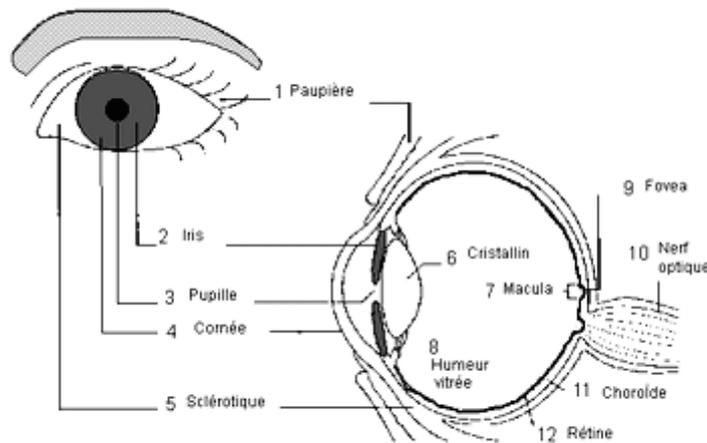


## OPTIQUE GEOMETRIQUE : INSTRUMENTS D'OPTIQUE L'ŒIL ET LA VISION

### 8- Dioptrique oculaire et vision :

La biophysique de la vision constitue un vaste domaine. Nous nous bornerons à une description de l'œil comme un instrument d'optique et la rétine comme un récepteur sensible aux longueurs d'ondes du visible.

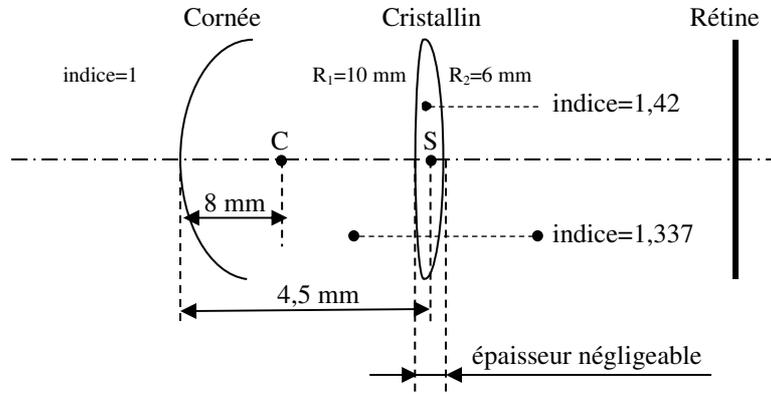


L'œil a la forme approximative d'une sphère de 12mm de rayon. Il est complété vers l'avant par une fenêtre transparente plus bombée, fragment d'une sphère de rayons 8mm et 6mm pour les faces antérieure et postérieure et de 2mm d'épaisseur appelée **cornée transparente**. Son indice de réfraction est de 1,377. L'intérieur du globe oculaire comprend une lentille biconvexe molle distant de 4,5mm de la cornée, appelé **le cristallin**. Sa structure est feuilletée (semblable à un oignon) de rayons respectifs 10mm et 6mm pour les faces antérieure et postérieure. En raison de sa structure hétérogène son indice croît de l'extérieur vers l'intérieur. Nous lui attribuerons un indice moyen de 1,42. Un liquide limpide **l'humeur aqueuse**, d'indice 1,337, remplit l'espace compris entre la cornée et le cristallin. L'espace limité par le cristallin et **la rétine** est remplie par **l'humeur vitrée** qui est une sorte de gelée transparente d'indice 1,337.

- **L'œil théorique :**

L'œil est un système optique centré dont la puissance est de  $60\delta$  en moyenne pour un œil normal au repos qui donne d'un objet à l'infini une image sur la rétine. Pour corriger les défauts dioptriques de l'œil, il est impératif de le décrire grâce à des modèles théoriques. C'est une description optique qui doit se rapprocher le plus possible de la réalité.

*1<sup>er</sup> modèle :* Il assimile l'œil à un dioptré sphérique de rayon 8mm entre les milieux air et humeur aqueuse d'indice 1,337, suivi à 4,5mm d'une lentille mince, le cristallin, de rayons respectifs 10mm et 6mm et d'indice 1,42. Les deux faces de la lentille baigne dans un même milieu d'indice 1,337.



