

Formation des images avec des lentilles minces sphériques

Les lentilles sphériques sont les éléments essentiels de la plupart des instruments optiques : verres de lunette, loupe et oculaire, objectif d'appareil à photo.

Une lentille mince sphérique est constituée d'un matériau très transparent comme le verre dont les deux faces sont de géométries sphériques.

Les lentilles minces vérifient la condition de stigmatisme approché lorsqu'elles sont éclairées en incidence peu inclinée et proche de l'axe optique.

I- Cas particuliers d'objet et d'image conjugués.

1°) Centre optique

A une lentille est associé un axe de symétrie qu'on appellera axe optique. Cet axe optique passe à travers la lentille par le centre optique noté O.

Faisons passer un rayon lumineux par ce centre optique O : nous constatons qu'il n'est pas dévié.

Tous les rayons incidents se croisant en O émergent de la lentille en provenant de ce même point O.

Le centre optique est sa propre image conjuguée.

2°) Foyer objet et foyer image - Plans focaux.

Eclairons la lentille par un faisceau de rayons se croisant en un point que l'on note F de manière à émerger parallèlement à l'axe optique. Les rayons transmis « se croisent à l'infini ».

Le foyer objet est l'objet conjugué d'une image située sur l'axe à l'infini.

De même, éclairons la même lentille avec un faisceau de rayons parallèles ; après la lentille, ils convergent vers un point que l'on note F'.

Le foyer image est l'image conjuguée d'un objet situé sur l'axe à l'infini.

Nous constatons que le foyer objet et le foyer image sont symétriques par rapport au centre optique.

Nous définissons de même :

- le plan focal image : plan perpendiculaire à l'axe optique contenant le foyer image. Tout rayon incident parallèle émerge de la lentille en passant par un point du plan focal image.
- le plan focal objet : un faisceau de rayons incidents se croisant en un point du plan focal objet, émerge de la lentille parallèlement.

Remarque : tous les objets situés « à l'infini » ont une image conjuguée dans un même plan ; nous retrouvons la condition d'aplanétisme.

3°) Lentilles minces sphériques

Nous trouvons deux types de lentilles minces sphériques : voir document 4. La surface à gauche est considérée comme la première surface, celle qui reçoit en premier la lumière.

Les lentilles convexes (l'épaisseur est supérieure au centre qu'en périphérie) dévient les rayons vers leur axe principal : ce sont des lentilles convergentes.

Les lentilles concaves (l'épaisseur est supérieure en périphérie qu'au centre) dévient les rayons en les éloignant de leur axe : ce sont des lentilles divergentes.

Nous constatons que :

- pour une lentille convergente, le foyer objet se situe avant la lentille, le foyer image après.
- pour une lentille divergente, le foyer objet se situe après la lentille, le foyer image avant.

Les foyers F et F' objet et image et le centre optique O sont situés sur l'axe de symétrie de la lentille. Cet axe est un axe orienté dans le sens de propagation de la lumière.

Chaque lentille est caractérisé par la distance focale f' définie par :

$$f' = \overline{OF'}$$

Pour une lentille convergent $f' > 0$.

Pour une lentille divergente $f' < 0$.

On trouve également pour caractériser une lentille la vergence V :

$$V (\delta) = \frac{1}{f'(m)}$$

La vergence s'exprime en dioptrie ($1\delta = 1m^{-1}$).

Remarque :

- pour une lentille convergente, plus l'épaisseur au centre est importante, plus sa vergence est élevée et/ou sa distance focale est petite.
- pour une lentille divergente, plus grande est sa concavité plus sa vergence est élevée en valeur absolue et ou sa distance focale petite en valeur absolue.

II- Modélisation d'une lentille mince ; application aux constructions graphiques.

Il est commode de représenter une lentille mince en la réduisant à un plan perpendiculaire à son axe de symétrie encore appelé l'axe optique, contenant un point remarquable : le centre optique O. A cette lentille est associée deux autres points remarquables : les foyers objet et image F et F'.

