Montage : instruments d'optiques

Léa Bessonart

November 24, 2021

Sources:

- Physique expérimentale aux concours de l'enseignement, Bellier
- Capes de science physiques Duffait

Introduction

Le rôle des instruments d'optique est de permettre d'observer des reproductions appelées images, des objets, aussi fidèles que possible. L'instrument optique' le plus connus est l'oeil humain. L'idée est de manipuler les distance focale afin d'amplifier la taille des objets afin de voir des objet à l'infini ou infiniment petit.

1 La lentille

L'objet de base de l'optique c'est la lentille. Une lentille mince est une succession de deux dioptre séparant l'air par un matériaux isotrope (souvent du verre). La lentille obéit, dans les conditions de gauss, aux lois de l'optique géométrique, c'est à dire lorsque les rayons sont proches de l'axe et sont peu inclinés. En dehors de ces conditions, il peut y avoir des phénomènes d'aberrations. On caractérise une lentille par sa focale. Ce que l'on appelle focale, c'est la distance entre le point où des rayons venant de l'infini se croisent et le centre optique de la lentille (centre optique = point de non déviation).

On caractérise une lentille par sa focale que nous allons maintenant déterminer par la méthode de Bessel. Cette méthode se base sur le fait qu'une lentille a deux points nets quand on fait une image finie d'un objet fini

> Matériel: une lampe + anticalorique+ condenseur+ objet, comme une lettre + une lentille (courte focale (10cm)) + écran + règle

On nomme L la distance entre l'objet et l'écran. On intercale une lentille de courte focale f et on nomme x la distance lentille-objet. On a alors deux x qui assurent la netteté de l'image. On sait que :

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

Ici cela devient :

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{L-x} \tag{2}$$

Et on obtient une équation de degrés 2 en x qui donne deux positions:

$$x^2 - Lx + f'L = 0 \tag{3}$$

Le discriminant ici est positif dans la mesure où $L > 4f'$. On en conclut que pour obtenir une images nette sur un écran il est indispensable que la distance objet écran soit supérieur à 4 fois la distance focale

de la lentille convergente. De plus, cette équation donne deux solutions pour x. On a bien deux points pour lesquelles la lentilles donne une image nette.

Et finalement:

$$f' = \frac{L^2 - (\Delta x)^2}{4L} \tag{4}$$

On place écran et objet à des distances L supérieures à 4f'. On cherche les positions x_1 et x_2 qui conjuguent l'objet et l'écran. On note $\Delta x = |x_2 - x_1|$ l'écart entre ces positions. D'après la relation $f' = \frac{L^2-(\Delta x)^2}{4L}$, on trace $L^2 - (\Delta x)^2$ en fonction de 4D. Et on attend une pente de f'.

On mesure à la règle les distances donc on doit faire attention a prendre le même point de mesure partout et à donner l'incertitude sur la mesure. (autour de ±3 mm pour L car le centre optique est difficile à repérer.)

Pour l'incertitude sur la mesure des positions x sera 3mm+ 1 ou2 mm. Pour le savoir en mesure la moyenne entre la position x lorsque l'on approche a lentille par la droite et puis par la gauche.

Un calcul d'erreur permet de montrer que

$$\Delta f' = \frac{\Delta x^2 + L^2}{4L^2}\Delta L - \frac{\Delta x}{2L}\Delta(\Delta x) \tag{5}$$

Il se fait tout seul sur regressie.

2 La lunette astronomique

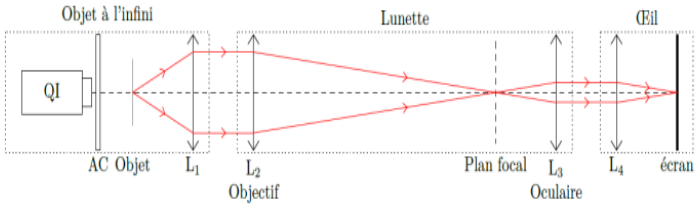
2.1 Le montage

La lunette astronomique est un système optique afocal c'est a dire que l'image d'un objet à l'infini est renvoyée à l'infini. Par exemple, lorsque l'on observe la lune avec la lunette, son image à travers la lunette est renvoyée à l'infini, l'oeil n'a pas besoin d'accommoder, ce qui rend l'observation confortable.

