

TP10A – Focométrie & Instruments d'optique

Révisions optique géométrique 1^e année

Problématiques :

Comment mesurer précisément la distance focale image d'une lentille ?

Comment associer plusieurs lentilles pour reproduire la fonction d'une lunette astronomique ?

Compétences expérimentales au programme :

Longueurs : sur un banc d'optique.	Mettre en œuvre une mesure de longueur par déplacement du viseur entre deux positions.
Lentilles minces	Modéliser expérimentalement à l'aide de plusieurs lentilles un dispositif optique d'utilisation courante
Former une image.	Eclairer un objet de manière adaptée. Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, et choisir leur focale de façon raisonnée. Optimiser la qualité d'une image (alignement, limitation des aberrations...). Estimer l'ordre de grandeur d'une distance focale
Créer une direction de référence.	Régler et mettre en œuvre un collimateur.

Objectifs :

- Analyser différentes méthodes permettant de déterminer **avec précision** la distance focale image d'une lentille, utiliser un viseur pour mesurer des distances et un collimateur pour créer un objet à l'infini.
- Modéliser une lunette avec le matériel disponible au laboratoire et étudier ses caractéristiques.

A faire pour la séance de TP :

Lire entièrement le sujet et répondre aux questions .

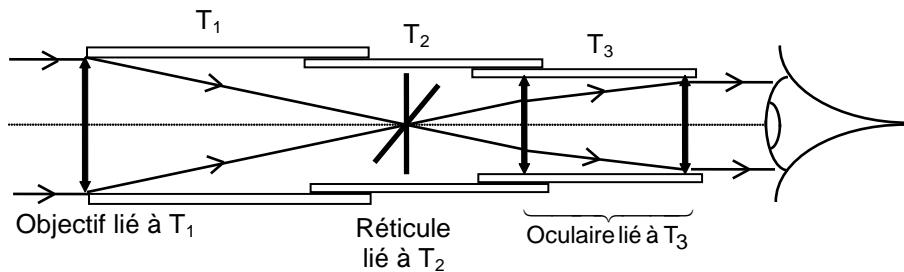
1^e partie. Rappels sur les instruments d'optique

1) Modèle de l'œil

-  1. Décrire le modèle de l'œil. Définir **limite de résolution angulaire** et donner un ODG. Définir **punctum remotum / proximum** et donner leur ODG pour un œil emmétrope.

2) Lunette de visée à l'infini

- ♦ **Constitution** : Les lunettes sont constituées d'un **objectif** (une lentille convergente), d'un **réticule** (une croix avec éventuellement des graduations) et d'un **oculaire** (équivalent à une lentille convergente).



L'objectif est placé **du côté de l'objet** que l'on souhaite observer et **l'oculaire du côté de l'œil** de l'observateur. Le réticule est nécessaire au réglage.

- ♦ **Intérêt de la lunette de visée à l'infini** : observation sans effort d'un objet situé à l'infini (par exemple réticule d'un collimateur en particulier en spectrogoniométrie).

♦ Réglages :

Objectif des réglages de la lunette : la lunette doit donner d'un objet à l'infini une image au punctum remotum de l'œil. Le réglage de la lunette de visée à l'infini consiste à faire **coïncider l'image intermédiaire de l'objet, qui se forme dans le plan focal image de l'objectif, avec le plan du réticule**.

Schématiquement, pour une lunette de visée à l'infini, on a :

$$AB \text{ à l'infini} \xrightarrow{\text{objectif } (L_1)} A'B' \text{ dans le PFI de } (L_1) = \text{plan du réticule} \xrightarrow{\text{oculaire } (L_2)} PR \text{ de l'observateur}$$

① On commence par le réglage de l'OCULAIRE :

L'oculaire est réglé lorsque l'image du réticule par l'oculaire est située au PR de l'observateur. Ainsi, l'image du réticule par l'oculaire est vue nettement sans effort par l'œil.

En pratique : il suffit de déplacer l'oculaire jusqu'à voir net le réticule **SANS ACCOMMODER**.

Il n'est pas facile de se rendre compte si notre œil accommode ou pas... **Le réglage correct correspond au tirage maximal de l'oculaire (le plus vers vous) pour lequel le réticule paraît net.**

Le réglage de l'oculaire est un **réglage personnel** et doit, a priori, être refait à chaque changement d'utilisateur.

