

Anomalies de la vision

1. CONDITIONS DE VISION NORMALE	2
1.1. PROPRIETES OPTIQUES DES MILIEUX TRANSPARENTS DE L'ŒIL	2
1.1.1. LES DIVERS DIOPTRES DE L'ŒIL EMMETROPE.....	2
1.1.2. L'ŒIL REDUIT	2
1.1.3. LE DIAMETRE APPARENT DE L'OBJET	3
1.2. LA VISION NETTE.....	4
1.2.1. LES CONDITIONS DIOPTRIQUES	4
1.2.2. L'ACUITE VISUELLE	4
1.2.3. FACTEURS PHYSIOLOGIQUES MODIFIANTS L'ACUITE VISUELLE.....	5
1.2.4. FACTEURS PHYSIO-PATHOLOGIQUES MODIFIANTS L'ACUITE VISUELLE.....	6
1.3. ACCOMMODATION	6
1.3.1. LA VISION RAPPROCHEE.....	6
1.3.2. POINTS REMARQUABLES	7
1.3.3. PARCOURS ET AMPLITUDE D'ACCOMMODATION	7
1.4. MESURE DE L'ACUITE VISUELLE	8
1.4.1. VISION DE LOIN.....	8
1.4.2. VISION DE PRES.....	9
1.4.3. EXAMEN DU CHAMP VISUEL.....	9
2. LES AMETROPIES	10
2.1. DEFINITIONS	10
2.2. PATHOLOGIES DE L'ACCOMMODATION	10
2.2.1. PRESBYTIE	10
2.2.2. AUTRES PATHOLOGIES	10
2.3. AMETROPIES SPHERIQUES	11
2.3.1. MYOPIE ET HYPERMETROPIE.....	11
2.3.2. DEGRE D'AMETROPIE.....	11
2.3.3. VISION DANS LES AMETROPIES SPHERIQUES	14
2.4. CORRECTION DES AMETROPIES SPHERIQUES	15
2.4.1. PRINCIPE DE LA CORRECTION.....	15
2.4.2. NATURE ET CONVERGENCE DES LENTILLES CORRECTRICES	15
2.4.3. PRESBYTIE DES AMETROPES	16
3. LES AMETROPIES NON SPHERIQUES (ASTIGMATISMES).....	17
3.1. DEFINITIONS	17
3.2. ASTIGMATISME REGULIER.....	17
3.2.1. GENERALITES	17
3.2.2. STRUCTURE D'UN PINCEAU ASTIGMATE.....	18
3.2.3. PARAMETRES DE L'ASTIGMATISME REGULIER	19
3.2.4. CLASSIFICATION DES YEUX ASTIGMATES.....	20
3.2.5. VISION DE L'ŒIL ASTIGMATE	20
3.2.6. DIAGNOSTIC ET CORRECTION DE L'ASTIGMATISME.....	22
3.3. ASTIGMATISME IRRÉGULIER	23
4. AUTRES PATHOLOGIES DE LA VISION.....	24
4.1. PATHOLOGIES DE LA VISION NOCTURNE	24
4.2. CECITE AUX COULEURS	24
4.3. ALTERATIONS DU CHAMP VISUEL	25

1. Conditions de vision normale

1.1. Propriétés optiques des milieux transparents de l'œil

1.1.1. Les divers dioptries de l'œil emmétrope

Dioptrie cornéenne

Dioptrie cornéenne antérieure (dioptrie le plus puissant de l'œil)

$$n_1 = 1 \text{ (air)} \qquad n_2 = 1,37 \text{ (cornée)}$$
$$R = + 7,8 \text{ mm} \qquad D = + 48,3 \text{ dioptries}$$

Dioptrie cornéenne postérieure (seul dioptrie divergent de l'œil)

$$n_1 = 1,37 \text{ (cornée)} \qquad n_2 = 1,33 \text{ (humeur aqueuse)}$$
$$R = + 6,5 \text{ mm} \qquad D = - 6,10 \text{ dioptries}$$

On peut assimiler l'ensemble de ces deux dioptries à un dioptrie unique (cornée simplifiée) de 8 mm de rayon séparant l'air de l'humeur aqueuse et de vergence 42,2 dioptries.

Dioptrie cristallinien

Dioptrie cristallinien antérieur (sans accommodation)

$$n_1 = 1,33 \text{ (humeur aqueuse)} \qquad n_2 = 1,42 \text{ (cristallin)}$$
$$R = + 10 \text{ mm} \qquad D = + 8 \text{ dioptries}$$

Dioptrie cristallinien postérieur (sans accommodation)

$$n_1 = 1,42 \text{ (cristallin)} \qquad n_2 = 1,33 \text{ (humeur vitrée)}$$
$$R = - 6 \text{ mm} \qquad D = + 14 \text{ dioptries}$$

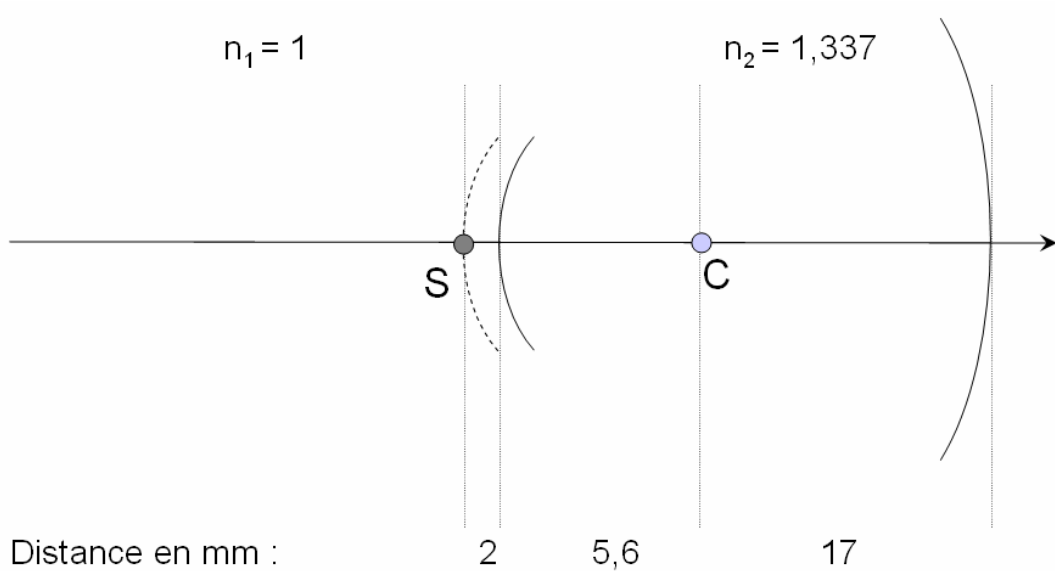
En dehors de toute accommodation, le cristallin peut-être assimilé à une lentille convergente de + 21,7 dioptries.

1.1.2. L'œil réduit

Au total l'œil peut être considéré comme un système centré, dont tous les centres et sommets sont alignés sur l'axe optique. Il s'agit donc d'un seul dioptrie avec :

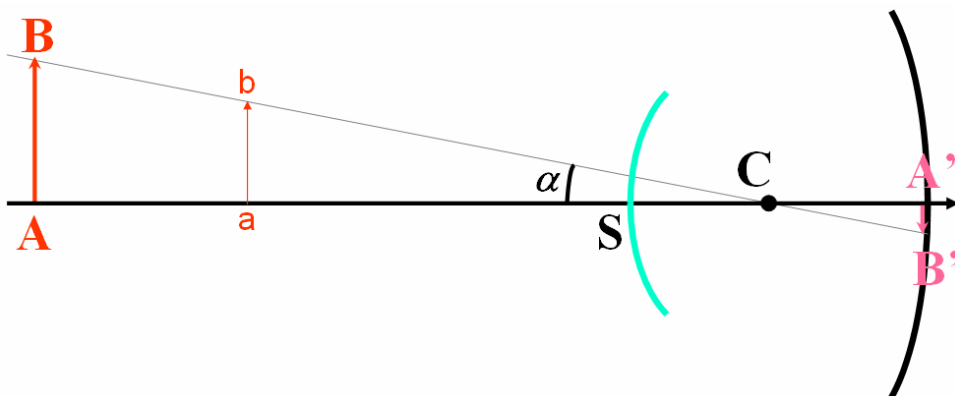
- indices extrêmes 1 et 1,337
- rayon $r = 5,6 \text{ mm}$
- sommet à 2 mm en arrière de la face antérieure de la cornée
- centre optique à 17 mm en avant de la rétine.
- vergence approximative sans accommodation : 60 dioptries¹

¹ $D = \frac{n-1}{R} = \frac{1,337-1}{5,6 \cdot 10^{-3}} \approx +59,9$



1.1.3. Le diamètre apparent de l'objet

L'œil réduit permet de construire très simplement l'image rétinienne que donne l'œil d'un objet éloigné (>5 m de distance). Les rayons passant par le centre optique C ne sont pas déviés et leur intersection avec la rétine donne l'image cherchée.



Un objet (AB) donne une image sur chaque rétine, renversée, de petites dimensions (A'B'). Nous avons alors :

$$tg\alpha = \frac{AB}{AC} = \frac{A'B'}{A'C} \quad (1) \quad \text{et} \quad A'B' = A'C \cdot tg\alpha$$

Comme A'C est constante pour un œil donné, la dimension A'B' de l'image ne dépend donc que de l'angle α , sous lequel AB est vu depuis le centre optique, appelé le diamètre apparent de l'objet.

A noter que deux objets de tailles différentes (AB et ab) vus sous le même diamètre apparent ont des images rétiniennes (A'B') de même taille.

1.2. La vision nette

1.2.1. Les conditions dioptriques

Le redressement et la fusion des deux images rétiniennes nous offrent une sensation droite et unique ; une très discrète différence de taille intervient dans la perception du relief (perception 3D). Par contre, une différence de taille plus importante empêche la fusion nette : c'est le phénomène de la **diplopie**.

