

UE2 BIOPHYSIQUE

Pr. Peretti – Biophysicienne et médecin nucléaire

Le 4 octobre 2015 de 13h30 à 15h30

Ronéotypeur : GOMEZ Julie

Ronéoficheur : SOLIGNAC Emma

COURS N°2 OPTIQUE 2

Mme. Peretti ne donne pas les questions tombables au partiel par contre, à son dernier cours, elle organisera une séance de révisions sur les points les plus importants à connaître pour le partiel. Elle conseille également de s'entraîner sur les livres cités au début de son premier cours.

SOMMAIRE

- I. **IMAGE D'UN OBJET AB DANS LES CONDITIONS DE GAUSS**
 - A. Exemple
 - B. Grandissement linéaire transversal γ

- II. **L'ŒIL**
 - A. Caractérisation optique de l'œil
 - B. L'organisation de la rétine
 - C. Modèle : œil réduit de Listing

- III. **FORMATION DES IMAGES**
 - A. Accommodation
 - B. Punctum Proximum et Punctum Remotum
 - C. Amplitude d'accommodation

- IV. **LA PRESBYTIE**

- V. **ACUITE VISUELLE**
 - A. Définition
 - B. Notion de convergence de la rétine et des voies optiques

- VI. **LES AMETROPIES SPHERIQUES**
 - A. La myopie
 - B. L'hypermétropie ou hyperopie
 - C. L'astigmatisme

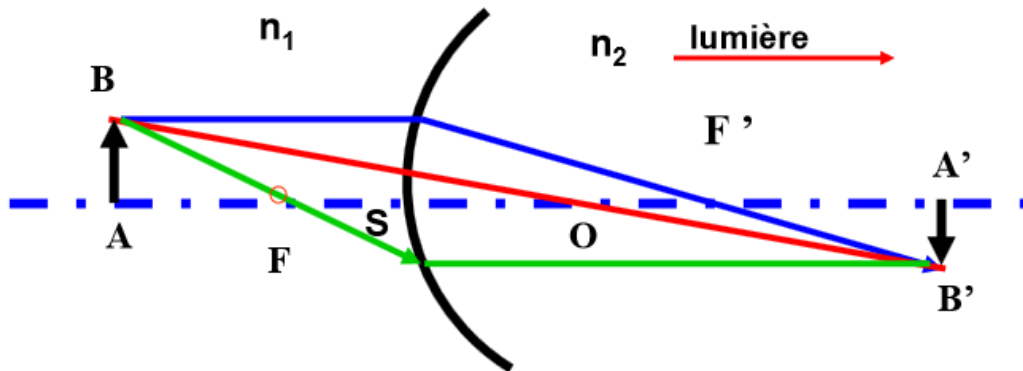
- VII. **CORRECTION DES AMETROPIES**
 - A. Les lentilles minces
 - B. Relation fondamentale de conjugaison pour les lentilles minces
 - C. Puissance ou vergence d'une lentille
 - D. Grandissement transversal
 - E. Correction des amétropies à l'aide de lentilles

I- IMAGE D'UN OBJET AB DANS LES CONDITIONS DE GAUSS

A. EXEMPLE

Pour réaliser les conditions de Gauss, nous sommes en présence :

- D'un objet petit,
- Perpendiculaire à l'axe,
- Des rayons peu inclinés



- Le rayon issu du point B passant par le centre optique (centre O) est non dévié
- Le rayon incident issu de B et parallèle à l'axe optique émerge en passant par F'
- Le rayon incident issu de B passant par F émerge parallèlement à l'axe du côté optique

L'image A'B' est l'intersection des TROIS rayons émergents et est perpendiculaire à l'axe optique. Ici A'B' est renversé mais ce n'est pas toujours le cas.

B. GRANDISSEMENT LINEAIRE TRANSERSAL γ

1. Définition

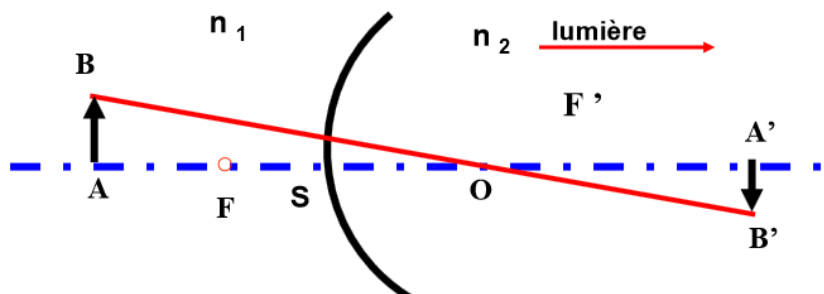
$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

Le nombre algébrique γ définit si l'image est droite ($\gamma > 0$) ou si l'image est renversée ($\gamma < 0$).