② On règle ensuite l'OBJECTIF :

L'objectif est réglé lorsque l'image d'un objet à l'infini par l'objectif est située dans le plan du réticule. Ainsi, l'observateur voit nettement et sans effort à la fois le réticule et l'objet lointain.

En pratique :

L'oculaire étant réglé, viser un objet lointain à l'extérieur de la salle et régler la distance objectif-oculaire pour le voir net en « même temps » que le réticule.

Rq : les objectifs des lunettes autocollimatrices se règlent par autocollimation.

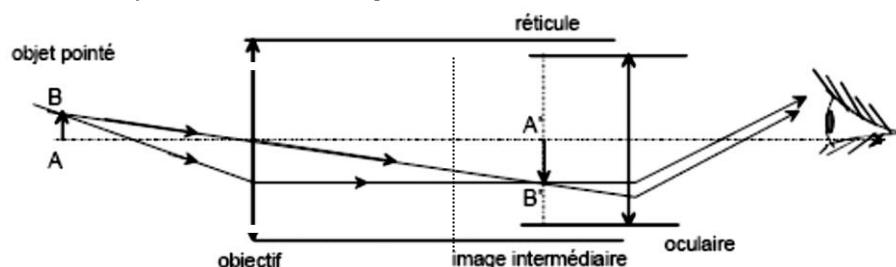
3) Viseur à frontale fixe (= viseur à FF)

Constitution : On obtient un viseur à frontale fixe en plaçant, devant l'objectif d'une lunette de visée à l'infini, une lentille convergente additionnelle appelée « **bonnette** ».

On peut modéliser l'ensemble {bonnette + objectif} par une nouvelle lentille convergente (L_0).

Schématiquement, pour un viseur à frontale fixe, on a :

$$AB \text{ à distance finie} \xrightarrow{(L_0)} A'B' = \text{plan du réticule} \xrightarrow{\text{oculaire } (L_2)} PR \text{ de l'observateur}$$



Le **viseur à frontale fixe permet donc de viser des objets situés à distance D fixe** à condition de ne plus toucher au réglage de l'objectif, ni à la lentille additionnelle.

Intérêt du viseur à frontale fixe : Mesure précise de la distance séparant deux « éléments » sur le banc d'optique.

La mesure de la distance entre 2 points A et O nécessite toujours deux visées : on vise A puis O.

$[AO]$ est égal au **déplacement du viseur nécessaire pour voir successivement les 2 points A et O nets.**

Ex : détermination de la distance algébrique \overline{OA} avec O le centre optique d'une lentille et A un objet.

	<p>① On vise d'abord l'objet, on note alors x_{VA} la <u>position du viseur</u>. ② On vise ensuite la lentille, on note alors x_0 la nouvelle <u>position du viseur</u>. On a :</p> $\overline{OA} = x_A - x_0 = x_A + D - (x_0 + D)$ <p>Avec D la distance de visée du viseur. Ainsi :</p> $\boxed{\overline{OA} = x_{VA} - x_0}$
--	---

NB : pour faire des mesures avec le viseur, il est inutile de connaître la valeur de D.

☞ 2. Dans la configuration du pointage d'un objet AB par un viseur, tracer la marche de deux rayons lumineux issus de B traversant successivement la lentille additionnelle et la lunette de visée à l'infini avec l'oculaire réglé pour un œil emmétrope au repos.

☞ 3. Si la lentille additionnelle est telle que $f' = +12$ cm, prévoir la distance de visée.

☞ 4. Quel est l'intérêt de mesurer la distance entre deux éléments avec un viseur ?

4) Collimateur

♦ **Constitution :** Il comprend un réticule (croix) éclairé par une source de lumière blanche et un objectif (lentille convergente). **Lorsque le collimateur est réglé, l'image du réticule par l'objectif est à l'infini.**

♦ **Intérêt du collimateur :** L'image du réticule correspond donc à un objet situé à l'infini pour un SO placé après le collimateur. Autrement dit, le collimateur permet de créer une direction de référence.

Lorsque le collimateur est réglé, on a :

$$\text{réticule R du collimateur} \xrightarrow{\text{objectif du collimateur}} R' \text{ à l'infini}$$

♦ Réglages :

Pour régler l'objectif du collimateur, on utilise la lunette de visée à l'infini préalablement réglée. En effet, lorsque le collimateur est réglé, l'image R' du réticule est à l'infini : elle peut donc être vue nettement et sans effort avec la lunette de visée à l'infini.

Réglage de l'objectif du collimateur :

Allumer la lampe du collimateur.

