

# Biophysique de l'optique

V Boudousq

# Rappels élémentaires d'optique géométrique

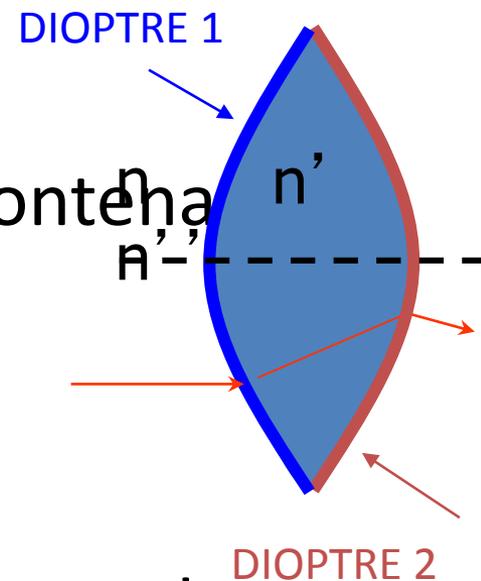
## DEFINITIONS

- **Dioptr**e = espace transparent d'indice de réfraction  $n'$  placé dans un milieu transparent d'indice  $n \neq n'$

- **Système optique** = milieu transparent contenant des miroirs ou des dioptr

- Pas de miroirs = système **dioptrique**
- Miroirs = système **catadioptrique**

- Système optique **centré** = admettant un axe de révolution



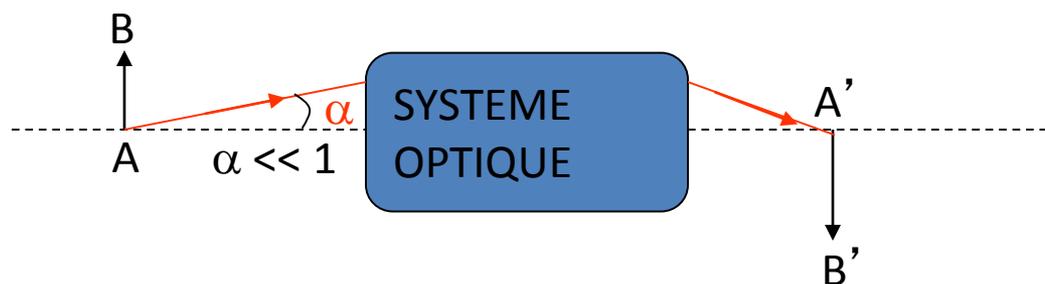
## APPROXIMATION DE GAUSS

Approximation de Gauss :

- système optique centré,
- dont les rayons lumineux qui s'écartent peu de l'axe

Dans l'approximation de Gauss, le système optique est

- **stigmatique** : l'image d'un point A est un point A'
- **aplanétique** : l'image d'un segment AB perpendiculaire à l'axe est un segment A' B' perpendiculaire à l'axe

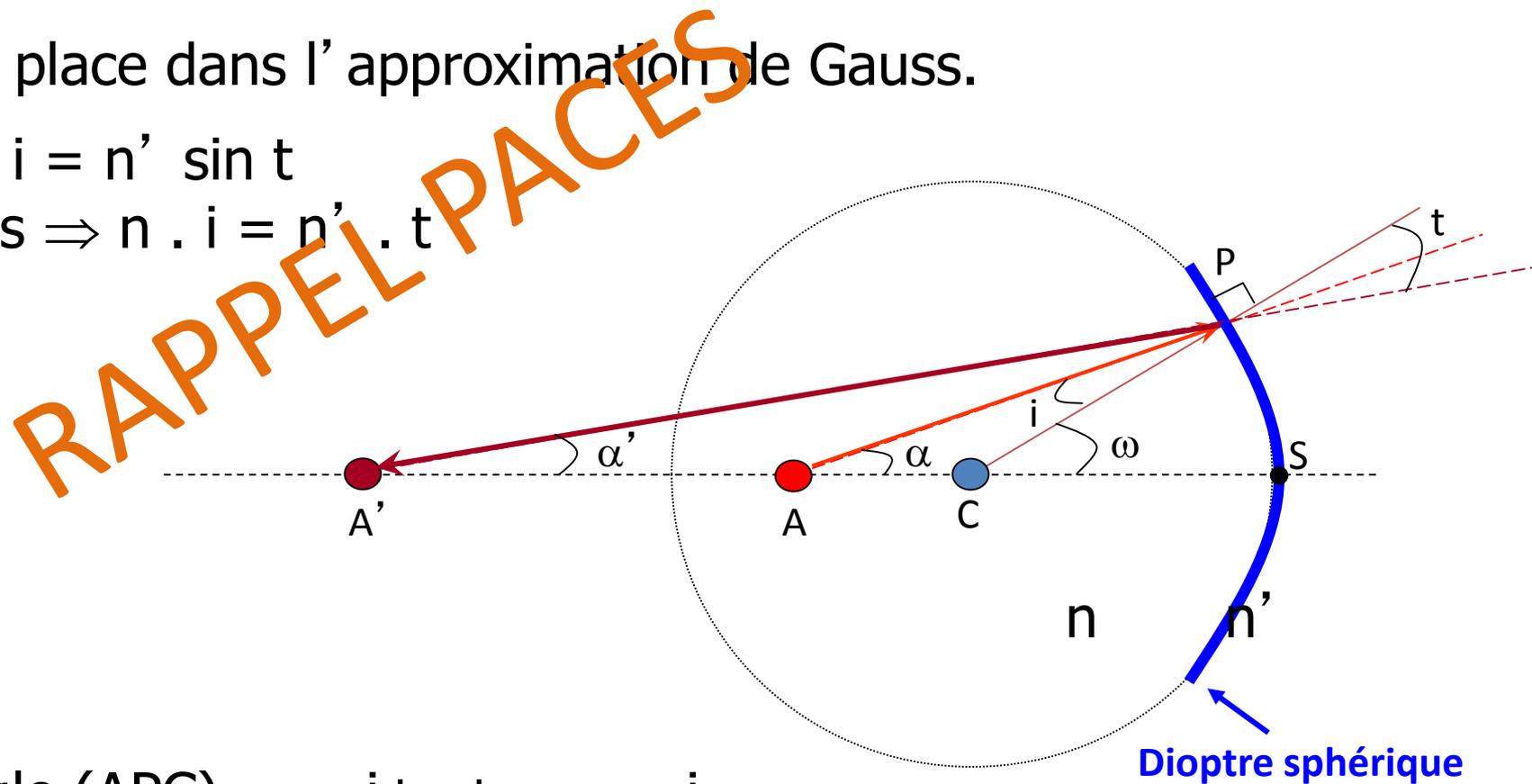


## DIOPTRE SPHERIQUE

On se place dans l'approximation de Gauss.

$$n \sin i = n' \sin t$$

$$\text{Gauss} \Rightarrow n \cdot i = n' \cdot t$$



Triangle (APC)  $\pi = i + \alpha + \pi - \omega \Rightarrow i = \omega - \alpha$

Triangle (A'PC)  $\pi = t + \alpha' + \pi - \omega \Rightarrow t = \omega - \alpha'$

$$n \cdot i = n' \cdot t \Rightarrow n \cdot (\omega - \alpha) = n' \cdot (\omega - \alpha') \Rightarrow (n' - n)\omega = n' \alpha' - n\alpha$$

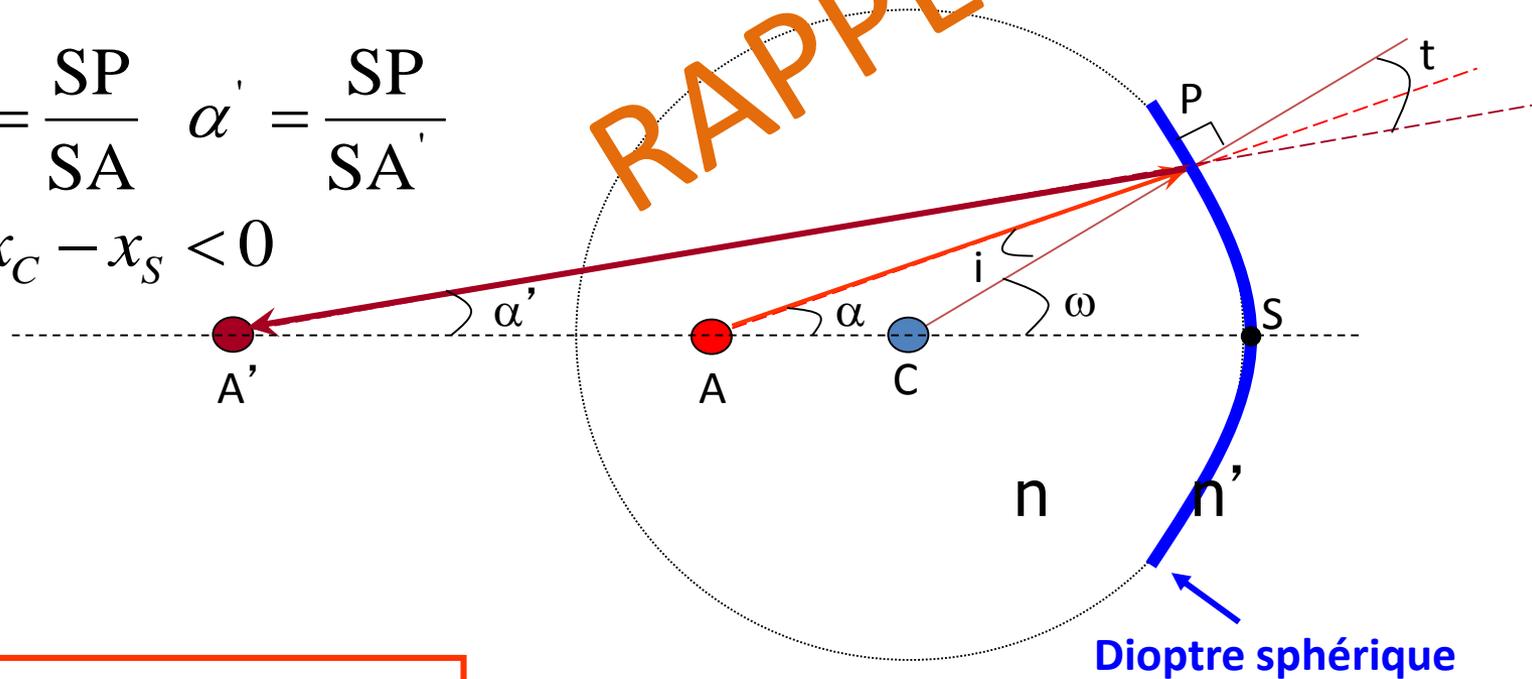
## DIOPTRE SPHERIQUE

On se place dans l'approximation de Gauss.

$$(n' - n)\omega = n' \alpha' - n\alpha$$

$$\omega = \frac{SP}{SC} \quad \alpha = \frac{SP}{SA} \quad \alpha' = \frac{SP}{SA'}$$

*Nb:*  $SC = x_C - x_S < 0$

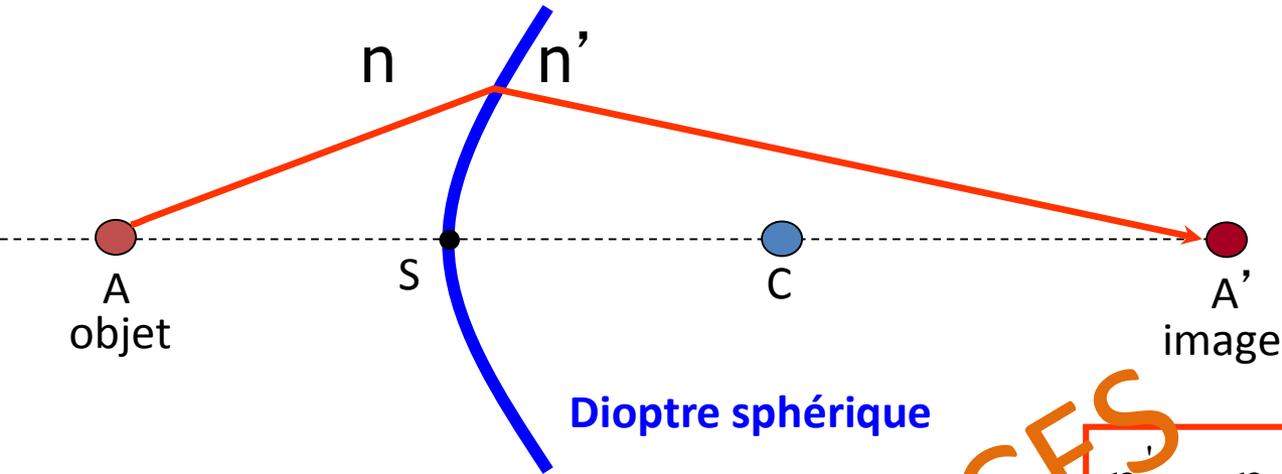


RAPPEL PACES

$$\frac{n' - n}{SC} = \frac{n'}{SA'} - \frac{n}{SA}$$

FORMULE DE CONJUGAISON  
DU DIOPTRE SPHERIQUE :  
BASE DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUE

# DIOPTRE SPHERIQUE



Dioptré sphérique

Formule de conjugaison du dioptré sphérique :

$$\frac{n' - n}{SC} = \frac{n'}{SA'} - \frac{n}{SA}$$

Définitions : Puissance (ou vergence) du dioptré :

$$\Pi = \frac{n' - n}{SC} \text{ en dioptrie (Dp)}$$

$\Pi > 0 \Rightarrow$  dioptré convergent

$\Pi < 0 \Rightarrow$  dioptré divergent

(m<sup>-1</sup>)

RAPPEL PACES

# A Bases de l'optique géométrique

## 1 Définitions

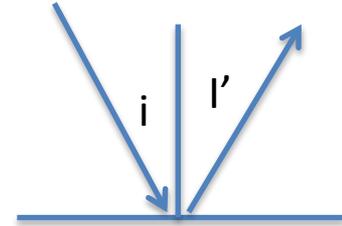
- **Dioptre** : surface de séparation entre deux milieux d'indice  $n$  de réfraction différents ( $n=c/v$  avec  $v$  célérité dans le milieu)
- **Proximité** = inverse d'une distance  **$\text{Prox}(SP) = 1/SP$  en  $m^{-1}$**
- **Vergence** = indice/distance  **$n/SP$  en dp**. La vergence de P,  $n/SP$ , définie dans l'indice où se trouve P, se mesure en dioptries, Les vergences sont additives, algébriquement
- Le lieux d'où proviennent (ou paraissent provenir) les rayons lumineux est appelé **objet**, celui où ils arrivent (ou paraissent arriver) **image**.
  - Si les rayons proviennent réellement de l'objet ou arrivent réellement sur une image → **réel**
  - Si les rayons paraissent provenir d'un objet ou arriver sur une image → **virtuel** ex image donnée par un miroir (il n'y a pourtant rien derrière le miroir)
- Objet et image sont **conjugués** dans le système optique si les rayons qui partent de A arrivent sur B et les R qui partent de B arrivent sur A (principe du retour inverse de la lumière)

- Si l'image à la même forme agrandie ou diminuée mais dans les mêmes proportions dans toutes les directions → **système stigmat** ( $\neq$ astigmat). L'image d'un point est un point.
- Un système centré dans les conditions de Gauss peut être considéré comme stigmat.
  - faisceau lumineux étroit
  - peu incliné sur l'axe du système optique
  - proche de cet axe
- Si l'objet est à l'infini: les rayons qui en proviennent sont parallèles entre eux et l'image se forme sur le **plan focal** du système.
- Si l'objet à l'infini est un point et que le système est stigmat l'image est le **foyer** du système. réciproquement si l'objet est dans le plan focal les rayons sortent parallèles entre eux et l'image se forme à l'infini. La distance du plan focal (ou foyer) au système est appelée distance focale

## 2 lois de Descartes

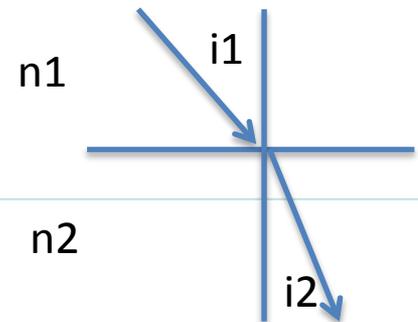
Pour la **réflexion**:

rayon dans même milieu arrive sur un dioptre réflexion  $i=i'$



Pour la **réfraction** : si R lumineux arrive non perpendiculairement sur un dioptre il est dévié.

