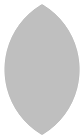
Chapitre 3 : Lentilles minces sphériques

1 Lentilles minces sphériques

1.1 Lentille sphérique

Une lentille sphérique est une portion de MHTI, d'indice n, limitée par deux dioptres sphériques ou bien un dioptre sphérique et un dioptre plan. C'est donc un système centré. On distingue deux types de lentilles : les lentilles ***convergentes*** et ***divergentes***.

LENTILLES CONVERGENTES

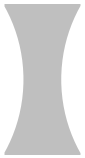


lentille biconvexe

lentille plan convexe

ménisque convergent

LENTILLES DIVERGENTES



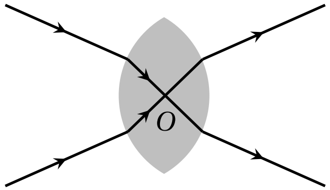
lentille biconcave

lentille plan concave

ménisque divergent

1.2 Centre optique

Def : Le centre optique est le point de l'axe optique tel qu'un rayon incident passant par ce point émerge parallèle à lui-même.

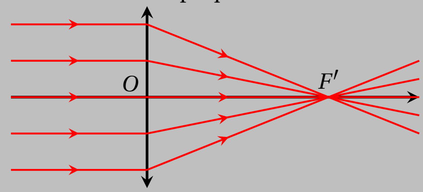


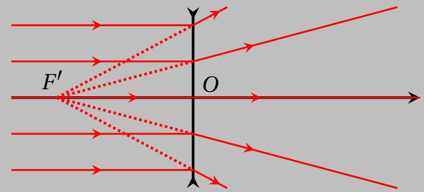
1.3 Lentilles minces

On appelle *lentille mince* sphérique une lentille dont l'épaisseur est "faible". Dans cette approximation, les sommets des deux dioptres se confondent quasiment avec le centre optique.
On admet que pour une lentille mince, dans les conditions de Gauss, *tous les points de la surface de la lentille sont leur propre conjugué par la lentille.* C'est pourquoi on symbolise une lentille mince par un plan de front passant par O.

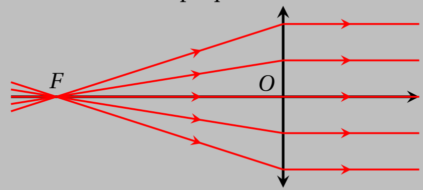
1.4 Foyers principaux

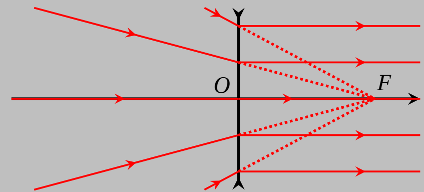
Def : On appelle ***foyer principal image*** le conjugué par un système optique d'un point objet à l'infini sur l'axe optique.





Def : On appelle ***foyer principal objet*** le conjugué par un système optique d'un point image à l'infini sur l'axe optique.





Rq1 : Les foyers principaux d'une lentille CV sont réels tandis que ceux d'une lentille DV sont virtuels.
Rq2 : F et F' sont *symétriques l'un de l'autre par rapport au centre optique.*

1.5 Distance focale, vergence

Def : La distance focale et la vergence d'une lentille mince sont définies par :

$$\boldsymbol{f' = \overline{OF'}} \quad \text{et} \quad \boldsymbol{V = 1/f'}$$

La vergence s'exprime en *dioptries* (δ). La distance focale (la vergence) d'une lentille CV est *positive* tandis que celle d'une lentille DV est *négative.*

1.6 Plans focaux

Les sytèmes centrés sont aplanétiques si l'on se place dans les conditions de Gauss. Par conséquent, un objet transverse se trouvant dans un plan de front $(\mathscr{P})$ donne une image elle aussi dans un plan de front $(\mathscr{P}')$. On dit que les plans $(\mathscr{P})$ et $(\mathscr{P}')$ sont conjugués par le système optique.

Def : On appelle ***plan focal image*** le conjugué par un système optique d'un plan de front à l'infini en amont de la lentille. C'est le plan de front passant par le foyer image.