Sur le banc, placer la lunette de visée à l'infini, préalablement réglée, en face du collimateur. En observant avec la lunette, agir sur la bague de tirage du collimateur pour observer le réticule du collimateur nettement. *Le tirage correspond à la distance entre le réticule et l'objectif.*

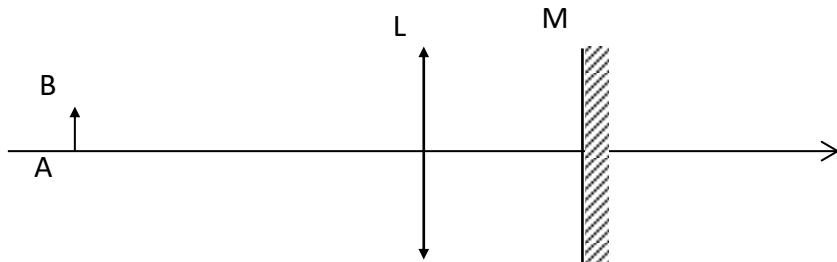
Pour être efficace, dans l'ordre, il faut régler :

- 1) la lunette de visée à l'infini (oculaire puis objectif) ;
- 2) le collimateur ;
- 3) rajouter la bonnette à la lunette pour obtenir le viseur à FF.

2^e partie. Lentilles minces – Focométrie

Dans la mesure du possible, les mesures de distances sur le banc seront réalisées avec un viseur à frontale fixe. Vous déterminerez soigneusement les incertitudes de mesure.

1) Méthode d'autocollimation



5. Schématiser la configuration associée à la mise en œuvre du protocole d'**autocollimation** pour une lentille. Tracer la marche de deux rayons lumineux issus de B (on notera B' l'image finale de B). Déterminer les caractéristiques de l'image A'B'.

6. Mettre en œuvre la méthode d'autocollimation.

7. Donner une 1^e valeur de la distance focale image, notée f'_1 , de la lentille.

Quelles sont les sources d'incertitude lors de cette manipulation ? Evaluer alors l'incertitude sur f'_1 .

2) Méthode de Silbermann et de Bessel

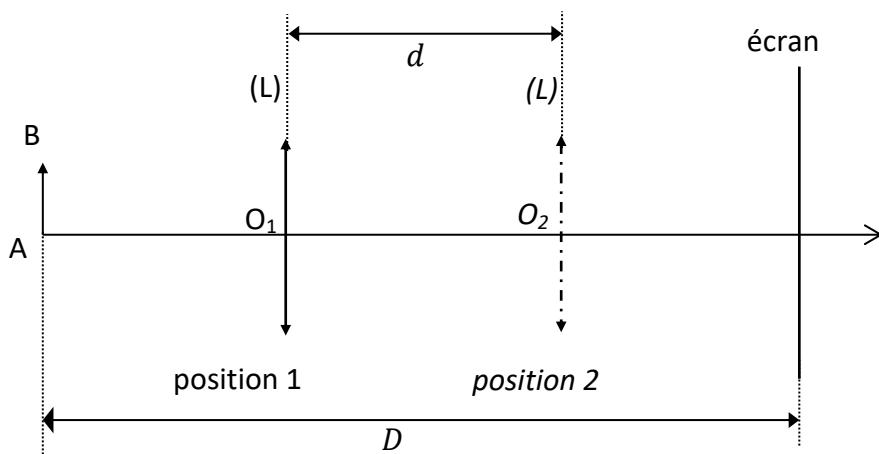
On souhaite former l'image d'un objet réel (lettre éclairée par une lumière blanche) par une lentille et projeter cette image sur un écran. L'image doit donc être réelle.

7. Pour que cela soit possible :

- Quelle doit-être la nature de la lentille ?
- Quelle doit être la distance minimale entre l'objet et la lentille ?
- Quelle doit être la distance D_m minimale entre l'objet et l'écran ?

Pour une distance D objet-écran permettant la projection, il y a deux positions de la lentille permettant d'obtenir une image nette.

8. En poursuivant les calculs de la question 7.c), montrer que la distance d séparant les deux positions de la lentille vérifie : $\frac{d^2}{D^2} = 1 - \frac{4f'}{D}$.



☞ 9. La **méthode de Bessel** s'appuie sur cette expression. Décrire cette méthode pour déterminer f' .

La **méthode de Silbermann** est un cas particulier de la méthode de Bessel : on place l'écran à la distance D_m de l'objet ; l'objet et l'image sont alors symétriques par rapport à la lentille.