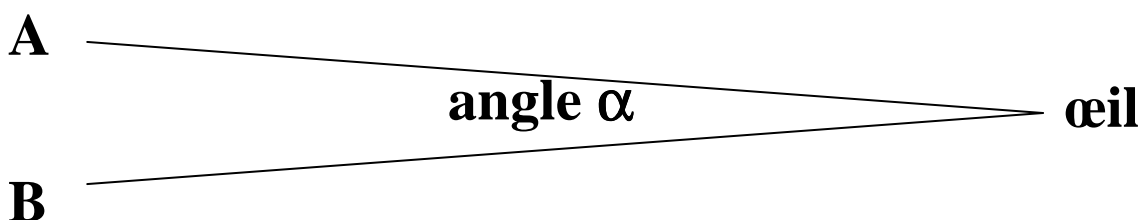
1.2.2. L'acuité visuelle

L'acuité visuelle est la capacité de discriminer les détails d'un objet dans le champ visuel. On appelle résolution spatiale de l'œil la plus petite distance séparant deux points dont les images sont vues distinctes.

Comme le diamètre apparent de l'objet α est petit ($\text{tg}\alpha \cong \alpha$) et que la distance entre le sommet et le centre de l'œil est négligeable ($AC \cong AS$), l'équation 1 devient :

$$\alpha \approx \frac{AB}{AS}$$

Ainsi, le pouvoir séparateur de l'œil (diamètre apparent du minimum séparable) est l'angle limite sous lequel deux points objets sont vus de façon séparée. Helmholtz a émis l'hypothèse que pour que 2 points soient vus séparément, il faut que leurs images se forment sur 2 cônes séparés par au moins un 3^{ème} cône, non illuminé.



L'unité d'acuité visuelle est l'inverse du diamètre apparent du minimum séparable :

$$AV = 1 / \alpha$$

C'est donc un nombre sans dimensions (d'autant plus faible que l'angle est élevé), que l'on exprime en dixièmes. En moyenne, chez l'adulte de 40 ans, le pouvoir séparateur est égal à 1 minute d'arc ($1/60^\circ$ de degré) ; une acuité visuelle normale de 10/10 permet ainsi de distinguer deux points d'écart angulaire de 1' (c'est-à-dire distants de 1,5 mm à 5 m, ou bien de 0,1 mm à 33 cm).

1.2.3. Facteurs physiologiques modifiants l'acuité visuelle

L'éclairement

L'acuité visuelle augmente d'abord avec l'éclairement, rapidement puis lentement. Elle plafonne vers 30 lux, et diminue ensuite en cas d'éblouissement.

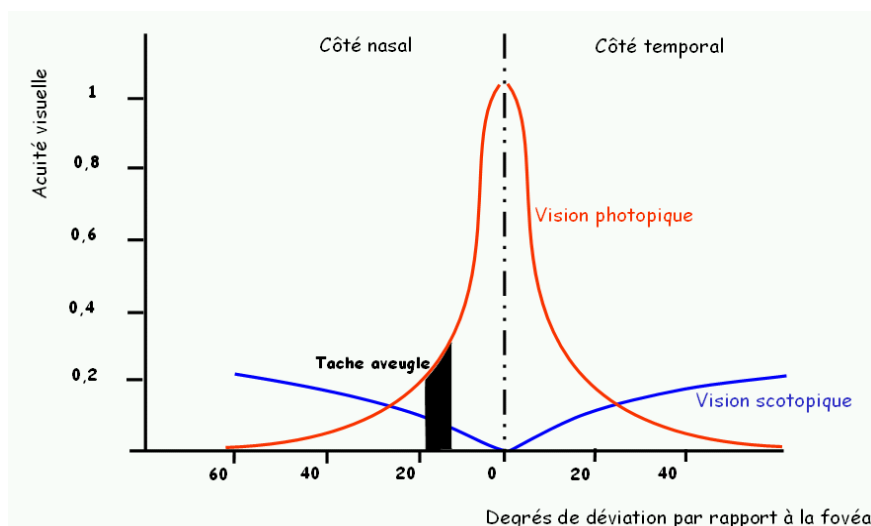
La couleur de l'objet examiné (effet Purkinje)

En vision diurne, la meilleure acuité se situe vers le jaune – vert, alors qu'en vision nocturne, il y a un décalage vers le bleu (P. I).

Le champ visuel

Le champ visuel est la région de l'espace dans laquelle doit se trouver un objet pour être vu par un œil immobile.

A la lumière du jour, dès que l'image de l'objet se forme en dehors de la fovéa, l'acuité visuelle se détériore très rapidement. Aux faibles éclaircissements au contraire, lorsque la vision scotopique est adaptée, c'est la fovéa qui possède la plus faible acuité visuelle.



Perception de l'image

Psychologiquement, la sensation globale d'une image est inséparable de la perception du champ d'environnement. En vision photopique, nous avons :

- la *zone fovéale*, zone d'analyse fine (où l'acuité visuelle est maximale) ;
- la *zone de surveillance*, zone d'orientation rapide de l'œil vers tel détail choisi instinctivement malgré une acuité faible (nécessite un acte intellectuel d'interprétation) ;
- la *zone d'impression induite* où se structurent les grandes masses de l'image et surtout leur mouvement (elle peut provoquer l'orientation volontaire du regard par le mouvement conjugué de la tête et du globe oculaire) ;
- la *zone de vision latérale* (jusqu'à la limite géométrique de la zone perçue), qui participe encore à l'appréciation de l'espace (objets en mouvement rapide).

1.2.4. Facteurs physio-pathologiques modifiant l'acuité visuelle

L'âge du sujet

Vision de loin : les anomalies dioptriques et les pathologies oculaires font baisser l'acuité visuelle

Age (ans)	10	20	40	80
Angle α (')	0,5	0,66	1	2
Acuité (/10)	20	15	10	5

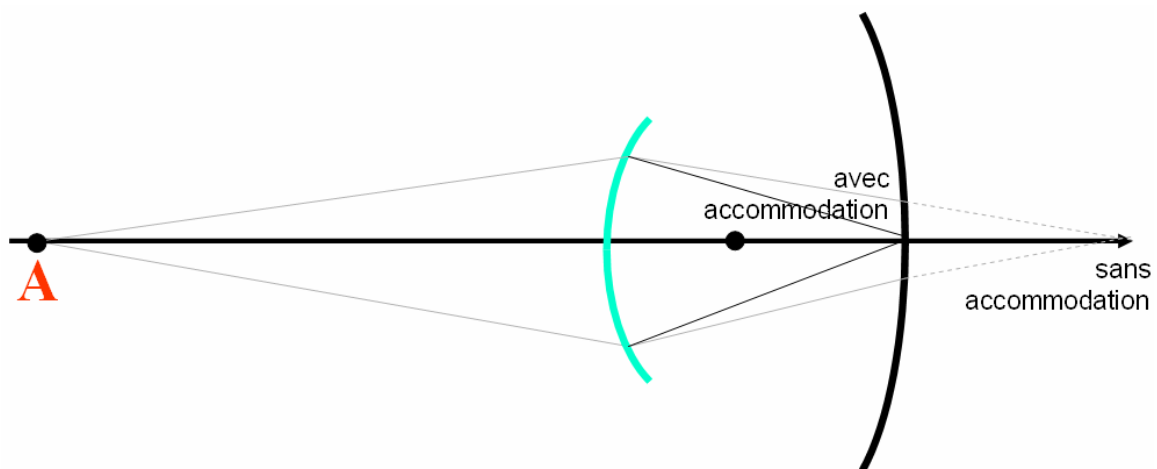
Vision de près : P. II Ch. 1.1.5.

Les amétropies (P.II Ch.2)

1.3. Accommodation

1.3.1. La vision rapprochée

L'œil ne peut voir nettement en même temps les objets éloignés et proches. Au repos, l'œil ne voit nettement que les objets éloignés (« à l'infini », c'est-à-dire à une distance supérieure à 5 m), car les objets proches forment leur image en arrière de la rétine. Pour voir les objets rapprochés, l'œil « accommode » en augmentant sa vergence (entre certaines limites).



Cette accommodation est obtenue par bombement du cristallin et conséquente diminution du rayon de courbure des deux faces du cristallin : le rayon de courbure de la face antérieure passe de 10 à 6 mm, celui de la face postérieure de 6 à 5,5 mm. Le cristallin a donc une vergence variable, entre une position de repos de vergence minimale (+21,7 d) et une position d'effort de vergence maximale (+9 δ chez l'adulte, +15 δ , chez l'enfant). Comme les dioptries cornéens ne se modifient pas, la vergence totale de l'œil adulte passe donc de +59,9 à +68,9 dioptries.

Le réflexe d'accommodation est un réflexe musculaire, donc fatigable en cas d'accommodation importante et prolongée

Accessoirement ce phénomène réflexe s'accompagne d'une contraction réflexe du diaphragme pupillaire en vision de près, ce qui réduit le cercle de diffusion (réduit le flou visuel par effet mécanique direct) et d'une augmentation de la convergence binoculaire.

1.3.2. Points remarquables

Ponctum remotum PR

Point que le sujet voit nettement sans accommodation (l'infini chez le sujet normal) : c'est le point conjugué de la fovéa rétinienne par rapport au système optique de l'œil à la vergence minimum.