Dans les conditions de Gauss : rayon peu inclinés et proches de l'axe optique, une lentille mince est un instrument optique qui vérifie la condition de stigmatisme. A tout point objet, point d'intersection des rayons qui éclairent la lentille, correspond un point image unique point d'intersection des rayons déviés par cette même lentille.

Le tracé de deux rayons provenant du point objet et se croisant après avoir traversé la lentille, suffit pour déterminer la position du point image conjugué.

La détermination graphique de la position de l'image connaissant celle de l'objet, utilise donc les propriétés des points remarquables que sont : le centre optique, les foyers objet et image, les foyers secondaires objet et image.

Nous symbolisons un objet par un segment AB **orienté positivement vers le haut**.

A est placé sur l'axe optique ; un rayon passant par A (l'objet) parallèle à l'axe optique, donc passant par O n'est pas dévié. L'image de A est donc située sur l'axe optique.

La lentille vérifie la condition d'aplanétisme : les images B' de B et A' de A sont donc situés dans un même plan perpendiculaire à l'axe optique.

Document 5 : lentille convergente, $\overline{AB} > 0$

Cas 1 : objet réel $\overline{AO} > 2f'$: image réelle, plus petite inversée ($\overline{A'B'} < 0$).

Cas 2 : objet réel $f' < \overline{AO} < 2f'$: image réelle, plus grande inversée ($\overline{A'B'} < 0$).

Cas 3 : objet réel $\overline{AO} = f'$: image à l'infini.

Cas 4 : objet réel $\overline{AO} < f'$: image virtuelle, plus grande droite ($\overline{A'B'} > 0$).

Cas 5 : objet virtuel : image réelle, plus petite droite ($\overline{A'B'} > 0$).

Document 6 : lentille divergente, $\overline{AB} > 0$.

Cas 1 : objet réel : image virtuelle, plus petite droite ($\overline{A'B'} > 0$).

Cas 2 : objet virtuel $-f' > \overline{OA}$: image réelle, plus petite droite ($\overline{A'B'} > 0$).

Cas 3 : objet virtuel $\overline{OA} = -f'$: image à l'infini.

Cas 4 : objet virtuel $-f' < \overline{OA} < -2f'$: image virtuelle, plus grande inversée ($\overline{A'B'} < 0$).

Cas 5 : objet virtuel : image virtuelle, plus petite inversée ($\overline{A'B'} < 0$).

Nous mettons en évidence des situations physiques particulières :

- objet réel : tous les rayons qui éclairent la lentille proviennent de l'objet ;
- objet virtuel : tous les rayons qui éclairent la lentille semblent se propager vers un point situé après la lentille ;
- image réelle : tous les rayons émergeant de la lentille se coupent en un point ; ce point peut être matérialisé par un écran ; on ne le voit que si notre œil est situé après ;
- image virtuelle : les rayons émergeants de la lentille semblent provenir d'un point situé avant la lentille ; elle ne peut pas être matérialisée par un écran ; elle peut être vue par l'œil s'il regarde à travers la lentille.

IV- Relation de conjugaison et grandissement des lentilles minces

Les constructions graphiques ci-dessus tracées, nous permettent de déduire des relations entre différentes longueurs.

1°) Relation du grandissement

Le grandissement transversal est une grandeur algébrique définie par l'expression :

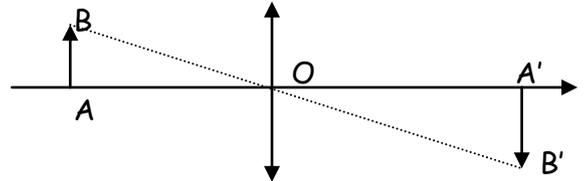
$$\gamma = \frac{A'B'}{AB}$$

$\gamma > 1$: image plus grande, droite ;

$1 > \gamma > 0$: image plus petite droite ;

$0 > \gamma > -1$: image plus petite inversée ;

$\gamma < -1$: image plus grande inversée.