Def : On appelle ***plan focal objet*** le conjugué par un système optique d'un plan de front à l'infini en aval de la lentille. C'est le plan de front passant par le foyer objet..

1.7 Foyers secondaires

Def : On appelle ***foyer secondaire image*** le conjugué par un système optique d'un point objet à l'infini hors de l'axe optique. Les foyers secondaires images se trouvent dans le plan focal image.

Def : On appelle ***foyer secondaire objet*** le conjugué par un système optique d'un point image à l'infini hors de l'axe optique. Les foyers secondaires images se trouvent dans le plan focal objet.

2 Constructions géométriques

2.1 Construire l'image d'un objet transverse à distance finie

Méthode : Il suffit de tracer la marche de deux rayons pour déterminer l'image d'un objet transverse. On choisit donc deux rayons parmi les trois rayons incidents particuliers :

a) Le rayon incident qui passe par le centre optique. Il émerge sans être dévié.

b) Le rayon incident parallèle à l'axe optique. Il émerge en passant par le foyer image.

c) Le rayon incident qui passe par le foyer objet. Il émerge parallèle à l'axe optique.

Rappel : Pour déterminer la position d'un point image, il faut trouver le point d'intersection de deux rayons ***émergents***.

Prudence : Ne pas oublier qu'un rayon incident doit toujours passer par le point objet. Dans le cas où l'objet est virtuel, c'est le prolongement du rayon incident qui passe par le point objet.

2.2 Construire l'image d'une source étendue à l'infini

Méthode : Il faut se rappeler qu'une source à l'infini donne une image dans le plan focal image de la lentille. Ici, il suffit de tracer un seul rayon, celui qui passe par le centre optique, et regarder le point d'intersection du rayon émergent avec le plan focal image.

2.3 Construire un rayon émergent issu d'un rayon incident quelconque

Méthode : On peut proposer deux méthodes pour cette problématique :

1) Placer un point B quelconque sur le rayon incident puis chercher l'image B' du point B à l'aide de la méthode (2.1.). Le rayon émergent passe forcément par B'.

2) Imaginer que le rayon provient d'une source ponctuelle fictive B_∞ à l'infini. Chercher l'image B' de cette source fictive par la lentille (à l'aide d'un rayon passant par le centre optique). Le rayon émergent passe forcément par B'.

2.4 Construire l'image d'un point de l'axe optique

Méthode : Là encore, deux méthodes sont possibles :

1) Imaginer un objet transverse passant A et construire son image par la méthode (2.1.) pour trouver la position de A'.

2) Tracer un rayon incident quelconque passant par A et utiliser la méthode (2.3.). Le point A' se trouve à l'intersection du rayon émergent et de l'axe optique.

3 Relations de conjugaison et grandissement

3.1 Grandissement

Def : On considère un objet transverse AB à distance finie donnant l'image $A'B'$ par une lentille. On défini le grandissement de cet objet par :

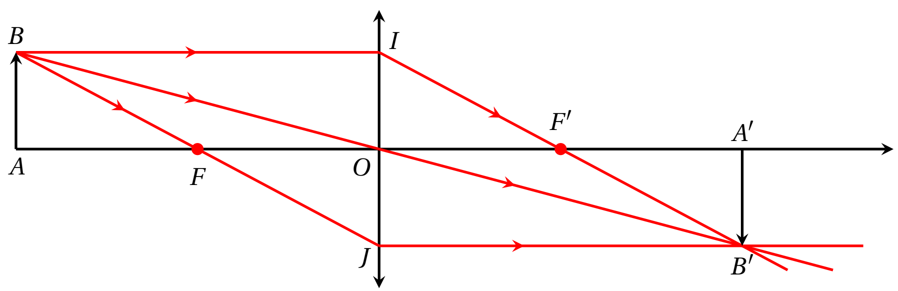
$$\boxed{\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}}$$

si $\gamma > 0$, l'image est ***droite***. Si $\gamma < 0$, l'image est ***renversée*** par rapport à l'axe optique.

si $|\gamma| > 1$, l'image est ***agrandie***. Si $|\gamma| < 1$, l'image est ***rétrécie***.

