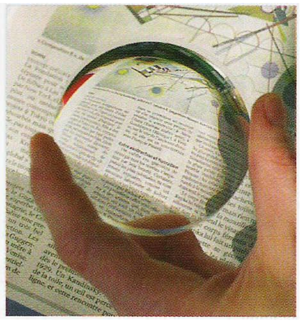
T.P DE CONCOURS 2 CORRIGÉ

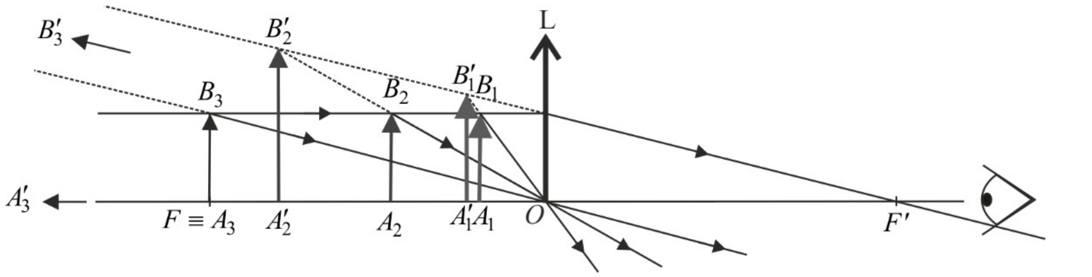
MESURE DE DISTANCES FOCALES DE LENTILLES MINCES

1. MANIPULATIONS DE BASE

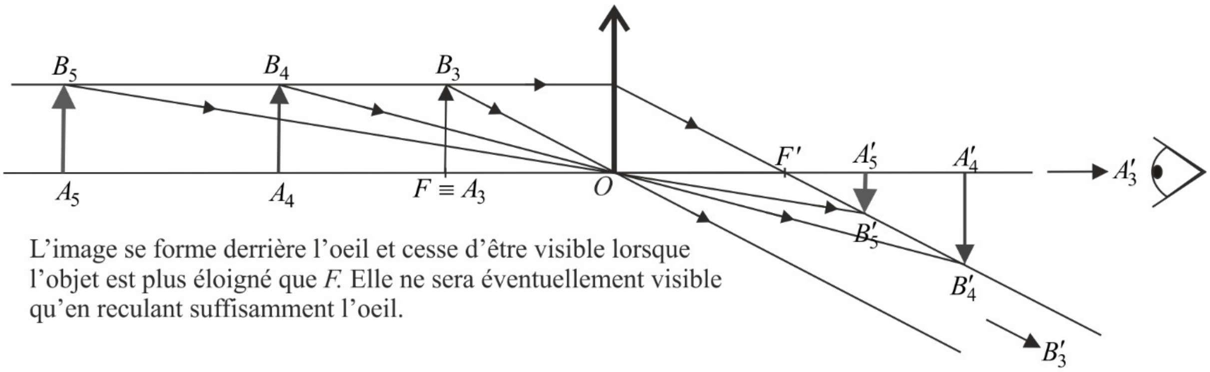
1.1 Identification du type de lentille



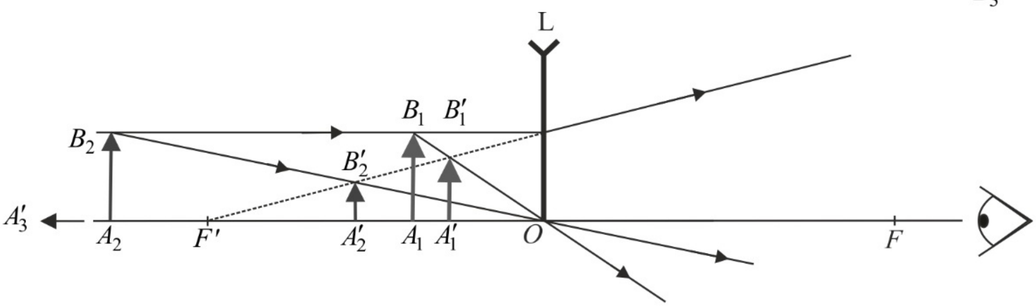
Pour identifier les lentilles, on peut les placer sur des lignes de texte et observer ce qui se passe quand on écarte la lentille du texte.
Celle pour laquelle le grandissement est supérieur à 1 est la lentille convergente (utilisée en tant que loupe). Lorsque le texte est plus éloigné que la distance focale, plus aucune image n'est observée.
Celle pour laquelle le grandissement est inférieur à 1 est la lentille divergente. Lorsque le texte est très éloigné l'image reste visible mais devient très petite.
On peut facilement justifier ces résultats à l'aide des constructions suivantes :



