

TP 1

Rappels d'optique géométrique

Travail préliminaire.

Commencer par lire le TP entier en diagonal, puis travailler les questions suivantes.

1) Rappeler les conditions de Gauss. On donne la relation de conjugaison de Descartes

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

Démontrer qu'il faut nécessairement avoir $D = \overline{AA'} > 4f'$ pour obtenir une image réelle.

2) Lorsque $D > 4f'$, montrer qu'il y a deux positions possibles (symétriques) pour la lentille donnant une image à l'écran. Comparer la taille de ces deux images (un tracé de rayons peut suffire).

3) Si on souhaite réaliser une grande image d'un objet à l'infini, faut-il une grande ou une petite focale?

4) Typiquement, quelles sont les focales minimale et maximale qu'on peut trouver en TP?

Avertissement sur les TP d'optique.

Les éléments optiques

Les éléments optiques (lentilles, miroirs, réseaux,...) sont fragiles. Il faut les **manipuler avec précaution**. Par ailleurs, **ne mettez pas vos doigts sur les éléments**, mais attrapez-les par leurs tranches.

Les sources lumineuses

Les lampes quartz-iode sont très puissantes, et émettent énormément dans l'infrarouge. Par conséquent leur rayonnement chauffe beaucoup (il suffit de mettre votre main dans le faisceau pour vous en rendre compte). Il faut donc utiliser un **filtre anti-calorique** en sortie de la lampe pour protéger de la chaleur les éléments optiques placés en aval du faisceau (au lycée, ils sont incorporés aux lampes).

Les lampes spectrales (sodium, mercure, cadmium, hydrogène,...) ne sont pas des lampes de chevet : il est **interdit de les rallumer juste après les avoir éteintes**. Si vous les éteignez, il faut attendre qu'elles aient complètement refroidi (30 min) avant de les rallumer. Le mieux est de les laisser allumées en permanence.

Les lasers sont dangereux pour les yeux. **Ne regardez jamais un laser directement**. Le faisceau laser étant invisible, soyez vigilants pour vous mais aussi pour vos camarades.

1 Formation des images

On rappelle ici rapidement les bons comportements à avoir pour réaliser une belle image à l'aide d'une lentille convergente. Une « belle image » est une image grande, nette et bien éclairée.

- se souvenir que les lentilles forment des images nettes seulement dans les **conditions de Gauss** : il faut toujours **diaphragmer** la lumière avec laquelle on les éclaire (l'objet peut jouer ce rôle) ;
- prendre une lampe QI ;
- prendre un objet asymétrique (un F par exemple), pour se rendre facilement compte de l'inversion de l'image (ce qui correspond à un grandissement négatif), et le choisir avec des bords nets pour se rendre facilement compte de la netteté de l'image ;
- placer la lentille convergente ($f' = 20$ cm au moins) et l'écran, de telle sorte à avoir

$$D > 4f'$$

où D est la distance entre l'objet et l'écran.

- être consciencieux sur l'alignement vertical et horizontal de tous les éléments optiques ;

- pour limiter les aberrations géométriques, on retiendra la règle des 4 P « plus plat, plus près » : la face la moins courbée de la lentille doit être placée côté objet ;
- déplacer la lentille pour obtenir **une image nette** (pour rappel, il y a deux positions qui réalisent ceci, l'une quand la lentille est proche de l'écran, donnant une image petite, l'autre quand la lentille est proche de l'objet, donnant une image plus grande) ;
- régler ensuite le condenseur de la lampe de telle sorte à avoir **une image la plus uniformément éclairée possible**.

► Faire une image d'un objet.

2 Focométrie - Méthode d'autocollimation

La focométrie désigne la mesure de distances focales, pour des lentilles convergentes ou divergentes.

► Comment reconnaître rapidement une lentille convergente? une lentille divergente? Prouver leur comportement dans cette situation par un tracé de rayons.

On se contente dans ce TP de mesurer des vergences positives (un protocole pour les vergences négatives est étudié dans le TD sur la méthode de Badal par exemple). On souhaite mettre en oeuvre deux méthodes : par autocollimation d'abord, puis la méthode de Bessel ensuite.

Méthode d'autocollimation : elle consiste à placer un miroir derrière la lentille convergente, puis à modifier la distance objet-lentille pour obtenir une image nette (et de même taille) dans le même plan que l'objet. La distance objet-lentille est alors égale à la distance focale.

► Faire un tracé de rayons pour expliciter le fonctionnement de cette méthode.

