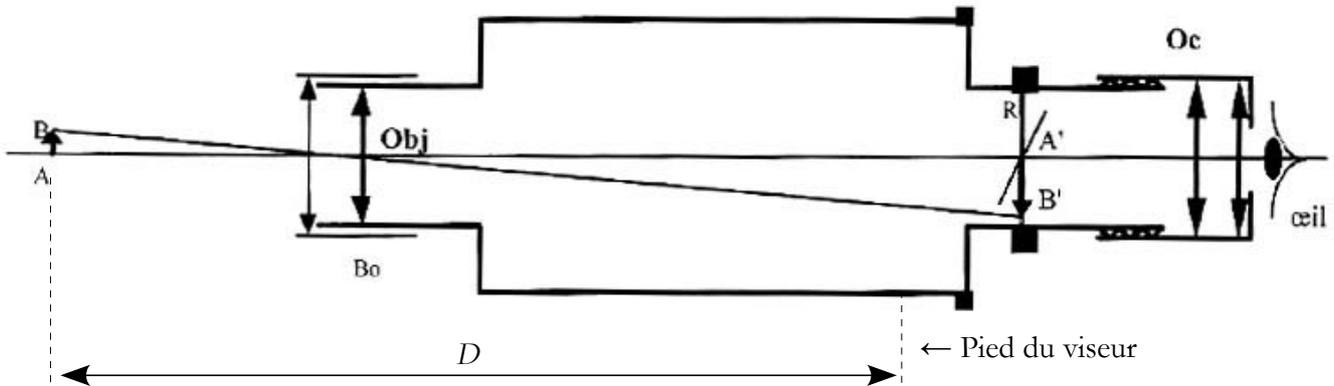


Focométrie avec un viseur

I – DESCRIPTION ET UTILISATION DU VISEUR



1. Composition de l'instrument et réglage de netteté

Il est constitué :

- d'un *réticule* R : deux fils métalliques très fins dessinant une croix ;
- d'un *oculaire* Oc

Son rôle est de former une image du réticule vue *sans accommodation*, c'est-à-dire sans effort, par l'observateur.

Sa distance au réticule est réglable : chaque observateur, ayant une vision de qualité différente (emmétrope, légèrement myope ou hypermétrope), doit le *réglé à sa vue propre*, et refaire le réglage à chaque changement dans le binôme.

Sauf s'il est astigmaté, l'expérimentateur peut donc se passer de ses lunettes correctrices.

Pour procéder au réglage, il faut commencer avec l'oculaire *loin* du réticule puis le *rapprocher* jusqu'à obtenir une image visuelle nette.

Justification pour un œil emmétrope

En procédant ainsi, on commence avec une image du réticule qui est réelle (car l'objet $A'B'$ est alors avant le foyer objet de l'oculaire F_{oc}) : le faisceau obtenu est convergent, et cette image correspond à un objet virtuel pour l'œil, qu'il ne peut pas voir. En éloignant progressivement l'oculaire, on fait coïncider F_{oc} avec A' , l'image définitive se retrouve à l'infini, que l'œil voit sans effort : la *première position* où le réticule est vu net est donc *la bonne*.

Si l'on procède en sens inverse, avec l'oculaire trop proche au départ du réticule, l'image qu'il forme est virtuelle (faisceau divergent) : c'est un objet réel pour l'œil, qu'il peut voir avec effort. En éloignant le réticule, il n'est pas facile de trouver pour quelle position l'effort d'accommodation cesse.

- d'un *objectif* Obj

L'instrument est conçu (réglage usine très précis) pour que l'image par l'objectif d'un objet à l'infini se forme exactement sur le réticule : le réticule est dans le plan focal image de l'objectif.

Avec un oculaire correctement réglé, le viseur est donc équivalent à une lunette astronomique : conjugaison $\infty \rightarrow \infty$ pour un œil emmétrope.

Justifier d'après le schéma que l'image définitive est bien inversée.

Attention : on ne servira pas du viseur dans ce mode (sauf au début du II), parce qu'il est également constitué :

- d'une *bonnette* Bo

Il s'agit d'une lentille convergente de faible vergence que l'on ajoute à l'objectif : comme elle fait légèrement converger les faisceaux, c'est maintenant pour un objet AB devant l'objectif, à une certaine distance finie, que l'image définitive est vue au même endroit que le réticule.

2. Point essentiel : utilisation du viseur

- La *seule mesure précise* de la position du viseur est celle repérée sur l'axe optique à l'aide du vernier situé au pied du viseur ;
- Lorsque l'on vise un objet A (ou une image) sur l'axe optique à l'abscisse x_A , avec le viseur, tout étant correctement réglé (objet vu sur le réticule sans effort d'accommodation), le pied du viseur se trouve en réalité à l'abscisse $x_A + D$ sur le banc d'optique.