La construction ci-après permet de déduire la relation :

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$$

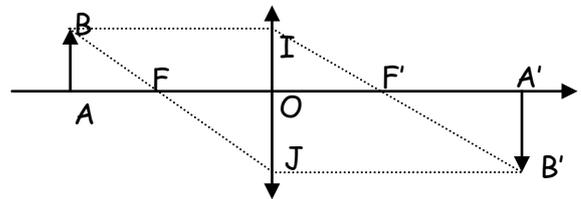
2°) Formule de Newton

$$\frac{AB}{AF} = \frac{OJ}{OF} \text{ et } \frac{OJ}{OF'} = \frac{A'B'}{A'F'}$$

$$\text{Comme } OJ = A'B' \text{ et } OI = AB$$

Nous déduisons :

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{A'F'}{OF'} = \frac{OF}{AF}$$



D'où la **formule de Newton** : $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = \overline{OF} \cdot \overline{OF'} = -f'^2$

3°) Formule de Descartes

$$\overline{FA} = \overline{OA} - \overline{OF} = \overline{OA} + \overline{OF'}$$

et

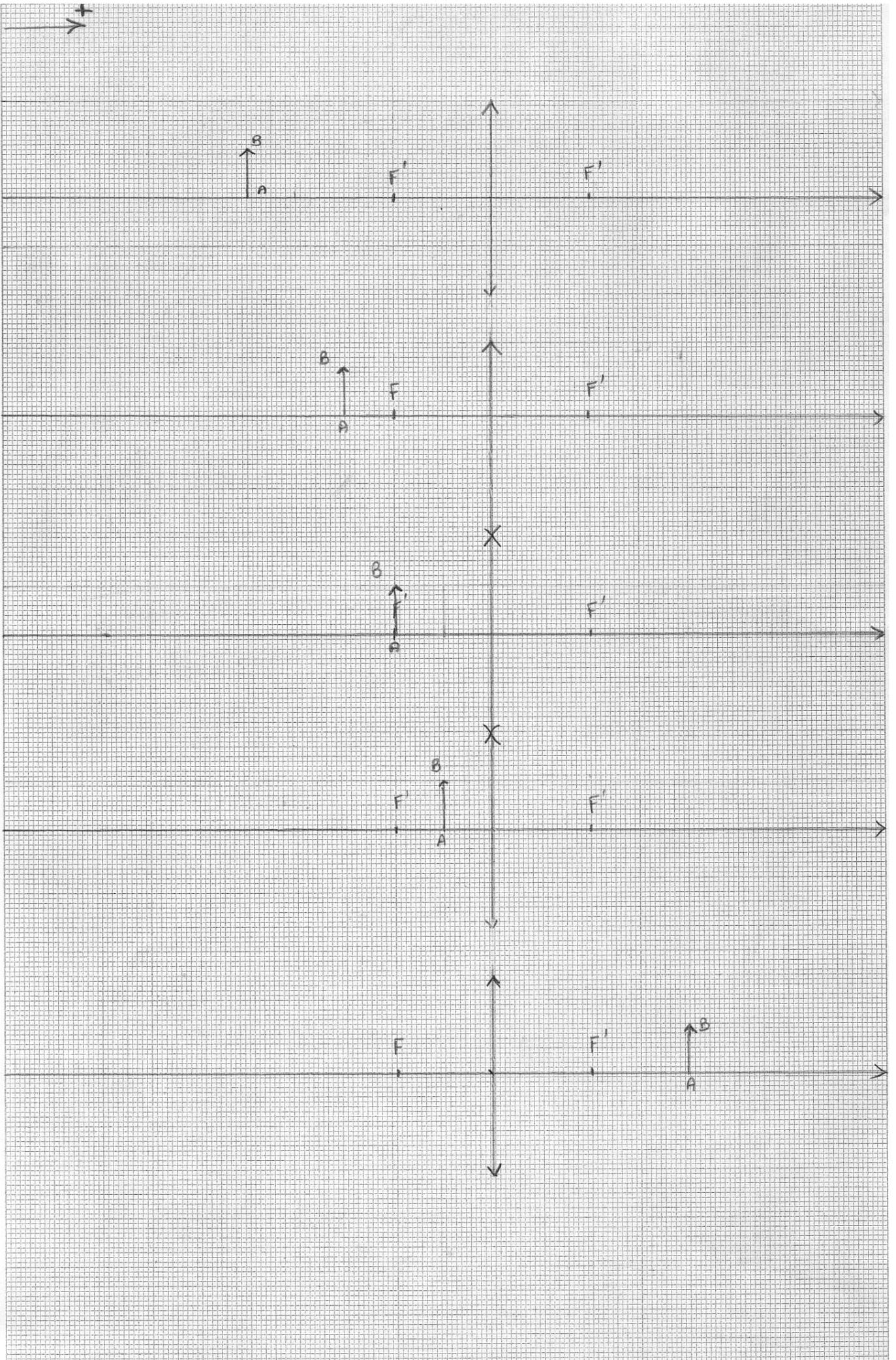
$$\overline{F'A'} = \overline{OA'} - \overline{OF'}$$