Cet œil est l'association d'un dioptré sphérique et d'une lentille mince, distant de  $e = 4,5\text{mm}$  l'un de l'autre et baignant dans un milieu  $n_0 = 1,337$ .

La puissance calculée du cristallin est égale à :

$$P_{\text{cristallin}} = \frac{n_0}{f'} = (n - n_0) \times \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = 22\delta$$

La puissance calculée de la cornée est égale à :

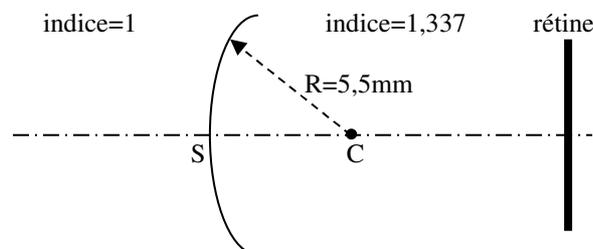
$$P_{\text{cornée}} = \frac{n_0 - n_{\text{air}}}{R} = 42\delta$$

Le calcul de la puissance théorique de cet œil au repos est donnée par :

$$P_{\text{œil}} = P_{\text{cornée}} + P_{\text{cristallin}} - \frac{e}{n_0} \times P_{\text{cornée}} \times P_{\text{cristallin}} = 60,9\delta$$

Il vient que ce modèle peut servir de base à un calcul de correction.

*2<sup>ème</sup> modèle* : Une autre manière de simplifier encore plus le problème est de considérer que le système optique composant l'œil est équivalent à un dioptré sphérique. Ce modèle simplifié est dit **œil réduit de Listing** dont les caractéristiques sont un dioptré sphérique de rayon 5,5mm séparant l'air et un milieu d'indice 1,337.



La puissance calculée de ce modèle donne :

$$P_{\text{œil}} = \frac{n - n_{\text{air}}}{R} = 61\delta$$

L'œil réduit de Listing est un modèle plus simple et fort utilisé pour la description de l'œil.

• *Conditions de vision nette :*

Nous allons supposer que la rétine et les voies nerveuses sont dans un état physiologique normal. la vision d'un objet est nette si le système optique formé par l'œil est capable de fournir une image sur la rétine et que cette image soit stigmatique de l'objet. Nous pouvons alors imaginer deux sortes de défauts qui donnent une mauvaise vision :

L'œil donne une image stigmatique mais celle-ci ne se forme pas sur la rétine dans certaines conditions. Ceci se produit si l'œil a une puissance optique qui ne correspond pas à ses dimensions. L'œil est soit trop puissant soit faiblement puissant.

L'œil n'est pas capable de former une image stigmatique de l'objet. Ceci est le cas lorsque l'œil n'a pas de symétrie de révolution, en particulier lorsque le dioptré cornéen n'est pas sphérique.

• *L'accommodation :*

Imaginons un objet placé à une distance  $p$  du sommet de l'œil. Son image se forme sur la rétine à la distance  $q$ . Si cet objet se rapproche de l'œil, la distance  $p$  va varier mais l'image se formera toujours sur la rétine à la même distance  $q$ . Or d'après la relation du dioptré sphérique on a :

$$\frac{n}{q} - \frac{n_{air}}{p} = \frac{n}{f'} = D$$

où  $D$  est la puissance<sup>1</sup> de l'œil. Il vient qu'en faisant varier  $p$ , tout en gardant  $q$  constant, l'égalité n'est vérifiée que si la puissance de l'œil varie.

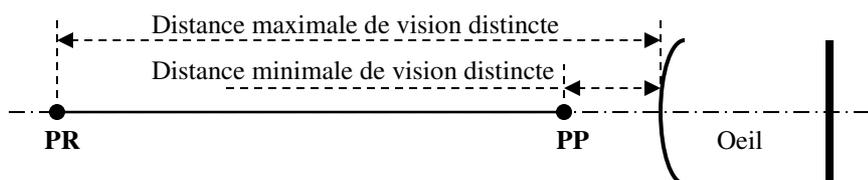
Donc quelque soit la distance de l'objet à l'œil, l'image se formera toujours sur la rétine grâce à une variation de la puissance de l'œil. Ce phénomène est appelé *l'accommodation*.