Pour ce faire, une lunette astronomique est composée de deux lentilles:

- l'objectif proche de l'objet, de grande distance focale qui donne une image de grande dimension
- l'oculaire proche de l'oeil, qui permet d'observer cette image.

L'image intermédiaire d'un objet à l'infini se forme dans le plan focal image de la première lentille, qui est confondu avec le plan focal objet de la seconde lentille. Ainsi l'image à travers la lunette entière est bien renvoyée à l'infini.



Réalisation (essayer de le faire en direct):

- Un objet à l'infini. Il sera réalisé au moyen d'un objet réel placé dans le plan focal d'une lentille convergente (régler par auto collimation). L'objet sera une lettre placée derrière un papier diffusant. Ceci permet d'avoir un faisceau très ouvert et de supprimer l'image du filament (mais c'est pas toujours dingue).
- Un oeil fictif observant à l'infini. Il sera réalisé avec un écran(jouant le rôle de la rétine) placé dans le plan focal d'une lentille convergente (jouant le rôle du cristallin). Régler la distance lentille-écran (en utilisant l'objet à l'infini précèdent) et les rendre solidaire (avec tige et noix de serrage)
- La lunette sera réalisée avec 2 lentilles minces. Régler la distance objectif-oculaire de façon à avoir une image nette avec l'oeil fictif. Cette distance doit etre égale à la somme des distance focales. Rendre solidaire les deux lentilles.

  On prend ici $L_1 = 20Omm$, $L_2 = 500mm$, $L_3 = 150mm$ et $L_4 = 250mm$

2.2 Grossissement

Quand on pointe une lunette astronomique sur la Lune, on la voit plus grosse qu'elle apparaît à l'oeil nu. En effet, la lunette grossit les objets observés par rapport à leur taille apparente à l'oeil nu. On définit alors son grossissement qui est le rapport du diamètre apparent de l'image à celui de l'objet vu à l'oeil nu.

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f_{obj}}{f_{occu}} = \frac{A'B'_{avec\,lentille}}{A'B'_{sans\,lentille}} \tag{6}$$

Le grossissement est donc aussi le rapport de la taille de l'image à travers l'instrument et à l'oeil nu.

On mesure la taille de l'image $A'B'$ de l'objet sur l'écran avec et sans lunette, puis on fait le rapport avec sa taille réelle AB pour trouver $G_{exp} = \frac{A'B'}{AB}$ et comparer avec le grossissement attendu de $G_{the} = \frac{f_{obj}}{f_{occu}}$.
Donner l'incertitude également :

$$u(G) = G\sqrt{\left(\frac{u(A'B'_{sans})}{A'B'_{sans}}\right)^2 + \left(\frac{u(A'B'_{avec})}{A'B'_{avec}}\right)^2} \tag{7}$$

avec les incertitudes sur les mesures prisent aussi à $\pm 3mm$

Le grossissement n'est pas la seule grandeur pertinente pour la lunette. D'autres éléments optiques permettent de complexifier la lunette et de former une image de meilleure qualité.

2.3 Diaphragmes de champ et d'ouverture

On peut remarquer que l'image est très lumineuse prés de l'axe optique (champs de pleine lumière) mais peu lumineuse à la périphérie (champs de contour). On va voir qu'il est possible de modifier ça.

Réaliser ces quatre expériences qualitatives:

- Placer un diaphragme à iris contre l'objectif. En diminuant son diamètre, on constate que la dimension de l'image reste la même mais que son éclairement diminue. On parle de diaphragme d'ouverture.
- Placer un diaphragme contre l'oculaire. En diminuant son diamètre, on constate que la dimension de l'image diminue mais que l'éclairement est inchangée. On parle de diaphragme de champ
- Disposer une lentille convergente (f'=100 ou 150mm) au niveau de l'image formée par l'objectif. Cette lentille collectrice de lumière permet d'éliminer le champ de contour et d'agrandir le champs de pleine lumière. Elle est appelée lentille de champs ou verre de champs. Elle constitue généralement la première lentille de l'oculaire qui est en réalité un doublet.

