Données de base théoriques

Chapitre 1

DÉFINITIONS

- Dioptre 7
- Indice 7
- Réflexion 7
- Réfraction..... 8
- Dioptre shérique 8
- Réfraction dans un dioptre sphérique 8
- Objet réel et virtuel..... 9
- Image d'un point/Dioptre sphérique 9
- Foyer d'un dioptre sphérique 9
- Formulaire du dioptre sphérique 10
- L'œil est un système dioptrique centré 10
  - — définition 10
  - — plans objets et plans images .. 10
  - — utilisation des plans principaux 11
- Construction d'une image à l'aide des plans principaux 11
- Foyers principaux, distance focale 11

DIOPTRE

C'est une surface qui sépare deux milieux transparents d'indice différent.

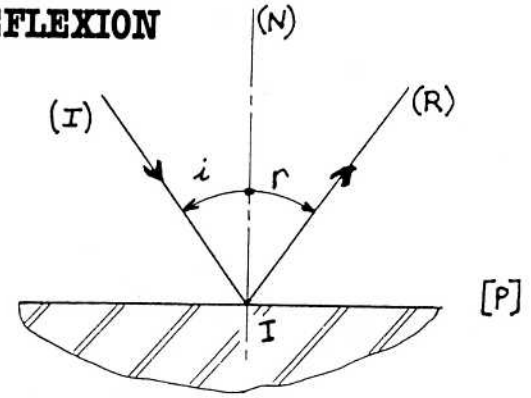
Exemple :

La surface de l'eau est un dioptre.

INDICE

C'est le rapport de la célérité de la lumière dans le vide et de la célérité de la lumière dans le milieu considéré.

RÉFLEXION

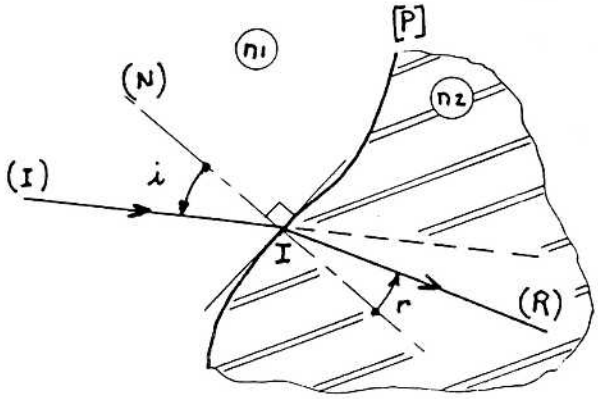


La réflexion d'un rayon incident (I) sur une surface [P] se fait de telle sorte que les angles î (angle d'incidence) fait par le rayon incident et la normale (N) et r̂ (angle de réflexion) fait par le rayon réfléchi (R) et la normale (N),

sont égaux $\boxed{\hat{i} = \hat{r}}$

Le point I est appelé point d'incidence. Les droites (I), (N) et (R) sont coplanaires.

RÉFRACTION



Soit [P] un dioptre séparant deux milieux d'indice n1 et n2.

La réfraction d'un rayon incident (I) se propageant dans un milieu d'incie n1 se fait de telle sorte que l'on ait

$$n1 \sin i = n2 \sin r$$

i = angle d'incidence défini par l'angle que fait (I) par rapport à la normale (N) au dioptre [P].

r = angle de réfraction défini par l'angle que fait (R) par rapport à la normale (N) au plan [P].

Le point I est appelé point d'incidence.
Les droites (I) (N) et (R) sont coplanaires.

DIOPTRE SPHÉRIQUE

Dans ce qui figure ci-dessus, le dioptre [P] est une surface quelconque. On appelle dioptre sphérique toute surface [P] constituée par une sphère.

Un dioptre sphérique est caractérisé par :

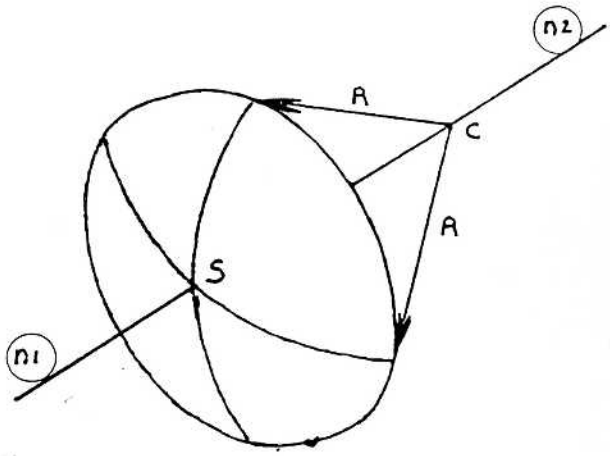
indice n1

indice n2

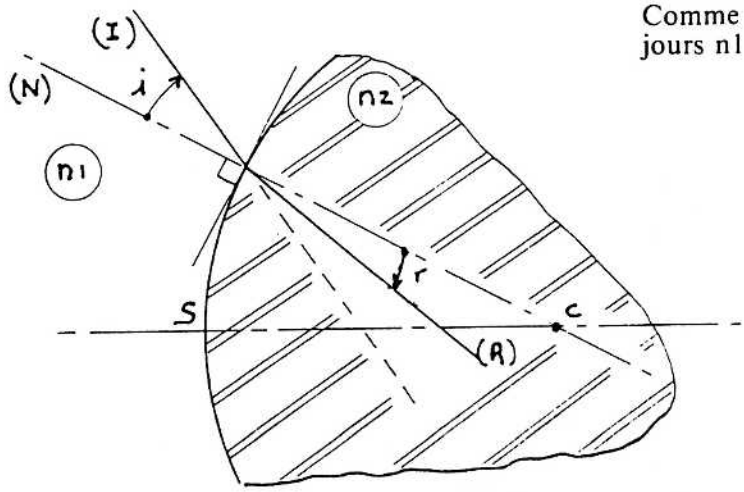
rayon de courbure R = $\overline{SC}$

S = sommet du dioptre.

C = centre du dioptre.



RÉFRACTION DANS UN DIOPTRE SPHÉRIQUE



Comme pour le cas général, nous avons toujours n1 sin i = n2 sin r

OBJET RÉEL ET OBJET VIRTUEL

Objet réel

La nuit, si vous regardez la lune, celle-ci est un objet réel. Les rayons issus de la lune entrent directement dans votre œil.

Objet virtuel

La nuit, si vous regardez la lune sur un miroir, vous n'observez plus un objet réel, mais un objet virtuel.

L'image de la lune par rapport au miroir est une image virtuelle, qui elle même devient un objet virtuel pour l'œil de l'observateur.

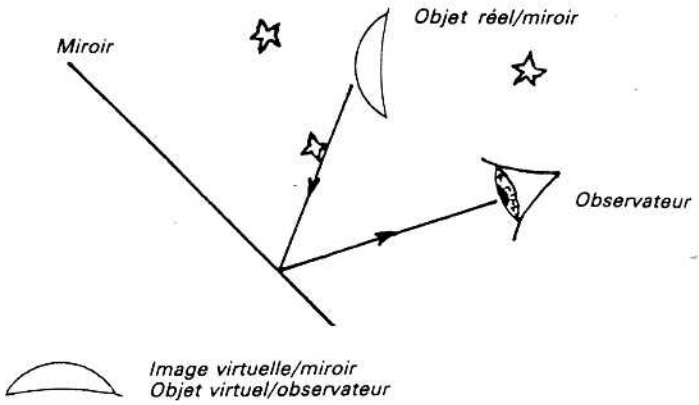
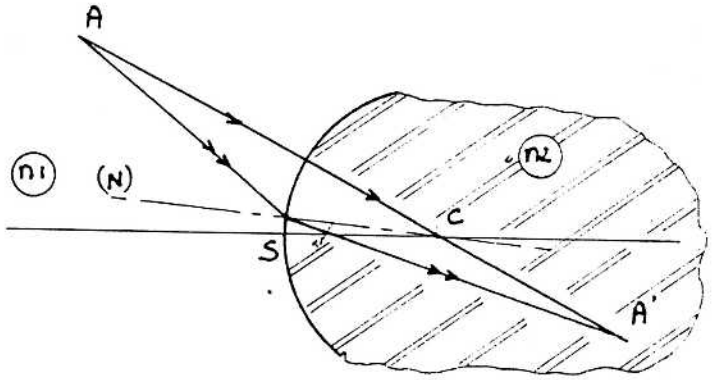


IMAGE D'UN POINT/DIOPTRE SPHÉRIQUE



On appelle image d'un point par rapport à un dioptre sphérique l'intersection des rayons réfractés issus du point objet.

Cette intersection peut être réelle ou virtuelle.

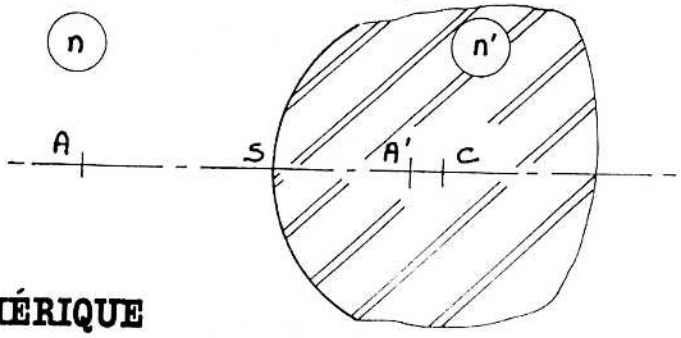
Image réelle et image virtuelle.

FOYER D'UN DIOPTRE SPHÉRIQUE

On appelle foyer d'un dioptre sphérique le point image d'un objet situé sur l'axe et à l'infini.

N.B. : tous les rayons issus de ce point sont parallèles entre eux et parallèles à l'axe.

n : indice de l'espace objet
n' : indice de l'espace image
Vo : vergence objet
Vi : vergence image



FORMULAIRE DU DIOPTRE SPHÉRIQUE

* Puissance $D = \frac{n' - n}{\overline{SC}}$

* Distance focale image $f' = \frac{1}{D}$

* Distance focale objet $f = -\frac{1}{D}$

$$Vi - Vo = D \iff \frac{n'}{\overline{SA'}} - \frac{n}{\overline{SA}} = D$$

Les distances sont en mètres et les puissances en dioptries.