☞ 10. Tracer la marche de deux rayons lumineux issus de B. Décrire la méthode de Silbermann pour déterminer f' .

☞ Mettre en œuvre la méthode de Silbermann.

☞ 11. Donner une 2^e valeur de la distance focale image, notée f'_2 , de la lentille.

Quelles sont les sources d'incertitude lors de cette manipulation ? Evaluer alors l'incertitude sur f'_2 .

☞ Mettre en œuvre la méthode de Bessel.

☞ 12. Donner une 3^e valeur de la distance focale image, notée f'_3 , de la lentille.

Quelles sont les sources d'incertitude lors de cette manipulation ? Evaluer alors l'incertitude sur f'_3 .

3) Avec un collimateur

☞ 13. Proposer un **protocole utilisant le collimateur** pour mesurer la distance focale d'une lentille.

☞ Mettre en œuvre le protocole utilisant un collimateur.

☞ 14. Donner une 4^e estimation de la distance focale image, notée f'_4 , de la lentille ;

Quelles sont les sources d'incertitude lors de cette manipulation ? Evaluer alors l'incertitude sur f'_4 .

4) Et pour une lentille divergente ?

Pour déterminer la distance focale d'une lentille divergente (L1), on peut l'accorder à une lentille auxiliaire convergente (L2) telle que l'ensemble (L1-L2) soit une lentille équivalente convergente.

☞ 15. Montrer la relation : $V = V_1 + V_2$ pour un système de deux lentilles accolées, avec V la vergence du doublet et V_1/V_2 les vergences respectives des lentilles (L1)/(L2).

☞ Si vous avez le temps, mettre en œuvre ce protocole pour mesurer la distance focale image d'une lentille divergente.

3^e partie. Modélisation d'une lunette astronomique

1) Etude théorique : Lunette astronomique & Lunette de Galilée

Ces lunettes sont destinées à l'observation, à l'œil, d'objets lointains. Ces instruments d'optique **visent à augmenter la taille apparente et la luminosité des objets** lors de leur observation.

Ces lunettes donnent une **image finale à l'infini** que l'œil emmétrope observe sans fatigue visuelle. Or l'objet observé est lui-même à l'infini, ces lunettes sont donc **afocales**.

On appelle AB l'objet observé, A à l'infini sur l'axe optique et B à l'infini hors de l'axe, et on note A''B'' l'image de AB par la lunette.

Une lunette est constituée :

- D'un objectif (L1) donnant de l'objet AB une image intermédiaire A'B' ;
- D'un oculaire (L2) donnant de l'objet A'B' l'image finale A''B'' à l'infini.

Lunette	Astronomique	De Galilée
Objectif	Lentille convergente	Lentille convergente
Oulaire	Lentille convergente	Lentille divergente

☞ 16. Déduire des positions de l'objet AB et de l'image finale A''B'', la contrainte imposée aux positions des foyers de chaque lentille. Faire un schéma de chaque lunette puis donner l'expression de la distance entre les deux centres optiques O₁O₂ en fonction des données.

☞ 17. Tracer la marche de deux rayons issus de B au travers de chaque lunette.

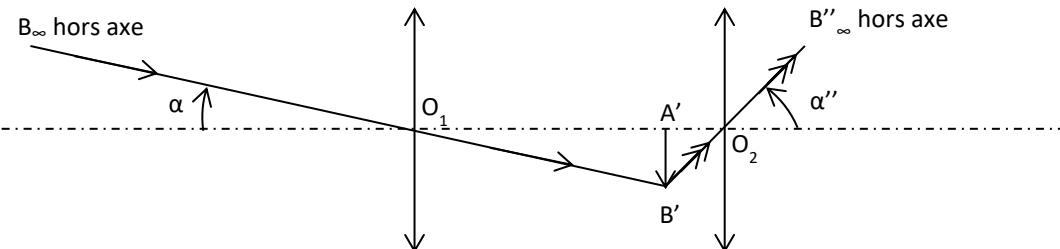
☞ 18. D'après la construction précédente, préciser le sens de l'image finale A''B'' avec chaque lunette.

La principale caractéristique d'une lunette est son grossissement :

$$G = \frac{\alpha''}{\alpha}$$

Avec α l'angle orienté d'inclinaison des rayons incidents issus de B par rapport à l'axe optique ; et α'' l'angle orienté d'inclinaison des rayons émergents de la lunette, donnant B'', par rapport à l'axe optique.