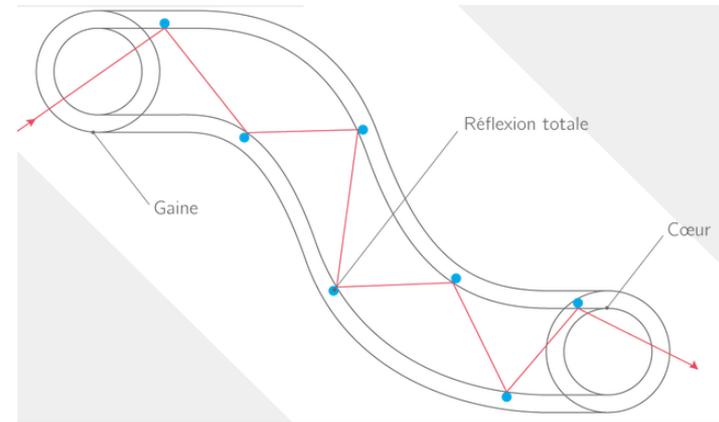
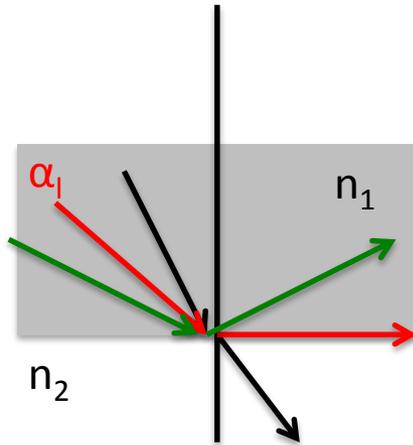
$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$



Un rayon perpendiculaire au dioptre n'est pas dévié (incidence nulle)

### 3 Réflexion totale

Si la lumière passe d'un milieu de fort indice vers un milieu d'indice plus faible, les rayons s'écartent de la normale. Pour une valeur d'angle (angle limite) le rayon sort tangentiellement au dioptre et pour des valeurs supérieures il n'y a plus de réflexion, la totalité de l'énergie est réfléchi



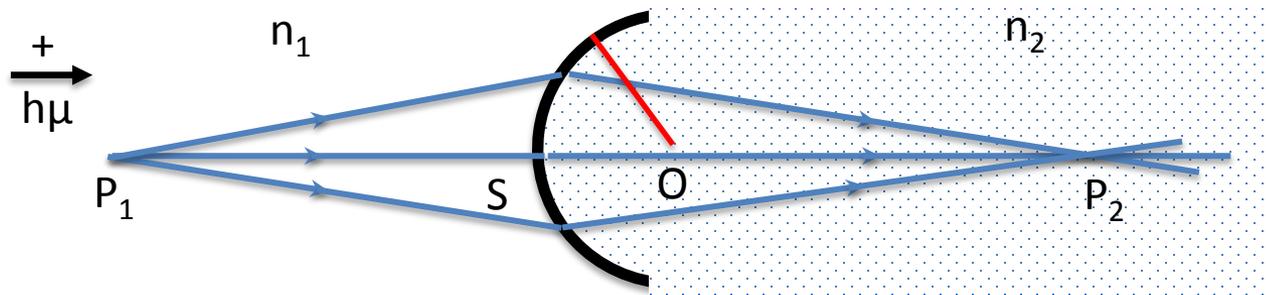
# B dioptries sphériques cylindriques toriques

## 1 étude dans le plan (circulaire)

### 1.1 relation générale

Faisceau de rayon de faible épaisseur provenant d'un point objet  $P_1$  dans  $n_1$ . Lorsque les rayons arrivent sur le dioptré en forme de cercle ils sont déviés et arrivent en  $P_2$  qui est l'image (conditions de Gauss).

- origine des distances : le sommet  $S$  du dioptré
- Distances algébriques; le sens positif est celui de la lumière (physicien) inverse médical



$$-\frac{n_1}{SP_1} + \frac{n_2}{SP_2} = \frac{n_2 - n_1}{SO}$$

### 1.2 Puissance du dioptré

Elle traduit l'importance de la déviation du fx

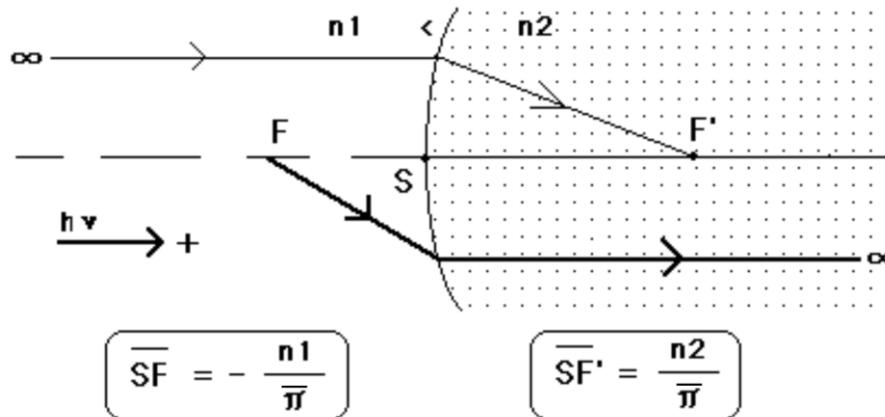
$$\frac{n_2 - n_1}{SO} = \pi \rightarrow L^{-1} \rightarrow \text{Dioptrie}$$

## 1.3 Distance focale du dioptre

Si l'objet est à l'infini, l'image est au foyer F'

$$-\frac{n_1}{\infty} + \frac{n_2}{SP_2} = \frac{n_2 - n_1}{SO} = \pi$$

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



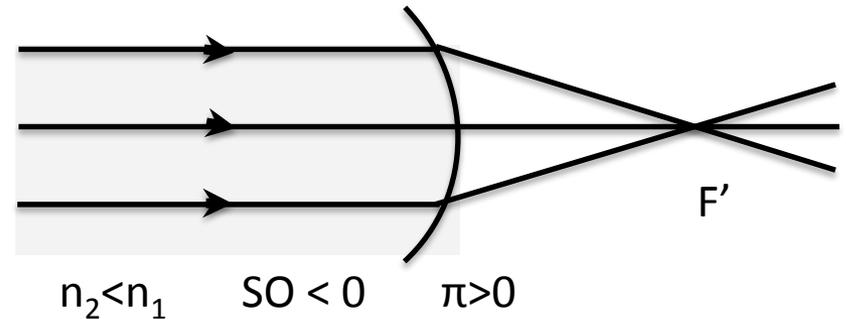
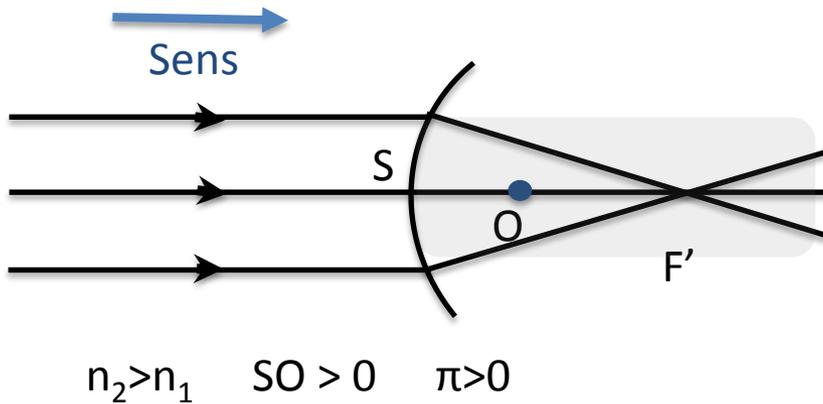
Dans le milieu  $n_1$  on détermine un foyer objet

$$\overline{SF} = -\frac{n_1}{\pi}$$

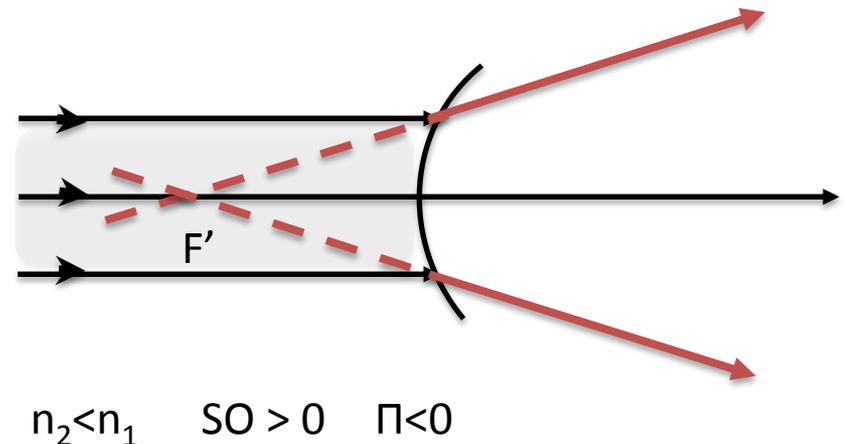
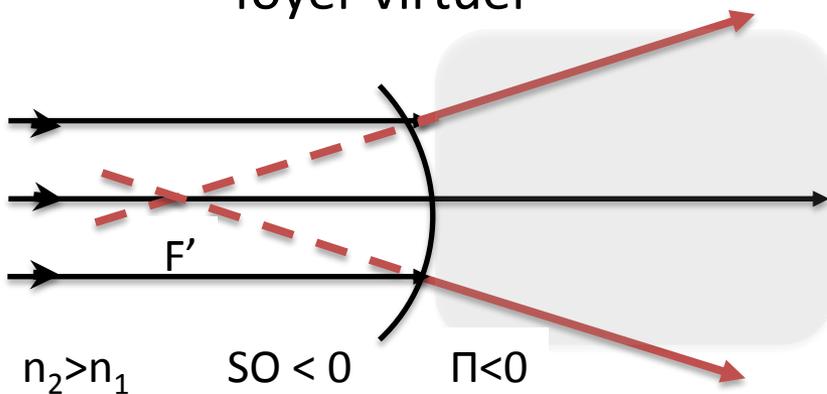
## 1.4 Rôle du signe de la puissance

$SF' = n_2/\pi$   $n_2$  toujours  $> 0$  donc signe de  $SF'$  celui de  $\pi$

- Si  $\pi > 0$   $SF' > 0$  donc  $F'$  dans le milieu 2 le dioptre est **convergent** et le foyer réel



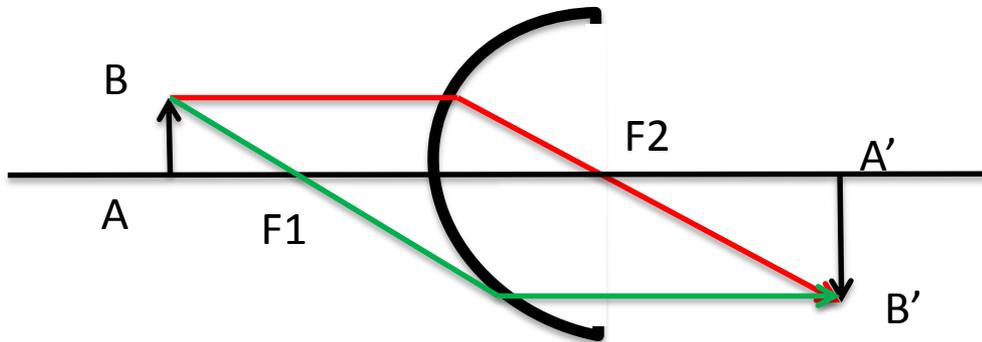
- Si  $\pi < 0$   $SF' < 0$  donc  $F'$  dans le milieu 1 le dioptre est **divergent** et le foyer virtuel



Rq la puissance d'un dioptré plan est nulle  $r=\infty$

$$\pi = \frac{n_2 - n_1}{\infty}$$

Grandissement



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

## 2 Dioptré sphérique

Le rayon de la sphère est le même dans toutes les directions, la puissance de la sphère est la même dans toutes les directions  $P_2$  n'est pas modifié.

D'un objet en forme de point l'image sera un point. Le système est stigmatique dans les conditions de Gauss

### 3 dioptries cylindriques

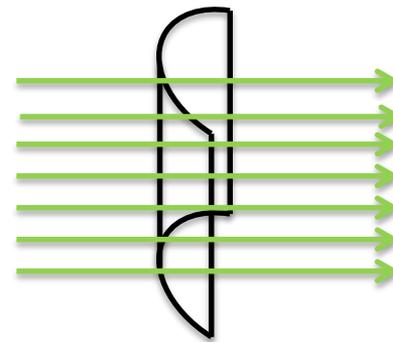
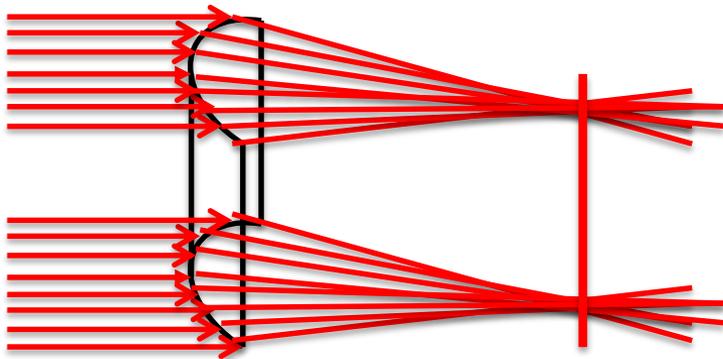
Comme un empilement de dioptré circulaire, chacun donnant d'un objet en forme de point une image en forme de point

L'image d'un point donné par un dioptré cylindrique est donc un empilement de points donc une droite parallèle à l'axe du cylindre

**Astigmatisme** puisque rayons du cylindre valeurs  $\neq$

→ deux  $\pi$  une de valeur 0 l'autre  $\neq 0$

→ 2 méridiens principaux

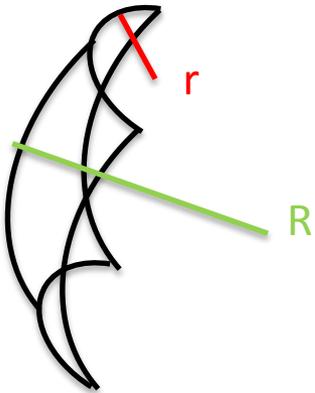


Si l'objet est un point à l' $\infty$  le dioptré en donne 2 images 2 focales

→ la focale due à la puissance  $n_2 - n_1 / r$  est parallèle à l'axe du cylindre

→ La focale due à la puissance nulle est perpendiculaire à l'axe et est à l'infinie

## 4 Dioptries toriques



Deux rayons différents  $\neq 0$  donc  $2 \pi \neq$

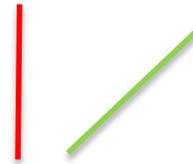
$$\pi_r = n_2 - n_1 / r$$

$$\pi_R = n_2 - n_1 / R$$

2 focales

$$SF'_r = n_2 / \pi_r$$

$$SF'_R = n_2 / \pi_R$$



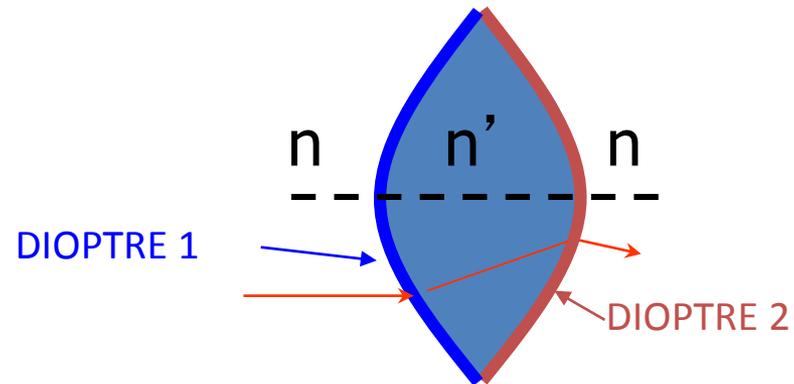
- 5 résumé

Dioptre	sphérique	cylindrique	torique
Caractéristique géométrique	1 rayon $r$	1 rayon $r$ 1 rayon $\infty$	1 rayon $r$ 1 rayon $R$
stigmatisme	oui	non	non
puissance	1	1 finie 1 nulle	2 de valeurs finies
Image d'un point à l'infinie	1 foyer	1 focale parallèle axe 1 focale perpendiculaire à $\infty$	2 focales perpendiculaires entre elles