L'OEIL EST UN SYSTÈME DIOPTRIQUE CENTRÉ

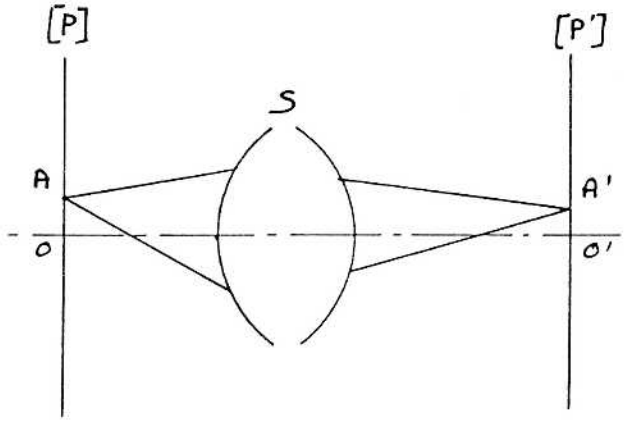
Définition

Il est en effet constitué de milieux transparents séparés par des dioptres (cornée, cristallin) de révolution autour d'un axe principal.

Plans objets et plans images

Les éléments cardinaux d'un système se déterminent en considérant l'action successive de chaque dioptre sur la lumière. On peut les déterminer dans le milieu image ; ceux du milieu objet s'obtiennent de façon identique en considérant le sens inverse de la lumière.

Plans conjugués par rapport à un système centré.



Ce sont deux plans dont chacun des points est conjugué deux à deux par rapport au système centré.

[P] = plan objet

[P'] = plan image

A = point objet de [P]

A' = point image de [P']

Grandissement

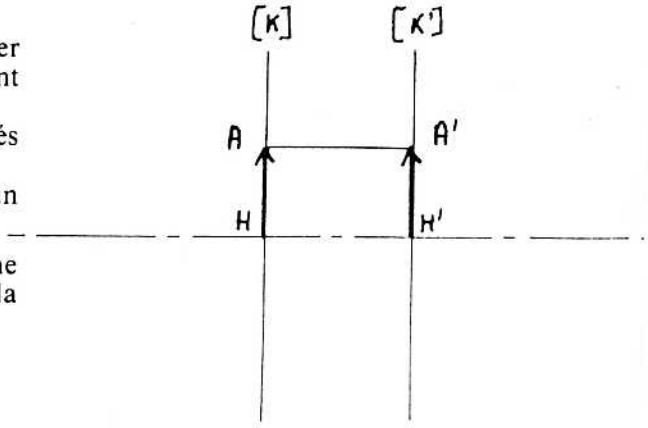
Pour chaque paire de plans conjugués, on peut définir un grandissement noté G qui est calculé pour le rapport :

$$G = \frac{O'A'}{OA} = \frac{\text{grandeur de l'image}}{\text{grandeur de l'objet.}}$$

Cas particulier

Pour tout système centré, on peut trouver deux plans conjugués dont le grandissement est égal à + 1.
Par définition, ces deux plans sont appelés PLANS PRINCIPAUX.
Ils font partie des éléments cardinaux d'un système.

Ceci veut dire que, quel que soit le système optique donné, on peut toujours définir la position de plans principaux.



[K] = plan principal objet
[K'] = plan principal image
H = point principal objet
H' = point principal image

on a $\overline{HA} = \overline{H'A'}$ (grandissement + 1)

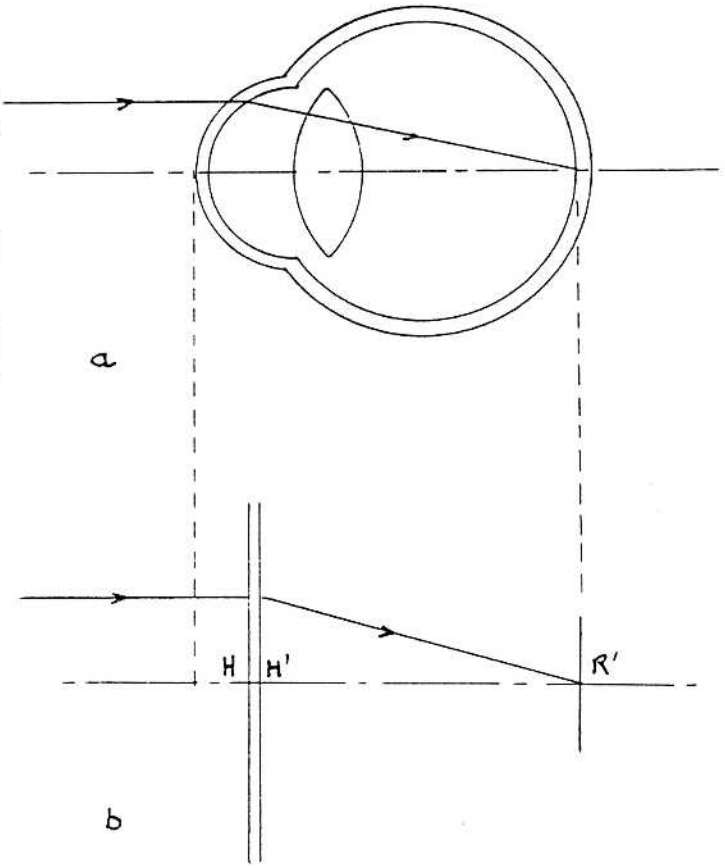
Utilisation des plans principaux

Leurs propriétés très spécifiques nous permettent d'assimiler tout système centré à ses plans principaux.

Exemple :

Les figures a) et b) sont équivalentes mais b) est beaucoup plus facile à utiliser car elle est simplifiée.

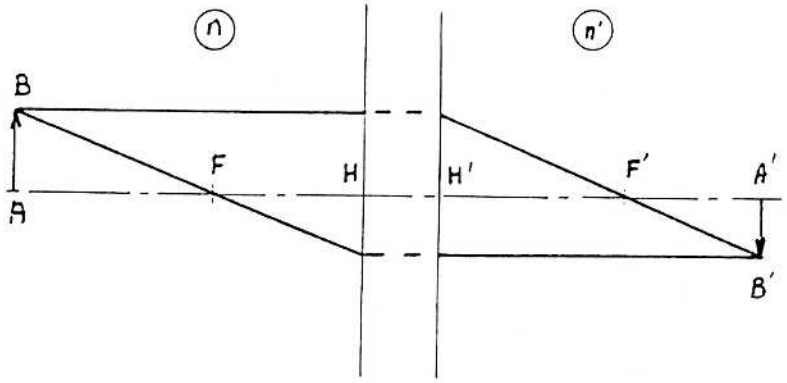
Ramener l'étude d'un système centré à celle de ses plans principaux apporte pour les mêmes résultats une simplification non négligeable.



CONSTRUCTION D'UNE IMAGE A L'AIDE DES PLANS PRINCIPAUX

Prenons le cas d'un rayon lumineux, parallèle à l'axe.
Rencontrant le plan principal objet, il va être réfracté passant par F'.
Un deuxième rayon incident passant par F devient après la traversée du système, parallèle à l'axe.

L'intersection de ces 2 rayons donne de l'objet AB, une image A'B'.



FOYERS PRINCIPAUX, DISTANCE FOCALE

On définit également 2 distances focales correspondant aux plans principaux.

Tous les rayons incidents, parallèles à l'axe optique du système sont réfractés en un même point situé sur cet axe.

Ce point F' s'appelle le foyer image.

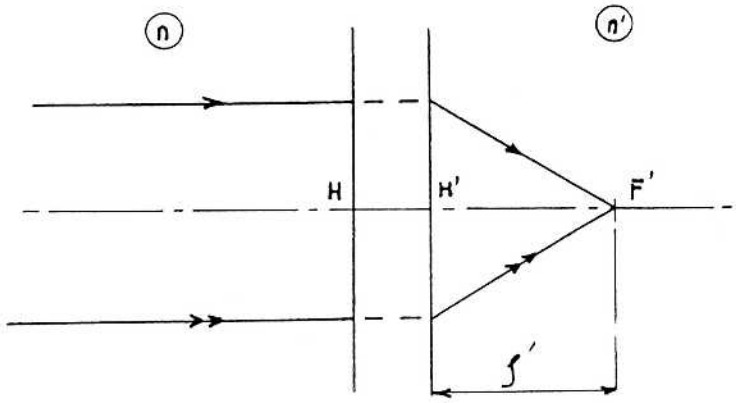
De même, tous les rayons lumineux se propageant en sens inverse seront réfractés en un point F, situé sur l'axe optique.

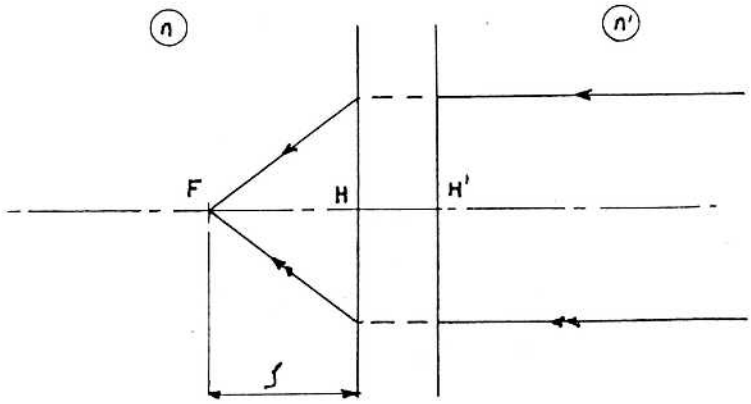
Ce point F s'appelle le foyer objet.

Distances focales

f : distance focale objet correspondant à HF.

f' : distance focale image correspondant à H'F'.





