane noire, riche en vaisseaux sanguins, la choroïde, elle-même recouverte par **la rétine**, écran mince (0,5 mm) transparent, sensible à la lumière dans sa partie arrière. La rétine est tapissée de cellules photosensibles, **les cônes (sensibles à la couleur)** qui assurent l'essentiel de la vision diurne ou photonique, et **les bâtonnets** actifs en lumière faible. **La fovéa** ou fosse centrale, située légèrement en dehors de l'axe optique, est la partie de la rétine sur laquelle sont perceptibles au mieux les petits détails de l'image. Son diamètre est d'environ 0,22 mm. **La tache aveugle** est dépourvue de cellules photosensibles et correspond à la connexion du nerf optique sur le fond de l'œil.

Les mécanismes de la vision.

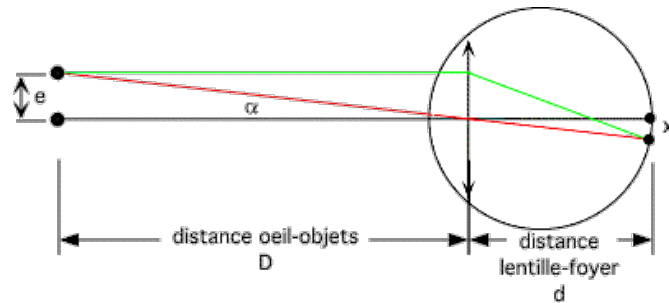
La répartition sur la rétine des cônes et des bâtonnets n'est pas homogène. Les cônes, qui assurent la vision diurne sont concentrés dans la région de l'axe optique et de la fovéa. Ils sont relativement peu sensibles à la lumière, mais réagissent aux différentes longueurs d'onde, permettant ainsi **une vision des couleurs**.

En cas de faible éclaircissement (vision nocturne par exemple), les cônes deviennent inefficaces et passent le relais aux cellules en bâtonnets, beaucoup plus sensibles à la lumière. En revanche, ces bâtonnets réagissent en « **niveau de gris** » et ne permettent qu'une vision très approximative des couleurs et seulement des objets les plus lumineux : la nuit, tous les chats sont gris !

Cette très grande sensibilité des bâtonnets est due à la présence dans leur corps cellulaire d'un dérivé de la vitamine A, **le pourpre rétinien**, qui est immédiatement détruit par une lumière vive et ne se reconstitue, dans l'obscurité qu'après une vingtaine de minutes. La vision nocturne est donc fortement entravée en cas d'éblouissement. C'est la raison pour laquelle il est impératif, lors des observations nocturnes du ciel, de se méfier de toute lumière parasite, et de doter les lampes de poche d'un **filtre rouge**, puisque le rouge est la seule couleur qui préserve le pourpre rétinien.

Les bâtonnets présentent une concentration maximale dans une région située à environ 20° de part et d'autre de la fovéa. De ce fait, si l'on désire observer un détail fin, ou détecter une étoile très peu lumineuse, il ne faut pas centrer sa vision sur l'objet, mais au contraire détourner son regard, en déplaçant légèrement l'œil dans l'oculaire.

La limite de résolution de l'œil



Dans la fovéa, la dimension des cônes utilisés pour la vision est de l'ordre de 4 à 5 microns. Si on admet que l'on ne peut distinguer 2 images ponctuelles que si elles se forment sur 2 cônes distincts, elles devront donc être séparées, sur la rétine, par au moins 5 microns. Comme la distance entre le cristallin et la rétine est de l'ordre de 17 mm, la limite de résolution α de l'œil est d'environ une minute d'arc :

$$\tan \alpha = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mm} / 17 \text{ mm} \Rightarrow \theta = 0,0169^\circ = 1'$$

Elle correspond approximativement à l'angle sous lequel on voit l'épaisseur d'un cheveu à bout de bras.

