

Biophysique sensorielle de la vision

Processus rétiniens - Vision des couleurs



Frédéric Patat - Faculté de Médecine de Tours

Remerciements à : Jacques SIMON, Pierre PAYOUX
Biophysique, Faculté de Médecine Toulouse
Pour certains croquis et supports de cours

Objectifs

Les dioptries sphériques (révision)

L'anatomie optique de l'œil

Acuité visuelle

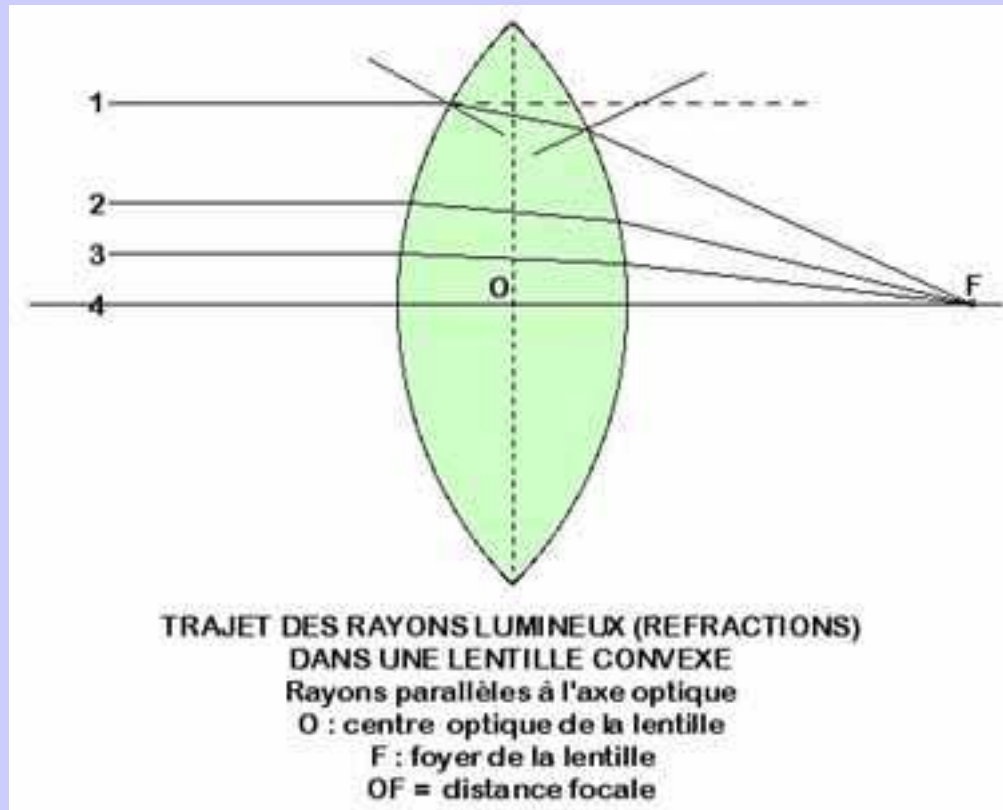
Les troubles de la réfraction

La transduction rétinienne

Vision des couleurs



Lentille optique



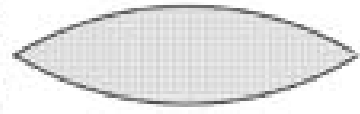
$n > 1$, donc la lumière ralentit dans la lentille !

Différents types de lentilles :

Lentilles convergentes



1



2



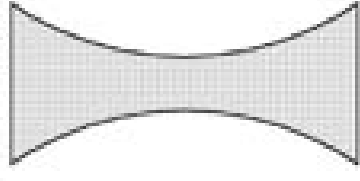
3

- 1 - plan convexe
- 2 - bi-convexe
- 3 - ménisque convexe

Lentilles divergentes



4



5

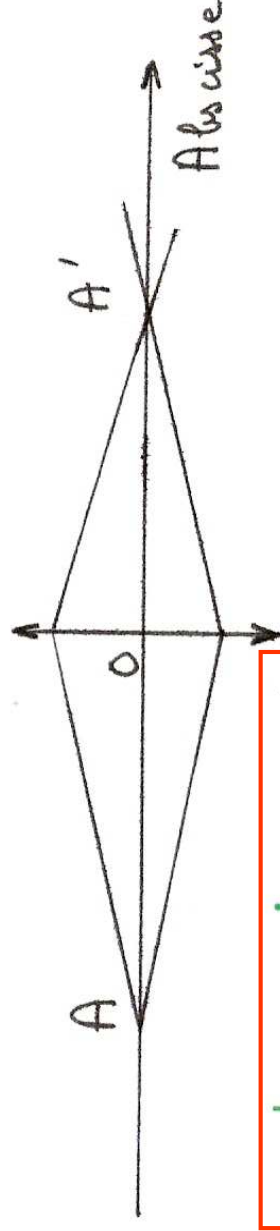


6

- 1 - plan concave
- 2 - bi-concave
- 3 - ménisque concave

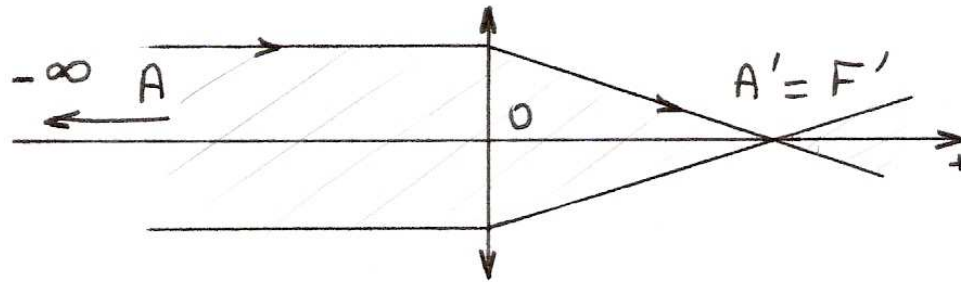
Dioptries sphériques dans l'air

A et A' sont 2 points conjugués si :
les rayons lumineux passent par A,
se croisent aussi en A'.



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

f : La distance focale de la lentille

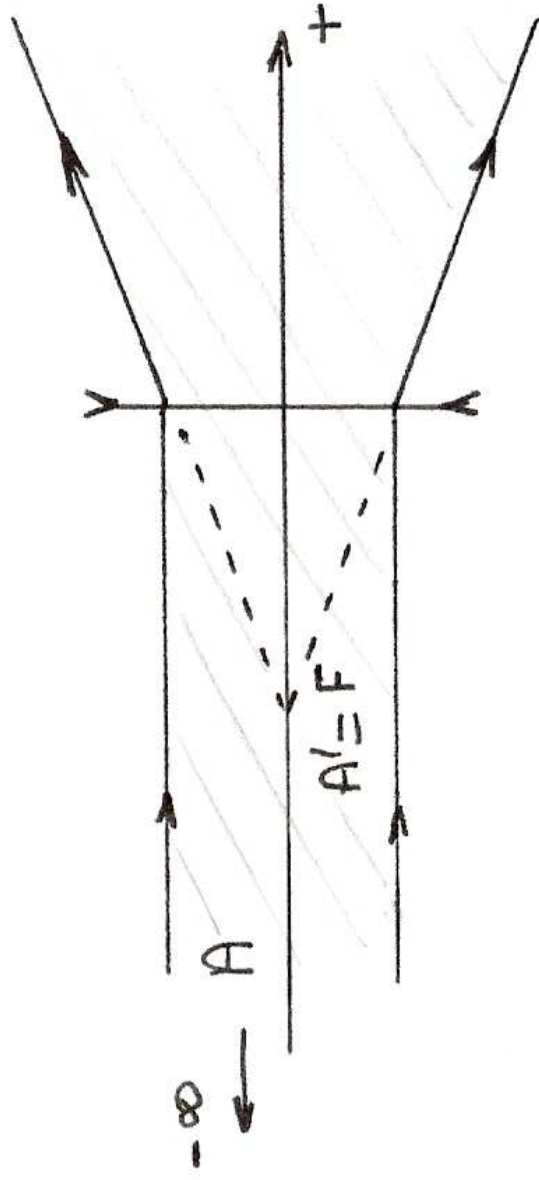


$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{-\infty} = \frac{1}{f}$$

$\frac{1}{f}$ est la puissance (ou vergence) de la lentille. Unité : La Dioptrie

Ex : + 3 Dioptries \Leftrightarrow Convergente
 $f = 33 \text{ cm}$

Dioptrie : Unité créée par Ferdinand Monoyer, Pr de physique médicale et médecin ophtalmologiste à Lyon entre 1877 et 1909