► À l'aide d'un miroir, mettre en oeuvre la méthode d'autocollimation pour une lentille de focale $f' = 20$ cm.

► Comment évalueriez-vous l'incertitude sur cette mesure?

3 Focométrie - Méthode de Bessel

La méthode de Bessel est plus sophistiquée mais aussi plus précise que la méthode par autocollimation. Elle se base sur l'existence de deux positions de la lentille donnant une image pour une distance objet-écran D fixée ($> 4 f'$).

On montre que la distance ℓ entre les deux positions de la lentille donnant une image à l'écran vérifie

$$D^2 - \ell^2 = 4 D f' \quad \text{soit} \quad f' = \frac{D^2 - \ell^2}{4 D}$$

► Mettre en oeuvre la méthode de Bessel. En déduire f' .

► Vérifier que l'incertitude sur la mesure de ℓ est dominante devant celle sur la mesure de D . On peut alors calculer que l'incertitude sur f' est

$$\Delta f' = \frac{\ell \Delta \ell}{2 D}$$

Calculer l'incertitude sur $\Delta f'$ et conclure en présentant le résultat sous la forme $f'_{\text{exp}} = f'_{\text{mes}} \pm \Delta f'$. Veillez à utiliser le bon nombre de chiffres significatifs. Comment se compare l'incertitude sur f' par rapport à la méthode d'autocollimation?

► Répéter la mesure par la méthode de Bessel pour différents D , puis tracer $D^2 - \ell^2$ en fonction de $4 D$. Exploiter la courbe obtenue pour en déduire de nouveau f' et son incertitude. Conclure sur la précision par rapport à une seule mesure.

Conclusion importante (et très générale) : Exploiter plusieurs mesures permet d'obtenir un résultat plus précis, par rapport à l'exploitation d'une seule mesure.

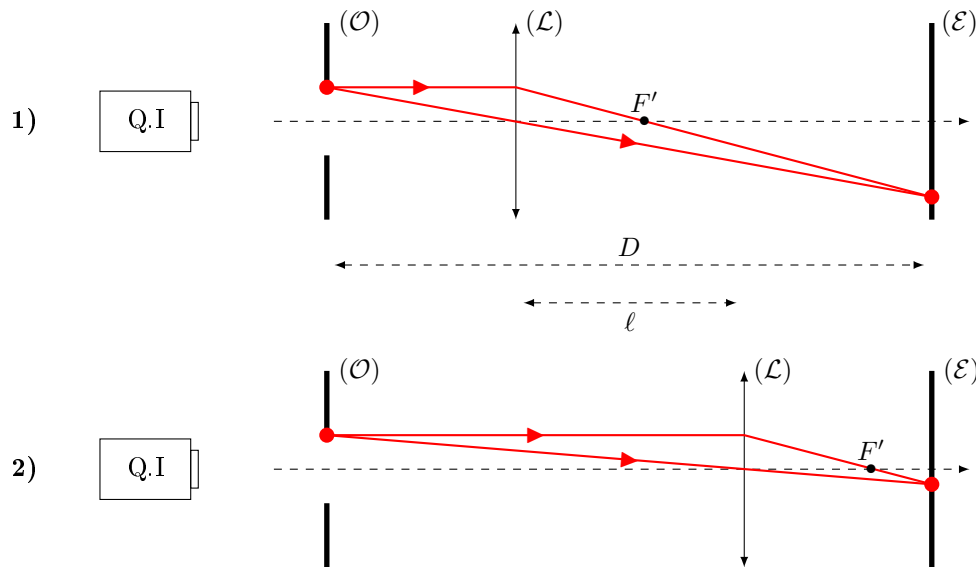


Figure : Schéma de la méthode de Bessel. On y visualise les distances D et ℓ qui permettent de remonter à f' .

4 Construction d'une lunette astronomique

Cette dernière partie se veut seulement qualitative. Elle permet néanmoins de visualiser la marche des rayons dans l'ensemble { source + lunette + oeil }.

On étudie la lunette astronomique de Képler, constituée de deux lentilles convergentes, un **objectif** (côté objet) et un **oculaire** (côté oeil). La lunette astronomique est par définition **afocale**, c'est-à-dire que l'image d'un objet à l'infini (une étoile) est envoyée à l'infini (pour l'observer sans avoir à accommoder). Pour cela, le foyer image de l'objectif doit être confondu avec le foyer objet de l'oculaire.

