Quelques problèmes posés par la mesure des distances focales

Les nouveaux programmes des classes secondaires recommandent l'étude des lentilles minces, cette étude devant être faite uniquement en travaux pratiques.

Nous abordons donc dans cet article quelques problèmes posés par cet enseignement expérimental à un niveau élémentaire et, en particulier, la mesure de la distance focale des lentilles dites « minces ». Nous suggérons une méthode d'étude qui permet d'aboutir à des mesures satisfaisantes en utilisant uniquement un matériel usuel (banc d'optique, objet lumineux, écran...).

NOTION DE FOYER IMAGE.

A l'aide d'une lentille simple, « dite mince » (en donner une définition provisoire), on forme l'image d'un objet à l'infini. On peut, par exemple, réaliser un faisceau de rayons parallèles selon la technique décrite dans le B.U.P. n° 610 (P. ROCHE et J. CRETON) et que nous avons reprise dans notre article du B.U.P. n° 621. On montrera que la lentille présente un axe de révolution (voir photo n° 1) qu'on appelle l'axe optique, aussi bien pour les rayons réfléchis que pour les rayons transmis Le faisceau incident monochromatique étant parallèle à l'axe optique, on voit que les rayons convergent approximativement en un point. Cependant, avec des pinceaux très fins (de l'ordre de 100 µm), tels que ceux que l'on peut réaliser avec un laser, il est facile de voir que l'image d'un point à l'infini n'est pas un point (photos n^os^ 1 et 2). Si on élimine les rayons trop éloignés de l'axe, on définit une image F' (foyer image). On verra ainsi clairement ce que signifie l'approximation de Gauss.

On pourra montrer un autre exemple d'instrument d'optique pour lequel se pose le même problème (par exemple : le miroir sphérique concave, photo n° 3) et introduire ainsi la notion de stigmatisme approché.

D'autre part, pour les mesures, on sera amené à introduire la notion de profondeur de champ. L'examen des photos n^os^ 1 et 2 permet de faire comprendre facilement pourquoi l'intersection des rayons marginaux avec l'axe est déterminée avec plus de