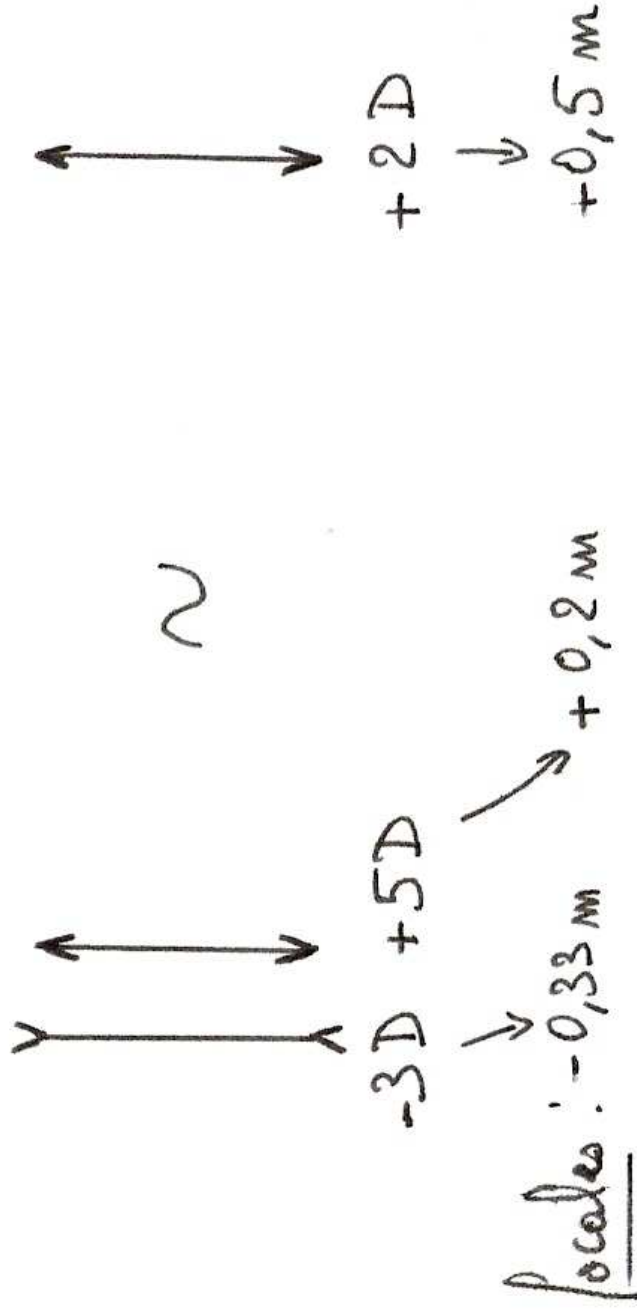


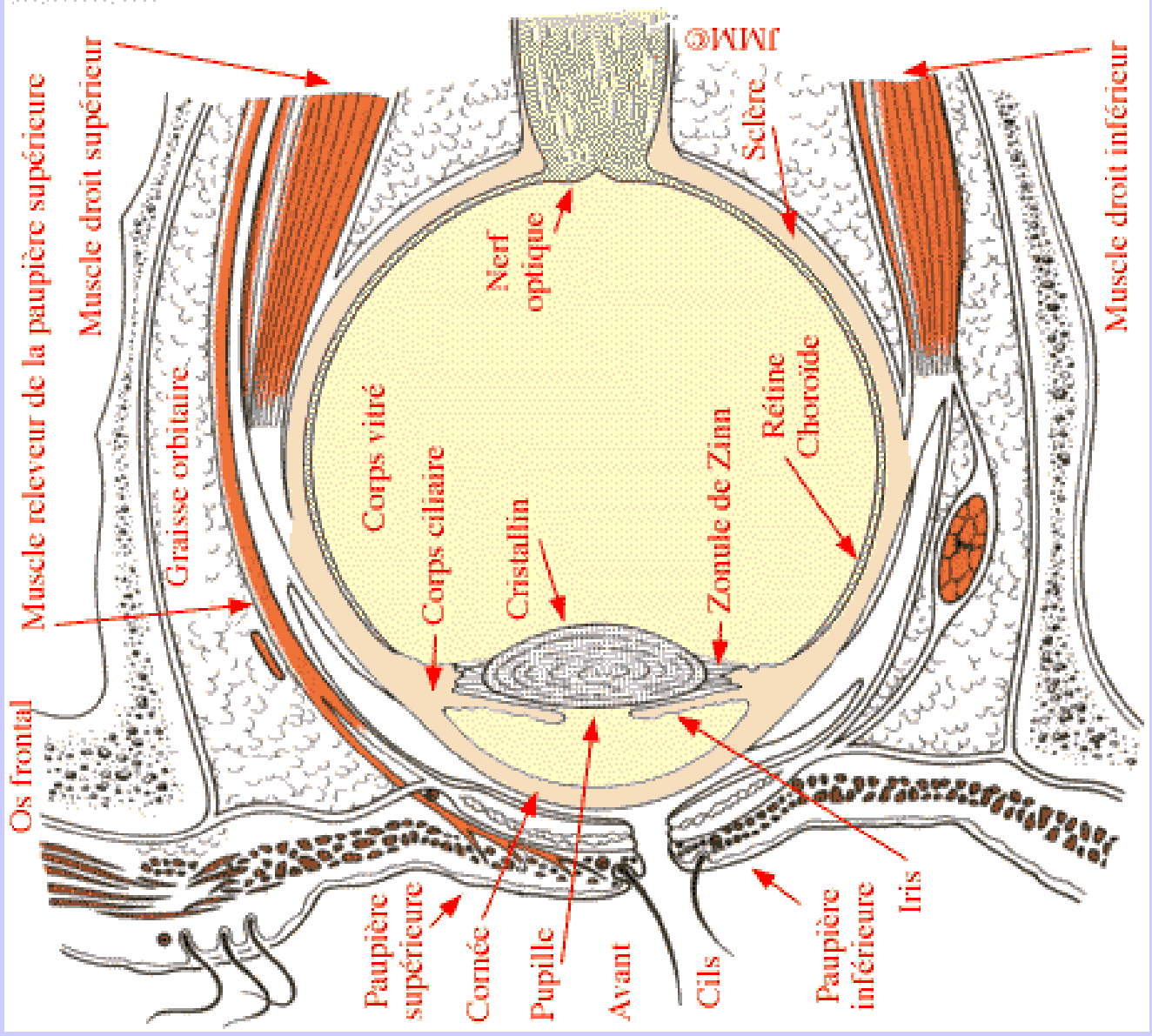
$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{-∞} = \frac{1}{f} \quad \Delta \quad \underline{\underline{f < 0}}$$

Ex: -5 Dioptries \Leftrightarrow Divergente
 $f = -20 \text{ cm}$

Lentilles proches.

Les puissances s'ajoutent





Oeil = système optique complexe, comprenant :

- ☞ un ensemble de milieux transparents et convergents**
- ☞ un diaphragme d 'ouverture variable : la pupille**
- ☞ un système de mise au point en fonction de la distance : le cristallin**
- ☞ un récepteur sensible à la lumière : la rétine**

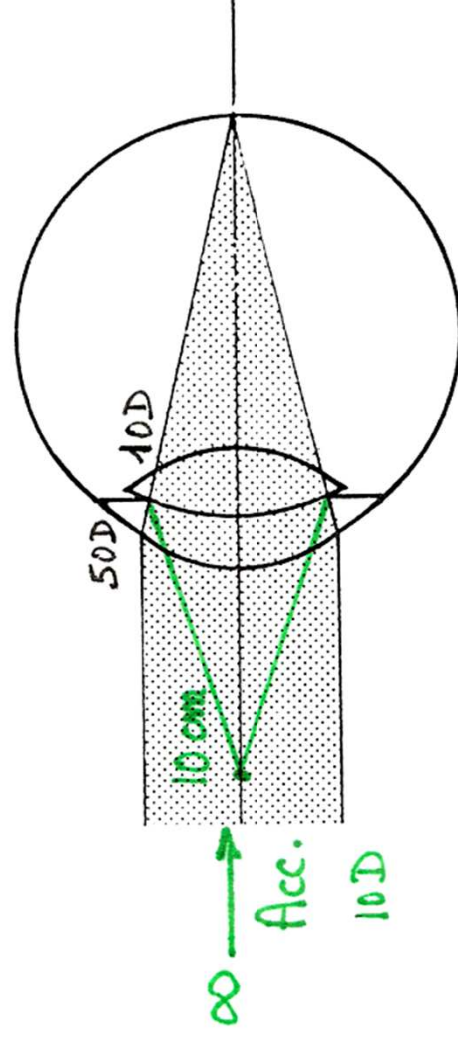
Dioptrre oculaire à 20 ans

- Cornée 50 Dioptries
- Cristallin }
 - au repos : 10 Dioptries
 - accommodé : 20 Dioptries → Réserve accommodative : 10 D

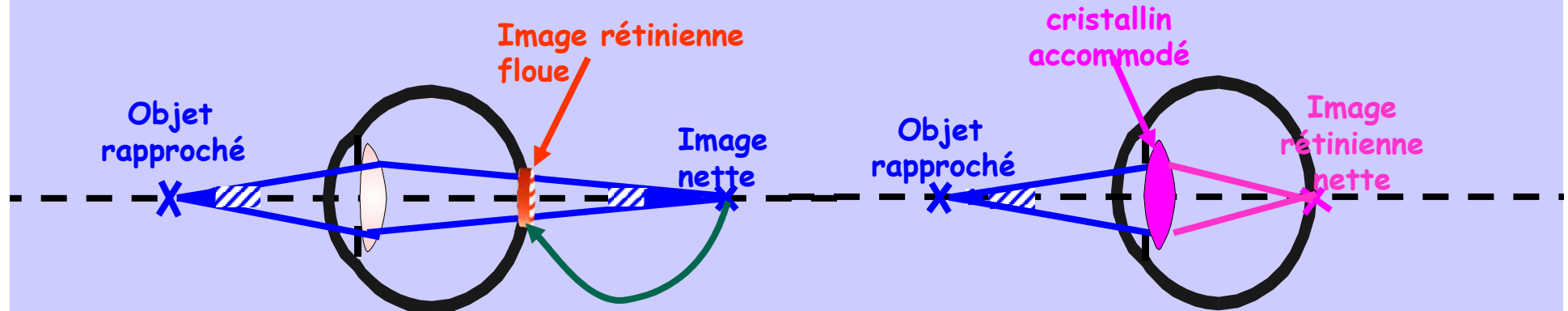
Oeil au repos : 60 D

Vision à l' ∞

Vision rapprochée



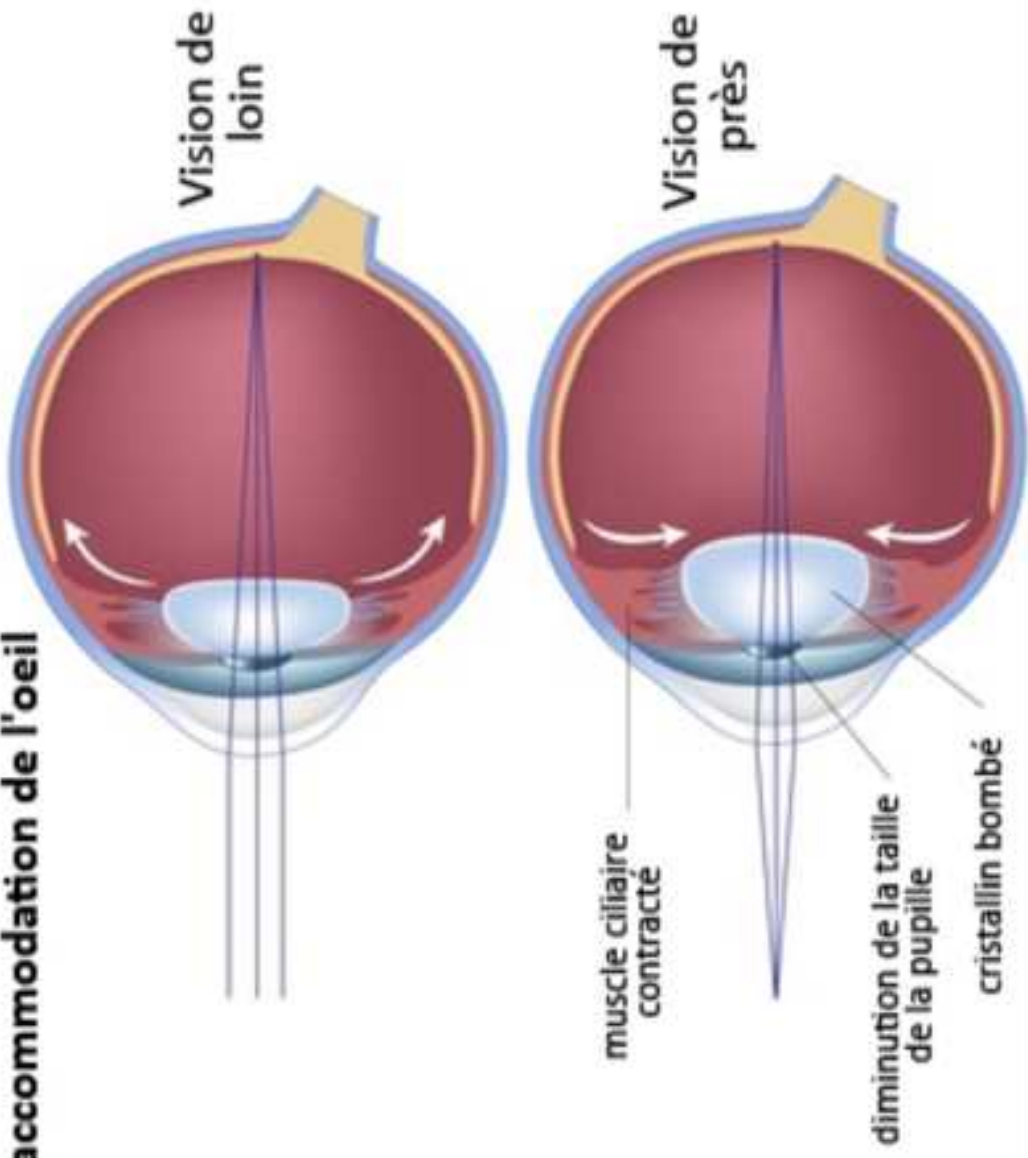
L'accommodation



Accommodation : augmentation de la vergence cristallinienne qui doit amener le conjugué de l'objet sur la rétine