2. Expression de γ pour les dioptries

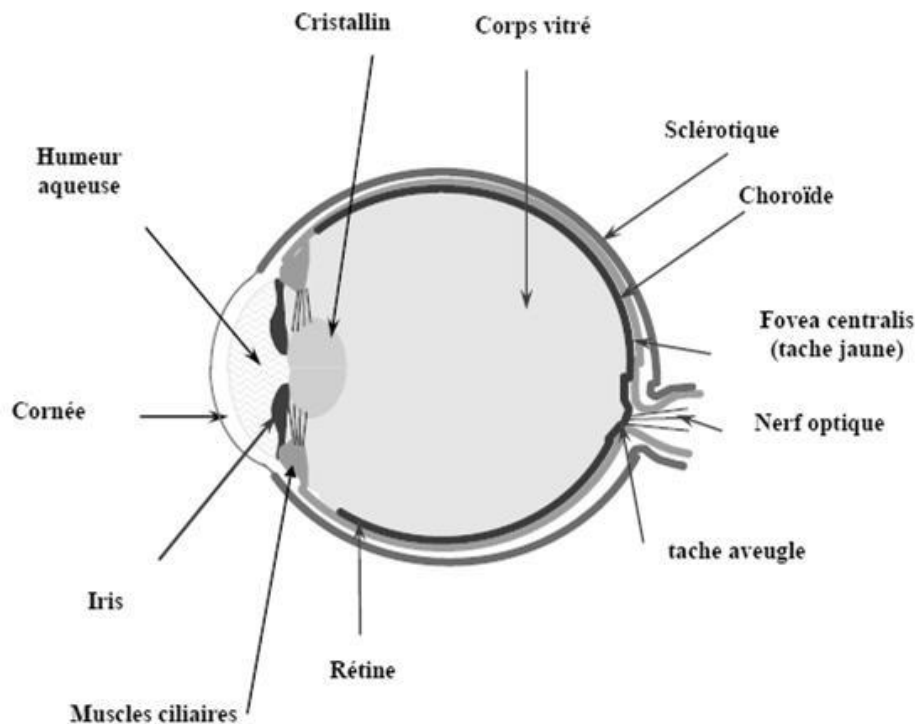
$$\gamma = \frac{n_1 p'}{n_2 p}$$

où n_1 et n_2 sont des indices de réfraction, p et p' sont les abscisses des points A et A'.



II- L'ŒIL

A. CARACTERISATION OPTIQUE DE L'ŒIL



L'œil est constitué de trois couches :

- **La sclérotique** qui est une membrane blanche, opaque et indéformable, d'une épaisseur de 0,5 à 1mm. Elle protège l'œil et se prolonge en avant par la cornée, plus fine et transparente pour laisser passer les rayons lumineux.
- **La membrane choroïde** est traversée par de nombreux vaisseaux sanguins qui alimentent la rétine. Elle est prolongée en avant par les muscles ciliaires qui peuvent agir sur le cristallin.
- **La rétine**, la couche la plus interne, comporte les cellules sensorielles : les cônes et les bâtonnets, ainsi que la tache jaune au fond de l'œil qui est une zone de vision très précise.

Dans l'œil, il y a également :

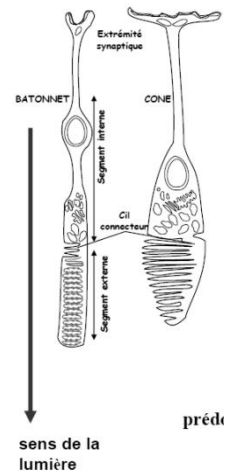
- **L'iris**, membrane circulaire colorée qui donne la couleur des yeux. Elle comporte une ouverture.
- La **pupille**, qui permet de laisser les rayons lumineux en traversant le cristallin. Dans la pénombre, la pupille s'ouvre pour laisser passer un maximum de rayons et dans la lumière elle se referme pour protéger l'œil.
- Le **cristallin** qui agit comme une lentille et dont la forme est modifiable sous l'action des muscles ciliaires.
- La tache aveugle (dans la rétine) correspond au départ du nerf optique.
- L'humeur aqueuse est un liquide transparent.
- Le corps vitré est un gel aqueux.

B. L'ORGANISATION DE LA RETINE

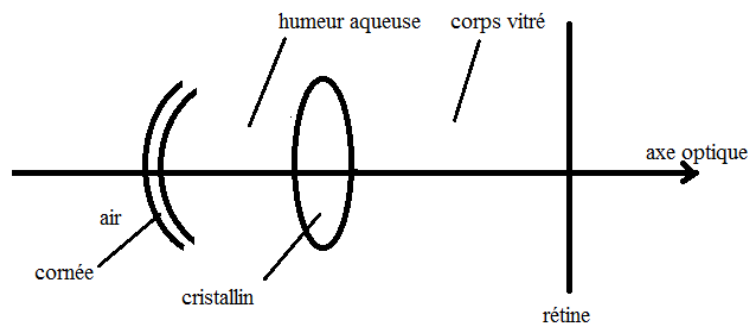
Les cellules sensorielles ou réceptrices sont les cônes et les bâtonnets. Les substances photosensibles sont des dans le segment externe de ces cellules.