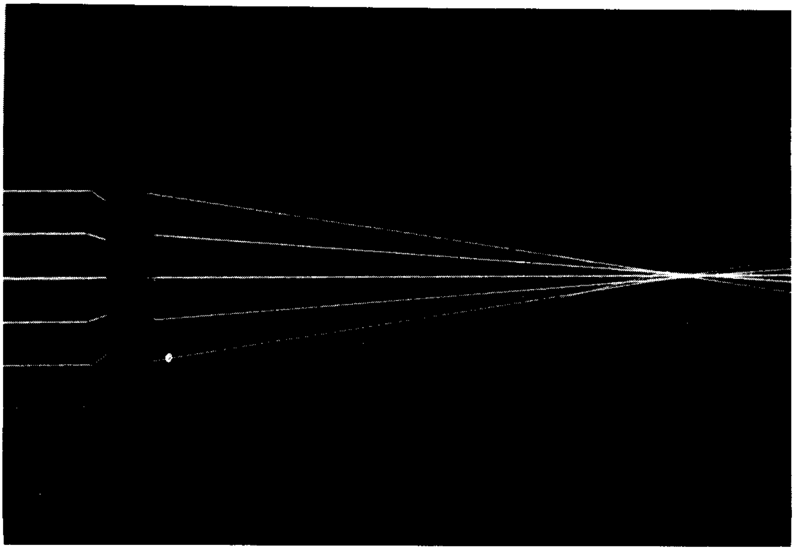

Photo n° 1

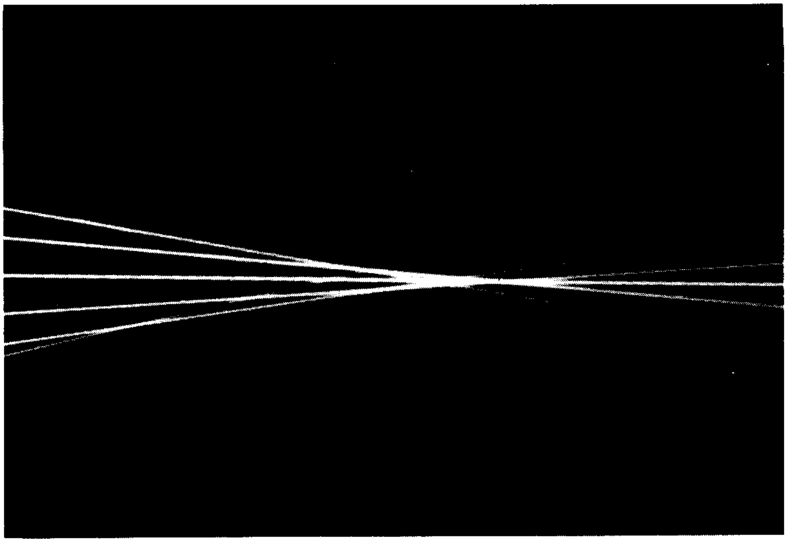

Photo n° 2

précision que l'intersection des rayons centraux avec le même axe. Cependant, si l'on utilise les premiers, on trouve une position *incorrecte, c'est-à-dire qui ne correspond pas aux hypothèses d'approximation et aux formules.*

Distance focale.

L'expérience montre qu'il est possible de déterminer la position de F' avec une incertitude de l'ordre du mm lorsque les distances focales sont de l'ordre de 20 cm. Si l'épaisseur e de cette lentille est de quelques mm, comme c'est généralement le cas, on ne pourra pas la négliger. Comment définir alors la distance focale si l'on ne veut pas introduire la notion de plan principal ? Il serait naturel de faire jouer au centre optique O un rôle particulier et de définir $f = OF'$; en fait, l'expérience montre que l'on ne définit pas ainsi une grandeur indépendante du sens de propagation de la lumière (sauf si la lentille est équiconvexe). On pourra faire l'expérience avec une lentille plan-convexe dont la position du centre optique est connue (intersection de l'axe avec la face courbe).

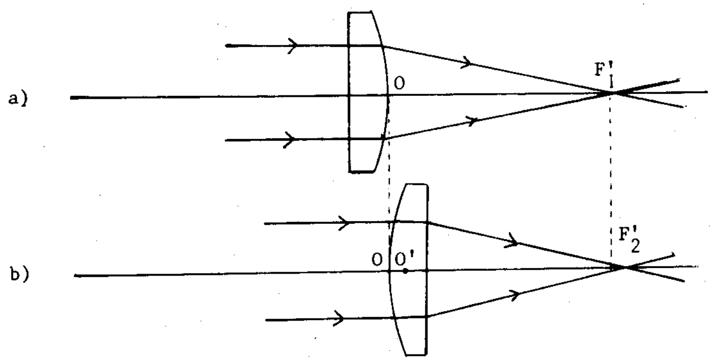

Fig. 1

Selon le sens de propagation de la lumière, on trouve deux valeurs distinctes avec ici $OF'_2 > OF'_1$ (fig. 1).

L'expérience montre que l'on trouve deux valeurs égales si, au lieu de considérer l'origine au centre optique O, on prend cette origine au point O' image de O vue du foyer dans le dioptre. Ainsi, dans l'expérience précédente, O est sa propre image dans le cas *a*) et l'on a :

$$f = OF'_1$$

tandis que dans le cas *b*), l'image O' est telle que :

$$OO' \simeq \frac{n-1}{n} e$$

et on trouve bien expérimentalement que $OF'_1 = O'F'_2$.

D'une manière générale, O étant situé de manière quelconque par rapport aux points S_1 et S_2, on a (fig. 2) :

$$f = O_2F'_2 \quad \text{avec} \quad OO_2 \simeq \frac{n-1}{n} OS_2$$

$$f = O_1F'_1 \quad \text{avec} \quad OO_1 \simeq \frac{n-1}{n} OS_1.$$

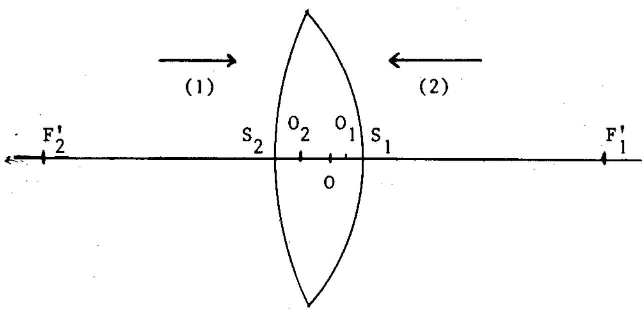

Fig. 2

Si l'on mesure $F'_1F'_2$, on trouve donc :

$$F'_1F'_2 = 2f + \frac{n-1}{n} e \qquad (e = OS_1 + OS_2).$$

On voit qu'il n'est pas nécessaire de connaître la position du centre optique (donc la forme de la lentille) pour mesurer f. Il suffit de connaître l'épaisseur de la lentille et son indice (une valeur approchée suffit).