La distance D étant inconnue, la mesure d'une seule position du viseur sur le banc d'optique (pointage d'un objet) ne donne aucune information intéressante.

- En revanche, toutes les lois de l'optique utilisent des *mesures algébriques* telles que $\overline{OA} = x_A - x_O$: la valeur exacte des abscisses est sans importance, seule compte leur différence.

Comme on a $\overline{OA} = (x_A + D) - (x_O + D)$, l'écart entre deux pointages sur l'axe correspond bien à la mesure algébrique cherchée.

La mesure au pied du viseur ne fait donc que tout décaler d'une certaine distance, toujours la même.

- Dans tout le TP, lorsque le viseur pointe un objet A , on assimilera la position relevée au pied du viseur avec l'abscisse de l'objet x_A (on rédigera $x_A = 128,53$ cm, alors qu'il s'agit en réalité de $x_A + D$).

3. Entraînement, sur une planche à clous !

Pour se familiariser avec l'utilisation du viseur, on cherche à déterminer *rapidement* la distance entre deux clous, avec deux visées successives.

- Placer la planche à clous de telle sorte que chacun des clous soit à la verticale du banc (axe optique) ;
- Régler la hauteur et la position latérale du viseur : trouver quels réglages le permettent ;

Sans utiliser encore le viseur, mais en regardant selon l'axe optique, les têtes des clous doivent être approximativement centrées dans l'objectif.

- Régler le viseur à sa vue et chercher un clou en déplaçant lentement le viseur : la difficulté est que le viseur produit une image inversée ;
- Pour savoir lequel des deux clous est visé, n'en éclairer qu'un avec la lampe directionnelle.

Une astuce pour le trouver est de déplacer une pointe de stylo au voisinage du clou.

- Donner une estimation de la distance de pointage $D =$

Cette information sera utile par la suite et permettra de positionner grossièrement le viseur sur le banc (près de ce qu'on cherche à viser).

- Noter les abscisses des clous (sans chercher à utiliser le vernier pour l'instant)

$x_1 =$

$x_2 =$

et déterminer la distance d qui les sépare : $d =$

4. Utilisation du vernier

- *Première étape* : Repérer *avant toute chose* entre quelles graduations se trouve le « 0 » du pied du viseur.

Exemple : le zéro de la graduation du viseur est entre 56,3 cm et 56,4 cm

- *Seconde étape* : Repérer la coïncidence de la graduation du vernier avec celle du banc. La valeur indiquée sur le vernier est celle du chiffre supplémentaire.

Exemple ci-contre : Le chiffre *supplémentaire* est 0,3 graduations.

En supposant que le « 10 » du dessus représente 10 mm, l'abscisse lue est donc $x = 1,3 \text{ mm}$...

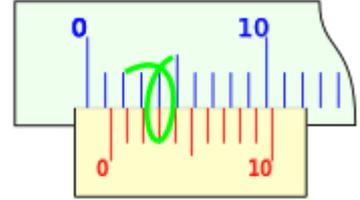
(le « 1 » initial étant obtenu à la première étape)

... et pas $x = 1,4 \text{ mm}$, ni bien sûr $x = 4 \text{ mm}$!!

On démontre ce comportement, sachant que les 10 graduations du vernier ont une longueur totale de 9 graduations principales.

- Pour trouver la coïncidence, il est efficace de chercher un plan de symétrie dans le motif dessiné par l'ensemble des deux systèmes de graduation.

En étant très optimiste, on peut espérer atteindre une précision de 0,05 graduations : on voit lorsque le plan de symétrie passe entre deux graduations.



5. Estimation des incertitudes-type

Il y a essentiellement deux causes d'incertitudes sur les mesures de position :

- la lecture du vernier : on prendra comme précision $\Delta_V = 0,1 \text{ mm}$ (si l'on fait l'effort de travailler correctement).
- l'estimation de la netteté de l'objet ou de l'image visés : on déterminera Δ_N en se mettant d'accord sur l'intervalle acceptable par au moins deux mesures, chacune étant faite par une personne différente (qui règle à chaque fois le viseur à sa vue et refait complètement la visée).

Les deux incertitudes sont donc de type B :

- quelle est alors la relation entre l'incertitude-type et la précision ?
- il faudrait ajouter quadratiquement les incertitudes-type (racine de la somme des carrés) ;
- cependant (sauf si l'on trouve un Δ_N très faible), on verra que souvent $\Delta_V \ll \Delta_N$: on peut alors ne tenir compte que de l'incertitude de netteté.

Remarque : il est tout-à-fait normal d'obtenir Δ_N élevée lorsqu'on vise une image très agrandie et très éloignée (aberrations des systèmes optiques).