Puissance dioptrique (ou vergence)

On appelle puissance dioptrique D l'inverse de la distance focale :

$$D = 1/f \quad \left[\frac{1}{m} \right] = [m^{-1}] = [\text{dioptrie}]$$

Une lentille a une grande puissance si elle fait dévier (converger) fortement la lumière et c'est bien le cas si elle a une petite distance focale. La puissance d'une lentille s'exprime en dioptries (D)

Ex : cristallin de 1,7 cm de distance focale $\rightarrow D = \dots\dots$

Systèmes de lentilles

Lorsque que l'on approche 2 lentilles de distance focale f_1 et f_2 l'une de l'autre jusqu'à ce qu'elles soient **accollées**, la distance focale du système composé s'écrit :

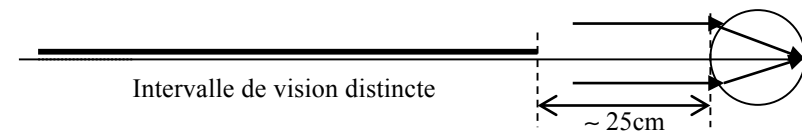
$$1/f = 1/f_1 + 1/f_2$$

On a donc

$$D = D_1 + D_2$$

Ce sera par exemple le cas lorsqu'une personne porte des lunettes ou des verres de contact.

Œil nominal et amplitude d'accommodation



L'**œil nominal** est l'œil standard, fonctionnant sans problème. Un tel œil perçoit des images nettes entre 25 cm et l'infini. La distance la plus proche où un objet est vu avec netteté est appelée le **punctum proximum** (PP) et vaut au maximum 25 cm pour un œil nominal.

La position pour qu'un objet soit net sans accommodation est appelée le **punctum remotum** (PR). On dit d'un œil qui voit des images nettes d'objets à l'infini sans avoir à contracter ses muscles ciliaires et donc sans accommodation qu'il est **emmétrope**. Il faut préciser que l'infini pour un œil correspond à quelques mètres. Ainsi, beaucoup d'objets de la vie quotidienne sont à l'infini, permettant à l'œil de voir sans solliciter ses muscles ciliaires et d'éviter la fatigue oculaire.

Lorsqu'un œil nominal observe un objet situé à l'infini, le cristallin est bombé au minimum, sa distance focale est maximale et sa puissance dioptrique est minimale :

Si l'objet se rapproche, le cristallin se bombe. En effet, comme s_0 diminue, si la distance focale de la lentille était constante, s_i augmenterait et l'image se formerait derrière la rétine et serait floue. En changeant sa courbure (accommodation), il diminue sa distance focale et permet de conserver l'image sur la rétine. Lorsque l'objet arrive au niveau du PP, le cristallin est bombé au maximum, la distance focale est minimale et la puissance dioptrique est maximale (s'il l'on approche encore l'objet, la lentille ne parvient plus à focaliser les rayons correctement et l'objet apparaît flou) :

L'amplitude d'accommodation, noté A_{acc} , est définie comme la différence entre la vergence maximale et la vergence minimale :

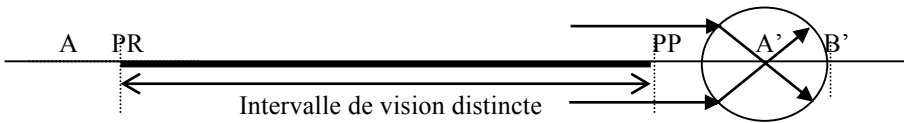
Elle représente les limites d'accommodation que peut produire le cristallin lorsque celui-ci se bombe. Cette amplitude diminue graduellement avec l'âge.

Défauts de l'œil

Myopie.

Les myopes voient bien les objets rapprochés, mais ce qui est éloigné ne produit qu'une image floue. L'œil est trop convergent, la distance focale du cristallin est trop petite et l'image se forme avant la rétine (point A' sur le schéma). Ce défaut résulte souvent du fait que le globe oculaire est un peu trop allongé.

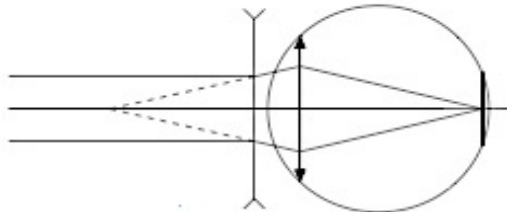
Si l'objet se déplace vers l'œil, son image se déplace dans le même sens et lorsque l'objet est au PR, l'image se situe en B', sur la rétine. Après le PR, l'accommodation joue son rôle, celle-ci cessera plus tard que normalement et sa limite se trouvera donc plus près de l'œil. (punctum proximum < 25 cm).



En résumé, l'image d'un objet situé à l'infini pour un œil normal apparaît devant la rétine

⇒ PR moins éloigné qu'un œil normal.

