

Le dioptré sphérique (suite et fin)

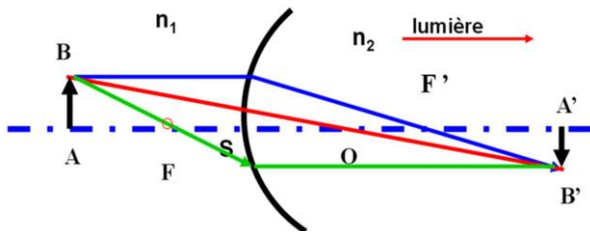


Image d'un objet AB dans les conditions de Gauss

A'B' est perpendiculaire à l'axe optique, image renversée et pas forcément de même taille qu'AB.

Grandissement linéaire transversal

$\gamma = \frac{A'B'}{AB}$ si $\gamma > 0$, image droite et si $\gamma < 0$, image renversée (nombre algébrique).

L'œil

Caractérisation optique de l'œil

Couche la plus externe : sclérotique (couche résistante et mince, blanche, opaque et indéformable) qui se prolonge en avant par la **cornée** (plus fine et transparente) → rôle de protection de l'œil (sauf en avant).

Couche intermédiaire : choroïde (membrane avec vaisseaux sanguins pour nutrition de l'œil) qui se prolonge en avant par les **muscles ciliaires** puis une membrane musculaire, l'iris. L'**iris** (couleur des yeux) est percé en son centre de la **pupille** (ouverture en fonction de la lumière).

Couche la plus interne : rétine (cellules nerveuses) avec au fond la tâche jaune ou fovéa centralis et en dessous une tâche aveugle (nerf optique) → rôle de réception de la lumière et de formation du message nerveux.

La lumière traverse différents milieux transparents : cornée, humeur aqueuse, pupille, cristallin, corps vitrée puis rétine qui reçoit la lumière et transmet le message nerveux via le nerf optique.

Organisation de la rétine

Rétine centrale (ou fovéa centralis) : partie la plus centrale qui n'est constituée que de **cônes**.

Région parafovéale ou périfovéale : prédominance de **cônes** mais **apparition de bâtonnets** au fur et à mesure qu'on s'éloigne du centre.

Rétine périphérique : **bâtonnets** uniquement.

Modèle de l'œil réduit de Listing

Simplification : l'œil est un **dioptré sphérique** unique, convergent et séparant un l'air ($n = 1$) d'un milieu homogène ($n' = 1,336$).

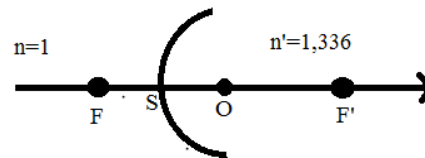
Pour un sujet emmétrope avec l'œil au repos (ordres de grandeur), vision nette si F' est sur la rétine.

Rayon de courbure : $R = \overline{SO} \approx 6 \text{ mm}$.

Puissance : $C = \frac{n'-n}{R} \approx 60 \text{ } \delta$.

Distance focale objet : $f = \overline{SF} \approx - 17 \text{ mm}$.

Distance focale image : $f' = \overline{SF'} \approx + 23 \text{ mm}$.



Formation des images

Accommodation

- Si le point objet est à **l'infini** (grand éloignement par rapport à la distance focale objet), l'image se forme en **F' sur la rétine**.
- Si le point objet est à une **distance finie, modification de la géométrie de l'œil** pour formation de l'image sur la rétine → accommodation (pas pour un dioptré) grâce aux muscles ciliaires (modification de R et donc de C en sens inverse).

Punctum proximum et punctum remotum

Punctum proximum (PP) : point objet où **l'accommodation est maximale**. On note ce point **A_{PP}**. **d_m** correspond à la distance minimale de vision distincte et donc la distance entre le sommet de l'œil S et le point PP.

→ d_m augmente avec l'âge car l'élasticité du cristallin diminue, il est très déformable à la naissance (d_m = 0 cm) puis de moins en moins souple (d_m = 15 cm à 20 ans).

Punctum remotum (PR) : point objet **le plus éloigné que l'œil peut voir au repos**. On note ce point **A_{PR}**. **d_M** correspond à la distance maximale de vision distincte et donc la distance entre le sommet de l'œil S et le point PR.

→ pour un sujet emmétrope, le point PR est à l'infini.

Amplitude d'accommodation

Variation de la puissance de l'œil : **A = C_{max} - C₀** où C_{max} est la puissance pour un objet en A_{PP} et C₀ pour un objet en A_{PR}.

A = P_{PR} - P_{PP} où P_{PR} est la proximité du PR et P_{PP} la proximité du PP.

L'unité S.I est le dioptré δ (équivalent à des m⁻¹). Le parcours accommodatif est la zone de vision distincte entre PP et PR.

