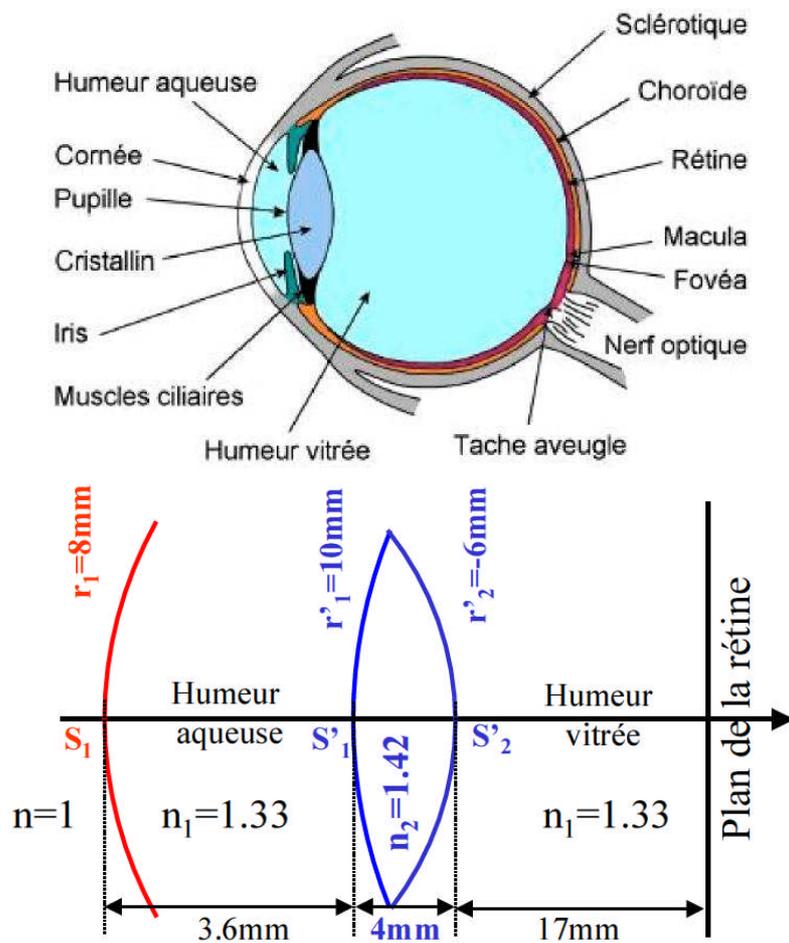


L'œil

1. Anatomie et physiologie de l'œil humain

L'œil est un système optique convergent qui a pour rôle la formation d'images sur la rétine. Avant d'atteindre la rétine, la lumière doit traverser plusieurs milieux transparents. La lumière sera réfractée à chaque fois qu'elle passera d'un milieu à un autre. Voici, en ordre, les milieux que traverse la lumière:

- **Humeur aqueuse:** Liquide transparent, son indice de réfraction est de 1,33.
- **Iris :** Diaphragme qui permet de contrôler la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil.
- **Cristallin:** Lentille biconvexe effectuant la mise au point pour obtenir la netteté à toute distance. Son indice de réfraction est de 1,42.
- **Humeur vitrée:** Liquide gélatineux qui donne à l'œil sa forme. Son indice de réfraction est de 1,33.
- **Rétine:** Partie sensible de l'œil sur laquelle se forment les images.