Ponctum proximum PP

Point le plus près de l'œil que le sujet peut voir nettement en accommodant au maximum : c'est donc le point conjugué de la fovéa rétinienne par rapport au système optique de l'œil à la vergence maximum

La position de ces points peut être définie par :

1. leur distance au sommet du dioptre cornéen exprimée en mètres

2. leur proximité, exprimée en dioptries (inverse de leur distance au sommet)

$$r = \overline{SR} \text{ pour le PR}$$

$$p = \overline{SP} \text{ pour le PP}$$

$$\Pi_R = \frac{1}{\overline{SR}} \text{ et } \Pi_P = \frac{1}{\overline{SP}}$$

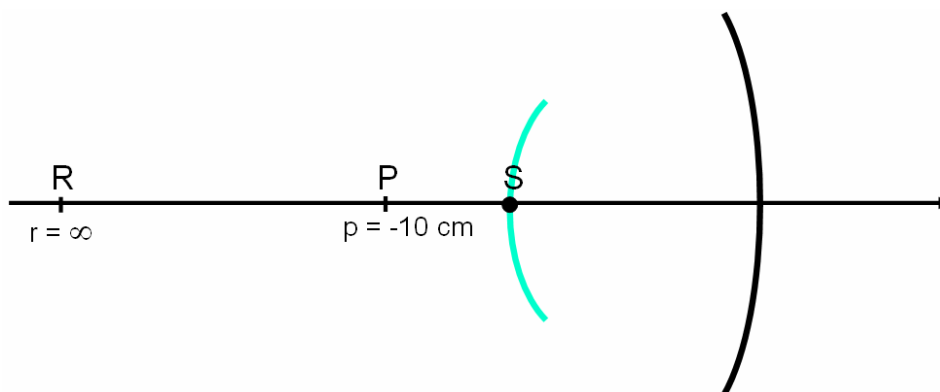
chez le sujet normal : $r = -\infty$

chez le sujet normal : $\Pi_R = 0$

(à 20 ans) $D = -10 \text{ cm}$

$\Pi_D = -10 \delta$

1.3.3. Parcours et amplitude d'accommodation



Le parcours d'accommodation est la région de l'espace comprenant l'ensemble des points objets pouvant être vus nettement par un œil normal. Sa longueur, en m, est égale à :

$$PA = \overline{SP} - \overline{SR} = p - r$$

L'amplitude d'accommodation est l'augmentation totale de la vergence de l'œil, en δ lors de l'accommodation :

$$A = V_a - V_0$$

avec : V_0 = vergence de l'œil au repos

V_a = vergence maximum (au maximum d'accommodation)

Comme $\frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2} = D_2 - D_1 = A$

$$A = \Pi_R - \Pi_P = \frac{1}{r} - \frac{1}{p}$$

L'amplitude d'accommodation est égale à la différence des proximités du PR et du PP, elle varie régulièrement avec l'âge (chez le sujet normal de 20 ans : $A = 0 - (-10) = +10 \delta$).

Age	10	20	30	40	50	70
Accommodation	14	10	7	4,5	1	0,25

1.4. Mesure de l'acuité visuelle

On examine l'acuité visuelle de chaque œil, séparément, pour la vision de loin et de près, dans des conditions optimales de luminosité.

1.4.1. Vision de loin

Le tableau des tests d'acuité visuelle (reconnaissance d'objets, ou de formes) est généralement placé à 5 mètres du sujet. Pour un α de 1' (acuité visuelle de 10/10), la taille discriminative de l'objet doit être de 1,46 mm.

Optotypes de Snellen et Monoyer

Lettres majuscules noires sur fond blanc, placées par lignes de tailles décroissantes, la 1^{ère} ligne correspond à des lettres formées de 25 petits carrés de 1,46 mm de côté, la 2^{ème} ligne correspond à 9/10, et ainsi de suite.

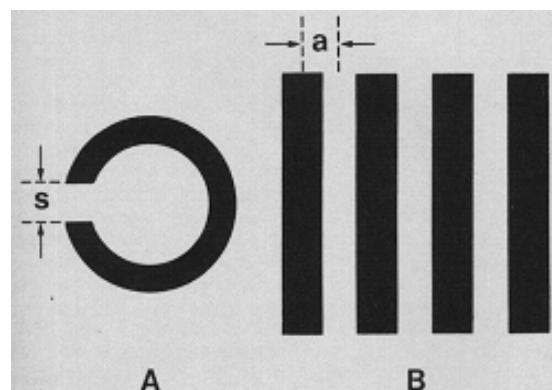


Anneaux brisés de Landolt (A)

Le sujet doit indiquer où se trouve la coupure de l'anneau ($s = 1,46$ mm).

Mire de Foucault (B)

Bandes parallèles blanches et noires équidistantes ($a = 1,46$ mm).



1.4.2. Vision de près

Test de Parinaud

L'acuité visuelle correspond à un niveau donné de taille du texte visible à 30 cm.



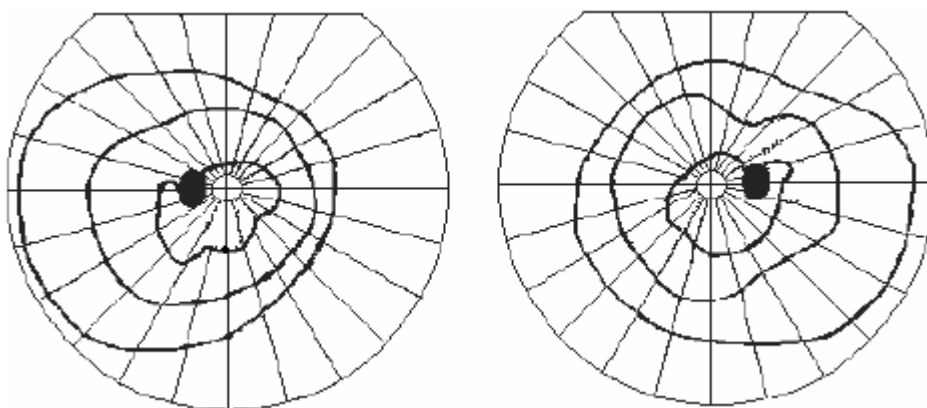
1.4.3. Examen du champ visuel

On utilise le périmètre de Goldman : il s'agit d'une demi-sphère translucide avec méridiens et parallèles, sur laquelle se déplace un point lumineux.

L'œil fixe le sommet de la sphère pendant que la source se déplace de la périphérie vers le centre, et on demande au sujet de dire quand il commence à la voir.

On trace alors le champ visuel sur une projection plane de la demi-sphère pour diverses intensités lumineuses de la source (isoptères).

Le champ visuel normal est plus étendu du côté temporal. Il est plus petit pour les couleurs que pour le blanc. A noter la présence de la tache aveugle de Mariotte, du côté temporal, correspondant à la papille.



2. Les amétropies

2. 1. Définitions

Pour un œil normal, emmétrope, l'image d'un point à l'infini se forme sur la rétine : nous avons une vision nette du PR au PP (parcours d'accommodation) et une vision floue entre le PP et l'œil (d'autant plus que l'objet est proche).

La presbytie est un trouble de la vision qui concerne la réduction du parcours d'accommodation, alors que les amétropies sont caractérisées par des anomalies de la convergence (le foyer image de l'œil au repos n'est pas sur la rétine).

Les amétropies sont dites sphériques si elles respectent les conditions de stigmatisme, et non sphériques ou astigmatiques, en cas contraire.

2.2. Pathologies de l'accommodation

2.2.1. Presbytie

Le réflexe d'accommodation diminue physiologiquement avec l'âge par vieillissement du cristallin qui perd progressivement sa plasticité (le PP s'éloigne progressivement). On dit qu'il y a presbytie lorsque le PP est plus loin de l'œil que la distance du travail rapprochée, soit 30 cm : ceci se produit en moyenne à 45 ans.

On corrige la presbytie par des lentilles convergentes telles que la vergence plus l'amplitude d'accommodation restante soit égale à + 4 dioptries (PP à 25 cm).

2.2.2. Autres pathologies

La *paralysie totale* (signe de la montre) se voit comme complication de la diphtérie et du botulisme.

Le *spasme* (le sujet ne peut plus relâcher l'accommodation) et l'*accommodation douloureuse* se voient surtout chez le jeune sujet hypermétrope.

L'*aphakie* (absence du cristallin, congénitale ou iatrogène, dans le traitement de la cataracte) se corrige avec des lentilles de 12 dioptries pour une vision éloignée et de 15 dioptries pour une vision de près.

2.3. Amétropies sphériques

Anomalies de la convergence qui se traduisent par le fait que le PR ne se situe pas à l'infini, comme pour l'œil normal (1), avec un défaut de convergence identique dans toutes les directions de révolution autour de l'axe optique de l'œil (dans l'approximation de Gauss). La longueur est plus souvent en cause que la vergence, dans les amétropies constitutionnelles, qui sont plus fréquentes, moins évolutives (par tendance à la stabilisation) et débutent plus tôt.

Les amétropies acquises sont liées à une pathologie oculaire ou générale. Elles débutent à l'âge adulte et sont généralement évolutives.

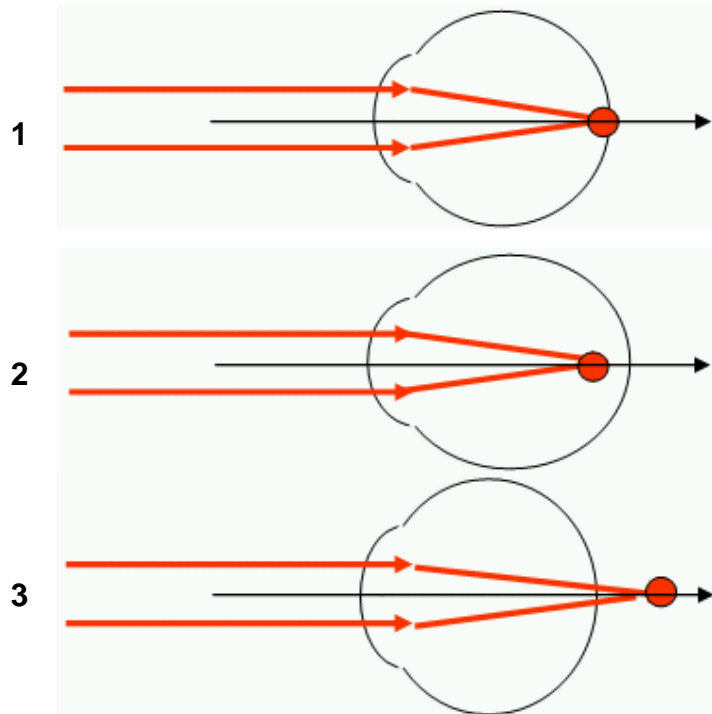
2.3.1. Myopie et hypermétropie

On distingue deux grandes variétés d'amétropies sphériques :

- une amétropie négative, la **myopie** (l'œil est « trop long » : trop convergent, avec le foyer image qui se projette en avant de la rétine) (2)
- une amétropie positive :

l'hypermétropie

(l'œil est « trop court » : pas assez convergent, avec le foyer image qui se projette en arrière de la rétine) (3)



2.3.2. Degré d'amétropie

Le degré d'amétropie est égal à la proximité du PR.

