

I Lentilles minces, miroirs plans, miroirs sphériques :

Matériel pour chaque poste :

- banc optique gradué,
- Lanterne et accessoires porte lentille et porte écran,
- 3 lentilles convergentes : $f' = +200$ mm ; $f' = +100$ mm ; $f' = +50$ mm
- 1 lentille divergente : $f' = -100$ mm,
- 2 miroirs sphériques :
 - 1 miroir concave $f = -125$ mm ; 1 miroir convexe $f = +125$ mm.
- 1 miroir plan.

I-1 Reconnaissance rapide d'une lentille. Focométrie élémentaire :

(a) épaisseur des bords :

Les lentilles convergentes ont des bords minces, qu'elles soient biconvexes, plan-convexes ou à ménisque convergent :

Les lentilles divergentes ont des bords épais, qu'elles soient biconcaves, plan-concaves ou à ménisque divergent.

Mesure possible par **sphérométrie** : mesure des rayons de courbures des dioptries sphériques.

En notant $R_1 = \overline{S_1C_1}$ et $R_2 = \overline{S_2C_2}$ les rayons algébriques des deux dioptries, on a, pour une

lentille d'indice n plongée dans l'air d'indice environ égal à 1 : $C' = \frac{1}{f'} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$

A retenir pour la suite : la lentille divergente de focale $f' = -100$ mm est celle à bord épais ; les lentilles convergentes de focales $f' = +200$ mm ; $+100$ et $+50$ correspondent, dans cet ordre, à des lentilles à bords minces de plus en plus bombées.

(b) observation d'images :

On cherche une procédure permettant de distinguer rapidement une lentille divergente d'une convergente :

1°) On colle la lentille contre l'objet, de façon à placer assurément l'objet entre la lentille et son foyer ;

2°) On éloigne lentement la lentille de l'objet.

Si l'image grandit -> lentille convergente (loupe). L'image se forme en arrière de l'objet.

Si l'image rapetisse -> lentille divergente. L'image se forme en avant de l'objet.

Faire les tracés correspondants.

(c) Méthode des opticiens :

Cette méthode donne accès à la focale de la lentille.

Elle s'appuie sur la **formule du doublet accolé**.

En accolant une lentille de vergence $C'_1 = 1/f'_1$, connue, avec une lentille de vergence

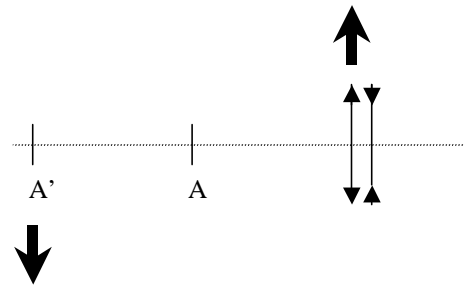
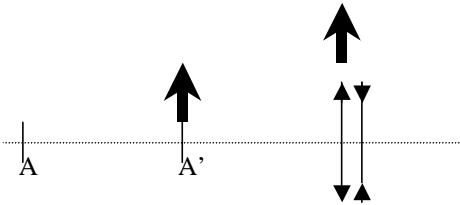
$C'_2 = 1/f'_2$ inconnue, on constitue un système qui, si les deux lentilles sont minces, est assimilable à une lentille de vergence :

$$\boxed{C' = C'_1 + C'_2}$$

La méthode consiste à associer la lentille inconnue à une lentille de vergence connue de façon à obtenir l'annulation de C' : l'ensemble se comporte alors comme une lame à faces parallèles (c'est à dire comme une vitre).

Le comportement convergent, divergent ou neutre du doublet est identifié grâce à l'effet de parallaxe : on place l'objet très proche du doublet. On décale légèrement la position du doublet dans un plan orthogonal à l'axe optique.

Pour un doublet convergent : l'image A' étant plus éloignée que l'objet A , A' se déplace dans le sens inverse du doublet



Pour un doublet divergent : l'image A' étant plus proche que l'objet A , A' se déplace dans le même sens que le doublet

Le déplacement s'annule évidemment si $C'_1 = -C'_2$.

(d) évaluation de la vergence des lentilles :

1) Lentilles convergentes :

Un objet suffisamment éloigné (distance objet-lentille $\gg f$) va conduire à une image réelle située approximativement dans le plan focal de la lentille.

Schéma :

2) Lentilles divergentes :

L'image donnée d'un objet éloigné est ici virtuelle : on ne peut pas la projeter sur un support, mais l'œil la perçoit en la situant approximativement.

Schéma :

Remarque : On pourra associer une lentille divergente à une lentille fortement convergente, de focale connue, et se ramener ainsi au cas précédent pour le doublet accolé ainsi constitué.

I-2 Reconnaissance rapide de la nature d'un miroir. Focométrie élémentaire.

(a) **Courbure du miroir :**

Un miroir convexe aura un caractère divergent

Un miroir concave aura un caractère convergent.

(b) **Observation d'images :**

L'objet employé sera tout simplement l'œil de l'observateur.

1) En plaçant l'œil à faible distance du miroir :

- si l'image est plus petite que l'objet \rightarrow miroir convexe (cf : boules de sapin de Noël, dos d'une cuillère),

- si l'image est plus grande que l'objet -> miroir concave (cf : miroir de maquillage, creux d'une cuillère) .

