

# L'OEIL ET LA VISION

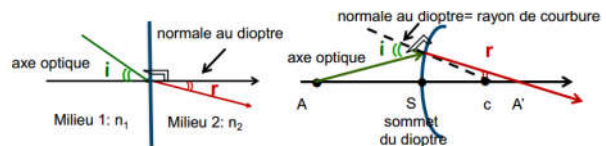
## LA LUMIÈRE NATURELLE :

- Superposition d'ondes électromagnétiques de longueur d'onde différentes (400 et 780 nm)
- Dans un milieu transparent, homogène et isotrope la lumière se propage en ligne droite.
- Sa vitesse de propagation dépend du milieu traversé.
- $c$  : célérité de la lumière dans le vide
- $v$  : vitesse de la lumière dans le milieu
- On note  $n$  : **indice de réfraction de la lumière**  $n = c/v$
- La lumière se réfracte (subit une déviation) quand elle traverse un milieu et passe dans un milieu transparent de nature différente.  
Dioptre = surface de séparation (plane ou sphérique...) de deux milieux transparents d'indices de réfraction différents

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \text{ (loi de Descartes)}$$

$i$ : angle d'incidence  $r$ : angle de réfraction

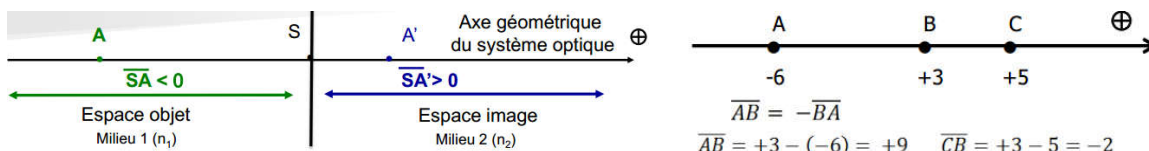
$$n_1 < n_2 \Rightarrow i > r \quad n_1 > n_2 \Rightarrow i < r$$



## SIGNES ET ORIGINES :

### Rappel :

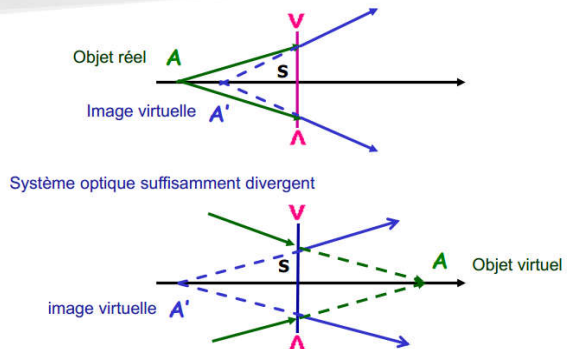
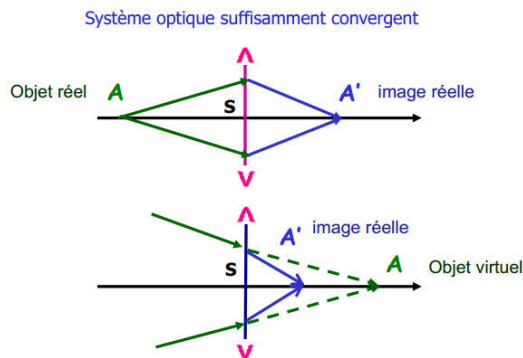
La distance algébrique est une longueur affectée d'un signe  
ceci permet de renseigner sur la position d'un point / un autre sur un axe



## Notion d'objet et d'image et leurs natures :

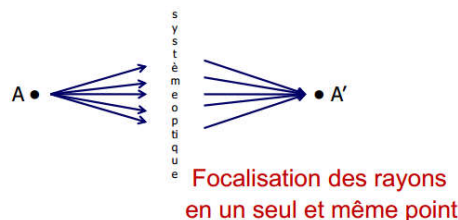
- Un point objet correspond à l'intersection des rayons incidents (ou de leurs prolongements).
- Un point image correspond à l'intersection des rayons réfractés (ou de leurs prolongements).
- Un point, objet ou image, est dit **réel** s'ils est **réellement** formé par l'intersection des rayons, incidents ou réfractés.
- Un point, objet ou image, est dit **virtuel** s'ils est formé par l'intersection du **prolongement** des rayons, incidents ou réfractés.

## Nature de l'objet et de l'image système convergent/ système divergent :



## Notion de stigmatisme :

Un système est dit stigmatique si l'image d'un point = un point



- A et A' sont dits réciproques ou conjugués
- Dans un système stigmatique la position de l'image ne dépend pas des angles d'incidence et de réfraction (i et r)

Dans un système non stigmatique l'image d'un point = plusieurs points



Dans un système non stigmatique la position de l'image dépend des angles d'incidence et de réfraction (i et r).

