

TP Optique n°2

Matériel : le même qu'au TP précédent + lentilles +10δ et -10δ +miroir plan.

I – FOCOMÉTRIE

1. Définition

La *focométrie* regroupe les méthodes expérimentales permettant de déterminer la focale des systèmes optiques inconnus. Nous allons voir quelques méthodes, de plus en plus précises.

2. Méthodes

a) Nature d'une lentille : CV ou DV ? Estimation rapide de la focale

Prendre la lentille +8δ, et la coller contre l'œil (comme un monocle). Approcher une page de texte de l'ensemble œil + lentille jusqu'à voir le texte net.

Regarder la page de texte avec une lentille maintenant divergente, toujours collée contre l'œil.

Conclure sur ce que fait au texte écrit :

Une lentille convergente

Une lentille divergente

Explication :

Lorsqu'on approche un objet (page de texte) d'une lentille CV, l'image par la lentille est :

- d'abord, lorsque l'objet est loin de la lentille, l'image est réelle/virtuelle ?
- ensuite, lorsque l'objet est sur _____, l'image est _____
- ensuite, l'image devient _____

Sans aucun instrument d'optique, où se situent les objets par rapport à l'œil sans défaut lorsque la vision est la plus confortable possible ? (cf cours)

L'œil étant collé à la lentille, dans quelle zone doit se trouver l'objet pour que l'image produite par la lentille soit visible par l'œil ? Faire un schéma pour comprendre.

Et quand elle est vue le plus confortablement ?

Procéder ainsi avec les lentilles +8δ puis +10δ : en déduire une estimation expérimentale grossière de la focale $\overline{OF'} = f' = \overline{FO}$ des lentilles, puis l'utiliser pour calculer la vergence V correspondante. Est-ce en accord avec l'indication de la monture ?

Cette configuration s'appelle l'utilisation de la lentille comme une *loupe* : faire la construction graphique correspondante sur le compte-rendu de TP

- dans le cas où la loupe est parfaitement réglée : l'image qu'elle produit est à la position la plus confortable pour l'œil.
- dans le cas où la loupe n'est pas très bien réglée : l'image est effectivement vue par l'œil, mais sa position n'est pas exactement la plus confortable possible.

b) Lentille CV : estimation rapide au banc d'optique

Où faudrait-il placer l'objet par rapport à la lentille pour que l'image soit sur le foyer image ?

Ce n'est pas possible, mais on peut travailler avec la situation expérimentale la plus proche possible de cette situation.

Dire laquelle, vérifier expérimentalement avec la lentille $+10\delta$, puis avec la $+3\delta$: mesurer sa focale $\overline{OF'} = f'$ en supposant la situation idéale (donc que $A' = F'$), et calculer la vergence V correspondante.

Conclure en expliquant l'écart s'il existe, et son sens (V surestimée ou sous-estimée).

c) Lentille CV : méthode de Bessel

Lorsqu'on fixe la position de la lampe (**objet**) et celle de l'écran (**image**), séparés d'une distance notée D , on trouve, si D est *suffisamment grande*, 2 positions possibles de la **lentille** qui aboutissent à la conjugaison objet-image.

En notant d la distance entre les deux positions trouvées pour la lentille, on peut démontrer la formule de Bessel

$$f' = \overline{OF'} = \frac{D^2 - d^2}{4D}$$

- Vérifier expérimentalement avec les lentilles $+3\delta$ et $+8\delta$ (deux fois, avec deux valeurs de D).
- *Accolement de deux lentilles* : on met dans la même monture la $+8\delta$ et la -3δ . Obtenir expérimentalement avec la méthode de Bessel la focale de l'association, puis sa vergence, et proposer un théorème :

La _____ de l'accolement de deux lentilles est la _____ de chaque _____ .

d) Méthode de Silbermann

Travailler à nouveau avec la $+3\delta$, en partant d'une situation de Bessel. Repérer rapidement, sans mesures, les deux positions de la lentille permettant la conjugaison.

Itérer :

- rapprocher l'écran de l'objet en restant assez proche de la situation précédente ;
- rechercher à nouveau les positions de la lentille : que constate-t-on sur ces positions ?

Pousser l'expérience jusqu'à sa limite : remplacer alors d par sa valeur dans la formule de Bessel pour obtenir D en fonction de f' . En déduire l'estimation expérimentale de la vergence de la lentille.

Cette méthode est-elle d'application aisée ?

Retrouver dans les constructions optiques réalisées celle qui correspond à la configuration expérimentale obtenue.

On peut démontrer que c'est cette configuration qui est la moins encombrante : la distance objet-image est alors minimale.

e) Par autocollimation

Définition : C'est lorsque l'image est dans le même plan que l'objet : A et A' sont confondus.