Chapitre 2

LES AMÉTROPIES SPHÉRIQUES

A. Définition optique 13
a) Oeil emmétrope 13
b) Oeil myope 13
c) Oeil hypermétrope 13

B. Correction des amétropies sphériques : les verres sphériques 14
a) Forme 14
b) Épaisseur 14
c) Représentation schématique des verres minces 14
d) Convergence, Divergence 14
- Convergence 14
- Divergence 15

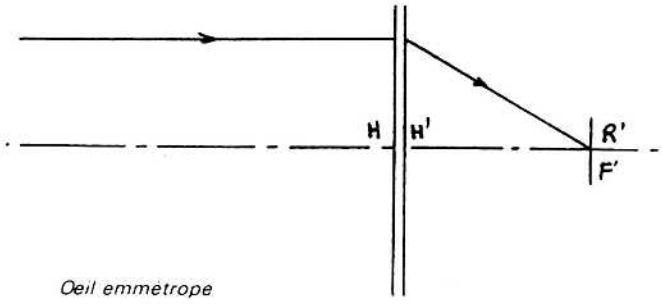
e) Foyers, distances focales, centre optique 15
- Centre optique 15
- Distances focales 15
- Puissance de la lentille 15

A. DÉFINITION OPTIQUE

a. Oeil emmétrope

L'image d'un point objet situé à l'infini se trouve sur la rétine R', l'œil n'accommodant pas.

R' (plan focal de l'œil) et F' (foyer image) sont confondus.

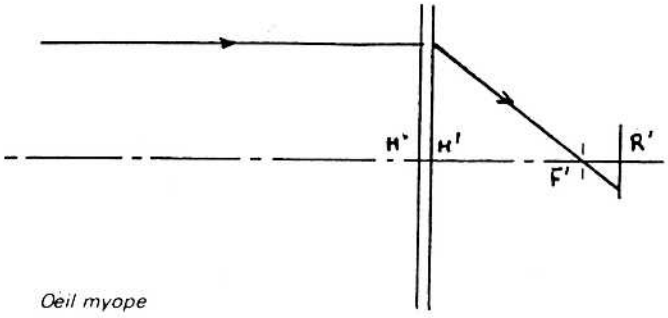


Oeil emmétrope

b. Oeil myope

L'œil myope est trop puissant par rapport à sa longueur.

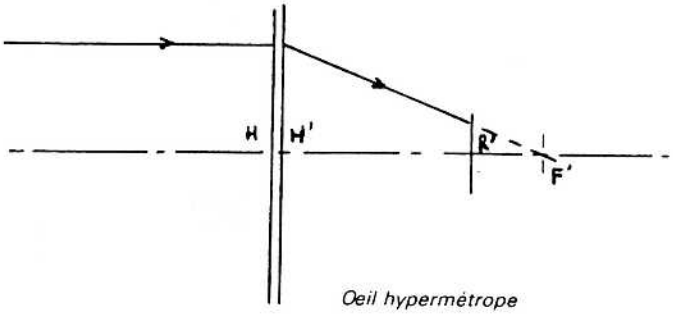
Le foyer image F' se réfracte en avant de la rétine.



Oeil myope

c. Oeil hypermétrope

L'œil hypermétrope est trop court ou pas assez puissant pour sa longueur. Le foyer image F' se réfracte en arrière de la rétine.



Oeil hypermétrope

B. CORRECTION DES AMÉTROPIES SPHÉRIQUES

Les verres sphériques

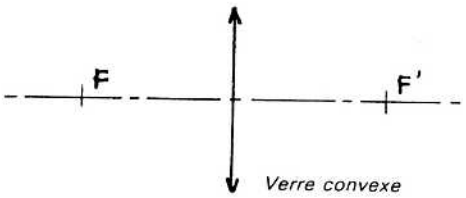
a. Forme

Les verres sphériques sont des verres dont les 2 faces sont des dioptres sphériques ou dont l'une d'elle est un dioptre plan.

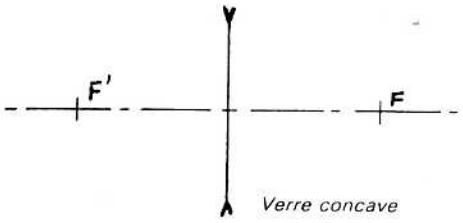
b. Épaisseur

Dans la plupart des cas, les verres de lunette ont des épaisseurs faibles au centre, et peuvent être considérés comme des verres minces dans les calculs.

c. Représentation schématique des verres minces



Verre convexe



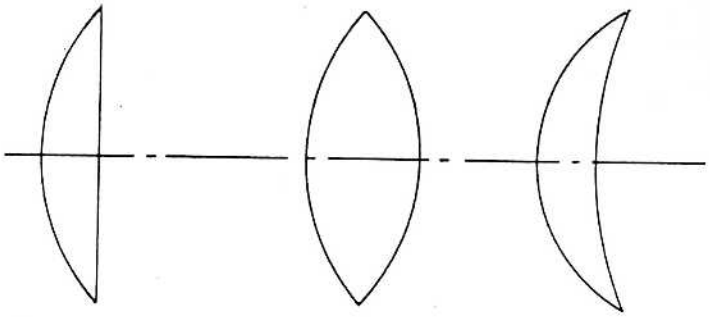
Verre concave

Axe optique : perpendiculaire au plan du verre.
Centre optique O, confondu avec les 2 sommets des 2 dioptres.
Foyers objet F et image F' caractérisant l'effet optique du verre.

d. Convergence, Divergence

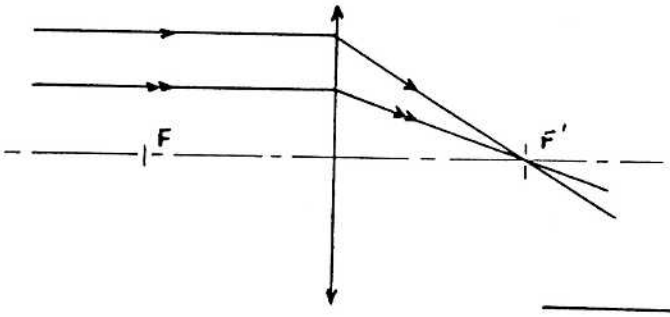
*** Convergence**

Verres convexes, verres +, de puissance positive.
Les verres qui ont 2 faces convexes ou, une face convexe et une face plane, ou une face avant convexe plus bombée que la face concave, font converger la lumière.



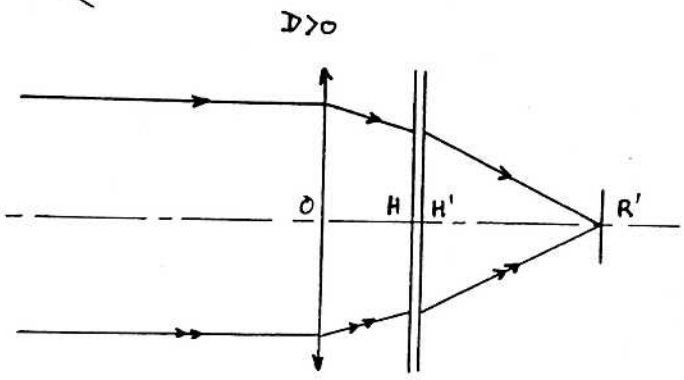
Plan convexe *Bi convexe* *Ménisque*

Cette lentille est donc plus épaisse au centre qu'en périphérie.



Un faisceau de rayons parallèles et parallèles à l'axe dans les cas de verres convergents est réfracté en un point F'.

Ce sont les verres utilisés pour corriger une hypermétropie.

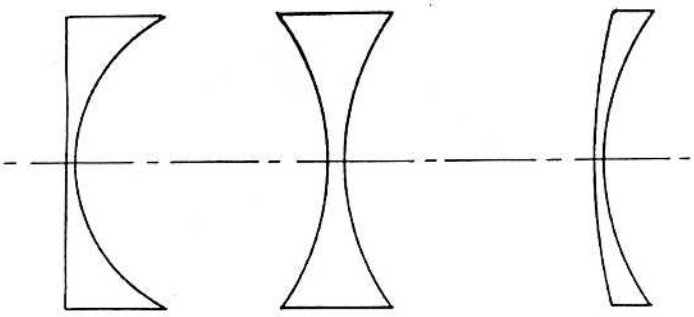


Lentille convergente *Oeil hypermétrope*

*** Divergence**

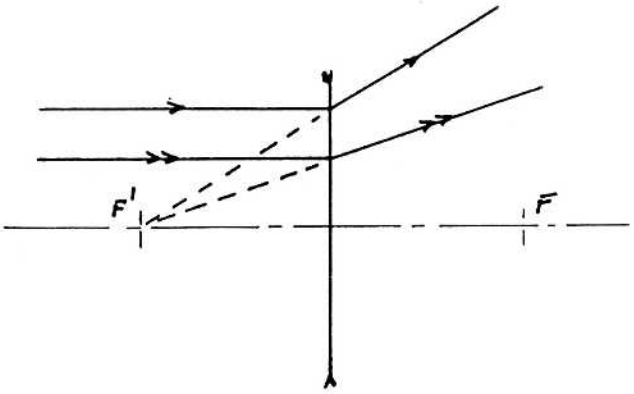
Verres concaves, verres divergents, verres —, de puissance négative.

Les verres qui ont 2 faces concaves ou, une face concave et une face plane ou, une face avant convexe plus plane que la face arrière concave, font diverger la lumière.



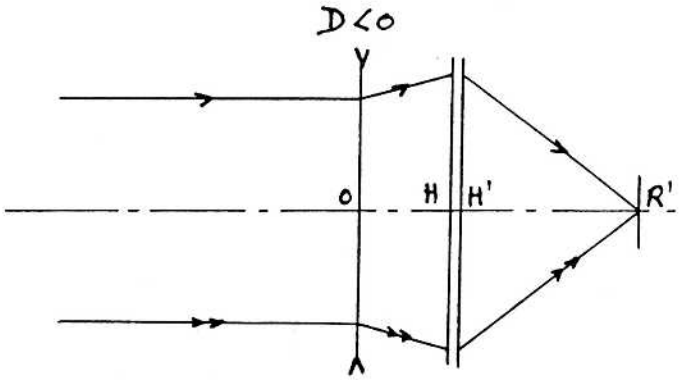
Plan concave *Bi concave* *Ménisque concave*

Cette lentille est donc plus mince au milieu que sur les bords.



Un faisceau incident de rayons parallèles à l'axe est réfracté suivant un faisceau divergent semblant provenir de F'.

La correction d'une myopie se fera à l'aide de verres concaves.



