Correction du TP

Capacités exigibles

- ◇ Mesure de longueurs sur un banc d'optique.
- ◇ Mettre en œuvre une mesure de longueur par déplacement du viseur entre deux positions.
- ◇ Utiliser un viseur à frontale fixe, une lunette auto-collimatrice.
- ◇ Utiliser des vis micrométriques et un réticule pour tirer parti de la précision affichée de l'appareil utilisé.

I Objectifs

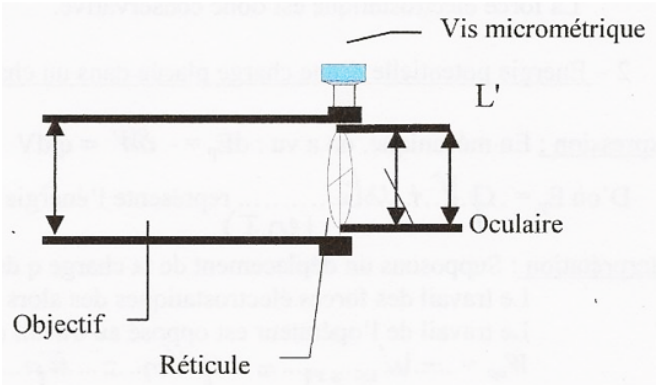
- ◇ Réaliser des alignements sur un banc optique ;
- ◇ Reconnaître rapidement une lentille convergente et une lentille divergente ;
- ◇ Déterminer une distance focale par différentes méthodes.

II S'approprier

II/A Principe de fonctionnement d'un viseur à frontale fixe

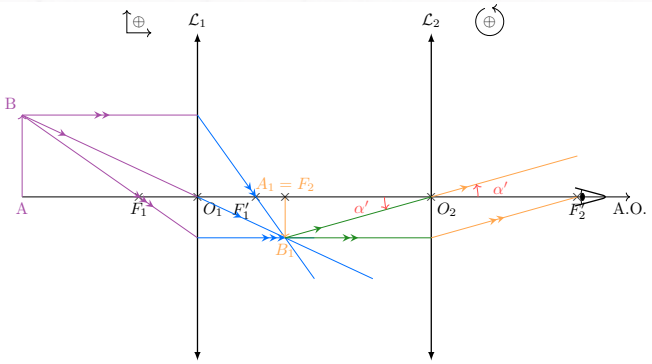
Un viseur à frontale fixe est constitué :

- ◇ d'un objectif
- ◇ d'un réticule
- ◇ d'un oculaire
- ◇ d'une vis micrométrique permettant de translater le réticule selon un axe orthogonal à l'axe optique.



L'objectif forme l'image A'B' de AB dans le plan focal objet de l'oculaire, tel que l'image finale est à l'infini, permettant pour l'œil une observation sans accommodation. Le réticule est dans ce même plan et est donc visible simultanément à l'objet AB. Globalement, le système peut être représenté par trois lentilles minces convergentes (dont le cristallin de l'œil) selon

$$\mathrm{AB} \xrightarrow[\text{objectif}]{\mathcal{L}_1} \mathrm{A_1B_1} \xrightarrow[\text{oculaire}]{\mathcal{L}_2} \underbrace{\mathrm{A'B'}}_{\infty} \xrightarrow[\text{cristallin}]{\mathcal{L}_3} \text{image rétine}$$



À comprendre

Un réticule est placé dans le plan focal objet de l'oculaire. Ainsi, il convient de translater le viseur sur le banc optique par rapport à l'objet pour voir simultanément l'objet et le réticule net. Nous noterons D la distance séparant le centre optique de l'objectif de l'objet visé AB. Cette distance est fixe, ce qui explique la dénomination de viseur à frontale fixe.

II/B Principe de lecture d'une vis micrométrique

Outils TP2.1 : Lecture d'une vis micrométrique

La vis micrométrique permet de lire la position d'un double fil vertical dans le plan du réticule, en tournant le « tambour ». Le tambour est divisé en 50 graduations. Chacune d'entre elle correspond à 0.01 mm. Un tour entier du tambour (50 graduations) réalise donc un déplacement de 0,50 mm. La distance totale est lisible sur le cylindre de la vis en elle-même. On peut ainsi, en déplaçant le fil vertical du réticule, mesurer la dimension de l'image A'B' réalisée de l'objet AB au 1/100 mm.