Il est naturel de se demander par quel moyen l'œil peut-il faire varier sa puissance. La réponse se trouve dans la formule de la puissance du dioptré sphérique. La puissance augmente par une augmentation de l'indice de réfraction et par une diminution du rayon de courbure. En réalité c'est le cristallin qui réalise cette variation de puissance en faisant varier ses rayons de courbures (essentiellement la face antérieure) et aussi son indice de réfraction moyen grâce à sa structure feuilleté.

Nous définissons l'amplitude d'accommodation  $A$  par la différence entre la puissance maximale  $D_{max}$  et la puissance minimale  $D_{min}$ .

$$A = D_{max} - D_{min}$$

Pour voir les objets rapprochés la puissance est maximale et pour les objets éloignés la puissance est minimale. On définit alors le "*Punctum Proximum*" (ou le **PP**) par le point le plus proche qui est vu nettement par l'œil avec sa puissance maximale. La distance entre l'œil et le PP est dite "*distance minimale de vision distincte*". De même on définit le "*Punctum Remotum*" (ou le **PR**) par le point le plus éloigné qui est vu nettement par l'œil avec sa puissance minimale. La distance entre l'œil et le PR est dite "*distance maximale de vision distincte*".



<sup>1</sup> Nous noterons la puissance  $D$  pour ne pas la confondre avec la distance  $p$ .

En écrivant les relations de conjugaison pour les objets placés au PP et au PR, on obtient :

$$\frac{n}{q} - \frac{1}{PR} = D_{\min}$$
$$\frac{n}{PP} - \frac{1}{PP} = D_{\max}$$

Il vient que :

$$D_{\max} - D_{\min} = \frac{1}{PR} - \frac{1}{PP}$$

Si on définit la proximité du PR par  $R = \frac{1}{PR}$  et la proximité du PP par  $P = \frac{1}{PP}$ , il vient que :

$$A = D_{\max} - D_{\min} = R - P$$

$R$  et  $P$  sont en dioptries et PP et PR en mètre.

Nous pouvons définir l'amplitude d'accommodation comme la différence entre la proximité du PR et la proximité du PP.

Pour un œil normal le PP est à 25cm et le PR est à l'infini. Il vient que pour un œil normal la valeur de l'amplitude d'accommodation est :

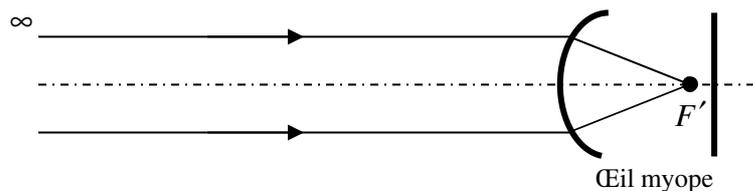
$$A = R - P = \frac{1}{PR} - \frac{1}{PP} = 0 - \left( \frac{1}{-0,25} \right) = 4\delta$$

### 9- Amétropies sphériques :

Un œil normale est dit emmétrope. L'amétropie sphérique est un défaut de l'œil doué de stigmatisme mais dont l'image ne se forme pas sur la rétine dans certaines conditions. Nous pouvons imaginer deux cas de figure. L'œil étant au repos, un objet à l'infini peut donner soit une image en avant de la rétine soit en arrière de la rétine. Dans le premier cas l'œil est dit *myope* et dans le second il est dit *hypermétrope* (ou hyperope).

- **La myopie :**

L'image se forme en avant de la rétine. Ce défaut peut être dû à un excès de puissance de l'œil ou à un trouble du développement de l'œil qui est alors trop long.