Lentille divergente *Oeil myope*

e. Foyers, distances focales, centre optique

*** Centre optique**

C'est le point particulier de la lentille, situé sur l'axe principal, n'entraînant pas de déviation des rayons incidents et émergents.

*** Distances focales**

Ce sont les distances qui séparent les foyers du centre optique.
OF = f focale objet.
OF' = f' focale image.

Lorsque le verre est dans un même milieu (l'air) les distances focales objet et image sont égales.

*** Puissance de la lentille : D**

D (puissance de la lentille) est liée à la distance focale par la relation

$$D = \frac{1}{f'} = -\frac{1}{f} \text{ dans l'air}$$

dioptries f exprimé en mètres.

N.B.

Nous avons précédemment défini les distances focales par rapport aux plans principaux (plans conjugués pour lesquels le grandissement transversal est égal à 1).

Chapitre 3

L'ŒIL ASTIGMATE ET SA CORRECTION

A. Généralités 17
1. Réserves 17
2. Définition 17
a. Astigmatisme direct 18
b. Astigmatisme inverse 18
c. Suivant le positionnement de la rétine 18
• astigmatisme simple 18
• astigmatisme mixte 19
• astigmatisme composé .. 20
d. Astigmatisme oblique 20
B. Les tests d'astigmatisme 20
1. Les différents tests d'astigmatisme 20
a. Test de Parent 20
b. Tests tournants 21
2. Méthodes d'utilisation 21
C. Les verres astigmates 22
Généralités 22
1. Définitions 24
2. Différentes sortes de verres astigmates 25
a. verres plan-cylindriques 25
b. verres sphéro-cylindriques 27
c. vision à travers un plan cylindrique — voir page 24 28
Récapitulatif 29
Conclusion 30

A. GÉNÉRALITÉS

1. Réserves

Vous trouverez dans tous les précis d'ophtalmologie les différentes variétés d'astigmatisme, leurs formes cliniques et leurs étiologies. Nous ne parlerons ici que des astigmatismes réguliers, d'origine cornéenne, éventualité la plus fréquente en pratique courante.

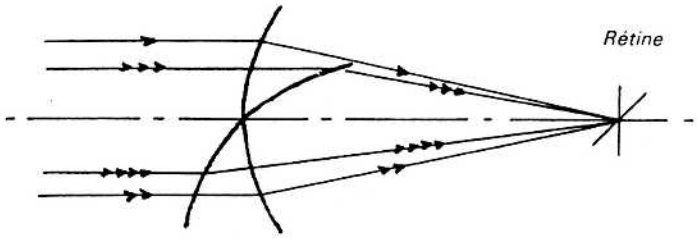
2. Définition

Un œil astigmate ne donne pas d'un point une image ponctuelle comme dans le cas d'une amétropie sphérique, mais 2 images linéaires appelées **FOCALES.**

Dans le cas d'un astigmatisme régulier, ces 2 focales sont perpendiculaires entre elles.

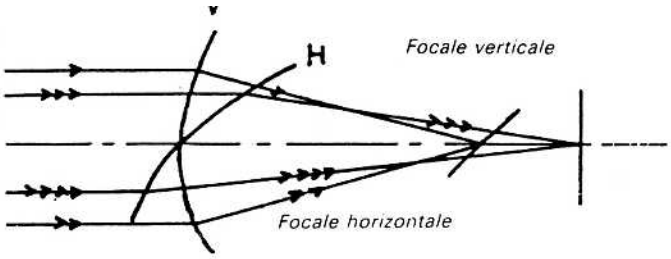
Cette définition n'est pas exacte sur le plan optique (géométrique) mais est suffisante pour comprendre les différentes constructions possibles.

Nous avons volontairement omis de parler du cercle de moindre diffusion et de la conoïde de Sturm (cf les précis d'optique).

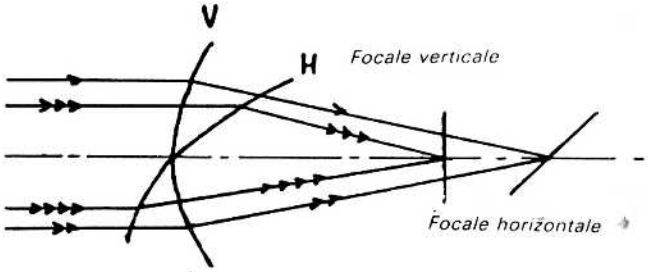


Oeil sphérique

a. Si le rayon de courbure du méridien cornéen vertical est plus petit, plus courbe, plus réfringent que celui du méridien horizontal, la focale horizontale sera en avant de la focale verticale.
On parlera alors d'astigmatisme direct ou conforme à la règle.

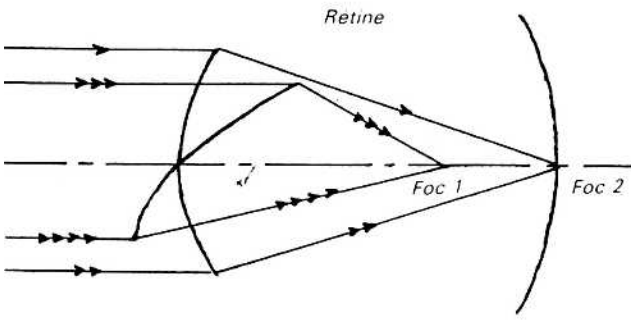


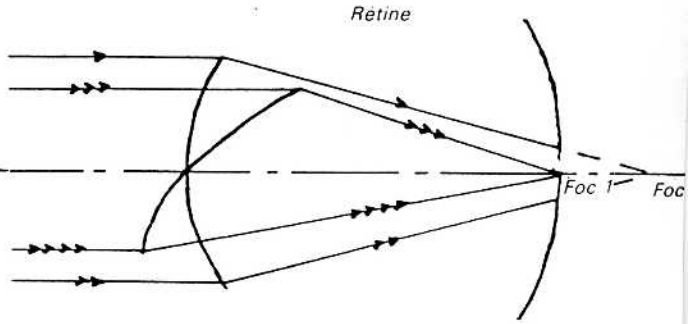
b. A l'inverse, si le rayon de courbure du méridien horizontal est plus petit, plus courbe, plus réfringent que celui du méridien vertical, la focale verticale sera devant la focale horizontale.
On aura alors un astigmatisme inverse ou non conforme à la règle.



c. Positionnons la rétine par rapport à ces 2 focales.
La rétine peut-être, en avant, sur l'une des focales, au milieu des 2 focales, ou en arrière.
On définit ainsi :

— *un astigmatisme simple*





Une des focales est sur la rétine, l'autre en avant : astigmatisme myopique simple.

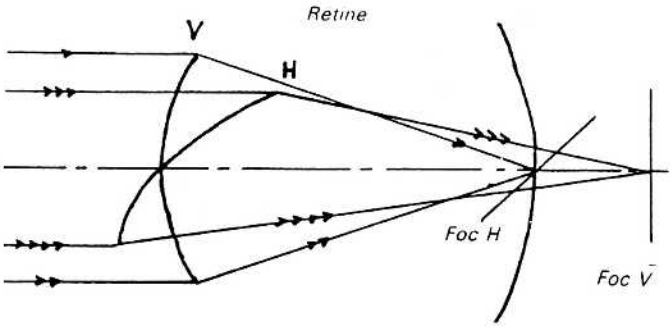
Une des focales est sur la rétine, l'autre en arrière : astigmatisme hypermétropique simple.

On comprendra facilement que suivant les différences de rayons de courbure cornéens, cet astigmatisme simple (myopique ou hypermétropique) puisse être direct ou inverse.

* Astigmatisme hypermétropique simple direct

— Focale horizontale sur la rétine.

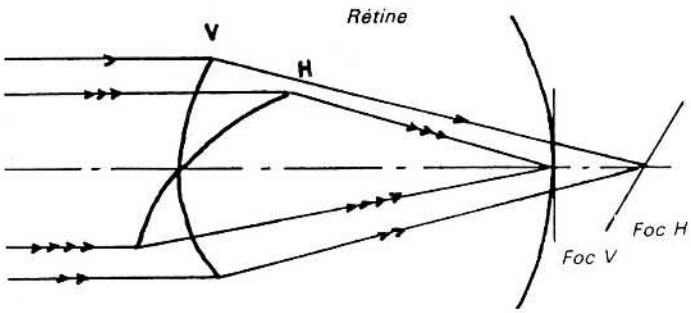
— Focale verticale en arrière de la rétine.



* Astigmatisme hypermétropique simple inverse

— Focale verticale sur la rétine.

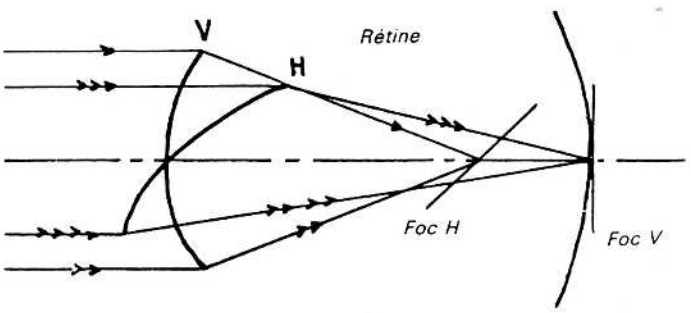
— Focale horizontale en arrière.



* En cas d'astigmatisme myopique simple direct

— Focale horizontale en avant de la rétine.

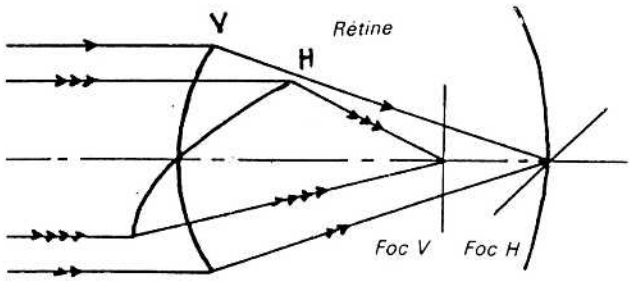
— Focale verticale sur la rétine.