Les différentes zones de la rétine :

- La rétine centrale :
 - ✓ Fovéa : partie la plus centrale ou fovea centralis (fovéola) constituée uniquement des cônes.
 - ✓ Région parafovéale et périfovéale : prédominance des cônes et apparition progressive des bâtonnets.
- La région périphérique ; uniquement des bâtonnets.



L'œil est un système optique centré, c'est-à-dire la suite de dioptries sphériques de même axe optique.



Lumière provoque des réactions au niveau des cellules chromophores, qui réalise la réaction photochimique responsable de la formation d'un potentiel d'action. Ce potentiel d'action est ensuite transmis au cerveau qui peut décoder le message en image.

Quelques indices de réfraction :

$$n(\text{air}) = 1$$

$$n(\text{cornée}) = 1,337$$

$$n(\text{humeur aqueuse}) = 1,337$$

$$n(\text{cristallin}) = 1,420$$

$$n(\text{corps vitrée}) = 1,336$$

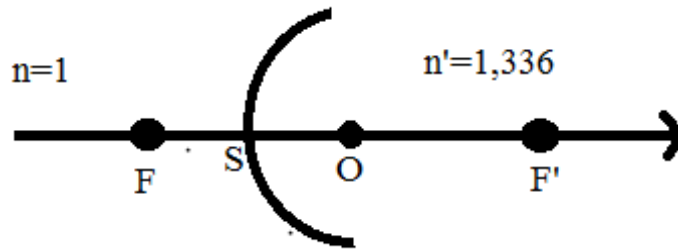
C. MODELE : ŒIL REDUIT DE LISTING

Le système optique de l'œil est équivalent à un **dioptré sphérique unique, convergent**, séparant l'air ($n=1$) d'un milieu homogène d'indice $n'=1,336$

Les caractéristiques moyennes définies pour un sujet emmétrope (sujet avec une vision normale) avec un œil au repos :

- Rayon de courbure : $R = \overline{SO} \cong 6 \text{ mm}$

- Puissance : $C = (n' - n)/R \cong 60 \delta$
- Distance focale objet : $f = \overline{SF} \cong -17\text{mm}$
- Distance focale image : $f' = \overline{SF'} \cong +23\text{mm}$



La vision est nette si F' est sur la rétine.

III- FORMATION DES IMAGES

A. ACCOMMODATION

- En présence d'un point objet à l'infini avec un œil au repos : l'image se forme en F' , sur la rétine si le sujet est emmétrope
 - En revanche, s'il y a une modification de la géométrie de l'œil, l'image sur la rétine avec un point objet à distance finie.
- action des muscles ciliaires qui agissent sur le cristallin et permettent de modifier le rayon de courbure du cristallin → variation de la puissance du dioptré. Exemple : si on veut que C augmente alors R doit diminuer (inversement proportionnel). Remarque : lors d'une accommodation prolongée, il peut y avoir une fatigue visuelle.

B. PUNCTUM PROXIMUM ET PUNCTUM REMOTUM

Punctum Proximum (PP) : Le point objet au punctum proximum (A_{pp}) est le point où l'accommodation est maximale. C'est le point le plus proche que l'œil puisse voir net.

Le PP est défini par d_m , la distance minimale de vision distincte qui correspond à la distance entre le sommet S de l'œil et le PP. Le d_m varie avec l'âge : il augmente car l'élasticité du cristallin diminue.

$$d_m (\text{naissance}) = 0$$

$$d_m (20\text{ans}) \cong 15\text{cm}$$

Punctum Remotum (PR) : Le point objet « (A_{pr}) le plus éloigné que l'œil peut voir nettement dans le cas d'un œil au repos, c'est-à-dire qui n'accommode pas, qui ne fait pas d'effort d'accommodation. Le PR est défini par d_M : la distance maximale de vision distincte, la distance entre le sommet S de l'œil et le PR. Pour un sujet emmétrope le PR est situé à l'infini.

C. AMPLITUDE D'ACCOMMODATION A

- Définition : variation de la puissance de l'œil entre la puissance maximale C_{max} (objet en A_{pp}) et la puissance minimale de l'œil C_0 (objet en A_{pr}).

$$A = C_{\max} - C_0 \quad (\text{Unité SI : A en dioptries } \delta)$$

- Le parcours d'accommodation (ou parcours accommodatif) est la zone de vision distincte. C'est la portion de l'espace comprise entre le PR et le PP.