L'accommodation est assurée par le cristallin, la zonule et le muscle ciliaire
Le cristallin est un organe transparent, avasculaire, élastique dont la puissance optique est pilotée par la déformation

l'accommodation de l'oeil



A cours de la vie, le pouvoir d'accommodation évolue

Les nourrissons et les enfants ont un énorme pouvoir d'accommodation

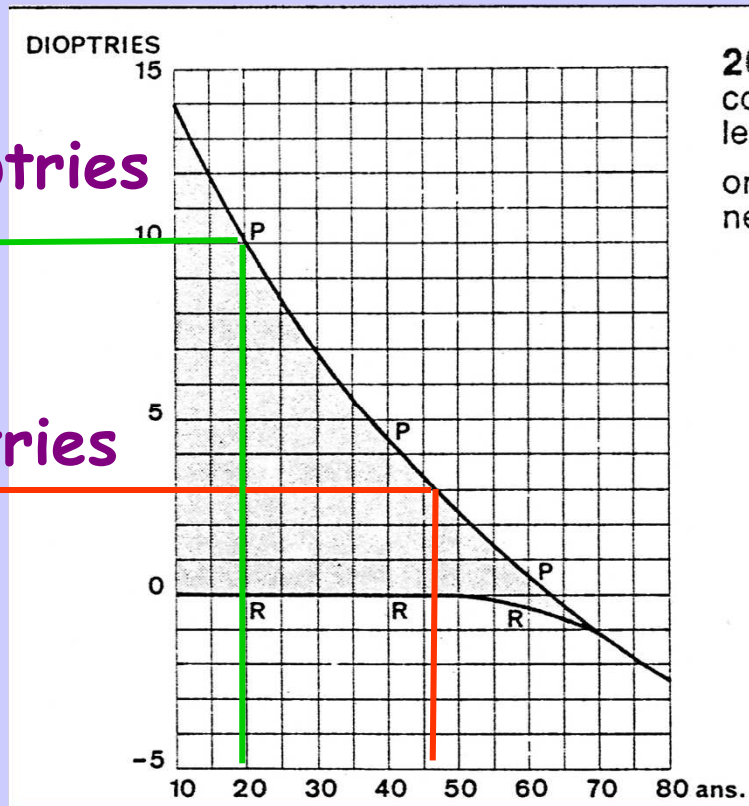
Ils peuvent spasmer le muscle ciliaire et accommoder en permanence



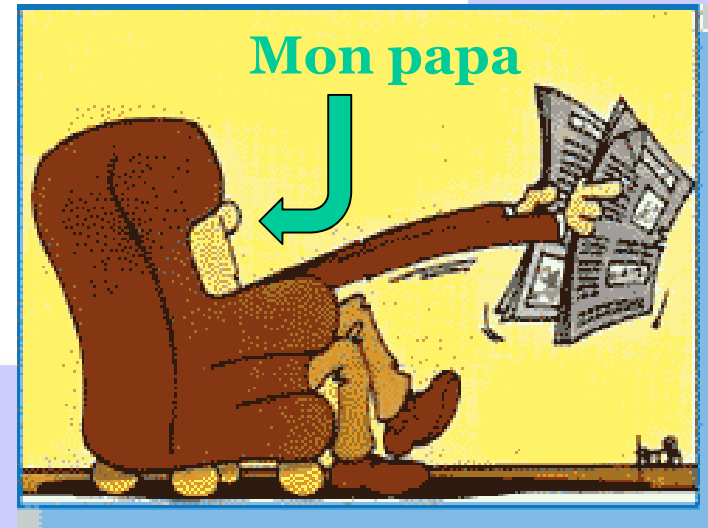
Perte d'élasticité : le pouvoir d'accommodation diminue avec l'âge : C'est la presbytie

10 Dioptries

3 Dioptries



26 Variation de l'amplitude d'accommodation avec l'âge (d'après le diagramme de Donders). En ordonnées, $\overline{PR} = Am$ (P.J. Marent : la presbytie).



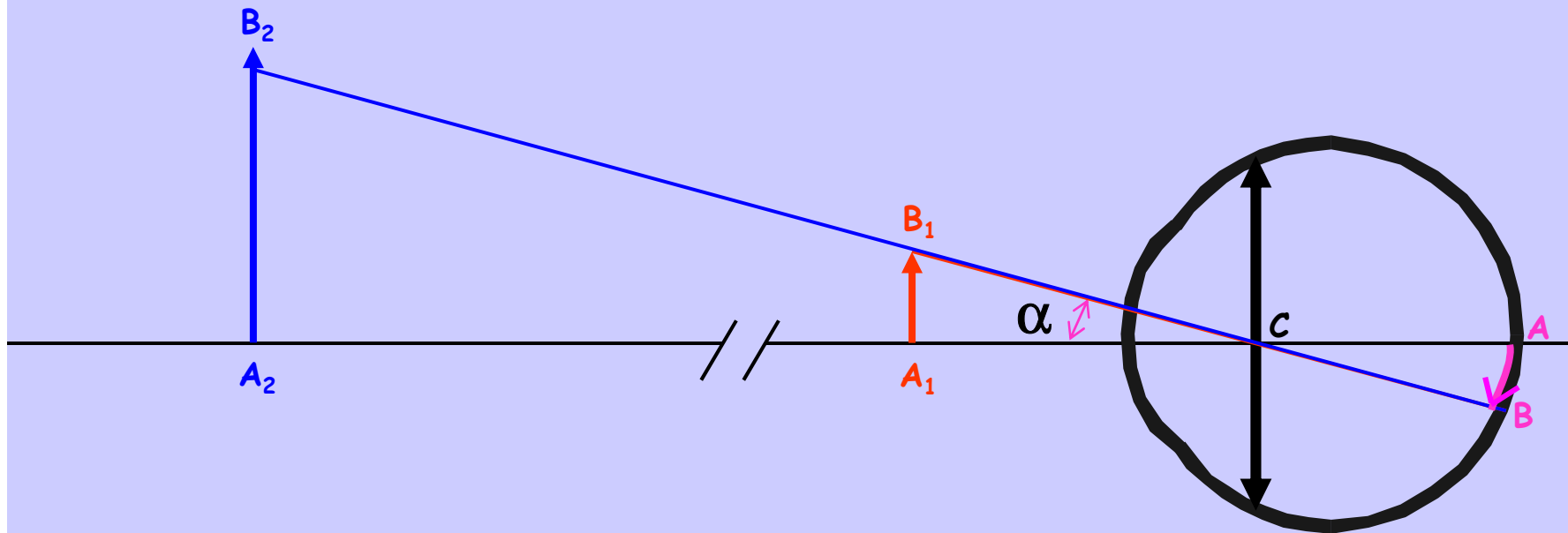
Images rétinienne

Conditions dioptriques de vision nette

Acuité visuelle

Images rétiniennes :

- 1 objet donne 1 image sur chaque rétine, renversée, de dimensions petites

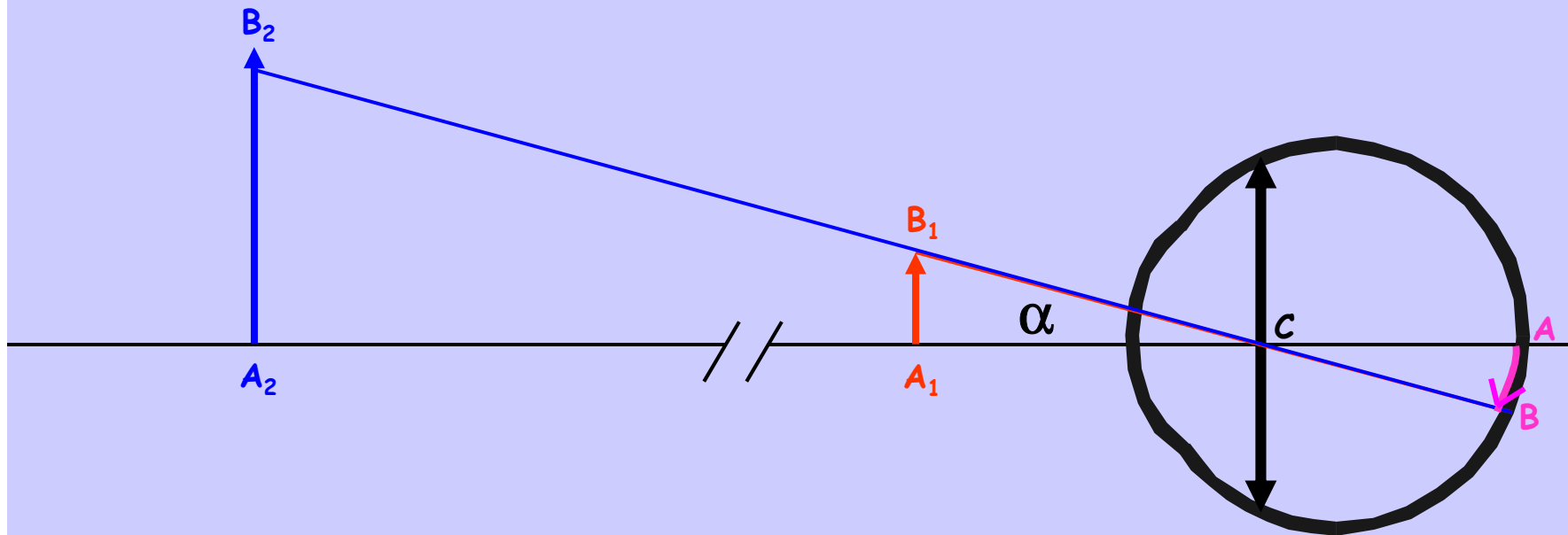


- notion de diamètre apparent de l'objet: angle α sous lequel l'objet est vu depuis le centre optique C (α confondu avec $\text{tg } \alpha$)
- 2 objets de tailles différentes vus sous le même diamètre apparent ont des images rétiniennes de même taille

Images rétiniennes :