* En cas d'astigmatisme myopique simple inverse

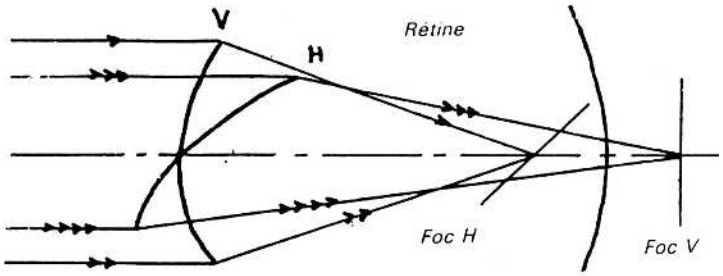
— Focale verticale en avant de la rétine.

— Focale horizontale sur la rétine.

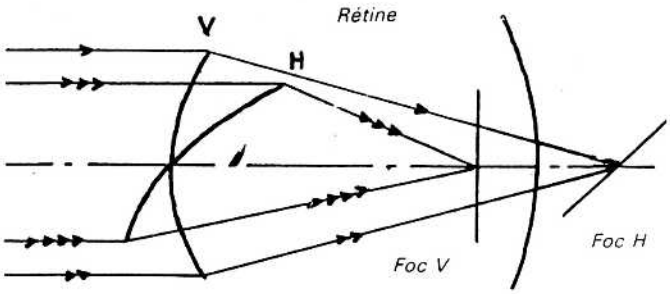


— *Astigmatisme mixte*

Une des focales est en avant, l'autre en arrière de la rétine. Cet astigmatisme mixte peut également être **direct.**



ou inverse

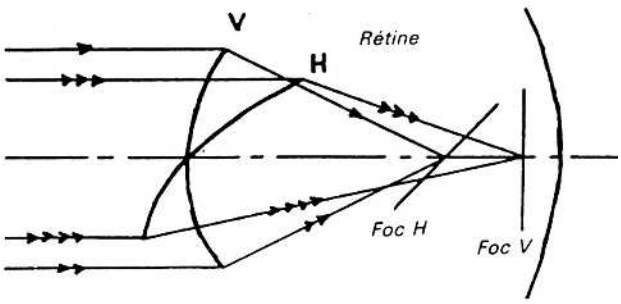


— *Astigmatisme composé*

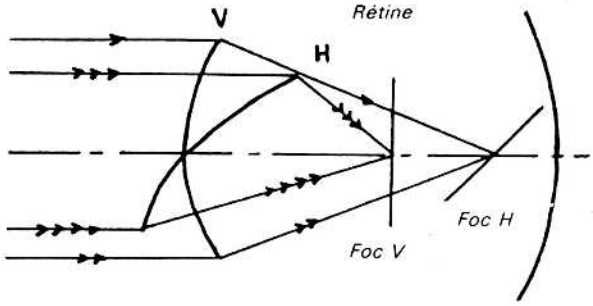
L'astigmatisme est alors associé soit à une myopie, soit à une hypermétropie.

Les 2 focales sont alors en avant ou en arrière de la rétine ; de même on le définira soit direct soit inverse.

* Astigmatisme myopique composé direct

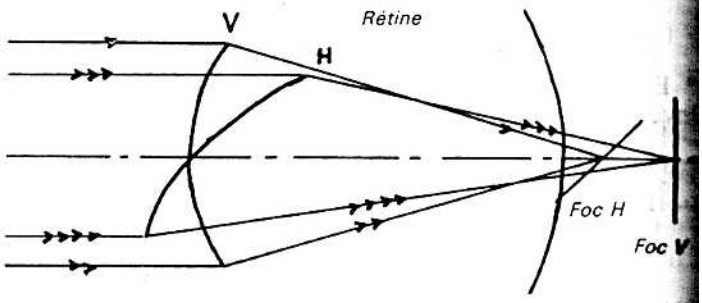


* Astigmatisme myopique composé inverse



Si les 2 focales sont en arrière de la rétine, on parlera d'astigmatisme hypermétropique composé direct ou inverse.

* Astigmatisme hypermétropique composé direct



d. Enfin, selon l'orientation des focales par rapport à l'horizontale ou à la verticale ; on définit une dernière forme d'astigmatisme, les astigmatismes obliques.

Dans le cas des astigmatismes réguliers, que les focales soient horizontales, verticales ou obliques, elles sont toujours perpendiculaires entre elles.

B. LES TESTS D'ASTIGMATISME

Nous reverrons plus en détail dans les chapitres suivants comment mesurer objectivement un astigmatisme cornéen (ophtalmométrie, Javal) et surtout la façon d'utiliser les tests d'astigmatisme lors de la conduite de l'examen.

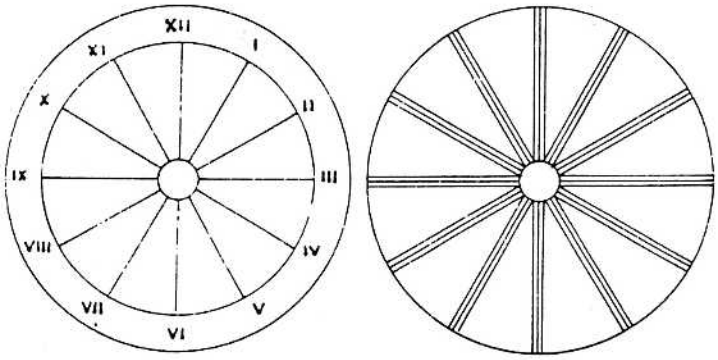
1. Les différents tests d'astigmatisme

a. Test de Parent

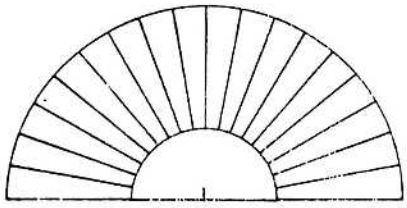
C'est une sorte de cadran horaire, dans lequel on a mené les rayons aboutissant aux heures et les valeurs des angles ainsi formés.

Les dimensions des chiffres et l'épaisseur des traits correspondent à une acuité de 6 à 7/10e.

Il y a avantage à ce que les rayons soient triples, le sujet voit mieux la direction la plus nette.



Il existe aussi des demi-cadrans de Parent, qu'on appelle éventails d'astigmatisme.

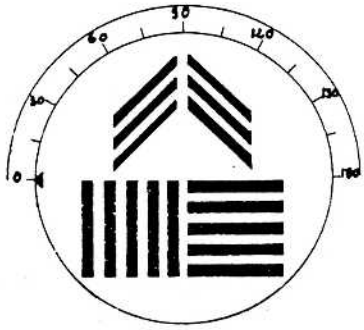


On reproche au test de Parent d'être peu précis.

Il s'agit en effet, comme nous allons le voir, de trouver la direction du trait vu le plus noir, et cela ne peut se faire à mieux que 10°, les traits faisant entre eux des angles de 30°.

On a donc créé d'autres tests, donnant des indications plus précises.

b. Tests tournants : Mires et chevrons de Foucault



Ce test est formé de barres parallèles horizontales, verticales et de chevrons.

La particularité de ce test est qu'il tourne autour d'un axe, perpendiculaire à son plan, ce qui permet de modifier la direction des traits qui le constituent.

La graduation du test est un schéma symétrique du TABO, de façon à ce que son indication soit celle de la lunette d'essai.

Il n'y a donc aucune transposition à faire.

2. Méthodes d'utilisation

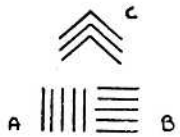
Principe

L'astigmatisme, nous l'avons vu, est un phénomène optique se traduisant par la décomposition de l'image en 2 focales.
Les 2 focales sont perpendiculaires entre elles et perpendiculaires à leur méridien d'origine.

La direction, des mires ou des barres, vue plus nette ou plus noire indique donc celle de la focale qui est la plus proche de la rétine.

Exemple

Prenons le cas d'un sujet ayant un astigmatisme myopique simple direct (que cette anomalie soit l'amétropie initiale ou que nous l'ayons rendu artificiellement en état d'astigmatisme myopique simple direct, par un verre convexe).



Projetons devant cet œil un test tournant (mires et chevrons de Foucault).

Question :

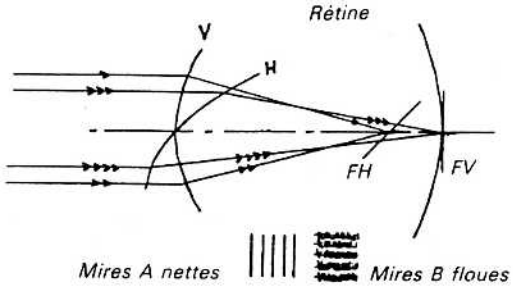
Quelles sont les barres vues plus nettes ou plus noires ou plus contrastées ?

Réponse :

Les barres verticales A.

Explication

Nous voyons que le méridien horizontal, « emmétrope », a donné naissance à une focale verticale située sur la rétine ; le méridien cornéen vertical, plus réfringent lui, a donné naissance à une focale horizontale située en avant.



Tous les points lumineux des barres A se projetteront sur la rétine dans une direction verticale qui sera vue nette.

Ce qui revient à dire que :

« la direction vue nette est perpendiculaire au méridien emmétrope ».

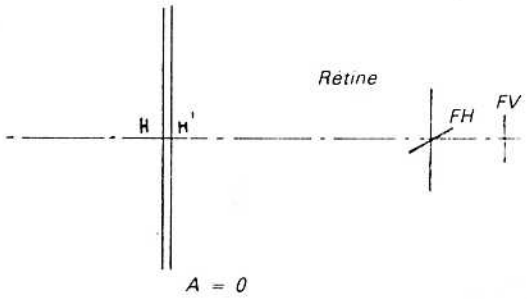
* Il ne faut utiliser ces tests qu'après avoir supprimé tout facteur accommodatif.

* La position de recherche d'un astigmatisme à l'aide des tests subjectifs ne doit être faite qu'en état d'astigmatisme myopique simple ou légèrement composé
(une focale sur ou très près de la rétine, l'autre bien en avant).

Les résultats seront entachés d'erreurs si on ne tient pas compte (donc si on ne maitrise pas) des phénomènes accommodatifs.

Pourquoi ?

Un sujet a naturellement tendance à accommoder sur sa focale verticale pour améliorer son acuité car l'espace objet n'est pratiquement formé que de droites verticales.