Vérifier ces situations par une construction.(l'objet sera placé à une distance inférieure à la distance focale du miroir).

- 2) En plaçant l'œil à grande distance du miroir :
- si l'image est droite -> miroir convexe,
 - si l'image est renversée -> miroir concave.

Vérifier ces situations par une construction

3) Cas du miroir plan : rappelons que quelle que soit sa position, un objet réel conduit à une image virtuelle, droite, de même taille que cet objet. Cette image n'évolue donc pas selon que l'on éloigne ou rapproche l'objet du miroir.

(c) Evaluation rapide de la focale des miroirs :

On utilisera des méthodes analogues à celle exposées pour le cas des lentilles.

1) Pour un miroir concave :

Par projection de l'image d'un objet éloigné sur un écran. La distance miroir-écran est alors approximativement égale à la focale.

Schéma :

2) Pour un miroir convexe :

Il donne une image virtuelle de l'objet, donc non projetable sur un écran.

En employant un objet placé à l'infini, on situe approximativement le foyer en plaçant un second objet de façon à voir ce second objet et l'image à travers le miroir dans un même plan.

Schéma :

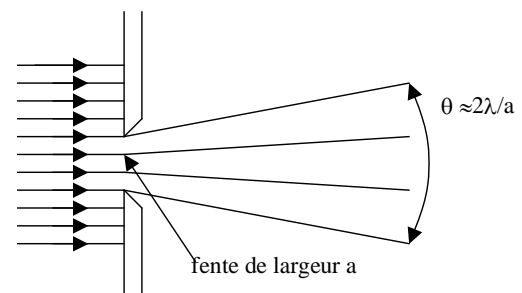
II Limites de l'optique géométrique :

Le principe de l'optique géométrique consiste à décrire la propagation de la lumière par le modèle des rayons lumineux. Ce point de vue restera valable tant que l'on ne restreindra pas trop la taille des ouvertures donc des faisceaux lumineux.

Dans le cas contraire apparaîtra le phénomène de diffraction, qui ne s'interprétera correctement qu'à l'aide d'un modèle ondulatoire de la lumière.

Expérience 1 : diffraction d'un laser par un trou ou par une fente.

L'expérience est réalisée au moyen d'un Laser. Le phénomène de diffraction est observé en éclairant une fente fine de largeur a au moyen d'un rayon Laser de longueur d'onde λ . Le faisceau émergent a alors une ouverture angulaire de l'ordre de : $\theta \approx 2\lambda/a$.



Expérience 2 : diffraction d'un faisceau par un voileage. On peut aisément constater le phénomène de diffraction en observant une source lumineuse éloignée (réverbère...) à travers un rideau de tulle. La figure de diffraction observée dépend de la forme des mailles du tissu.

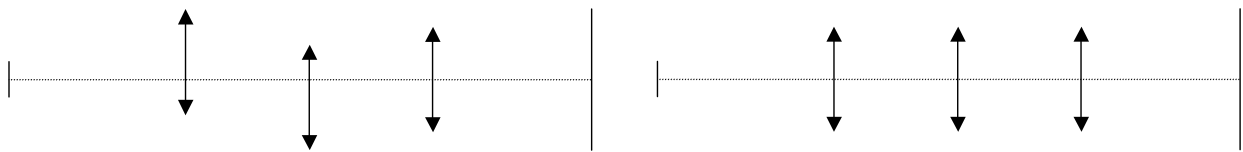
III Centrage et alignement :

Ces opérations ont pour but de se ramener le mieux possible dans les conditions de Gauss, amenant un stigmatisme approché, donc conduisant à de bonnes images. Nous examinerons plus loin les déformations (aberrations, distorsions) pouvant affecter l'image dans le cas d'un non-respect de ces conditions.

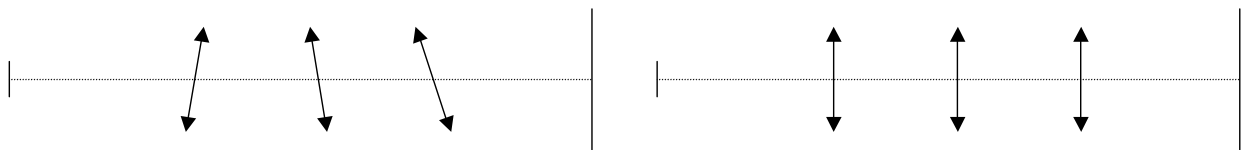
Nous utiliserons des systèmes centrés, c'est à dire dotés d'une symétrie de révolution autour de leur axe, dit axe optique.

Lorsque différents éléments seront associés dans un même montage, il importera de placer le(s) centre(s) optique(s) sur un même axe (cantage) et d'aligner l(es) axe(s) optique(s) sur cet axe (alignement).

Centrage :



Alignement :



Les rayons lumineux mis en jeu dans le montage seront alors paraxiaux : de direction peu inclinée par rapport à l'axe optique (commun) des différents éléments, et passant à faible distance des centres optiques.

III-1 Centrage de la lentille sur l'axe du montage.

Ce réglage est facilement obtenu à l'aide d'un laser : un laser présente un faisceau lumineux très directif, matérialisant clairement un rayon lumineux. La source laser peut être considérée comme ponctuelle, et le faisceau est très fin et pratiquement parallèle.