Taille de l'image rétinienne: un homme de 1,80m situé à 100m de l'œil

Image de 0,3 x 0,1 mm, intéressant 1200 cônes environ

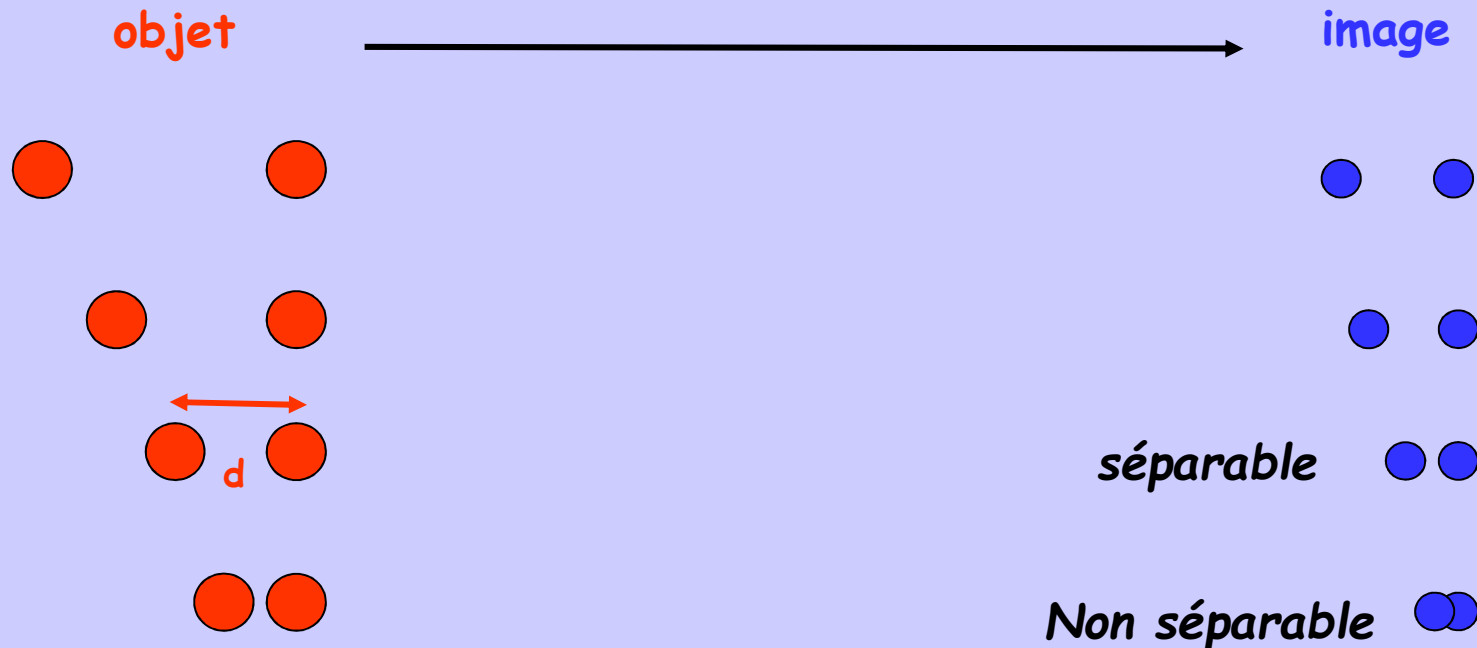


Le cerveau « redresse » les 2 images rétiniennes et les fusionne. Elles sont un peu différentes et décalées, cela participe à la perception de la distance (Cf Ciné 3D).



L' acuité visuelle : AV

Définition : AV= inverse du diamètre apparent du minimum séparable, exprimé en minutes d'arc (min d'arc)



$$AV = \frac{1}{\text{minimum séparable en minutes d'arc}}$$

AV et minimum séparable varient en sens inverse

l'AV s'exprime en dixièmes:

minimum séparable = 1 min d'arc

Pour un détail 1 min d'arc : on dit AV = 10/10^{èmes}

NB : Angle droit = 90 degrés

1 degré = 60 min d'arc

1 min d'arc : objet de 1,46 mm à 5m

ou 3 cm à 100 m

la distance œil-objet qui conditionne la valeur du diamètre apparent est fixée conventionnellement en ophtalmologie à 5 mètres pour la vision de loin et à 33 cm pour la vision de près.

- sujet normal : AV = 10/10^{èmes} ou plus
- (jusqu'à 20/10^{èmes} chez l'enfant)

Anomalies dioptriques et pathologies oculaires font chuter l'AV : mesure de l'AV acte de pratique courante

Ex : chute de l'AV en fonction du degré de myopie :

minimum séparable	AV sans correction	degré de myopie
20 min	1/20 ^{ième}	> - 3 D
10 min	1/10 ^{ième}	- 3 D
5 min	2/10 ^{ième}	- 2 D
2,5 min	4/10 ^{ième}	- 1 D
1,66 min	6/10 ^{ième}	- 0,5 D
1,11 min	9/10 ^{ième}	- 0,25 D

Basses visions : Compte les doigts à 3m, 1m ...

l'AV s'exprime maintenant en **LogMAR** :
Decimal **Log**arithm of **Min**imum **A**ngle **R**esolution
Raison : statistiques sur population

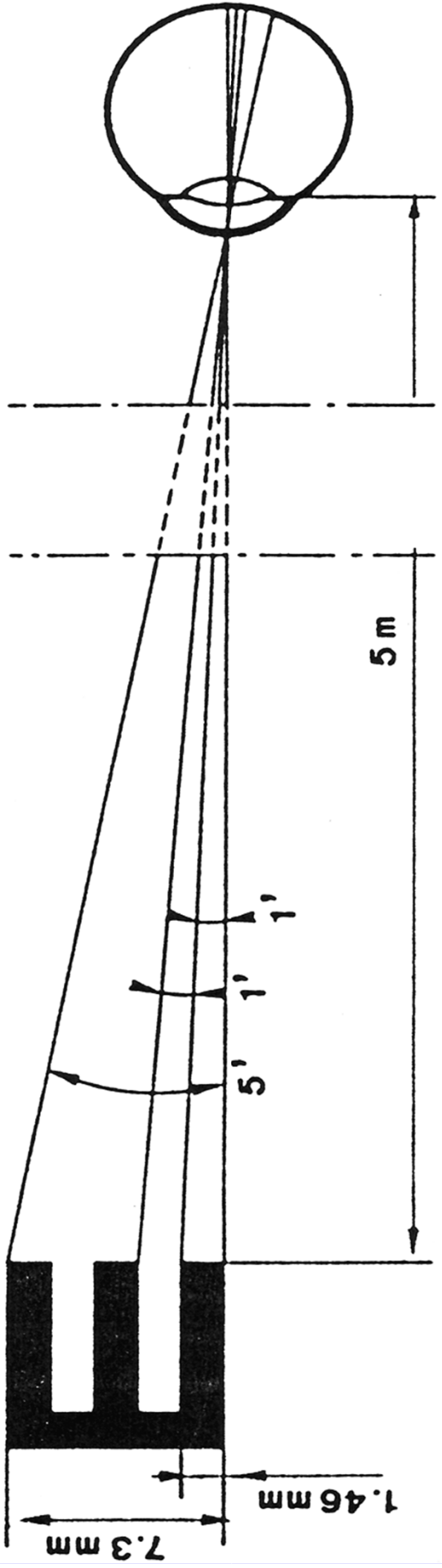
$$\text{LogMAR} = -\text{Log} (\text{AV decimale})$$
$$\text{AV decimale} = 10^{\text{puissance} (-\text{LogMAR})}$$

Exemple : mini séparable à 2 min d'arc : $\text{AV} = 5/10^{\text{ièmes}}$

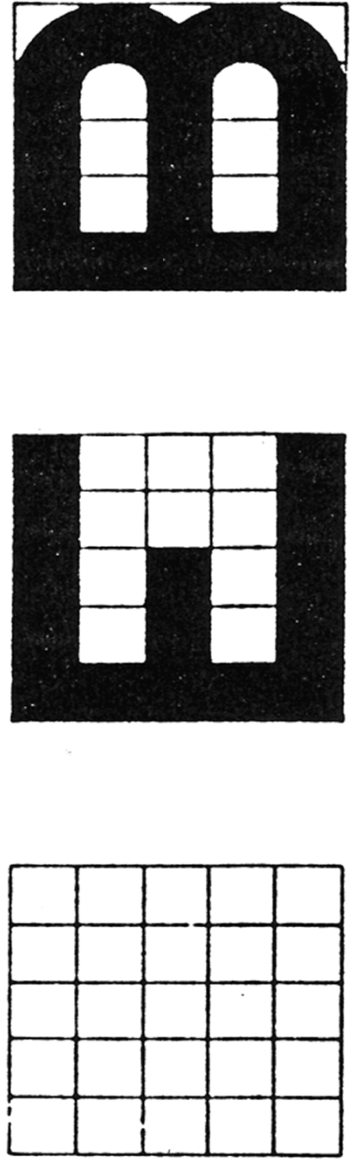
$$-\text{Log} (0,5) = \text{Log} 2 = 0,3$$

Donc $5/10^{\text{èmes}}$ correspond à 0,3 LogMAR

Idem $1/10^{\text{èmes}}$ correspond à 1 LogMAR



40 Minimum separabile.



41 Construction des optotypes.

Mesure de l'AV

☞ AV en vision de loin : Monoculaire puis binoculaire

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

La plus utilisé :

Echelle de Monoyer

En partant du bas

1ère ligne : 1/10^{ièmes}

2ième ligne : 2/10^{ièmes}...

- optotypes à une distance de
5 mètres

Mesure de l'AV

AV en vision de loin : Monoculaire puis binoculaire

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

La plus utilisé :

Echelle de Monoyer

En partant du bas

1^{ère} ligne : 1/10^{ièmes}

2^{ième} ligne : 2/10^{ièmes}...

- optotypes à une distance de
5 mètres

TEST de THIBODET :

Donner orientation des branches ouvertes



Un simulateur pense que la plus grosse cible est plus facile alors que les détails utiles sont de même taille

AV en vision de près :

- même principe
- en pratique : échelle de Parinaud : chaque alinéa correspond à une valeur donnée de l'AV , notée P14 à P1 (valeur normale : P2)

ECHELLE DE PARINAUD

Distance de lecture : 33 centimètres

14

Mon dessein n'est pas d'enseigner

10

ici la méthode que chacun doit suivre pour bien conduire sa raison, mais

8

seulement de faire savoir en quelle sorte j'ai tâché de conduire la mienne. Ceux qui se mêlent de donner des préceptes se doivent

6

estimer plus habiles que ceux auxquels ils les donnent, et s'ils manquent à la moindre chose, ils en sont blâmables. Mais ne proposant cet écrit que comme une histoire, ou, si vous l'aimez mieux, que comme une

5

fable en laquelle parmi quelques exemples qu'on peut imiter, on en trouvera peut-être aussi plusieurs autres qu'on aura raison de ne pas suivre, j'espère qu'il sera utile à quelques-uns, sans être nuisible à personne et que tous me sauront gré de ma franchise. J'ai été nourri aux lettres dès mon enfance, et, pour ce qu'on me persuadait que par leur moyen

4

on pouvait acquérir une connaissance claire et assurée de tout ce qui est utile à la vie, j'avais un extrême désir de les apprendre. Mais, sitôt que j'eus achevé tout ce cours d'études autour duquel on a coutume d'être reçu au rang des doctes, je changeai entièrement d'opinion, car je me trouvais embarrassé de tant de doutes et d'erreurs qu'il me semblait n'avoir fait aucun profit, en tâchant de m'instruire, sinon que j'avais

3

découvert de plus en plus mon ignorance. Et néanmoins j'étais en l'une des plus célèbres écoles de l'Europe, où je pensais qu'il devait y avoir de savants hommes, s'il y en avait en aucun endroit de la terre. J'y avais appris tout ce que les autres y apprenaient, et même, ne m'étant pas contenté des sciences qu'on nous enseignait, j'avais parcouru tous les livres traitant de celles qu'on estime les plus curieuses et les plus rares qui avaient pu tomber entre mes mains. Avec cela je savais les jugements que les autres faisaient de moi, et je ne voyais point qu'on m'estimât inférieur

2

à mes condisciples, bien qu'il y en eût entre eux déjà quelques-uns qu'on destinait à remplir les places de nos maîtres ; et enfin notre siècle me sembla aussi fleurissant et aussi fertile en bons esprits qu'ait été aucun des précédents. Ce qui me faisait prendre la liberté de juger par moi de tous les autres, et de penser qu'il n'y avait aucune doctrine dans le monde qui fût telle qu'on m'avait auparavant fait espérer. Je ne laissais pas toutefois d'estimer les exercices auxquels on s'occupe dans les écoles. Je savais que les langues que l'on y apprend sont nécessaires pour l'intelligence des livres anciens ; que la gentillesse des fables révèle l'esprit ; que les actions mémorables des