# C Association de dioptries : lentilles minces

Des dioptries peu éloignés se comportent comme un **dioptrie unique** de puissance égale à la **somme algébrique des  $\neq \pi$**

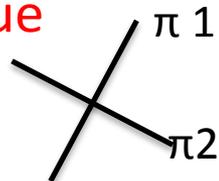
Lentilles minces : constitué de 2 dioptries peu éloignés; les indices des milieux extrêmes sont égaux



Les distances focales (objet et image) d'une lentille sphérique sont égales en valeur absolue

Pour les **dioptries cylindriques et toriques** il faut :

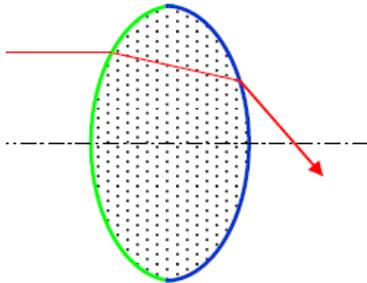
que les méridiens principaux des différents dioptries soient dans les mêmes directions; effectuer la **somme algébrique** des puissances **dans chaque méridien principal**



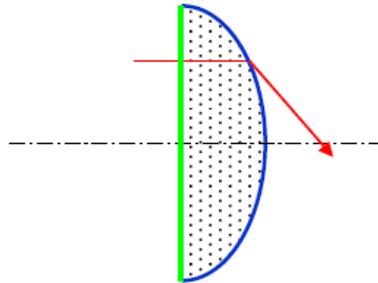
# Lentilles (minces) sphériques convergentes

## Bords minces

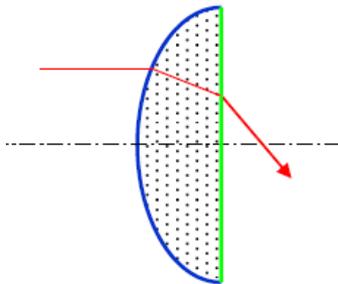
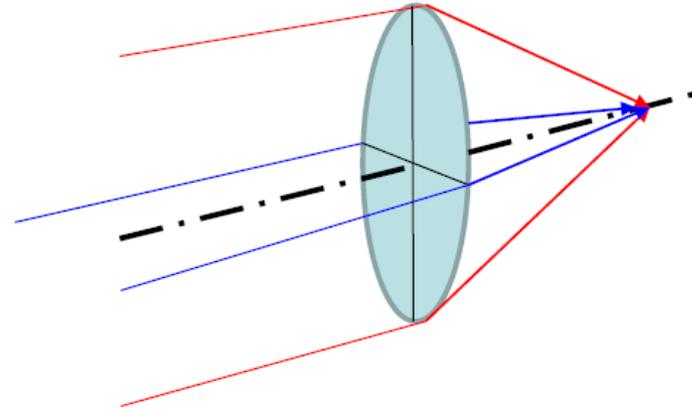
 pour  $n_2$



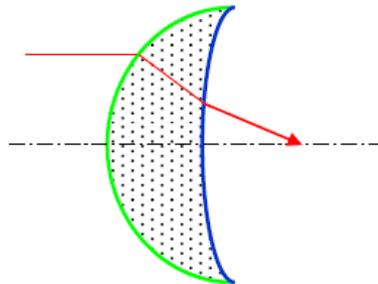
biconvexe



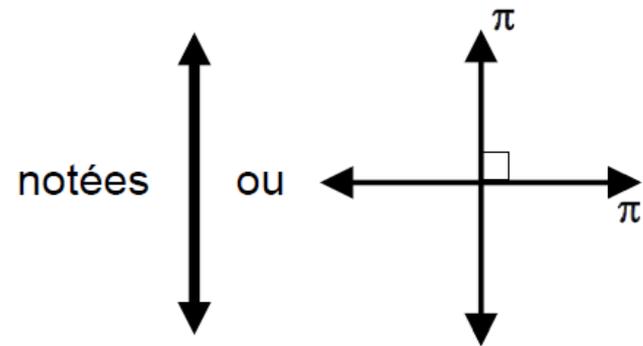
plan convexe



convexe plan



ménisque convergent

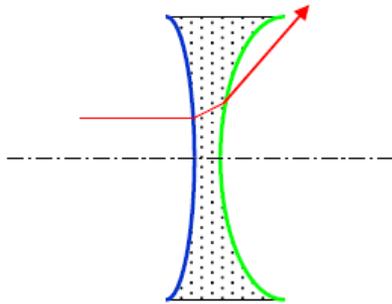


Lentille Sphérique  
Convergente

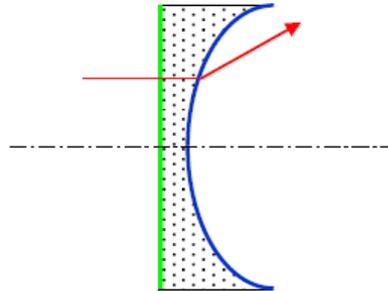
# Lentilles (minces) sphériques divergentes

## Bords épais

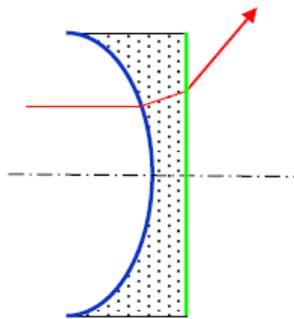
 pour  $n_2$



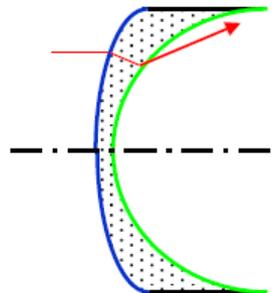
biconcave



plan concave



concave plan

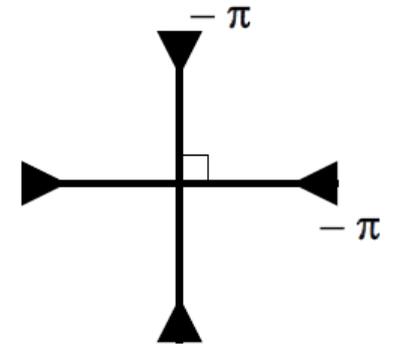


ménisque divergent

notées



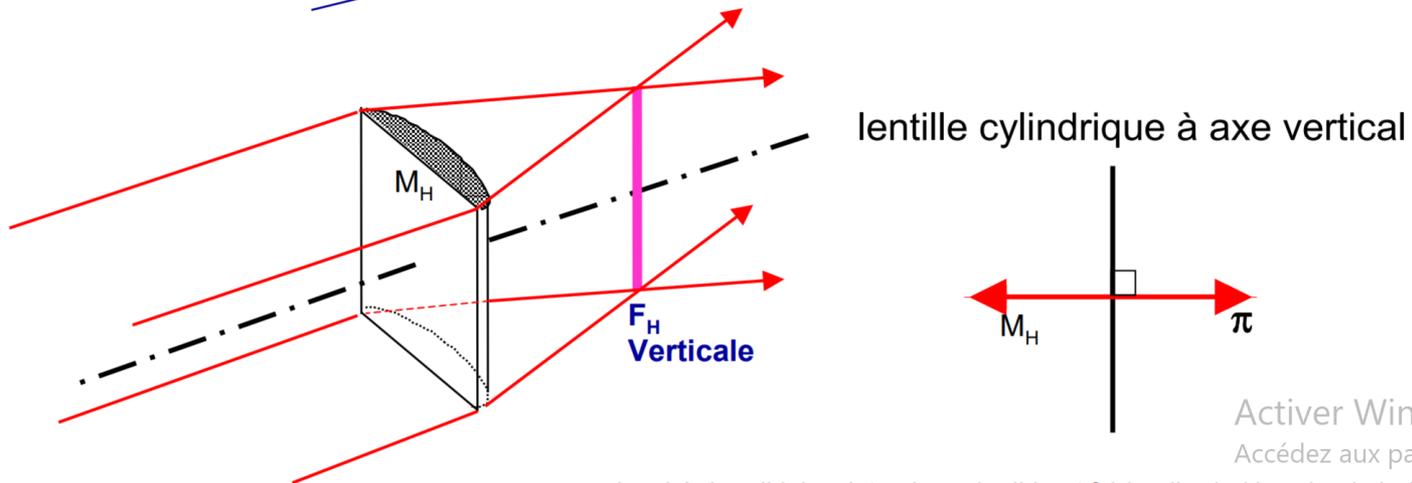
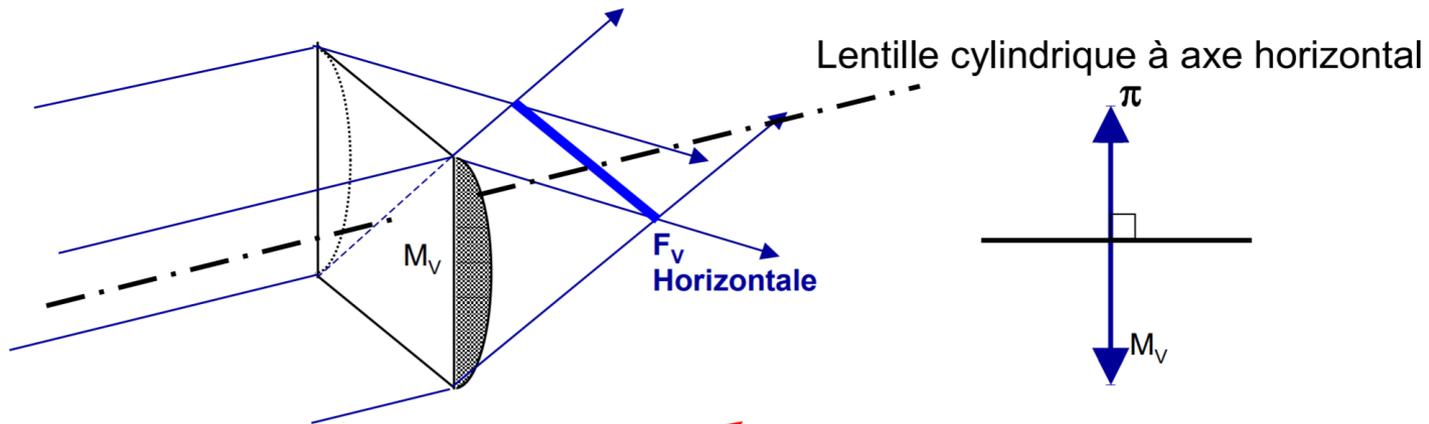
ou



Lentille Sphérique  
Divergente

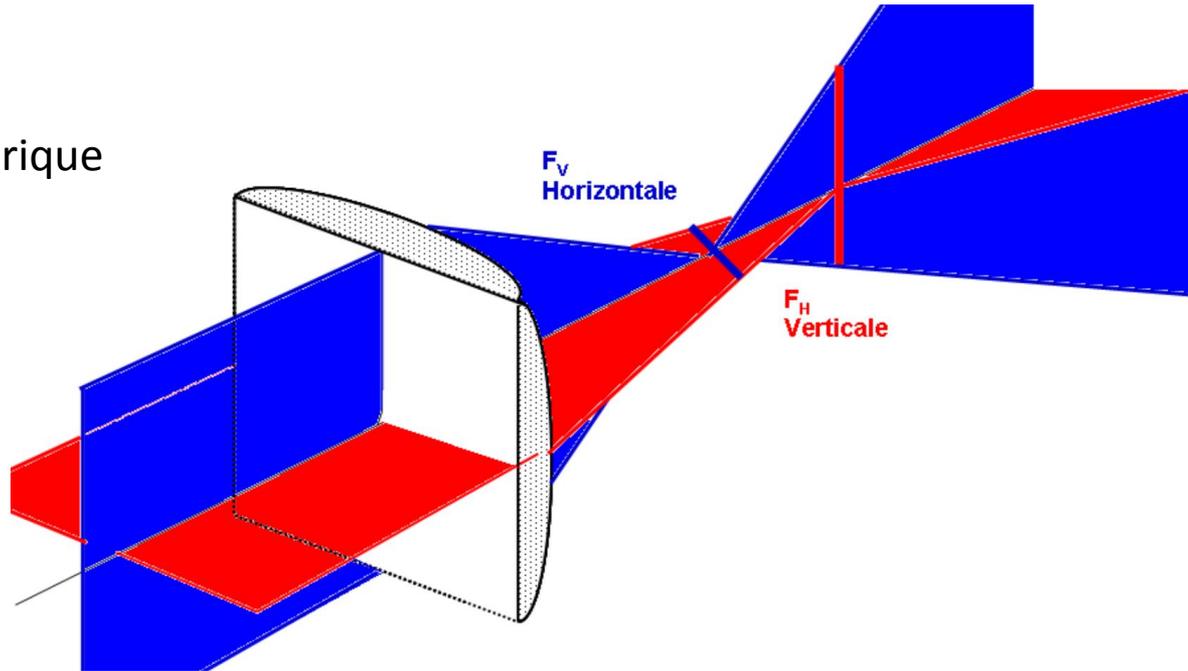
# Lentilles plan cylindriques

Une des faces de la lentille est plane ( $\pi = 0$ ) l'autre face est une portion de cylindre ( $\pi = 0$  et  $C$ ). Les puissances de la lentilles sont donc 0 et  $C$



**Lentilles plan toriques:** une face plane et une face torique ( $\pi = C$  et  $C'$ )

Lentille torique

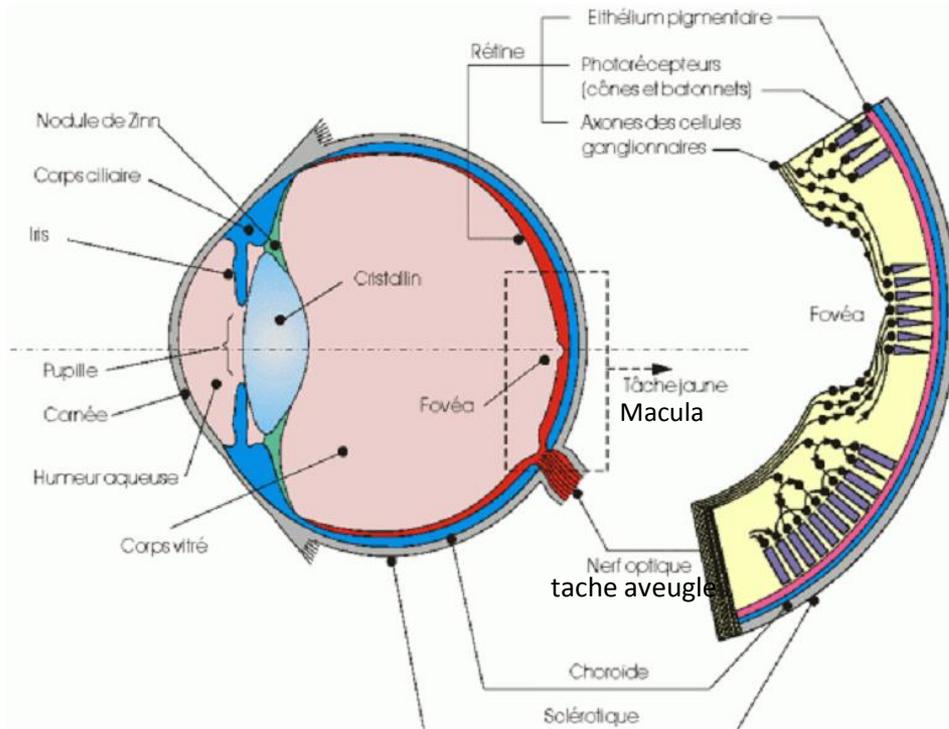


**Lentilles sphéro-cylindriques:** une face est une portion de sphère  $\pi = C$  l'autre face une portion de cylindre ( $\pi = 0$  et  $C'$ ) donc  $2 \pi = C$  et  $C'$  (effet optique analogue à une lentille torique)