1°) On éclaire l'écran avec le laser, et l'on repère la position du spot. Le rayon laser matérialise alors l'axe du montage sur lequel on veut centrer la lentille.

2°) On interpose la lentille sur le trajet du laser. On positionne alors la lentille de façon à ce que l'écran soit éclairé à l'endroit précédemment repéré. Le rayon laser passe alors par le centre optique de la lentille : il n'est pas dévié.

III-2 Alignement de l'axe optique :

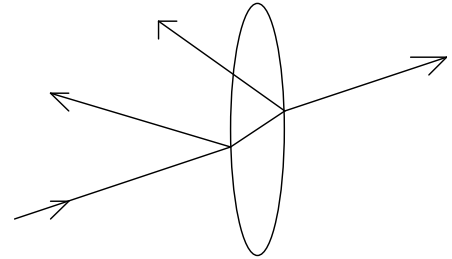
La méthode la plus simple emploie là encore un laser, pour la même raison : il détermine un rayon lumineux.

L'axe optique d'une lentille est la droite (S_1S_2) passant par les sommets des deux dioptries qui la délimitent, et par son centre optique O.

En éclairant la lentille par un laser, la lumière est en partie réfléchi au passage des deux dioptries D_1 et D_2 .

Si le faisceau laser n'est pas confondu avec l'axe optique de la lentille, le rayon incident et les rayons réfléchis ont des directions différentes.

On modifie l'orientation de la lentille jusqu'à ce que les faisceaux incidents, réfléchis et transmis aient même direction, matérialisant alors l'axe de la lentille.



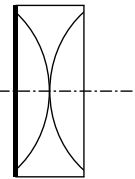
IV Conditions de projection d'images :

La projection d'images a de nombreuses applications courantes : projecteur de diapositives, de cinéma, rétroprojecteurs... Elle permet l'agrandissement d'objets en fournissant une image observable par projection sur un écran. Il faut donc former une image réelle, de grande dimension, nette et lumineuse.

Une projection satisfaisante sera obtenue en suivant une procédure précise, respectant les conditions nécessaires à la satisfaction des critères énoncés.

Le matériel dont on dispose est constitué :

- d'une source de lumière (lampe quartz-iode, très lumineuse et à filament quasi-ponctuel),
- d'un condenseur : ensemble de deux lentilles convergentes plan-convexes, dont l'une des faces est traitée de façon à supporter les écarts thermiques liés à l'échauffement provoqué par la source lumineuse. Le condenseur apparaît comme équivalent à une lentille très convergente, dotée d'une focale de quelques centimètres.
- d'un objet (trou d'un diaphragme à iris, fente...)
- d'une lentille de projection de focale f' connue,
- d'un écran de projection



La démarche décrite vise à ce que chacun des éléments, une fois positionné, n'ait plus à être déplacé. Toute autre procédure serait assez hasardeuse...

(1) Placer objet et écran à une distance supérieure à 4 fois la focale de la lentille de projection. *Nous montrerons plus loin que la condition $D > 4f'$ est nécessaire pour former une image réelle à partir d'un objet réel.*

En pratique, la distance objet-écran est fixée par les conditions opératoires, ce qui oriente le choix de la focale f' de la lentille de projection, telle que $D > 4f'$.

(2) Positionner la lentille de façon à former une image (nette) de l'objet sur l'écran.

L'objet et l'écran sont alors dans des plans conjugués.

Remarque : La source lumineuse est présente, mais sa position n'est pas définitive.

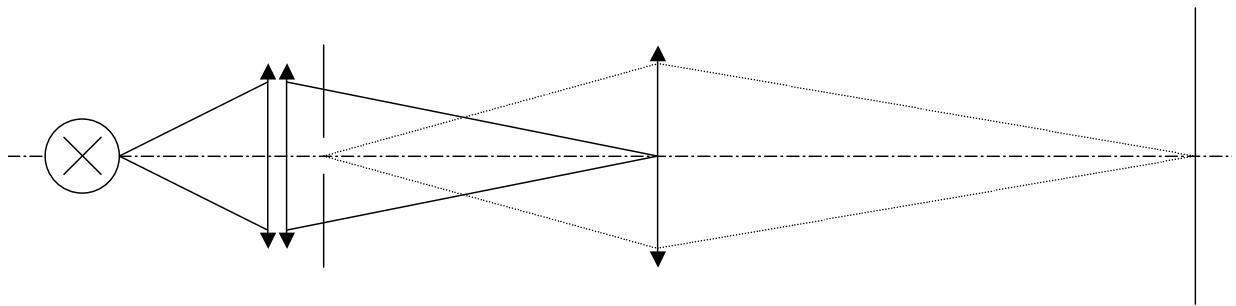
(3) Placer le condenseur près de l'objet.

Le premier rôle du condenseur est de condenser la lumière issue de la source sur l'objet, afin que ce dernier récupère ainsi un maximum de la lumière émise par la source.

(4) Déplacer la source lumineuse de façon à former l'image de la source (filament de l'ampoule) sur le centre de la lentille de projection. Cette image est visualisée sur un petit écran (morceau de papier) posé sur la lentille de projection.

Les rayons lumineux issus de la source lumineuse sont donc amenés à passer à proximité du centre optique de la lentille de projection, on est ramené aux conditions de Gauss.