1,5

histoires le révént, et qu'étant lues avec discrétion elles aident à former le jugement ; que la lecture de tous les bons livres est comme une convention avec les honnêtes gens des siècles passés qui en ont été les auteurs, et même une conversation étendue en laquelle ils ne nous découvrent que les meilleurs de leurs pensées ; que l'éloquence a des forces et des beautés incomparables ; que la poésie a des délicatesses et des douceurs très ravissantes ; que les mathématiques ont des inventions très subtiles et qui peuvent beaucoup servir tant à contenter les curieux qu'à faciliter tous les arts et diminuer le travail des hommes ; que les écrits qui traitent des mœurs contiennent plusieurs enseignements et plusieurs exhortations à la vertu qui sont fort utiles ; que la théologie enseigne à gagner le ciel ; que la philosophie donne moyen de parler vraisemblablement de toutes choses et se faire admirer des moins savants ; que la jurisprudence, la médecine et les autres sciences apportent des honneurs et des richesses à ceux qui les cultivent, et enfin qu'il est bon de les avoir toutes examinées, même les plus superstitieuses et les plus fausses, afin de connaître leur juste valeur et se

DESCARTES - DISCOURS DE LA METHODE

INDICATEUR CHAIX

468	430	ND	410	446	GA	496	412	456	470	3426	2428	482	414
OMNIBUS	AUTO-RAIL	RAPIDE	AUTO-RAIL	T L	AUTO-RAIL	RAPIDE	AUTO-RAIL	OMNIBUS	AUTO-RAIL	AUTO-RAIL	MV	AUTO-RAIL	AUTO-RAIL
1 ^{re} 2 ^e 3 ^e	1 ^{re} 2 ^e 3 ^e	1 ^{re} 2 ^e 3 ^e	1 ^{re} 2 ^e 3 ^e	1 ^{re} 2 ^e 3 ^e	1 ^{re} 2 ^e 3 ^e	1 ^{re} 2 ^e 3 ^e	1 ^{re} 2 ^e 3 ^e	1 ^{re} 2 ^e 3 ^e	1 ^{re} 2 ^e 3 ^e	1 ^{re} 2 ^e 3 ^e	1 ^{re} 2 ^e 3 ^e	1 ^{re} 2 ^e 3 ^e	1 ^{re} 2 ^e 3 ^e
6 »	7 7	...	9 18	...	10 32	10 44	12 13	11 40	13 27	...	14 12	...	16 28
6 18	7 19	...	9 24	...	10 43	11 1	12 24	11 57	13 38	...	14 18	...	16 34
6 20	7 19	...	9 30	...	10 51	11 3	...	12 21	13 38	...	14 24	...	16 40
6 36	7 32	...	...	...	...	...	...	12 21	13 52	...	...	...	...
6 45	...	...	...	...	...	...	...	12 29	...	...	...	...	...
6 53	...	...	420 TL	...	...	...	...	12 37	...	...	...	...	...

LA REFRACTION

ŒIL EMMETROPE

Normal

ŒIL MYOPE

ŒIL HYPERMETROPE



Amétropies sphériques

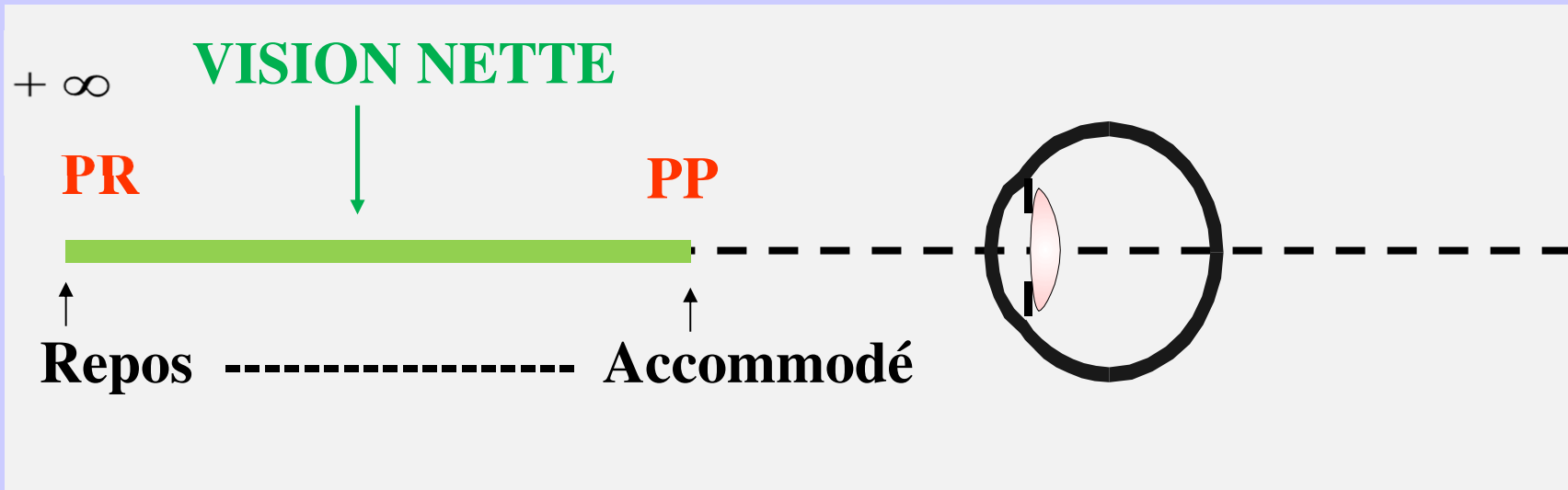
ŒIL ASTIGMATE

Amétropie non sphérique

ŒIL PRESBYTE

Vieillessement du cristallin

Le parcours accommodatif



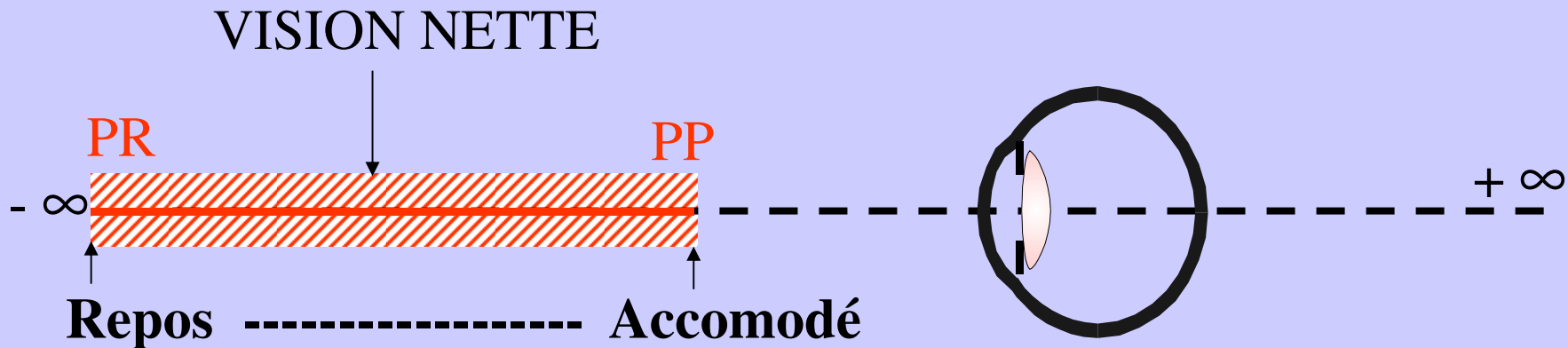
PR : Punctum Remotum

lieu de vision nette avec œil au repos

PP : Punctum Proximum

lieu de vision nette avec accommodation maximum

Le parcours d'acomodation



PR : punctum remotum : Correspondant optique de la rétine pour un œil au repos. Œil normal : 0 Dioptries donc PR à $-\infty$

PP : punctum proximum : Correspondant optique de la rétine pour un œil en accommodation maxi.

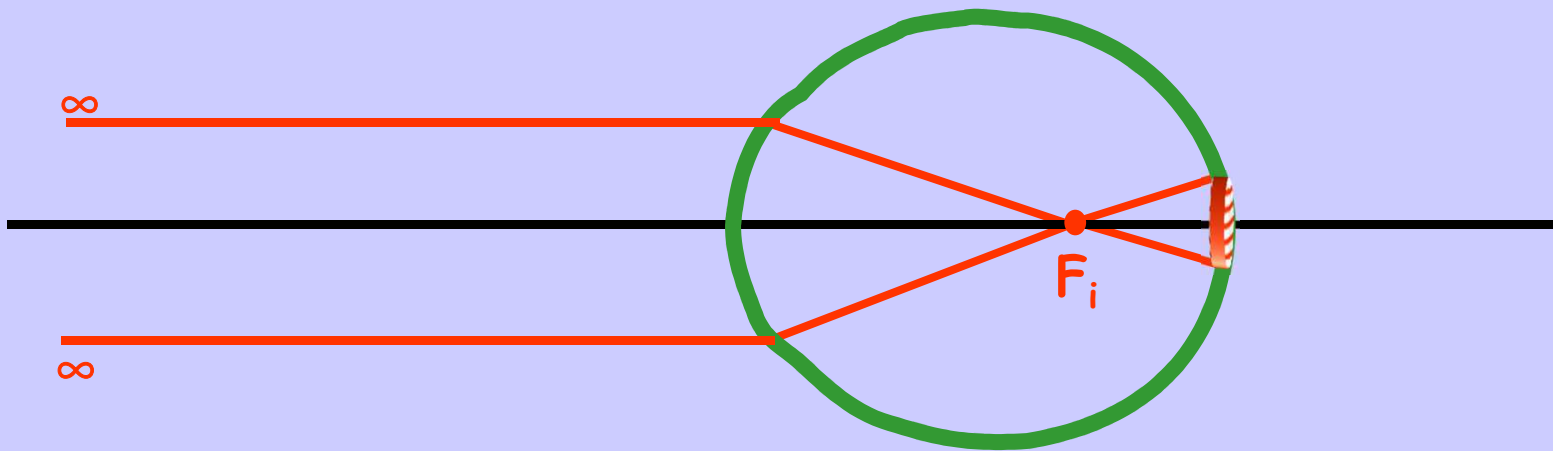
Pouvoir d'acomodation : PR (en D) - PP (en D)