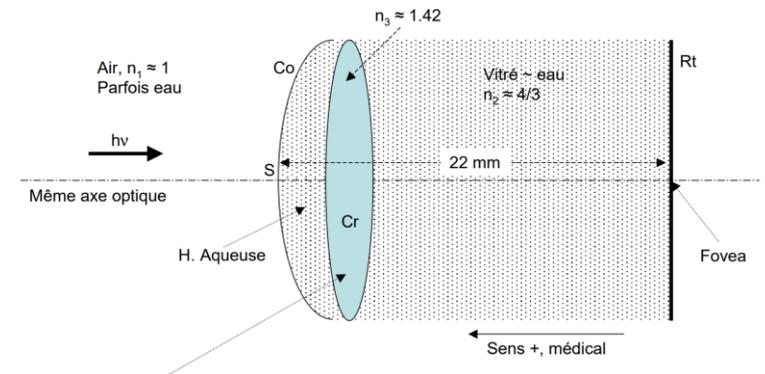
# Dioptrique de l'œil normal

# A Les milieux transparents de l'œil

- Avant d'arriver sur la rétine la lumière traverse différents milieux transparents d'indice différents constituant ainsi plusieurs dioptries  $\approx$  sphériques



Schématisation des dioptries et milieux transparents d'un œil humain



- Dioptre cornéen ant

$$n_{\text{air}} = 1 \text{ (si air)}$$

$$n_{\text{cornée}} = 1,377$$

$$r = 7,8 \text{ mm}$$

$$\Pi = \frac{1,377-1}{7,8 \times 10^{-3}} = 48 \text{ dp}$$

- Dioptre cornéen post  $D \approx -6 \text{ dp}$
  - Dioptre cristallinien ant au repos  $D \approx 8 \text{ dp}$
  - Dioptre cristallinien post au repos  $D \approx 14 \text{ dp}$
- } Adaptatif avec accommodation
- La  $\Sigma = 64 \text{ dp}$  or la mesure donne  $60 \pm 3,5 \text{ dp}$  car les dioptres ne sont en réalité pas peu éloignés
  - L'iris (diaphragme) limite la quantité de lumière et maintien les conditions de Gauss
  - **Œil biologique moyen  $60 \pm 3,5 \text{ dp}$**
  - $\forall$  la valeur de la puissance **un œil normal (emmétrope) au repos donne d'un objet a l' $\infty$  une image sur la rétine (rt)**

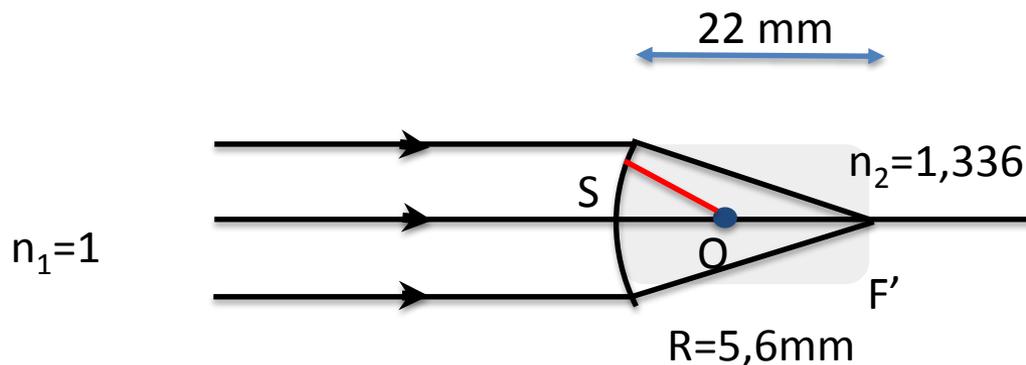
## Œil réduit

Au repos l'œil normal peut être représenté par un dioptre sphérique de  $\pi$  60 dp séparant l'air de l'eau

Ry de courbure  $\frac{1,336-1}{r} = 60 \rightarrow r = 5,6mm$

Distance focale  $SF' = \frac{1,336}{60} = 22,3 \approx 22mm$

Puisque le foyer d'un œil N au repos est sur la rt, la rt de l'œil réduit est un écran situé à 22 mm



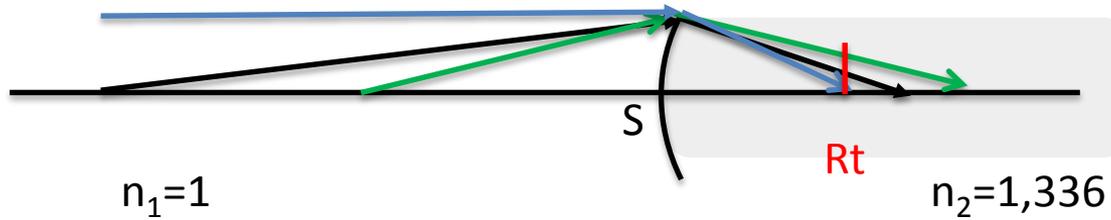
Convention médicale  
Distance positive pour les points  
en avant de l'oeil



$$\frac{n_1}{SP_1} - \frac{n_2}{SP'} = \Pi$$

# B l'accommodation

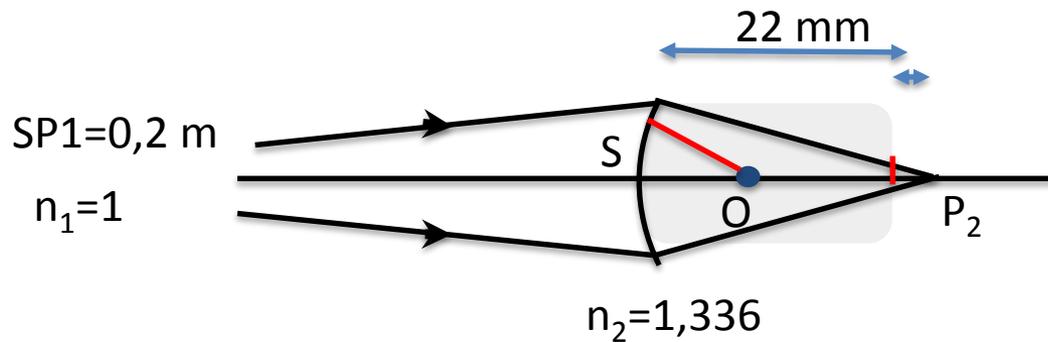
## 1 Nécessité de l'accommodation



OR de 60dp et 22mm

- Image d'un objet à l' $\infty$  ( $>5m$ ) est sur la rétine
- Si cet œil veut voir un objet 20 cm devant œil ( $SP_1= 0,2$ ) l'image se formera en  $P_2$  avec  $SP_2$

$$\frac{n_1}{SP_1} - \frac{n_2}{SP_2} = \Pi \quad \frac{1}{0,2} - \frac{1,336}{SP_2} = 60 \quad \overline{SP_2} = -\frac{1,336}{55} = -24mm \quad \text{donc 2 mm en arr rt}$$



Si l'objet est un point la rétine percevrait un cercle lumineux.  
Un objet plus complexe apparaîtrait flou

## 2 Mécanisme

L'**accommodation** est due à une **augmentation de puissance du cristallin** dont les rayons (principalement ant) diminuent. Phénomène important (plus de 15 dp chez enfant) reflexe très rapide. « palpation optique »

## 3 Caractéristiques de l'accommodation

**Punctum remotum PR** : point conjugué de la rétine qd œil au repos ( $\infty$  pour œil normal)

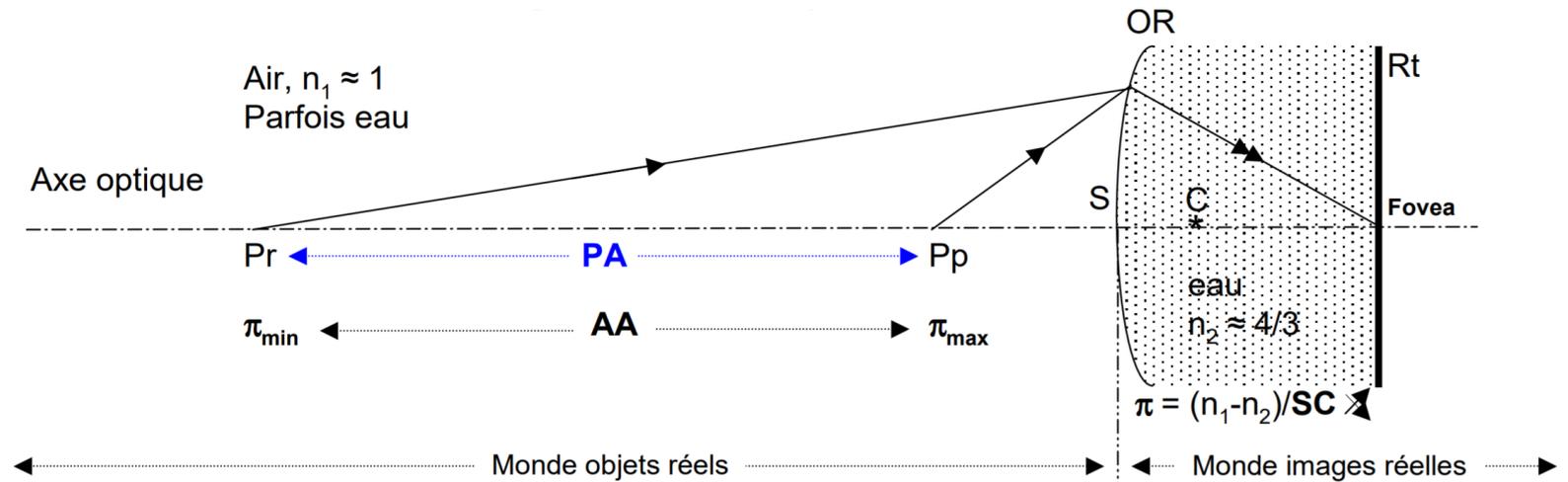
$$\frac{1}{PR} - \frac{n_2}{rt} = \pi$$

**Punctum proximum PP** : le point conjugué de la rétine qd œil en accommodation max

$$\frac{1}{PP} - \frac{n_2}{rt} = \pi'$$

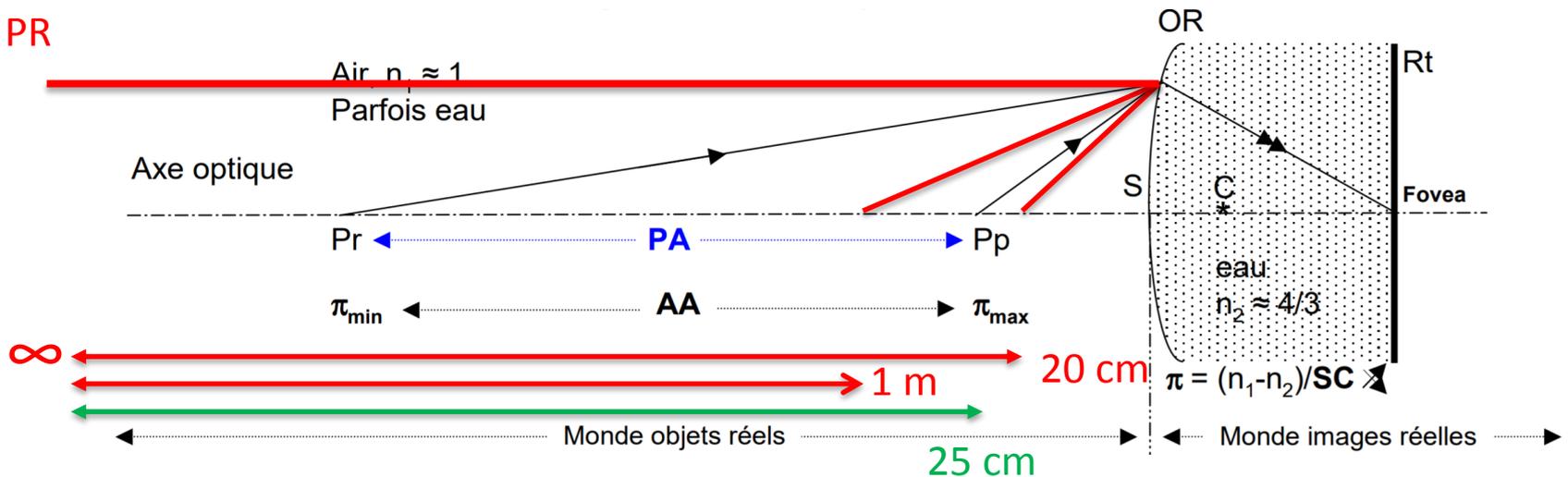
$$\frac{1}{PP} - \frac{1}{PR} = \pi' - \pi = AA$$

- **Parcours d'accomodation**: intervalle de distance dans lequel doit se trouver un objet pour être vu nettement.



- 1 sujet normal (PR  $\infty$ ) à une AA de 5 dp. PP?  
 $1/PP=5 \rightarrow PP=20 \text{ cm} \rightarrow PA \infty \text{ à } 20 \text{ cm}$
- 1 sujet normal (PR  $\infty$ ) à une AA de 1 dp. PP?  
 $1/PP=1 \rightarrow PP=1 \text{ m} \rightarrow PA \infty \text{ à } 1 \text{ m}$

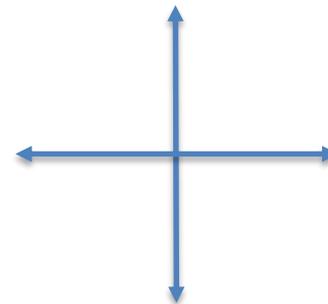
(Presbytie AA < 4 dp PP > 25 cm)

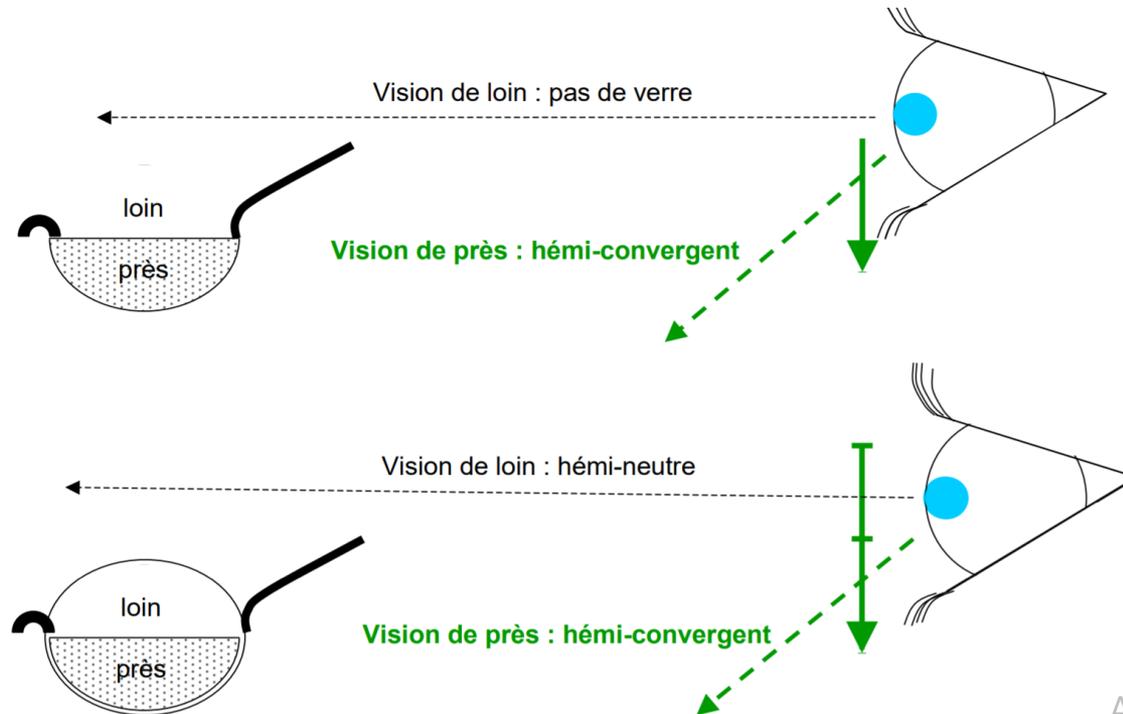


## 5 variation de l'AA avec l'âge

- L' A est due à une variation de la forme du cristallin qui nécessite de la souplesse qui diminue en vieillissant
- Presbytie en dessous de 4 dp ou 25cm
- Correction de la presbytie : l'œil manque de puissance pour voir des objets rapprochés, il faut donc augmenter artificiellement cette puissance par des verres qui seront des lentilles sphériques convergentes que le sujet n'utilise que pour la vision de près.
- $d^{\circ}$  de presbytie =  $AA - 4 \rightarrow$  puissance du verre correcteur (différent en fonction des métiers et des besoins du sujet)