(B et B' ne le sont pas nécessairement, l'image peut être inversée)

La méthode est très précise expérimentalement : obtenir l'image dans le même plan que l'objet permet d'estimer parfaitement la netteté de l'image par comparaison, et permet donc un réglage très fin.

Il faut donc utiliser un miroir plan, en plus de la lentille, pour obtenir une image à cette position.

Pour un objet A sur l'axe optique, lorsqu'on a l'autocollimation, la lumière revient sur elle-même : c'est ce qui se passe lorsque le faisceau est cylindrique et le miroir placé perpendiculairement au faisceau.

On constate que $A = F$ (objet dans le pfo) correspond au bon réglage.

Faire le schéma du trajet **complet** du faisceau issu de A, lorsque c'est bien réglé, pour justifier cette affirmation.

Expérience :

Le faisceau émergent de la lentille étant cylindrique, la distance entre la lentille et le miroir est sans importance pour la position des images successives.

En revanche, si le miroir est trop loin, un léger défaut d'orientation du miroir empêche la lumière de repasser dans la monture de la lentille : pour éviter cela, on accole lentille et miroir (mis dans la même monture).

Faire l'expérience en déplaçant le bloc lentille+miroir jusqu'à autocollimation pour en déduire l'estimation de la vergence de la lentille.

On testera toutes les lentilles convergentes.

Cas d'une lentille divergente

Le foyer objet F est alors virtuel.

Comme il faut y placer quelque chose, nous devons fabriquer un objet virtuel : cet objet doit donc être l'image d'un objet physique (d'un point source) par un système optique placé en amont.

- Créer une image de la lampe avec la $+8\delta$, assez loin d'elle pour qu'il y ait de la place (environ 50 cm après la lentille) : cette image sera notre objet virtuel pour la divergente.
- Placer le bloc {lentille -3δ ; miroir plan} mis dans la même monture sur le banc et le déplacer jusqu'à ce qu'il y ait autocollimation.

Pour comprendre la méthode :

- Faire un premier schéma du faisceau issu du point A et passant par son image A_0 obtenue avec la lentille convergente (construction précise inutile ici : l'allure des faisceaux suffit).
- Aligné avec le précédent, reproduire le premier schéma, en y introduisant la lentille divergente et le miroir plan **avant** A_0 , qui est donc un objet virtuel pour la divergente. Sur le schéma, on laissera un petit écart entre la divergente et le miroir pour une question de lisibilité.

- Compléter ce dernier schéma en supposant que le foyer objet F de la divergente coïncide avec A_0 : tracer le chemin complet du faisceau (lumière réelle) issu de A pour prouver qu'il y a bien autocollimation.
- En déduire les mesures à faire sur le banc d'optique, et comment les faire, pour déterminer focale et vergence de la lentille divergente inconnue. Le faire.

Rappel : le but est de déterminer expérimentalement la focale de la divergente inconnue ; le seul rôle de la lentille convergente est de fabriquer l'objet virtuel, on ne fera donc aucune mesure sur elle.

II – LUNETTES DE VISÉE

1. Définition

a) Image

Une lunette (astronomique, de Galilée, terrestre, de marine...) est un instrument **visuel** : l'image définitive $A'B'$ qu'elle construit est vue par l'œil.

Autre exemple d'instrument visuel : microscope. Contre-exemple : appareil photographique.

Comme nous supposons que l'observateur est emmétrope, avec la vision la plus confortable possible, nous obtenons la caractéristique essentielle de tous les instruments visuels :

[Pour un œil normal ...]

L'image $A'B'$ produite par tout instrument visuel doit se trouver ...

b) Objet

Contrairement au cas du microscope, les objets observés sont situés très loin :

[Dans le cas des lunettes, des télescopes ...]

On supposera donc l'objet AB situé ...

c) Système afocal

D'après la définition du foyer image de tout système optique, quel est l'objet qui lui correspond ? (autrement dit : où faut-il placer l'objet pour obtenir une image sur le foyer image ?)

Quelle est l'image du foyer objet d'un système optique ?

En appliquant ces définitions, où se situeraient les foyers objet et image d'une lunette ?

Justifier qu'on appelle ces instruments afocaux – le « a » devant l'adjectif vient du grec et signifie « sans ».

d) Constitution la plus simple

Aucune lentille mince n'étant afocale, il faut au minimum deux lentilles non accolées pour construire une lunette.

Dans le sens de la lumière, nous trouverons :

- l'**objectif** (L_{OBJ}), situé du côté des objets ; on notera ses foyers F_{OBJ} et F'_{OBJ}
- l'**oculaire** (L_{OC}), de foyers F_{OC} et F'_{OC} , situé juste avant l'œil.