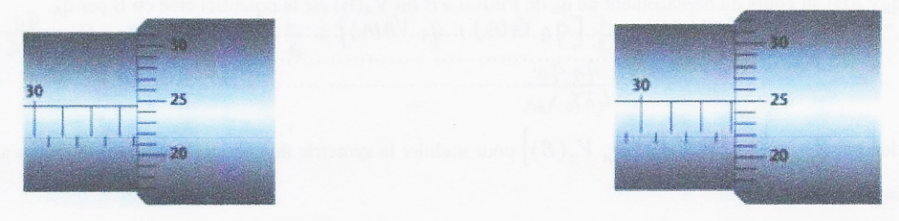


Figure TP2.1 – Principe de lecture sur une vis micrométrique. Un tour complet correspond à 0,50 mm.
À gauche : $33 + 0{,}5 + 0{,}245 = 33{,}745$ mm. À droite : $33 + 0{,}250 = 33{,}250$ mm.

(1) Quelle est l'incertitude-type sur une telle mesure ? (s'aider de la fiche pratique sur la théorie de la mesure).

Réponse

Une graduation valant 0,01 mm, on a une incertitude type B égale à une graduation sur racine de 3, soit

$$u(x) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = 0{,}0058\,\text{mm}$$

◇

II/C Principe de réalisation d'un pointé longitudinal avec un viseur

On cherche à déterminer la distance algébrique longitudinale $d = \overline{\text{AA}'}$ dans la situation du schéma suivant. La mesure se déroule en deux étapes :

Expérience TP2.1 : Réglage du viseur

Translater l'oculaire en agissant sur l'œilleton de l'oculaire afin de mettre au point le réticule (c'est-à-dire voir les fils croisés nets).

Remarque

Ce réglage dépend de chacun-e, aussi il faut donc en théorie le réaliser à chaque fois que l'observataire change. En pratique, si votre œil est sans défaut, ou si ces défauts ont été corrigés, il n'est pas nécessaire de modifier les réglages pour les membres d'un binôme.

Expérience TP2.2 : Pointé longitudinal

1) Viser l'objet AB (viser signifie voir l'image nette de l'objet à travers le viseur). L'abscisse du viseur est alors :