METHODE D'AUTOCOLLIMATION (voir photo n° 4).

Cette méthode bien connue nécessite un matériel réduit : un banc d'optique de faible longueur, un objet qui sert également d'écran et un miroir plan. Mais si l'on ne prend pas de précautions expérimentales, on trouve des valeurs erronées. La principale difficulté est de bien connaître la position du plan objet-image (F') d'une part et la position de la lentille (O) d'autre

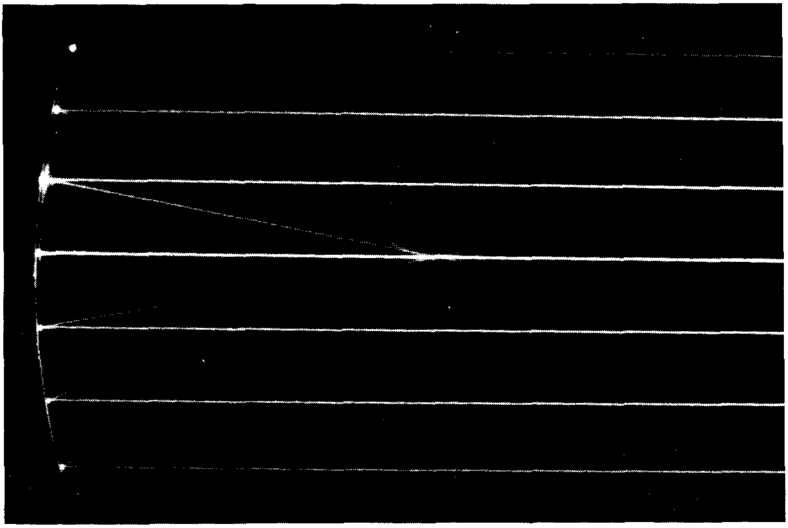

Photo n° 3

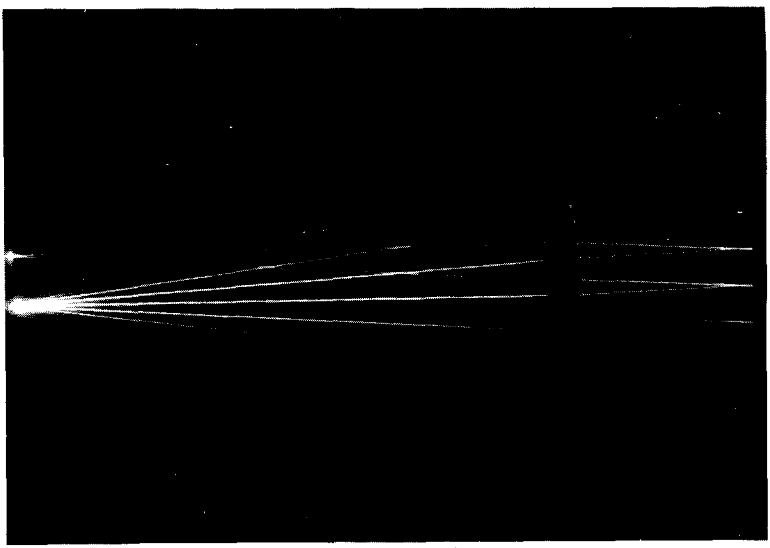

Photo n° 4

part. Il est rare, avec le matériel courant, que l'on puisse assurer que le plan de l'objet A coïncide avec le repère, à l'aide duquel on fait la lecture, à mieux que un mm près. Cette incertitude est

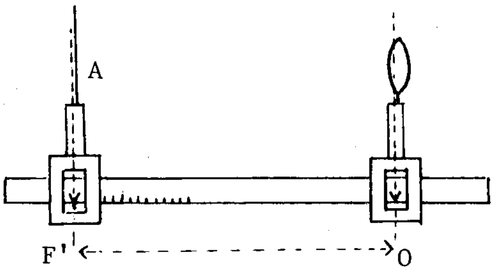

Fig. 3

encore plus grande en ce qui concerne la lentille. D'autre part, comme on mesure directement f, la correction d'épaisseur est très rarement négligeable car la latitude de mise au point est très faible.