Presbytie

Eloignement progressif du PP (l'accommodation est moins bonne) avec l'âge, ce n'est ni une amétropie, ni une pathologie.

$A (8 \text{ ans}) \approx 14 \delta \mid A (20 \text{ ans}) \approx 11 \delta \mid A (30 \text{ ans}) \approx 8 \delta \mid A (45 \text{ ans}) \approx 4 \delta$

Si $A < 4 \delta$, alors on parle de presbytie.

Acuité visuelle

Le diamètre apparent α est l'angle sous lequel est vu l'objet.

$AV = \frac{1}{\alpha_m}$ où α_m est le minimum séparable en minutes d'angle, le α pour que A et B soient vus séparément donc A' et B' soient sur des cellules distinctes. AV est en dixièmes, il peut être supérieur à 10.

Notion de convergence de la rétine et des voies optiques

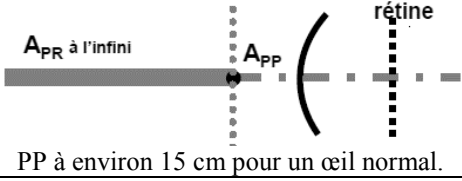
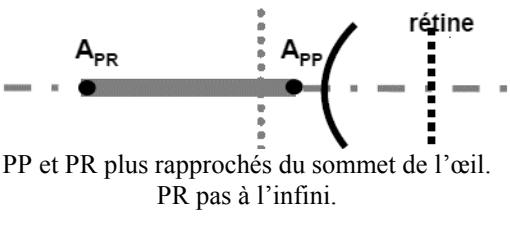
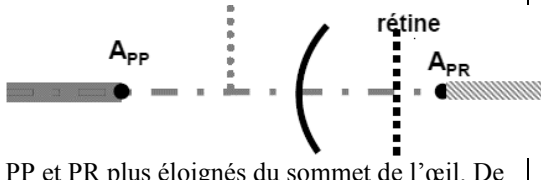
Territoire indépendant au niveau de la rétine: n cellules sensorielles convergeant vers 1 fibre du nerf optique.

Le nerf optique compte 10^6 fibres, la rétine compte $6 \cdot 10^6$ cônes et $120 \cdot 10^6$ bâtonnets.

Rétine périphérique : bâtonnets avec fonctionnement coopératif, bonne sensibilité aux basses luminances (vision nocturne) mais mauvais pouvoir séparateur → grand n dans un territoire indépendant très ramifié.

Rétine centrale : cônes avec fonctionnement indépendant, sensibilité uniquement aux fortes luminances (vision diurne) mais bon pouvoir séparateur → petit n dans un territoire indépendant peu ramifié voire linéaire.

Défauts de l'œil

Type d'œil	Causes / Vision	Position du PP et du PR	Correction	Remarques
<i>Emmétrope</i>	Normal.	 <p>PP à environ 15 cm pour un œil normal.</p>	\emptyset	Degré d'amétropie = 0δ
Amétropies Sphériques (degré d'amétropie = $- P_{PR}$)	Plan focal image en avant de la rétine, quand œil au repos. Vision floue surtout pour les objets éloignés (tâche et non point sur la rétine). Œil trop convergent et pas d'accommodation possible.	 <p>PP et PR plus rapprochés du sommet de l'œil. PR pas à l'infini.</p>	Lentille correctrice divergente (vergence négative) pour dévier les rayons vers l'extérieur.	Presbytie corrigée plus tard que pour un œil seulement presbyte.
	Plan focal image en arrière de la rétine, quand œil au repos. Vision floue. Œil trop divergent , si faible, accommodation possible.	 <p>PP et PR plus éloignés du sommet de l'œil. De façon imagée, le PR revient de l'autre côté et est virtuel. Zone de vision distincte de $-\infty$ à PP.</p>	Lentille correctrice convergente (vergence positive) pour dévier les rayons vers l'intérieur.	Céphalées lors de lectures prolongées si non corrigée. Accommodation pour voir à l'infini. Presbytie corrigée plus tôt que pour un œil seulement presbyte.

Astigmatisme (amétropie non sphérique)

Astigmatisme irrégulier : **variation irrégulière** des différents rayons selon les plans de coupe. Dû à une cornée pathologique. Correction difficile avec des verres de lunettes.

Astigmatisme régulier : **variation continue** du rayon de courbure. Deux plans méridiens principaux (horizontal et vertical) : puissance maximum (rayon de courbure minimum) et puissance minimum (rayon de courbure maximum). A chaque méridien correspond une droite focale. **Le foyer image n'est plus ponctuel mais est remplacé par deux droites focales.**

→ Astigmatisme « conforme à la règle » = la focale horizontale est avant la focale verticale (degré d'astigmatisme = différence entre les puissances des deux méridiens en δ).

→ Astigmatisme « non conforme à la règle » = la focale horizontale est en arrière de la focale verticale.

