

OPTIQUE : L'ŒIL ET SES DEFAUTS

PARTIE I : ETUDE SIMPLIFIEE DE L'ŒIL HUMAIN

L'œil humain a sensiblement la forme d'une sphère limitée par une membrane (la sclérotique) qui est transparente à l'avant de l'œil et forme la cornée (**figure 1**). L'intérieur du globe oculaire est divisé en deux parties séparées par le cristallin qui est une lentille convergente. Cette lentille est élastique et ses rayons de courbure varient lorsque l'œil accommode, c'est-à-dire quand il passe de la vision de loin à la vision de près. La partie antérieure entre la cornée et le cristallin est remplie d'un liquide appelé humeur aqueuse. L'iris permet à l'œil de diaphragmer et définit la pupille. La partie postérieure du cristallin est formée du corps vitré. La rétine qui sert de détecteur est tapissée de cellules de deux types différents, les cônes et les bâtonnets qui transforment l'excitation lumineuse en influx nerveux. La fovéa, partie de la rétine située sur l'axe optique de l'œil, est la partie la plus sensible de la rétine.

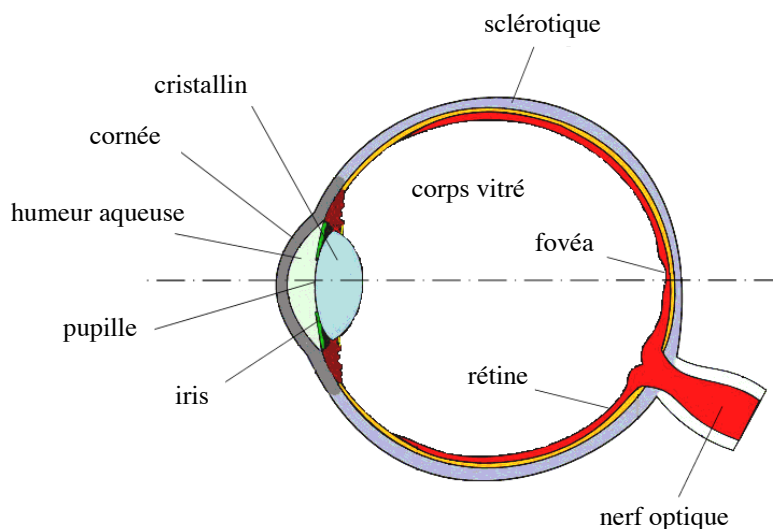


Figure 1 : coupe de l'œil humain

Les sous-parties I.A et I.B peuvent être traitées indépendamment l'une de l'autre.

I.A. Modèle simplifié de l'œil pour la vision de loin

Pour simplifier l'étude de l'œil, on peut assimiler celui-ci à une lentille (L) plan-convexe d'indice n plongée dans l'air d'indice 1. La lentille (L) possède une face d'entrée plane et une face de sortie sphérique.

On se place dans le cas de la vision de loin quand l'œil n'accomode pas. Un rayon parallèle à l'axe optique, situé à la distance h de celui-ci, est issu d'un point objet A_∞ à l'infini sur l'axe optique (**figure 2**, page 3). Il pénètre par la face d'entrée plane de la lentille pour arriver au point I de la face concave où il se réfracte en passant du milieu, d'indice $n = 1,33$, à l'air, d'indice 1. Le rayon émergent intercepte l'axe optique au point image A_i .

C est le centre de courbure de la face de sortie de la lentille et R_C son rayon de courbure. On note i l'angle d'incidence et r l'angle réfracté par rapport à la normale CI . Dans un premier temps, les rayons ne seront pas considérés paraxiaux.