On aboutit alors à la situation résumée par le schéma suivant :



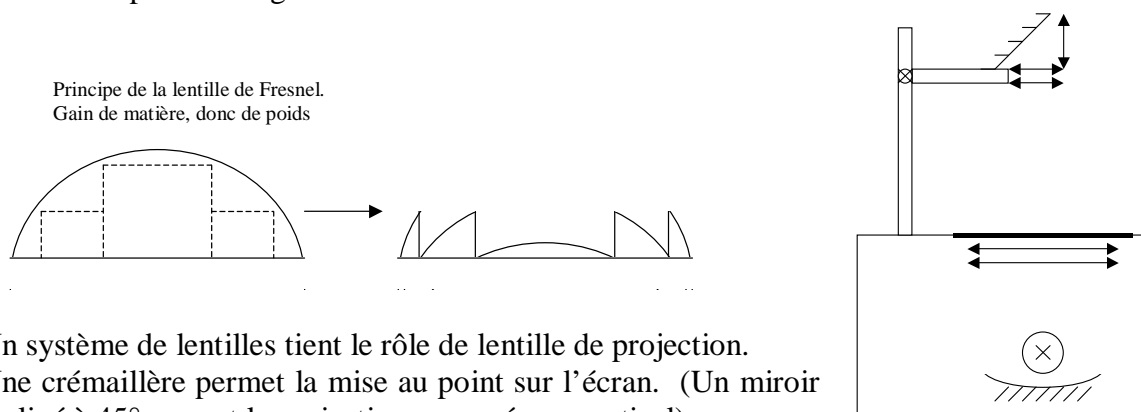
Une application : le rétroprojecteur. (voir schéma).

Les différents éléments d'un rétroprojecteur assurent les mêmes fonctions que celles inventoriées ci-dessus.

Une surface réfléchissante renvoie la lumière de la source sur le transparent à projeter.

Le transparent est posé sur une lentille de Fresnel, faisant office de condenseur.

Une lentille de Fresnel est un dispositif ayant un comportement analogue à celui d'une lentille classique (à deux dioptries), formé d'une succession d'anneaux circulaires, permettant de réaliser une lentille plate et de grand diamètre.



Un système de lentilles tient le rôle de lentille de projection.

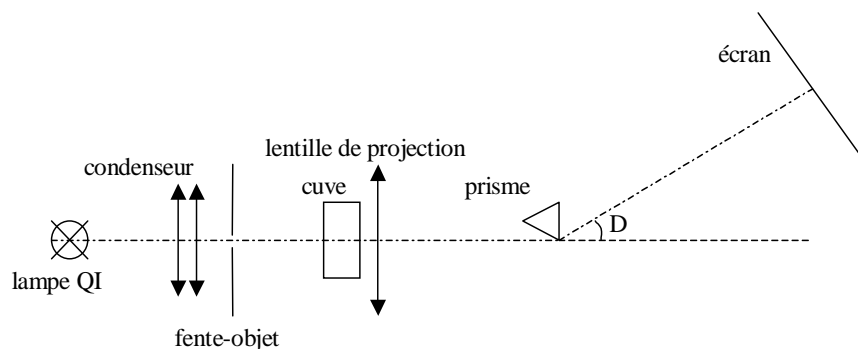
Une crémaillère permet la mise au point sur l'écran. (Un miroir incliné à 45° permet la projection sur un écran vertical).

Application : projection du spectre de la lumière blanche, obtenu à l'aide d'un prisme.

Un prisme est doté d'un effet dispersif : il dévie les rayons arrivant sur son arête d'un angle de déviation qui dépend de leur longueur d'onde λ (c'est à dire de leur couleur). Cette propriété, qui est liée à la dépendance de l'indice n du verre vis à vis de λ , permet d'obtenir le spectre d'une lumière polychromatique.

L'observation de ce spectre dans de bonnes conditions demande un réglage du montage de projection dans lequel est inséré le prisme. L'objet employé est une fente fine.

La déviation D apportée par le prisme dépend de l'incidence des rayons arrivant sur sa face d'entrée ; son utilisation est optimale au minimum de cette déviation.



La mise au point de la projection sur l'écran se fait en utilisant une des faces du prisme en réflexion totale, après avoir localisé la direction d'émergence des rayons issus du prisme au minimum de déviation.

L'interposition d'une cuve emplies d'une solution très diluée de permanganate de potassium (KmnO_4) met en évidence l'absorption de raies vertes, expliquant ainsi la coloration violette de la solution.

L'utilisation d'un prisme à vision directe (P.V.D.) rend l'observation encore plus aisée : ce système est constitué de l'association de trois prismes disposés tête-bêche, de façon à obtenir un faisceau émergent non dévié par rapport au faisceau incident, et à renforcer le caractère dispersif du dispositif.

Remarque : L'emploi du prisme sera retrouvé à l'occasion d'un prochain TP-cours : Goniomètre et spectroscopie à prisme

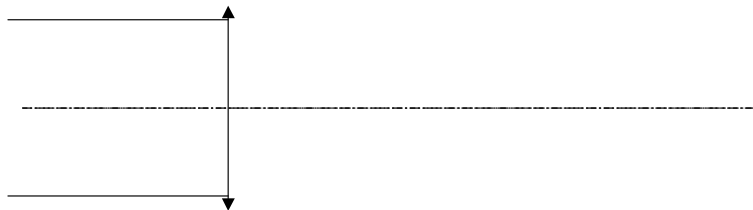
V Aberrations et distorsion :

Nous allons maintenant examiner différents types de défauts, susceptibles d'altérer la qualité des images.

