

Optique Géométrique

Partie 4

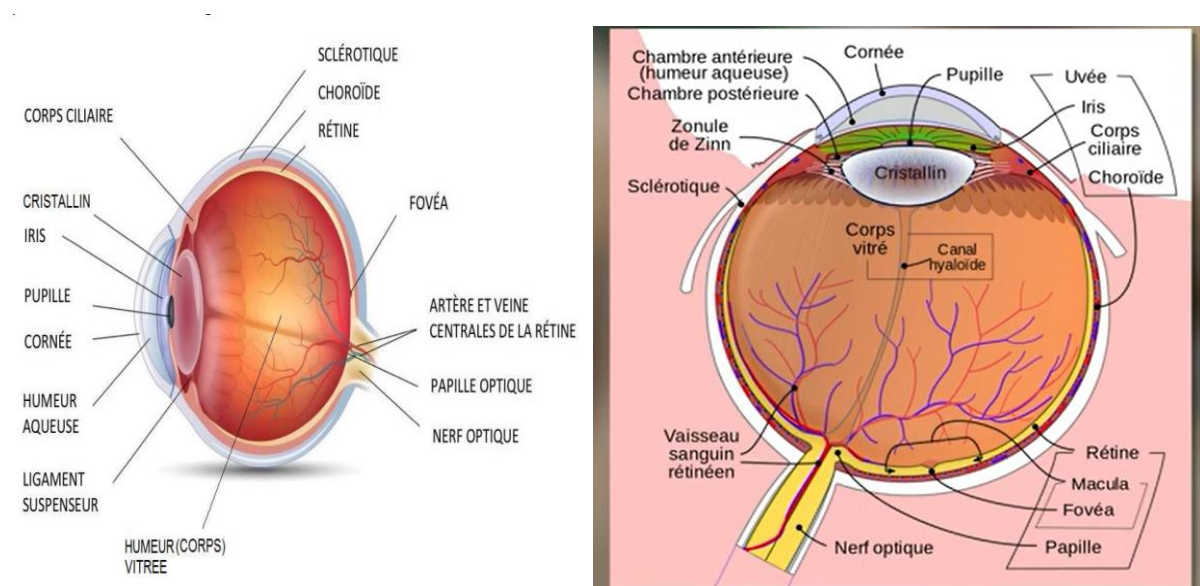
Instruments optiques projectifs: L'œil humain et la vision

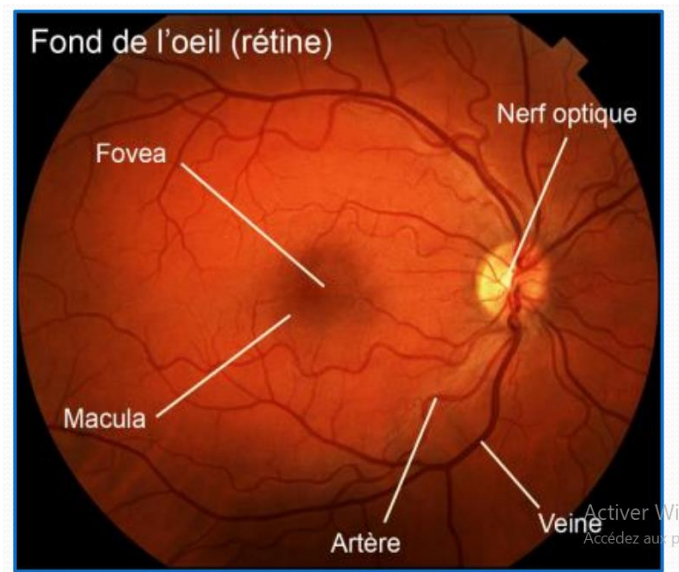
La vue est le plus sollicité de nos cinq sens. Elle nous permet de percevoir les couleurs, les formes, les positions. Elle est essentielle pour intégrer et apprécier le monde qui nous entoure. La vue est un bien précieux, l'œil en est le premier vecteur.

L'œil est un organe principal du système visuel, il capte les images et les transforme en signal électrique. Ce signal est ensuite transporté par le nerf optique où il est « traduit » au niveau du cortex visuel, qui nous renvoie l'image traitée et permet ainsi l'interprétation de notre environnement.

L'œil humain est un globe de 22 à 25 mm de diamètre qui pèse 7 à 8 grammes. [Le globe oculaire est d'une forme à peu près sphérique avec un diamètre moyen de 23mm, (24mm de profondeur, et environ 22mm de largeur)]. Il est mobile grâce à six (06) muscles extra-oculaires et est constitué d'une vingtaine d'organes vivants, tous essentiels pour voir correctement: rétine, iris, cornée, cristallin, etc.

Anatomie de l'œil.





L'œil présente un maximum de sensibilité au niveau de la tache jaune (Fovéa)

-**La sclérotique** est une membrane blanche, opaque et très résistante. Elle forme le "blanc" de l'œil. Elle est limitée à l'avant de l'œil par la cornée.

-**La cornée** est un tissu transparent situé sur la partie antérieure de l'œil, elle a la forme d'une lentille sphérique (convexe-concave) qui transmet la lumière au cristallin; c'est l'élément le plus convergent de l'œil. Elle n'est pas vascularisée (ce qui explique qu'elle ne saigne pas), mais est très innervée.

-**La choroïde** : qui a pour fonction d'absorber toute lumière parasite; et joue le rôle de la chambre noire d'un appareil photographique.