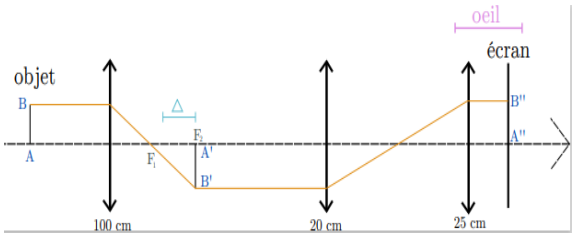
3 Le microscope

Le microscope est destiné à l'observation d'objets (petits) à distance fini. Il fournit une image à l'infini afin de que l'oeil n'accommode pas.

Le microscope est formé d'un objectif de très faible distance focale qui donne de l'objet une image réelle agrandie. Cette image sert d'objet pour l'oculaire qui est l'équivalent d'une loupe. L'image finale est rejetée à l'infini. On projette cette image en utilisant une troisième lentille associée à un écran. C'est un oeil fictif.

La principale différence entre la lunette et le microscope est que le microscope n'est pas un système afocal. Il suffit d'avancer l'objectif pour que F_1' ne soit plus confondu avec F_2 et on obtient alors un microscope d'encombrement $\Delta = F_1'F_2$. Cette encombrement est la longueur optique qui correspond à la distance entre le point focal image de l'objectif F_1' et le point focal objet de l'oculaire F_2.

$f_1' = 100mm$, $f_2' = 200mm$ et $f_3' = 250mm$. L'objet est un quadrillage.



3.1 Le montage

On propose de déterminer expérimentalement la puissance d'un microscope dans le cas d'une observation à l'infini.

L'objectif peut etre défini par son grandissement: $\gamma_{obj} = \frac{A'B'}{AB}$. L'oculaire donnant une image à l'infini ne peut etre défini que par sa puissance $P_{oc} = \frac{\alpha'}{A'B'}$.

Pour le microscope complet on définit donc sa puissance intrinsèque:

$$P = \frac{\alpha'}{A'B'}.\frac{A'B'}{AB} = \gamma_{obj}.P_{oc} \tag{8}$$

De plus, $\gamma_{obj} = \frac{\Delta}{f_1'}$ et $P = \frac{\gamma_{obj}}{f_2'}$. On a donc

$$P = \frac{\Delta}{f_1' f_2'} \tag{9}$$

- On fais varier la position de l'objectif par rapport à l'objet, c'est a dire $\overline{AO_1}$
- placer ensuite l'oculaire de sorte à ce que A'B' soit dans le plan focal objet. Ainsi, intervalle optique du microscope $\Delta = (\overline{O_1A'} - f_1')$ sera variable.
- on fait ensuite coïncider le foyer objet F_3 de l'oeil avec le foyer image F_2' de l'oculaire.
- Pour différentes valeur de $\overline{AO_1}$, on mesure la position de l'image intermédiaire $\overline{O_1A}$ et sa taille $\overline{A'B'}$.
- On peut donc en déduire le grandissement $\gamma_{obj} = \frac{A'B'}{AB}$.
- On trace graphiquement γ_{obj} en fonction de $\overline{O_1A'}$, avec $\gamma_{obj} = \frac{\overline{O_1A'} - f_1'}{f_1'}$. La pente va nous donner $\frac{1}{f_1'}$
- On mesure ensuite la puissance, c'est a dire $P = \frac{\alpha}{AB}$ avec $\alpha = \frac{\overline{A"B"}}{f_3'}$.
- Ainsi on peut tracer la puissance en fonction de Δ. La pente sera de $\frac{1}{f_1' f_2'}$

On a pu retrouver les valeurs des focales de l'objectif et de l'oculaire. La focale f_3 de l'oeil est supposée connue car c'est censé représenter notre cristallin.