II – FOCOMÉTRIE DES LENTILLES MINCES

1. Mesure directe

a) Principe

Par définition, la distance focale est $\overline{OF'}$ où F' est le foyer image de la lentille, image du point objet à l'infini sur l'axe optique A_∞ .

On crée donc un objet à l'infini, puis l'on vise :

- son image, en F'
- le centre optique de la lentille x_O

b) Création de l'objet à l'infini

On utilise un *collimateur* qu'il faut régler sur l'infini.

- Brancher l'appareil et regarder dedans à l'œil nu : il produit une image lumineuse en forme de cible, qui sert donc d'objet pour la manipulation.
- Il possède une bague de réglage, qui permet de placer correctement l'objet lumineux.
- En utilisant le viseur, régler le collimateur à l'infini. On supposera ce réglage exempt d'erreurs.

Le viseur : avec ou sans bonnette pour ce réglage ?

c) Expérience

- Faire la mesure de la focale sur la lentille *convergente* fournie.

Attention à aligner grossièrement (hauteur et réglage latéral) au préalable les trois systèmes optiques (collimateur, lentille, viseur) en les rapprochant les uns des autres.

Rédiger avec soin (distinguer mesures et calculs) et présenter le résultat expérimental.

- En déduire le résultat expérimental pour la vergence.
- On s'intéresse maintenant à la focométrie d'une lentille *divergente* assez puissante, donc de courte focale.

Procéder à la manipulation. Pourquoi cette méthode échouerait-elle avec une lentille divergente peu puissante, donc de longue focale ?

2. Mesure indirecte

On travaille maintenant avec un objet AB à distance finie : un quadrillage sur papier translucide où l'on a dessiné une flèche. Ôter le collimateur du banc d'optique (une fois débranché), et le stocker couché à côté du banc pour éviter qu'il ne tombe. Le remplacer sur le banc par l'objet, qu'on éclairera de biais avec la lampe directionnelle (ne pas éclairer parallèlement au banc d'optique).

On cherche à mesurer la focale d'une lentille divergente L_{DV} de grande focale, ce qui n'était pas possible avec la méthode précédente. On note son centre optique O .

- Avec une lentille convergente quelconque (la précédente), créer une image réelle de l'objet à une distance raisonnable de la lentille (une trentaine de centimètres).

On notera A_1B_1 cette image formée par la lentille convergente.

- On introduit maintenant L_{DV} entre la lentille convergente et A_1B_1 .

Comment la lentille divergente modifie-t-elle le faisceau issu de A et qui passait sans elle par A_1 ? Justifier que l'image $A'B'$ formée par L_{DV} se trouve plus loin sur l'axe optique que A_1B_1 .

- Proposer une méthode pour déterminer la focale de la lentille divergente à l'aide de la relation de conjugaison : une seule conjugaison suffit et il faut toujours travailler sur la *même* conjugaison (si l'on déplace la lentille, on ne pourra plus la remettre à sa position antérieure avec une précision correcte).

Attention à l'ordre des points visés : O , A_1 et A' , il n'est pas indifférent. N'oubliez pas qu'il faut au moins deux mesures de chaque point pour estimer les incertitudes.

III – MIROIRS SPHÉRIQUES

L'équivalent du centre optique O d'une lentille est appelé *sommet* S du miroir : c'est le centre de la surface réfléchissante donc de la monture.

La relation de conjugaison pour les miroirs est la même que celle des lentilles : $\frac{1}{SA'} = \frac{1}{SA} + \frac{1}{SF'}$, où $\overline{SF'}$ est la focale du miroir, à condition de choisir une bonne ...

1. Orientation de la lumière

On oriente l'axe optique *dans le sens de la lumière*. Cela est évident lorsqu'on travaille avec des lentilles, mais dans le cas des miroirs :

- le sens du banc d'optique est celui de la lumière incidente : on a alors $\overline{SA} = x_A - x_S$;
- la lumière réfléchie va en sens opposé des graduations du banc, l'axe optique est alors inversé : on a alors $\overline{SA'} = x_S - x_{A'}$.

Attention : sur certains bancs, c'est l'inverse pour des raisons pratiques, on fait venir la lumière incidente en sens opposé des graduations. Si c'est le cas, ajuster les signes en conséquence.

Si l'on respecte cette convention d'orientation de la lumière, un miroir *convergent* a bien une focale et une vergence *positives*.