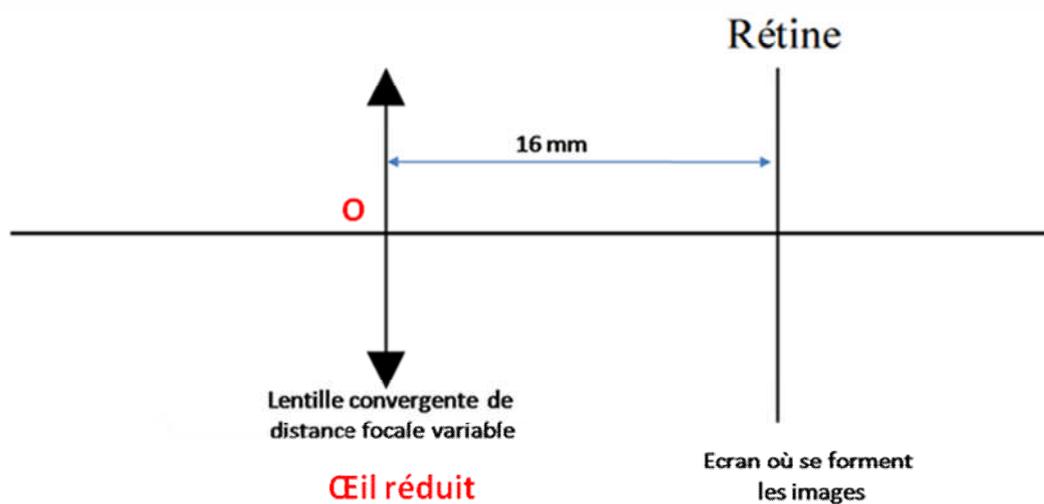


2. L'œil réduit

Du point de vue optique, l'œil comporte un dioptre sphérique d'entrée (la cornée) suivi de l'humeur aqueuse dont l'indice est voisin de 1,336. Un diaphragme (l'iris) précède le cristallin qui se comporte comme une lentille biconvexe. L'indice moyen du cristallin est voisin de 1,42. On trouve ensuite l'humeur vitrée d'indice égal à 1,336 puis la rétine sur laquelle se forme l'image.

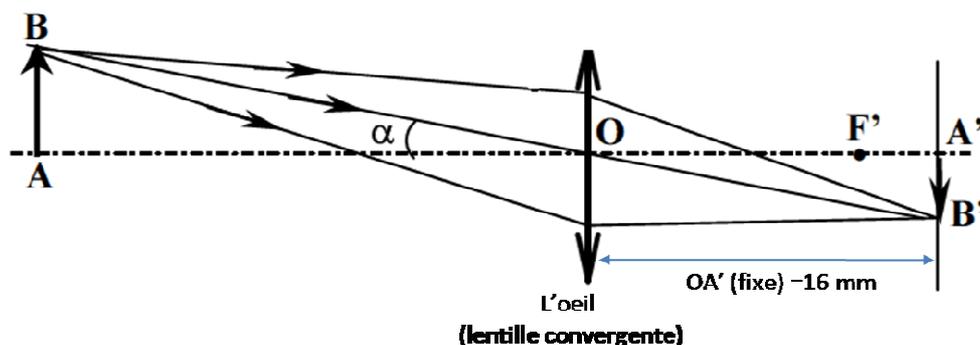
L'œil est donc un système complexe, pour l'étudier on peut le représenter par un système équivalent plus simple qui rend compte de ses propriétés optiques : c'est **l'œil réduit**.

Il est constitué **d'une lentille convergente de distance focale variable**. Selon la position de l'objet, le cristallin (lentille biconvexe) doit ajuster sa courbure pour que l'image se forme toujours sur la rétine.



Quelle que soit la distance \overline{OA} , la distance $\overline{OA'}$ est constante ($\overline{OA'} = 16\text{ mm}$). Ainsi, la distance focale de l'œil réduit doit varier avec la position de l'objet :

$$\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}$$



3. Le champ de vision net

3.1 Punctum proximum et Punctum remotum

On remarque qu'à mesure que l'objet AB se rapproche de l'œil, il faut que la vergence de l'œil augmente de façon que l'image puisse se former sur la rétine. C'est le phénomène d'accommodation. Toutefois, l'accommodation a des limites car le cristallin ne peut pas augmenter trop sa vergence.

- La plus petite distance à laquelle l'œil peut voir un objet net est la **distance minimum de vision distincte**. L'objet est alors situé au **Punctum proximum P_P**. On dit que l'œil accommode au maximum. Pour un adulte jeune à vue normale, le **P.P.** est à environ **d=25 cm**.
- Le point le plus éloigné possible que **l'œil au repos** voit nettement est le **Punctum remotum P.R.** On dit que l'œil n'accommode pas. Pour un œil normal, $D=\overline{OPR} \rightarrow \infty$.