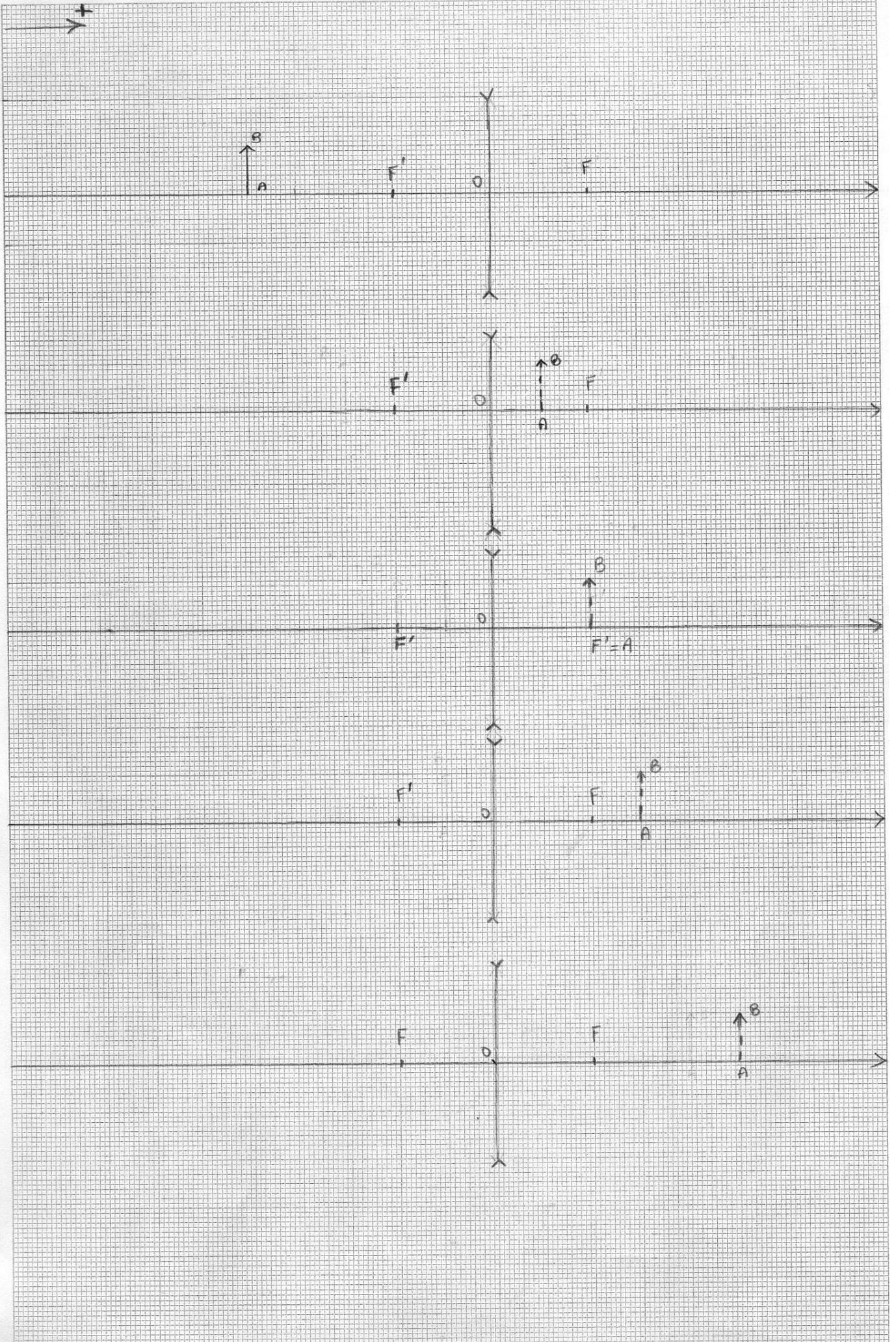
A partir de la relation de conjugaison de Newton nous obtenons :

