

TP 3 – Appareil photo et lunette astronomique

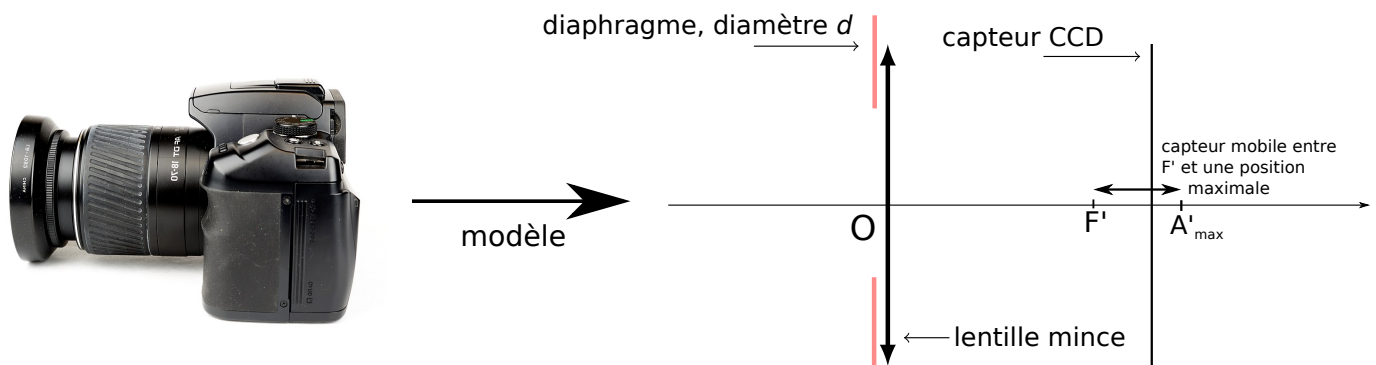
Matériel : banc optique, miroir plan, écran, source de lumière, flèche objet (avec papier calque millimétré pour faire dépoli), barre+2 noix, un diaphragme.

Lentilles : 100 mm (10δ), 125 mm ($6,7\delta$) (ou 150 mm si pas dispo), 200 mm (5δ), 300 mm ($3,3\delta$), pour cette dernière prendre une lentille de gros diamètre.

L'objectif de ce TP est de concevoir et d'étudier deux dispositifs optiques : l'appareil photographique et la lunette astronomique.

I Appareil photographique

Un appareil photographique numérique est un objet complexe. Son objectif comporte plusieurs lentilles (jusqu'à dix ou plus), dont certaines sont asphériques, mobiles, etc. Néanmoins, les principes importants de la photographie peuvent être saisis par le modèle simple ci-contre, que nous retiendrons pour toute notre étude.



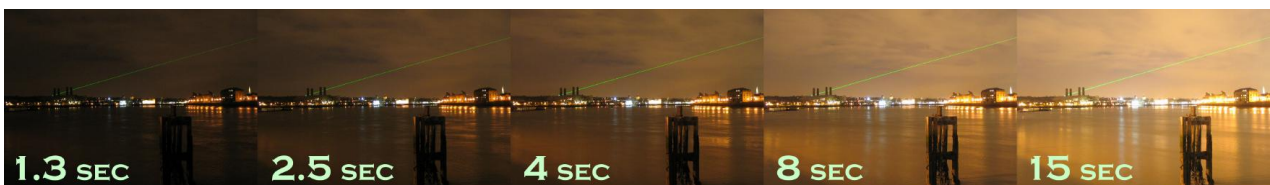
- 1 – Réaliser le montage ci-dessus à droite. Bien sûr vous n'avez pas de capteur, mais un écran. Prendre la lentille $f' = 150$ mm. Comme objet, on prendra les arbres que l'on voit par la fenêtre : il faut donc ajuster la position de la lentille pour voir leur image sur l'écran. Ne pas mettre le diaphragme tout de suite.

Gestion de l'exposition

L'exposition correspond à la quantité de lumière reçue par le capteur. Elle doit être précisément réglée pour obtenir une bonne image, qui ne soit ni trop sombre ni trop claire. Pour cela, trois paramètres peuvent être modifiés, que nous listons ci-dessous.

a/ Le temps de pose

Le temps de pose correspond à la durée pendant laquelle l'obturateur est ouvert et laisse passer la lumière vers le capteur.