Remarque :

- Œil emmétrope :
 - Abscisse de A_{PR} : $p_{PR} = -\infty$
 - Et proximité de A_{PR} : $P_{PR} = 0$
- Signes :
 - $P_{PP} < 0$: situé devant l'œil.
 - $P_{PR} < 0$ ou > 0 suivant les amétropies mais il est nul pour les emmétropes.
- Expression de l'amplitude d'accommodation A en fonction des proximités du PR et du PP :

$$A = P_{PR} - P_{PP}$$

IV- LA PRESBYTIE

La presbytie n'est pas un défaut, c'est une évolution physiologique de l'œil, ce n'est pas une amétropie. C'est la **variation de l'amplitude d'accommodation** avec l'âge. On observe un **éloignement progressif du PP**.

Chiffres moyens :

$$A (8 \text{ ans}) \cong 14 \delta$$

$$A (20 \text{ ans}) \cong 11 \delta$$

$$A (30 \text{ ans}) \cong 8 \delta$$

$$A (45 \text{ ans}) \cong 4 \delta$$

Dans le cas d'une amplitude d'accommodation $A < 4$ dioptries (échelle arbitraire) : on parle de presbytie.

- Calcul de la position du PP dans le cas d'un sujet emmétrope de 8 ans :

$$P_{PR} = 0 \rightarrow A = P_{PR} - P_{PP} \rightarrow 14 = 0 - P_{PP} \rightarrow P_{PP} = -14 \text{ dioptries ou } \delta.$$

Donc l'abscisse de PP = $-1/14 = -0,07 \text{ m} = -7 \text{ cm}$ devant les yeux. Le parcours accommodatif de ce sujet va de $-\infty$ à 7 cm en avant de l'œil (parcours important).

- Calcul de la position du PP dans le cas d'un sujet à 4 dioptries :

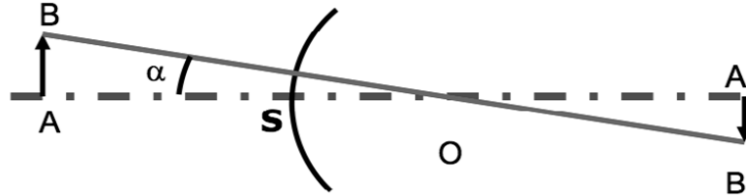
$$4 = 0 - P_{PP} \rightarrow P_{PP} = -4 \text{ dioptries}$$

L'abscisse du PP = $-1/4 = -0,25 \text{ m} = -25 \text{ cm}$ (distance moyenne de lecture). Pour $A < 4 \delta$, le PP est à une distance où le sujet commence à être gêné.

V- ACUITE VISUELLE

A. DEFINITION

On considère un objet AB et son image A'B' située sur sa rétine.



- Le diamètre apparent α est l'angle sous lequel est vu l'objet. La dimension de l'image est essentiellement fonction de α : si on a un objet plus grand mais plus éloigné c'est pareil que si on a un objet plus petit mais plus près.

- Minimum séparable $\alpha(m)$: valeur minimale de α

→ C'est la distance minimale qui permet de distinguer deux points proches.

A et B sont vus séparés si A' et B' sont sur des cellules sensorielles distinctes.

- Définition acuité visuelle AV noté a :

Caractérise le pouvoir séparateur de l'œil → jusqu'où on arrive à séparer les deux points

$$a = \frac{1}{\alpha_m}$$

α_m minutes d'angle (1degré = 60min) et a en dixièmes.

Exemples :

$\alpha_m = 1$ minute → $a = 1/1 = 1 = 10/10 = 10$ dixièmes

$\alpha_m = 2$ minutes → $a = 1/2 = 0,5 = 5/10 = 5$ dixièmes

Remarques :

La valeur de α est fonction des conditions d'éclairage. Et chez certains sujets, elle peut être supérieure à 10 dixièmes (angle inférieure à 1minute). Le sujet aura une meilleure vision.

Ex : $a = 12$ dixième si $\alpha = 0,8$ minutes

B. NOTION DE CONVERGENCE DE LA RETINE ET DES VOIES OPTIQUES

Rétines : 6 millions de cônes et 120 millions de bâtonnets

Nerf optique : 1 million de fibres

Convergence : n cellules sensorielles qui aboutissent sur une même fibre du nerf optique. Ces n cellules forment un territoire rétinien indépendant du voisin

Sur la rétine périphérique, les bâtonnets sont très nombreux et forment un territoire rétinien très ramifié et très grand. Les bâtonnets fonctionnent de manière coopérative, ils additionnent leurs

renseignements. C'est pourquoi ils ont une bonne sensibilité aux basses luminances, et sont responsables de la vision nocturne.

Mais comme ils sont regroupés, ils ne permettent pas une bonne acuité visuelle car ils n'ont pas un bon pouvoir séparateur. Si on avait que des bâtonnets, on aurait 2 à 3/10 d'acuité visuelle.