C'est un tissu du globe oculaire, richement vascularisé qui recouvre l'intérieur de la sclérotique. C'est la membrane nourricière de l'œil. Elle se transforme en avant de l'œil en muscle ciliaire. Ce dernier se transforme à l'avant de l'œil en iris et en ligaments suspenseurs du cristallin. L'iris est un muscle qui a la forme d'un disque qui comporte un trou en son centre que l'on appelle la pupille et qui laisse passer la lumière vers le cristallin. Le diamètre de la pupille varie selon l'intensité de la lumière (2-8 mm).

-**Le corps ciliaire** : c'est la partie antérieure de la choroïde, sur lequel est attaché le cristallin grâce à une série de ligaments. Il joue un rôle fondamental dans la sécrétion de l'humeur aqueuse et l'accommodation de la vision.

-**Le cristallin** : Le cristallin est une lentille non homogène et élastique d'épaisseur variable et de diamètre 10 mm constituée de couches. Son indice de réfraction varie entre 1,35 sur les bords à 1,42 sur l'axe. Son élasticité est primordiale dans le mécanisme de la vision.

-**L'iris** : est une membrane en forme de disque perforée en son centre. Il constitue la partie colorée de l'œil. Le trou en son centre appelé la pupille laisse passer la lumière vers le cristallin. Le diamètre de la pupille varie selon l'intensité de la lumière (2-8 mm).

-**L'humeur aqueuse** : c'est un liquide transparent d'indice de réfraction $n=1,336$. Elle remplit la chambre antérieure de l'œil (espace entre la cornée et le cristallin). Elle apporte les nutriments destinés à la cornée et au cristallin et a aussi pour rôle de maintenir la pression intraoculaire et la forme du globe oculaire.

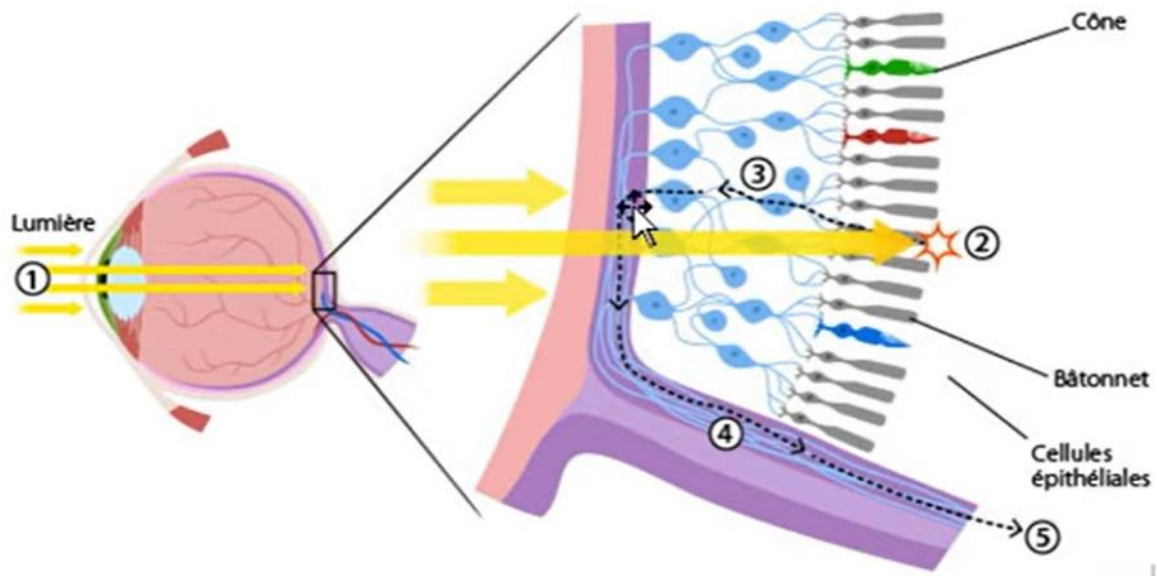
-**L'humeur (le corps) vitrée** : c'est une substance transparente et gélatineuse d'indice de réfraction 1,336 et qui remplit la chambre postérieure de l'œil.

-**La rétine** : est une mince membrane qui recouvre une grande partie de la surface interne du globe oculaire. Sensible à la lumière, elle est composée de cellules photosensibles (cônes et bâtonnets) et de neurones qui transmettent les signaux électriques au cerveau.

La rétine centrale contient la macula et la fovéa. Elle est vascularisée par l'artère et la veine centrales de la rétine.

- **les cônes**, principalement situés dans la rétine centrale (macula), sont responsables de la vision des couleurs, des formes des détails, et sont associés à la vision de jour.

- **les bâtonnets**, principalement situés dans la rétine périphérique, sont beaucoup plus sensibles à la lumière, responsables de la vision des contours et des mouvements, et sont associés à la vision en basse luminosité.

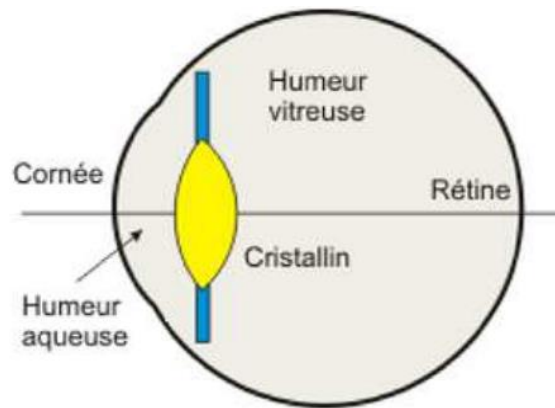


-**Le nerf optique** : Il débute au niveau de la papille optique et permet d'envoyer les informations visuelles de la rétine au cerveau.