Ex - ∞ et -20 cm

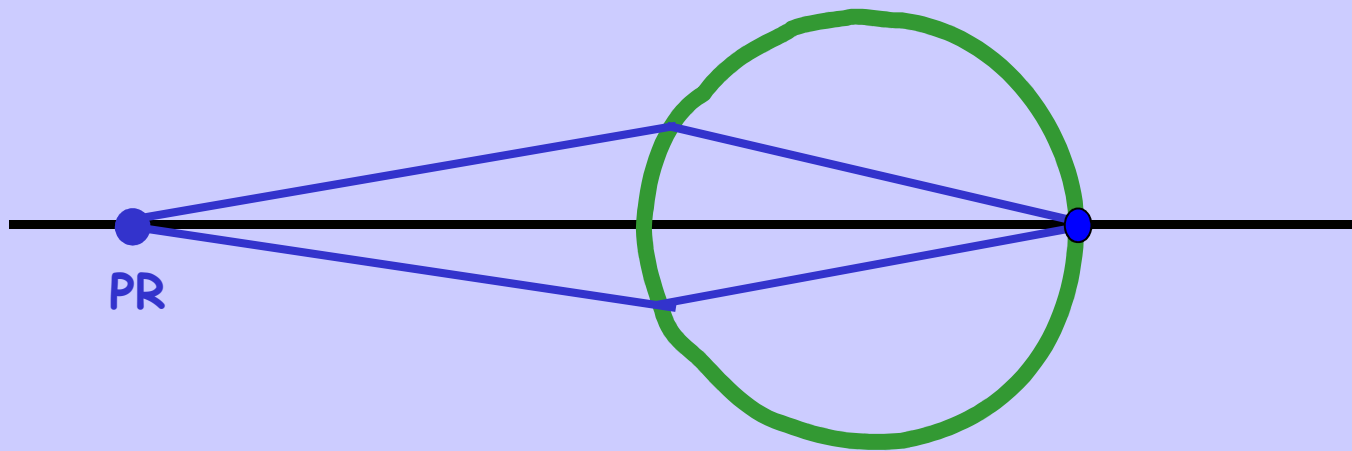
Accomodation = 0 D - (-5D) = 5D

LA MYOPIE

Œil trop long ou puissance convergente trop forte



foyer image F_i : sur l'axe optique, en avant de la rétine



la position de **PR** conditionne le degré de myopie :

position de **PR** en avant de l'oeil

- 2 mètres

- 1 mètre

- 0,5 mètre

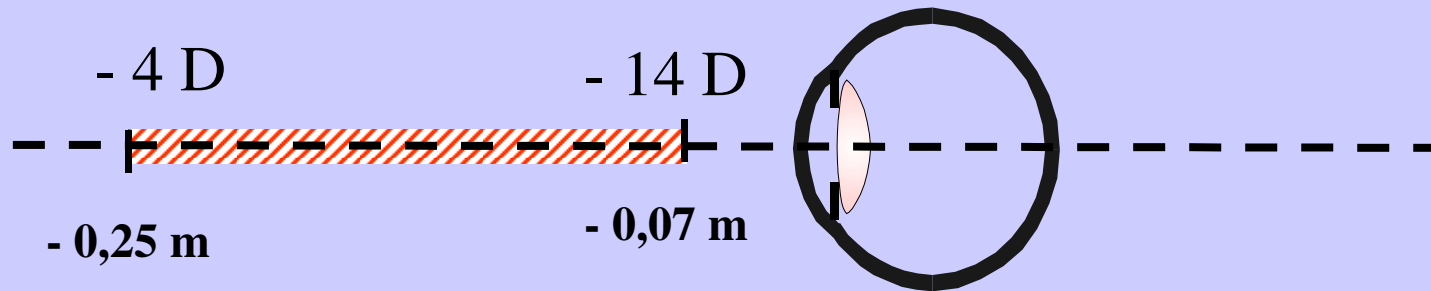
degré de myopie

- 0,5 D

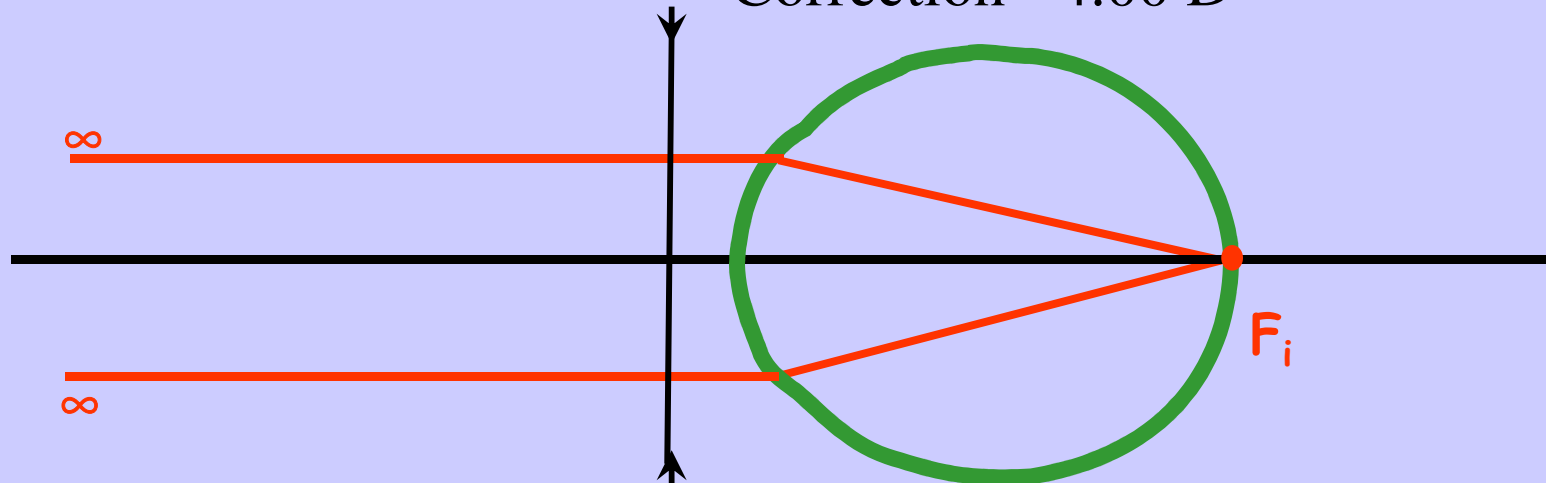
- 1 D

- 2 D

Ex : Myope - 4 D, Accomod. 10 D

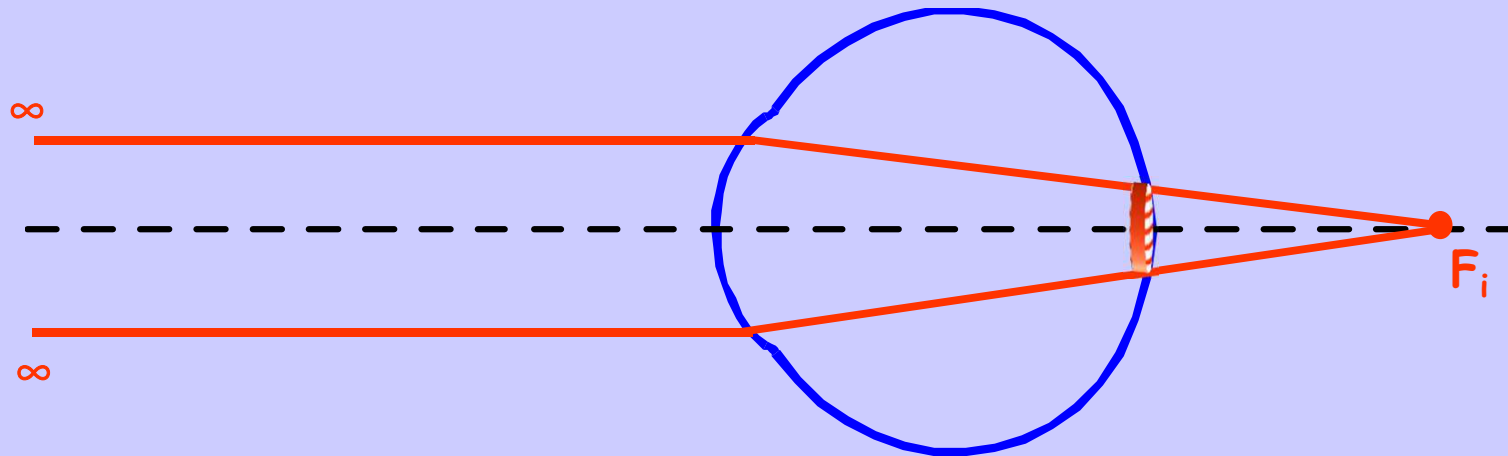


Correction - 4.00 D

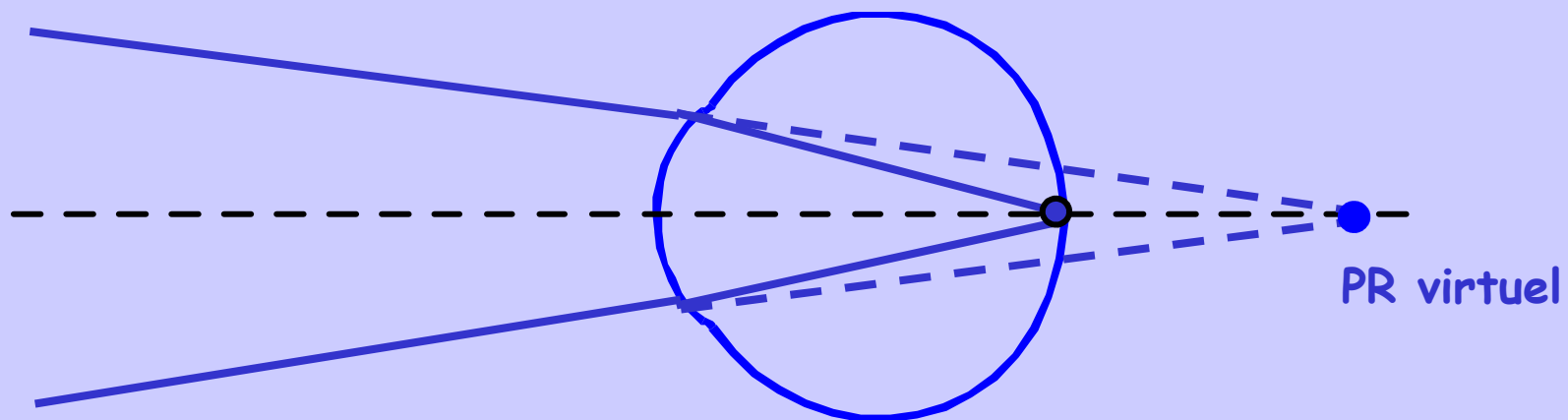


L'HYPERMETROPIE

Œil trop court ou puissance convergente trop faible



foyer image F_i : sur l'axe optique, en arrière de la rétine



la position de PR conditionne le degré de hypermétropie :