Sur la rétine centrale, les cônes sont moins nombreux et forment un territoire indépendant peu ramifié, voir linéaire (fovéa) ce qui permet un fonctionnement individuel des cônes. Ils ont donc une bonne sensibilité uniquement pour les fortes luminances : vision diurne et pouvoir séparateur.

Pathologie : La dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) : la rétine centrale est abimée, les cônes ne sont plus fonctionnels. La vision est alors basée sur la rétine périphérique. Les sujets sont moins sensibles à la couleur et ils ont une acuité visuelle plus faible

VI- LES AMETROPIES SPHERIQUES

- Œil normal = œil emmétrope
- Œil Anormal = œil amétrope

Amétropie sphérique : défaut de l'œil avec conservation de la sphéricité de l'œil. Il existe 2 types d'amétropie sphérique : myopie et hypermétropie.

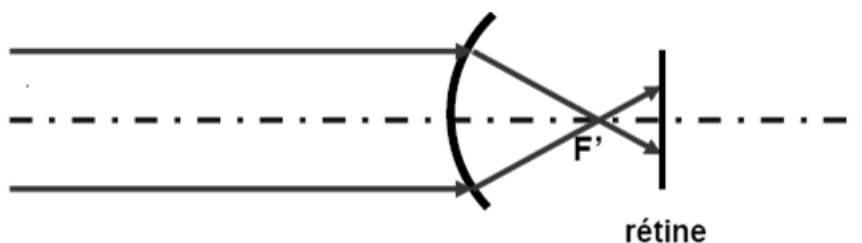
Définition du degré d'amétropie :

$$\boxed{\text{degré d'amétropie} = - P_{PR}} \quad (P_{PR} : \text{proximité du punctum remotum})$$

Remarque : pour un œil emmétrope, le degré d'amétropie = 0.

A. LA MYOPIE

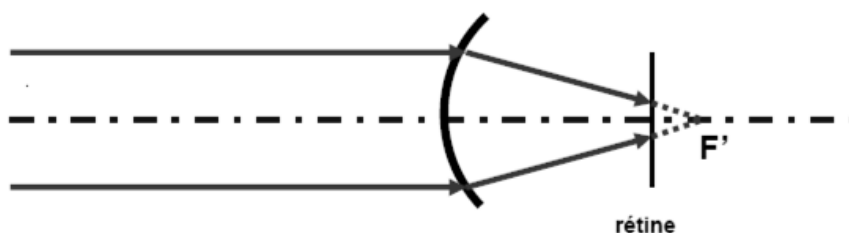
On considère un Œil au repos, un objet à l'infini : chez un myope, le plan focal image est en avant de la rétine :



Les rayons incidents émergent du dioptre et convergent **avant** la rétine. Le sujet a donc une vision floue : tache circulaire. Avec de l'accommodation, il n'y aura pas d'amélioration. Le PR et le PP sont plus proches chez un myope que pour un œil normal. La correction de la presbytie sera en revanche plus tardive que pour un œil normal.

B. L'HYPERMETROPIE (OU HYPEROPIE)

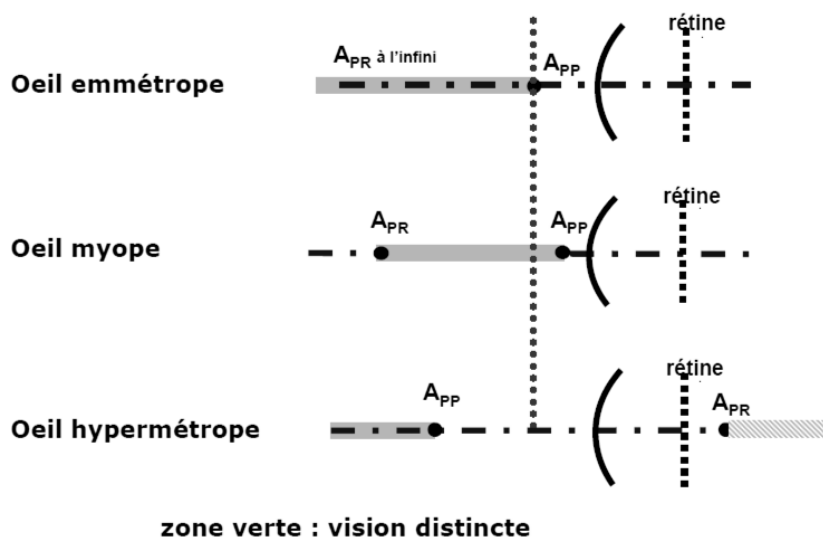
On considère un œil au repos, un objet à l'infini : chez un hypermétrope, le plan focal image est en arrière de la rétine.



Les rayons incidents émergent du dioptré et convergent en arrière de la rétine. Le sujet a une vision floue : tache non ponctuelle. Le PP est plus éloigné que pour un œil normal (donc virtuellement le PR revient de l'autre côté).