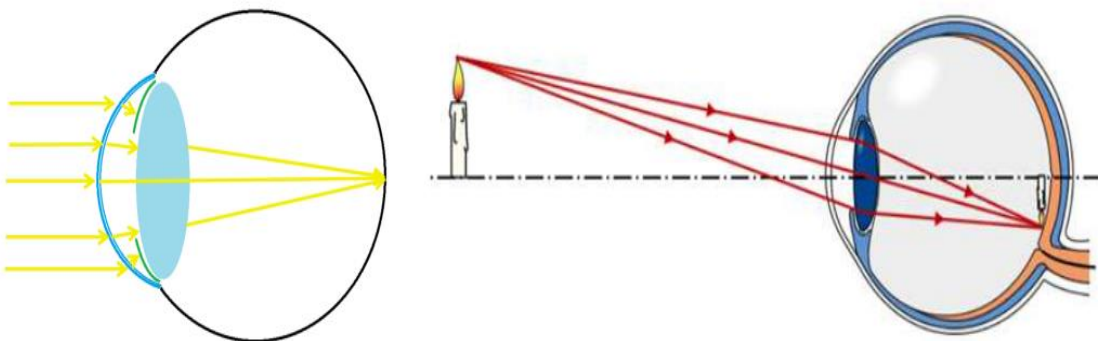
L'œil humain :

LA VISION :

D'un point de vue optique, les organes de l'œil qui sont impliqués dans la formation des images sont : **la cornée, le cristallin, l'humeur aqueuse, l'humeur vitrée et la rétine.**

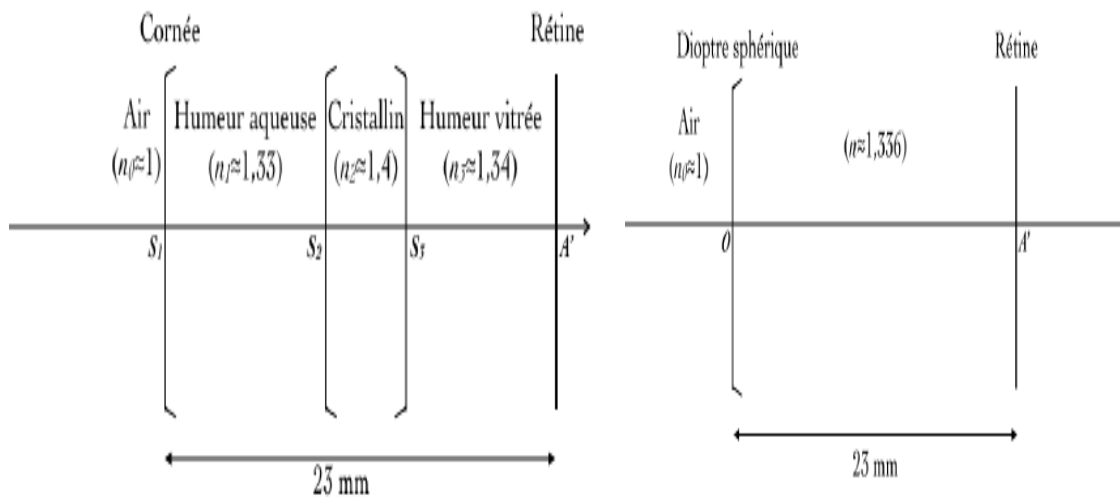


Trajectoire de la lumière dans l'œil et formation d'une image.



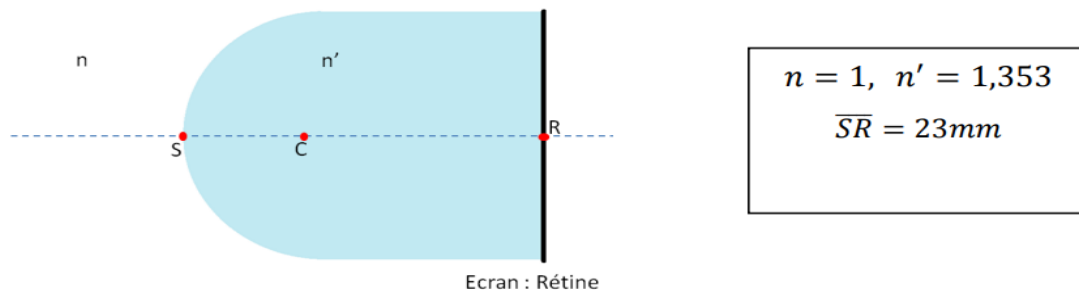
Les rayons de lumière traversent d'abord la cornée qui les fait converger une première fois. Ensuite ces rayons traversent l'humeur aqueuse. Une partie de ces rayons est arrêtée par l'iris alors que l'autre partie pénètre par la pupille et traverse le cristallin. Ce dernier fait converger les rayons une dernière fois. Les rayons traversent ensuite l'humeur vitrée pour enfin arriver à la rétine. Pour que l'image soit nette, il faut qu'elle soit formée sur la rétine, sinon elle sera floue.

L'œil est un système optique composé de plusieurs dioptries sphériques (air-cornée, cornée-humeur aqueuse, humeur aqueuse-cristallin et cristallin-humeur vitrée) ou bien composé de deux lentilles (cornée et cristallin) qui sont entourées de différents milieux (air, humeur aqueuse et humeur vitrée). Ce qui rend l'étude de l'œil d'un point de vue optique assez complexe.