Position du remotum et du proximum

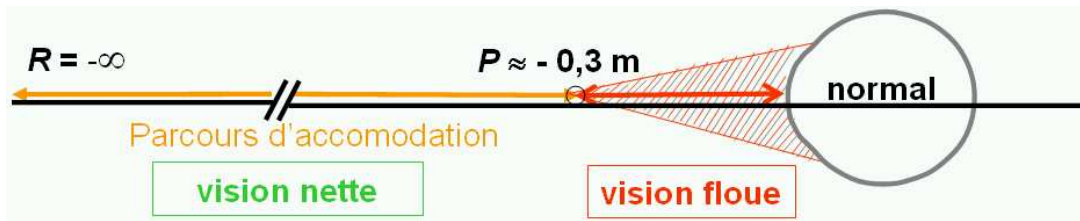
Chez le sujet emmétrope

Le PR est à l'infini, en avant de l'œil :

$$r = \overline{SR} = -\infty \quad \text{et} \quad \Pi_R = 0\delta$$

Le PP est à - 20 cm de l'œil (sujet normal de 45 ans) :

$$p = \overline{SP} = -20cm \quad \text{et} \quad \Pi_P = -5\delta$$



Chez le sujet myope

Le PR est à une distance finie (variable avec le degré de myopie), en avant de l'œil (proximité négative). On a donc :

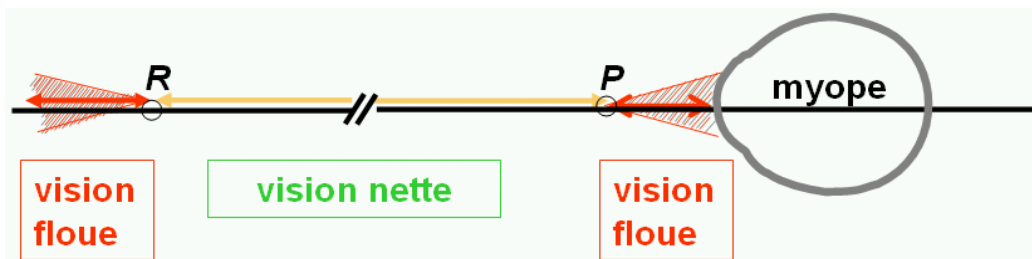
$$-\infty < r = \overline{SR} < 0 \quad \text{et} \quad \Pi_R < 0\delta$$

→ vision floue au-delà du PR : "gêne à la vision de loin"

Le PP est plus proche de l'œil chez un myope que chez un emmétrype ; il est toujours situé en avant de l'œil (proximité toujours négative après accommodation). On a (myope de 45 ans) :

$$-20cm < p = \overline{SP} < 0 \quad \text{et} \quad -5\delta > \Pi_P > -\infty$$

→ vision de près performante (par grandissement de l'image rétinienne)



Chez le sujet hypermétrope

Le PR est en arrière de l'œil, il est virtuel. On a donc :

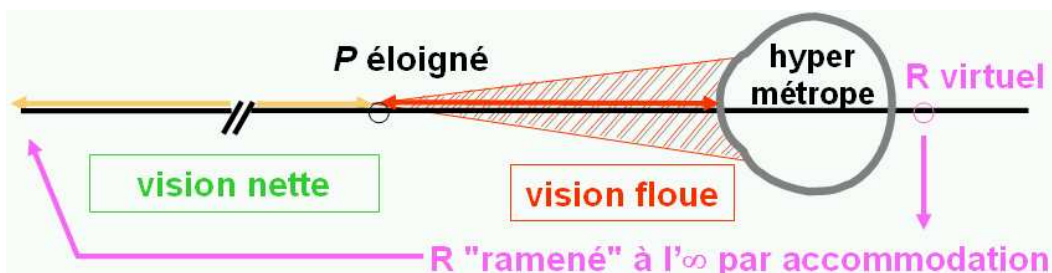
$$r = \overline{SR} > 0 \quad \text{et} \quad \Pi_R > 0\delta$$

→ le PR est ramené à ∞ au prix d'une accommodation sollicitée en permanence.

Ainsi, le PP est plus loin de l'œil que chez l'emmétrype ; il est habituellement situé en avant de l'œil. On a donc :

$$-\infty < p = \overline{SP} < -20cm \quad \text{et} \quad \Pi_P < 0\delta$$

→ vision de près floue : « gêne à la vision de près »



Cependant, lorsque le degré d'hypermétropie est supérieur à l'accommodation (dans les fortes hypermétropies ou chez le sujet âgé) :

- la vision de loin reste floue (le PR reste virtuel malgré l'accommodation),
- le PP peut également être virtuel ($p > 0$).

Exemples numériques : parcours d'accommodation

Chez les amétropes, le parcours d'accommodation est très modifié dans sa position dans l'espace et dans sa longueur totale.

Soient 4 sujets de 20 ans présentant une amplitude d'accommodation de 10 dioptries (dans tous les cas : $A = +10\delta = \Pi_R - \Pi_p$ donc $\Pi_p = \Pi_R - A = \Pi_R - 10\delta$)

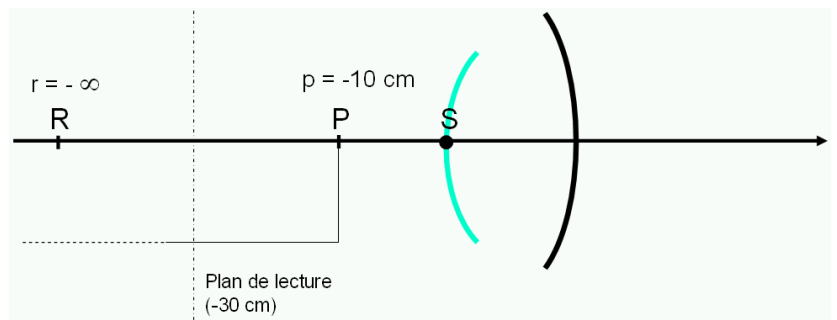
Sujet normal (emmétrope)

$r = \overline{SR} = -\infty$ et $\Pi_R = 0\delta$

$\Rightarrow \Pi_p = -10 \delta$

$\Rightarrow p = \frac{1}{\Pi_p} = -0,1 \text{ m}$

→ parcours d'accommodation :
 $p - r = \infty$



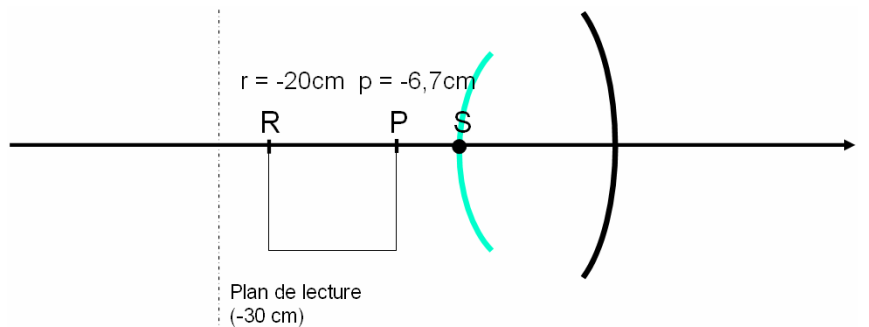
Sujet myope (- 5 δ)

$r = \overline{SR} = \frac{1}{-5} = -0,2 \text{ m}$

$\Rightarrow \Pi_p = -15 \delta$

$\Rightarrow p = \frac{1}{\Pi_p} = -0,067 \text{ m}$

→ parcours d'accommodation :
 $p - r = 13,3 \text{ cm}$



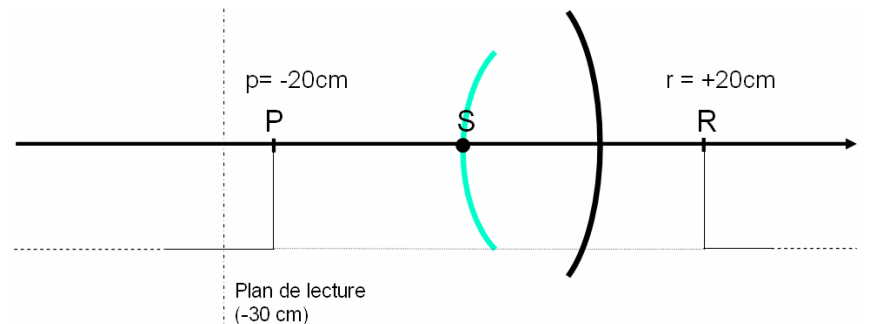
Sujet hypermétrope (+ 5 δ)

$r = \overline{SR} = \frac{1}{+5} = +0,2 \text{ m (virtuel)}$

$\Rightarrow \Pi_p = -5 \delta$

$\Rightarrow p = \frac{1}{\Pi_p} = -0,2 \text{ m (réel)}$

→ parcours d'accommodation :
 $p - r = -40 \text{ cm}$



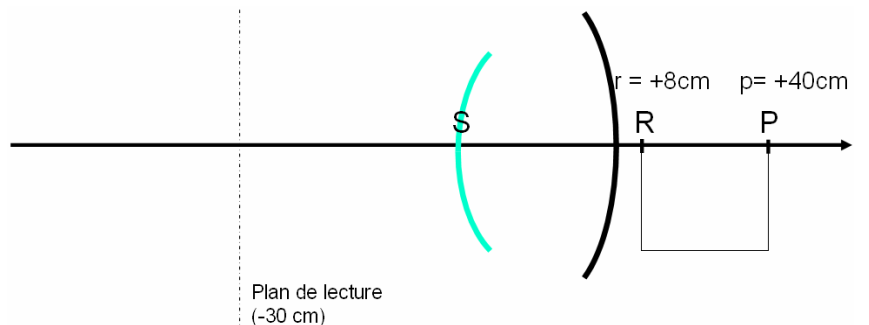
Sujet hypermétrope (+12,5δ)