Si ce sujet a un astigmatisme hypermétropique simple, il risque d'accommoder et donc de modifier son astigmatisme en astigmatisme myopique simple.

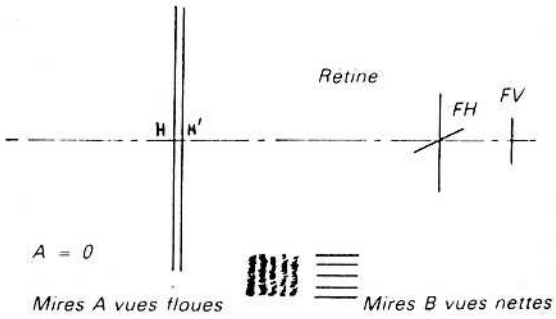
Exemple n° 1 : Attention !

Présentons un test d'astigmatisme à un sujet ayant un astigmatisme hypermétropique simple.

Au repos, l'accommodation provisoirement relachée, (A = 0) la réponse aux mires et chevrons sera

Mires A vues floues

Mires B vues nettes

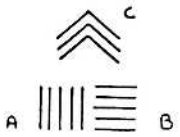


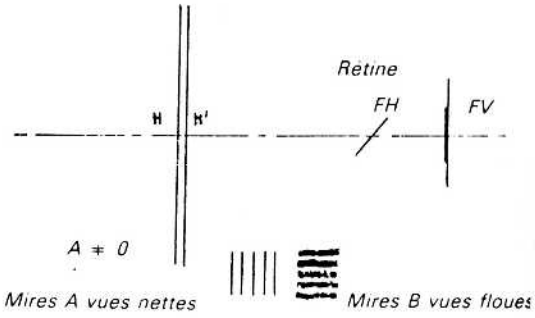
Il accommode sur sa focale verticale A ≠ 0, l'amenant sur la rétine et déplaçant donc la FH en avant.

Que se passe-t-il si à ce moment d'accommodation nous lui présentons de nouveau les mires et chevrons ? la réponse sera différente de la première et inversée.

Mires A nettes

Mires B floues





Le sujet est provisoirement en état d'astigmatisme myopique.

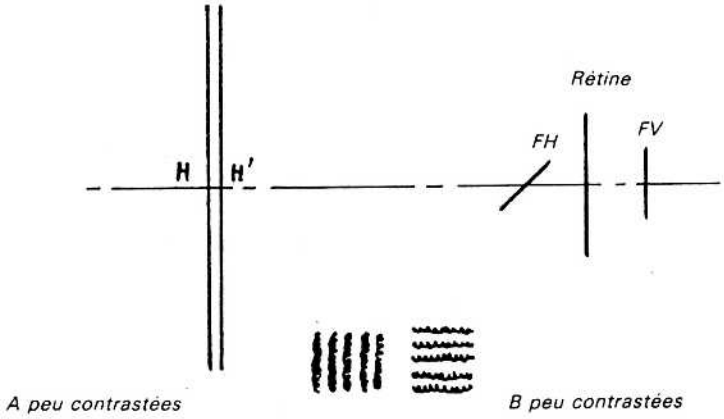
En le corrigeant comme tel, on risque d'avoir des problèmes de tolérance !

Exemple nº 2 : Attention !

On ne retrouvera aucune direction privilégiée si le sujet est en astigmatisme mixte.

Les 2 focales sont à égale distance et de part et d'autre de la rétine. L'acuité visuelle est parfois correcte car le cercle de moindre diffusion se trouve sur la rétine.

C'est la raison pour laquelle, lorsqu'on utilise la méthode du brouillard, il faut rebrouiller à la sphère au palier avant de présenter les tests d'astigmatisme.



Nous reverrons dans un autre chapitre l'intérêt des chevrons dans la précison de la position de l'axe d'astigmatisme.

C. LES VERRES ASTIGMATES

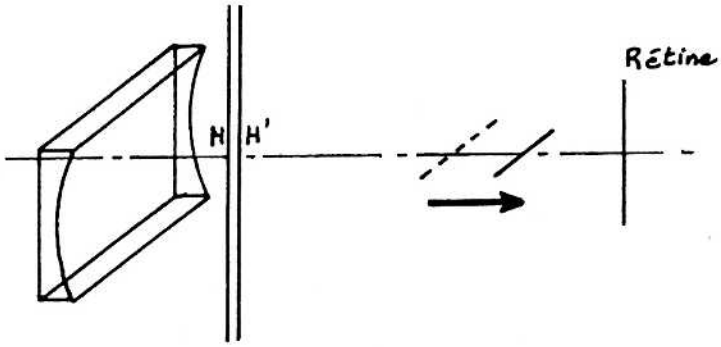
Généralités

La correction optique de l'œil astigmate se fait par l'adjonction d'un verre cylindrique. (Nous disposons de verres plan-cylindriques dans les boîtes d'essai).

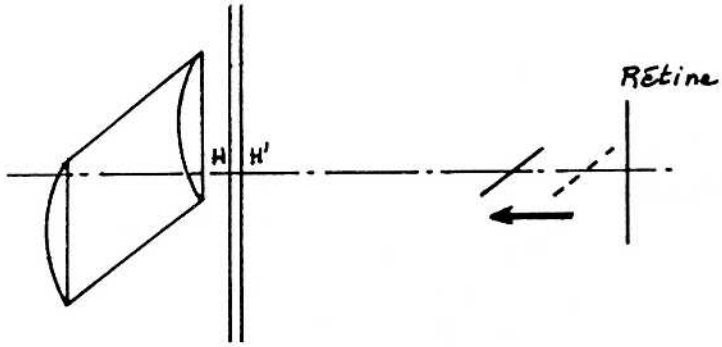
Le but est de ramener les 2 focales l'une sur l'autre, de façon à transformer le système astigmique en un système stigmatique, c'est-à-dire en une image ponctuelle.

La structure d'un verre cylindrique rappelle celle de l'œil astigmate ; c'est-à-dire que le verre comportera une face plane ne dévriant pas la lumière et une face cylindrique de puissance donnée.

Un cylindre concave placé devant un œil fait reculer la focale parallèle à son axe, par rapport à sa position initiale ; ce cylindre rapproche donc la focale antérieure de la postérieure.



Un cylindre convexe placé devant un œil fait avancer la focale parallèle à son axe, par rapport à sa position initiale ; il rapproche donc la focale postérieure de l'antérieure.

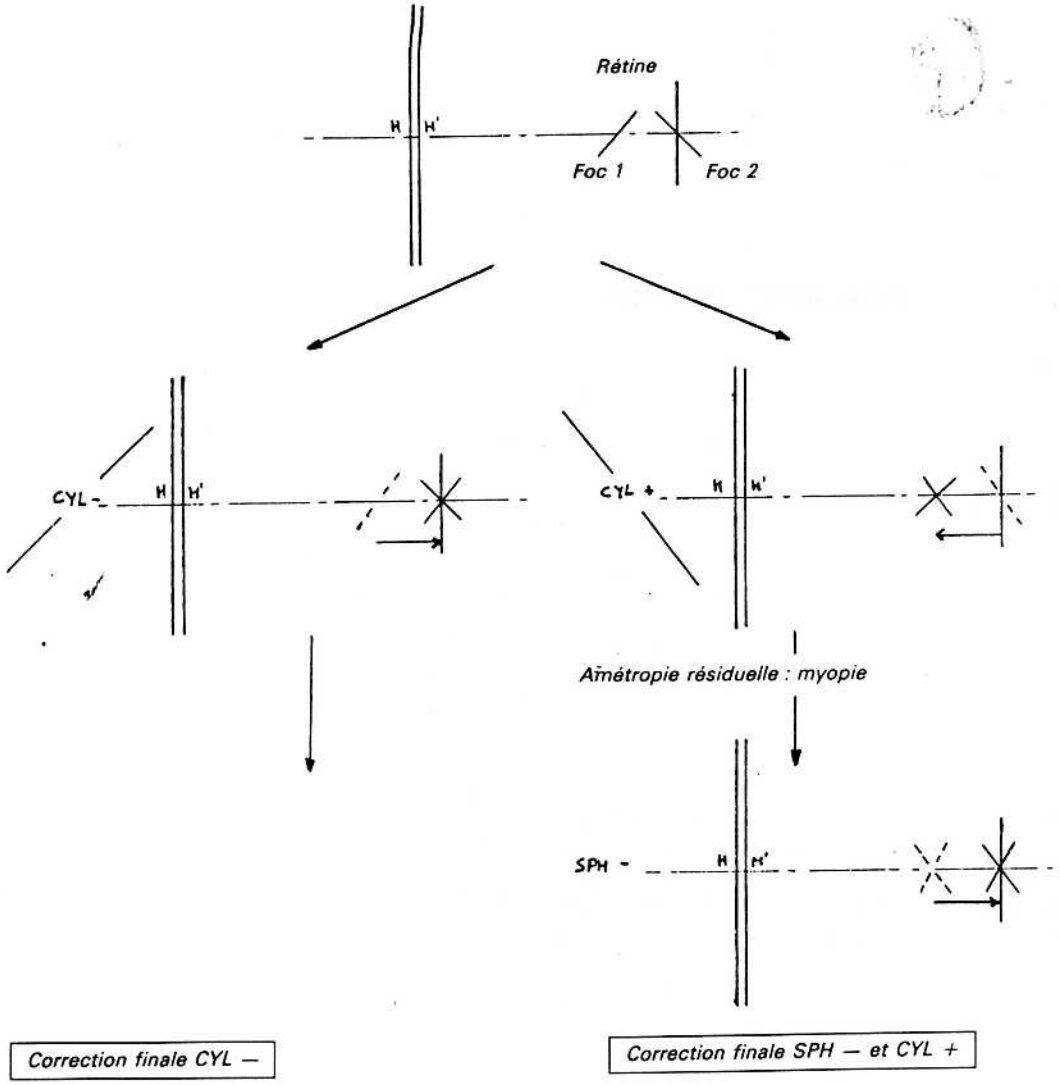


Une fois les 2 focales l'une sur l'autre, l'image est alors ponctuelle ; il peut exister une amétropie sphérique résiduelle que l'on corrigera par une sphère convexe ou concave.