3.2 Amplitude dioptrique de l'œil

La vergence de l'œil quand l'objet est au P.P.(accommodation max.) est donnée par :

$$C_{PP} = \frac{1}{OA'} - \frac{1}{OPP}$$

La vergence de l'œil quand l'objet est au P.R.(œil au repos) est donnée par :

$$C_{PR} = \frac{1}{OA'} - \frac{1}{OPR}$$

Par définition, l'amplitude dioptrique ou pouvoir d'accommodation est la grandeur suivante:

$$A = C_{PP} - C_{PR} = \frac{1}{OPR} - \frac{1}{OPP}$$

Pour un œil à vue normale : $\overline{OPR} \rightarrow \infty$ et $\overline{OPP} = -0,25m \Rightarrow A = 4 \text{ dioptries}$.

4. Les anomalies de l'œil

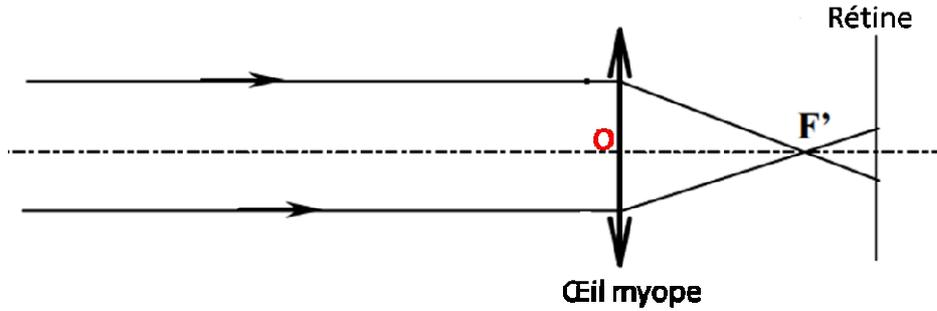
L'œil humain peut être affecté par trois principaux types d'anomalie optique:

- La myopie
- La presbytie
- L'hypermétropie

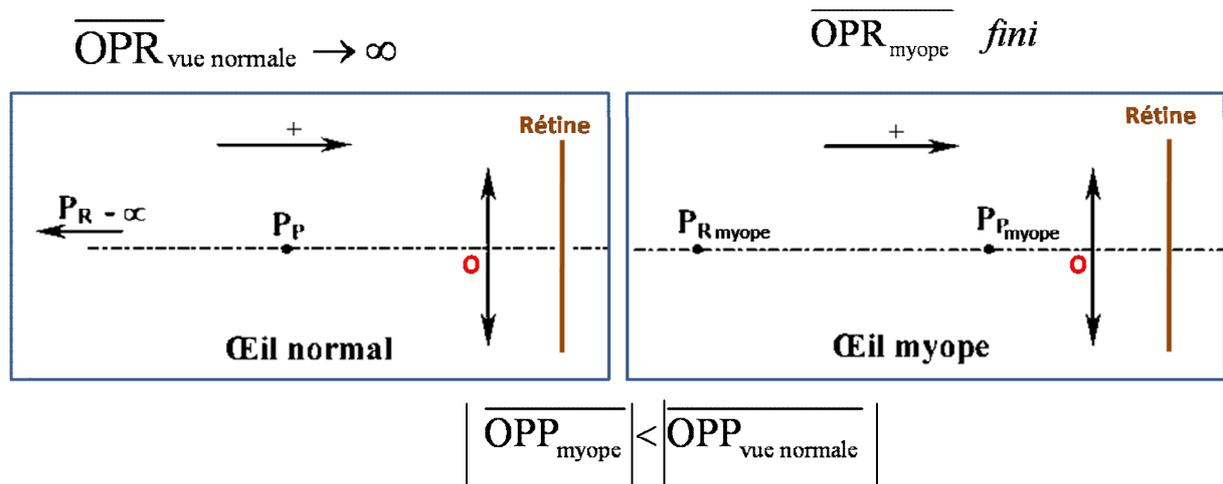
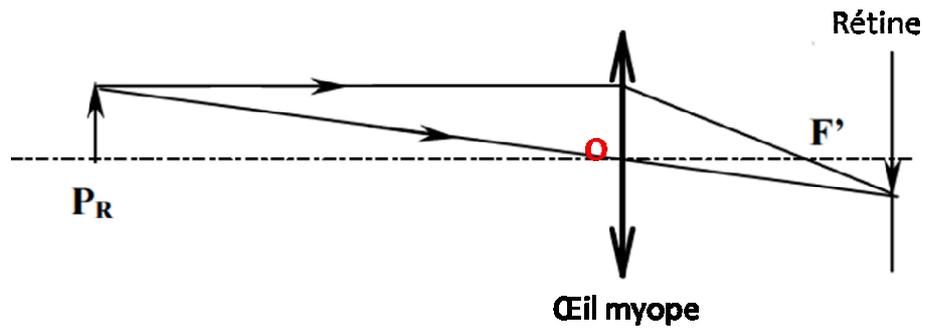
4.1 La myopie