V-1 Aberrations :

V-11 Aberrations chromatiques :

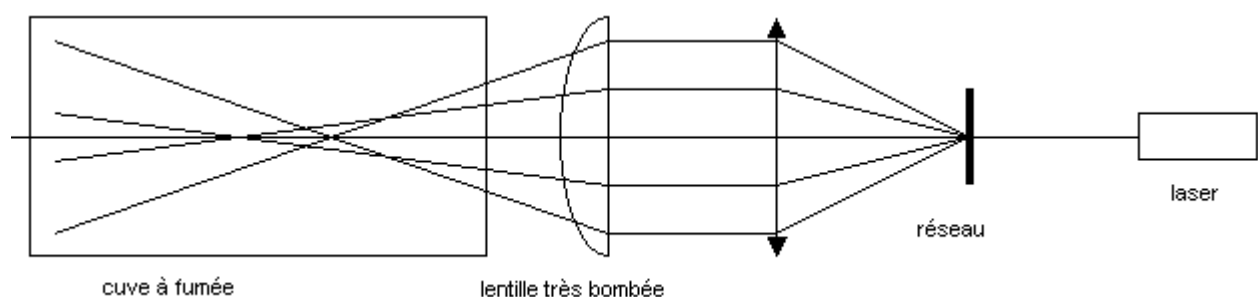
Ces défauts apparaissent en lumière non mono-chromatique, par exemple en lumière blanche : les lentilles sont constituées d'un matériau transparent (verre en général), dont l'indice n dépend de la longueur d'onde : $n(\lambda)$. Les rayons lumineux seront donc réfractés différemment par les dioptries selon leur longueur d'onde λ . Ainsi, même dans des conditions de stigmatisme approché, l'image d'un point objet ne sera pas un point-image, mais une tache irisée. En éclairant une lentille par un faisceau parallèle de lumière blanche, on détecte la présence d'un bleu et d'un foyer rouge, correspondant aux valeurs extrêmes des longueurs d'onde du domaine visible.



La formule :
$$C'(\lambda) = \frac{1}{f'(\lambda)} = (n(\lambda) - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$
 permet d'expliquer l'existence de cette dépendance de la focale vis à vis de la longueur d'onde, pour un verre dispersif (tel que $n(\lambda)$).

V-12 Aberrations géométriques :

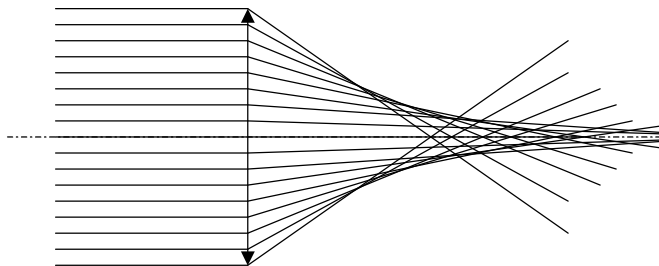
On montre qu'un dioptre sphérique (de même qu'un miroir sphérique) est approximativement stigmatique pour des rayons de faible inclinaison. Hors de ce cas, des aberrations vont apparaître. Ces aberrations sont liées à la géométrie sphérique des dioptries des lentilles. Cette sphéricité amène un astigmatisme, qui s'observe d'autant plus nettement que le dioptre a un faible rayon de courbure (lentille très bombée) et que l'on met en jeu des rayons éloignés de l'axe optique (écart aux conditions de Gauss).



L'expérience schématisée ci-dessus met en évidence le phénomène : les rayons lumineux les plus proches de l'axe optique sont moins réfractés, d'où l'astigmatisme.

En éclairant une lentille au moyen d'un faisceau de lumière, l'effet d'aberration géométrique peut s'observer dans un plan contenant l'axe optique. L'enveloppe des rayons réfractés constitue une courbe nommée *caustique*.

L'expérience peut être réalisée au moyen d'une cuve de faible largeur, remplie d'un liquide permettant la visualisation des rayons lumineux (fluorescéine) (voir figure ci-contre)

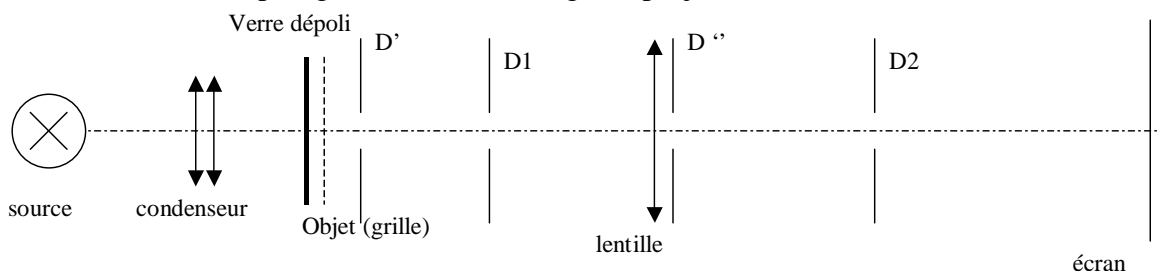


L'aberration de sphéricité des dioptries va aussi se manifester pour des rayons obliques, c'est à dire pour des faisceaux lumineux de direction incidente différente de celle de l'axe optique, occasionnant une déformation dite « de coma » (petite comète). Cet effet s'observe aisément en éclairant une lentille à l'aide d'une source éloignée, et en inclinant l'axe principal de la lentille par rapport à la direction de la lumière incidente.