L convergente: l'image est droite et plus grande que l'objet (loupe). Elle est de plus en plus agrandie quand l'objet se rapproche du plan focal objet.



L'image se forme derrière l'oeil et cesse d'être visible lorsque l'objet est plus éloigné que *F*. Elle ne sera éventuellement visible qu'en reculant suffisamment l'oeil.



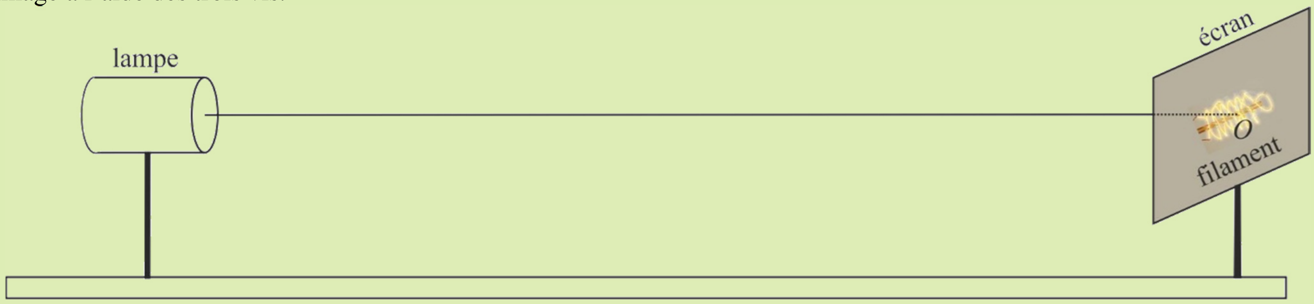
L divergente: l'image est plus petite que l'objet. Elle reste visible quand la lentille s'écarte de l'objet mais est de plus en plus petite.

>>> La lentille est à bords minces (plus épaisse au centre que sur les bords) alors que c'est l'inverse pour la lentille divergente. Un simple examen en prenant la lentille entre deux doigts et en la parcourant du centre vers le bord peut permettre dans certains cas de conclure rapidement, mais pas toujours si la différence d'épaisseur est trop faible.

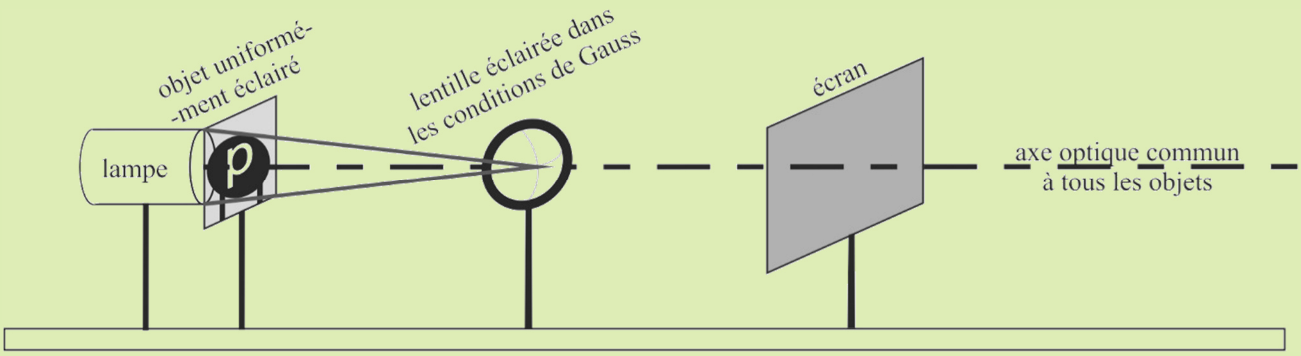
1.2 Détermination de la distance focale de la lentille convergente par autocollimation

Réalisation d'un objet lumineux, formation d'une image.