La myopie est la condition de l'œil où une personne perçoit mal les objets éloignés, mais n'a aucune difficulté à percevoir les objets rapprochés. Un œil myope est **trop convergent**.

L'anomalie est causée par une trop grande vergence de l'œil provoquant ainsi la focalisation de l'image devant la rétine.



Il ne peut voir nettement qu'en rapprochant l'objet. Son *Punctum remotum* P_R est à distance finie.



Correction de la myopie

Pour diminuer la vergence de l'œil myope on utilise donc des lentilles divergentes pour pouvoir observer les objets très éloignés (**correction du P.R.**).

La relation suivante permet de calculer la vergence de la lentille correctrice :

$$C_{\text{correc}} = \frac{1}{\overline{\text{CPR}}_{\text{naturel}}} - \frac{1}{\overline{\text{CPR}}_{\text{corrigé}}}$$

Ou encore

$$C_{\text{correc}} = \frac{1}{\overline{\text{CO}} + \overline{\text{OPR}}_{\text{naturel}}} - \frac{1}{\overline{\text{CO}} + \overline{\text{OPR}}_{\text{corrigé}}}$$

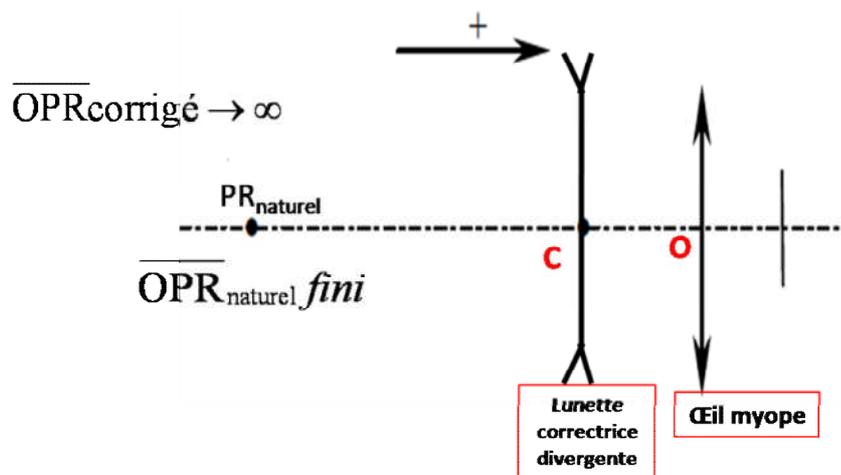
Où :

C_{correc} est la vergence de la lentille correctrice

$\overline{\text{CPR}}_{\text{naturel}}$: est le **Punctum remotum naturel** de l'œil myope par rapport au centre optique de la lentille correctrice

$\overline{\text{CPR}}_{\text{corrigé}}$: est le **Punctum remotum corrigé** de l'œil myope ($\overline{\text{CPR}}_{\text{corrigé}} \rightarrow \infty$) par rapport au centre optique de la lentille correctrice