Pour simplifier les choses, on peut remplacer l'œil par des systèmes optiques équivalents, mais beaucoup plus simples. Ces systèmes optiques équivalents sont **le modèle réduit du dioptre sphérique** et **le modèle simplifié de la lentille**.

Modèle réduit du dioptre sphérique (Listing). Ce modèle est constitué d'un dioptre sphérique convexe et d'un écran. Le dioptre sépare l'air d'un milieu dont l'indice de réfraction est égal à 1,353. Il joue le rôle de la cornée et du cristallin. L'écran joue le rôle de la rétine. La distance dioptre sphérique-rétine $\overline{SR}$ est égale à 23 mm. Le rayon de courbure $\overline{SC}$ du dioptre est variable.

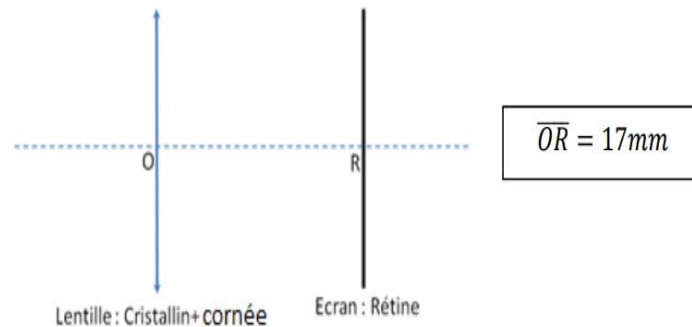


Lorsque l'œil est emmétrope (normal) et au repos :

$$\overline{SC} = 6\text{mm}$$

$$\overline{SF'} = \overline{SR} = 23\text{mm}, \quad \overline{SF} = -17\text{mm}$$

Modèle simplifié de la lentille : Ce modèle est constitué d'une lentille convergente et d'un écran séparés d'une distance de 17 mm. La distance focale de la lentille est variable.

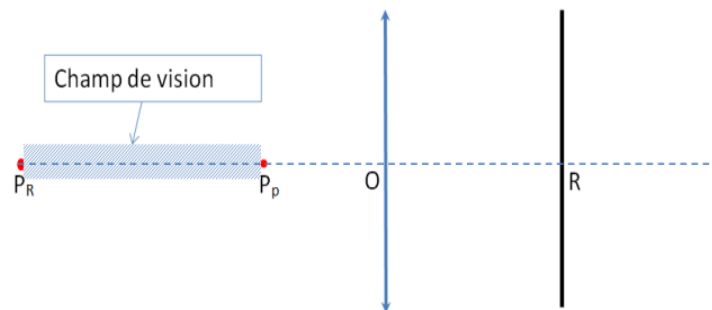


Lorsque l'œil est emmétrope (normal) et au repos : $\overline{OF'} = \overline{OR} = 17\text{mm}$

Champ de vision:

- Le Punctum Remotum (P_R) d'un œil est le point le plus éloigné que peut voir l'œil nettement. Le PR est réel s'il est situé dans l'espace objet, sinon, il est virtuel.
- Le Punctum Proximum (P_P) est le point le plus proche que peut voir l'œil nettement.
- Le champ de vision est l'intervalle $[P_R; P_P]$. Il détermine les différentes positions où la vision est nette. En dehors de cet intervalle la vision est floue.

Champ de vision d'un œil emmétrope (normal et sans défaut): $[-\infty, -20\text{cm}]$



Accommodation de l'œil :

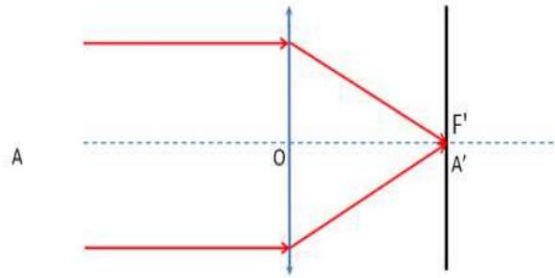
Supposons que l'on a une lentille convergente derrière laquelle on a placé un écran sur la position de son foyer image F' . D'après la relation de conjugaison pour les lentilles

on a : $\overline{OA'} = \frac{1}{V + \frac{1}{\overline{OA}}}$ et la vergence d'un œil normal $V = V_{\text{cornée}} + V_{\text{cristallin}}$

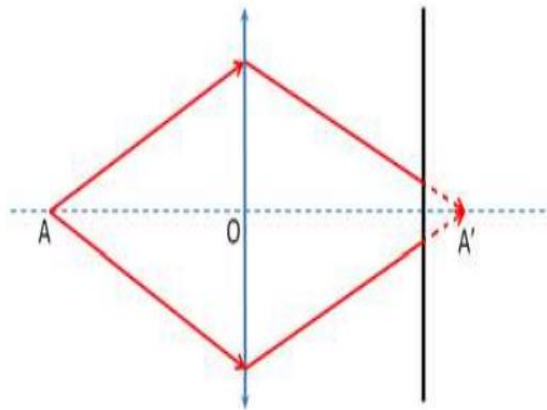
$V_{\text{cornée}} = 20\delta$ et $V_{\text{cristallin}} = 40\delta$ alors $V = 60\delta$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{si : } \overline{OA} \uparrow \text{ alors : } \overline{OA'} \uparrow \text{ et si } \overline{OA} \downarrow \text{ alors : } \overline{OA'} \downarrow \\ \text{si : } v \uparrow \text{ alors : } \overline{OA'} \downarrow \text{ et si } v \downarrow \text{ alors : } \overline{OA'} \uparrow \end{array} \right.$

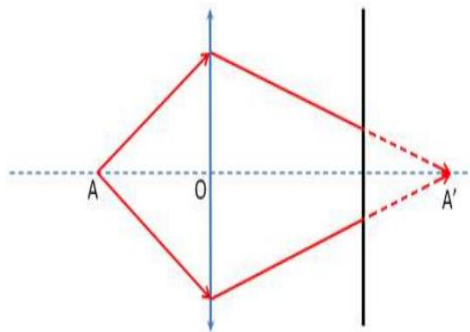
Lorsque l'objet est situé à l'infini, son image est située sur le foyer image F' donc sur l'écran.