— Il faut d'abord que la lampe fournisse un faisceau dont l'axe est parallèle au banc. Ce réglage est a priori déjà réalisé. Sinon : faire l'image du filament sur un écran éloigné en déplaçant l'ampoule par rapport au condenseur. Cette image doit être centrée sur l'écran au voisinage du point O situé dans l'axe de la lampe (et donc à la même hauteur que la lampe). Sinon, y remédier en agissant sur les vis à l'arrière de la lampe. On affine les réglages en tournant la lampe d'un quart de tour : recentrer de nouveau l'image à l'aide des trois vis.

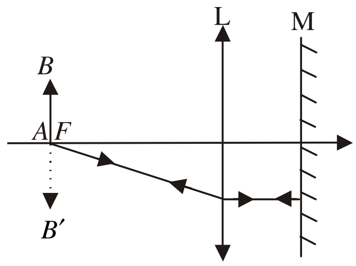


— Les lentilles, lunettes, etc. doivent être alignées verticalement afin de travailler dans les conditions de Gauss. On peut réaliser cet alignement avec une règle ou en prenant une lunette comme hauteur de référence.
— La lentille de projection devra se trouver dans une zone où le faisceau est étroit (idéalement son centre optique se trouve au point de convergence afin de l'utiliser dans les conditions de Gauss). Pour cela former l'image du filament sur l'écran placé à une cinquantaine de cm de la lampe. Remplacer l'écran par la lentille utilisée. Par la suite, la lentille pourra être déplacée autour de cette position ; les conditions de Gauss seront encore convenablement respectées.
— On place alors l'objet **très près du condenseur afin qu'il soit éclairé uniformément**.



Q.1) C'est une question classique à laquelle on répond en traçant le faisceau de rayons issus d'un point B objet hors de l'axe optique. Ce point est conjugué de l'infini par L, donc tous les rayons qui en sont issus sortent parallèles entre eux de la lentille. Parmi ces rayons, celui qui passe par le sommet du miroir (point sur l'axe optique Δ) est réfléchi symétriquement par rapport à Δ et, toujours par symétrie, passe par le symétrique B' de B par rapport à Δ après avoir retraversé L. Or, puisque A est son propre conjugué par l'ensemble, l'image finale de B est dans le même plan que AB (aplanétisme) : c'est donc B' et $\gamma = -1$.

>>> L'autocollimation est une méthode simple mais qui n'est applicable qu'à la lentille convergente. On déplace l'ensemble formé par L et un miroir plan M collé à L jusqu'à ce que l'image de l'objet se forme dans le même plan que ce dernier, le grandissement valant alors -1 .



On obtient $f' =$ 19,80 cm ; $u(f') =$ 0,40 cm puis en retournant la lentille : $f' =$ 20,10 cm ; $u(f') =$ 0,35 cm , ce qui laisse à penser que l'incertitude est également due à l'épaisseur de la lentille.

1.3 Détermination de la distance focale de la lentille convergente par la formule de conjugaison

>>> On fait varier la position de la lentille par rapport à l'objet et on déplace l'écran afin d'obtenir l'image la plus nette possible. On constate que lorsque l'écran est éloigné de la lentille (objet proche du plan focal objet), l'incertitude sur la position de l'image est plus grande que lorsque l'écran est proche de la lentille. On cherche à répartir les valeurs de p de façon à ce que les $1/p$ soit régulièrement espacés.

p (cm)	$-23{,}5$	-24	-25	-27	-30	-34	-40	-45	-55
p' (cm)	139,5	122,5	104,6	77,3	60,7	48,7	40,1	36,2	31,5
$\Delta p'$ (cm)	3	2	1	0,5	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2
γ	$-5{,}9$	-5	$-4{,}1$	$-2{,}8$	$-1{,}95$	$-1{,}4$	-1	$-0{,}8$	$-0{,}6$
$\gamma_{\text{théorique}} = \dfrac{p'}{p}$	$-5{,}9$	$-5{,}1$	$-4{,}2$	$-2{,}9$	$-2{,}0$	$-1{,}4$	-1	$-0{,}8$	$-0{,}6$

On remarque que la relation $\gamma_{\text{théorique}} = \dfrac{p'}{p}$ semble bien vérifiée, mais on n'a pas évalué les incertitudes sur γ. Cependant, l'incertitude relative sur le grandissement est plus grande que celle sur les positions, et on préfère utiliser la relation entre f', p et p' plutôt que celle entre γ et p pour accéder à la vergence de la lentille : $f' = \dfrac{pp'}{p-p'}$.