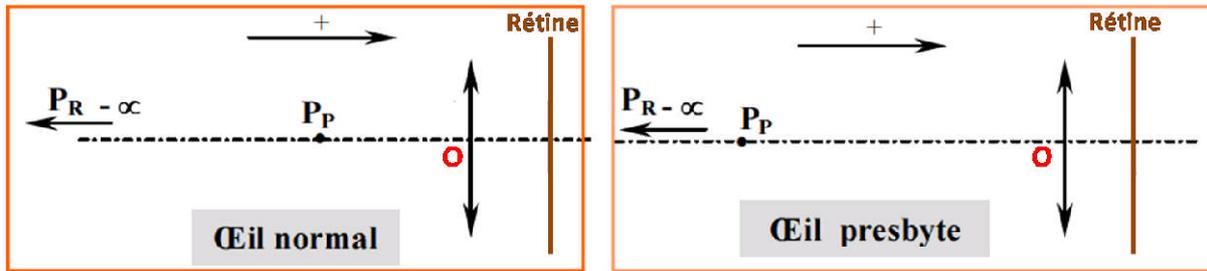
Remarque : dans le cas d'une **lentille de contact** $\overline{\text{CO}} = 0$



4.2 La presbytie

La presbytie (défaut d'accommodation) est une perte du pouvoir d'accommodation de l'œil entraînant une vision floue de près.

Avec l'âge, l'œil perd ses capacités d'accommodation. Le **Punctum remotum** ne bouge pas, mais le **Punctum proximum** s'est éloigné, le cristallin ne peut plus se bomber suffisamment, il devient moins souple.



$$\left| \overline{OPP}_{\text{presbyte}} \right| > \left| \overline{OPP}_{\text{vue normale}} \right|$$

Correction de la presbytie :

Pour un œil presbyte, le cristallin ne converge plus assez. Donc il faut porter des verres convergents pour la vision rapprochée (**correction du P.P**).

La relation suivante permet de calculer la vergence de la lentille correctrice :

$$C_{\text{correc}} = \frac{1}{\overline{CPP}_{\text{naturel}}} - \frac{1}{\overline{CPP}_{\text{corrigé}}}$$

Ou encore

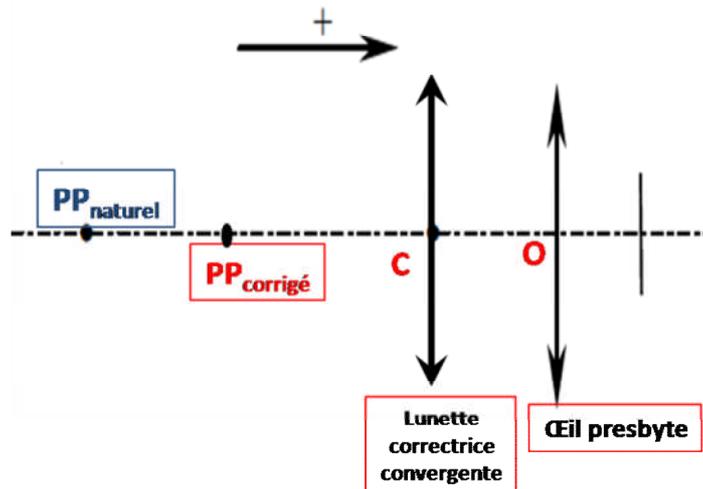
$$C_{\text{correc}} = \frac{1}{\overline{CO} + \overline{OPP}_{\text{naturel}}} - \frac{1}{\overline{CO} + \overline{OPP}_{\text{corrigé}}}$$

Où :

C_{correc} est la vergence de la lentille correctrice

$\overline{CPP}_{\text{naturel}}$: est le **Punctum proximum naturel** de l'œil presbyte par rapport au centre optique de la lentille correctrice

$\overline{CPP}_{\text{corrigé}}$: est le **Punctum proximum corrigé** de l'œil presbyte par rapport au centre optique de la lentille correctrice.