Nous obtenons donc le diagramme de conjugaison suivant

$$AB \xrightarrow{(L_{OBJ})} A_i B_i \xrightarrow{(L_{OC})} A' B'$$

où $A_i B_i$ est l'image intermédiaire : image pour l'objectif et objet pour l'oculaire.

Comme AB est à _____, on en déduit que A_i est sur _____.

Comme $A' B'$ est à _____, on en déduit que A_i est sur _____.

Finalement : [œil normal + objets lointains], les foyers des lentilles sont tels que _____ = _____.

2. Expérience

Le but est de trouver la meilleure lunette possible : celle qui a le **grossissement** G le plus important (notion intuitive qui sera définie après, différente du grandissement γ).

Certaines lunettes peuvent inverser l'image, d'autres la laisser droite : on verra dans quels cas.

Ôter la lampe et l'écran du banc d'optique et utiliser deux montures.

Aligner le banc en direction d'un objet dans la salle : éloigné, reconnaissable, éventuellement éclairé.

Dans une première monture, côté objet, utiliser un objectif convergent.

Dans une seconde monture, du côté de l'œil, tester divers oculaires : convergents ou divergents.

Réglage de la lunette :

- toujours garder l'œil très proche de l'oculaire ;
- commencer avec l'oculaire loin de l'objectif ;
- rapprocher œil + oculaire de l'objectif jusqu'à vision nette ;
- estimer si le grossissement est important ou non.

Dans certaines configurations, on n'obtiendra pas d'image.

Trouver les meilleures associations qui inversent l'image et celles qui laissent l'image droite.

Proposer une règle :

En valeur absolue, le grossissement est d'autant plus grand que la vergence de l'objectif est _____ et la vergence de l'oculaire est _____ (en valeur absolue).

L'image est droite lorsque l'oculaire est _____, inversée lorsqu'il est _____.

Traduire la première règle en terme de focale.

3. Constructions graphiques

Dans les 2 cas, on respectera la contrainte obtenue sur les foyers (II – 1. d), et celle obtenue sur le rapport des focales (II – 2.), cette dernière contrainte sans exagération pour une question de lisibilité de la construction (rapport compris entre 2 et 3).

On prendra un objet AB « assez petit » pour le tracé, on construira l'image intermédiaire, puis on placera l'oculaire de telle sorte que l'image définitive soit correcte.

a) Lunette astronomique

C'est celle qui inverse : pour observer les corps célestes, l'inversion ne pose pas de problèmes...

Schématiser un objectif de focale environ 5 cm (il faut de la place pour le tracé) : foyers et centre optique correctement nommés.

Schématiser un oculaire, bien positionné par rapport à l'objectif, et nommer ses points caractéristiques.

Tracer les deux rayons particuliers issus de B pour construire l'image intermédiaire B_i .

Tracer les deux rayons particuliers issus de B_i (sans chercher leurs incidents avant l'objectif, c'est inutile) pour construire l'image B' : retrouver le caractère afocal de la lunette.

En réalité, un seul rayon est nécessaire à chaque construction, lequel et pourquoi ?

Hachurer le faisceau (trajet complet) issu de B, s'appuyant sur les bords de l'objectif.

b) Lunette de Galilée

C'est celle qui laisse l'image droite.

Reprendre la démarche précédente : on peut schématiser une grande focale pour l'objectif, de 8 à 10 cm ; éviter le rapport 2 exactement entre les focales.

c) Grossissement des lunettes

On appelle α l'angle algébrique sous lequel on voit l'objet, donc sans la lunette.

Pour un objet situé à l'infini, c'est donc l'angle qui définit la direction de B_∞ (direction commune des rayons qu'il émet). Attention pour un objet AB au-dessus de l'axe optique, les rayons sont descendants : α est donc négatif.

On appelle α' l'angle sous lequel on voit l'image, donc avec la lunette : c'est l'angle que font les rayons passant par B'_∞ , après passage dans l'oculaire.

Marquer ces deux angles sur chacune des constructions précédentes, partout là où on les retrouve.

On définit le grossissement par $G = \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha}$: à l'aide de triangles bien choisis, montrer que, dans

les deux cas, $G = -\frac{f'_{\text{OBJ}}}{f'_{\text{OC}}}$ et traduire ce résultat en utilisant les vergences.

S'il reste du temps...

1. Démontrer la formule de Bessel
2. Prouver avec l'utilisation de la relation de conjugaison de Descartes le théorème d'accolement des lentilles minces : on écrira d'abord un diagramme de conjugaison pour nommer les différentes images.
3. Modéliser un microscope à oculaire convergent et faire la construction graphique correspondante.
On cherchera à obtenir un diamètre apparent de l'image le plus élevé possible.