En négligeant l'incertitude relative sur p par rapport à celle sur p', on a $u(f') = \left(\dfrac{f'}{p'}\right)^2 u(p')$, avec $u(p') = \dfrac{\Delta p'}{\sqrt{3}}$.

Calcul de l'incertitude de type A (statistique)

Le script python permet de calculer la moyenne pondérée des N valeurs des $f_i' = \dfrac{p_i p_i'}{p_i - p_i'}$ et son incertitude $u(\overline{f}') = \dfrac{1}{\sum_{i=1}^{N} \dfrac{1}{f_i'^2}}$:

$f' = 20{,}068$ cm $u(f') = 0{,}016$ cm.

Si on ne pondère pas, on obtient $f' = 20{,}065$ cm $u(f') = 0{,}018$ cm

Calcul de l'incertitude de type B (mesure unique).

Prenons à titre d'exemple la première mesure : $p = -23{,}5$ cm, $p' = (139{,}5 \pm 3)$ cm.

On a $f' = 20{,}112$ cm ; $u(f') = 0{,}062$ cm

1.4 Détermination de la distance focale de la lentille divergente par la formule de conjugaison

Q.2) L'objet d'une lentille divergente doit se trouver entre le centre optique O et le foyer objet F d'une lentille divergente pour que celle-ci en forme une image réelle. Il s'agit donc d'un objet virtuel. Un tel objet virtuel est obtenu grâce à la lentille convergente : on forme l'image de l'objet lumineux sur l'écran (par exemple dans la configuration « $4f'$ » pour laquelle $\gamma = -1$ et l'incertitude sur la position de l'image est très faible). Il ne reste plus qu'à noter la position de cette image puis à enlever l'écran et à déplacer la lentille convergente afin que cette image soit pour elle un objet virtuel entre O et F.

On reprend alors le protocole précédent.

p (cm)	34	30	27	20	12
p' (cm)	96,4	81,7	62	36,5	16,5
$\Delta p'$ (cm)	4	3,5	3	2,5	2,5
γ	2,95	2,65	2,25	1,75	1,35
$\gamma_{\text{théorique}} = \dfrac{p'}{p}$	2,9	2,7	2,3	1,8	1,35

La relation $\gamma_{\text{théorique}} = \dfrac{p'}{p}$ semble bien vérifiée.

Calcul de l'incertitude de type A.

Avec pondération, on obtient $f' = -49{,}34$ cm ; $u(f') = 0{,}74$ cm.

Sans pondération, $f' = -47{,}2$ cm ; $u(f') = 1{,}5$ cm.

On constate que les mesures ayant des incertitudes relatives assez différentes, la moyenne pondérée est bien meilleure. D'autre part, négliger l'incertitude sur la position de l'objet semble moins justifié ici puisque c'était l'image réelle de la lentille convergente (il faudrait reprendre le calcul de l'incertitude sur f_i' due à celle sur p_i' *et* celle sur p_i).

Calcul de l'incertitude de type B.

Prenons à titre d'exemple la première mesure : $p = 34$ cm , $p' = (96{,}4 \pm 4)$ cm . On a $f' = -52{,}5$ cm ; $u(f') = 1{,}2$ cm .