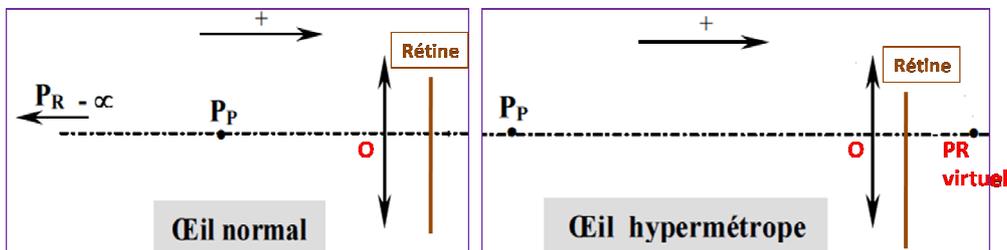
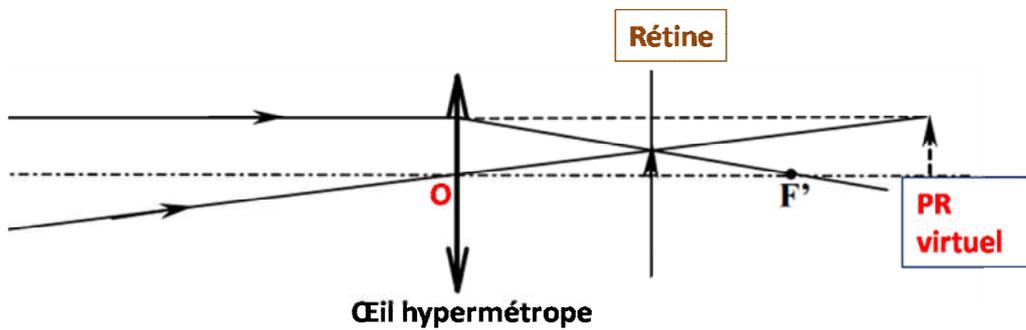
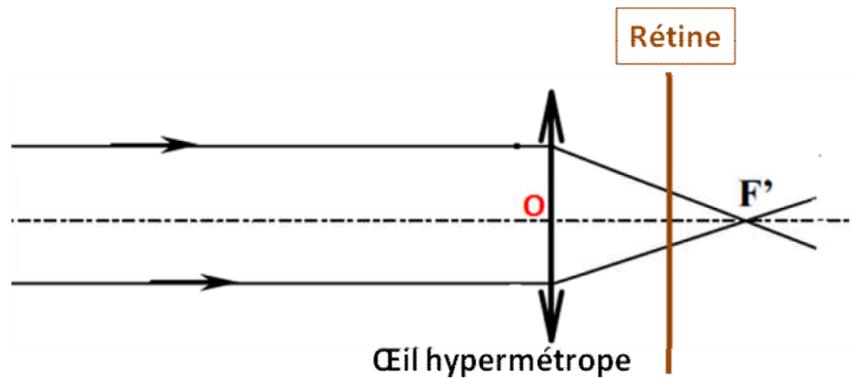
4.3 L'hypermétropie

L'hypermétropie comme la presbytie sont toutes deux des conditions où une personne perçoit mal les objets rapprochés mais n'a aucune difficulté à percevoir les objets éloignés. Ces anomalies sont causées par l'incapacité de l'œil à faire suffisamment converger la lumière, provoquant ainsi la focalisation des images derrière la rétine.

L'œil n'est pas assez convergent. Au repos, pour la vision à l'infini, son foyer image est derrière la rétine.

L'œil est *trop court*.

L'œil ne peut pas voir un objet réel sans être constamment obligé d'accommoder.