En conclusion, on retiendra que les aberrations géométriques sont d'autant plus marquées que l'angle d'incidence ou d'émergence des rayons lumineux par rapport à la normale au dioptre est important.

V-2 Distorsions :

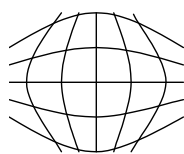
Observons l'action d'un diaphragme dans un montage de projection.



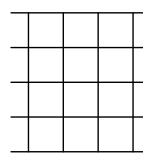
L'objet est constitué d'une grille métallique à mailles carrées. Un verre dépoli permet d'obtenir un éclairage parfaitement uniforme de cet objet, par diffusion de la lumière. Le condenseur n'a ici pour seule fonction que de condenser le flux lumineux sur l'objet. (On ne peut pas réaliser la conjugaison de la source avec le centre optique de la lentille de projection à travers le verre dépoli !).

Différents effets vont se manifester selon la position du diaphragme à iris :

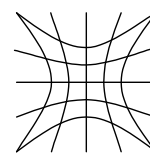
- en D' : diaphragme de champ. Seule une partie de l'objet sera projetée sur l'écran.
- en D'' : diaphragme de luminosité (ou d'ouverture). On règle alors le flux lumineux traversant la lentille de projection, rendant ainsi l'image à l'écran plus ou moins lumineuse.
- en D1 : distorsion en barillet (petit baril).
- en D2 : distorsion en coussinet (petit coussin).



déformation en barillet



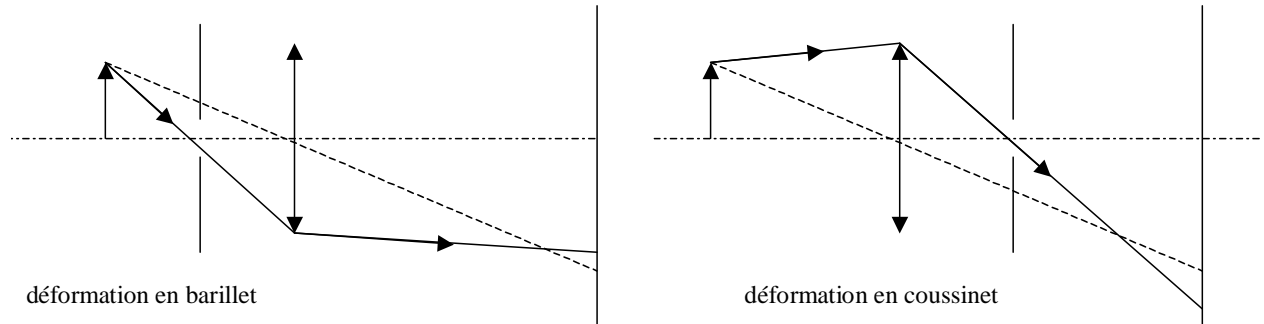
grille -objet



déformation en coussinet

Les phénomènes de distorsion correspondent au fait que le grandissement, rapport des tailles image / objet, n'a pas la même valeur pour des points plus ou moins éloignés de l'axe optique. L'image obtenue est alors déformée : elle n'est pas homothétique de l'objet ; les coins de l'image sont étirés (coussinet) ou comprimés (barillet) .

L'interprétation de la distorsion peut se faire à partir du phénomène d'aberration de sphéricité : les rayons passant en périphérie d'une lentille sont plus réfractés que ceux qui passent dans sa zone centrale.

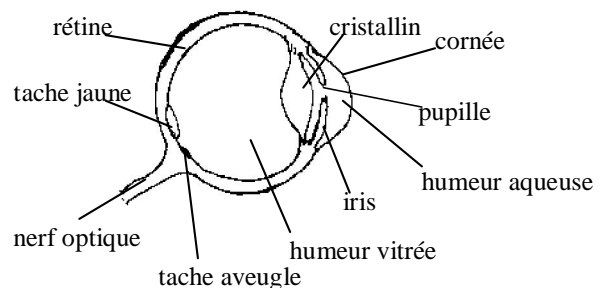


VI Objets et images – réalité et virtualité.

Avant d'envisager quelques manipulations sur banc optique, donnons d'abord quelques précisions sur le récepteur optique que nous emploierons : l'oeil.

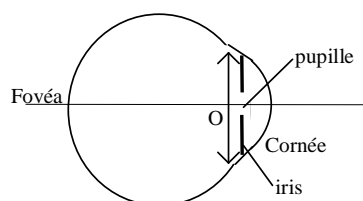
VI-1. L'oeil

a) **Structure physiologique** (pour information) :



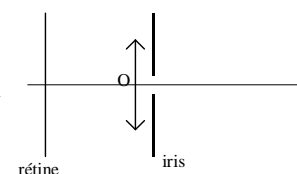
La lumière rencontre successivement la cornée (fine membrane), une chambre remplie d'humeur aqueuse, limitée transversalement par l'iris jouant le rôle de diaphragme et formant la pupille, le cristallin jouant le rôle de lentille, une chambre remplie d'humeur vitrée et enfin la rétine. Cette dernière est constituée de cellules sensibles à la lumière qui envoient un signal électrique sous forme d'influx nerveux au cerveau par l'intermédiaire du nerf optique.