$$-\overline{OF'} \cdot \overline{OA} - \overline{OF'} \cdot \overline{OA'} + \overline{OA'} \cdot \overline{OA} = 0$$

En divisant par $\overline{OF'} \cdot \overline{OA} \cdot \overline{OA'}$, nous obtenons :

la **formule de Descartes** $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'} = V$

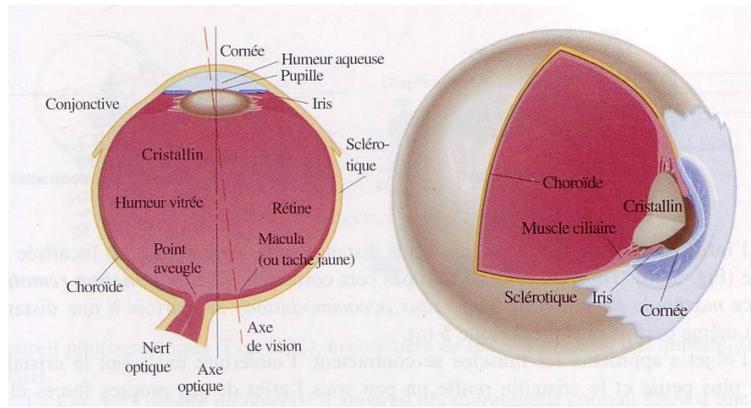




L'œil humain

L'œil est un globe presque sphérique (24mm de profondeur et environ 22 mm de largeur).

La cornée est le premier et le plus convergent élément de l'œil. La plus grande déviation subie par un faisceau de rayons lumineux par l'œil a lieu à l'interface air-cornée. (la mauvaise visibilité dans l'eau est due à un indice de l'eau (1,333) très proche de celui de la cornée (1,376)).



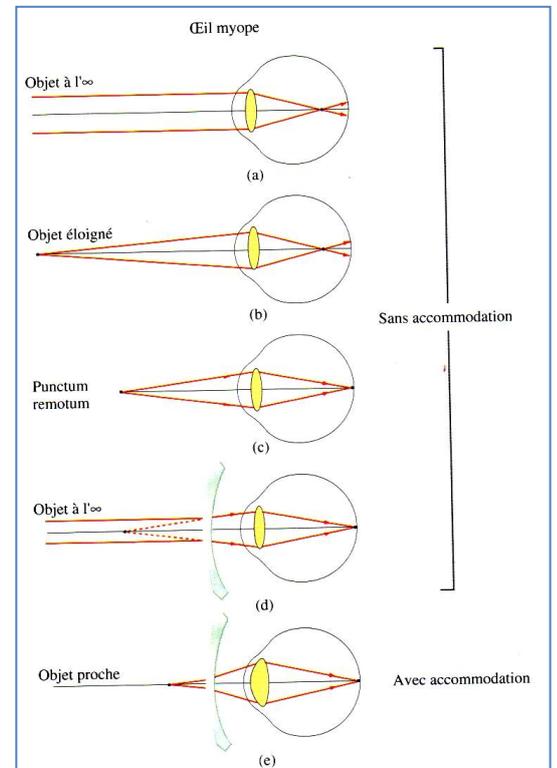
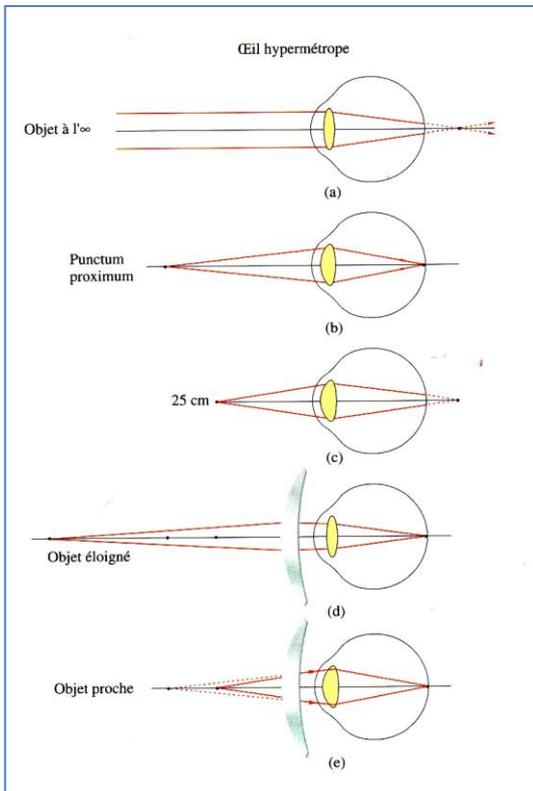
Derrière la cornée, nous trouvons **le cristallin**, une lentille complexe de distance focale environ 15,6 mm et qui permet d'avoir des images sur la rétine située à environ 24,3 mm derrière la cornée. ce système a un centre optique situé à 17,1 mm devant la rétine.