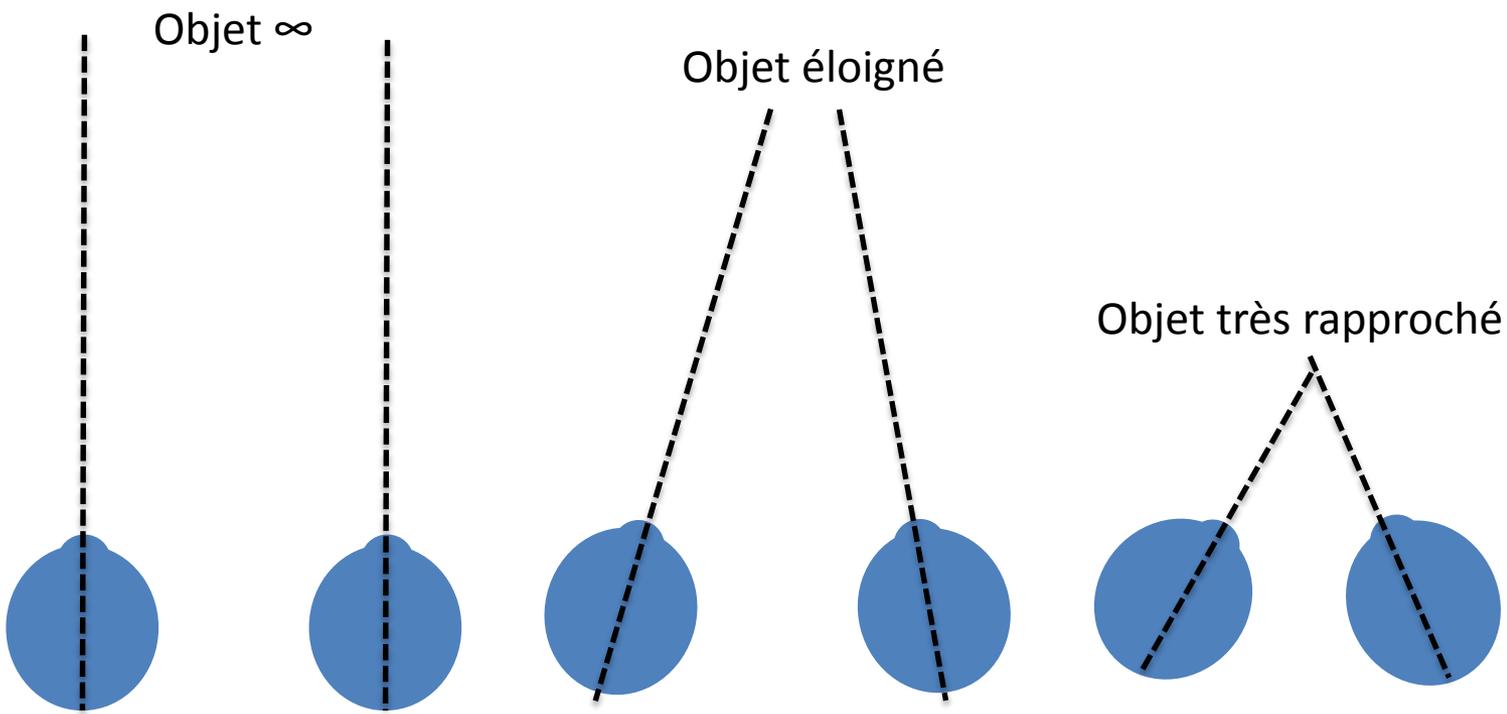
Age (ans)	AA (dp)	SPP (cm)
10	14	7
20	10	10
30	7	14
40	4,5	22
50	2,5	40
60	1	100
70	0,25	400





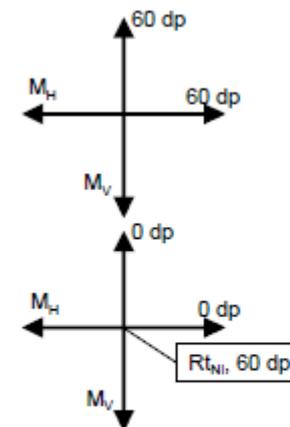
# C Accommodation et convergence des yeux

- Jusqu'à présent on considérait un seul œil en fait la vision est binoculaire. Pour voir net l'image doit se former sur la fovéa pour observer des objets rapprochés les yeux tournent grâce aux muscles oculaires pour que les axes fovéa-sommets passent par l'objet (**convergence des yeux**).
- Pour observer un objet rapproché **chaque œil accomode et les yeux convergent**
- Normalement au niveau du cerveau sensation unique car fusion des deux images. Si fusion n'existe pas diplopie.
- Les troubles de la convergence
  - Défaut évident de convergence : l'axe d'un œil fortement dévié **strabisme**
  - Simple difficulté pour converger entraînant des troubles secondaires (céphalée, fatigue à la lecture...)disparait avec rééducation (orthoptie)

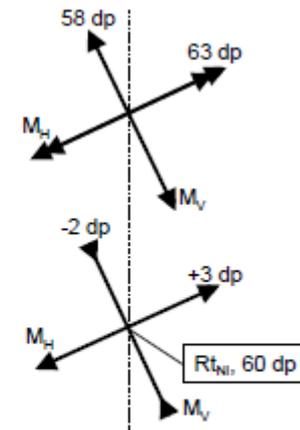


# Les amétropies

- Troubles de la dioptrique oculaire également appelé trouble de la réfraction
  - **Amétropies sphériques** les différents dioptries de l'œil sont sphériques mais l'image d'un objet à l' $\infty$  ne se forme pas sur la rétine qd œil est au repos
  - **Amétropies non sphériques** ou **astigmatismes** dans lesquelles au moins un dioptre de l'œil n'est pas sphérique: l'œil réduit n'est plus un dioptre sphérique.



Un œil sphérique emmétrope

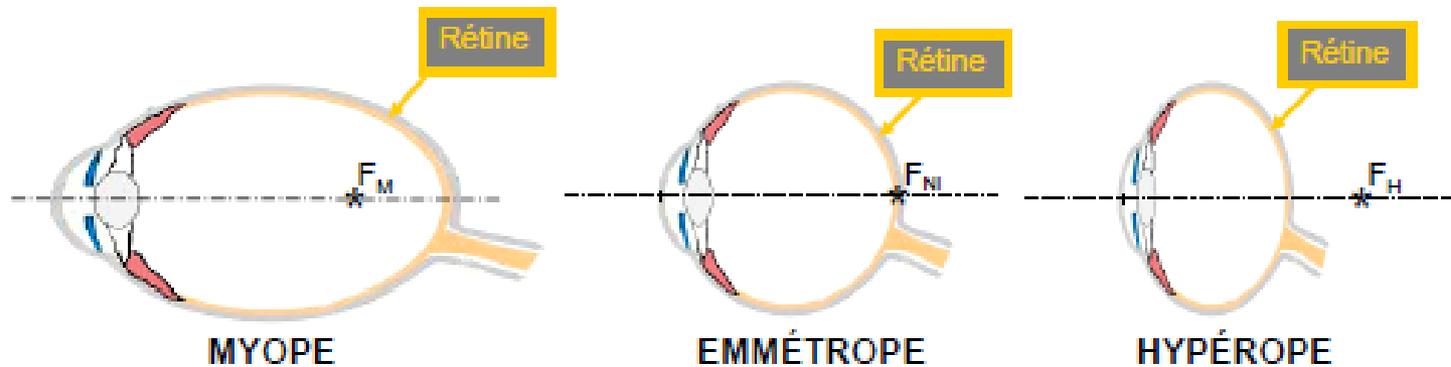


un astigmatisme régulier complexe

# A les amétropies sphériques

Il existe 2 grandes causes d'amétropie

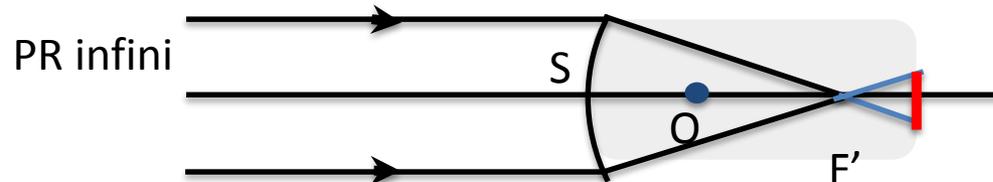
- les amétropies dites de **conformation** sont dues à des anomalies des rayons de courbure de l'OR (cornée en général), trop petit chez le myope, trop grand chez l'hypérope, ce qui revient à un oeil trop puissant (myope) ou pas assez (hypérope)
- les amétropies dites **axiales**, correspondant à un oeil trop court (foyer image après la rétine, chez l'hypérope) ou à un oeil trop long (foyer image avant la rétine, chez le myope)



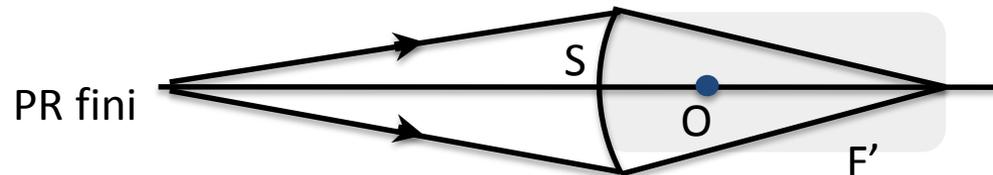
Dans ce qui suit, pour des raisons pratiques, nous ne considèreront que des amétropies de conformation en ramenant tout défaut à une anomalie de puissance

# 1 la myopie

L'image d'un objet à l' $\infty$  se forme en avant rétine; œil trop puissant par rapport à sa longueur ou œil trop long pour sa puissance.



Puisque œil trop convergent au repos pour que l'image se forme sur la Rt il faut que les ry n'arrivent plus parallèlement mais en divergeant, provenant ainsi d'un point situé à distance finie de l'oeil



Degré de myopie : c'est par def l'excès de puissance de l'œil, il est en relation avec le PR.

Si  $l_2$  est la longueur de l'œil celui-ci devrait avoir s'il est normal une puissance  $\pi'$  telle que

$$\frac{1}{\infty} - \frac{n_2}{l_2} = \pi'$$

Alors qu'en réalité sa puissance  $\pi$  est telle que  $\frac{1}{PR} - \frac{n_2}{l_2} = \pi$

L'excès de puissance ou degré de myopie est égal à

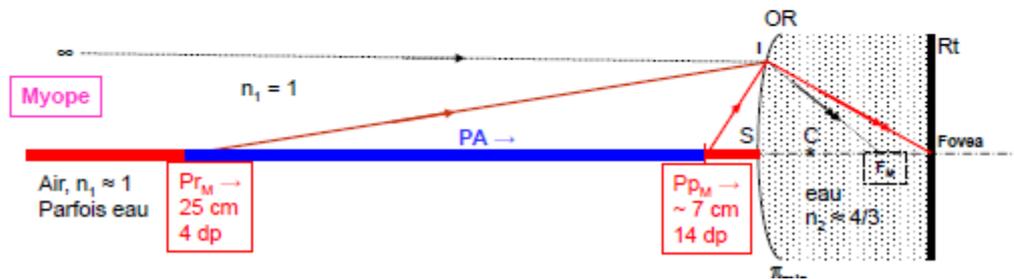
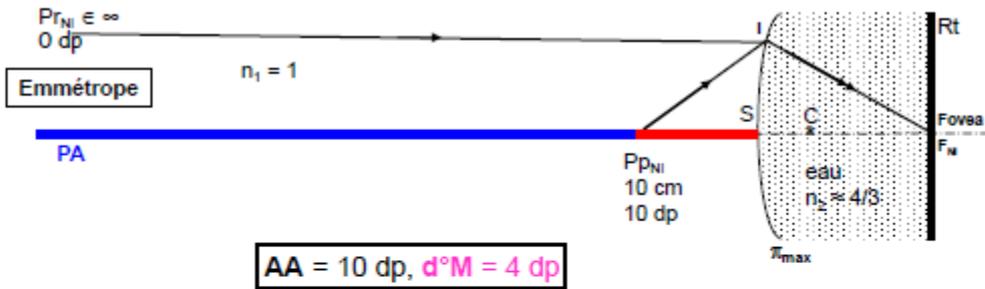
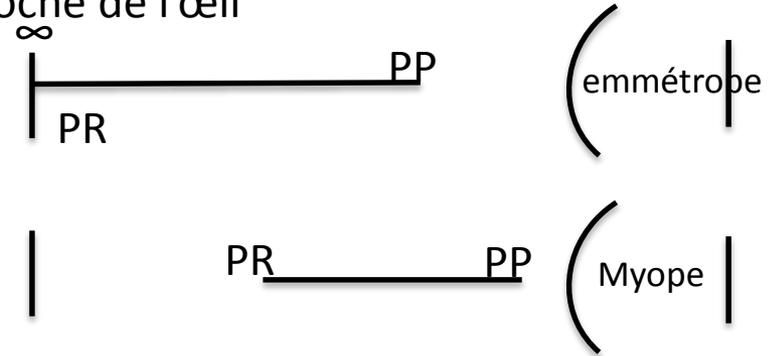
$$\pi - \pi' = \frac{1}{PR}$$

$$d^{\circ}myopie = \frac{1}{PR}$$

Parcours d'accommodation : la myopie n'atteint pas l'accommodation, donc AA normale pour l'âge.  $\frac{1}{PP} - \frac{1}{PR} = AA$

$PR \searrow \rightarrow 1/PR \nearrow$  donc  $1/PP \nearrow$  donc  $PP \searrow \rightarrow PP$  rapproché de l'œil

Le PA est rapproché de l'œil



$1/4 = 0.25$

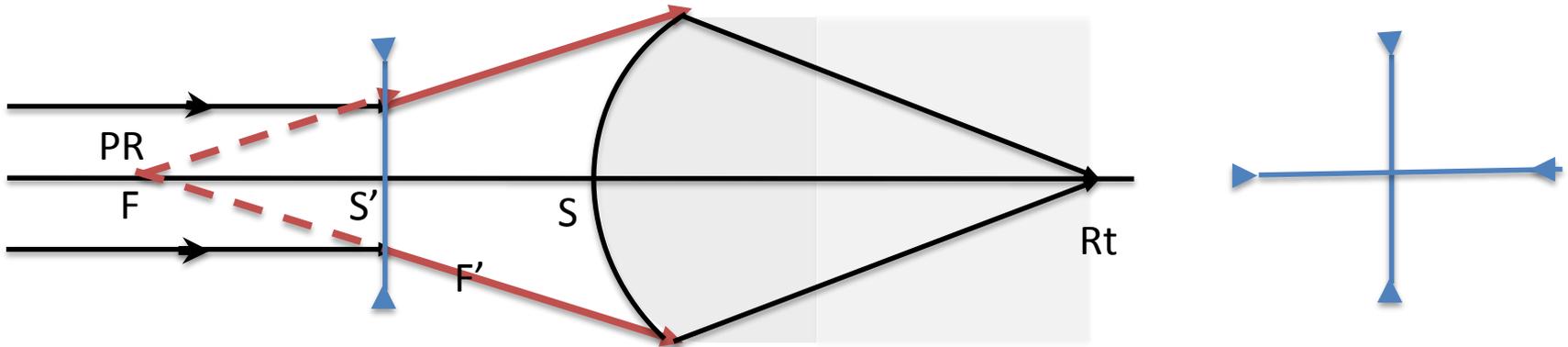
$1/14 = 0.07$

$14 - 7 = 10 = AA$

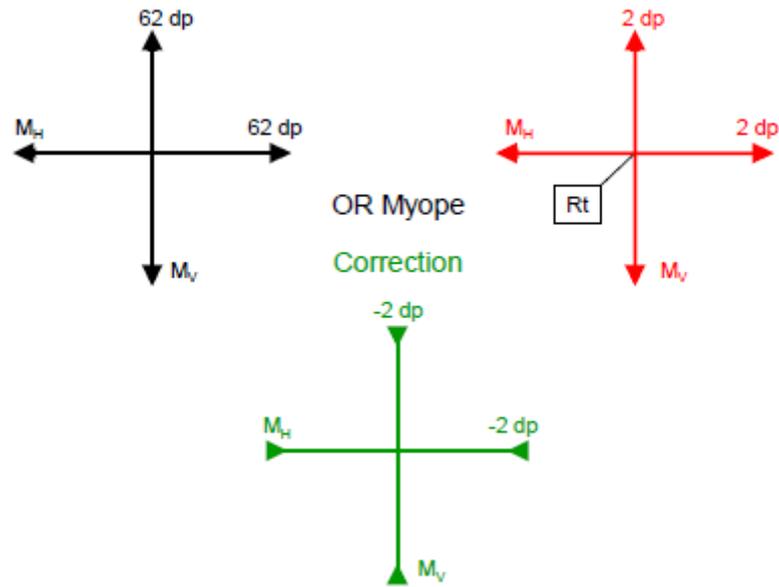
## Correction de la myopie par des verres de lunettes:

L'œil étant trop puissant la correction se fait par des **verres sphériques divergents de puissance égale en valeur absolue au degré de myopie**.