Le cerveau interprète les données qu'il reçoit : retournement de l'image et impression de relief grâce aux informations transmises par les deux yeux (vision stéréoscopique).



b) **Structure optique de l'œil, modélisation :**

- rétine → écran,
- cristallin → lentille convergente à focale variable,
- pupille (iris) → diaphragme.



La pupille joue le rôle de diaphragme : les seuls rayons utiles sont ceux passant à travers ce diaphragme, et arrivant sur la partie sensible de la rétine : ces rayons sont faiblement inclinés sur l'axe. L'oeil est donc placé dans les conditions de Gauss.

Il est approximativement stigmatique et aplanétique.

Remarque : le cristallin donne sur la rétine une image renversée des objets observés. (Le cerveau les ré-inverse).

c) L'accommodation :

Ce processus s'obtient par la déformation du cristallin à l'aide des muscles qui le soutiennent, faisant ainsi varier sa distance focale en modifiant sa courbure. Ceci permet d'observer des objets à différentes distances.

Deux limites d'accommodation :

- **Punctum proximum (Pp)** : la position de Pp évolue avec l'âge : 5-7 cm (naissance) ; 15 cm (30 ans), 40 cm (50ans)...

On considère en général comme distance moyenne, pour un oeil normal : 25 cm.

Cette distance est la distance minimale de vision distincte.

- **Punctum remotum (PR)** : distance maximale de vision distincte ; à l'infini pour un oeil normal.

Remarque : il est en fait possible de voir plus près que le punctum proximum Pp, mais l'oeil se fatigue alors très vite.

Distance focale de l'oeil :

L'oeil emmétrope (œil normal) est au repos quand il n'accommode pas, c'est-à-dire quand il observe un objet à l'infini.

- Avec un objet à l'infini, le plan focal image correspond à la macula (tache jaune).

La focale de l'oeil vaut alors : $f_R = 15 \text{ mm}$ (pour $\overline{OA} = -\infty$, $\overline{OA'} = f'$)

(distance cristallin-fovéa)

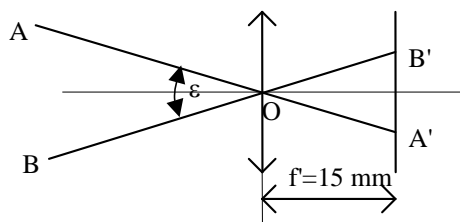
- Quand l'oeil accommode au maximum (Pp) :

à partir de la relation de conjugaison : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$

on tire $f'_p = 14,2 \text{ mm}$ (avec $\overline{OA} = -25 \text{ cm}$, $\overline{OA'} = +15 \text{ mm}$)

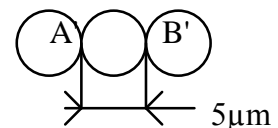
d) Pouvoir séparateur :

C'est l'aptitude qu'à un instrument optique à séparer deux points objets proches.



A et B, points à l'infini sont distincts si leurs images A' et B' se forment sur deux cellules non adjacentes de la rétine (sinon ces cellules s'influencent).

→ il faut au moins une cellule intermédiaire :



On a donc : $A'B' > 5 \mu\text{m}$, soit $\varepsilon > 5 \mu\text{m}/15 \text{ mm}$ soit $\varepsilon > 3.10^{-4} \text{ rad}$

Pouvoir séparateur de l'oeil (ou résolution angulaire): environ 1 minute d'arc dans des conditions idéales de visibilité.

e) Visibilité :

L'oeil n'a pas même sensibilité pour toutes les longueurs d'onde. En vision diurne, le maximum de sensibilité correspond à une longueur d'onde $\lambda \approx 0,560 \mu\text{m}$ (jaune, centre du domaine visible, maximum d'émission du Soleil), alors qu'en vision nocturne, ce maximum est situé à une longueur d'onde $\lambda \approx 0,480 \mu\text{m}$ (bleu).

f) Défauts et correction :

- L'oeil normal est dit emmétrope.
- oeil myope : trop convergent, c'est à dire oeil trop long.

L'image se forme en avant de la rétine. Le PP est plus proche que pour l'œil normal (quelques centimètres) et le PR est à distance finie (quelques mètres). Les objets lointains apparaissent flous.

→ correction par un verre divergent.

- oeil hypermétrope : trop divergent ; c'est-à-dire oeil trop court.

L'image se forme en arrière de la rétine. Le PP est plus éloigné que pour l'œil normal et le PR est virtuel (quelques dizaines de centimètres derrière l'œil). L'œil ne voit donc pas les objets rapprochés et doit accommoder pour voir nettement à l'infini (→ fatigue).

→ correction par un verre convergent.

• oeil astigmaté : non symétrique autour de son axe. Ce défaut peut se superposer aux précédents.

→ vision nette dans certaines directions et floue dans des directions orthogonales.