Sachant que le PR est le point le plus éloigné que peut voir un œil avec sa puissance minimale, nous pouvons déduire sa position par construction géométrique<sup>2</sup> soit par l'analyse des relations de conjugaisons.

$$\frac{n}{f'} - \frac{1}{\infty} = D_{\min}$$

$$\frac{n}{q} - \frac{1}{PR} = D_{\min}$$

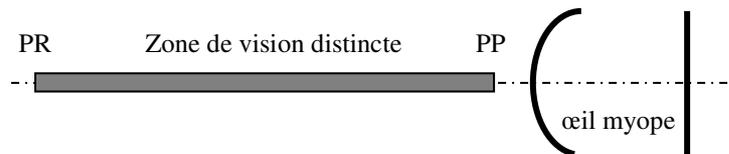
où  $q$  est la distance image lorsqu'elle se forme sur la rétine. Il vient que :

$$\frac{1}{PR} = n \times \left( \frac{1}{q} - \frac{1}{f'} \right)$$

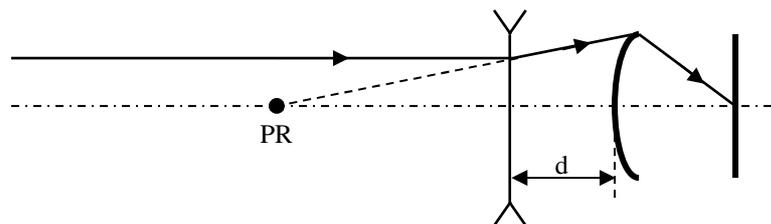
Sachant que  $q \neq f'$ , le signe du PR est négatif. Nous pouvons donc énoncer que *le PR d'un myope est réel*. On définit le *degré de myopie* par la proximité  $R$  du PR. Un myope de  $2\delta$  veut dire que  $R = -2\delta$ . Concernant le PP il suffit d'analyser l'expression :

$$P = R - A$$

Il vient que *le PP d'un myope est aussi réel*.



Pour corriger un œil myope, il faudrait lui donner la faculté de voir les objets à l'infini grâce à des lentilles de correction. Pour cela, il faudrait que la lentille de correction donne de l'objet à l'infini une image au PR de cet œil. La figure suivante montre que le foyer image de la lentille de correction doit coïncider avec le PR de l'œil.



Donc la lentille de correction est **divergente** de distance focale  $f'$  et de vergence  $V$  donnée par :

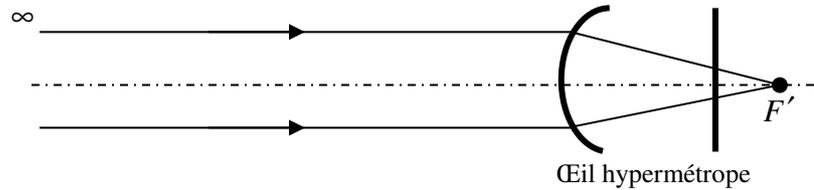
$$V = \frac{1}{f'} = \frac{1}{PR + d}$$

où  $d$  est la distance entre le sommet de l'œil et la lentille de correction. cette distance peut être négligeable pour les faibles myopies (si  $PR \gg d$ ).

<sup>2</sup> Vu en cours.

• **L'hypermétropie :**

Dans ce cas l'image se forme derrière la rétine. L'œil est peu convergent ou trop court.

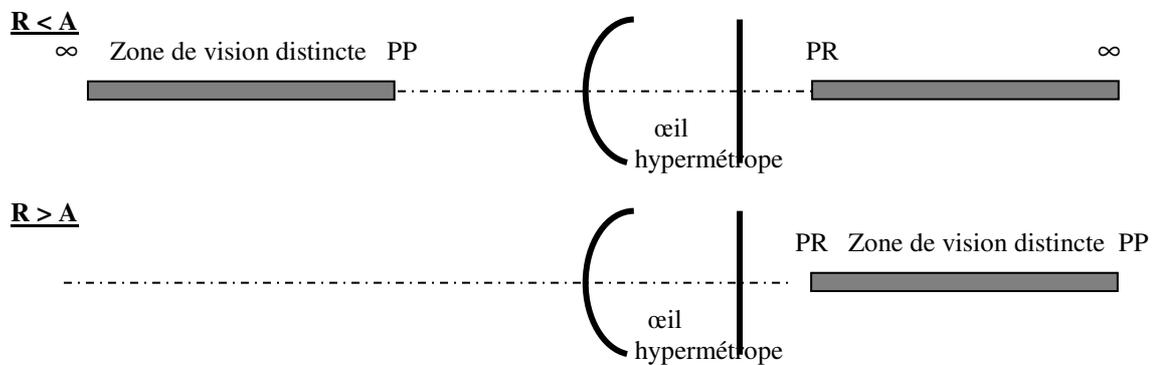


Une analyse identique à celle faite pour le myope donne :