En toute rigueur c'est inexact car par définition le degré de myopie est  $1/PR$  ie  $1/SPR$  alors que la puissance de la lentille en valeur absolue est  $1/S'F$  égale à  $1/S'PR$ , l'erreur est due à ce que  $S$  et  $S'$  ne sont pas confondus). Voir plus loin pour lentilles de contact.

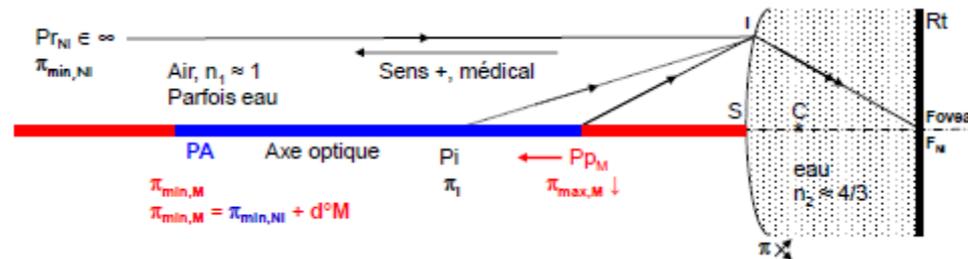


(si l'œil n'existait pas, un faisceau venant de l'infini sortirait de la lentille en divergent, semblant venir du PR. PR est donc le foyer image (F) de la lentille correctrice et donc Puissance Correctrice =  $- n_1/SPR = - n_1/S'F$ )



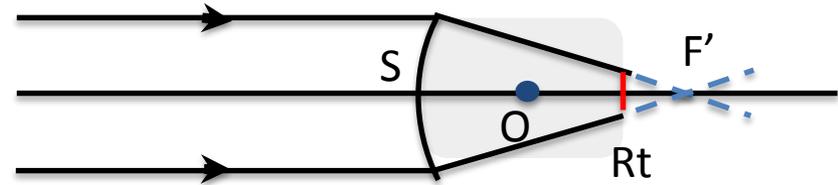
Myopie et presbytie: le myope à un PP rapproché alors que la presbytie consiste à un éloignement du PP donc le myope devient presbyte à un âge plus avancé que le normal voire jamais (il voit tjs les objets proches de l'œil)

La presbytie recule le PP sans modifier le PR; le PA est diminué

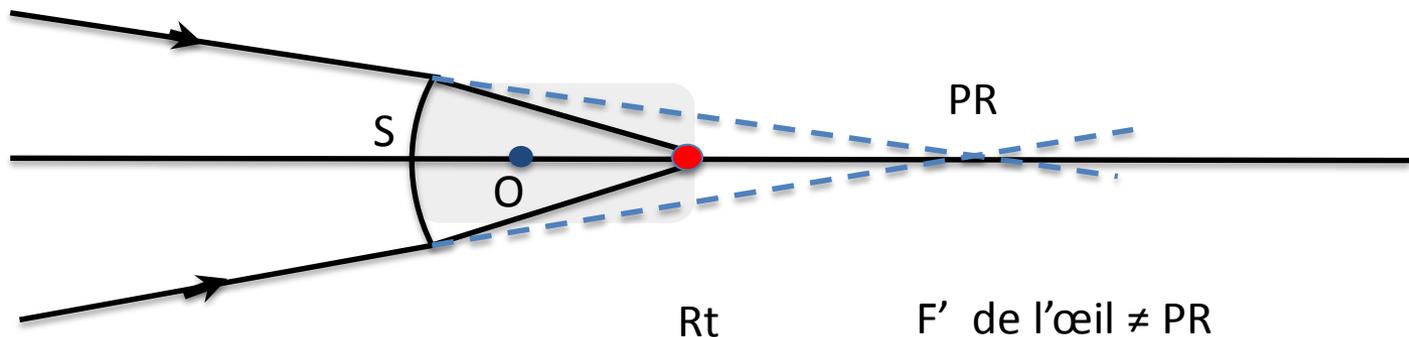


## 2 l'hyperopie ou hypermétropie

Dans l'œil hypermétrope au repos l'image d'un objet à l' $\infty$  se formerait en arr de la Rt; c'est donc que l'œil n'est pas assez puissant par rapport à sa longueur ou trop court par rapport à sa puissance



Position du PR: puisque l'œil au repos n'est pas assez puissant il faut pour que l'image se forme sur la rétine que les rayons arrivent sur la cornée en convergeant semblant provenir d'un objet situé en arr de l'œil donc virtuel. Le PR de l'hyperope est virtuel



Degré d'hyperopie : c'est par def le manque de puissance de l'œil

$$d^{\circ}hyperopie = \left| \frac{1}{PR} \right|$$

Parcours d'accommodation : l'hyperopie n'atteint pas l'accommodation donc à âge égal l'hyperope a la même AA qu'un emmétrope.

PR étant virtuel SPR est négatif  $\frac{1}{PP} = AA - \left| \frac{1}{PR} \right| = AA - d^{\circ}d'hyperopie$

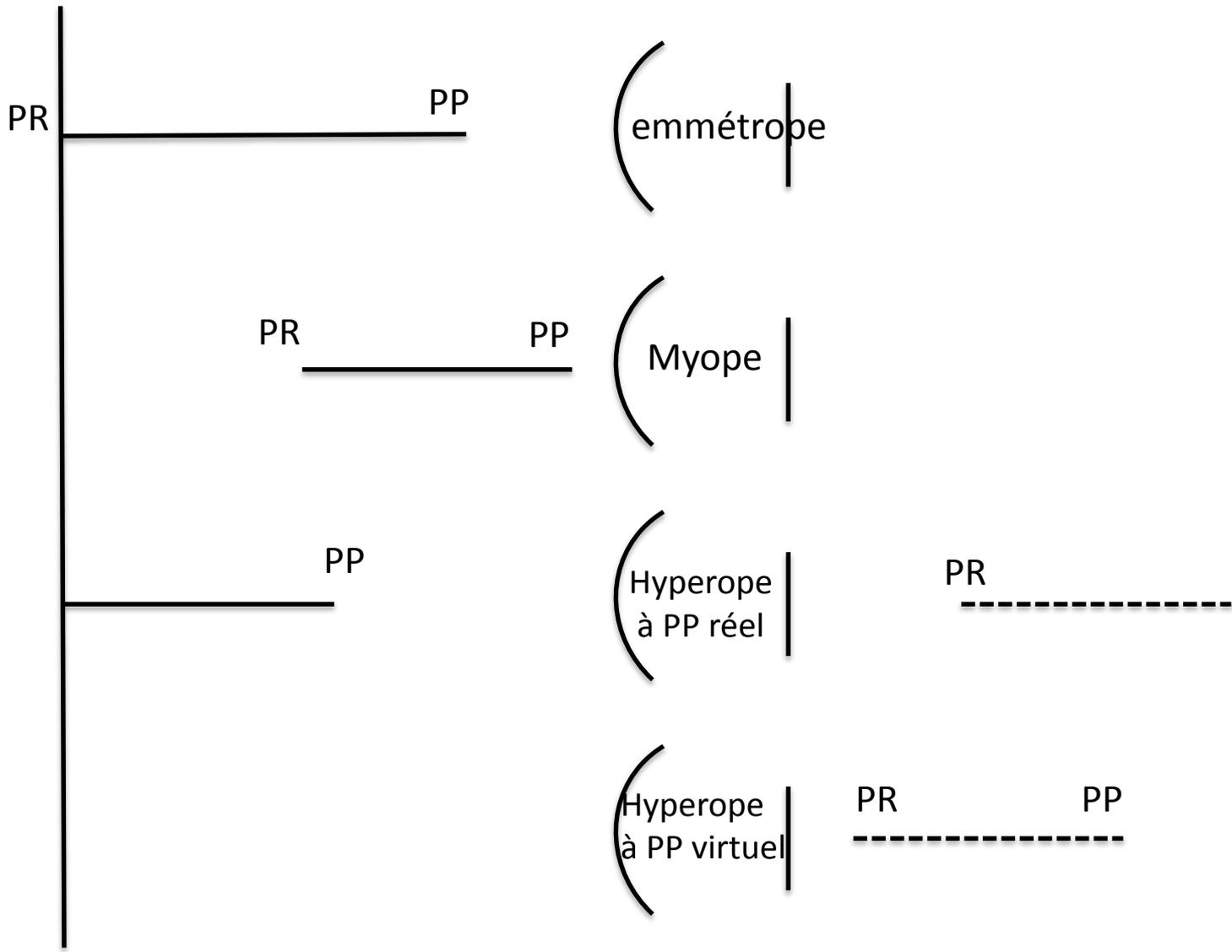
**Si AA > d° hyperopie**  $1/PP > 0$  et de valeur < à la normale

→ PP > 0 supérieur à la normale

→ Le PP est en avant de l'œil (réel) et plus éloigné que le N

Ex AA= 10; d°hyperopie = 5  $1/PP=10-5 = 5$  SPP= 0,2 = 20 cm

Ce type hyperope est parfois gêné pour voir les objets rapprochés par contre il **voit nettement les objets éloignés mais en accommodant** ce qui entraîne une fatigue (hypermétrope faible, hypermétrope à PP réel)



Si  $AA < d^\circ$  hyperopie;  $1/PP < 0$

→ donc  $PP < 0$

→ le PP est en arr de l'œil il est virtuel

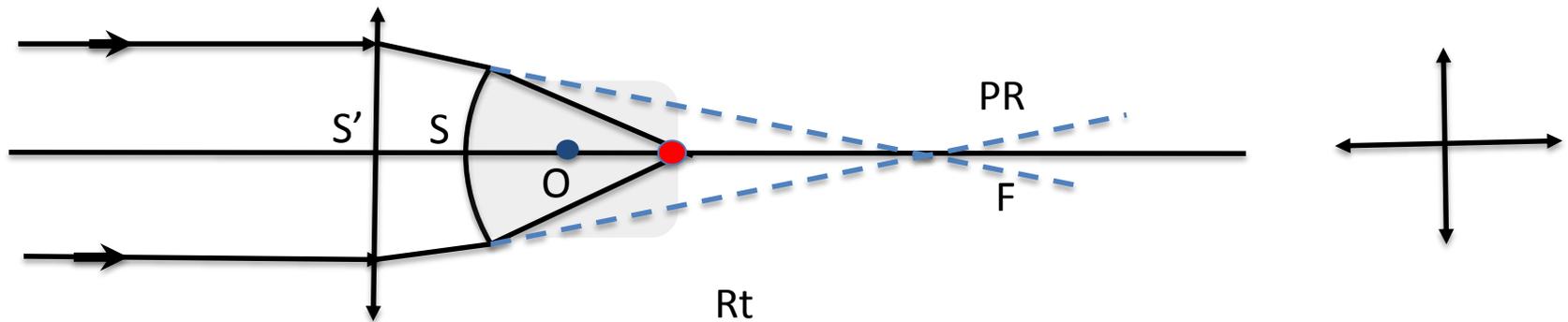
Cet œil ne voit nettement **aucun objet** réel (hypermétrope fort, à PP virtuel)

Ex  $AA = 5$ ;  $d^\circ$ hyperopie = 6

$1/PP = 5 - 6 = -1$   $SPP = 1/-1 = -1m$

Hyperopie et presbytie : un hyperope devient presbyte plus jeune qu'un emmétrope

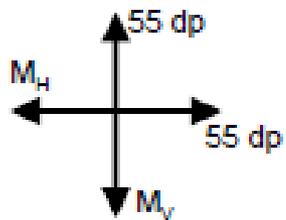
**Correction de l'hyperopie** par des verres de lunettes : l'œil n'étant pas assez puissant, la correction se fait par un **verre sphérique convergent** de puissance pratiquement égale au degré d'hyperhopie.



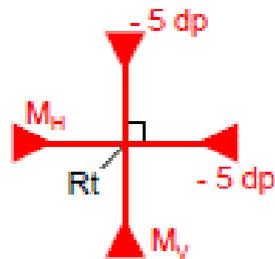
La lentille convergente donne de l'objet à l'infini une image en son foyer F qui est confondu avec le remotum de l'œil. Cette image joue le rôle d'objet pour l'œil qui au repos en donne un image sur la Rt

Si on admet que  $S'F = S PR$  le  $d^\circ$  d'hyperhopie  $1/SPR$  est bien égal à la puissance de la lentille  $1/SF$

Par exemple, un sujet dont le  $d^\circ H$  est de  $-5$  dp et dont l'AA est de  $7$  dp est un hypérope faible, qui s'auto-compense en permanence, ce qui génère de la fatigue oculaire (asthénopie accommodative) le soir.



ou mieux



$d^\circ H = -5$  dp et  $AA = 7$  dp

$SPR = 1/-5 = -20$  cm (PR virtuel)

$1/SPP = 1/SPR + 7 = 2$  dp

PP à  $50$  cm en avant de l'oeil

Cet hypérope lit de loin, à bout de bras

# B Les astigmatismes

## 1 les astigmatismes régulier et irrégulier

Au moins un des dioptries de l'œil n'est pas sphérique le plus souvent dioptrie cornéenne antérieure

**Irréguliers** : la modification de la surface cornéenne n'obéit à aucune loi géométrique (brûlure, traumatisme...) pas d'étude physique possible la correction se fera par des verres de contacts

**Réguliers** : en général les variations des rayons de courbure de la cornée se font de manière progressive d'une direction à la direction perpendiculaire. L'œil réduit n'est plus constitué par un dioptre sphérique mais par un dioptre torique.

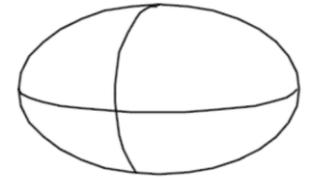
## 2 caractéristique d'un astigmatisme régulier

Les rayons de courbures d'un dioptré de l'œil (général la cornée) n'ayant pas la même valeur dans les deux méridiens principaux, la puissance de l'œil n'est pas la même dans ces deux méridiens : on appelle **degré d'astigmatisme** la différence entre ces deux puissances.

On appelle **méridien principal vertical** le méridien principal le plus proche de la verticale et l'**horizontal** celui qui est le plus rapproché de l'horizontale. La position des focales dépend des valeurs respectives des deux puissances et donc des deux rayons de courbures des méridiens principaux.

### 3 classifications des astigmatismes réguliers

**Directs ou conformes à la règle** (le plus fréquent), la focale horizontale est en avant de la focale verticale (la puissance du méridien vertical  $>$  à celle du méridien horizontal) .