Différents temps de pose (tous les autres réglages étant identiques). Source : wikipédia.



Au delà de l'exposition, le temps de pose a également une influence sur l'aspect figé de l'image. Ici il vaut respectivement (en seconde) : 1, 1/3, 1/30, 1/200 et 1/800. Source : wikipédia.

b/ L'ouverture du diaphragme

Plus le diaphragme est ouvert, plus il laisse passer la lumière et donc augmente l'exposition. Plus précisément, la quantité de lumière qui parvient sur un pixel donné du capteur est proportionnelle à la surface du diaphragme.

Cette quantité de lumière dépend également de la focale f' de l'objectif : plus f' est élevée, plus un pixel voit un champ de l'image restreint et moins il est éclairé.

On réunit les effets de l'ouverture et de la focale en un nombre, le nombre d'ouverture $N = \frac{f'}{d}$ avec f' la focale et d le diamètre du diaphragme.

On a donc $d = f'/N$, et c'est ce qui est indiqué sur les écrans des appareils. L'ouverture peut être augmentée selon une échelle qui multiplie à chaque fois la valeur précédente par $\sqrt{2}$: $N = 2,8, 4, 5,6, 8, 11, 16, 22...$ L'intérêt de cette échelle est que pour compenser un temps d'exposition doublé, il suffit d'augmenter d'un cran le nombre d'ouverture.



Différentes ouvertures de diaphragme, correspondant à des nombres d'ouverture $N = 1,8, 2,8, 4$. Source : wikipédia.

c/ La sensibilité du capteur

Le capteur CCD peut être réglé pour être plus ou moins sensible à la lumière. On parle de sensibilité ISO, plus elle est élevée et plus le capteur est sensible.

Ceci est effectué en amplifiant plus ou moins le signal du capteur CCD. Un ISO élevé entraîne, selon la qualité de l'appareil, l'apparition de tâches de bruit sur l'image.

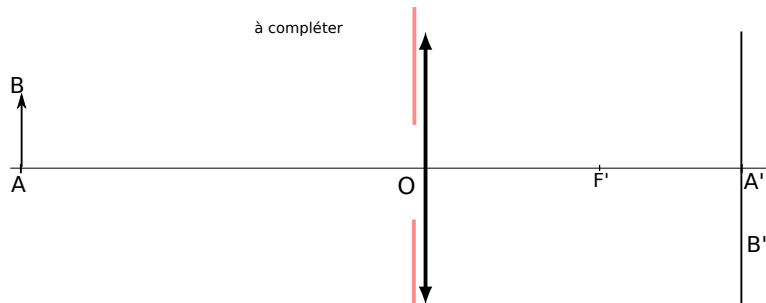
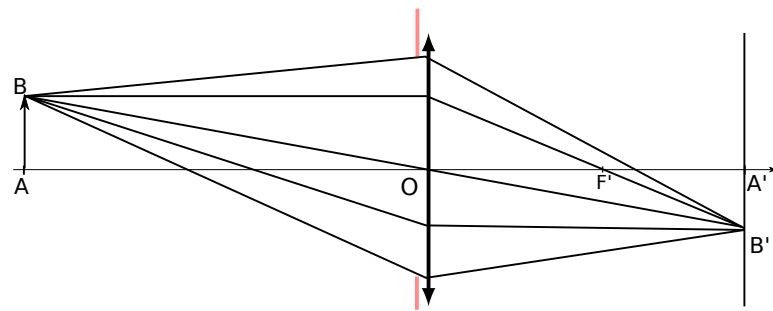


Différentes sensibilités du capteur (tous les autres réglages étant identiques) Source : wikipedia.

2.a – Ici, vous ne pouvez tester que le rôle du diaphragme. Mettre un diaphragme devant la lentille, et décrire ce qu'il se passe lorsqu'on le ferme plus ou moins : ceci limite-t-il la partie de l'image que l'on voit ?