À l'aide d'une construction géométrique (voir page suivante), on peut donner plusieurs expressions du grandissement d'une lentille mince.

$$\boxed{\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{f'}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}}$$



3.2 Relations de conjugaison

A partir des trois expressions du grandissement, on peut construire deux relations de conjugaisons qui relient les positions de A et A'.

Relation de conjugaison de **NEWTON** (origines aux foyers) :

$$\overline{FA}.\overline{F'A'} = -f'^2$$

Relation de conjugaison de **DESCARTES** (origine au centre) :

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

3.3 Association de deux lentilles accolées

L'association de deux lentilles minces accolées est équivalent à une seule lentille mince dont la vergence équivalente est égale à la somme des vergences des deux lentilles accolées.

$$V = V_1 + V_2 \quad \text{ou} \quad \frac{1}{f'} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2}$$

3.4 Condition de formation de l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente

On souhaite projeter l'image d'un objet réel transverse AB sur un écran à l'aide d'un lentille convergente de distance focale f'. Nous allons démontrer que cela n'est possible qu'à condition de l'écran soit suffisamment éloigné de l'objet. Plus précisément, nous allons démontrer que la distance D entre un objet réel et son image réelle formée par une lentille convergente vérifie toujours :

$$D \geq 4f'$$

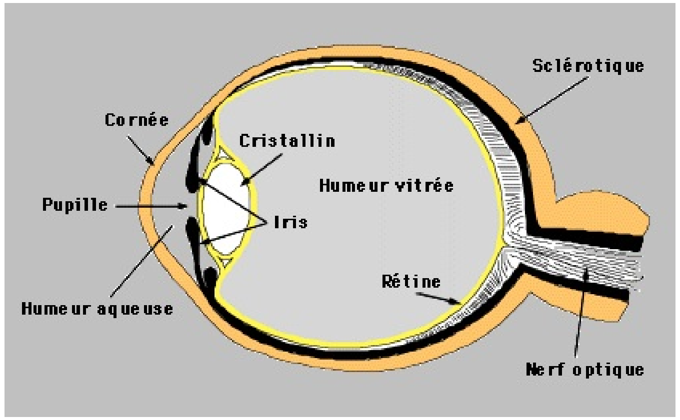
Cette condition impose des contraintes en termes d'espace. Plus la distance focale de la lentille est élevée et plus la distance objet/écran est importante. Il faudra en tenir compte en TP lorsque vous voudrez projeter des images sur un écran car vous serez limités par la longueur des bancs optique (environ deux mètres).

4 Applications

4.1 L'œil

4.1.1 Propriétés

L'œil permet de capter la lumière visible et de transmettre le signal lumineux au cerveau par le nerf optique pour élaborer une image. On modélise l'œil de manière très simple pour étudier, en première approximation, quelques unes de ses propriétés. L'œil est constitué :



- D'un diaphragme : la ***pupille***. Selon l'intensité de la lumière incidente, la pupille s'ouvre ou se ferme pour éviter l'éblouissement ou au contraire capter un maximum de lumière quand il fait sombre.
- D'une lentille convergente : le ***cristallin***. Pour simplifier, nous supposerons que le cristallin peut être assimilé à une lentille mince convergente. Le cristallin est entouré de muscles qui, lorsqu'ils se contractent, permettent de le déformer et ainsi de diminuer sa focale. C'est ce qu'on appelle l'***accomodation***. Par conséquent, on modélise le cristallin par une ***lentille mince convergente de focale variable***. (au repos, la focale de l'oeil est d'environ 2 cm).
- D'un écran : la ***rétine***. Située dans la partie la plus interne de l'œil, cette membrane photosensible est tapissée de cellules nerveuses appelées cônes et bâtonnets, sensibles au rayonnement visible. La distance entre le cristallin et la rétine est supposée **fixe**.