## Conditions de gauss :

- Faisceau incident étroit
- Objet très peu éloigné de l'axe optique
- Faisceau très peu incliné sur l'axe optique: i et r petits

Conséquences:  $\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx \alpha$  et  $\cos \alpha \approx 1$

Les positions de l'image et de l'objet dépendront peu de i et r,

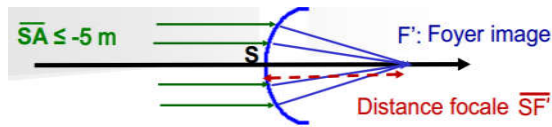
⇒ formules en fonction de valeurs constantes

Les valeurs calculées ne seront pas exactes mais approximatives

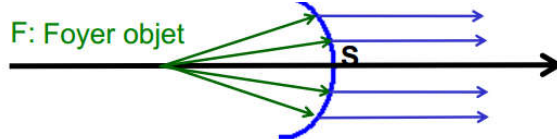
⇒ **Stigmatisme approché**

## Les dioptries sphériques :

### Notion de foyer :



**foyer image (F')** = position de l'image formée par la réfraction de rayons incidents parallèles: **objet se trouvant à l'infini.**



**foyer objet (F)** = position de l'objet dont les rayons incidents se réfractent parallèlement: **image rejetée à l'infini.**

Expression de la puissance d'un dioptré en m-1 ou d(dioptrie)

– en fonction des indices de réfraction :

$$p = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$

– ou en fonction de la distance focale :

$$P = \frac{n_2}{\overline{SF'}}$$

### Nature des dioptries sphériques:

o Si  $P > 0$  alors  $\overline{SF'} > 0 \Rightarrow$  **dioptré convergent**

o Si  $P < 0$  alors  $\overline{SF'} < 0 \Rightarrow$  **dioptré divergent**

### POSITION OBJET-IMAGE :

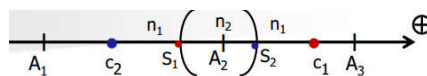
La position de l'image A' d'un objet A, par rapport au sommet du

dioptré, est donnée par la relation de conjugaison:

$$\frac{n_2}{\overline{SA'}} - \frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$

## LES LENTILLES

Une lentille = Association de deux dioptries.



- La lentille sphérique a au moins, une face sphérique
- Le rayon de courbure de chacune des deux faces est constant
- Lentille sphérique mince  $\Rightarrow S_1S_2$  est négligeable devant les rayons.
- La puissance d'une lentille peut s'écrire en fonction:

• des indices de réfraction :

$$P = (n_2 - n_1) \left( \frac{1}{\overline{SC}} - \frac{1}{\overline{SC'}} \right)$$

• ou de la distance focale :

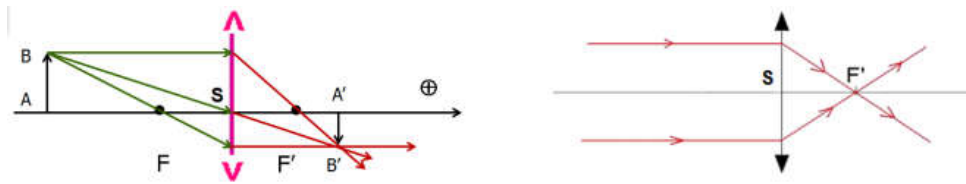
$$\frac{p}{n_1} = \frac{1}{\overline{SF'}}$$

-positions de l'objet et l'image par rapport à F :

$$\frac{1}{\overline{SA'}} - \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{1}{\overline{SF'}}$$

### LENTILLES SPHÉRIQUES CONVERGENTE :

Une lentille convergente transforme la trajectoire d'un faisceau de lumière en le faisant converger.

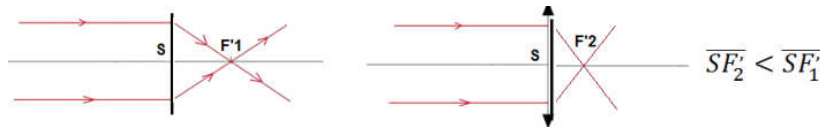


Le foyer image des lentilles convergentes se trouve dans l'espace image, il est réel.

La puissance des lentilles convergentes est positive

Une lentille convergente, utilisée en association, augmente la convergence d'un système optique (on additionne les puissances).

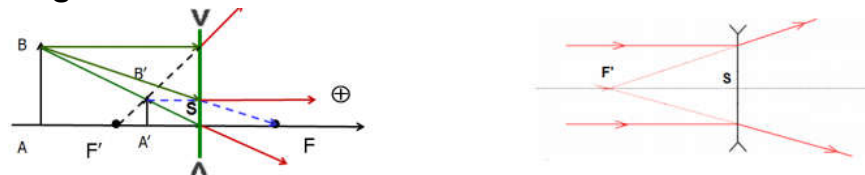
Effet d'une lentille convergente sur la position du foyer d'un système convergent.



en additionnant la lentille convergente, l'image s'est formée plus proche du sommet

### LENTILLES SPHÉRIQUES DIVERGENTES :

Une lentille divergente transforme la trajectoire d'un faisceau de lumière en le faisant diverger.

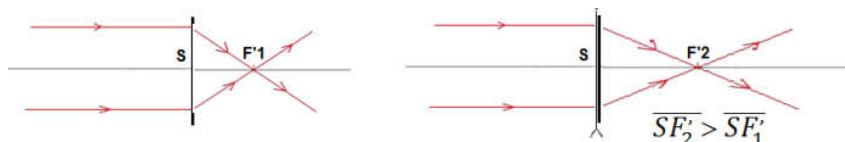


Le foyer image des lentilles divergentes se trouve dans l'espace objet, il est virtuel.