$r = \overline{SR} = \frac{1}{+12,5} = +0,08 \text{ m (virtuel)}$

$\Rightarrow \Pi_p = +2,5 \delta$

$\Rightarrow p = \frac{1}{\Pi_p} = +0,4 \text{ m (virtuel)}$

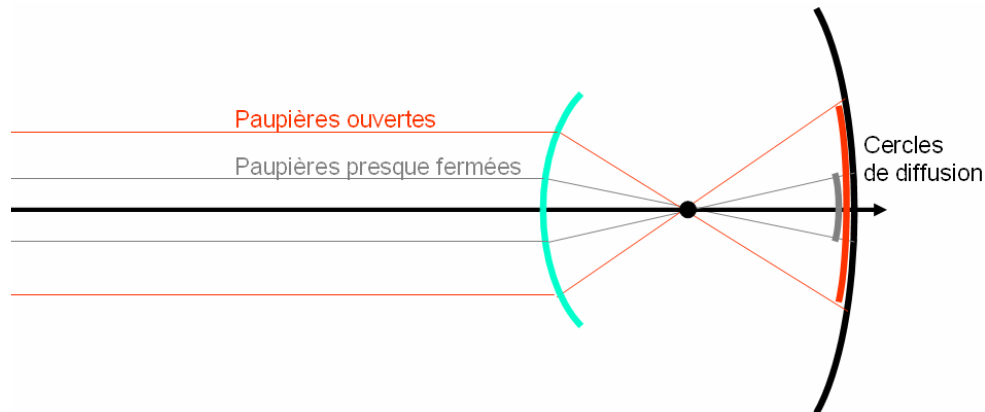
→ parcours d'accommodation :
 $p - r = +32 \text{ cm (virtuel)}$



2.3.3. Vision dans les amétropies sphériques

Vision du myope

Tout point plus éloigné de l'œil que le PR n'est pas vu nettement par le myope : la pseudo-image rétinienne est une superposition de cercles de diffusion. Ce flou augmente lorsque le myope accommode. En rapprochant les paupières l'une de l'autre, le myope diminue le diamètre des cercles de diffusion, donc améliore la qualité de la pseudo-image.



Entre PR et le PP, l'objet est vu net. Comme les images rétinienne sont un peu plus grandes que chez l'emmetrope, l'acuité visuelle peut être meilleure chez le myope pour les objets très rapprochés.

Vision de l'hypermétrope

Le PR est virtuel : la vision des points éloignés nécessite l'accommodation. Ceci entraîne une gêne visuelle pouvant être responsable de céphalées de sensations de brûlures oculaires, ou de spasmes de l'accommodation. Cependant, de faibles hypermétropies ne peuvent entraîner aucune gêne et passer longtemps inaperçus chez le sujet jeune.

Le PP est plus éloigné que chez le sujet normal. Pour les degrés d'amétropie importants, il est trop éloigné pour permettre le travail sans corrections.

Amétropies et presbytie

Pour les amétropes, l'amplitude d'accommodation peut être équivalente à celle de l'emmetrope de même âge. La presbytie limite la capacité d'accommodation, mais ses effets sont différents pour le myope ou pour l'hypermétrope

- plus précoce et plus gênante chez l'hypermétrope
- plus tardive (voire jamais) et moins gênante chez le myope

2.4. Correction des amétropies sphériques

2.4.1. Principe de la correction

Le but de la correction est de permettre la vision nette sans accommodation des objets situés à l'infini : la condition nécessaire et suffisante est que le foyer de la lentille correctrice soit au PR de l'œil à corriger (une correction supplémentaire peut éventuellement être nécessaire pour la vision de près).

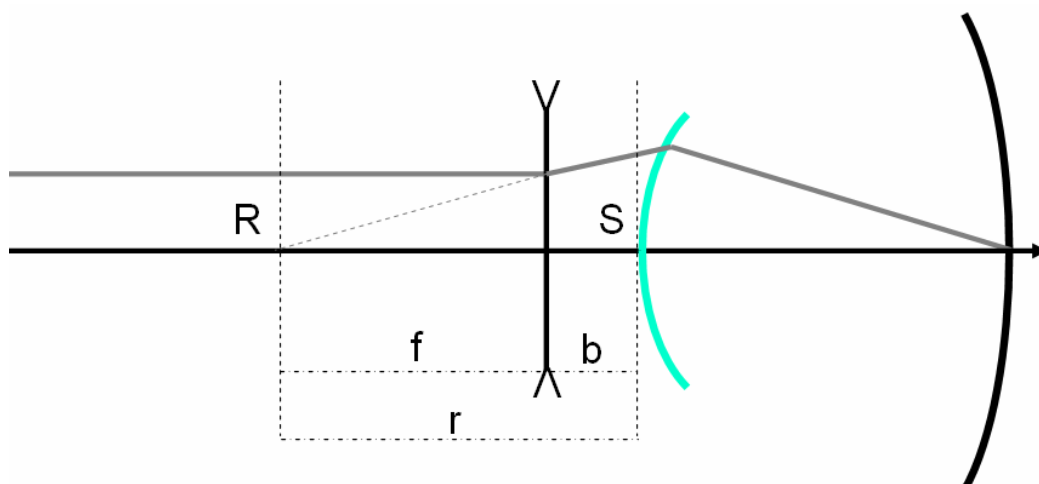
Pour compenser les amétropies sphériques, on utilise des lentilles sphériques, situées :

- au contact de la cornée (les **lentilles de contact**) :
 - elles sont placés idéalement au sommet du dioptré oculaire (on néglige les 2mm entre face de la cornée et sommet du dioptré de l'œil réduit) ;
 - la vergence correspond donc exactement au degré d'amétropie (elle vient directement s'ajouter ou se retrancher à celle de l'œil) ;
 - elles permettent ainsi une meilleure correction des anomalies de convergence ;
 - elles peuvent corriger toutes les amétropies et le champ visuel est plus étendu
 - mais elles présentent des problèmes de tolérance et d'hygiène.
- à distance de l'œil (les **verres lunettes**)
 - la vergence de la lentille dépend de deux facteurs : le degré d'amétropie, r , et la distance entre la lentille et le sommet du dioptré oculaire, b (en général 1cm)
 - distance focale de la lentille correctrice, f : **$f = r - b$**
 - vergence de la lentille correctrice, D : **$D = 1/f = 1/(r-b)$**

2.4.2. Nature et convergence des lentilles correctrices

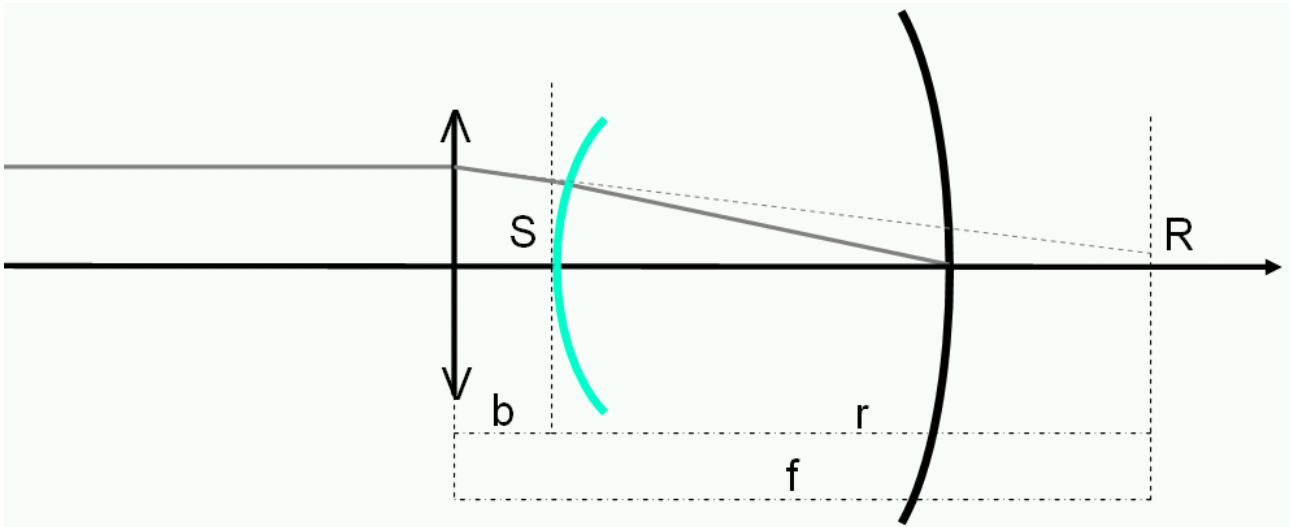
Myopie

Le PR est situé en avant de l'œil (qui converge trop !) : la lentille doit donc être **divergente** (réduisant la taille de l'image rétinienne).



Hypermétropie

Le PR est en arrière de l'œil (qui ne converge pas assez !) ; la lentille doit être donc **convergente**.



2.4.3. Presbytie des amétropes

Presbytie des amétropes corrigées

Du fait de la modification du parcours d'accommodation par le port des lentilles correctrices, l'âge d'apparition de la presbytie est modifié.