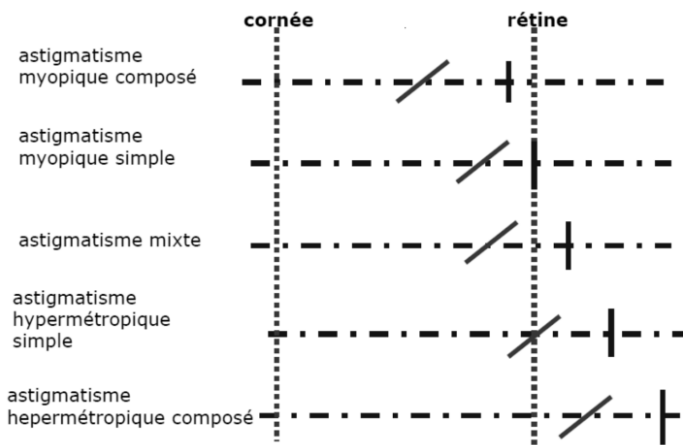


Schéma dans le cas de l'astigmatisme « conforme à la règle » (pour non conforme, inverser les deux focales).

Correction de l'astigmatisme : on considère qu'un œil astigmaté équivaut à **deux amétropies sphériques** (deux plans méridiens). Le sujet est myope ou hypermétrope (selon le cas) de $x \delta$ pour le méridien vertical et $y \delta$ pour le méridien horizontal. Les lentilles correctrices sont une combinaison de verres avec des rayons de courbures différents dans les deux méridiens.

Correction des amétropies

Lentilles (lunettes ou verres de contact) ou chirurgie ophtalmologique (correction des défauts du globe oculaire → lasers pulsés ou UV, Lasik pour tissu cornéen). Le but de la correction est que **l'ensemble œil + correction est un PR valant $-\infty$** .

Lentilles minces

2 dioptries sphériques avec R_1 et R_2 comme rayons de courbure formant un système optique centré. Epaisseur négligeable par rapport aux rayons de courbure. Le centre optique O est confondu avec les sommets S_1 et S_2 des dioptries. Les rayons lumineux passant par O ne sont pas déviés.

→ **lentilles convergentes** (ou lentilles à bords minces) : biconvexe, plan convexe ou ménisque convergent (symbole : double flèche).

→ **lentilles divergentes** (ou lentilles à bords épais) : biconcave, plan concave ou ménisque divergent (symbole : double flèche tournée vers l'intérieur).

Pour les lentilles minces (et pas les dioptries !), on a $f = -f'$, donc les foyers objet F et image F' sont symétriques par rapport au point O.

Relation fondamentale de conjugaison

Lentilles minces, placées dans l'air et dans les conditions d'approximation de Gauss, avec un axe orienté dans le sens de propagation de la lumière.

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f'} \text{ où } p = \overline{OA} ; p' = \overline{OA'} \text{ et } f' = \overline{OF'}$$

Puissance ou vergence d'une lentille

$$V = \frac{1}{f'} = \frac{1}{p} - \frac{1}{p'}$$

si $V > 0$, la lentille est convergente et si $V < 0$, la lentille est divergente.

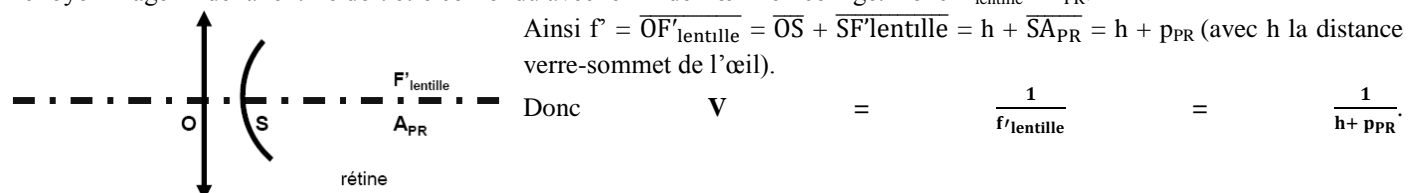
Deux lentilles accolées se comportent comme une lentille unique de puissance $V = V_1 + V_2$.

Grandissement transversal

$$\gamma = \frac{p'}{p}$$

Calcul de correction d'une amétropie sphérique

Le foyer image F' de la lentille doit être confondu avec le PR de l'œil non corrigé. Donc $f'_{\text{lentille}} \equiv A_{PR}$.



Ainsi $f' = \overline{OF'_{\text{lentille}}} = \overline{OS} + \overline{SF'_{\text{lentille}}} = h + \overline{SA_{PR}} = h + p_{PR}$ (avec h la distance verre-sommet de l'œil).

$$\text{Donc } V = \frac{1}{f'_{\text{lentille}}} = \frac{1}{h + p_{PR}}$$