La puissance des lentilles divergentes est négative.

Une lentille divergente, utilisée en association, diminue la convergence système optique.

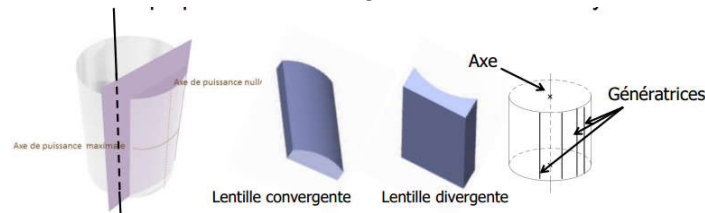
Effet d'une lentille divergente sur la position du foyer d'un système convergent.



en additionnant la lentille divergente, l'image s'est formée plus loin du sommet

## LENTILLES CYLINDRIQUES :

Ce sont des portions de cylindres, obtenues en faisant une coupe parallèlement à l'axe de révolution du cylindre.

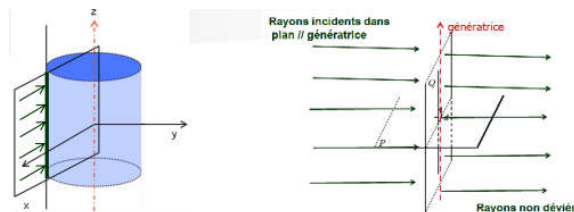


La lentille cylindrique possède deux rayons spécifiques:

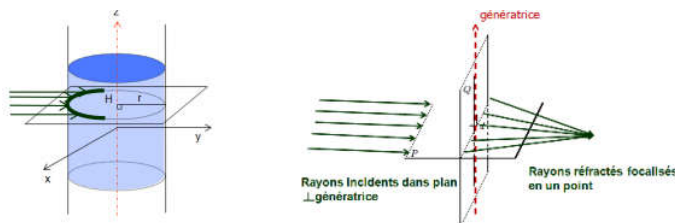
- rayon infini selon le plan contenant une génératrice
- rayon fini selon le plan perpendiculaire aux génératrices

(Les génératrices sont des droites qu'on peut tracer à la surface du cylindre et qui sont parallèles à son axe)

Les rayons d'un faisceau, incident plat, parallèle à l'axe de révolution ne sont pas déviés.



Les rayons d'un faisceau, incident plat, perpendiculaire à l'axe sont déviés.



## LENTILLES CYLINDRIQUES PLAN-CONVEXE :

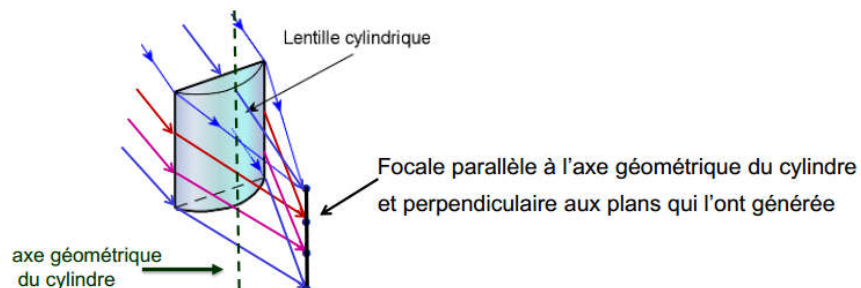
(faisceau incident  $\perp$  l'axe du cylindre)

On considère plusieurs faisceaux plats superposés.

A chaque niveau correspondra un point de focalisation.

points de focalisation superposés = segment de droite = focale

lentille cylindrique plan convexe: à un **point objet** correspond un **segment de droite image**.



## ASSOCIATION DE DEUX DIOPTRES CYLINDRIQUES :

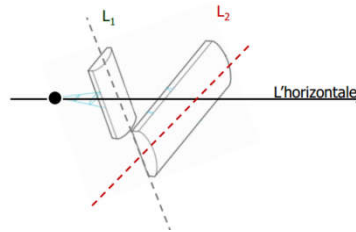
En résumé pour un dioptre cylindrique:

**La lentille cylindrique est un système optique astigmatique:**

un objet ponctuel a pour image un segment de droite // génératrice

La lentille cylindrique agit selon une orientation donnée précise

Pour associer deux lentilles cylindriques : croiser leurs axes de révolution



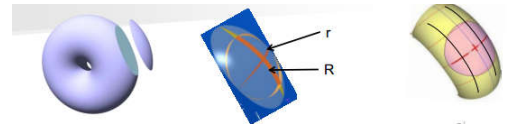
## LENTILLES TORIQUES :

Elles sont découpées à la surface d'un tore

Elles possèdent deux courbures différentes

$R > r$  portées par deux plans perpendiculaires

Une lentille torique **plan convexe** présente une face courbée et une face plane. Seule la face courbée peut réfracter la lumière, **ici elle est convergente**