Correction de la presbytie chez les amétropes

Elle peut se faire de différentes manières :

- correction séparée de la vision de loin et de la vision de près au moyen de deux paires de lunettes,
- utilisation de lentilles correctrices d'addition (lentilles convergentes superposés aux lentilles utilisées pour la vision de loin) : la vergence des deux lentilles placées l'une devant l'autre est calculée pour permettre la vision à 30 cm
- utilisation de la variation de la direction du regard avec la distance du point fixé (la vision de près étant habituellement dirigée vers le bas) :
 - lentilles bi-focales : les deux types de lentilles nécessaires à la correction de loin et de près sont réunis sur une seule monture (le foyer du bas, convergent, corrige la presbytie alors que le foyer du haut, inexistant ou neutre chez l'emmetrope, corrige l'amétropie chez l'amétrope)
 - lentilles progressives : elles présentent une vergence régulièrement croissante de haut en bas et des foyers multiples (évitent la discontinuité)

3. Les amétropies non sphériques (astigmatismes)

3. 1. Définitions

L'astigmatisme oculaire est un trouble de la réfraction de l'œil résultant de l'inégalité de la distance focale des différents méridiens de l'œil. Ainsi, un point objet ne donne pas une image ponctuelle, mais une tache d'une certaine forme et d'une certaine dimension

L'astigmatisme oculaire est la résultante de l'effet cumulé de tous les dioptries oculaires, bien que seul l'astigmatisme cornéen antérieur soit mesurable directement (cependant, une cornée astigmatique n'est pas forcément synonyme d'œil astigmatique, car il existe un astigmatisme cornéen physiologique d'environ 0,5 δ compensé par un astigmatisme inverse cristallinien, ce qui fait que l'œil physiologique est stigmatique).

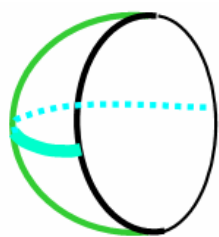
Selon que l'œil garde ou pas une symétrie de révolution, on parle d'astigmatisme régulier ou irrégulier.

3. 2. Astigmatisme régulier

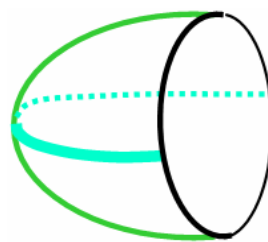
3.2.1. Généralités

Tous les méridiens d'un œil stigmatique peuvent être considérés comme des dioptries sphériques, alors qu'un œil astigmatique régulier présente, par défaut de symétrie de révolution sphérique, deux méridiens principaux, situés dans deux plans perpendiculaires, avec des rayons de courbure homogènes :

- l'un de vergence maximum (rayon de courbure minimum)
- l'autre de vergence minimum (rayon de courbure maximum).



système stigmatique



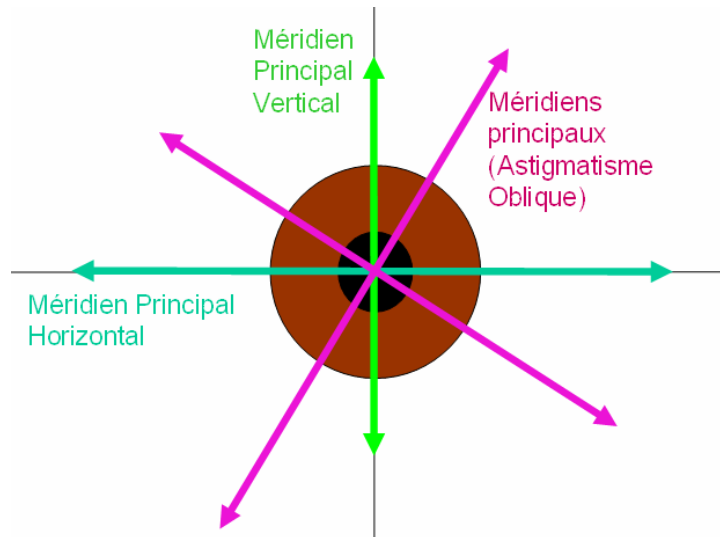
système astigmatique régulier

Comme courbure et vergence varient progressivement, entre ces deux méridiens il existe bien entendu une infinité de méridiens intermédiaires.

L'astigmatisme vertico-horizontale est le plus fréquent :

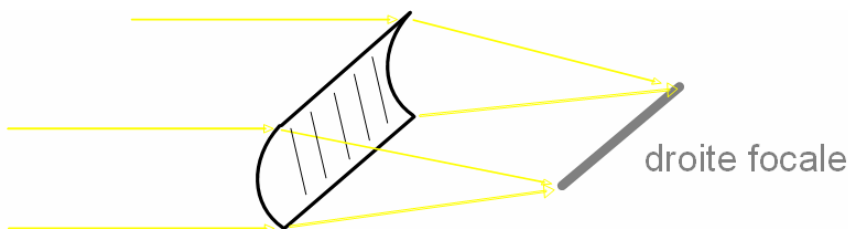
- dans l'astigmatisme direct (conforme à la règle) la convergence du méridien vertical est supérieure à celle du méridien horizontal
- dans l'astigmatisme indirect (le moins fréquent), c'est l'inverse

L'astigmatisme oblique est plus rare.

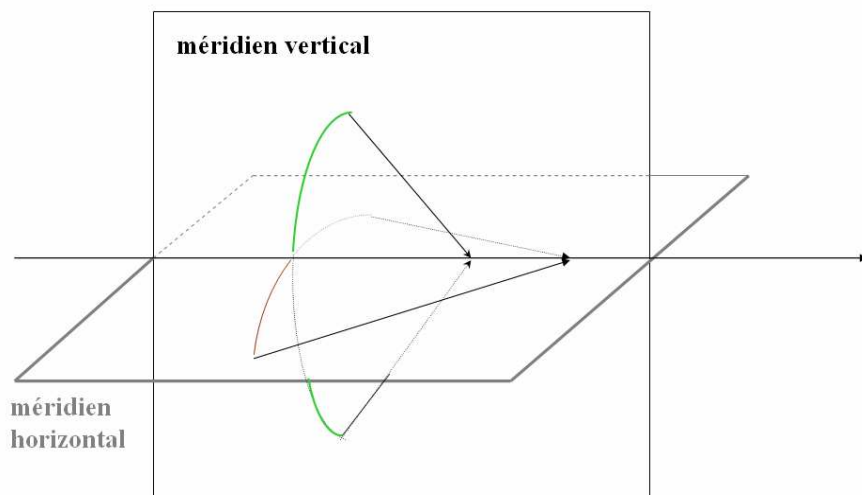


3.2.2. Structure d'un pinceau astigmat

Lorsqu'un faisceau de rayons parallèles passe à travers un dioptr e cylindrique les rayons vont converger en une droite, appelée droite focale.

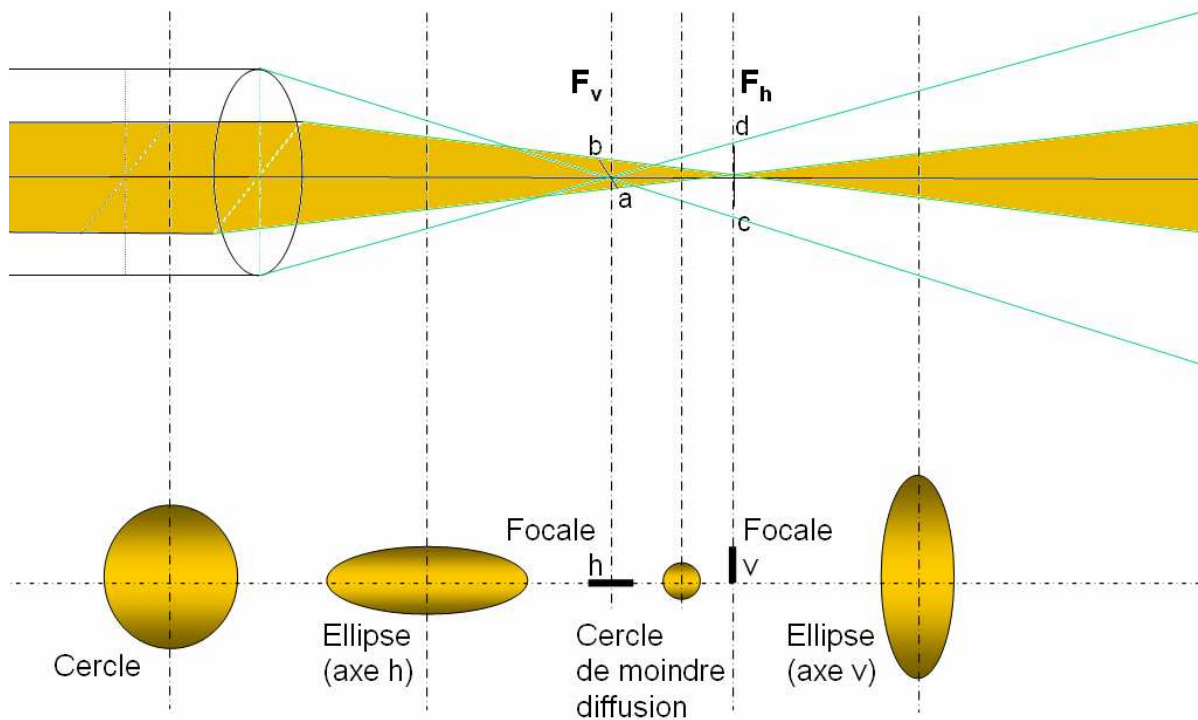


Lorsque ce même faisceau passe à travers un œil astigmat e régulier, les rayons situés dans le plan du méridien vertical vont converger en une droite F_v qui est le foyer du méridien vertical alors que les rayons situés dans le plan du méridien horizontal vont converger en une droite F_h foyer du méridien horizontal, plus éloigné de la cornée que F_v dans l'astigmatisme direct. Les rayons se concentrent donc sur les deux focales F_v et F_h qui sont perpendiculaires.