Avec une faible hypermétropie, l'accommodation, permet au sujet de voir net à l'infini mais il accommode plus et peuvent être sujet à des céphalées lors de lectures prolongées. Les hypermétropes, à l'inverse des myopes, auront besoin d'une correction de presbytie plus rapide.

BILAN : POSITIONS RESPECTIVES DU PUNCTUM PROXIMUM ET PUNCTUM REMOTUM

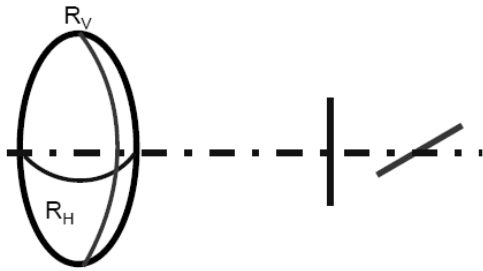


C. ASTIGMATISME

Le sujet présente un défaut de sphéricité au niveau des dioptrés oculaires : le rayon de courbure est variable suivant le plan de coupe et la puissance est variable dans chaque plan de coupe.

2 types d'astigmatisme :

- *Astigmatisme irrégulier* : variation irrégulière des rayons dans les différents plans de coupe. Cas pathologique suite à un traumatisme, ou une affection de la cornée (kératocône).
- *Astigmatisme régulier* : variation continue du rayon de courbure avec la présence de 2 plans méridiens principaux. Le 1^{er} méridien correspond à la puissance maximum, minimum de R. Le 2^{ème} méridien correspond à la puissance minimum, maximum de R.



On ne peut pas définir un seul foyer ponctuel mais deux droites focales (une qui correspond au R horizontal et l'autre au R vertical).

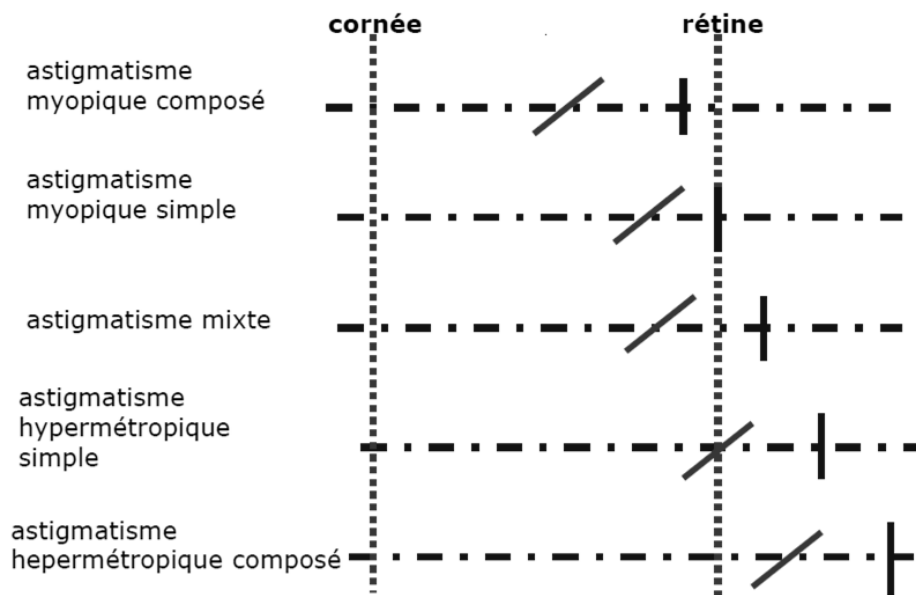
→ R_h : méridien horizontal = focale verticale et R_v : méridien vertical = focale horizontale

DEUX TYPES POSSIBLES D'ASTIGMATISME REGULIER :

- Astigmatisme conforme à la règle, le plus courant → focale horizontale en avant de la focale verticale.
- Astigmatisme non conforme à la règle, moins courant → inverse, focale horizontale en arrière de la focale verticale.

Degré d'astigmatisme (régulier) : différence entre les puissances des 2 méridiens principaux. Si la différence est supérieure à 1 dioptrie, c'est pathologique.

POSITIONS DES DROITES FOCALES PAR RAPPORT A LA RETINE (pour un astigmatisme conforme à la règle)



Sens de propagation de la lumière : de la gauche vers la droite

- 1^{er} cas : les deux focales sont en avant → double myopie
- 2^{ème} cas : une focale sur la rétine, une focale en avant → myopie pour la focale en avant
- 3^{ème} cas : une focale en avant, une arrière → myopie + hypermétropie
- 4^{ème} cas : une focale sur la rétine, une focale en arrière → hypermétropie pour focale en arrière
- 5^{ème} cas : les deux focales sont en arrière → double hypermétropie

(pour un astigmatisme non conforme, inverser les deux focales)

Remarque : vision d'une mire horaire

- Œil emmétrope : les deux branches sont vues nettement.
- Astigmatisme myopique simple (avec focale verticale sur la rétine) : la branche verticale est nette et la branche horizontale est floue.