## IMAGE À TRAVERS UN DIOPTRE TORIQUE

### PLAN-CONVEXE

Les rayons incidents se réfractent selon la courbure qu'ils rencontrent à la surface de la lentille

Les faisceaux plats qui rencontrent le petit rayon de courbure

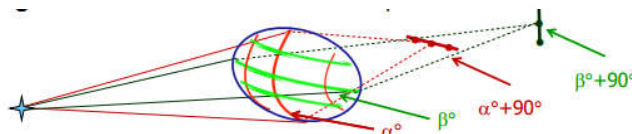
**convergent plus** et donnent **une focale antérieure**

Les faisceaux plats qui rencontrent le grand rayon de courbure

**convergent moins** et donnent **une focale postérieure**

L'image à travers un tore correspond à:

- **deux focales perpendiculaires entre elles**
- **chacune, perpendiculaires au faisceau plat incident qui l'a engendré**



## ASSOCIATION DE DIOPTRES CYLINDRIQUE ET TORIQUE

On superpose les axes principaux des lentilles entres eux.

La somme des puissances se fera pour les axes superposés.

- **Exemple 1:** cylindre de puissance  $0\sigma$  et  $2\sigma$  avec dioptre torique de  $1\sigma$  et  $3\sigma$

$$\begin{array}{c} 0 \\ + \\ - \end{array} \begin{array}{c} +2 \\ - \end{array} \quad \begin{array}{c} +3 \\ + \\ - \end{array} \begin{array}{c} +1 \\ - \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} +3 \\ + \\ - \end{array} \begin{array}{c} +3 \\ - \end{array} \Rightarrow \approx \text{Lentille sphérique } +3 \delta$$

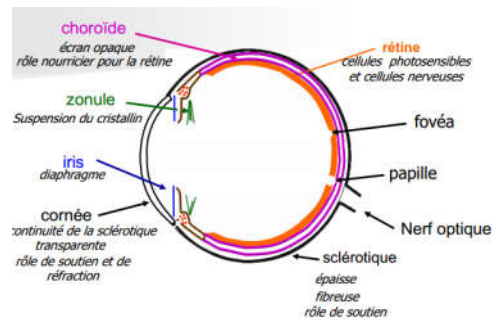
**Exemple 2 :** dioptre torique  $1\sigma$  et  $2\sigma$  avec dioptre torique de  $3\sigma$  et  $2\sigma$

$$\begin{array}{c} +1 \\ + \\ - \end{array} \begin{array}{c} +2 \\ - \end{array} \quad \begin{array}{c} +3 \\ + \\ - \end{array} \begin{array}{c} +2 \\ - \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} +4 \\ + \\ - \end{array} \begin{array}{c} +4 \\ - \end{array} \Rightarrow \approx \text{Lentille sphérique } +4 \delta$$

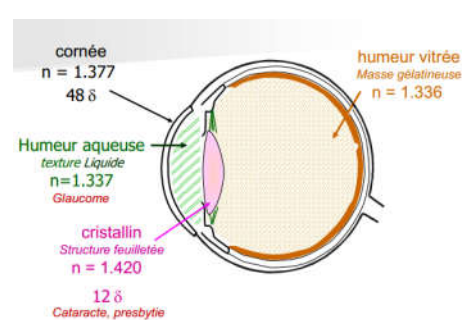


# L'ŒIL EMMÉTROPE ET DIOPTRIQUE OCULAIRE

## Téguments de l'œil :



## Milieux transparents de l'œil :



## L'ŒIL REDUIT AU REPOS :

(valeurs moyennes pour un œil normal, à titre indicatif)

Dioptre unique avec une surface sphérique idéale

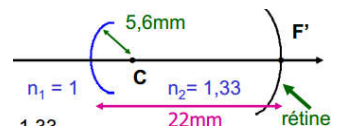
Rayon de courbure : 5,6mm

Diamètre antéropostérieur ou profondeur de l'œil : 22 mm

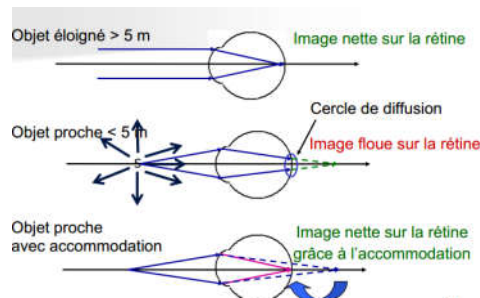
Foyer image sur la rétine

Indice de réfraction global : 1,33

système convergent, puissance de base  $\approx 60\delta$



## FORMATION DES IMAGES A TRAVERS L'ŒIL :



## ACCOMMODATION

### DEFINITION :

L'accommodation est la faculté de voir net quelque soit la distance qui sépare le sujet de l'objet.

Trois mécanismes impliquent la triade de la vision de près.

- augmentation de la puissance du cristallin
- réduction du diamètre de la pupille
- convergence des yeux vers l'objet observé

la distance qui sépare le sujet de l'objet.