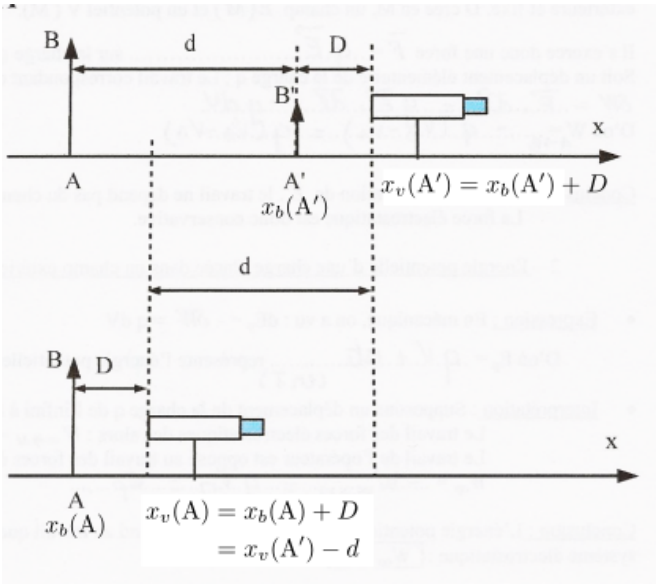
$$x_v(\text{A}) = x_b(\text{A}) + D$$

2) Viser l'image A'B'. On a alors

$$x_v(\text{A}') = x_b(\text{A}') + D$$

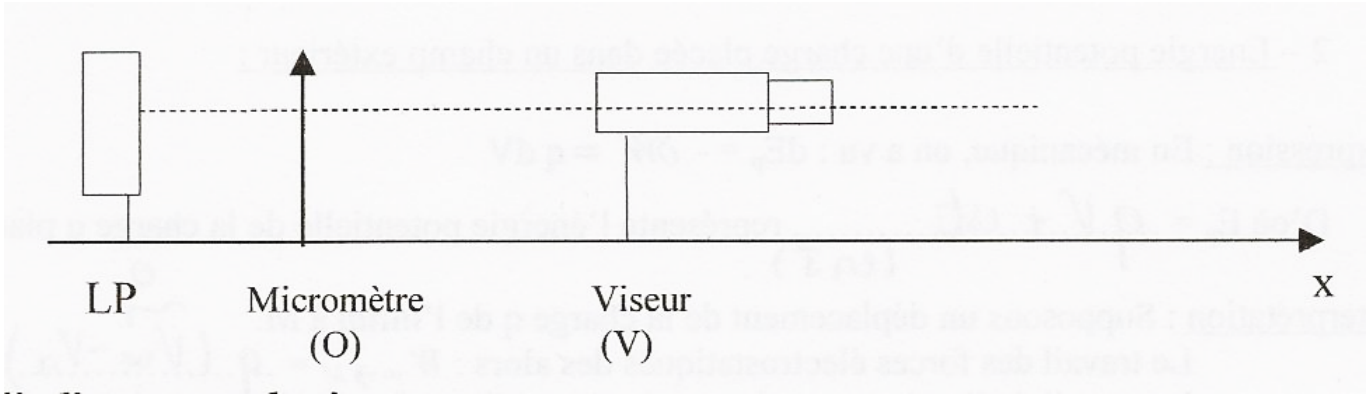
On en déduit alors la distance $d = \overline{\text{AA}'}$ comme étant :

$$x_v(\text{A}') - x_v(\text{A}) = (x_b(\text{A}') + D) - (x_b(\text{A}) + D) = d$$



II/D Mesure du grandissement transversal du viseur

Le but de cette manipulation est de déterminer le grandissement transversal de l'**objectif** du viseur : $\gamma = \overline{A'B'}/\overline{AB}$. Pour cela, on détermine grâce à la vis micrométrique du viseur, la dimension de l'image A'B' d'un objet AB de dimension connue. L'objet AB de dimension connue est un micromètre, c'est-à-dire un axe gradué où 100 traits représentent 1 cm. Le micromètre doit être horizontal.



Expérience TP2.3 : Pointé transversal

1) Réaliser le montage ci-avant. Avant toute mesure, il faut régler l'alignement des instruments d'optique.
2) Approcher le viseur près du micromètre, vérifier les alignements des instruments, puis s'en écarter tout doucement jusqu'à voir net le micromètre dans le viseur en superposition avec le réticule.
3) Grâce à la vis micrométrique, déplacer le fil vertical mobile du réticule sur une graduation centrale du micromètre et noter l'indication de la vis.
4) Faire précisément 2 tours avec la vis micrométrique : cela représente un déplacement de 1 mm côté image.
5) Relever, dans le viseur, la nouvelle graduation du micromètre pointée par le fil vertical mobile.
6) Déduire de ces relevés la valeur absolue du grandissement $|\gamma|$ de l'objectif du viseur.
7) Sachant que l'objectif du viseur est constitué d'une lentille convergente, en déduire le grandissement algébrique γ de l'objectif du viseur.

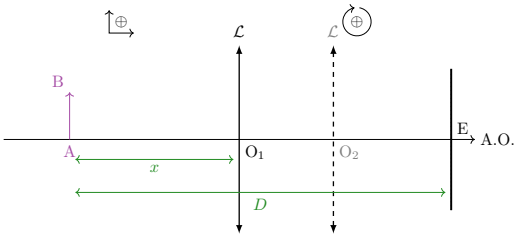
II/E Focométrie : rappel TP précédent (Bessel et Silbermann)

Rappel

La focométrie consiste à déterminer expérimentalement la distance focale d'une lentille $(\mathcal{L})$ inconnue.

À l'aide d'une lentille mince convergente $(\mathcal{L})$ de distance focale image f' inconnue, on veut former l'image d'un objet réel sur un écran situé à une distance D de l'objet. En déplaçant la lentille, on trouve deux positions O_1 et O_2 qui donnent une image nette sur l'écran (cf. figure ci-contre) à condition que $D \geq 4f'$. On a vu qu'alors la focale image f' pouvait s'écrire :

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



La méthode de Silbermann est le cas particulier où $x_1 = x_2$.

(2) Rappeler le protocole de la méthode de Silbermann.

Réponse

On détermine f' en trouvant une unique position telle qu'il y ait une image nette.

Pour cela, on commence avec D grand et on cherche 2 positions nettes, et on réduit progressivement D jusqu'à n'en avoir plus qu'une. On relève la plage de validité de D, on prend la valeur centrale et l'incertitude-type sera la demi-largeur de l'intervalle divisée par $\sqrt{3}$.