Si l'objet se rapproche de la lentille alors son image va s'éloigner de sa position initiale et sera située derrière l'écran. Sur l'écran on recueillera une image floue de l'objet sous la forme d'une petite tache.

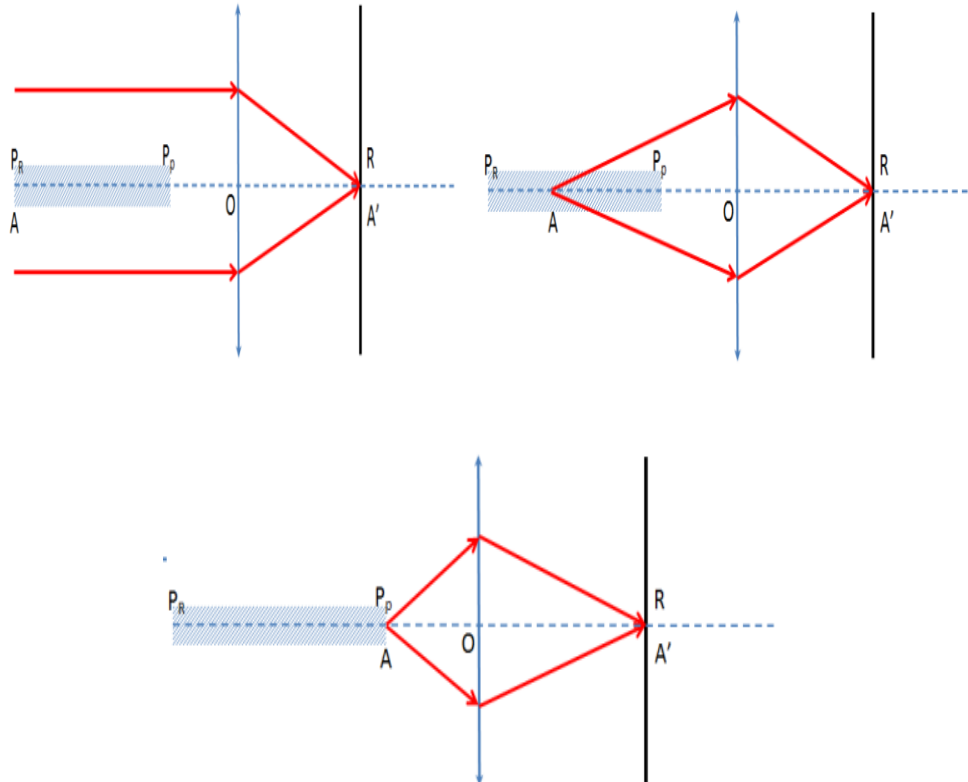


Si l'objet se rapproche encore de la lentille alors son image va s'éloigner plus de sa position initiale. Sur l'écran on recueillera une image plus floue de l'objet et la tâche est plus grande.

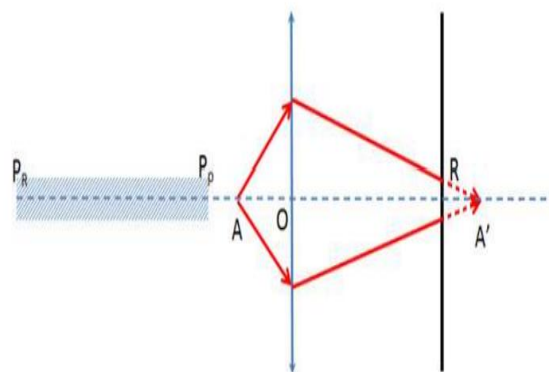


Considérons maintenant l'œil que l'on assimilera à une lentille convergente.

Lorsque l'objet est situé dans la champ de vision $[PR, PP]$, son image est située sur la rétine.



Lorsque l'objet se rapproche encore plus de l'œil et qu'il se trouve entre le PP et l'œil, son image se situe derrière la rétine.



Pour garder l'image toujours sur la rétine lorsque l'objet se déplace dans le champ de vision, ***l'œil modifie sa vergence en changeant les rayons de courbure de son cristallin.*** Ceci est obtenu par une pression que le muscle ciliaire exerce sur le cristallin.

Lorsque l'objet est situé sur le PR, l'œil est au repos, le cristallin ne subit aucune pression.

Lorsque l'objet se rapproche du PP le cristallin change de rayons de courbures sous la pression grandissante du muscle ciliaire.

La diminution des rayons de courbure du cristallin engendre une augmentation de la vergence de ce dernier de telle manière que la position de l'image soit toujours sur la rétine.

Lorsque l'objet est sur le PP, la pression exercée sur le cristallin est maximale, de même que sa vergence. Si l'objet est entre le PP et l'œil, la vergence ne peut plus augmenter et l'image est située derrière la rétine.

Ce processus est appelé *l'accommodation*

Au repos : $\begin{cases} \overline{SF'} = \overline{SR} \\ \overline{OF'} = \overline{OR} \end{cases} \text{ et } v = v_{min} = \begin{cases} \frac{1}{\overline{SF'}} = \frac{1}{\overline{SR}} \\ \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OR}} \end{cases}$

L'amplitude d'accommodation.