2. Conjugaison par un miroir concave (convergent)

a) Obtention d'une conjugaison

- Placer l'objet (quadrillage) sur le banc et l'éclairer de biais ;
- Introduire le miroir dans la monture et régler grossièrement l'alignement vertical et latéral de l'objet, du miroir et du viseur ;
- Trouver l'objet avec le viseur ;
- Placer le miroir à une trentaine de centimètres de l'objet ;
- Tourner le miroir d'environ 10°
- Chercher l'image formée par le miroir : la droite (SA') fait donc un angle d'environ 20° avec l'axe optique (droite (SA)).

On travaillera dans l'obscurité (seul l'objet étant éclairé) et on cherchera la position approximative de l'image à l'aide d'une feuille de papier tenue à la main.

- Déplacer le miroir pour que l'image A' se forme notablement plus loin de S que l'objet A .
 - suffisamment pour pouvoir les distinguer à la visée ;
 - pas trop, de telle sorte que l'image soit lumineuse (trop loin, elle est très agrandie et très pâle).
- Ramener doucement le miroir vers l'axe optique pour envoyer l'image dans le viseur.

On ne peut qu'estimer la bonne position angulaire du miroir : l'image n'est plus visible lorsque le miroir est correctement réglé.

- Lorsque le réglage est idéal, on vise le même endroit du quadrillage, sur l'objet et sur l'image.

b) Mesures

On ne travaille toujours que sur *une seule* conjugaison : un déplacement de l'objet ou du miroir obligerait donc à reprendre toutes les mesures.

- Viser l'objet A , au moins deux fois (ne pas oublier les incertitudes).
- Viser l'image A' de la même façon, sans déplacer ni l'objet ni le miroir.
- Seulement lorsque ces deux mesures sont certaines, retirer l'objet pour pouvoir viser le sommet S du miroir.

Des rayures ont été volontairement faites sur la surface du miroir pour cette visée : elles apparaissent comme des traits gris métal. Éclairer le miroir de biais pour une meilleure visée.

Ne pas les confondre avec les poussières situées sur la vitre (donc pas exactement au même endroit) qui apparaissent comme des flocons beiges.

- En déduire la focale et la vergence du miroir, avec la présentation du résultat expérimental.

3. Cas d'un miroir convexe (divergent)

C'est le même miroir, mais retourné.

- Procéder aux alignements grossiers.
- L'image est virtuelle : vérifier qu'on peut la voir à l'œil nu (sans le viseur) dans le miroir.
- Cette image ne doit pas être trop loin du sommet, pour qu'on puisse la viser avec le viseur :
 - Rapprocher le viseur au maximum de l'objet A , la bonnette touchant presque la monture.
 - Déplacer le miroir pour que l'image apparaisse nette dans le viseur (il s'agit bien de l'image : l'objet est beaucoup trop près du viseur).
- Il n'est donc ici pas nécessaire d'ôter l'objet pour viser le sommet : en reculant le viseur, on trouvera successivement l'image, le sommet du miroir, puis l'objet.
- Obtenir la focale et la vergence du miroir convexe.

4. Méthode par autocollimation

a) Définition

Il existe une conjugaison appelée *autocollimation* telle que les points A et A' sont confondus (on ne peut pas dire que l'objet et l'image sont confondus : l'image est inversée).

- En appliquant la relation de conjugaison, obtenir l'expression de \overline{SA} en fonction de $\overline{SF'}$ dans ce cas : attention à la convention d'orientation de la lumière !

Pour ne pas faire d'erreurs de signe, remplacer dans le calcul les mesures algébriques par les abscisses en respectant la convention.

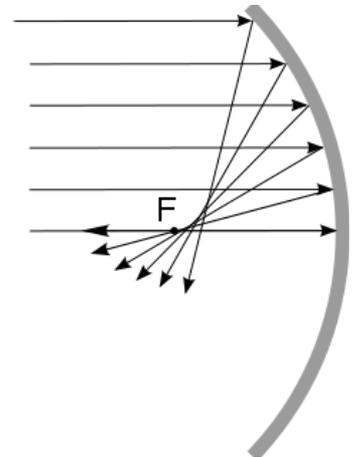
- Cette position sur l'axe optique s'appelle *centre C* du miroir.

Sur la figure ci-contre, où l'axe optique est horizontal, où doit-on placer $A=C$ pour que tous les rayons issus de A repassent par A , ce qui donne bien $A=C=A'$?

On pensera aux lois de Descartes pour la réflexion.

Finalement, C est le centre de quoi ?

- Conclusion : le foyer du miroir se trouve ...



b) Application

On travaille avec le miroir convergent.

- Placer l'objet à un endroit donné sur le banc ;
- Grâce à la rallonge, déplacer le miroir *tout en visant*, jusqu'à ce que l'image soit vue nette en même temps que l'objet.
- Terminer la rédaction du protocole pour obtenir la focale. Comparer le résultat obtenu avec celui obtenu à la question III-2.b).