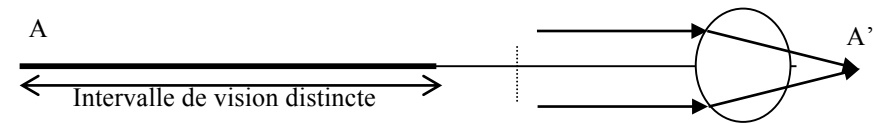
Idée : un objet situé à l'infini ($PR_{\text{œil normal}}$) devrait apparaître au PR de l'œil myope grâce à une lentille divergente. Le PR de l'œil nu myope doit être le foyer de la lentille divergente.



En résumé, la lentille divergente produit une image virtuelle au PR de l'œil myope lorsque l'objet est à l'infini. Dans ce cas, l'ajout d'une lentille divergente éloigne à la fois le PR et le PP.

Hypermétropie

Lorsque l'œil n'est pas assez convergent à cause d'une trop faible courbure de la cornée ou d'un œil trop court, l'œil a besoin d'accommoder pour produire une image d'un objet à l'infini. Sans accommodation, l'image de A (c'est-à-dire le point A') se forme au-delà de la rétine. Dans ce cas, l'accommodation joue son rôle immédiatement mais elle atteint plus vite sa limite et le punctum proximum est donc plus éloigné de l'œil.



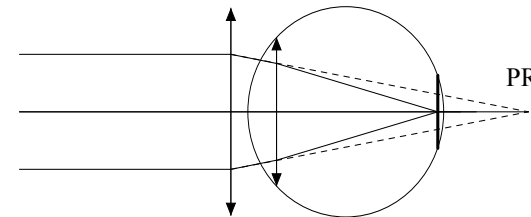
En fait, l'hypermétrope peut corriger seul le défaut en contractant son cristallin de façon à le rendre plus convergent : l'œil est alors obligé d'accommoder en permanence, ce qui le fatigue et peut provoquer des maux de tête fréquents.

L'image d'un objet situé au PP d'un œil normal ($d = 25$ cm) apparaît derrière la rétine.

⇒ PP plus éloigné que celui de l'œil normal.

Idée : un objet situé à 25 cm de l'œil ($PP_{\text{œil normal}}$) doit apparaître (image virtuelle – effet loupe) au PP de l'œil hypermétrope grâce à une **lentille convergente**.

Il nous faut également comprendre que le PR d'un œil hypermétrope se situe derrière la rétine, comme le montre la figure ci-dessous. Le verre correcteur a donc un double rôle : il approche le PR et le PP de l'œil.



Notons que le verre correcteur ne modifie pas l'amplitude d'accommodation car cette dernière est une caractéristique liée au cristallin.

Presbytie

Il en est de même des presbytes, qui, par suite de l'âge, ont un cristallin moins élastique. Le PP s'éloigne et la vision des objets proches devient difficile (on éloigne le journal par exemple). Il faut corriger avec des verres convergents pour la vision de près.

Si la personne était déjà myope ou hypermétrope, elle devra porter des verres « progressifs » ou « à double foyer », l'œil devant être corrigé différemment pour la vision au loin et pour la vision de près.

Astigmatisme

Finalement, il existe également un troisième défaut, qui peut être combiné à la myopie ou à l'hypermétropie. C'est l'astigmatisme. Ce défaut est causé par une cornée qui n'est pas sphérique. La réfraction par la cornée dépend alors de l'endroit où les rayons le frappent. L'astigmatisme produit des images déformées : une série de lignes parallèles va paraître courbe pour un œil astigmaté. Pour corriger ce défaut, il faut utiliser des lentilles cylindriques.

Exercices

1.- Un myope voit flou tout objet situé au-delà de 2m.

Quel doit être le type de lentille de contact et quelle doit être sa puissance pour corriger sa vue ?

2.- Depuis qu'elle est enfant, Mylène est myope.

Sans verres correcteurs, elle est incapable de voir nettement les objets situés au-delà de 1,02 m.

Elle a aujourd'hui 50 ans et son amplitude d'accommodation est de 3,3 dioptries.

- a) On désire savoir si elle a besoin de verres correcteurs pour lire
- b) On aimerait corriger sa myopie avec une paire de lunettes. Quelle doit être la puissance dioptrique des lunettes ?

3.- Un ophtalmologiste trouve qu'une personne hypermétrope a son punctum proximum à 125 cm. Quelle doit être la puissance des verres de contact pour ramener ce point à la distance normale de 25 cm ?