

Étude en travaux pratiques d'un système optique convergent

par Roland JOUANISSON
Département de Physique, Université Blaise Pascal
63177 Aubière Cedex

La manipulation proposée peut être réalisée avec n'importe quel système optique convergent (lentille mince, objectif photographique, objectif de projection, etc...).

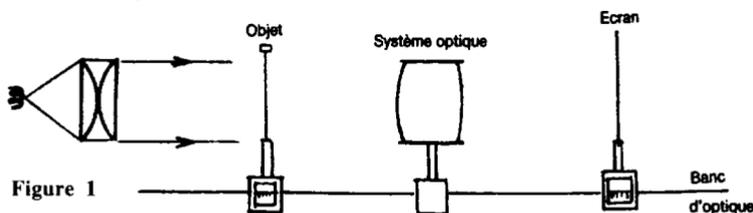
La méthode n'est cependant pas adaptée à la mesure des distances focales trop petites (précision médiocre) ou trop grandes (limitation par la longueur du banc d'optique). On utilisera donc de préférence des objectifs dont la distance focale est comprise entre 50 et 400 mm.

Cette manipulation pourra faire l'objet de travaux pratiques au collège ou au lycée (classes terminales).

Elle correspond également aux sujets proposés aux épreuves pratiques des CAPES de Sciences Physiques.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- un banc d'optique et ses accessoires (figure 1),
- un objet lumineux plan (figure 3),
- un écran,
- une lentille convergente auxiliaire,
- un miroir plan.



Un banc d'optique de fortune de 1 mètre de long sera réalisé à l'aide de profilé en U (métal, PVC...). Un morceau de mètre-ruban hors d'usage sera fixé sur ce banc. Des cales en bois parallélépipédiques, munies d'un repère, qui coulisent dans le profilé serviront de support aux accessoires (figure 2). Nous n'entrons pas davantage dans le détail de la réalisation de ce matériel : chacun trouvera des solutions adaptées à ses ressources. Précisons cependant qu'il est parfaitement possible, avec un matériel rudimentaire, utilisé correctement, de réaliser des mesures à 1 % près.

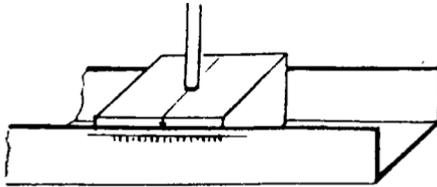


Figure 2

Pour la commodité des mesures on aura intérêt à réaliser un dispositif qui peut être à la fois objet lumineux et écran sur lequel on recueille une image : dans le plan d'un diaphragme circulaire de 3 ou 4 cm de diamètre (découpé par exemple dans un carton), on place sur la moitié du champ un papier diffusant (papier calque) sur lequel on aura dessiné une lettre. (Il est également commode d'utiliser les lettres de transfert à sec). Éclairé par une source quelconque ce dispositif constituera l'objet lumineux. Sur l'autre moitié du champ, et dans le même plan que l'objet, on placera un papier blanc opaque qui servira d'écran pour recueillir les images que l'on obtiendra par autocollimation (figure 3).

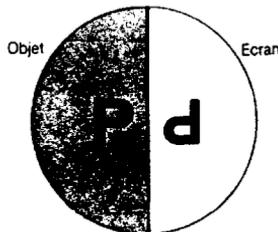


Figure 3

Choisir un objectif (ou une lentille simple) dont la distance focale est inférieure au quart de la longueur du banc (la distance entre l'objet

et l'image réelle qu'en donne une lentille ne peut être inférieure à $4 f$. Déterminer l'ordre de grandeur de la distance focale (par exemple en réalisant l'image d'un objet éloigné : fenêtre, lampe...).

Cette démarche est très importante sur le plan scientifique : on ne commence pas des expériences sans s'assurer que le dispositif est adapté à la mesure ! De plus la connaissance approximative de la valeur cherchée facilitera grandement la recherche des images.

· On fixe l'objectif à étudier vers le milieu du banc. Sa position n'a pas besoin d'être repérée.

DÉTERMINATION DU FOYER OBJET

On utilisera la méthode d'autocollimation

Placer un miroir plan derrière l'objectif en le maintenant normalement à l'axe du système ; déplacer l'objet, éclairé par une source de lumière, jusqu'à ce que l'image donnée par le système objectif + miroir soit dans le même plan que l'objet (figure 4).

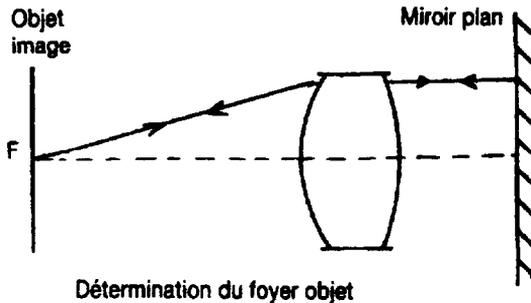


Figure 4

Il faut tourner légèrement le miroir pour que l'image se forme sur la partie «écran».