On calcule alors $f' = \frac{D}{4}$ et $u(f') = \frac{u(D)}{4}$.

◇

III Réaliser et valider

Notebook `Capytale` disponible : https://capytale2.ac-paris.fr/web/c/8e2d-1856963.

III/A Pointé longitudinal

Pour cette mesure, l'objet AB est constitué par la lettre F et l'objet A′B′ par un quadrillage dessiné sur feuille transparente. On séparera les deux objets d'une quinzaine de centimètres. On éclaire l'ensemble avec la lanterne (en 6 V alternatif) devant laquelle on interpose un écran dépoli pour limiter le flux lumineux.

1 Suivre le protocole permettant de réaliser un pointé longitudinal et **valider** la méthode. Comparer pour ce faire la distance obtenue par pointé avec le viseur à la distance réelle entre les deux objets (lue directement sur le banc optique). Déterminer les incertitudes relatives, et en déduire l'écart normalisé.

Réponse

Les calculs sont disponibles sur le notebook corrigé : https://capytale2.ac-paris.fr/web/c/0c8a-3921523.
On trouve avec le viseur :

$$x_v(A) = (27{,}500 \pm 0{,}058)\,\text{cm} \quad \text{et} \quad x_v(A') = (42{,}100 \pm 0{,}058)\,\text{cm}$$
$$\text{soit} \quad \underline{d_v = (14{,}600 \pm 0{,}082)\,\text{cm}} \quad \text{avec} \quad u(d_v) = u(x_v)\sqrt{2}$$

et par lecture directe sur le banc :

$$x_b(A) = (14{,}000 \pm 0{,}058)\,\text{cm} \quad \text{et} \quad x_b(A') = (29{,}200 \pm 0{,}058)\,\text{cm}$$
$$\text{soit} \quad \underline{d_b = (15{,}200 \pm 0{,}082)\,\text{cm}} \quad \text{avec} \quad u(d_b) = u(x_b)\sqrt{2}$$

Ainsi, on a un écart normalisé

$$\boxed{E_N = \frac{|d_b - d_v|}{\sqrt{u(d_b)^2 + u(d_v)^2}}}$$
$$\text{A.N.} : \underline{E_N = 0{,}73 < 2}$$

Les deux mesures sont bien compatibles.

◇

Remarque

Évidemment, dans la situation présente, la méthode semble un peu artificielle, puisqu'il est possible de lire directement sur le banc optique la position des objets. Néanmoins, dans une situation plus réaliste, une telle méthode peut s'avérer très utile puisqu'il devient alors possible de déterminer de loin la distance séparant deux objets.

III/B Pointé transversal : largeur d'un fil de cuivre

2 Réaliser la mesure du grandissement de l'objectif du viseur.

Réponse

Le réticule vu au travers du viseur pointe sur l'abscisse 50 du viseur, soit 5 mm, avant l'opération sur la vis micrométrique.

Après exactement deux tours, le réticule a physiquement été déplacé de 1 mm. En lisant au travers du viseur, le réticule pointe maintenant sur l'abscisse 60, soit 6 mm. Ainsi, le grandissement de l'oculaire du viseur est $|\gamma| = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = 1$, avec $\overline{A'B'}$ la taille de l'image vue au travers du viseur (donc le micromètre de $[5\ ;\ 6]$ mm) et $\overline{AB}$ la distance réelle parcourue par le réticule (donc 1 mm).

Comme c'est une lentille convergente, l'image est forcément renversée (objet réel avant le foyer objet), donc techniquement $\gamma = -1$.

On en conclue que le déplacement appliqué sur le réticule par la vis micrométrique est tout à fait le même au déplacement observé au travers du viseur : on peut ainsi mesurer une épaisseur par visualisation au travers de celui-ci.

◇

3 Prendre comme objet un fil de cuivre, le viseur, positionner correctement le fil vertical du réticule et, connaissant le grandissement de l'objectif du viseur, en déduire l'épaisseur de celui-ci.

Réponse

On place le réticule à gauche du fil de cuivre. On lit la position du réticule sur la vis micrométrique : $x_{R,g} = (4{,}5300 \pm 0{,}0058)\,\text{mm}$.