$$|\overline{OPP}_{\text{hypermétrope}}| > |\overline{OPP}_{\text{vue normale}}|$$

$$\overline{OPR}_{\text{hypermétrope}} > 0$$

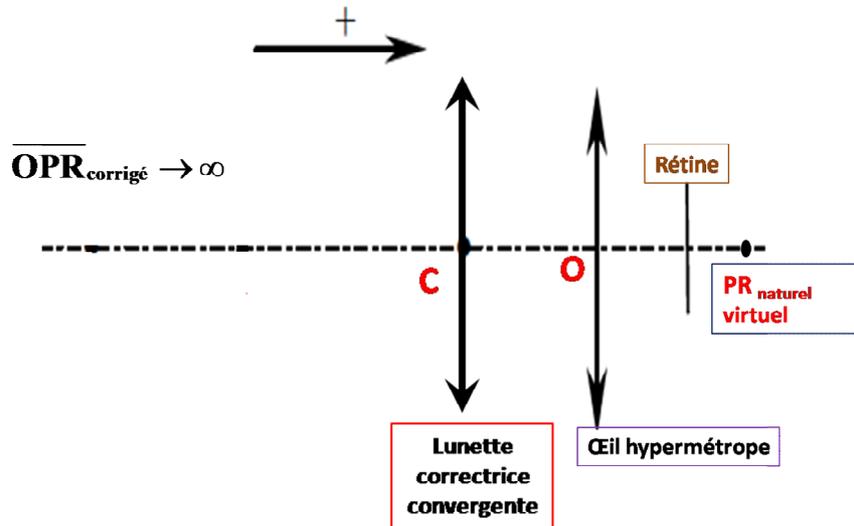
Correction de l'hypermétropie

La relation suivante permet de calculer la vergence de la lentille correctrice :

$$C_{\text{correc}} = \frac{1}{\overline{\text{CPR}}_{\text{naturel}}} - \frac{1}{\overline{\text{CPR}}_{\text{corrigé}}}$$

Ou encore

$$C_{\text{correc}} = \frac{1}{\overline{\text{CO}} + \overline{\text{OPR}}_{\text{naturel}}} - \frac{1}{\overline{\text{CO}} + \overline{\text{OPR}}_{\text{corrigé}}}$$

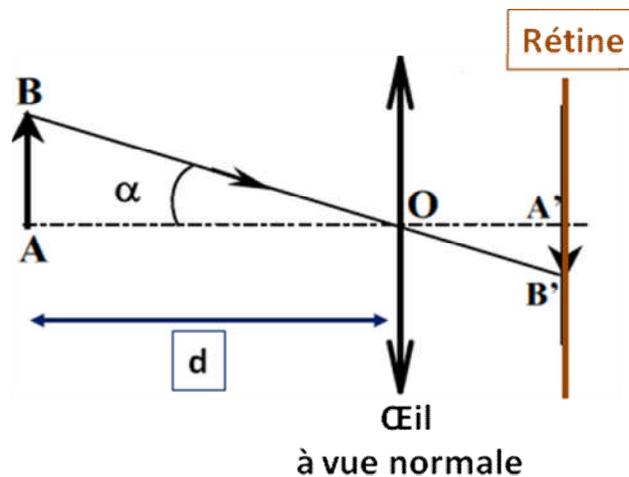


5. Pouvoir séparateur de l'œil

L'œil peut voir des objets très petits jusqu'à une certaine dimension. C'est le pouvoir séparateur spatial que l'on va établir maintenant.

Soit un petit objet **AB**. Si l'œil se trouve à une distance **d** alors l'angle α sous le quel est observé l'objet est tel que:

$$\text{tg } \alpha = \frac{AB}{d}$$



Pour un objet AB de longueur très petite :

$$\text{tg } \alpha \approx \alpha = \frac{AB}{d}$$

Des études faites sur un nombre élevé de personnes munies de yeux « normaux » montrent que l'angle caractérisant le pouvoir séparateur est de l'ordre de $\alpha = 1\text{-}2$ minutes. Rappelons qu'une minute est de l'ordre de $3 \cdot 10^{-4}$ radian. Par conséquent, cette grandeur détermine la plus petite distance angulaire pouvant être séparée par l'œil.

Déterminons maintenant la grandeur minimale de l'objet AB qui peut être vu.

Si l'on prend $\alpha = 3 \cdot 10^{-4}$ radian et $d = 20$ cm alors la grandeur minimale de l'objet sera :

$$AB = 20 \cdot 10^{-2} \times 3 \cdot 10^{-4} = 60 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 60 \text{ } \mu\text{m}.$$