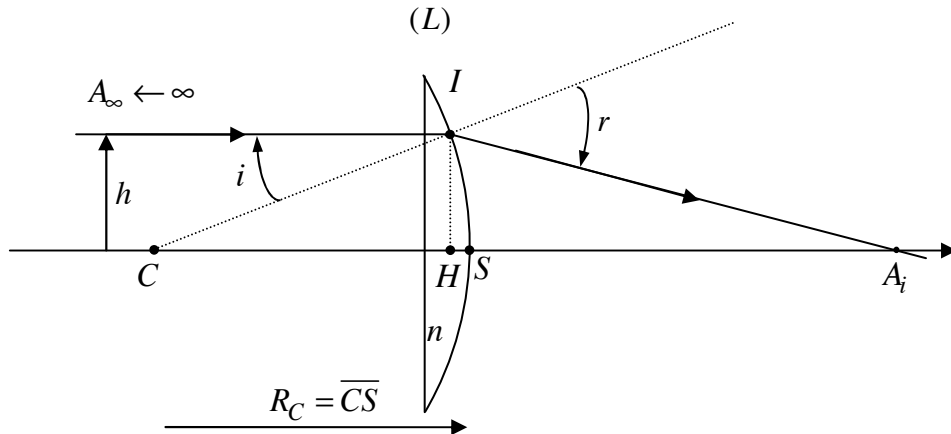


Figure 2 : modèle simplifié de l'œil pour la vision de loin

- I.1. Exprimer la relation entre les angles i et r à l'aide de la loi de Snell-Descartes.
- I.2. Soit H , le projeté de I sur l'axe optique. Exprimer les distances algébriques \overline{CH} et $\overline{HA_i}$ en fonction de i , r et R_C .
- I.3. En déduire l'expression de la distance algébrique $\overline{CA_i}$ en fonction de i , r et R_C .
- I.4. L'œil regarde un objet en plein soleil de sorte que sa pupille est fermée. Dans ce cas, $h = HI$ est très inférieur à R_C et les rayons lumineux peuvent être considérés comme étant paraxiaux.
 - I.4.a Montrer, dans ces conditions, que la position du point A_i ne dépend pas de i et donc de h .
 - I.4.b Dans ces conditions, H est confondu avec S (voir figure 2) et A_i est le foyer image F_i de la lentille. On appelle $f_i = \overline{SF_i}$ sa distance focale image. Déterminer f_i en fonction de n et R_C .
 - I.4.c La vergence de l'œil normal, quand il n'accommode pas, est $V = 60 \delta$. Calculer f_i et R_C .
- I.5. L'œil regarde toujours un objet à l'infini, mais cette fois-ci, à la nuit tombante, de sorte que sa pupille est grande ouverte. Les rayons lumineux ne peuvent plus être considérés paraxiaux.
 - I.5.a Montrer que $\overline{CA_i}$ s'exprime en fonction de i , R_C et n par la relation :

$$\overline{CA_i} = \frac{nR_C}{n \cos i - \sqrt{1 - n^2 \sin^2 i}} .$$

I.5.b On cherche à exprimer la position du point A_i en fonction de la hauteur h du rayon par rapport à l'axe optique. On considère pour cela que $\frac{h}{R_C} \ll 1$ de sorte que l'on peut faire les développements limités de $\cos i$ et $\sin i$ au second ordre.

Donner l'expression de $\overline{CA_i}$ en fonction de n , R_C et h .

I.5.c En déduire en fonction de n , R_C et h l'étalement relatif η du point de focalisation d'un rayon issu de l'infini :

$$\eta = \left| \frac{\overline{CA_i}(h) - \overline{CA_i}(h \rightarrow 0)}{\overline{CA_i}(h \rightarrow 0)} \right|.$$

I.5.d Pour l'œil, on peut considérer que le diamètre maximal d'ouverture de la pupille est de l'ordre de grandeur du rayon de courbure R_C . Calculer η .

I.5.e Expliquer pourquoi la vision de loin est moins nette quand l'éclairement est faible et pourquoi on a le réflexe de plisser les yeux pour voir plus net au loin.

I.B. Modèle simplifié de l'œil pour la vision de près

Pour la vision de près, on peut assimiler l'œil à une lentille mince (L) biconvexe, convergente, plongée dans l'air d'indice 1. Tous les rayons lumineux seront considérés comme étant paraxiaux. S est le centre optique de la lentille, F_o son foyer principal objet, F_i son foyer principal image, V sa vergence et f_i sa distance focale image. La rétine, centrée au point R , est située à une distance du cristallin anatomiquement invariable : la distance $SR = 16,7$ mm reste fixe quelle que soit l'accommodation.

L'œil normal (emmétrope) permet de voir des objets situés devant lui depuis la distance $d_{\min} = 25$ cm (distance minimale de vision distincte) jusqu'à la distance d_{\max} infinie (distance maximale de vision distincte). Pour cela, l'œil accommode, c'est-à-dire que les rayons de courbure de la lentille biconvexe se modifient sous l'effet des muscles ciliaires.

On se place dans le cas de la vision de près quand l'œil accommode au maximum. Si l'image se forme sur la rétine au niveau de la fovéa, l'œil peut distinguer deux points proches suffisamment contrastés si leur distance angulaire est supérieure à $\varepsilon = 4 \times 10^{-4}$ rad. Cette limite de résolution augmente fortement en vision périphérique.