L'amplitude d'accommodation est la différence entre la vergence maximale et la vergence minimale de l'œil,

L'œil regarde le P_P alors la vergence est maximale $V = V_{max} = \frac{1}{\overline{OR}} - \frac{1}{\overline{OP_P}}$

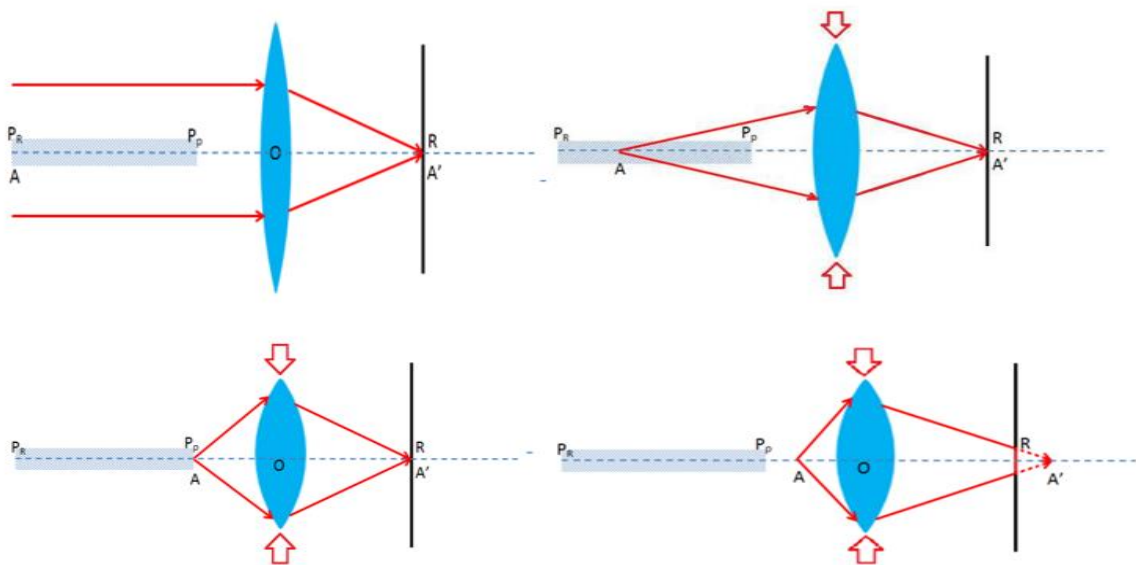
L'œil regarde le P_R alors la vergence est minimale $V = V_{min} = \frac{1}{\overline{OR}} - \frac{1}{\overline{OP_R}}$

Alors l'amplitude d'accommodation : $A = V_{max} - V_{min} = \frac{1}{\overline{OP_R}} - \frac{1}{\overline{OP_P}}$

Exemple : Dans le modèle de l'œil simplifié (lentille) en prenant : $\overline{OR} \cong 17mm$ on obtient pour un œil normal ($\overline{OP_P} = -20cm$ et $\overline{OP_R} \rightarrow -\infty$) :

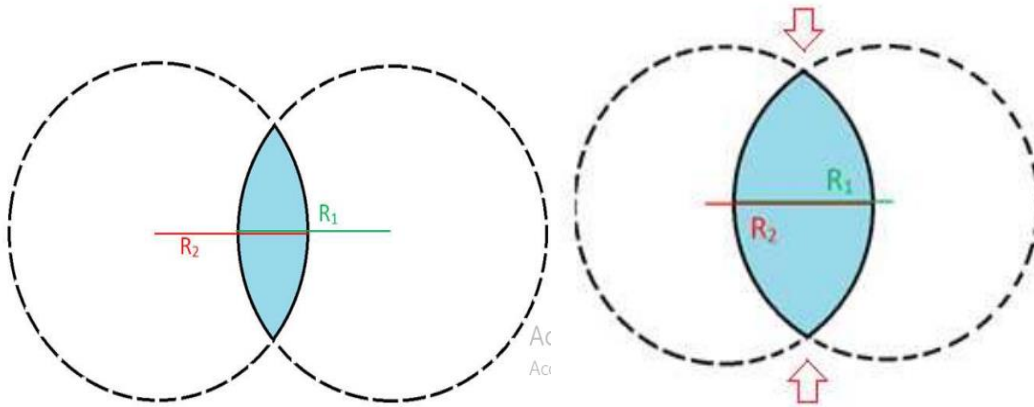
$$v_{min} \cong 60\delta, v_{max} \cong 65\delta \text{ et } A = 5\delta$$

Activier Windows



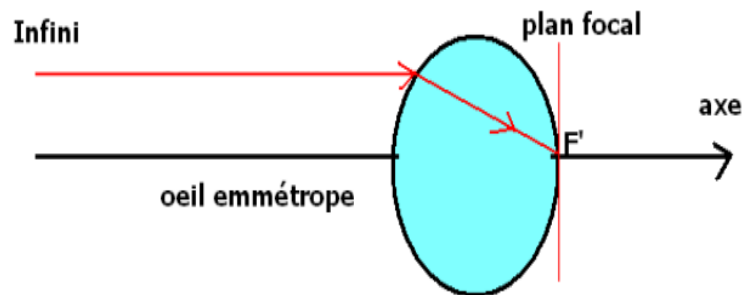
L'accommodation de l'œil

Donc pour garder l'image de l'objet sur la rétine, l'œil fait varier les rayons de courbures de son cristallin en accommodant.