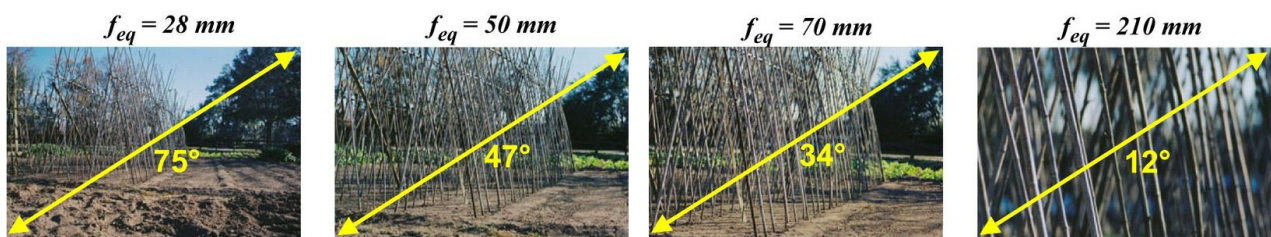
2.b – Ci-dessous on a tracé un faisceau de rayons allant de l'objet B à l'image B' dans le cas d'un diaphragme très ouvert. Faire de même sur le schéma du dessous (diaphragme moins ouvert).

À quelle caractéristique du diaphragme l'intensité lumineuse arrivant en B' est-elle proportionnelle ?



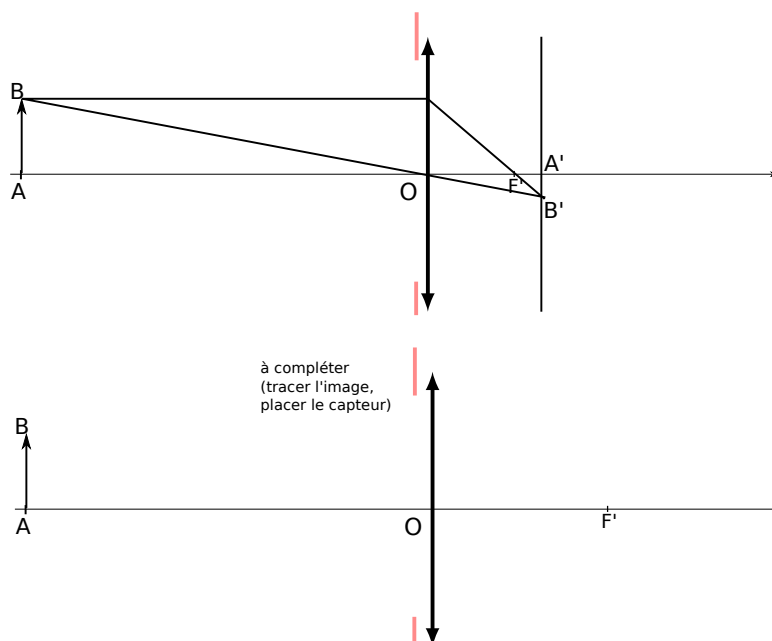
Influence de la longueur focale

La longueur focale image f' de la lentille mince convergente équivalente à l'objectif est nommée "focale" de l'objectif. Plus la focale est grande, plus l'angle de champ, qui est l'angle sous lequel on voit le paysage, est réduit. Ceci revient à "zoomer" avec l'appareil photo.



Prise de vue à différentes focales. Source : wikipédia.

- 3.a** – Changer la lentille pour prendre une focale plus grande. L'image est-elle en effet agrandie ? On pourra tester avec plusieurs focales différentes.
- 3.b** – Compléter le schéma ci-dessous, qui correspond à une focale plus élevée que dans celui de dessus. L'image est-elle en effet plus grande ?



II Lunette astronomique

Une lunette astronomique sert à observer les astres, situés à l'infini. L'image produite par la lunette est également à l'infini, afin que l'œil puisse l'observer sans effort : c'est un instrument dit afocal. Elle est constituée de deux blocs optiques :

- Un objectif L_3 que nous modéliserons par une lentille convergente de focale $f'_3 = 300$ mm. Son rôle est de former de l'objet AB (qui lui est à l'infini) une image A_1B_1 .
- Un oculaire L_4 que nous modéliserons par une lentille convergente de focale $f'_4 = 100$ mm. Son rôle est de former de l'image intermédiaire A_1B_1 une image $A'B'$ située à l'infini, observable par l'œil.