Mais attention :

la droite focale horizontale (segment ab) se trouve au foyer F_v du méridien vertical
 la droite focale verticale (segment cd) se trouve au foyer F_h du méridien horizontal



3.2.3. Paramètres de l'astigmatisme régulier

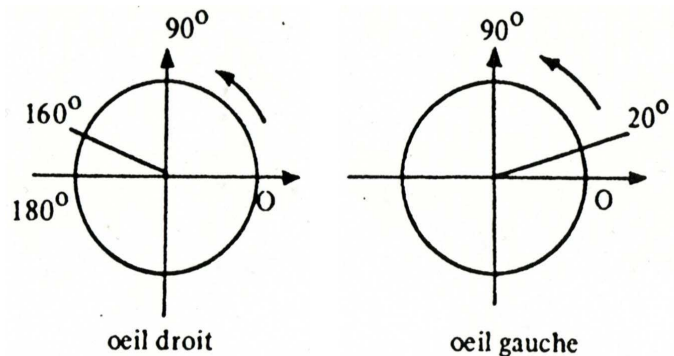
Les images vues par l'œil astigmatés sont floues de façon différente selon l'écart entre les droites focales et la rétine. Le degré d'astigmatisme, exprimé en dioptries, est alors égal à la différence de vergence entre les deux méridiens principaux. Dans l'astigmatisme direct :

$$A_s = \text{Vergence méridien vertical} - \text{Vergence méridien horizontal}$$

Ainsi, l'intervalle F_v-F_h des deux focales est égal à 0,37 mm par dioptrie d'astigmatisme².

Pour préciser l'astigmatisme d'un sujet, il faut donc indiquer :

- l'orientation du méridien de vergence minimum (l'autre lui est perpendiculaire) par rapport à l'horizontale prise comme référence (sujet debout)
- la position relative par rapport à la rétine de leur droite focale
- le degré d'astigmatisme



² $R=(n_2-n_1)/V$ avec $n_2 = 1,37$ et $n_1 = 1$

3.2.4. Classification des yeux astigmatés

L'astigmatisme peut être isolé ou associé aux amétropies sphériques. La classification des yeux astigmatés est fondée sur la position relative des focales par rapport à la rétine.

Astigmatisme simple

La rétine coïncide avec l'une des focales (l'un des méridiens est emmétrépe).

- Astigmatisme myopique simple : l'autre méridien est trop convergent et la 2^{ème} focale est en avant de la rétine.
- Astigmatisme hypermétropique simple : l'autre méridien n'est pas assez convergent et la 2^{ème} focale est en arrière de la rétine.

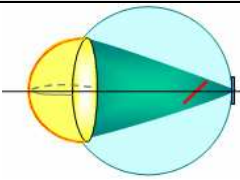
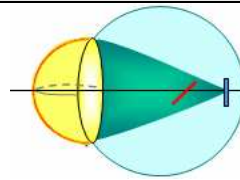
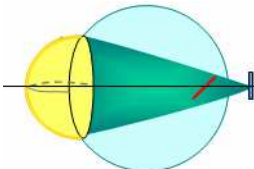
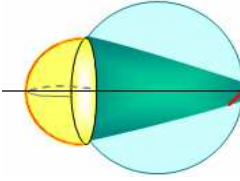
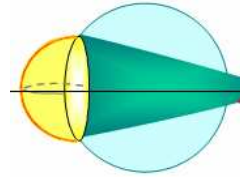
Astigmatisme composé

Les focales sont d'un même côté de la rétine.

- Astigmatisme composé myopique : les deux focales sont en avant de la rétine
- Astigmatisme composé hypermétropique : les deux focales sont en arrière de la rétine.

Astigmatisme mixte

Les focales sont de part et d'autre de la rétine.

Astigmatisme conforme à la règle	Simple	Composé	Mixte
Myopique			
Hypermétropique			

3.2.5. Vision de l'œil astigmaté

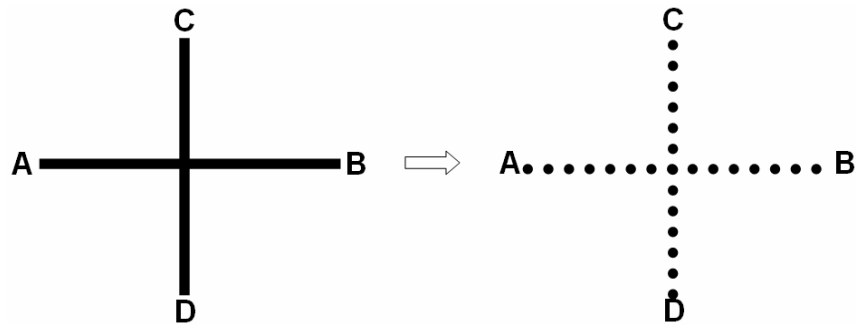
Un œil astigmaté ne peut voir nettement aucun point de l'espace (et ce d'autant plus que l'amétropie est importante) : un point objet ne donne jamais une image ponctuelle car il n'existe pas de foyer image vrai. Cependant certains objets (certains segments de droite) sont vus moins mal que d'autres.

Vision à l'infini d'un œil astigmaté simple

L'astigmaté simple voit un objet ponctuel comme un petit segment de droite, horizontal ou vertical selon la focale amenée sur la rétine

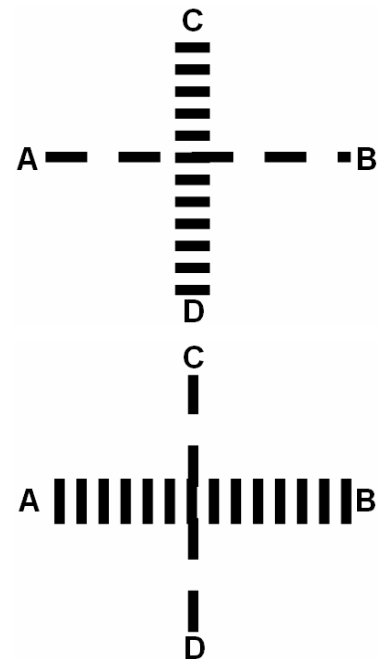


Si on place une croix (constituée de points) à 5 m (infini) de l'œil astigmatique,

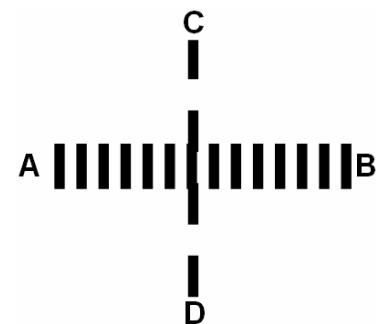


la direction la mieux vue est celle qui est parallèle à la focale située sur la rétine, donc perpendiculaire au méridien emmétrope :

-si l'astigmatisme conforme à la règle est hypermétropique simple, la focale horizontale est dans le plan de la rétine : les points objets sont vus comme de petits segments de droite horizontaux. La vision paraît moins déformée pour AB que pour CD



-si l'astigmatisme conforme à la règle est myopique simple, la focale verticale est dans le plan de la rétine ; les points objets donnent des images en petits segments de droites verticaux. Cette fois, c'est le segment CD qui est le mieux vu



Vision à l'infini d'un œil astigmatique composé

S'il s'agit d'un astigmatique hypermétropique composé ou mixte, l'accommodation peut amener une des deux focales sur la rétine et on se retrouve dans le cas précédent.

Pour un astigmatisme myopique composé, l'accommodation ne fait qu'aggraver le défaut de vision : la vision de loin est défectueuse.

Vision rapprochée de l'astigmatique³

L'astigmatique hypermétrope simple ou composé pourra maintenir une focale sur la rétine en accommodant : la vision présente alors les mêmes défauts que celle de l'astigmatique simple en vision de loin.

L'astigmatique myope voit mieux de près, une des focales peut alors être sur la rétine.

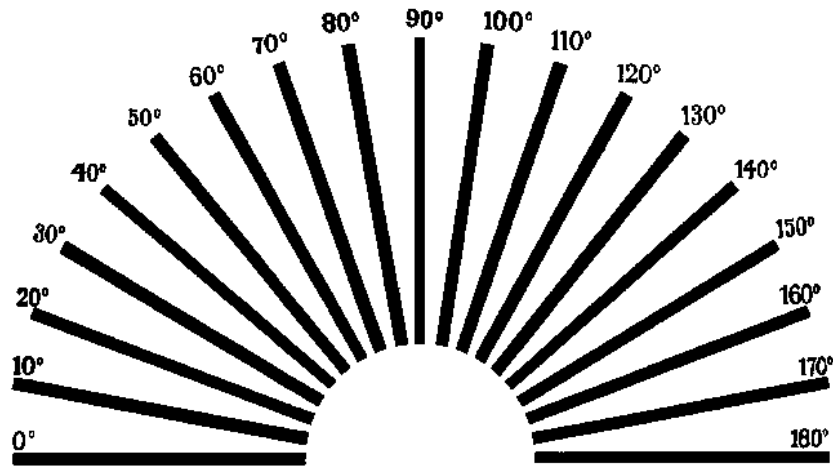
L'astigmatique presbyte cumule les défauts de vision de l'astigmatisme et de la presbytie.

³ Selon le type d'astigmatisme, les astigmatiques distinguent différemment les lettres dans un mot écrit : par exemple, le H a surtout des traits verticaux et le E des traits horizontaux

3.2.6. Diagnostic et correction de l'astigmatisme

Diagnostic

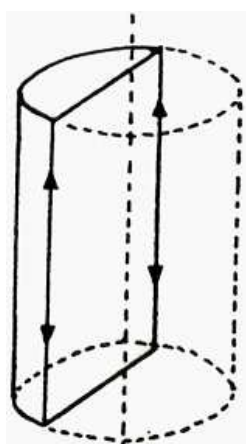
Le diagnostic se fait à l'aide d'un optotype (cadran de Green) qui permet d'évaluer la position du méridien de vergence minimum et le degré d'astigmatisme.



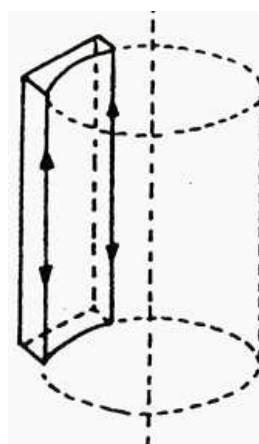
Lentilles

La correction se fait à l'aide d'une lentille astigmatique, dont la vergence varie régulièrement selon le méridien. Elle est calculée et placée de telle sorte que l'ensemble œil astigmatique plus lentille astigmatique ait une vergence constante quel que soit le méridien considéré.