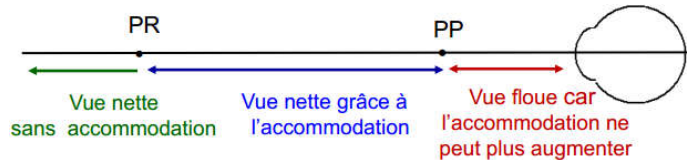
## PUISSANCE DU CRISTALLIN

Contraction du muscle ciliaire implique Relâchement des fibres de la zonule implique Cristallin plus bombé = rayon plus petit implique Augmentation de la puissance du cristallin car  $P = (n_2 - n_1)/R$

## NOTION DE PUNCTUM PROXIMUM ET REMOTUM :

PP → détermine la distance minimale de vision distincte point le plus proche, vu net en accommodant au max ⇒ image sur la fovéa et puissance de l'œil maximale.

PR → détermine la distance maximale de vision distincte. point le plus éloigné vu net à cette position l'œil n'accommode pas ⇒ image sur la fovéa et puissance de l'œil minimale.



## POSITIONS DES PP ET PR POUR ŒIL NORMAL :

- par rapport au sommet du dioptré cornéen

Personne de 20 ans avec vue normale

SR =  $-\infty$  au delà de 5m SP = - 10cm

- inverse de la distance : proximité (m-1 ou d)

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

Personne de 20 ans avec vue normale

$$\Pi_R = \frac{1}{-\infty} = 0 \delta \quad \Pi_P = \frac{1}{-0,1} = -10 \delta$$

## AUTRE EXEMPLE DE POSITIONS DES PP ET PR :

Personne avec vue normale, mais plus âgée

- par rapport au sommet du dioptré cornéen

SR =  $-\infty$  et SP = - 20cm

- inverse de la distance ou proximité

$$\Pi_R = \frac{1}{-\infty} = 0 \delta \quad \Pi_P = \frac{1}{-0,2} = -5 \delta$$

## PARCOURS D'ACCOMMODATION :

**Définition:** Ensemble des points objets vus nettement. Il correspond à SP - SR

**Exemple :** Pour un sujet à vue normal de 20 ans

$$SP - SR = -10 - (-\infty) = +\infty$$



## PARCOURS D'ACCOMMODATION :

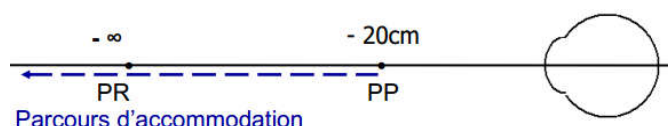
### AUTRE EXEMPLES :

Pour un sujet à vue normale mais plus âgé

SP = -20cm et PR =  $-\infty$

$$SP - SR = -20 + \infty = +\infty$$

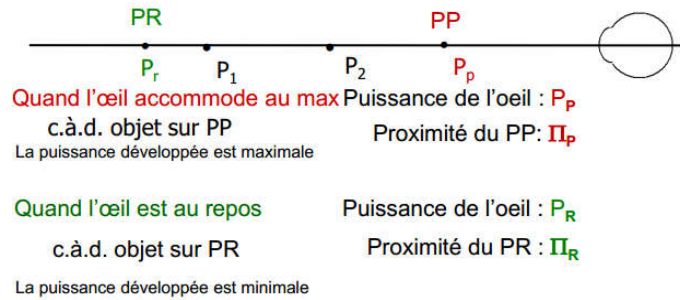
Représentation du parcours d'accommodation





## AMPLITUDE D'ACCOMMODATION :

**Définition** Augmentation de la puissance oculaire nécessaire pour voir net un objet plus proche que le PR.



## AMPLITUDE MAXIMALE D'ACCOMMODATION :

**Définition:** Augmentation maximale de la puissance oculaire lors de l'accommodation.

$$A = P_P - P_R$$

Notation de A en fonction des positions de PP et PR :

$$A = \frac{1}{\overline{SR}} - \frac{1}{\overline{SP}}$$

Notation de A en fonction des proximités de R et P :

$$A = \Pi_R - \Pi_P$$

**Exemple :** à 20 ans avec vue normale

$$\Pi_R = 0 \text{ et } \Pi_P = -10\delta$$

$$A = 0 - (-10) = +10\delta$$

## AMPLITUDE MAXIMALE D'ACCOMMODATION :

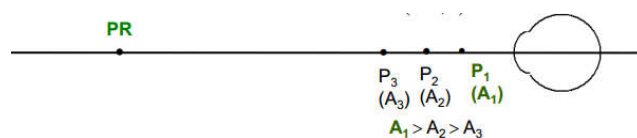
**Autres exemples de calcul de A**

un sujet plus âgé, avec

$$\begin{aligned} \overline{SR} &= -\infty \rightarrow \Pi_R = 0\delta \\ \overline{SP} &= -12 \text{ cm} \rightarrow \Pi_P = -8,3\delta \\ A &= 0 - (-8,3) = +8,3\delta \end{aligned}$$

Un sujet encore plus âgé,

$$\begin{aligned} \overline{SR} &= -\infty \rightarrow \Pi_R = 0\delta \\ \overline{SP} &= -15 \text{ cm} \rightarrow \Pi_P = -6,6\delta \\ A &= 0 - (-6,6) = +6,6\delta \end{aligned}$$



## AMPLITUDE D'ACCOMMODATION ET AGE

Déshydratation du cristallin implique Diminution de la plasticité et durcissement implique Diminution de l'amplitude d'accommodation implique A restant permet une vue nette à une distance plus éloignée implique éloignement du PP donc impossibilité de voir net de près.