DEFAUTS DE VISION :

Œil emmétrone (normal) : L'œil est dit emmétrone lorsque la rétine est située dans le plan focal image sans aucune accommodation, c'est-à-dire que les images des objets se trouvant à l'infini se forment sur la rétine.

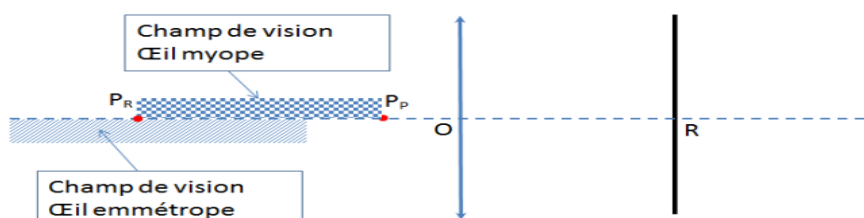


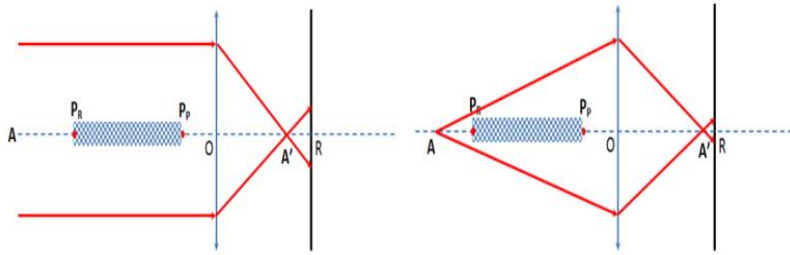
Amétropie (défauts) de l'œil: Les amétropies de l'œil ne sont pas des maladies mais des troubles de la vision.

La myopie :

La myopie n'est pas une maladie mais un trouble de la vision qui se caractérise par une bonne vision nette de près mais une vision floue de loin c.-à-d. l'image d'un objet à l'infini se forme en avant de la rétine (L'œil myope est trop long).

Le punctum remotum est situé à une distance finie, variant avec la gravité de la myopie. Le punctum proximum est également plus proche que la normale.

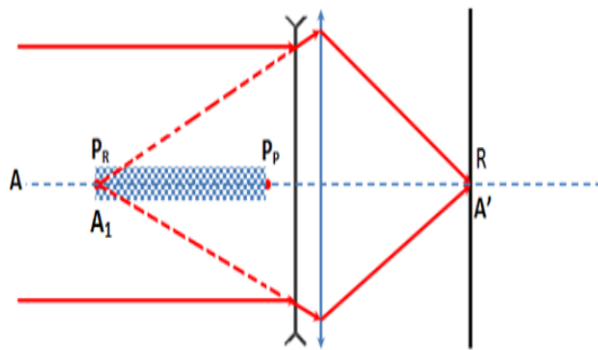




- OP_R fini $\rightarrow$ la vision des objets éloignés est floue.
- $OP_P < 20$ cm

Correction (lentille de contact).

On peut corriger la myopie par l'utilisation d'une lentille qui va permettre à l'œil de voir à l'infini lorsqu'il est au repos. Pour cela il faut que cette lentille donne à l'objet situé à l'infini une image située sur le PR de l'œil.

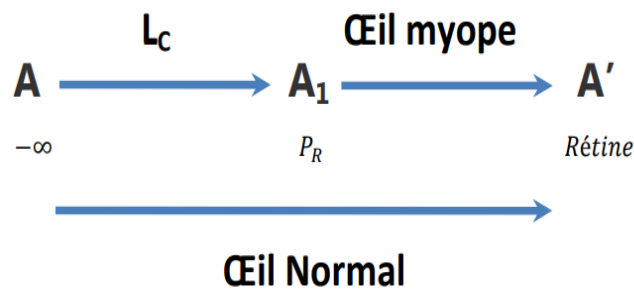


$$v_c = \frac{1}{OA_1} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OP_R} - \frac{1}{-\infty} = \frac{1}{OP_R} < 0$$

$$v_c = \frac{1}{OP_R} < 0$$

Activer

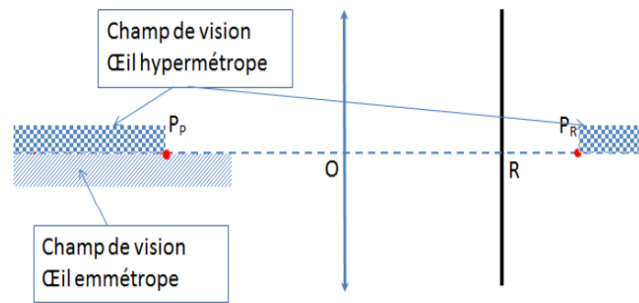
La lentille de correction de la myopie est une lentille divergente.



Œil hypermétrope :

L'œil hypermétrope n'est pas assez convergent. Au repos, l'image d'un objet se forme derrière la rétine. L'œil doit constamment accommoder pour ramener l'image au niveau de la rétine, ce qui provoque une fatigue (L'œil hypermétrope est trop court).

Le PR est situé derrière l'œil, se situe dans l'espace image, c'est à dire qu'il est possible, pour un œil hypermétrope de former l'image d'un objet virtuel. Le PP est plus éloigné que la normale.