Pour lever ces difficultés, on peut procéder de la manière suivante : pour une position donnée de l'écran, on fait une mesure x_1 puis une mesure x_2 après avoir retourné la lentille face pour face ; ensuite, on retourne l'écran (supposé infiniment mince) et on fait à nouveau deux mesures x'_1 et x'_2 comme précédemment : on élimine ainsi à la fois l'incertitude sur la position de l'écran et sur la position de la lentille et l'on a :

$$x_1 + x_2 + x'_1 + x'_2 = 4f + 2\,\frac{n-1}{n}\,e.$$

Seule, subsiste l'incertitude de latitude de mise au point car les incertitudes de lectures sont très inférieures (elles sont de l'ordre de 0,1 mm, même sans vernier, si les graduations sont assez fines).

Avec une lentille de distance focale égale à 20 cm, nous trouvons couramment f à un mm près, soit avec une précision de 0,5 %. Si on utilise des filtres interférentiels, on peut mesurer f pour diverses longueurs d'onde et déterminer approximativement le pouvoir dispersif du verre. En lumière blanche, on trouve une valeur de f qui correspond au jaune moyen.

Pour la réalisation de l'objet-écran, nous suggérons d'utiliser un papier millimétré translucide vivement éclairé, par une lampe quartz iode par exemple.

Le calcul du terme correctif $\dfrac{n-1}{n}\,e$ ne pose pas de problème particulier, l'épaisseur e est mesurée au pied à coulisse. Quant à l'indice n, on peut se contenter d'une valeur approchée ($n = 1{,}5$). Si n varie de Δn, le terme correctif varie de $\dfrac{\Delta n}{n^2}\,e$.

Si, par exemple :

$$\Delta n = 0{,}05, \qquad e = 5 \text{ mm} \qquad \frac{\Delta n}{n^2}\,e \simeq 0{,}1 \text{ mm}$$

c'est-à-dire une quanité négligeable devant la latitude de mise au point. On peut aussi mesurer directement le terme correctif $\dfrac{n-1}{n}\,e$ par la technique habituelle du microscope en considérant la lentille comme une lame à face parallèle (si son rayon de courbure est grand vis-à-vis de son épaisseur). Une autre méthode intéressante consiste à mesurer l'angle de Brewster à l'aide d'un faisceau laser : on détermine $\mathrm{tg}\, i_B = n$. Si i_B est mesuré à 1° près, l'indice est connu à 4 % près environ.

AUTRES METHODES.

Les programmes de certaines sections recommandent l'étude des méthodes de Bessel et de Silbermann. Ces méthodes sont intéressantes pour faire comprendre les notions d'objet, d'image, de conjugaison, etc. mais, contrairement à une opinion répandue, elles ne permettent pas de mesurer avec précision la distance focale à cause des difficultés de repérage des positions comme on l'a vu précédemment. A cause de cette imprécision, on a rarement à tenir compte de l'épaisseur de la lentille !

Il est, par contre, une méthode non recommandée qui permet de bonnes mesures : c'est la méthode qui utilise les formules de Newton. F et F' étant les foyers, A un objet, A' son image, on a : $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f^2$.

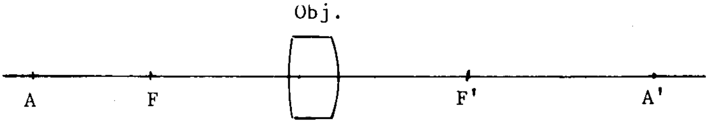

Fig. 4

La méthode s'applique à un *système quelconque, donc non nécessairement mince.* Il suffit de déterminer F et F' par la méthode d'autocollimation en plaçant successivement l'objet-écran à droite puis à gauche de l'objectif (Obj.) à étudier ; l'objectif lui-même est fixé sur le banc mais sa position n'a pas à être repérée. Pratiquement, on aura intérêt à utiliser deux objets-écrans montés sur le banc et on déplacera la source de lumière. On déplace ensuite un des objets en A et on cherche son image A' sur l'autre écran. Cette façon de procéder élimine les incertitudes de positionnement par rapport aux repères puisqu'on mesure des déplacements FA et F'A' (un repère arbitraire est suffisant).

Naturellement, on obtient la meilleure précision lorsque FA $\simeq$ F'A'. La méthode est un peu moins précise que pour l'autocollimation : on obtient f à 1 % près environ. Surtout, on n'a aucune correction à faire.

On pourra, par exemple, étudier un objectif de projection ou un objectif photographique et comparer avec les valeurs affichées sur ces appareils.

R. JOUANISSON,
(*Université de Clermont II*).