On conçoit facilement que quel que soit l'astigmatisme, et pour le même astigmatisme on puisse utiliser en association une sphère et/ou un cylindre.

Exemple

* Correction d'un astigmatisme myopique simple sans tenir compte de sa forme directe ou inverse.



Tous les cas de figure peuvent être imaginés.

Dans la méthode du brouillard, pour corriger l'astigmatisme (qui est toujours, après rebrouillage à la sphère au palier, un astigmatisme myopique simple ou légèrement composé), on n'utilise que des cylindres ⊖

Il reste maintenant à étudier la structure de ce verre, sa notation, sa géométrie.

1. Définition

Des verres astigmates sont des verres correcteurs dont une des faces au moins est cylindrique ou torique.

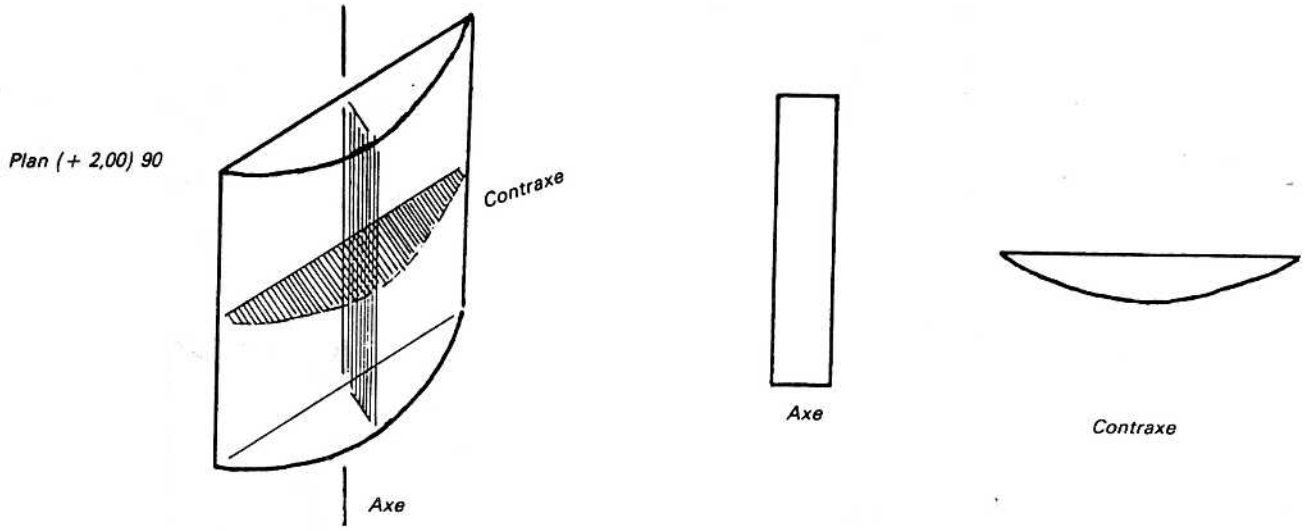
2. Différentes sortes de verres astigmates

a) Verres plan-cylindriques

* *Définition :*

Un verre plan-cylindrique est un verre dont une face est plane et l'autre cylindrique.

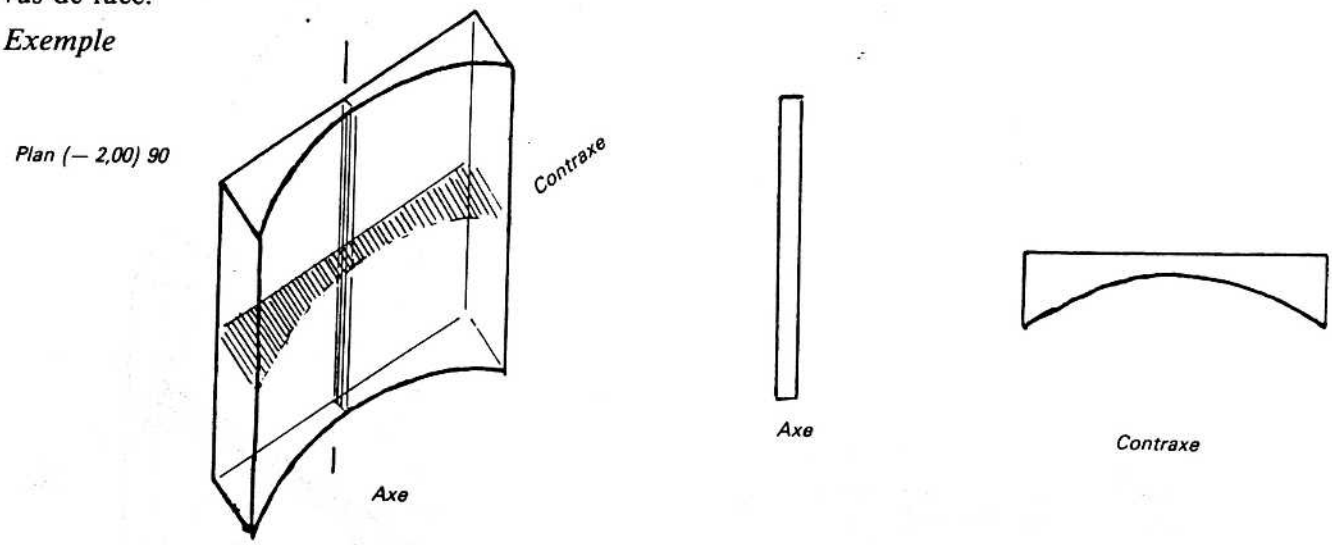
Exemple



* *Notations :*

soit le verre de formule : + 2 dioptries à 90°,
il s'écrit Plan (+ 2) 90°,
la puissance du cylindre est mise entre parenthèse et se schématise suivant les méridiens vus de face.

Exemple



* *Schématisation :*

On remarque à la coupe de ce verre que dans l'axe la puissance est nulle par contre qu'elle est maximale dans son contraxe.

ce qui revient à dire que :

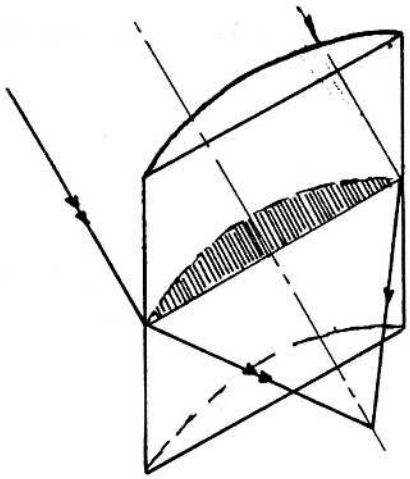
- **la puissance dans l'axe d'un plan cylindrique est nulle**
- **la puissance d'un plan cylindrique suivant son contraxe est maximum**

Étudions maintenant la marche des rayons lumineux à travers un verre plan cylindrique.

Chaque section se comporte optiquement, soit comme un verre plan convexe ou plan concave soit comme un verre plan suivant que l'on se place dans le contre axe ou dans l'axe du verre.

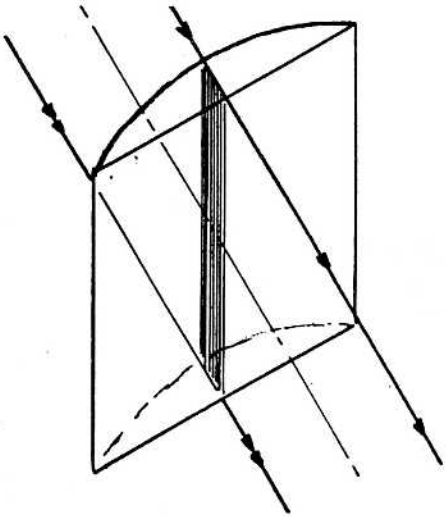
Contraxe du cylindre ⊕

C'est le méridien dans lequel s'exerce la puissance positive, donc il y a convergence du pinceau lumineux.



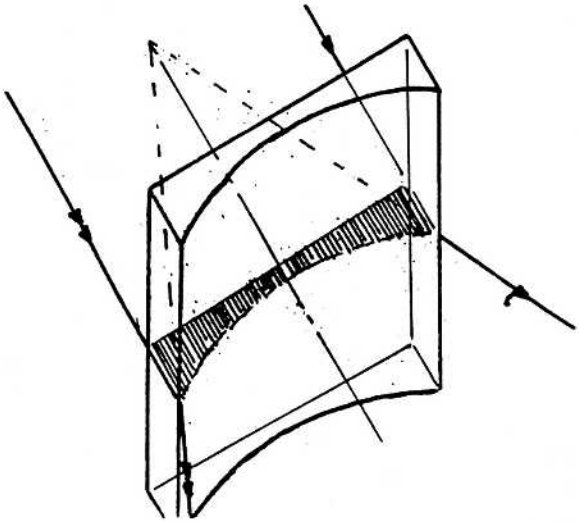
axe du cyl. ⊕

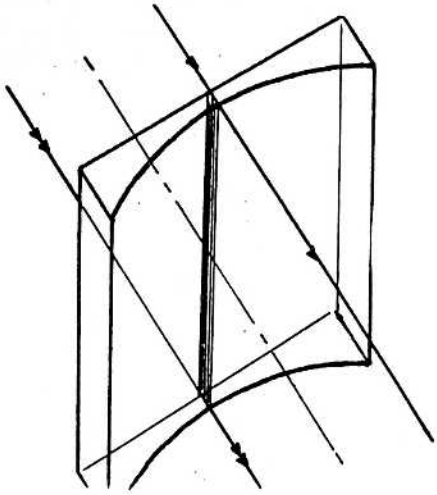
C'est le méridien de puissance nulle.
Il n'y a donc aucune modification de la marche des rayons.



Contraxe du cyl. ⊖

C'est le méridien où s'exerce la puissance négative, donc il y a divergence du pinceau lumineux.





axe du cyl. ⊖

C'est le méridien de puissance nulle. Il n'y a donc aucune modification de la marche des rayons.

b) Verres sphéro-cylindriques

* *Définition*

Un verre sphéro-cylindrique est un verre dont une des faces est sphérique, l'autre cylindrique.