L'astigmatisme se corrige à l'aide de verres ayant les mêmes défauts, mais en sens inverse.

• oeil presbyte : apparaissant avec l'âge : perte d'élasticité du cristallin → moindre accommodation → le punctum proximum s'éloigne.

→ correction : port de verres convergents pour la vision de près uniquement ; lunettes à doubles foyers ou à verres progressifs.

Quelques manipulations illustrant ces notions seront abordées à l'occasion du prochain TP : formation d'images.

VI-2 Lentilles minces : manipulations sur banc optique.

On envisage ici diverses situations, sur un banc optique, de façon à approcher expérimentalement les notions d'objet réel ou virtuel, d'image réelle ou virtuelle, etc. Les mesures de positions sont fournies en mm.

Attention à distinguer l'abscisse x mesurée sur le banc à partir de l'origine (en général, la position de l'objet) des mesures algébriques p et p' des positions respectives de l'objet A et de l'image A' , par rapport au centre O de la lentille.

$$p = \overline{OA} = x_A - x_O \quad \text{et} \quad p' = \overline{OA'} = x_{A'} - x_O$$

On prendra garde au caractère algébrique de ces quantités (positions et focales), ainsi qu'aux unités de mesure employées.

(1) Relation de conjugaison. Nature de l'image :

Placer l'objet en l'abscisse $x = 0$ mm, la lentille de focale $f' = +200$ mm en $x = 300$ mm. Relever l'abscisse de l'image (en la formant sur l'écran). Exprimer les positions algébriques respectives de l'objet et de l'image p et p' .

Vérifier la relation de conjugaison : $\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}$ ainsi que la valeur du grandissement $\gamma = p'/p$.

Préciser la nature et la disposition de l'image.

(2) Reprendre les mêmes questions pour $p = -600$ mm, toujours avec la focale $f' = 200$ mm. Vérifier que la distance objet-image $D = p' - p$ est la même que dans le cas précédent.

Conclusion : Deux positions de la lentille sont possibles pour un écart D donné entre objet et écran. Nous allons constater que ceci n'est vérifié qu'avec la condition : $D > 4f'$.

(3) Montage "4f" :

toujours avec la lentille de focale $f' = +200$ mm, placer la lentille de façon à avoir $p = -400$. Reprendre la questions précédentes.

On a alors $D = p' - p = 800$ mm = $4.f'$. Une seule position est possible pour la lentille, qui doit être au milieu entre objet et écran. Tracer la construction géométrique correspondante.

(4) Si $D < 4f'$:

Prendre $D = 600$ mm, (placer l'objet en $x = 0$ mm et l'écran en $x = 600$ mm) ; on constate alors que pour $f' = 200$ mm, il est impossible d'obtenir une image réelle, quelle que soit la position de la lentille.

Interprétation théorique :

La formule de conjugaison s'écrit :

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

avec $D = p' - p$, dans les conditions objet réel ($p < 0$) et image réelle ($p' > 0$).

ce qui permet de tirer l'équation du deuxième degré en p' : $p'^2 - Dp' + Df' = 0$

Cette équation n'admet de solution réelle que si son discriminant est positif $\Delta = D^2 - 4Df' \geq 0$, soit pour : **$D \geq 4f'$** .

Lorsque $D = 4f'$ (montage "4f"), il existe simplement une solution double.

(5) Image virtuelle :

Toujours avec la lentille de focale $f_1 = +100$ mm, la placer pour $p = -80$ mm. L'image, observée à l'œil apparaît située derrière l'objet ! On ne peut pas projeter cette image directement sur l'écran. On peut visualiser cette image virtuelle et percevoir sa position en l'observant directement (se placer dans l'axe du banc optique).

On peut fabriquer un "œil" artificiel, à l'aide de la lentille de focale : $f_2 = +200$ mm, que l'on place à l'abscisse $x = 300$ mm à compter de la position de l'objet. On récupère alors une image réelle en $x \approx 595$ mm.

Exprimer les positions p_1 , p'_1 , p_2 et p'_2 correspondant à l'image intermédiaire et à l'image définitive données par le système. Donner les valeurs des grandissements γ_1 et γ_2 .

Vérifier que le grandissement total répond à : $\gamma = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \approx -2,4$

(6) Envoyer un objet à l'infini, ramener une image de l'infini :

Objet en $x = 0$, lentille de focale $f' = +200$ mm en $x = +200$ mm : amène un faisceau parallèle. Une lentille de focale $f' = +100$ mm, placée n'importe où sur le banc, après la première lentille, donne une image sur un écran placé à une distance $+100$ mm de cette dernière lentille.

Montrer par une construction géométrique simple que : $\gamma = \frac{-f'_2}{f'_1}$

(7) Lentille divergente :

On utilise une lentille de focale $f' = -100$ mm. La placer en l'abscisse $x = +240$ mm, l'objet étant en $x = 0$ mm. L'image obtenue est virtuelle, droite.

Observer directement cette image et remarquer que cette image est située en avant de la lentille.

On récupère cette image à l'aide d'un "œil", constitué d'une lentille de focale $f' = +200$ mm placée en $x = 540$ mm et de l'écran en $x = 974$ mm.

Vérifier de même que précédemment la valeur théorique du grandissement total $\gamma = -0,34$.