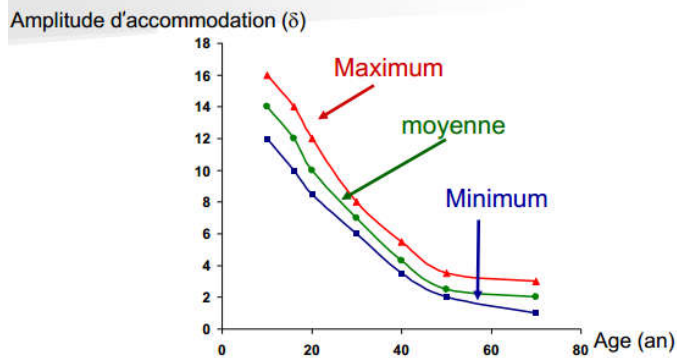
10 ans  
14  $\delta$

20 ans  
10  $\delta$

40 ans  
5  $\delta$

50 ans  
<4  $\delta$

## AMPLITUDE D'ACCOMMODATION ET AGE :



## PATHOLOGIE DE L'ACCOMMODATION: PRESBYTIE

**A** diminue avec l'âge

⇒ La puissance max de l'œil diminue

⇒ Distance minimale de vision nette est de plus en plus grande

En effet PP s'éloigne avec l'âge car **A** diminue:

<b>A</b> = 10 $\delta$	<b>A</b> = 8 $\delta$	<b>A</b> = 4 $\delta$	<b>A</b> = 3 $\delta$
$\overline{SP}$ = -10cm	$\overline{SP}$ = -12cm	$\overline{SP}$ = -25cm	$\overline{SP}$ = -33cm

Quand **A** < 4d: |  $\overline{SP}$  | > 25cm, distance de travail inconfortable on parle alors de presbytie

**SOLUTION:** ramener **A** à 4d pour ramener  $\overline{SP}$  à -25 cm

### CORRECTION DE LA PRESBYTIE :

Ce n'est pas une amétropie (car pas en rapport avec la puissance de base)

Phénomène physiologique qui survient avec l'âge

**Correction** Verres convergents pour la vision de près (bas du verre)

A restante + puissance du verre = 4 $\delta$

**puissance du verre = 4  $\delta$  - A restante**

**Exemple** Si A restante = 3 $\delta$ , la puissance du verre = 1 $\delta$  (50 ans)

On rajoute 0,5 $\delta$  tous les 5 ans

### ACUITE VISUELLE :

L'acuité visuelle (AV) ou pouvoir séparateur est la faculté de l'œil à séparer deux détails.

Calculée à partir de:

- o **AB min**, la dimension minimale de l'objet que l'œil peut voir nettement
- o **D**, la distance à laquelle se trouve cet objet

On appelle  $\alpha_{min}$  (en minute d'arc) l'angle sous lequel est vu cet objet

$$\text{Alors } \alpha_{min} = \frac{\overline{AB}_{min}}{D} \quad AV_{dixième} = \frac{1}{\alpha_{min}} \times 10$$

Exemple de calcul de l'acuité visuelle à 5m:

- o une personne dont le plus petit détail vu net mesure 4mm

$$\alpha_{min} = 0,004/5 = 0,0008 \text{ rd} = 2,75' \text{ donc } AV = 1/2,75 \times 10 = 3,5$$

- o une AV de 10/10 à 5m correspondrait à:

$$\alpha_{min} = 1 \text{ minute} \Rightarrow AB_{min} \approx 1,5 \text{ mm}$$

## LES ANOMALIES DE LA VUE :

### AMETROPIES SPHERIQUES :

Un œil est dit normal ou **emmétrope** s'il y a Harmonie entre:

la courbure de l'œil	} œil bien proportionné image sur la rétine
la puissance	
longueur antéro-postérieure de l'œil	

Un œil est dit **amétrope** s'il n'y a pas d'harmonie/ trop ou pas assez puissant pour la longueur de l'œil à cause de la courbure des dioptries optiques ou des indices de réfraction, il est alors **mal proportionné, l'image ne se forme pas sur la rétine**

Dans les amétropies sphériques chaque dioptrie oculaire a le même rayon de courbure sur toute sa surface.