position de PR en arrière de l'oeil

2 mètres

1 mètre

0,5 mètre

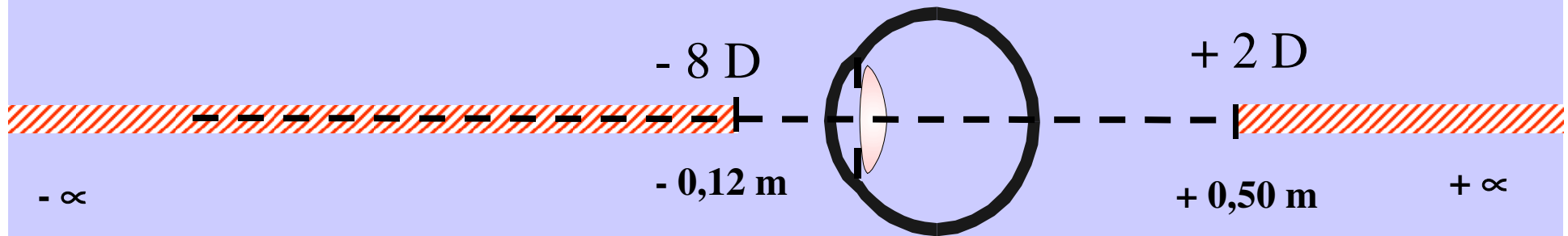
degré d'hyperopie

+ 0,5 D

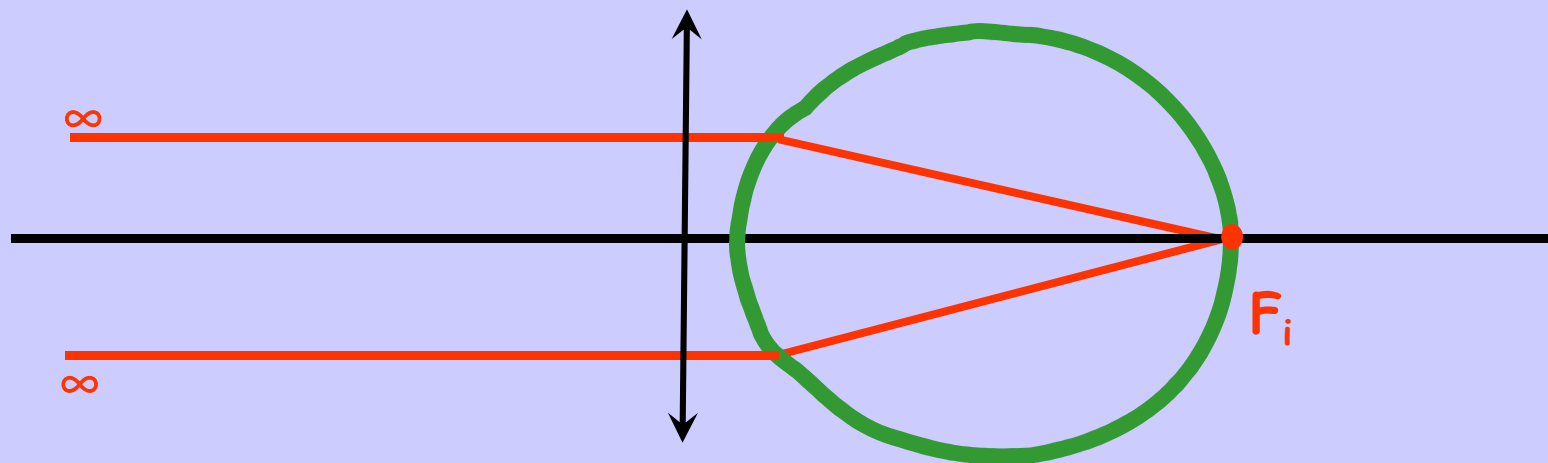
+ 1 D

+ 2 D

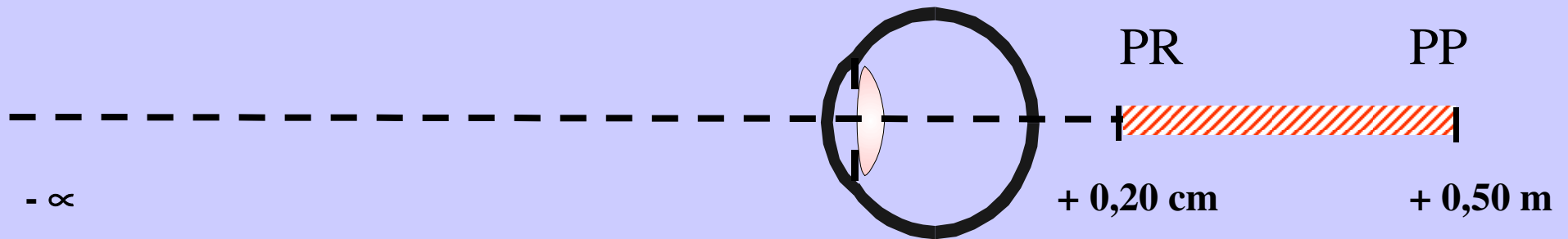
Ex : Hypermétrope + 2 D, Accomod. 10 D



Correction +2.00 D



Ex : Hypermétrope +5 D, Accomod. 3 D



PR : +5 D + 20 cm

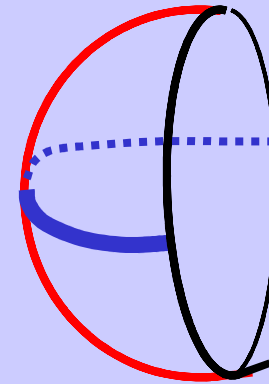
PP : +5 - 3 = +2 D +50 cm

Pas de zone de vision nette !

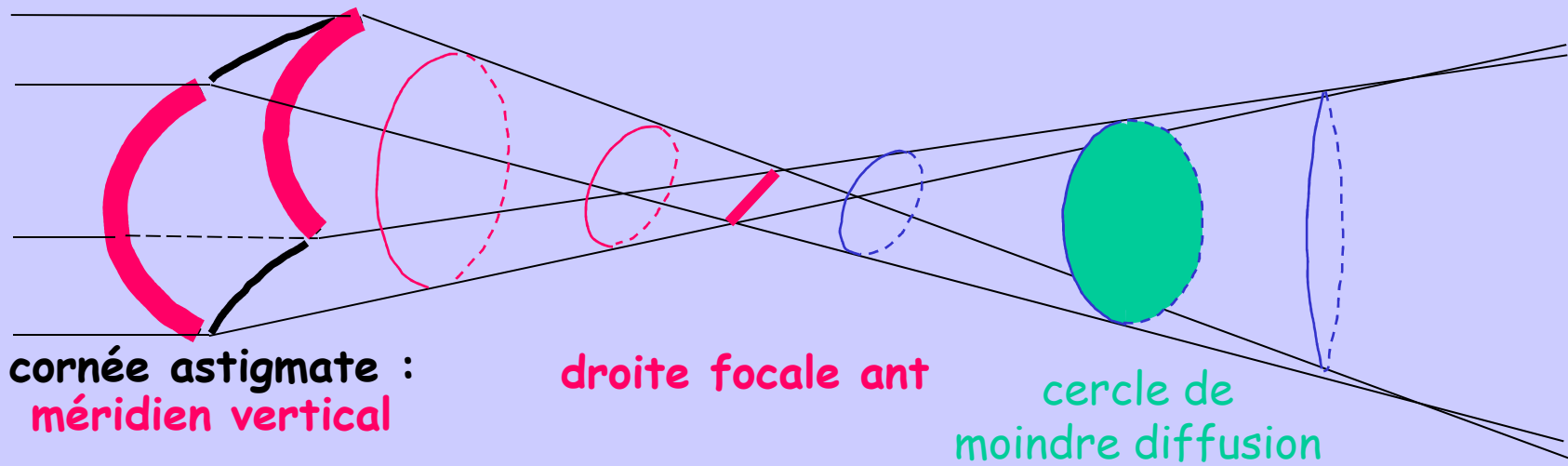
L'ASTIGMATISME

Si la cornée n'est pas sphérique, les méridiens diffèrent:

- ◆ l'un \approx vertical,
- ◆ l'autre \approx horizontal,
- ◆ l'un le plus courbe, le plus puissant,
- ◆ l'autre le moins courbe, le moins puissant,



rayon incident



cornée astigmatique :
méridien vertical

droite focale ant

cercle de
moindre diffusion

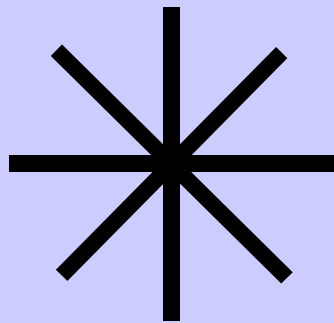
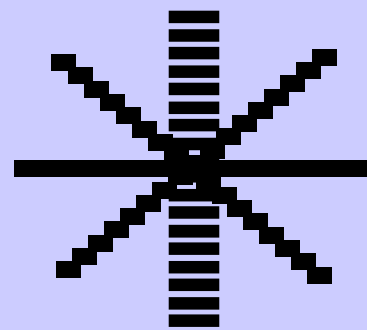
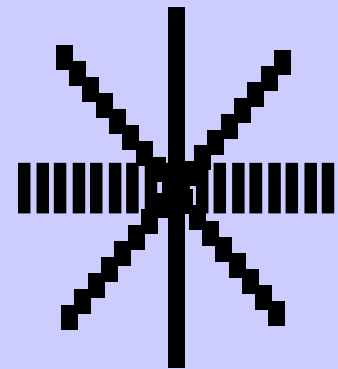


Image :



ou



CORRECTIONS DE LA RÉFRACTION

- 1° Verres correcteurs sur lunette (depuis le XIII^{ème} S)
- 2° Lentilles cornéennes (surépaisseur cornéenne
—————> changement de courbure)
- 3° Chirurgies réfractives:

Kératotomie radiaire (abandonnée)