Conclusion

On à voir dans ce montage deux grandes famille d'instrument optique à savoir le microscope et la lunette astronomique. L'image obtenu sur un outil doit etre la plus nette et lumineuse possible afin d'être le plus précis sur les mesures.

Cependant, il existe des phénomènes limitant. On a le critère de Rayleigh, des diaphragmes d'ouverture et de champ, mais il y en a d'autres : les aberrations chromatiques et géométriques (coma, distorsion : barillet/coussinet, sphérique, astigmatisme, courbure de champ).

Questions

- **mesure de focale: Pourquoi pour l'image la plus petite tu ne mesures pas 2 positions pour réduire l'incertitude ?** Lorsque l'image est petite on ne voit pas d'écart de netteté significatif. Une faible variation de position de la lentille entraîne une forte variation sur l'image (lorsqu'elle est petite). Le contraire se produit lorsque la dimension de l'image est grande.
- **Diaphragme, demo qualitatives, peux tu rappeler comment tu as fais pour placer la lentille intermédiaire** je fais l image de l'objet sur le bord noir de la lentille.
- **Est ce que mettre la lentille en plus dans la lunette modifie la taille de l'image ?** Non car on la rajoute dans le plan focal image/objet de l'objectif/l'oculaire.
- **et à ce moment là dans quel foyer tu te trouves ?** les deux vu que pour la lunette les deux foyers sont confondus.
- **c'est quoi la puissance du microscope ? Peux tu ré expliquer la dernière partie de ton montage ?**
- **Comment peut on savoir si des incertitudes sont surestimées ou non ?** Première chose, c'est de regarder l'allure des points et d'observer qualitativement leur répartition autour de la droite de régression. Sinon plus quantitativement on peut parler du R^2 (important d'avoir une idée de ce que c'est) ou du χ^2 (ne pas le mentionner si on ne connaît pas).
- **Tu fit par un modèle affine alors que la loi est linéaire, pourquoi ?** Cela est du au faite qu'on a des erreurs systématique dans ce montage. Cela va faire translater la courbe vers le haut et l'ordonnée à l'origine ne sera plus nulle.
- **Comment tu fais ton oeil ?** Il faut mettre l'écran dans le plan focal image. La lentille joue le rôle de cristallin et l'écran de rétine. Comme les rayons arrivent de l'infini, les rayons vont converger, grâce à la lentille sur l'écran et l'image se forme sur l'écran (qui est dans le plan focal image).
- **Différence entre grandissement et grossissement ?** Rapport de taille vs rapport d'angle
- **parler qualitativement des aberrations chromatiques et géométriques** chromatiques : lié au fait que l'indice du verre dépend de la longueur d'onde, géométrique dues au fait qu'on sorte des conditions de Gauss.
- **Expliquer le critère de Rayleigh** Critère de séparation de deux images d'objets différents sur un écran/un capteur. On montre qu'on peut distinguer deux images à conditions que le maximum d'intensité de l'une corresponde au minimum d'intensité de l'autre (ou que les deux maxima soient séparés de plus d'une largeur à mi hauteur).

Commentaires

- Montage trop long, il faut enlever une partie
- La détermination de la puissance du microscope n'est pas très claire. Il faut rendre cette partie plus compréhensible.
- tout ce qui est présenté est bien sauf la dernière partie (à cause du manque de temps).
- La dernière partie de tableau est un peu trop chargée.
- Trop de manips pour 30min. Tu règles trop de truc en direct (Il faut en préparer à l'avance).
- Chaque manip en soit est bien faite, attention à l'alignement des lentilles. Quand tu as rencontré un problème tu as réussi à le régler en direct, c'est bien.
- Écrire au tableau les équations de droite que l'on trace.
- Les incertitudes sont bien présentées au tableau (écrites correctement). Par contre on garde un seul chiffre significatif pour l'incertitude (on arrondit au supérieur).

- Essayer de faire les schéma d'optique à l'échelle.
- On trace des modèles affines pour des lois linéaires uniquement quand le fit linéaire ne marche pas. Dans ce cas, on fait un fit affine et on explique l'ordonnée à l'origine par une erreur systématique.