### MYOPIE :

Œil trop allongé / **puissance**

**ou** Cristallin trop bombé

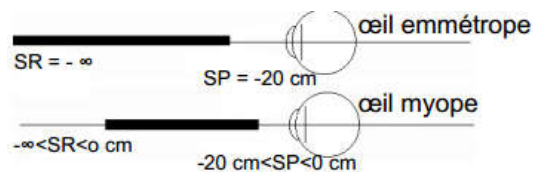
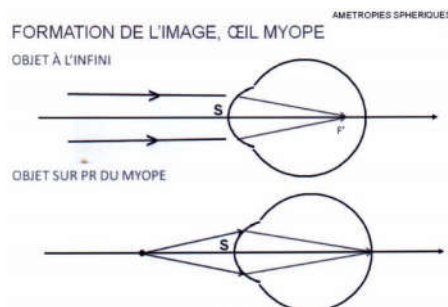
**ou** Indice de réfraction élevé

**Vision de l'œil myope :**

œil au repos	→	vue floue de loin
		vue nette de près
accommodation	→	vue nette de très près

Les remotum et proximum sont plus proches que la normale

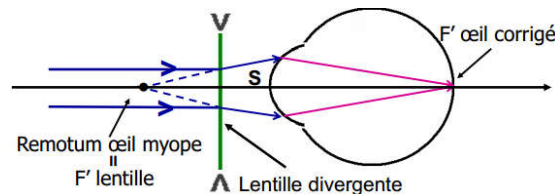
Exemple pour un adulte de 45 ans



### CORRECTION DE L'ŒIL MYOPE

**BUT:** ramener l'image d'un objet situé à l'infini, sur la rétine

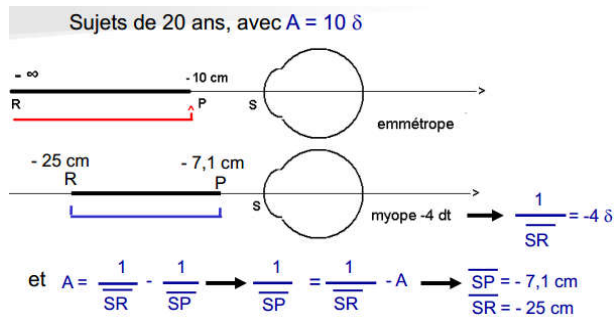
L'œil doit recevoir d'un objet éloigné, non pas des rayons parallèles mais inclinés comme s'ils provenaient de son propre PR



**Puissance de la lentille correctrice → Degré d'amétropie =  $1/SR$**

**Négatif pour le myope, positif pour l'hypermétrope.**

## PARCOURS D'ACCOMMODATION POUR MYOPE :



## HYPERMETROPIE

Œil trop court

ou Cristallin relativement aplati

ou Indice de réfraction faible

Vision de l'œil hypermétrope:

œil au repos



Vue floue de près  
et par fois aussi de loin

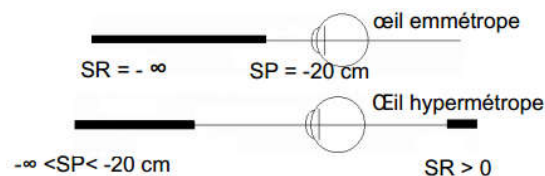
accommodation



vue de loin améliorée

Les remotum et proximum sont plus éloignés que la normale

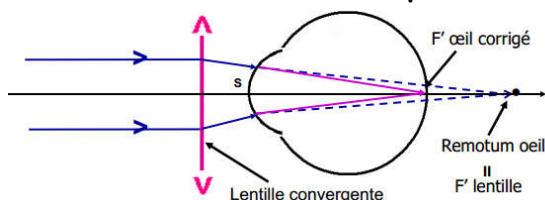
Exemple pour un adulte de 45 ans



## CORRECTION DE L'ŒIL HYPERMETEROPE :

**BUT:** ramener l'image d'un objet situé à l'infini, sur la rétine

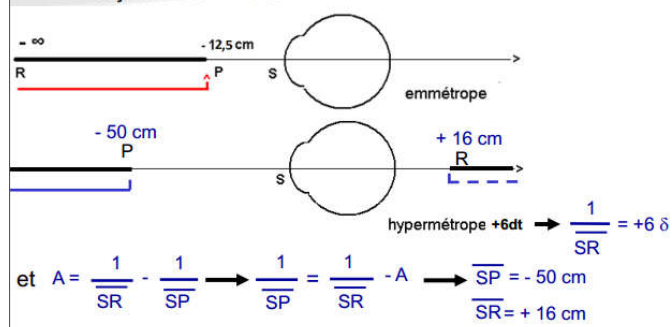
L'œil doit recevoir d'un objet éloigné, non pas des rayons parallèles mais inclinés comme s'ils provenaient de son propre PR



Puissance de la lentille correctrice  
→ Degré d'amétropie =  $1/SR$

## PARCOURS D'ACCOMMODATION, HYPERMETROPE

Sujets avec  $A = 8 \delta$

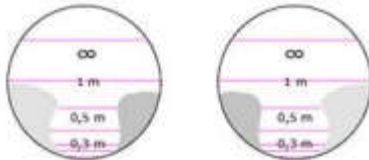


## CORRECTION DE PRESBYTIE EN CAS D'AMETROPIE :

Correction de l'amétropie =  $\Pi_R \rightarrow$  totalité du verre (corriger puissance de base)

+

Correction de la presbytie = 4 – A restante  $\rightarrow$  partie inférieure du verre (compensation de l'accommodation)



Exemples : deux sujets avec une amplitude restante de 2δ

myope de -1δ:

l'amétropie : -1δ

amétropie + presbytie -1 + 4 – 2 = +1δ

Hypermétrope de +2δ:

l'amétropie : +2δ

amétropie + presbytie : +2 + 4 – 2 = +4δ

(Voir application Diapo page 58)