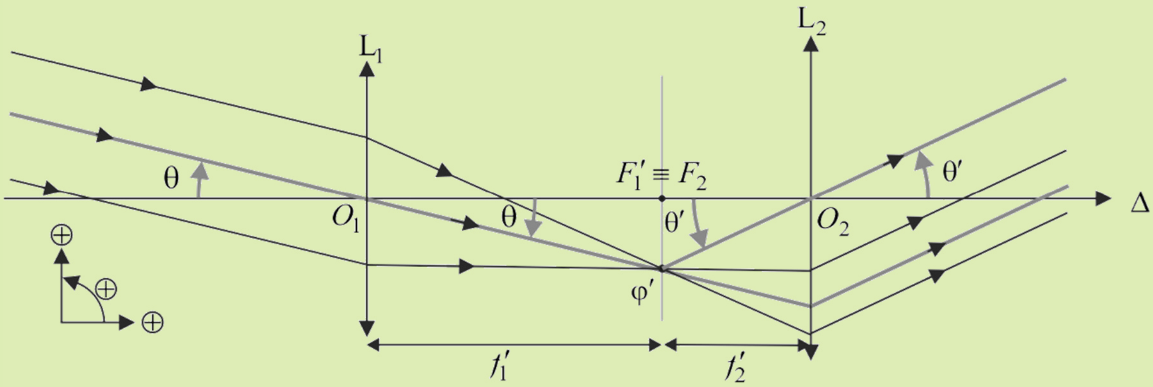
2. UTILISATION D'UN VISEUR À FRONTALE FIXE

2.1 Utilisation d'une lunette de visée réglée à l'infini

Q.3) Sans la bonnette, la lunette est une lunette astronomique, afocale, constituée de deux lentilles convergentes L_1 et L_2. Un faisceau de lumière parallèle converge en un foyer image secondaire φ' de L_1 qui est également un foyer objet secondaire de L_2 : tous les rayons passant par φ' sortent de L_2 parallèlement au rayon $\varphi' O_2$, non dévié.

On détermine facilement le grandissement en utilisant les triangles $O_1F_1'\varphi'$ et $O_2F_2\varphi'$:

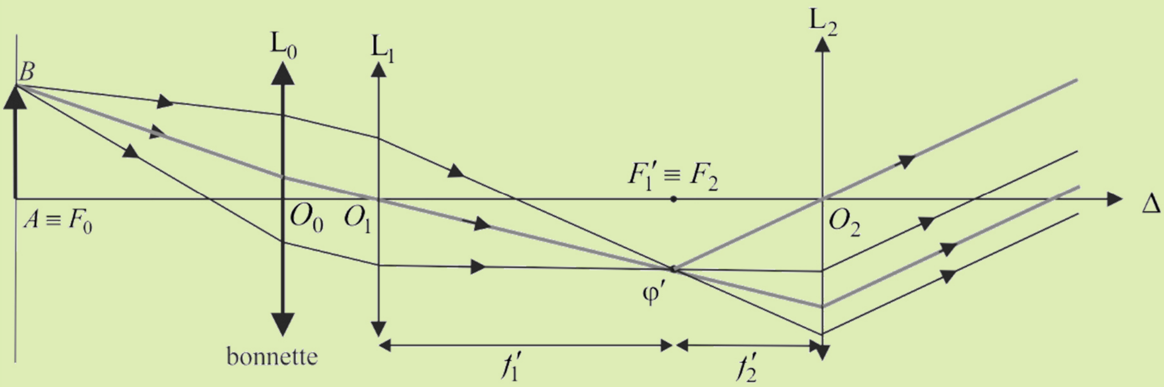
$\theta \simeq \tan\theta = \dfrac{\overline{F_1'\varphi'}}{\overline{O_1F_1'}} (<0)$ et $\theta' \simeq \tan\theta' = \dfrac{\overline{F_1'\varphi'}}{\overline{O_2F_2}} (>0)$ d'où $G = \dfrac{\theta'}{\theta} = \dfrac{\overline{O_1F_1'}}{\overline{O_2F_2}} = -\dfrac{f_1'}{f_2'} (<0)$. Une telle lunette renverse l'image par rapport à l'objet, ce qui n'est pas important pour observer des planètes ou des étoiles. Avec un oculaire divergent ($f_2' < 0$), la formule reste valable et cette fois-ci l'image est droite (lunette de Galilée).



Q.4) Une image à l'infini est un objet à l'infini pour l'œil emmétrope qui ne fatigue donc pas. Cependant, il faut garder la possibilité de réglage de l'oculaire pour adapter le système à un œil avec défaut.