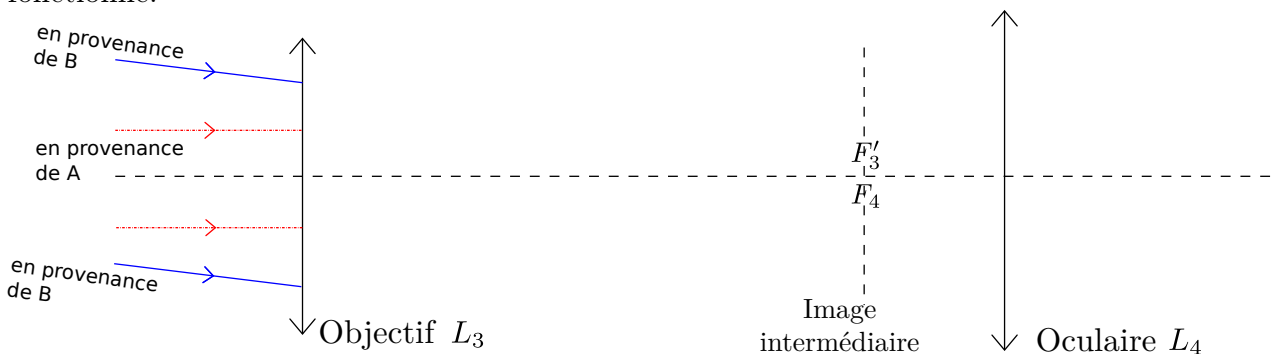
4.a – Par rapport à la lentille L_3 , où se forme l'image intermédiaire A_1B_1 ?

4.b – Pour que $A'B'$ soit à l'infini, où doit être située l'image intermédiaire A_1B_1 par rapport à la lentille L_4 ?

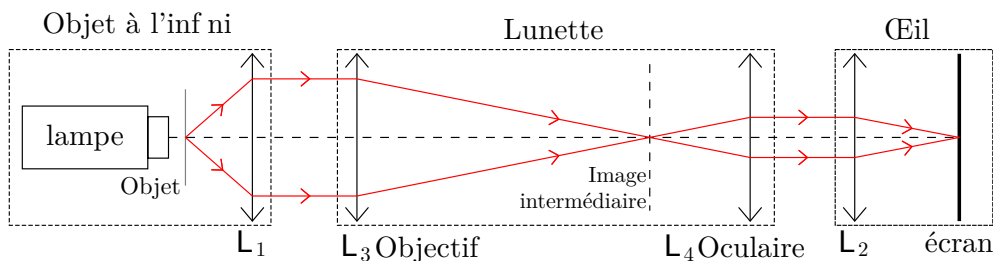
4.c – D'après les deux questions précédentes, comment doivent être placées les deux lentilles l'une par rapport à l'autre ?

Compléter le schéma ci-dessous en prolongeant les rayons.

Prendre les lentilles L_3 et L_4 et, en les tenant à la main et en regardant par la fenêtre, voir si cela fonctionne.



Pour étudier la lunette sur le banc optique de la salle de TP, il va falloir également “fabriquer” deux autres éléments essentiels : un objet à l'infini (qui joue le rôle de ce qu'observerait la lunette dans le ciel), et un œil.