► Aidez-vous de tracés de rayons pour comprendre les manipulations suivantes.

Construction de « l'étoile » : la lumière de l'étoile provient de l'infini (en tout cas, de très très très loin). La lumière arrive ainsi sous forme de faisceau parallèle. Pour simuler une étoile en laboratoire, prendre un objet (asymétrique, ou bien une grille), l'éclairer par une lampe QI et l'envoyer à l'infini par une lentille de courte focale ($f'_1 \approx 20$ cm) par autocollimation.

Construction de « l'oeil » : une lumière provenant de l'infini voit son image à travers le cristallin (sans accommodation) se former sur la rétine. Prendre une focale $f'_4 \approx 20$ cm (simulant le cristallin), la placer en face de « l'étoile », et placer l'écran (simulant la rétine) derrière de façon à voir l'image nette (à f'_4 donc).

Construction de la lunette : prendre deux lentilles f'_2 et f'_3 (objectif et oculaire). Pour avoir un grossissement supérieur à 1 il faut $f'_2 > f'_3$. Construire la lunette en les plaçant entre l'étoile et l'oeil, en les espaçant grossièrement de $f'_2 + f'_3$. Ajuster ensuite la position de l'oculaire de façon à avoir une image nette sur la « rétine ». La lunette est alors réglée.

► Quel est le signe du grossissement ?

► (Hors programme) Placer un diaphragme à iris accolé à l'objectif, et observer l'effet de son agrandissement et de son rétrécissement. On parle de diaphragme d'ouverture, il contrôle la luminosité. Placer maintenant le diaphragme à iris accolé à l'oculaire, et observer l'effet de son agrandissement/rétrécissement. On parle de diaphragme de champ, il contrôle le champ visible de l'image.

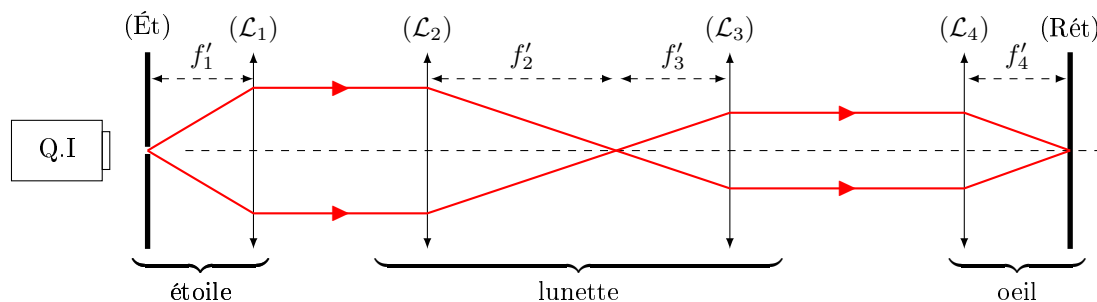


Figure : Schéma explicatif du montage de la lunette astronomique, avec étoile et œil. Attention, on a placé l'objet sur l'axe optique dans ce schéma, ce qui ne permet pas de se rendre compte que le grossissement α'/α est supérieur à 1 ici (en valeur absolue), comme voulu pour une lunette astronomique.

Avez-vous retenu l'essentiel ?

- ☐ Savez-vous qu'une lampe quartz-iode nécessite l'utilisation d'un filtre anti-calorique ?
- ☐ Savez-vous quels critères définissent une belle image ?
- ☐ Savez-vous qu'il faut veiller à aligner au mieux, horizontalement et verticalement, les éléments optiques le long de l'axe optique ?
- ☐ Savez-vous qu'il faut au minimum $4f'$ entre un objet et un écran pour y former une image ?
- ☐ Savez-vous distinguer une lentille convergente d'une lentille divergente rapidement ?
- ☐ Savez-vous estimer rapidement la distance focale d'une lentille convergente par la méthode d'autocollimation ?
- ☐ Savez-vous estimer et justifier l'incertitude sur une mesure de distance sur le banc optique ?
- ☐ Savez-vous qu'un protocole expérimental reposant sur plusieurs mesures conduit à des estimations plus précises qu'un protocole avec une mesure unique ?
- ☐ Savez-vous expliquer pourquoi on choisit de tracer $D^2 - \ell^2$ en fonction de $4D$ dans la méthode de Bessel ?
- ☐ Savez-vous créer un faisceau de lumière parallèle avec une source, un diaphragme et une lentille convergente ?