**Indirects** ou non conforme inverse



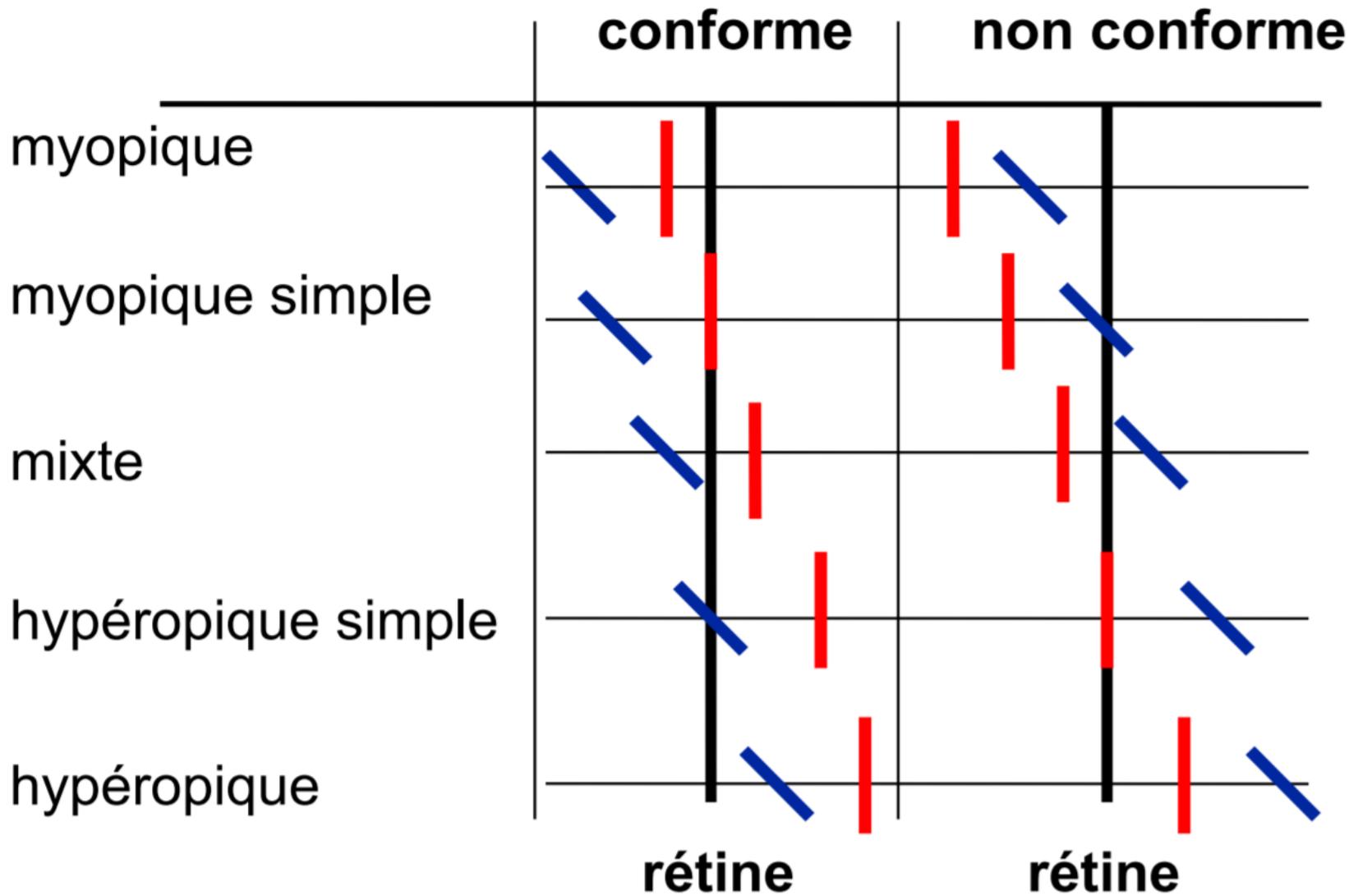
**Simples** : une des focales sur la Rt

**Composés** : aucune des focales sur Rt

Selon la position des focales /Rt : **myopique**, **hyperopique** ou **mixte**

Pour 1 dioptrie d'astigmatisme : la différence de rayon de courbure des deux méridiens principaux est de 0,16 mm la distance entre les deux focales est de 0,37 mm.

Il existe un astigmatisme physiologique : de type direct (0,5 D), à respecter lors de la correction



## 4 correction des Ast réguliers par des lunettes

**Ast simples** : la  $\pi$  est normale dans un méridien principal et anormale dans l'autre. Le verre correcteur aura une puissance nulle dans un méridien et non nulle dans l'autre  $\rightarrow$  verre (plan) cylindrique divergent pour les ast simple myopique et convergent pour hyperopique

La puissance non nulle est égale en valeur absolue au  $d^\circ$  d'astigmatisme

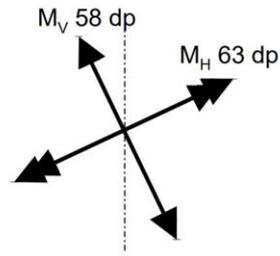
La direction du verre doit être telle qu'il agisse sur la puissance anormale de l'œil, l'axe du cylindre doit être parallèle à la focale à corriger

Ast composés : supprimer l'ast par un verre plan-cylindrique  $\rightarrow$  superpose les 2 focales  $\rightarrow$  plus d'ast; reste une amétropie sphérique

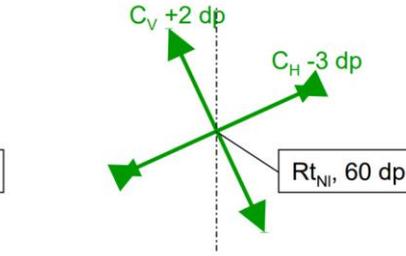
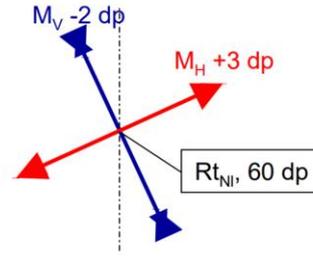
Correction de l'amétropie sphérique par un verre sphérique convergent ou divergent.

La correction totale est donc effectuée par un verre sphéro cylindrique ou un verre torique

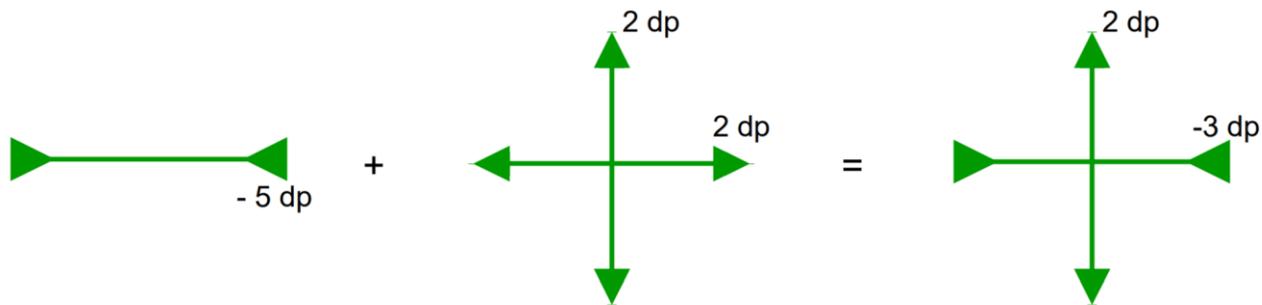
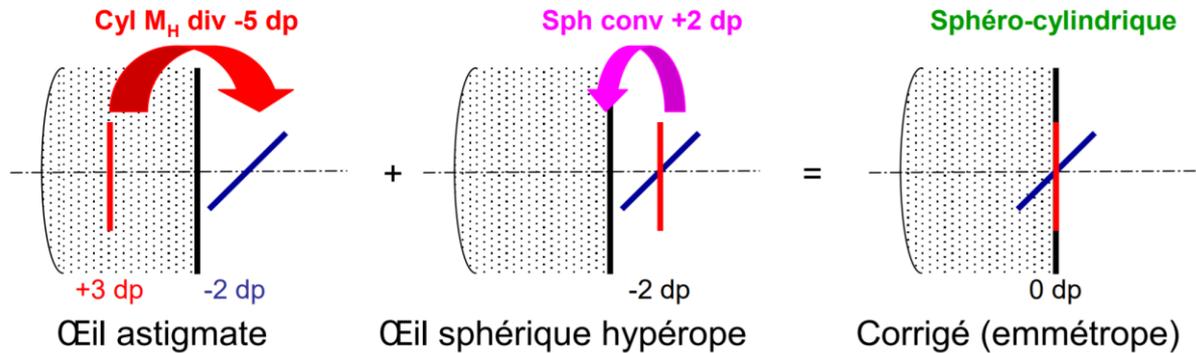
Exp correction Ast mixte non conforme



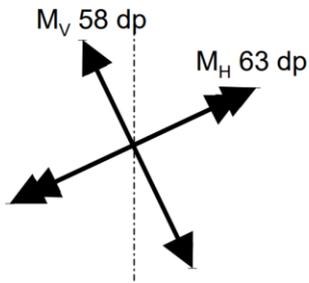
Astigmatisme +27°, -2 dp, +3 dp



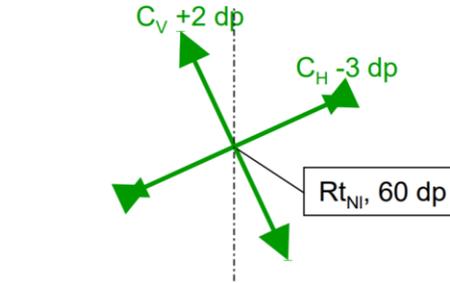
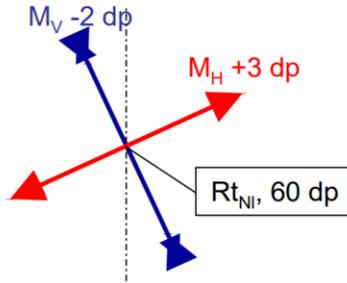
Correction +27°, +2 dp, -3 dp



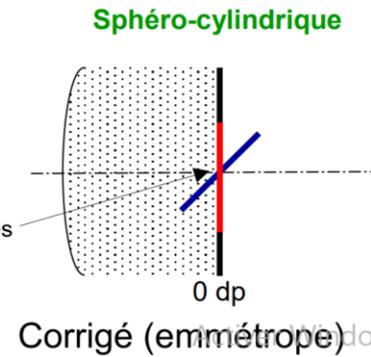
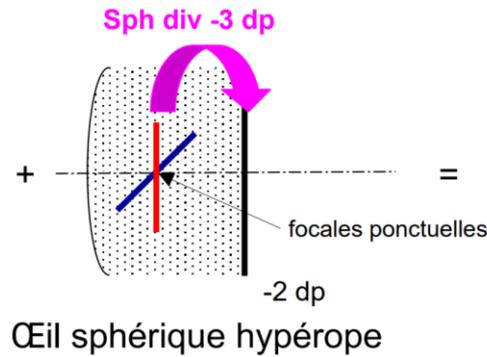
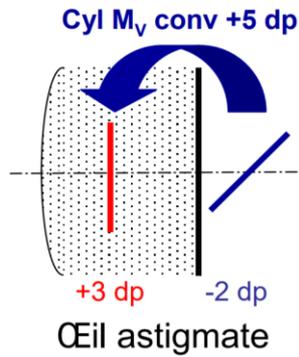
# Correction Ast mixte non conforme



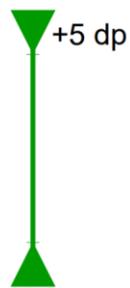
Astigmatisme +27°, -2 dp, +3 dp



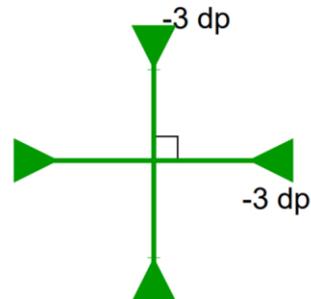
Correction +27°, +2 dp, -3 dp



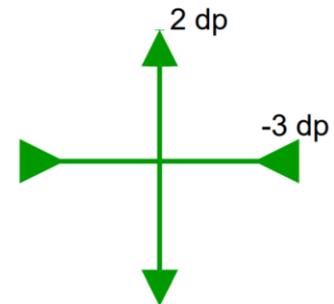
Accédez aux paramètres pour a



+



=



## 5 correction des amétropies sphériques ou non par des verres de contact

Les verres ou lentilles de contact qui peuvent être souples ou rigides sont réalisés en matière transparente d'indice voisin de 1,5. ils sont placés entre la cornée qui est recouverte de liquide lacrymal d'indice 1,337. le dioptré face antérieure de la cornée-air de l'œil non corrigé est remplacé par une série de dioptrés

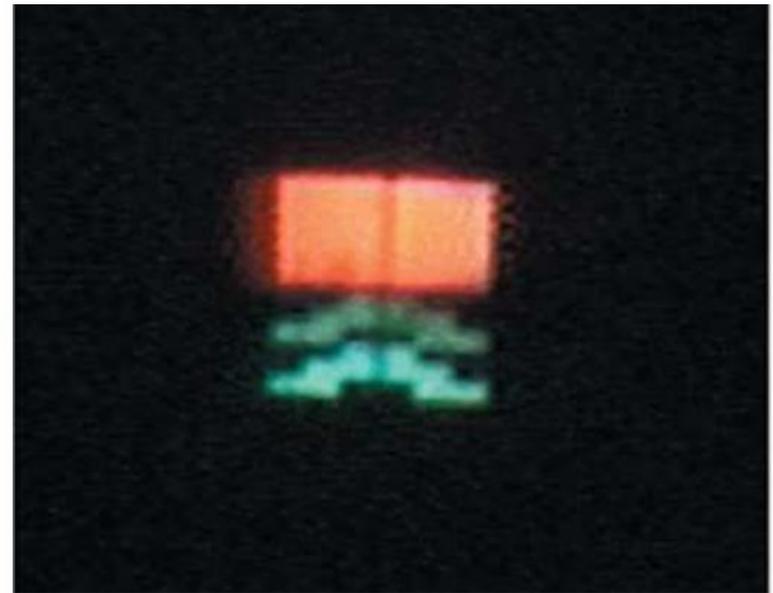
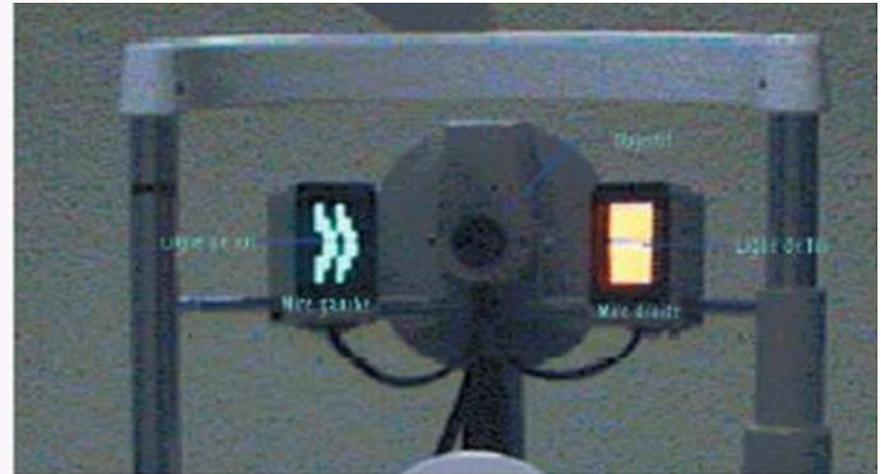
Le dioptré air-verre de contact  
verre de contact- liquide  
liquide lacrymal-cornée

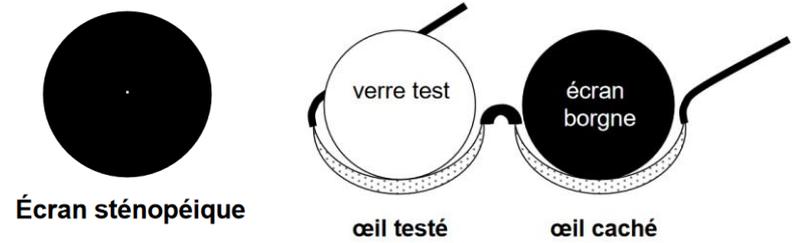
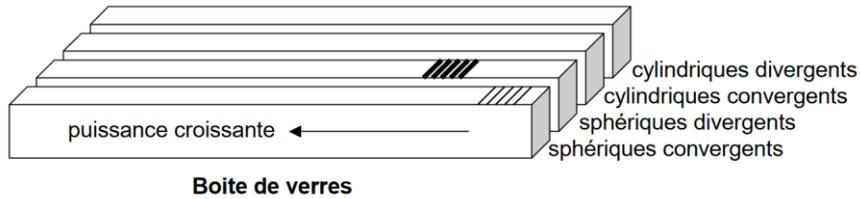
La puissance de ce nouveau système est essentiellement du au dioptré air-verre  
+++ ast irréguliers

# C diagnostic des amétropies sphériques par méthode subjective

- **Méthode subjective** : le S indique ce qu'il perçoit  
→ teste « toute la chaîne de détection » mais pas applicable chez le jeune enfant, tentative de fraude...matériel réduit (échelle d'acuité visuelle et d'appréciation de l'astigmatisme, un support de verres de lunettes, une boîte de verres). Cabinet de généraliste.
- **Méthodes objectives** demandent un appareillage souvent complexe