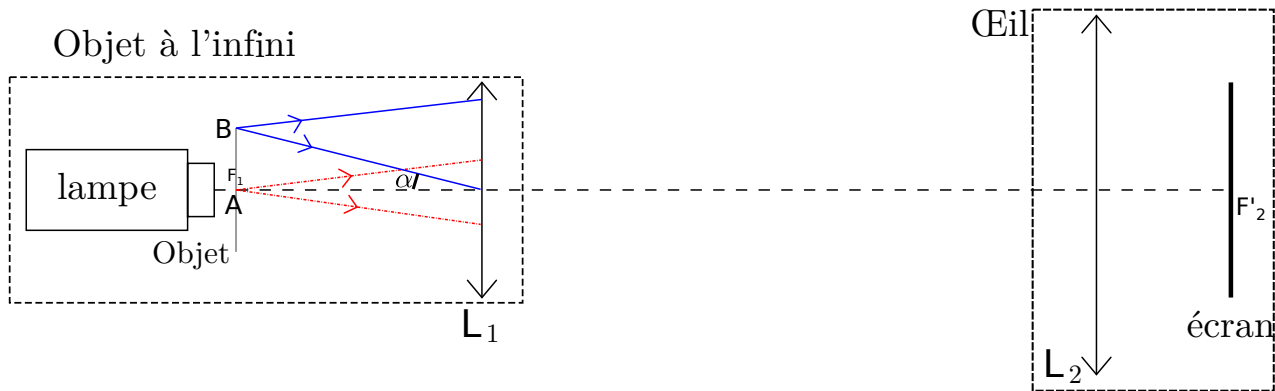


II.1 Fabrication d'un objet à l'infini

L'objet est fabriqué à l'aide de la lampe, de l'objet, et d'une lentille L_1 de focale $f'_1 = 125$ mm.

5.a – Où doit être situé l'objet par rapport à L_1 pour que son image soit envoyée à l'infini ?

Compléter le schéma ci-dessous, en vous arrêtant avant la lentille 2 (l'œil est étudié ensuite).



- 5.b** – Réaliser cet objet. Pour être certain de bien placer la lettre-objet dans le plan focal objet de la lentille, on utilisera la méthode d'autocollimation avec le miroir (TP précédent).

II.2 Fabrication d'un œil

L'œil est fabriqué à l'aide d'un écran et d'une lentille L_2 de focale $f'_2 = 200$ mm.

- 6.a** – Qu'est ce qui joue le rôle de cristallin et de rétine ? Où doit être placé l'écran par rapport à la lentille L_2 afin de voir net un objet situé à l'infini ?

Compléter le schéma précédent en traçant la marche des rayons jusqu'au bout.

- 6.b** – Réaliser cet œil. Le régler de sorte à voir net sur l'écran l'image formée par l'objet précédemment réalisé.

- 6.c** – Mesurer la hauteur h de l'image sur l'écran.

En déduire l'angle α sous lequel arrivent les rayons les plus inclinés provenant de l'objet.

L'objectif de la lunette est d'augmenter cet angle α . Ceci se voit déjà sur le schéma de la lunette que vous avez complété : l'angle α' en sortie est supérieur à α en entrée.

II.3 Fabrication de la lunette

- 7.a** – Fabriquer la lunette à l'aide des lentilles L_3 et L_4 décrites en début d'énoncé. Il faut choisir la distance entre les deux afin que F'_3 et F_4 coïncident. Ceci sera le cas lorsque l'image sera nette sur l'écran.

Une fois ce réglage effectué, mesurer la distance entre O_3 et O_4 et vérifier qu'elle correspond bien approximativement à $f'_3 + f'_4$.

- 7.b** – Mesurer la hauteur h' de l'image sur l'écran. En déduire l'angle α' sous lequel arrivent les rayons les plus inclinés provenant de l'objet.

- 7.c** – Le grossissement angulaire de la lunette est défini comme $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$. Déduire de vos mesures la valeur de G_{exp} pour votre lunette.

Nous avons démontré en TD que l'expression théorique de G est $G_{\text{théo}} = -\frac{f'_3}{f'_4}$. Ceci est-il proche de votre mesure expérimentale ?

- 7.d** – Afin de vraiment voir si votre mesure de G (qu'on notera G_{exp}) est bien compatible avec l'expression $G_{\text{théo}} = -\frac{f'_3}{f'_4}$, il faut prendre en compte les incertitudes.

Concernant $G_{\text{théo}} = -\frac{f'_3}{f'_4}$:

Comme les indications fabricant ne sont pas toujours fiables, nous allons mesurer f'_3 et f'_4 .

Utilisez pour cela la méthode par autocollimation (TP précédent), et estimer l'incertitude en estimant la plage de position $[x - \Delta, x + \Delta]$ sur laquelle l'image renvoyée par le miroir vous semble nette : x est alors votre mesure de f' , et Δ est votre demi-largeur d'incertitude.

Noter : $\Delta(f'_3) = \dots$ $\Delta(f'_4) = \dots$

Cette demi-largeur d'incertitude est liée à l'incertitude type par la relation $u(f') = \Delta(f')/\sqrt{3}$ (cf fiche incertitudes).