La rétine est un transducteur qui convertit l'énergie électromagnétique reçue en impulsions électriques qui sont transmises par les nerfs optiques et traitées par le cerveau.

La mise au point ou **accommodation** est effectuée par le cristallin. La distance centre optique à l'image (c'est-à-dire au niveau de la rétine) est fixe. Un anneau circulaire de muscles permet de comprimer le cristallin assez flexible, d'augmenter sa courbure et ainsi diminuer sa distance focale.

Lorsque les muscles sont totalement détendus c'est-à-dire **l'œil au repos**, la lumière provenant d'un objet à l'infini (en pratique au-delà de 5 m) est focalisé sur la rétine.

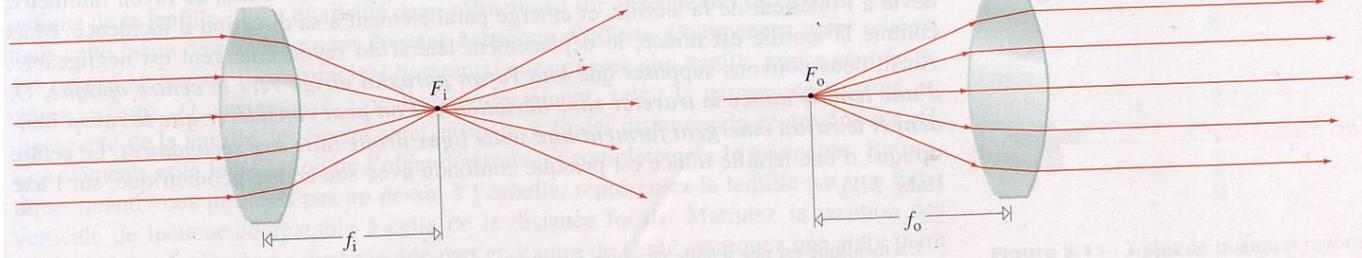
L'accommodation est toutefois limitée : le point le plus proche dont le cristallin peut fournir une image nette sur la rétine (punctum proximum : distance minimale de vision nette) varie de 7cm pour un enfant à 12 cm après vingt ans jusqu'à 400 cm pour une personne âgée (C'est la presbytie).