I.6. On note $p_o = \overline{SA_o}$ la mesure algébrique repérant la position d'un objet lumineux $A_o B_o$ perpendiculaire à l'axe optique et dont l'image se forme sur la rétine. La position de l'image est repérée par la grandeur algébrique $p_i = \overline{SA_i}$.

I.6.a Donner la relation entre p_o , p_i et la vergence V de la lentille (L). Quel nom porte cette relation ? Donner la dimension de la vergence V et son unité en fonction des unités de base du Système International.

I.6.b Calculer la valeur V_{\max} de V quand l'œil emmétrope regarde un objet situé à la distance minimale de vision distincte d_{\min} .

- I.6.c** Calculer la valeur V_{\min} de V dans le cas où ce même œil emmétrope regarde un objet placé cette fois à la distance maximale de vision distincte d_{\max} .
- I.6.d** La variation de la vergence de l'œil $A = V_{\max} - V_{\min}$ est appelée l'amplitude d'accommodation. Calculer A dans le cas de l'œil emmétrope.
- I.7.** Avec l'âge, l'amplitude d'accommodation se réduit. Cette diminution physiologique porte le nom de presbytie. En pratique, un individu devient presbyte quand il doit éloigner son journal de plus de 35 cm de son œil pour lire. Dans ce cas, la distance minimale de vision distincte augmente ($d'_{\min} = 35$ cm) et $d'_{\max} = d_{\max}$ reste inchangé.
- I.7.a** Déterminer l'amplitude d'accommodation de l'œil emmétrope d'un individu devenu presbyte.
- I.7.b** Quelle est la taille A_oB_o minimale des caractères du journal placé à $d'_{\min} = 35$ cm, que peut lire cet individu devenu presbyte ?
- I.7.c** Quelle serait la taille A_oB_o minimale des caractères si la presbytie de l'individu augmentait de telle façon qu'il doive placer le journal à 1 m de son œil ? Conclure.
- I.8.** Une personne voit nettement un point à l'infini sans accommoder mais ne peut voir un point situé à moins de 1 m en accommodant au maximum. Pour pouvoir lire confortablement un journal placé à 25 cm devant lui, il porte des lunettes dont chaque verre (assimilé à une lentille mince convergente (L_L) de vergence V_L et de centre optique S_L) est placé 2 cm devant le centre optique de l'œil (**figure 3**). Dans ces conditions, il n'accommode pas.

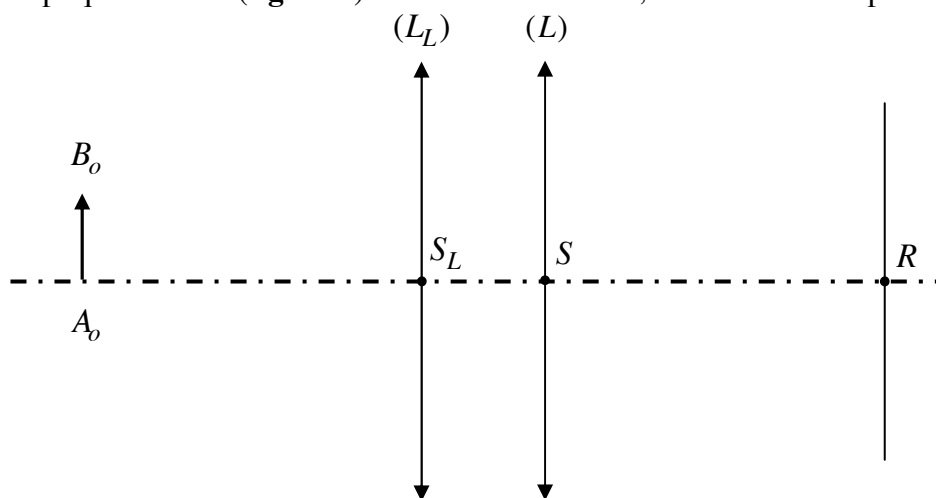


Figure 3 : lentille correctrice placée devant l'œil pour la vision de près.

- I.8.a** Calculer la vergence V_L de chacun des verres des lunettes.
- I.8.b** En reprenant le schéma de la **figure 3**, représenter deux rayons issus de B_o qui atteignent la rétine. Les échelles peuvent ne pas être respectées mais vous justifierez votre construction géométrique.
- I.8.c** En conservant ses lunettes, l'individu presbyte peut-il voir des objets situés à moins de 25 cm de ses yeux ? Si oui, jusqu'à quelle distance de ses yeux ?
- I.8.d** L'individu presbyte peut-il regarder de loin avec ses lunettes ? En conclusion, quel type de lunettes doit-il porter pour pouvoir facilement passer de la vision de près à la vision de loin ?