→ écrire $f'_3 = \dots$ $u(f'_3) = \dots$ $f'_4 = \dots$ $u(f'_4) = \dots$

Ces incertitudes se répercutent sur $u(G_{\text{théo}})$, via la formule (cf fiche) :

$$u(G_{\text{théo}}) = \dots$$

Concernant $G_{\text{exp}} = \frac{\alpha'}{\alpha}$:

Une démarche similaire est possible. On peut toutefois pour l'instant supposer que $u(G_{\text{exp}}) \approx u(G_{\text{théo}})$, car il s'agit du même type de formule et de mesures ($G_{\text{exp}} = \text{hauteur flèche avec lunette}/\text{hauteur}$

Calculer l'écart normalisé z et conclure sur l'accord entre G_{exp} et $G_{\text{théo}}$:

$$z = \dots$$

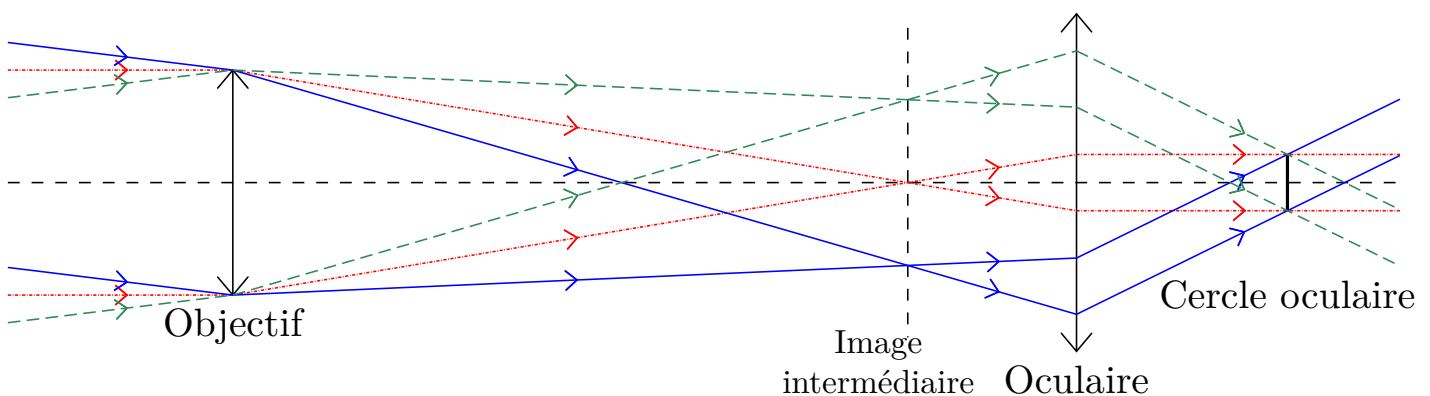
III Lunette : cercle oculaire, diaphragmes de champ et d'ouverture

Partie à traiter seulement si le temps le permet.

Cercle oculaire

Le cercle oculaire d'un instrument d'optique, aussi appelé pupille de sortie, est le plus petit cercle au travers duquel passent tous les rayons sortant de l'instrument. On voit sur la construction ci-dessous qu'il s'agit de l'image de l'objectif par l'oculaire. Il est préférable de placer l'œil ici, car c'est là que la luminosité est maximale.

8.a – À l'aide d'une feuille de papier que vous promener en sortie de la lunette, repérer où se situe le cercle oculaire.



Diaphragme d'ouverture

Placer un diaphragme devant la lentille de l'objectif. Constaté en le fermant et en l'ouvrant que ceci influe sur la luminosité de l'image, mais pas sur la portion de l'image visible. Ce diaphragme est appelé diaphragme d'ouverture.

8.b – À l'aide du schéma ci-dessus, comprendre pourquoi il en est ainsi.

Diaphragme de champ

Placer un diaphragme dans le plan focal image de la lentille de l'objectif. Constaté en le fermant et en l'ouvrant que ceci n'influe presque pas sur la luminosité de l'image, mais sur la portion de l'image visible. Ce diaphragme est appelé diaphragme de champ.

8.c – À l'aide du schéma ci-dessus, comprendre pourquoi il en est ainsi.