L'observateur placé à droite et qui regarde l'objet-écran voit une image réelle renversée par rapport à l'objet. Ainsi, si l'objet est la lettre P l'image sera la lettre d.

Cette recherche est évidemment facilitée si l'on connaît l'ordre de grandeur de la distance focale de l'objectif.

La position de l'objet pour laquelle on obtient une image nette dans le même plan détermine le plan **focal objet**. On repère cette position sur le banc d'optique et on évalue la précision de cette détermination. (On dérègle le système et on recommence plusieurs fois la mesure : on a ici un exemple de détermination statistique de la précision).

Les résultats dépendent de la qualité du matériel. Avec un banc aux qualités mécanique soignées, la précision sera limitée par la latitude de mise au point. On sera amené à réduire les aberrations chromatiques (utiliser une source de lumière monochromatique) et les aberrations de sphéricité (s'il s'agit d'une lentille simple ou d'un objectif mal corrigé). Dans ce cas il faut diaphragmer convenablement le système optique.

A titre d'exemple, si l'on prend les précautions qu'on vient de signaler, on pourra déterminer, pour un objectif de 200 mm de distance focale, la position du foyer à quelques dixièmes de mm près. Avec un banc rudimentaire cette détermination sera de l'ordre du mm.

DÉTERMINATION DU Foyer IMAGE

On commence par réaliser un objet à l'infini. On utilise une lentille auxiliaire avec laquelle on fait l'expérience d'autocollimation précédente. Lorsque la mise au point est obtenue, l'objet se trouve dans le plan focal objet de la lentille auxiliaire. On retire alors le miroir ; pour l'objectif à étudier l'objet est à l'infini : il donne de cet objet une image dans son plan **focal image**, dont on détermine la position grâce à un écran (figure 5).

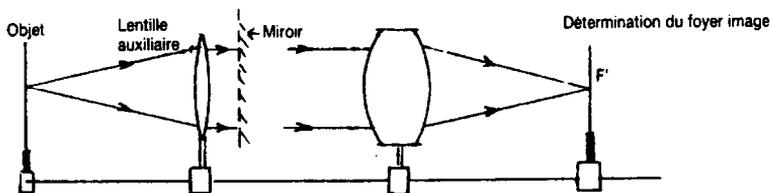


Figure 5

Les remarques concernant la précision sont les mêmes que précédemment.

VÉRIFICATION DES FORMULES DE CONJUGAISON

On établira les relations de conjugaison de Newton (origines aux foyers F et F'). A étant un point objet sur l'axe optique, A' son image, on a : $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f^2$ (figure 6).

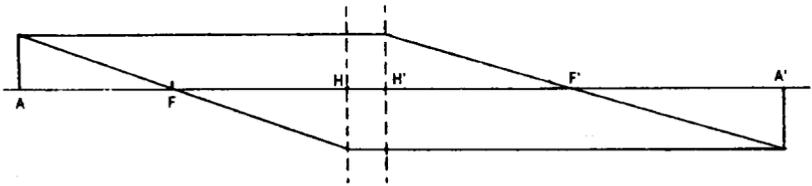


Figure 6

La figure 6 correspond au cas général où l'on fait intervenir les points principaux H et H' . Pour la démonstration de la formule on notera que $\overline{FH} = \overline{H'F'} = f$. Au niveau élémentaire on fera la démonstration en considérant un système infiniment mince : H et H' sont alors confondus avec O , centre de la lentille.

La manipulation consiste à vérifier que le produit $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'}$ est constant aux incertitudes de mesure près, lorsque la position de l'objet A varie.

Remarque : comme on utilise le même dispositif pour repérer les positions de A et de F et le même écran pour repérer les positions de A' et de F' , il en résulte que les positions lues sur le banc peuvent correspondre à des repères arbitraires : les déplacements mesurés (\overline{FA} et $\overline{F'A'}$) sont corrects.

DÉTERMINATION DE LA DISTANCE FOCALE

On montrera que pour obtenir une bonne précision, on a intérêt à choisir la position de l'objet A telle que les longueurs \overline{FA} et $\overline{F'A'}$ soient du même ordre de grandeur.

La position de A pour laquelle la précision sur le produit $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'}$ est la meilleure permet de calculer : $f \pm \Delta f$.

On obtiendra, avec un matériel courant, une précision de l'ordre de 1 %.

CONCLUSION

Cette manipulation qui permet une étude approfondie d'un système optique est très intéressante sur le plan didactique et à divers niveaux de connaissance. De plus, elle n'exige aucune correction. Enfin elle permet de déterminer une distance focale avec une précision meilleure que 1 %.