On utilise dans ce but des lentilles cylindriques, définies par leur axe et leur vergence, elles ne dévient pas les rayons lumineux situés dans un plan passant par leur axe (plan de vergence nulle, lame à face parallèle) et dévient les rayons situés dans un plan perpendiculaire à cet axe, selon une direction fonction du caractère convexe ou concave du verre.



Convergente



Divergente

Correction des astigmatismes simples

L'une des deux focales étant déjà sur la rétine, il suffit d'amener également la seconde focale sur la rétine, en modifiant la convergence du méridien anormal par un verre cylindrique de même axe.

Astigmatisme simple myopique (équivalent à la superposition d'une lentille sphérique et d'une lentille cylindrique convergente d'axe horizontal) : afin de diminuer la convergence du méridien vertical on utilise donc une lentille correctrice cylindrique divergente, d'axe horizontal, de vergence égale au degré d'astigmatisme.

Astigmatisme simple hypermétropique : le méridien horizontal n'est pas assez convergent et on utilise une lentille cylindrique convergente d'axe vertical, de vergence égale au degré d'astigmatisme.

Correction des astigmatismes composés

La correction se fait en deux temps :

- on transforme l'astigmatisme composé en astigmatisme simple au moyen d'une lentille sphérique qui va déplacer les deux focales de manière à en amener une sur la rétine ;
- on corrige l'astigmatisme simple obtenu, en utilisant une lentille cylindrique (ou torique) de vergence adéquate, pour la correction des différences de convergence du méridien principal.

Le verre total obtenu est de type mixte, dit sphéro-cylindrique ou sphéro-torique.

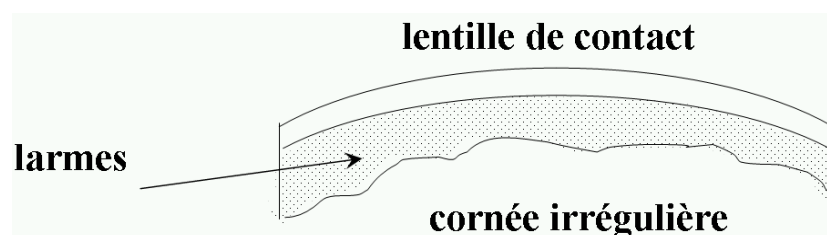
Correction des astigmatismes mixtes

On utilise toujours des verres sphéro- cylindriques, mais les deux lentilles sont de signe opposés :

- soit une lentille sphérique divergente pour repousser les deux focales, suivie d'une lentille cylindrique convergente pour ramener en avant la focale qui n'est pas sur la rétine
- soit une lentille sphérique convergente pour amener les deux focales en avant, et une lentille cylindrique divergente pour repousser la focale qui n'est pas sur la rétine.

3. 3. Astigmatisme irrégulier

Dans l'astigmatisme irrégulier l'œil n'a plus de symétrie de révolution : la cornée (dioptré oculaire le plus exposé) présente une surface irrégulière, suite à des déformations (kératocône), des traumatismes ou des infections. Cette irrégularité du rayon de courbure cornéen se traduit par des troubles importants de la vision (perception d'images multiples). La correction s'effectue par des lentilles de contact (l'interstice entre l'œil et la lentille est remplie par une couche de larmes, ce qui élimine les irrégularités) ou par chirurgie.



4. Autres pathologies de la vision

4. 1. Pathologies de la vision nocturne

L'**héméralopie** consiste en un déficit partiel ou total de la vision scotopique, qui peut avoir une origine héréditaire (soit par absence de bâtonnets, soit par absence de pourpre) ou acquise, liée à des lésions de la rétine, mais surtout, à l'avitaminose A.

La **rétinite pigmentaire** est une anomalie rare des bâtonnets, le plus souvent d'origine génétique (mutation du gène qui code la rhodopsine), qui provoque la cécité nocturne et la perte de la vision périphérique, puis centrale (par lésions associées des cônes).

Exploration en électrophysiologie : perte de la réactivité des photorécepteurs

4.2. Cécité aux couleurs

Une vision "normale" des couleurs ne reflète que l'expression la plus fréquente de la trichromatie (il existe d'importantes variabilités inter-individus).

Les anomalies de la vision des couleurs s'appellent les **dyschromatopsies**. Il s'agit d'affections le plus souvent d'origine héréditaire (les dyschromatopsies acquises sont d'origine dégénérative, toxique ou iatrogène).

L'**achromate** ne différencie aucune couleur (la vision est en échelle de gris)

Par contre, lorsqu'il y a défaut seulement de l'une des trois couleurs primaires dans la synthèse trichrome (lié probablement à un défaut de l'un des trois récepteurs) on parle de **dichromaties**. Dans ces cas, on ne perçoit pas de saturation ou de pureté et on perçoit moins de teintes (à l'origine de confusions perceptives) : la vision est bivariante.

Protanopisme ("daltoniens")

- "aveugles au rouge" = anérythropes
- 1% des sujets masculins (transmission récessive gonosomale : chromosome X)
- confusions typiques : rouge et gris, vert et marron

Deutéranopisme "nagéliens"

- "aveugles au vert" = achloropes
- 1% des sujets masculins (transmission récessive gonosomale : chromosome X)
- confusions typiques : gris et pourpre, vert et orange

Tritanopisme

- "aveugles au bleu" = acyanopes
- 5/100 000 des sujets (transmission récessive autosomale : chromosome 7))

Exploration des dyschromatopsies

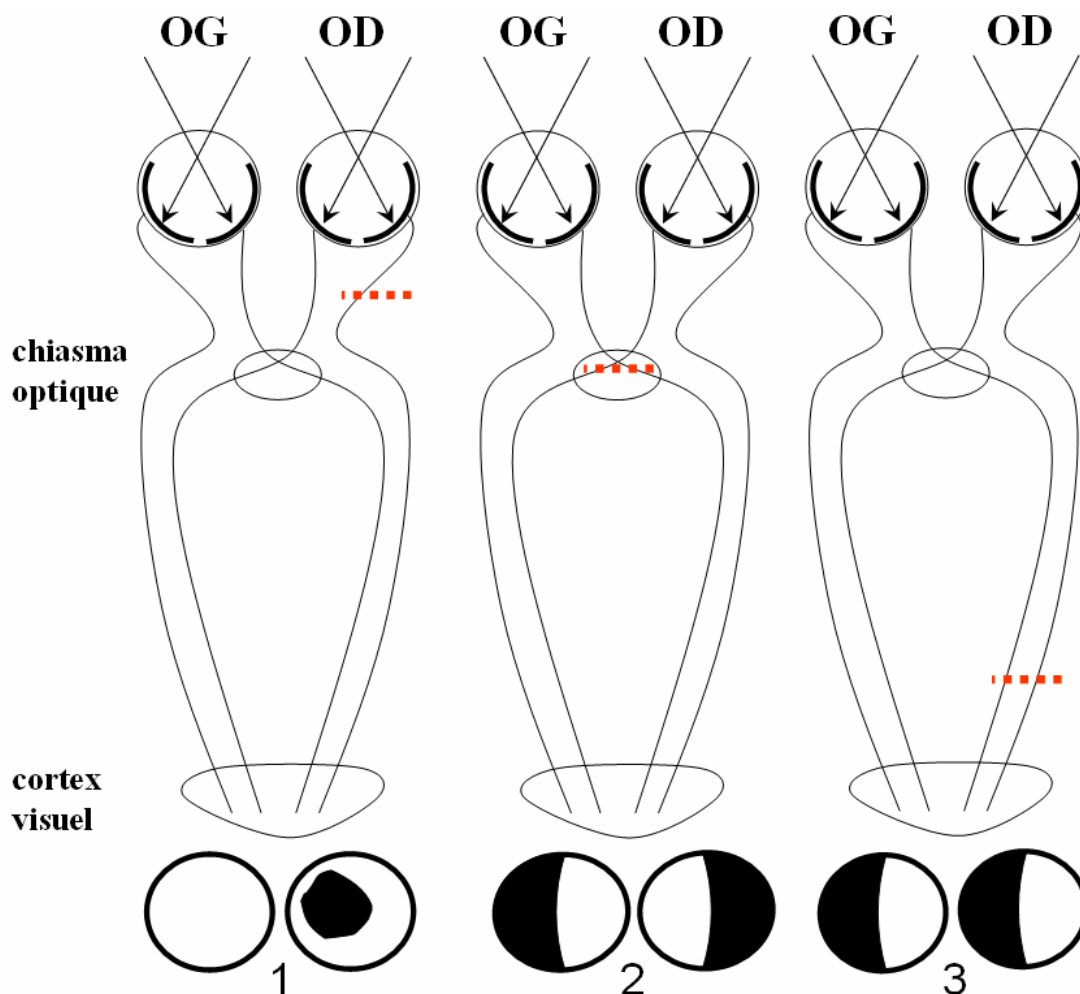
Les **planches d'Ishihara** se basent sur des procédés de confusion dans l'identification de chiffres ou de figures constitués par un semis de points colorés.

4. 3. Altérations du champ visuel

Les altérations du champ visuel sont provoquées par des lésions des récepteurs et des voies optiques, se traduisant par des effets très variés.

Un rétrécissement ou amputation du champ visuel est le signe d'une lésion du nerf optique avant le chiasma⁴ (1).

Lorsque l'amputation concerne la moitié du champ visuel de chaque œil, on parle d'hémianopsie, qui peut être hétéronyme (2) (bitemporal ou, très rarement, binasale) indiquant des lésions chiasmatiques (tumeur de l'hypophyse) ou homonyme (3) (droite ou gauche), indiquant des lésions rétro-chiasmatiques.



⁴ Un scotome est un trou dans le champ visuel