L'œil possède une résolution angulaire (***pouvoir séparateur***) de l'ordre d'une minute d'arc.

4.1.2 Œil emmétrope (sans défaut)

Lorsque les muscles du cristallin sont au repos (œil au repos), le plan de la rétine est conjugué par le cristallin avec un plan objet à l'infini. Autrement dit, ***l'œil au repos voit net à l'infini***.

Pour faire une mise au point sur un objet à distance finie, le cristallin se déforme (l'œil accomode). La contraction des muscles du cristallin doit être continue si l'on veut fixer longtemps un objet à distance finie. Cela s'accomppagne, au bout d'un certain temps, d'une fatigue et éventuellement de douleurs si l'accomodation est trop intense et trop longue.

L'accomodation a une limite et l'on ne peut pas voir les objets qui sont trop proches de l'œil.

On appelle ***punctum remotum*** (PR) le point de l'espace qui est vu net au repos. on note D_m la distance entre l'œil et le PR. Pour un œil emmetrope, le PR se situe à l'infini ($D_m = \infty$).

On appelle ***punctum proximum*** (PP) le point de l'espace le plus proche que l'œil est capable de voir net, en accomodant. on note d_m la distance entre l'œil et le PP. Pour un œil emmetrope, la position du PP varie beaucoup avec l'âge. On prend comme valeur moyenne de référence $d_m = 25$ cm.

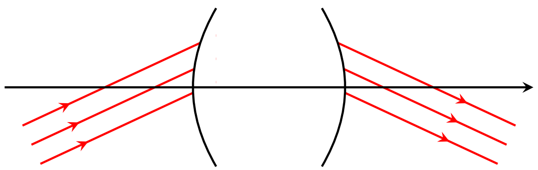
Les points situés entre le PR et le PP constituent la ***plage d'accomodation***.

4.1.3 Amétropies

- La myopie : Le cristallin est trop convergent. Le PR est à distance finie et le PP est plus proche de l'œil que pour un œil emmétrope. On corrige la myopie avec une lentille divergente.
- L'hypermétropie : Le cristallin n'est pas assez convergent. Le PP est plus éloigné que pour un œil emmétrope. Un objet à l'infini est vu flou au repos mais peut être vu net en accomodant. On corrige l'hypermétropie avec une lentille convergente.
- La presbytie : La faculté d'accomodation diminue avec l'âge. Le PR reste à l'infini mais le PP s'éloigne progressivement de l'œil. On corrige la presbytie avec une lentille convergente.
- L'astigmatisme : L'œil astigmate présente un défaut de sphéricité entraînant une déformation des objets vus à l'œil nu. On corrige l'astigmatisme avec des lentilles non sphériques.

4.2 Construire un système afocal : la lunette astronomique

Def : Un système optique est dit ***afocal*** lorsque ses foyers principaux sont situés à l'infini. Par conséquent , un système afocal renvoie à l'infini l'image d'un objet à l'infini.



Une lunette astronomique est un système optique qui permet d'observer des objets lointains et de les grossir pour en voir mieux les détails. Puisqu'il faut placer son œil derrière la lunette pour voir l'image, celle-ci doit être renvoyée à l'infini pour éviter l'accomodation et garantir une observation confortable. Elle est constituée de deux lentilles minces convergentes :

- L'***objectif***, situé à l'avant de la lunette. Il forme une image intermédiaire d'un objet à l'infini dans son plan focal image. On note f'_1 sa distance focale.
- L'***oculaire***, en sortie de la lunette. L'oculaire renvoie à l'infini l'image intermédiaire. Il a une focale f'_2 plus courte que celle de l'objectif ($f'_2 < f'_1$).

Def : On définit le ***grossissement*** (ou grandissement angulaire) d'un système afocal par le rapport $\boxed{G = \alpha'/\alpha}$ où α est le diamètre apparent de l'objet vu à l'œil nu et α' le diamètre apparent de l'image vue à travers le système optique.

Le grossissement d'une lunette astronomique est donné par la relation : $\boxed{G = \dfrac{f'_1}{f'_2}}$