On déplace le réticule du côté droit du fil de cuivre. On lit la position du réticule sur la vis : $x_{R,d} = (5{,}5300 \pm 0{,}0058)\,\text{mm}$. On a donc une épaisseur :

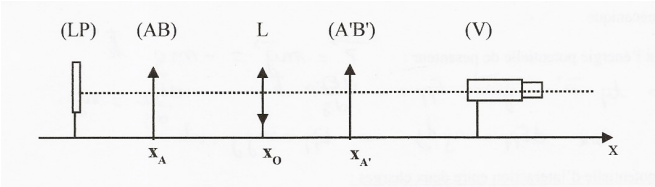
$$\boxed{e = |x_{R,d} - x_{R,g}|} \quad \text{avec} \quad \boxed{u(e) = \sqrt{u(x_{R,d})^2 + u(x_{R,g})^2} = 1{,}0081\,\text{mm}} \Rightarrow \underline{e = (1{,}0000 \pm 0{,}0082)\,\text{mm}}$$

◇

III/C Relation de conjugaison de Descartes

III/C) 1 Montage

Prendre comme objet AB la plaque constituée des lettres F sur papier translucide et réaliser le montage ci-contre avec une lentille convergente de la focale de votre choix.



III/C) 2 Mesures

Expérience TP2.4 : Relation de conjugaison

1) Chercher la position approximative de l'image A'B' de AB ainsi obtenue grâce à un écran.
2) Viser ensuite cette image A'B' avec le viseur. Noter l'abscisse $x_1 = x_{A'} + D$ du viseur sur le banc.
3) Mettre un petit morceau de papier sur la lentille $\mathcal{L}$, viser celle-ci avec le viseur en réalisant la mise au point sur les déchirures du papier.
4) Noter l'abscisse $x_2 = x_0 + D$ du viseur sur le banc.
5) Viser enfin l'objet AB avec le viseur (après avoir ôté la lentille).
6) Noter l'abscisse $x_3 = x_A + D$ du viseur sur le banc. Déduire des mesures $\overline{OA}$ et $\overline{OA'}$ en fonction de x_1, x_2 et x_3.

4 Faire les applications numériques et à l'aide de la relation de conjugaison avec origine au centre des lentilles minces, calculer f'_{desc}.

Réponse

Voir en ligne.

◇

5 Estimez les incertitudes, puis calculer l'écart normalisé entre f'_{desc} et f'_{th} (distance focale indiquée sur la lentille). **Commentez**.

Réponse

Voir en ligne.

◇

III/C) 3 Observation d'une image virtuelle

6 Proposer et réaliser un protocole permettant d'observer à l'aide du viseur une image virtuelle avec la lentille $V = -10\,\delta$. Quelles sont les contraintes à respecter ? Faire constater votre montage (réussi) par la professeure.

Réponse

On place un objet contre une lampe suivi d'un écran dépoli sur un banc d'optique.

On place une lentille de $V = -10\,\delta$ devant l'objet.

Pour observer l'image virtuelle obtenue, il faut que l'image en question soit visible avec le viseur dans l'espace image réelle de la lentille. Comme le viseur doit être décalé d'environ 15 cm pour ça, l'image virtuelle doit être à moins de 15 cm du centre de la lentille.

On place alors le viseur après la lentille, en observant au-travers de celle-ci.

◇

III/D Focométrie par la méthode de Bessel avec un viseur

Le viseur joue alors le rôle de l'écran dans la méthode de Bessel telle que vue dans la partie théorique.

Expérience TP2.5 : Bessel au viseur

1) Fixer la position de l'objet AB.
2) Pointer l'objet AB avec le viseur et noter x_0 l'abscisse du viseur.
3) Interposer la lentille $8\,\delta$ entre l'objet et le viseur.
4) Déplacer le viseur d'une distance $D > 4f'$ simple et facile à repérer. L'abscisse du viseur est alors $x_0 + D$.
5) Déterminer les positions de la lentille O_1 et O_2 qui réalisent la conjugaison objet image en déplaçant la lentille entre l'objet et le viseur, afin d'obtenir une image nette à travers le viseur. Relever les deux positions correspondantes de la lentille notées x_1 et x_2.

7 Calculer $d = x_2 - x_1$, puis en déduire f'_{bess}.

Réponse

Voir en ligne.

◇

8 Appliquer la méthode de Silbermann pour obtenir f'_{silb} par une autre méthode.

Réponse

Voir en ligne.

◇

9 Avec l'écart normalisé, comparer les valeurs de f' obtenues expérimentalement par chacune des méthodes avec la valeur donnée sur la monture de la lentille, en estimant les différentes incertitudes.

Réponse

En cours...

◇