VII- CORRECTION DES AMETROPIES

Les amétropies peuvent être corrigées par des lunettes ou verres de contact. La chirurgie oculaire permet aussi de corriger les défauts du globe oculaire en utilisant des lasers pulsés ou UV. Le Lasik, est une méthode chirurgicale permettant de corriger par la chirurgie le tissu cornéen de manière très précise.

A. LES LENTILLES MINCES

Une **lentille** est un ensemble de 2 dioptries sphériques (R_1, R_2) de même axe optique (système optique centré). La substance utilisée est homogène et transparente (verre ou plastique).

On utilise en fait des **lentilles minces** avec une épaisseur (e) faible : $e \ll R_1$ $e \ll R_2$ (\ll très inférieur)

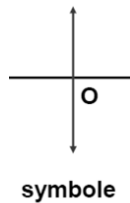
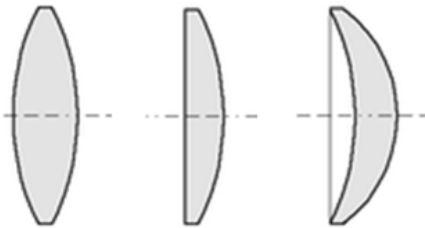
Un des dioptries peut être plan (un dioptrie plan est un dioptrie sphérique avec un rayon infini). Le centre optique O de la lentille est alors pratiquement confondu avec les sommets S_1 et S_2 des deux dioptries. **Tout rayon passant par O sera un rayon non dévié (celui qui passe par le centre optique).**

Les différents types de lentilles minces

Il existe deux types de lentilles minces :

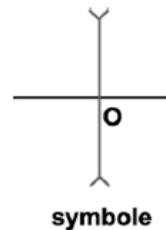
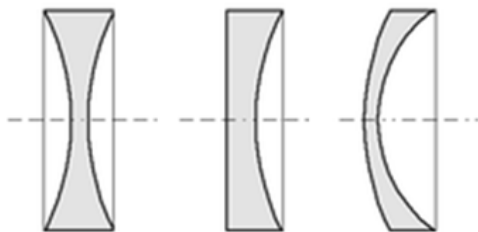
- Les lentilles convergentes : biconvexe, plan convexe, ménisque convergent.

Elles sont représentées par une double flèche.



- Les lentilles divergentes : biconcave, plan concave, ménisque divergent.

représentées par



pointe vers le haut.

La flèche du haut pointe vers le bas et la flèche du bas

FOYERS ET DISTANCES FOCALES D'UNE LENTILLE MINCE :

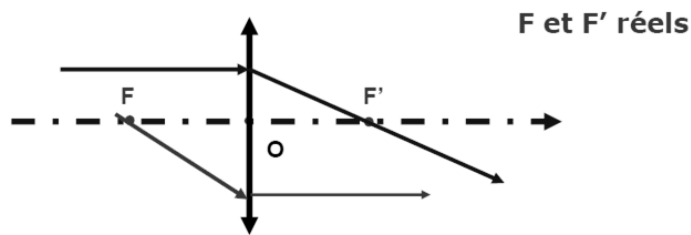
Rappel : tout rayon passant par le centre optique ne sera pas dévié

Un rayon incident parallèle à l'axe optique émerge en passant par le foyer image F'

Un rayon incident partant du foyer objet F émerge parallèlement à l'axe optique

Relation entre f et f' **pour une lentille mince** : $f = -f'$ → Pour les lentilles minces : les foyers F et F' sont symétriques par rapport à O .

Ex : cas des lentilles convergentes



- Tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge en passant par F'
- Tout rayon incident partant de F émerge parallèlement à l'axe optique
- Tout rayon passant par O ne sera pas dévié par la lentille

Distance focale image f' : position de F'

$$f' = \overline{OF'} > 0$$

Distance focale objet f : position de f

$$f = \overline{OF} < 0$$

B. RELATION FONDAMENTALE DE CONJUGAISON :

Conditions préalables : Des lentilles minces, placées dans l'air et réalisation de l'approximation de Gauss. Toujours en présence d'un axe orienté en fonction du sens de propagation de la lumière.

Relation algébrique de conjugaison :

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

$$p = \overline{OA} \quad p' = \overline{OA'} \quad f' = \overline{OF'}$$

→ Une lentille est l'association de dioptries, par une démonstration, on arrive à la relation du haut qui caractérise les lentilles.