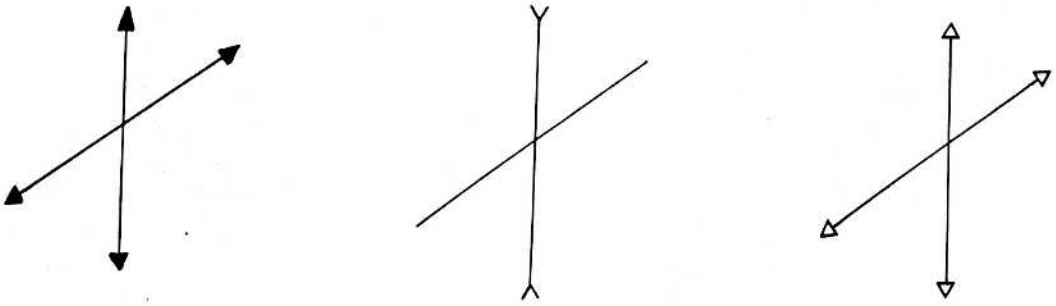
Nous pouvons avoir 4 combinaisons possibles :

- sphère concave combinée à un cylindre concave ;
- sphère concave combinée à un cylindre convexe ;
- sphère convexe combinée à un cylindre convexe ;
- sphère convexe combinée à un cylindre concave.

Les verres de lunettes produits par les usines françaises sont en général à face avant sphérique (sphère convexe), associée à une face arrière torique (cylindre concave), ceci pour des raisons esthétiques mais aussi optiques (meilleure qualité d'image).

Exemple

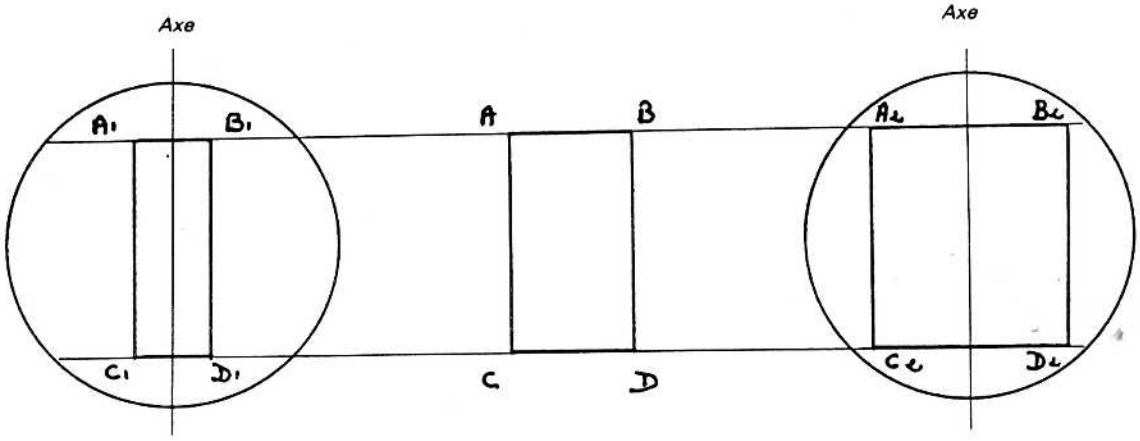
Sphère convexe combinée à un cylindre concave.



Sphère + cylindre = sphéro-cylindrique

c) Vision à travers un plan cylindrique

L'objet est un petit rectangle ; il est facile de repérer l'orientation de l'axe en observant un petit objet de forme régulière, rectangulaire, par exemple : un rectangle ABCD.

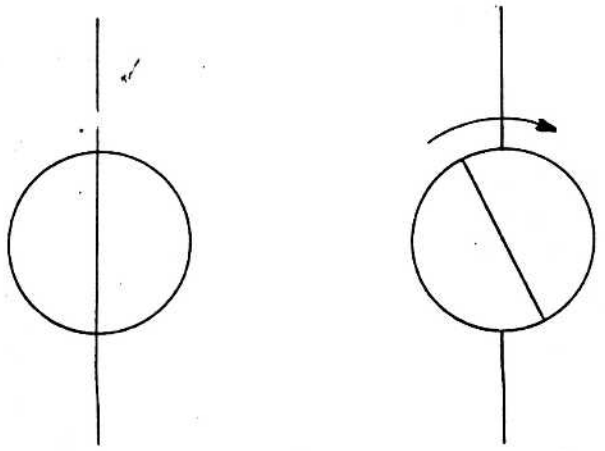


Plan cyl. ⊖

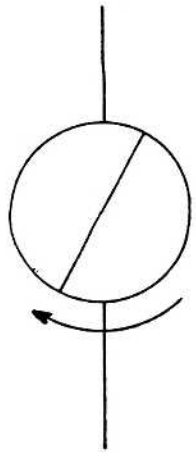
Image de même grandeur mais *diminuée à travers le plan cyl. concave.*

Plan cyl. ⊕

Image de même grandeur que l'objet mais élargie à travers le verre plan cyl. convexe.



Cyl. ⊕ rotation de l'image inverse de celle du verre.



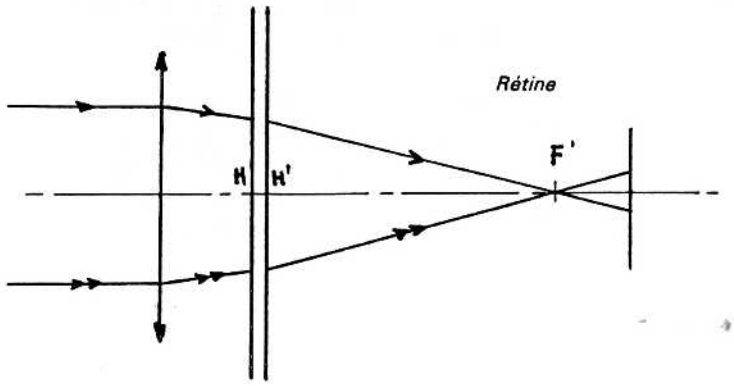
Cyl. ⊖ rotation de l'image dans le même sens que celle du verre.

C'est ce que l'on appelle « l'effet pendulaire ».

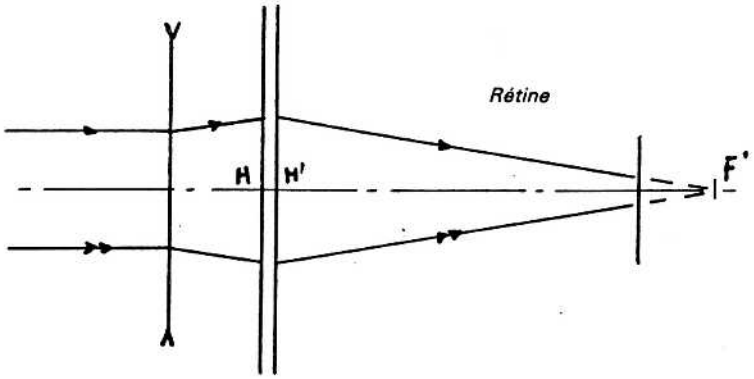
Récapitulatif

Se rappeler que :

1. **Chez l'hypermétrope, F' se trouve en arrière de la rétine ; la correction se fera à l'aide de sphère +**
2. **Chez le myope , F' se trouve en avant de la rétine ; la correction se fera à l'aide de sphère ⊖**
3. **Chez l'emmétrope F' est sur la rétine ;**

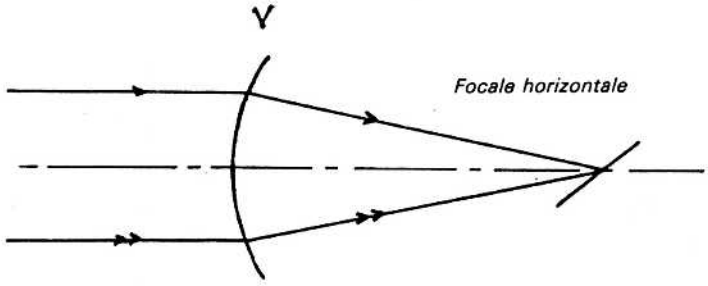


l'interposition d'une sphère ⊕ rend artificiellement myope un emmétrope.

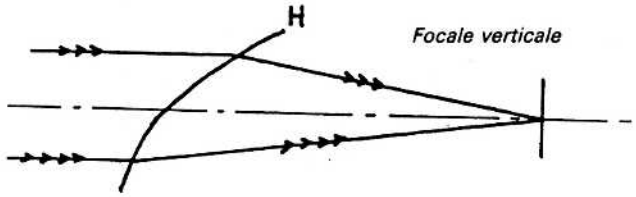


L'interposition d'une sphère ⊖ rend artificiellement hypermétrope un emmétrope.

Nous représentons schématiquement la cornée suivant ses 2 méridiens principaux V et H.



4. L'astigmatisme est un phénomène optique se traduisant par la décomposition de l'image en 2 focales perpendiculaires à leur méridien d'origine.



5. **Les tests d'astigmatisme** ne sont utilisés qu'en état **d'astigmatisme myoptique simple** ou **légèrement composé.**
6. **La direction vue nette est perpendiculaire au méridien emmétrope.**
7. **L'action d'un plan cylindrique est nulle sur son axe et maximale sur son contraxe.**
8. **Un cylindre négatif recule la focale parallèle à son axe.**
9. **Un cylindre positif avance la focale parallèle à son axe.**

En conclusion

La réfraction oculaire dépend de 4 paramètres principaux :

* La longueur axiale qui va du sommet de la cornée au pôle postérieur rétinien. Une variation de 1 mm de longueur axiale va entraîner une modification de réfraction de 3 dioptries.

* Le rayon de courbure cornéen.

La puissance du dioptre cornéen est d'environ 43,00 δ.
Une variation de courbure cornéenne de 1 mm entraîne un changement de réfraction de 5 dioptries.

* La puissance cristallinienne

Le cristallin est une lentille biconvexe, de structure complexe, dont la puissance totale (calculs de Gullstrand, est d'environ 19,11 dioptries dans son milieu.

L'aphaque réalise une amétropie réfractive de 11,73 dioptries (chiffre théorique calculé chez un sujet antérieurement emmétrope, ayant une longueur axiale de 24,38 mm).