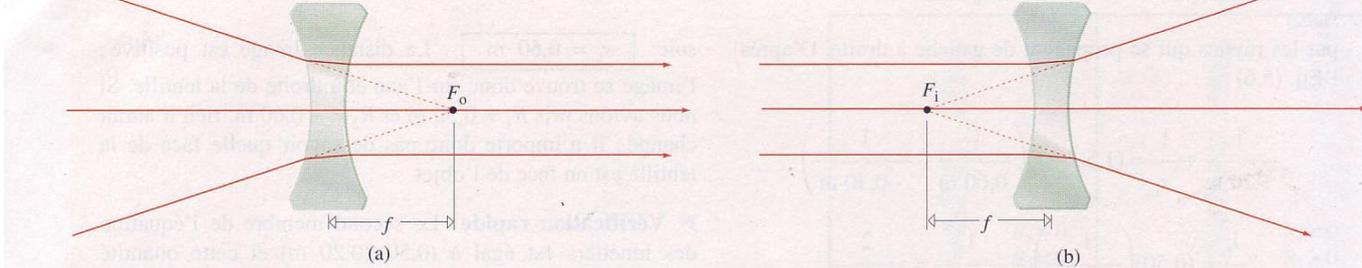
Correction de l'œil hypermétrope. (a) Un œil hypermétrope focalise un faisceau de lumière parallèle en un point au-delà de la rétine. (b) Le punctum proximum de cet œil est plus éloigné que celui d'un œil normal, qui est environ 25 cm. (c) L'image des objets à 25 cm se forme derrière la rétine, même lorsque l'œil accommode au maximum. (d) En augmentant la convergence à l'aide d'une lentille convergente placée devant l'œil, on peut voir clairement les objets éloignés sans accommodation. (e) Un objet situé à 25 cm, a son image ramenée à la rétine; il peut donc être vu, lorsque l'œil accommode au maximum.

Correction de l'œil myope. (a) L'œil myope focalise un faisceau de lumière parallèle en un point devant la rétine. (b) L'image d'un objet éloigné se forme devant la rétine. (c) L'image d'un objet qui se trouve au punctum remotum se forme sur la rétine sans accommodation. (d) On réduit la convergence à l'aide d'une lentille divergente placée devant l'œil. Les objets éloignés peuvent alors être vus clairement sans accommodation. (e) Les objets proches sont vus nettement avec accommodation.

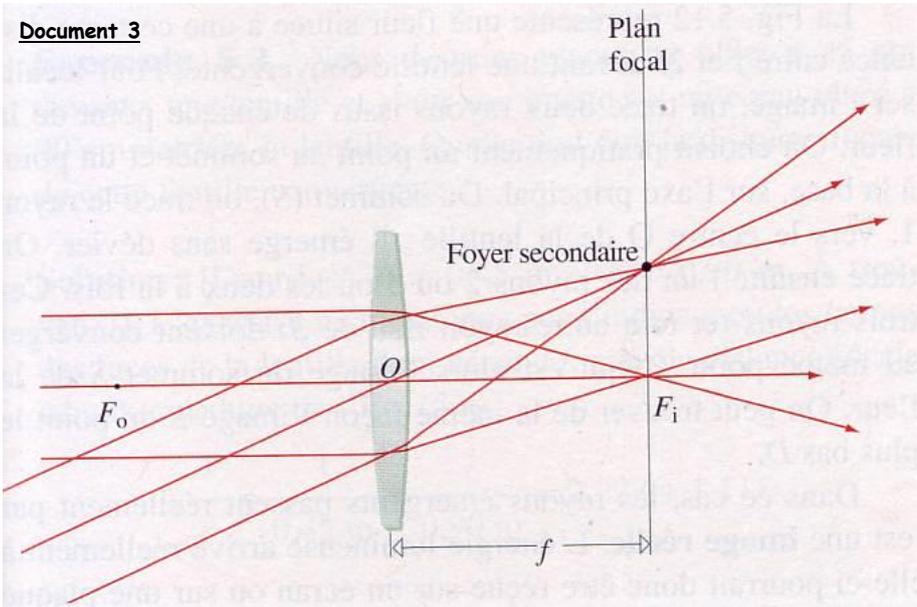
Document 1



Document 2



Document 3



Document 4

Convergente	Divergente
 Biconvexe	 Biconcave
 Plan convexe	 Plan concave
 Ménisque convergent	 Ménisque divergent