C. PUISSANCE OU VERGENCE DUNE LENTILLE

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

Lentille convergente : V positif
Lentille divergente : V négatif

Avec l'association de 2 lentilles minces accolées, on obtient un système optique équivalent à une lentille unique de puissance V :

$$V = V_1 + V_2$$

D. GRANDISSEMENT TRANSVERSAL

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

$\gamma > 0$: image droite
 $\gamma < 0$: image renversée

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

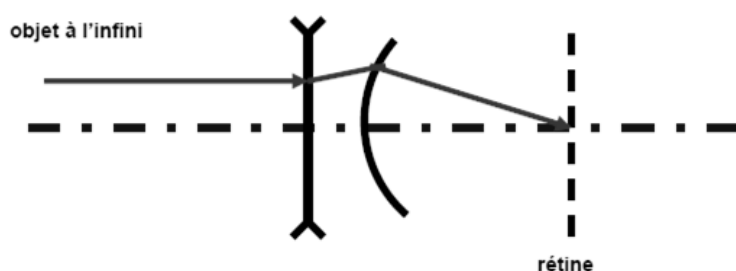
Propriété pour les lentilles

E. CORRECTION DES AMETROPIES A L'AIDE DE LENTILLES

Le but est que le sujet puisse voir correctement et sans se fatiguer. Le punctum remotum doit se trouver à l'infini et l'image sur la rétine.

- Cas de la myopie :

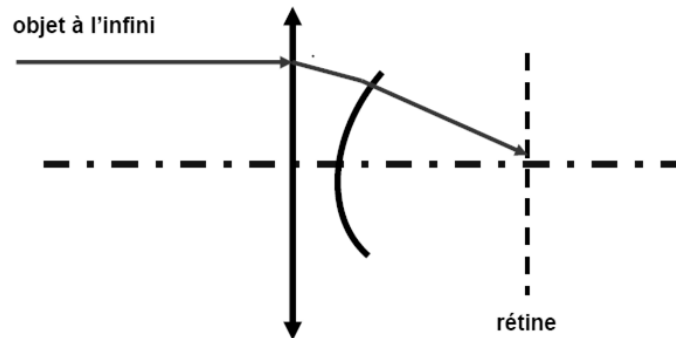
Méthode : lentille correctrice divergente (vergence négative).



L'objet est à l'infini, la lentille divergente dévie le rayon émergent, le rayon converge alors sur la rétine et le sujet peut voir l'image nettement.

- Cas de l'hypermétropie :

Méthode : lentille correctrice convergente à vergence positive.



La lentille permet de ramener le rayon émergent vers la rétine et de ne pas aller plus loin.

- Cas de l'astigmatisme régulier :

En présence d'un sujet qui a une double amétropie sphérique. Par exemple, un astigmatisme myopique composé avec une myopie de x dioptries pour le méridien vertical et une myopie de y dioptries pour le méridien horizontal.

Dans ce cas, les lentilles correctrices seront la combinaison de verres avec des rayons de courbures différents dans les 2 méridiens.

- Calcul de la correction d'une amétropie sphérique par une lentille :

Principe : on cherche à ce que l'image finale d'un objet situé à l'infini se retrouve sur la rétine sans accommodation.

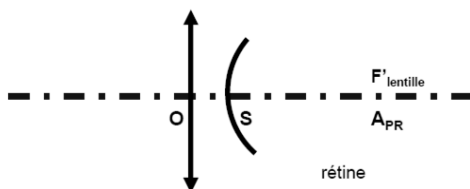
Méthode :

- Pour que l'image finale soit sur la rétine, il est nécessaire que l'objet soit situé au niveau du PR de l'œil.
- Comme l'objet est à l'infini, la lentille donne une image intermédiaire de cet objet qui doit être située sur le PR de l'œil non corrigé pour que l'image se forme nettement sur la rétine et sans accommodation.

A ce moment, on dit que le foyer image de la lentille est confondu avec l'abscisse du PR :

$$\rightarrow \mathbf{F' \text{ lentille} \equiv \mathbf{A_{PR}}}$$
 (avec \equiv qui signifie « identique à »)

Exemple : Cas de la lentille convergente :



Le foyer image de la lentille est confondu avec le Punctum Remotum du sujet.

- Calcul de la puissance du verre correcteur (myopie et hypermétropie) :

RAPPEL : $f'_{\text{lentille}} = \overline{OF'_{\text{lentille}}}$

$$\overline{OF'_{\text{lentille}}} = \overline{OS} + \overline{SF'_{\text{lentille}}} = \overline{OS} + \overline{SA_{PR}} = \mathbf{h + p_{PR}}$$

$$V = \frac{1}{f'_{\text{lentille}}} = \frac{1}{h + p_{\text{PR}}} \quad (h = 2\text{cm pour les lunettes, souvent petit voire négligeable})$$

Cas de l'hypermétropie : $P_{\text{PR}} > 0 \rightarrow V > 0 \rightarrow$ lentille convergente.

Cas de la myopie : $P_{\text{PR}} < 0 \rightarrow V < 0 \rightarrow$ lentille divergente.