2.2 Principe d'un viseur à frontale fixe

Q.5) Le plan conjugué de l'infini par le viseur à frontale fixe (bonnette + lunette) est le plan focal objet de la bonnette : si on note F_0 le foyer objet de la bonnette, on a $F_0 \overset{L_0}{\leftrightarrow} \infty \overset{L_1}{\leftrightarrow} F_1' \equiv F_2 \overset{L_2}{\leftrightarrow} \infty$

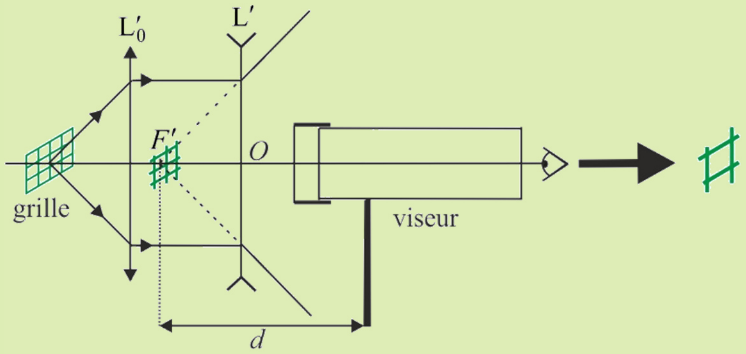


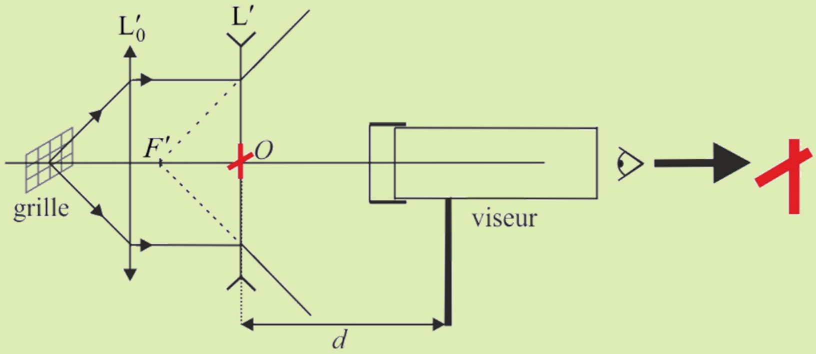
>>> Pour évaluer la latitude de mise au point du viseur à frontale fixe, on réalise un objet lumineux constitué d'une grille. On déplace la lunette avec sa bonnette jusqu'à ce que la grille soit vue nette et on mesure ainsi *d* qui est de l'ordre de 15 cm.

2.3 Utilisation du viseur à frontale fixe pour la détermination d'une distance focale

Q.6) On peut utiliser l'autocollimation, mais aussi la lunette (sans sa bonnette) pour observer l'image de la grille par L'_0. On déplace alors la lentille L'_0 jusqu'à ce que la grille soit vue parfaitement nette : la grille est alors dans le plan focal objet de L'_0 et son image par L'_0 se forme à l'infini.

Q.7) On place alors L' (de centre optique O et de foyer image F') entre L'_0 et le viseur à frontale fixe. L'image de la grille par l'ensemble $\{L'_0, L'\}$ se forme dans le plan focal image de L', et c'est ce plan qui est visé lorsque l'image finale de la grille est nette. La distance entre le plan focal image de L' et le viseur vaut *d*. On note la position du viseur.
On recule alors la lunette afin de viser la marque effectuée sur la lentille L'. La distance entre L' et le viseur vaut *d*. On note la nouvelle position du viseur.
La différence entre les deux positions est égale à la distance $F'O = |f'|$





>>> On obtient ainsi $f' = -10{,}00$ cm ; $u(f') = 0{,}82$ cm en estimant à 1 mm l'incertitude de lecture sur chaque position du viseur.

Ce protocole ne fonctionne que si on peut viser F' avec le viseur sans buter sur la lentille L', c'est-à-dire si $|f'| < d \simeq 15$ cm . Il n'aurait pas fonctionné avec la lentille de focale $f' = -50$ cm de la partie 1.

>>> Pour la lentille convergente, F' est à droite de O : il n'y a pas de limitation.
On mesure $f' = 20{,}10$ cm ; $u(f') = 0{,}10$ cm