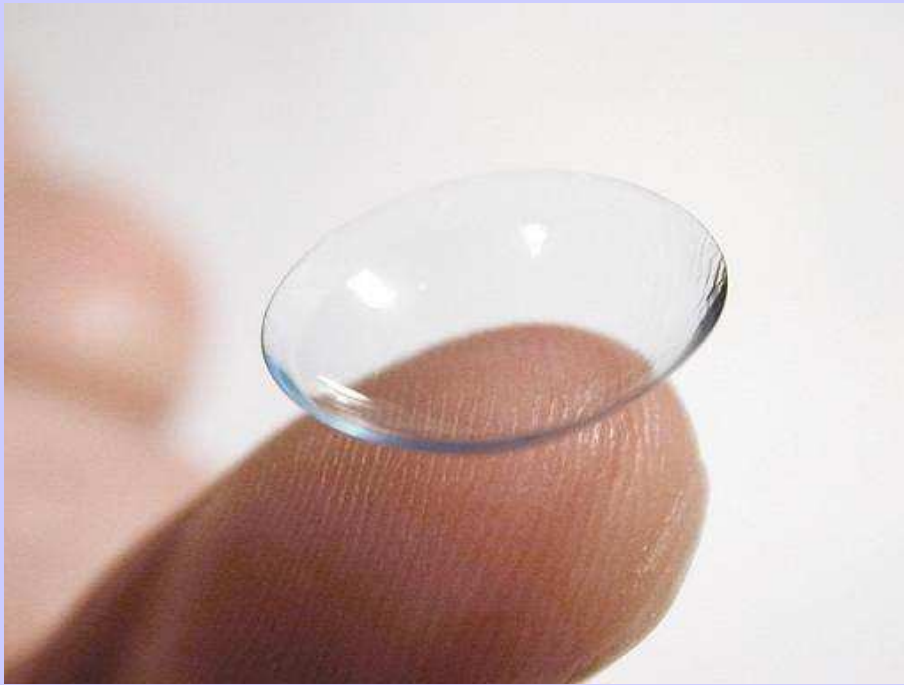
LASER Eximer : Surface cornée

LASIK : Laser après ouverture capot cornéen

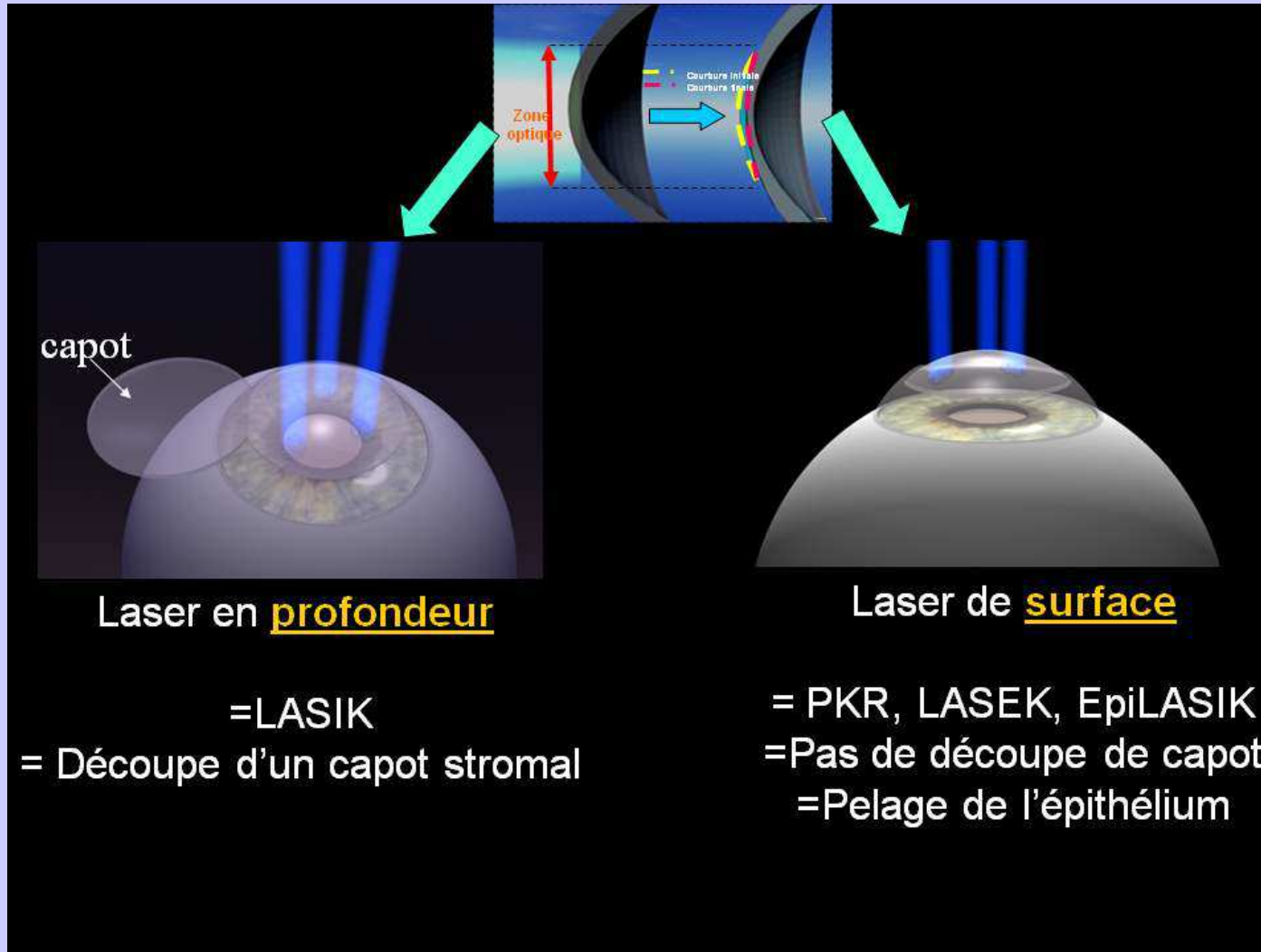
Anneaux intra cornéens

Implants chambre antérieure conservant le cristallin

Les lentilles changent la courbure de la surface cornéenne



**Lentilles fantaisie :
A éviter**



Laser en profondeur

=LASIK
= Découpe d'un capot stromal

Laser de surface

= PKR, LASEK, EpiLASIK
=Pas de découpe de capot
=Pelage de l'épithélium

Illustration des principe de la chirurgie réfractive

CORRECTIONS

Exemples de prescription :

Myope :

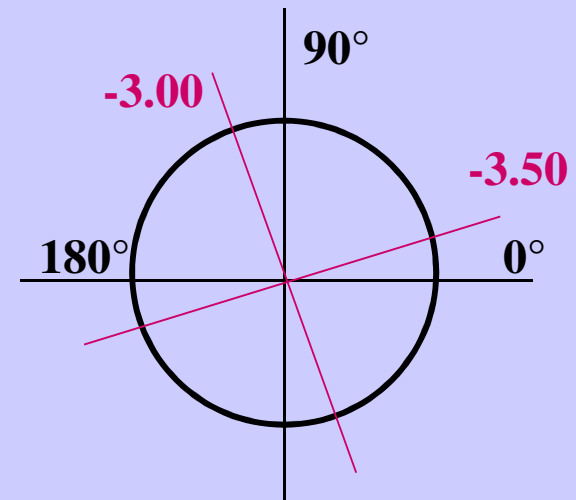
OG : -3.25 OD: -3.50

Hypermétrope:

OG : +2.50 OD: +2.75

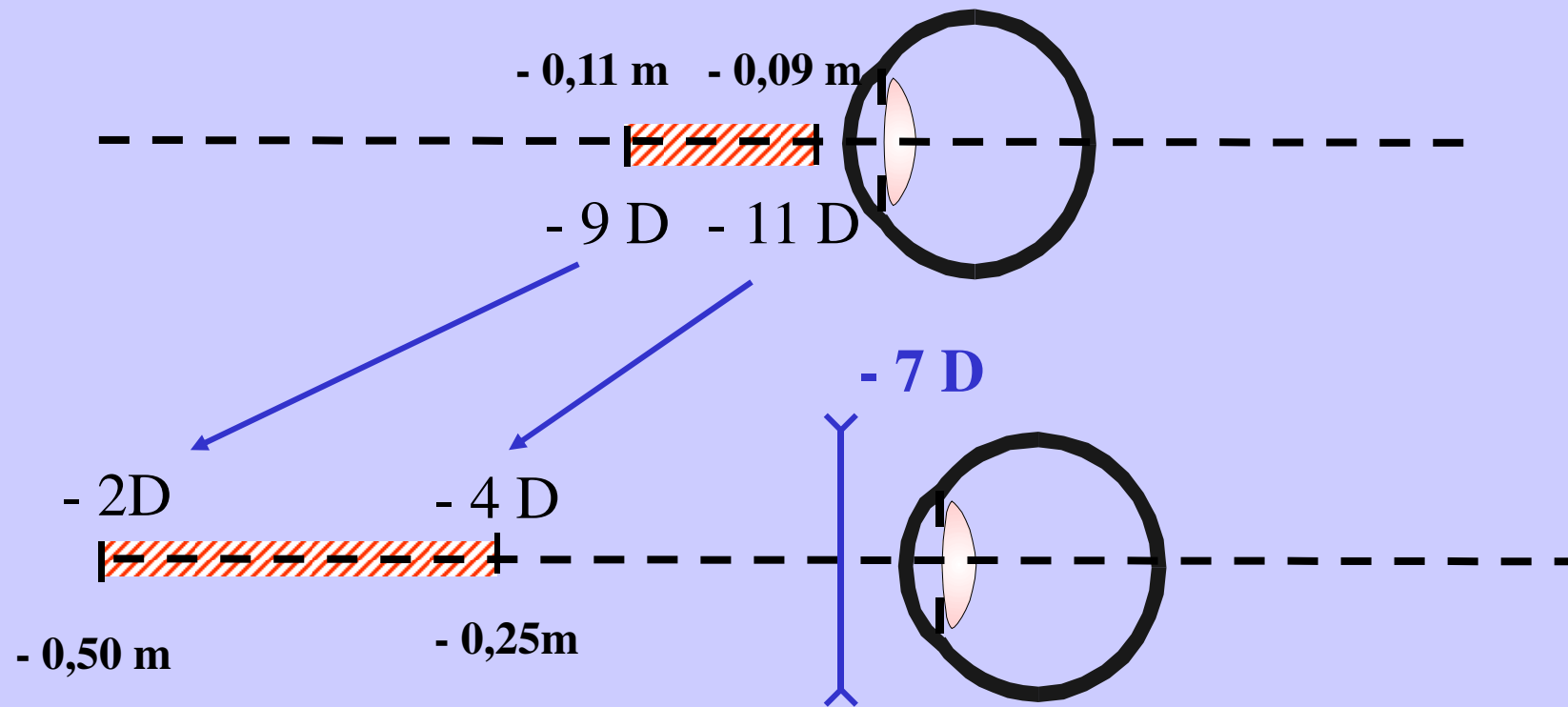
Astimate :

OG : -3.00 -0.50 à 20°
Equivalent à -3.50 +0.50 à 110°



**Vergence corrigée = Vergence sans correction
- Vergence du verre**

Ex Myope à $-9D$ accommodation $2D$, correction pour lire ?

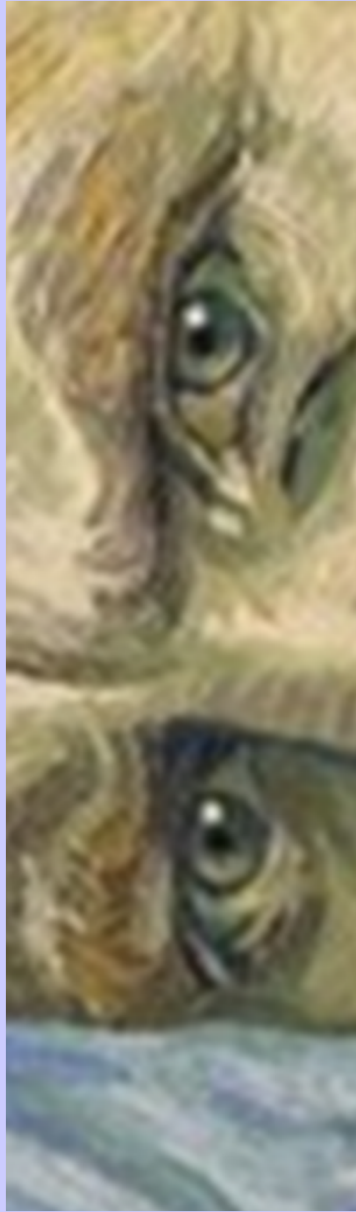


J'espère que vous avez bien compris ce cours !!



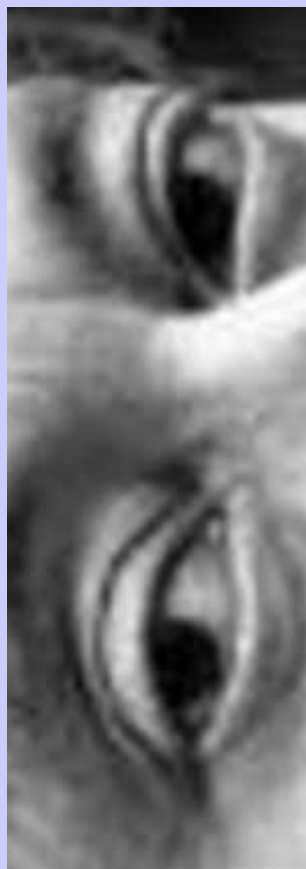
Reconnaissez-vous mon regard ?







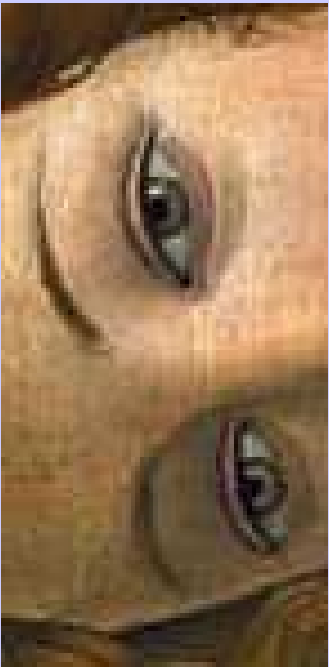
















La jeune fille à la perle
J. Vermeer Musée de La Haye