Les angles orientés α et α'' sont définis sur la figure ci-dessous (lunette astronomique).



☞ 19. Dans les conditions de Gauss, montrer que : $G = -\frac{f_1'}{f_2'}$. Quelle inégalité les distances focales des lentilles (L1) et (L2) doivent-elles vérifier ?

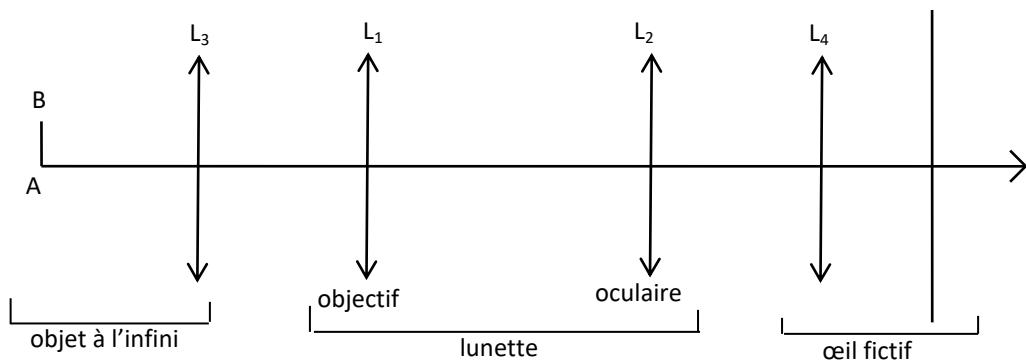
Rq : L'objet AB et l'image finale A''B'' étant à l'infini, on ne peut pas caractériser la lunette par son **grossissement** : $\gamma = \frac{A''B''}{AB}$

2) Description du matériel

On cherche à modéliser à l'aide des lentilles (+50 mm et +200 mm) le fonctionnement d'une lunette astronomique de grossissement algébrique 4.

À une extrémité du banc, le corps céleste (objet à l'infini) sera modélisé à l'aide d'une lentille convergente ($f'_3 = +300 \text{ mm}$) et de la lettre F éclairée par la lanterne.

L'œil emmétrope sera modélisé à l'aide d'une lentille convergente ($f'_4 = +100 \text{ mm}$) et d'un écran. Il observe sans accommodation (écran à l'autre extrémité du banc).



3) Mise en œuvre : modélisation d'une lunette astronomique

- ☞ Modéliser l'objet à l'infini et l'œil emmétrope.
- ☛ 20. Préciser si l'image est droite ou renversée sur l'écran.
- ☞ 21. Préciser, en justifiant, la vergence de la lentille pour modéliser l'objectif (L_1) et celle modélisant l'oculaire (L_2).
- ☞ Modéliser la lunette.
- ☛ 22. Préciser si l'image est droite ou renversée sur l'écran avec la lunette. Commenter.
- ☛ 23. Mesurer la distance entre l'objectif et l'oculaire. Commenter.
- ☛ 24. Déterminer la valeur expérimentale du grossissement. Commenter.

Donnée :

On peut montrer que le grossissement vérifie :

$$|G| = \frac{L_{avec}}{L_{sans}}$$

Avec L_{sans} (resp^t L_{avec}) la taille de l'image sur l'écran lorsque l'objet est observé sans (resp^t avec) la lunette.

DOC 1 : Relations de conjugaison et expressions du grandissement transversal

Relation de conjugaison avec origine au centre (Descartes) :

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

Relation de conjugaison avec origine aux foyers (Newton) :

$$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2$$

Expressions du grandissement transversal :

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{-f}{\overline{FA}} = \frac{-\overline{F'A'}}{f'}$$

Rotation TP10 1^e série :

	29-janv	05-févr	26-févr
Térence - Charles	A	B	C
Bastien - Lubin -Jules	A	B	C
Zinedine - Laila	A	B	C
Salahaddin - Baptiste	B	C	A
Pauline - Nolann	B	C	A
Noah - Robin	B	C	A
Alexis - Ethan	C	A	B
Mathilde - Laura	C	A	B
Mathis - Adrien	C	A	B

	29-janv	05-févr	26-févr
Gaspard - Timothée	A	B	C
Natoye - Antoine	A	B	C
David - Elliott	A	B	C
Elodie - Margot	B	C	A
Adelin - Nathan C.	B	C	A
Amine - Camille	B	C	A
Charlérie - Nathan L.	C	A	B
Maël - Robin	C	A	B
Armand - Tristan	C	A	B