# Astigmatomètre de Javal

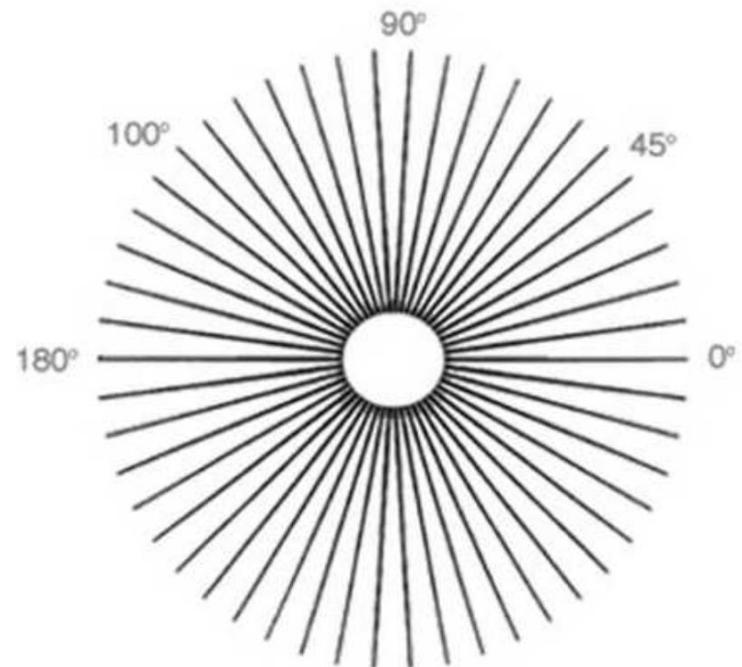




### Echelle d'AV de MONOYER amétropies sphériques

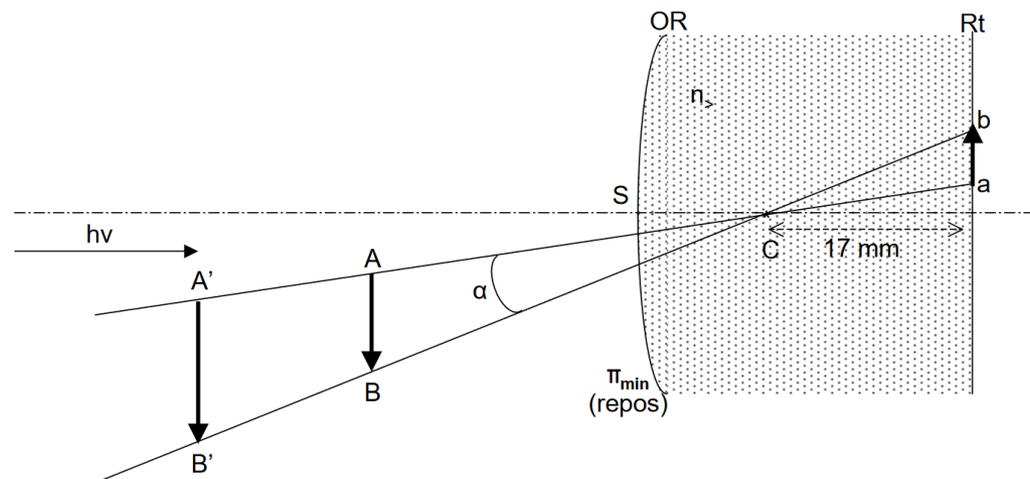
M R T V F U E N C X O Z D	10/10
D L V A T B K U E R S N	9/10
R C Y H O F M E S P A	8/10
E X A T Z H D W N	7/10
Y O E L K S F D I	6/10
O X P H B Z D	5/10
N L T A V R	4/10
O H S U E	3/10
M C F	2/10
Z U	1/10

### Cadran horaire astigmatisme



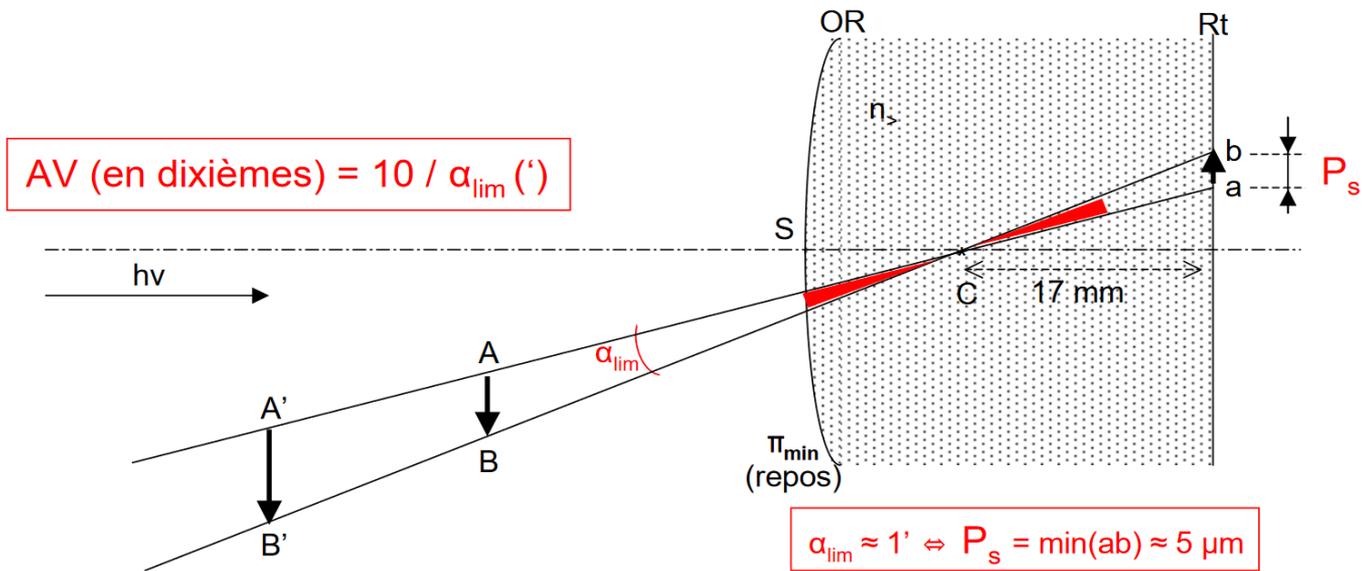
# Acuité Visuelle

**Pouvoir séparateur** : l'angle  $\alpha$  sous lequel est vu l'objet AB, est le diamètre apparent sous lequel sont vus tous les objets du type AB, comme A'B' par ex.. Dans leur image ab, a et b resteront séparés (vus distincts l'un de l'autre) tant que ab est  $>$  à l'épaisseur de 2 à 3 cônes. Lorsque AB et A'B' diminuent de taille, leur image ab aussi, jusqu'à une limite...



Cette limite ( $ab_{\min}$  pour que a et b restent séparés) est le pouvoir séparateur  $P_s$ , qui correspond à un diamètre apparent limite  $\alpha_{\lim}$  en moyenne de 1' d'arc

L'acuité visuelle est alors donnée par



Par ex lune et soleil 30' d'arc = 0,5 d°

L'AV dépend de la forme de l'objet, de son éclairement, de son contraste, de la longueur d'onde utilisée (meilleure en jaune-vert), de la zone rétinienne (maximale sur la Fovéa, nulle sur l'émergence rétinienne du nerf optique)

L'AV maximale théorique

Elle impose 2 cônes adjacents pour séparer a de b, au mieux sur la Fovéa, soit 3 à 5  $\mu\text{m}$ , correspondant à une AV jusqu'à 20 dixièmes.

L'amblyopie est une diminution permanente d'acuité visuelle

Origine : trouble de la réfraction (amétropie) ou affection rétinienne, neurologique, ...

$\Delta ic \neq$ : épreuve du trou sténopéique

L'AV doit donc être mesurée en conditions diurnes (vision photopique, liée aux cônes) et supposée fovéale, sans éblouissement, pour chaque œil séparément





le sujet voit nettement à 5 m ( $\infty$ ) AV 10/10

Le S ne voit pas nettement à 5m

myopie

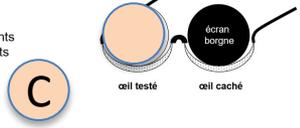
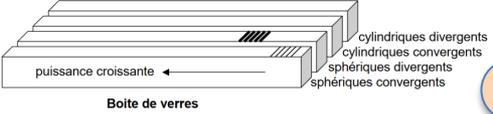
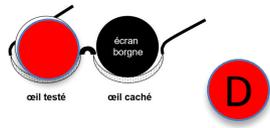
Hyperopie forte (PP virtuel)

astigmatisme

~~Trouble non dioptrique (perte de la sensibilité rétinienne, lésion nerveuse..)~~



Épreuve du trou sténopéïque (diam <1mm) diaphragme fortement le faisceau lumineux



Faire défiler devant œil des VS D  $|\pi| \nearrow$   
si vision améliorée  $\rightarrow$  myope

**d° de myopie :  $|\pi|$  la plus faible** permettant d'obtenir une vision nette, l'œil voit à l' $\infty$  sans accommoder (au-delà la vision reste nette mais en accommodant)

Faire défiler devant œil des VS C  $\pi \nearrow$  si vision améliorée  $\rightarrow$  hyperope fort

La vision est nette à partir d'une valeur C jusqu'à une valeur C'. entre C et C' l'œil voit en accommodant. Pour le verre de puissance C' il voit  $\infty$  sans accomoder.

**d° d'hyperopie** :  $\pi$  du verre convergent de **puissance la plus grande** permettant encore la vision nette

## Recherche du PP

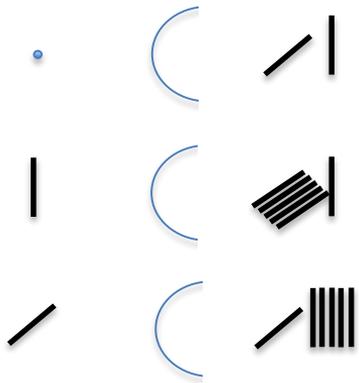
Œil emmétrope ou œil corrigé

Faire défiler des VSD  $|\pi| \nearrow$ . L'œil compense en accommodant.

La puissance max en val abs du verre permettant encore la vision nette est égale à l'AA. Son inverse est le PP

# D diagnostic des astigmatismes réguliers par méthode subjective

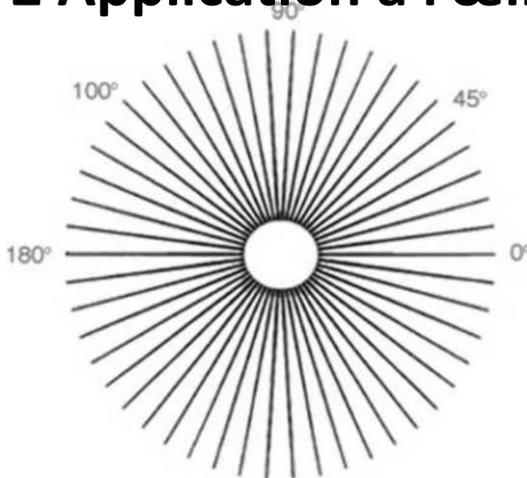
## 1 Image d'une droite par un dioptré torique



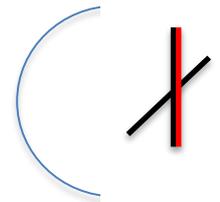
Si la droite objet n'est parallèle à aucun méridien principal les deux images sont floues. L'image d'une droite est nette lorsque la droite objet est dans la direction d'un méridien principal et que la droite objet est parallèle à l'image.

Lorsque les droites objets sont à l'infini, les images se forment à la place des focales; une image est nette lorsque la droite objet lui est parallèle

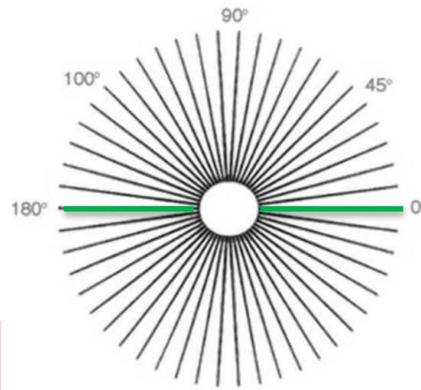
## 2 Application à l'œil



Pour qu'une focale soit perçue nettement il faut qu'elle se forme sur la rétine



Si le sujet **perçoit** nettement **toutes** les droites; il n'est **pas astigmaté**



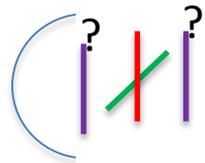
Dr Claire HOUZARD, UCB Lyon I ; Faculté Lyon-Sud Charles Mérieux

Le sujet perçoit nettement une seule droite

Le S ne perçoit nettement aucune droite

ex horizontale un des méridiens principaux de l'œil est parallèle à cette droite l'autre est perpendiculaire.

La focale parallèle à la droite en question est sur la rétine (ex horizontale) il s'agit d'un **astigmatisme simple**.



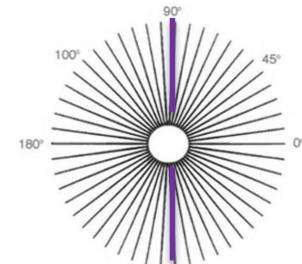
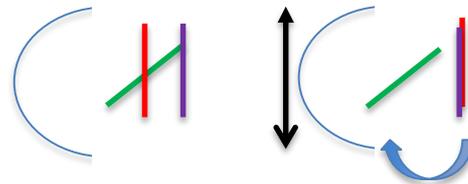
Droite horizontale nette

Droite verticale floue (focale de direction verti soit devant soit derrière rétine)

Pour déterminer si cet As simple est **direct inverse myopique ou hyperopique** on fait défiler devant œil des VSD ou C de  $|\pi|$  ↗ jusqu'à ce que l'œil perçoive nettement la droite perpendiculaire à celle qui était initialement vue nette, les autres étant floues.

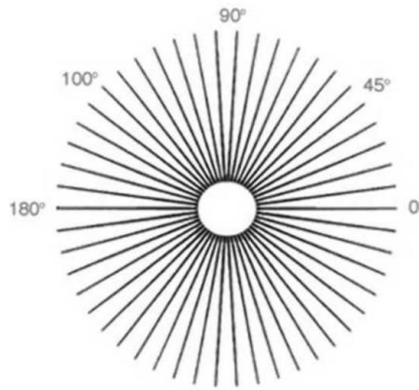
Verre convergent → As hyperopique

Verre divergent → As myopique



Dr Claire HOUZARD, UCB Lyon I ; Faculté Lyon-Sud Charles Mérieux

Ex As Simple conforme hyperopique

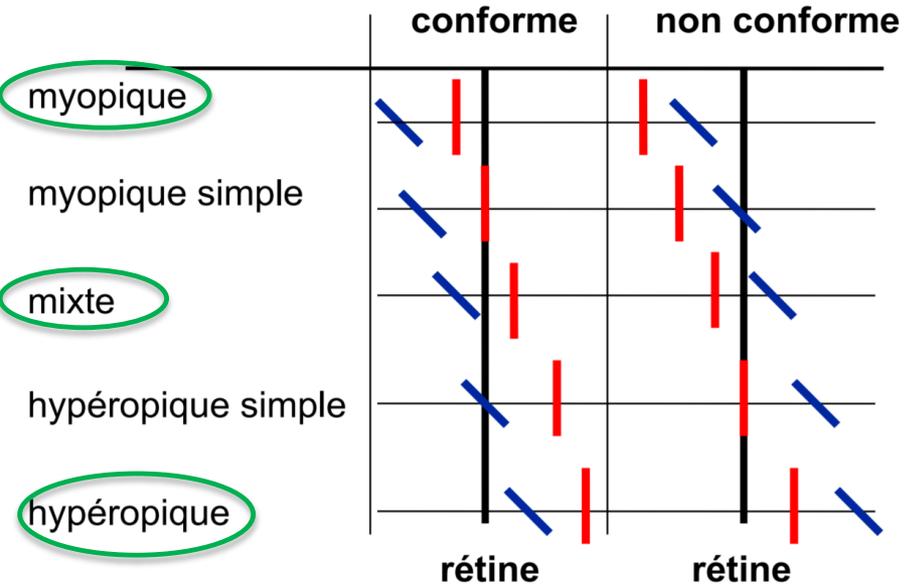


Dr Claire HOUZARD, UCB Lyon I ; Faculté Lyon-Sud Charles Mérieux

Le sujet perçoit nettement une seule droite

Le S ne perçoit nettement aucune droite

S'il ne s'agit pas d'une myopie, d'une hyperopie à PP virtuel ou d'un trouble non dioptrique → As composé



Faire défiler des VS C ou D jusqu'à ce qu'une droite soit nette

Même chose pour la droite perpendiculaire

On peut déterminer la nature As; son degré est la différence de puissance entre les deux méridiens principaux

Correction par un verre sphéro-cylindrique ou torique, les méridiens principaux étant orientés correctement et parallèles aux focales.