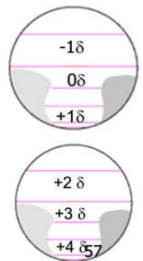
### L'ŒIL ASTIGMATE :

**DEFINITION:** œil qui ne donne pas d'un point objet, un point image

Défaut de courbure des dioptries oculaires implique Les faisceaux plats rencontrent des courbures différentes implique puissances différentes selon les méridiens de l'œil

Vision de l'œil astigmat est Floue, déformée de loin comme de près

(Un plan méridien est un plan qui traverse l'œil en passant par son axe optique)



### ASTIGMATISME REGULIER OU CONGÉNITAL :

Causé surtout par la non sphéricité de la face antérieure de la cornée qui a une surface torique: astigmatisme cornéen

Deux méridiens principaux perpendiculaires avec Rmin et Rmax

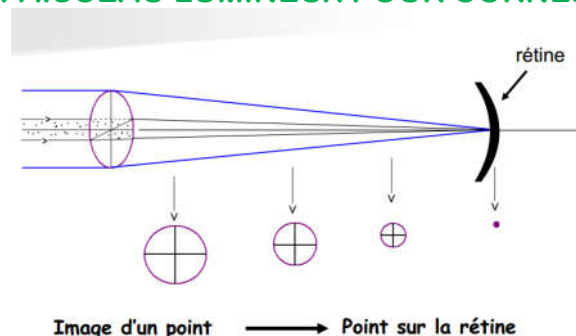
Le rayon de l'oeil (souvent à cause de la cornée) varie progressivement entre les méridiens principaux

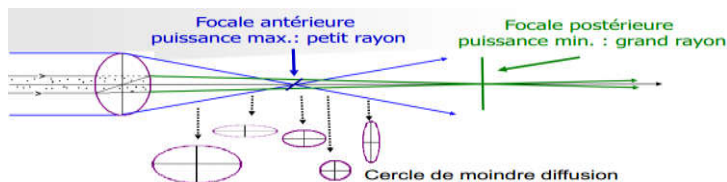
La puissance varie en fonction du rayon de courbure avec une puissance maximale et une puissance minimale

$$p = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

Degré d'astigmatisme, As (d) = puissance max – puissance minimale

### PROPAGATION DU FAISCEAU LUMINEUX POUR CORNEE SPHERIQUE :





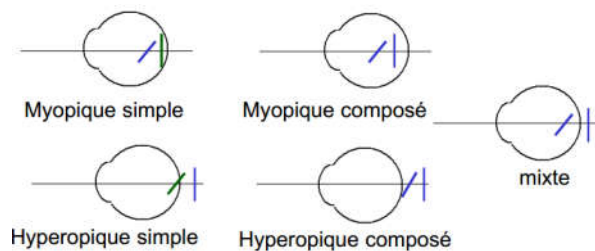
**Image d'un point = 2 segments perpendiculaires séparés**

La distance entre les 2 focales est proportionnelle au degré d'astigmatisme

$$F_h F_v = 0.37 \text{ mm pour } AS = 1 \delta$$

### PROPAGATION DU FAISCEAU LUMINEUX POUR ŒIL ASTIGMATE :

En fonction des puissances des méridiens principaux, il existe différents genres d'astigmatisme.



### DETECTION DE L'ASTIGMATISME :

**Méthode subjective: utilisation de la fente sténopéique :**

- Observer l'optotype à travers un cache tournant, muni d'une fente.
- En faisant tourner la fente on examine l'œil plan par plan
- Cette technique mesure l'astigmatisme total: interne + cornéen, en précisant l'orientation des méridiens principaux

**Méthode objective: Ophtalmomètre de Javal**

- mesure le rayon de courbure de la face antérieure de la cornée selon le principe d'un miroir sphérique
- Cette technique mesure l'astigmatisme cornéen en précisant l'orientation des méridiens principaux ainsi que les puissances correspondantes
- Degré d'astigmatisme,  $As$  (d) est calculé à partir des puissances:

$$As = \text{puissance max} - \text{puissance minimale}$$

### PRINCIPE DE LA CORRECTION DE L'ASTIGMATISME :

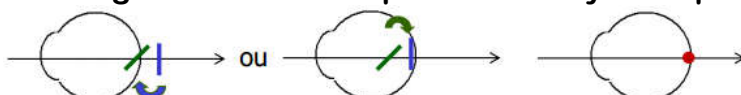
rétablir le stigmatisme :

1- rendre la vue homogène = même puissance pour les méridiens principaux



2- le point image doit se former sur la rétine

Si l'astigmatisme est simple : lentille cylindrique



Si l'astigmatisme est mixte ou composé : lentille torique



## EXEMPLE DE CORRECTION DE L'ASTIGMATISME

Résultats du test à l'ophtalmomètre:

As = 1d

orientation du méridien où la vue est moins bonne (MMBV) à  $5^\circ$

orientation du méridien où la vue est meilleure (MMV) à  $95^\circ$  ( $90+5$ )

Correction:

Puissance de la lentille cylindrique = 1δ

orientation de l'axe de la lentille =  $95^\circ$