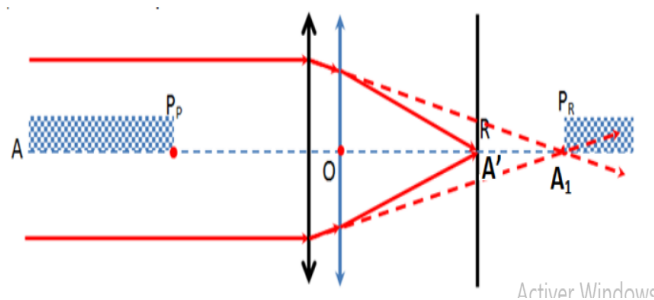


Au repos, l'œil hypermétrope voit un point virtuel. Son P_R est virtuel.

Pour voir l'infini, l'œil hypermétrope doit accommoder.

Pour permettre à l'œil hypermétrope de se reposer, la lentille correctrice doit lui permettre de voir les objets situés à l'infini sans accommoder. Pour cela la lentille doit donner à un objet situé à l'infini une image située sur le P_R .

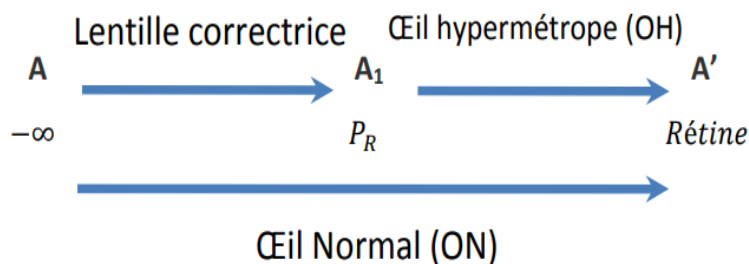
Autrement dit on corrige la vision d'un œil hypermétrope avec des lentilles convergentes pour augmenter la vergence du cristallin et ramener l'image sur la rétine



$$v_c = \frac{1}{OA_1} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OP_R} - \frac{1}{-\infty} = \frac{1}{OP_R} > 0$$

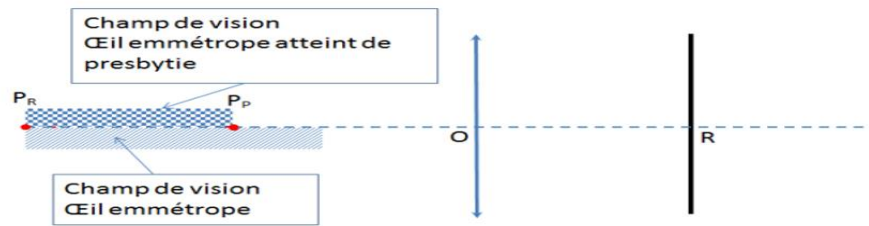
Activator Windows

La lentille de correction de l'hypermétropie est une lentille convergente.



La presbytie.

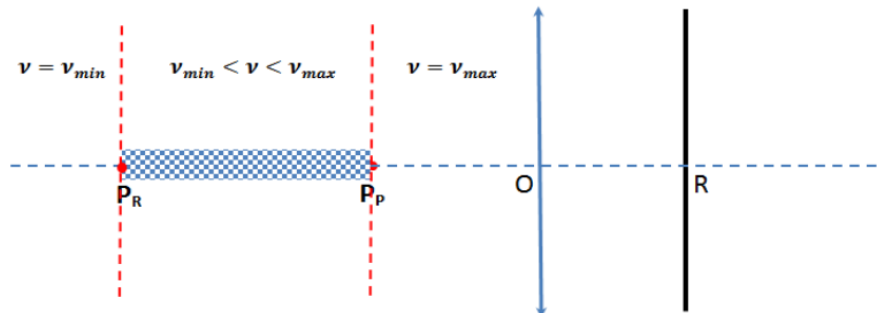
La presbytie est un défaut de l'œil qui rend floue la vision de près. Elle survient avec l'avancement dans l'âge car le cristallin perd de son élasticité et sa souplesse diminue avec le temps. Ce qui ne permet plus à l'œil d'atteindre sa vergence maximale initiale et donc il ne peut plus voir nettement les objets proches de l'œil. Le P_P s'éloigne et le P_R ne varie pas. On dit que l'œil devient presbyte en vieillissant. *Le P_P de n'importe quel œil (emmétrope, myope, hypermétrope) s'éloigne avec le temps.*



- OP_R reste inchangé la vision des objets éloignés reste telle qu'elle était avant la presbytie.
- $OP_P > 20\text{ cm} \rightarrow$ la vision des objets proches est floue.

Variation de la vergence (puissance) de l'œil en fonction de la position de l'objet :

La vergence de l'œil varie avec la position de l'objet.



Cataracte.

La cataracte est une opacification partielle ou totale du cristallin. Cette opacification est responsable d'une baisse progressive de la vue, au début accompagnée de gêne à la lumière (photophobie).

Les facteurs favorisant en sont: la dénutrition, la déshydratation, l'exposition au soleil.

L'astigmatisme.

Un œil astigmatique est un œil dont la cornée a une courbure torique comparable à un ballon de rugby au lieu sphérique. Si l'astigmatisme est dû uniquement à cette géométrie particulière de la cornée, on parle d'astigmatisme coréen.

L'astigmatisme n'est pas une pathologie oculaire (maladie des yeux), c'est un défaut visuel.

L'astigmatisme peut être également lié à la même particularité géométrique mais au niveau du cristallin, c'est l'astigmatisme interne. De la combinaison des deux, c'est l'astigmatisme total.

On corrige la vue en ajoutant des lentilles souples de contact (cylindriques ou sphériques) dont l'axe et la puissance sont fonction de l'anomalie constatée.