$$\frac{1}{PR} = n \times \left( \frac{1}{q} - \frac{1}{f'} \right)$$

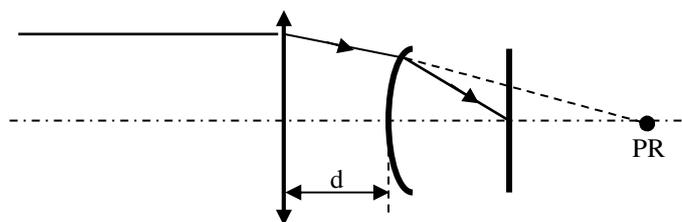
Sachant que c'est  $f' \phi q$  permet de dire que le PR est de signe positif. Donc le PR d'un hypermétrope est *virtuel*. De la même manière le degré d'hypermétropie est donné par la proximité  $R$  du PR. Un hypermétrope de  $3\delta$  signifie  $R=+3\delta$ .

Concernant le PP, on a deux cas. Si  $R$  est inférieur à  $A$ , le PP est réel. Mais Si  $R$  est supérieur à  $A$ , le PP est virtuel aussi



Dans le cas où le PP est aussi virtuel, l'œil ne peut pas se passer des verres correcteurs.

Concernant la correction, on utilise des lentilles qui donnent d'un objet à l'infini une image au PR.



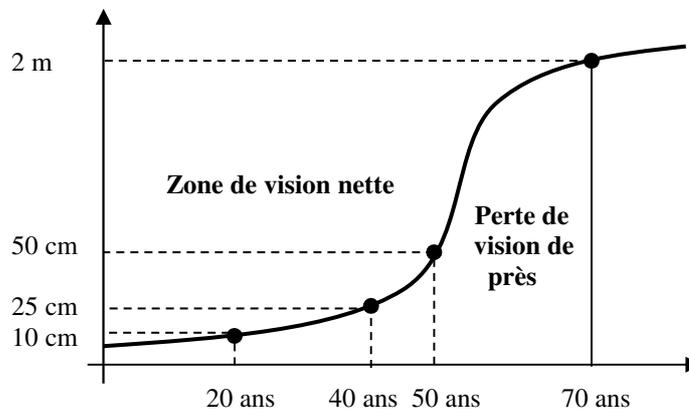
Donc la lentille de correction est *convergente* de distance focale  $f'$  et de vergence  $V$  donnée par :

$$V = \frac{1}{f'} = \frac{1}{PR + d}$$

où  $d$  est la distance entre le sommet de l'œil et la lentille de correction. cette distance peut être négligeable pour les faibles hypermétropies (si  $PR \gg d$ ).

- **La presbytie :**

La faculté du cristallin à faire varier la puissance de l'œil diminue avec l'âge. L'amplitude d'accommodation diminue et le PP s'éloigne avec l'âge, comme le montre la figure ci-dessous. Il est probable que le cristallin perde de son élasticité avec l'âge.



Il est question de presbytie si l'amplitude d'accommodation est inférieure à 4 dioptries. La presbytie n'affecte pas le PR. Le myope ressent les effets de la presbytie tardivement. Ceci n'est pas le cas pour l'hypermétrope qui en souffrira très tôt.

La correction de la presbytie consiste à donner d'un objet placé à 25cm une image au PP de l'œil presbyte. C'est une lentille convergente à n'utiliser que pour la vision de près

### Bibliographie :

1. Physique générale 2. thermodynamique, optique., M. Renaud, D. Silhouette, R. Fourne, édition Academic Press.
2. Comprendre et appliquer l'optique. 1<sup>o</sup> :optique géométrique, cours et exercices, M. Gabriel, C. Ernst, J. Grange. Collection Comprendre et appliquer, édition Masson.
3. Physique générale 3, ondes, optique et physique moderne, D.C. Giancoli, édition DeBoeck université.
4. Biophysique PCEM 1, D. Farhi & R. Smadja, édition ESTEM.