
 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

Formation des images

Quelques idées simples à revisiter

par A. CANTEGREIL
Lycée Charles de Gaulle - 35 Cromwell Road
London SW7 2DG

RÉSUMÉ

L'étude expérimentale de la formation des images optiques en spécialité est un peu dense pour les élèves qui doivent en sept séances exploiter au mieux les expériences qui leur sont proposées. Quelques idées simples que l'on ne voit plus beaucoup dans les ouvrages traditionnels méritent d'être réactualisées.

1. LA FORMULE DE CONJUGAISON DES LENTILLES MINCES

La méthode habituelle consiste à faire tracer $1/OA'$ en fonction de $1/OA$ à partir de cinq ou six mesures.

On peut aussi partir des conditions de Gauss, faciles à mettre en évidence sur le banc d'optique et une lentille de 8δ par exemple. Ces conditions impliquent les triangles rectangles allongés que l'on trouve régulièrement en optique et qui servent de support aux raisonnements en classe de terminale S (figure 1) : malheureusement l'occasion est rare de les tracer en respectant sa forme ; la modélisation des lentilles ne l'exige pas.



Figure 1

A la calculatrice, les élèves vérifient que le sinus, la tangente et les angles en radians inférieurs, par exemple, à $0,1$ rad (~ 6 degrés) sont égaux à moins de $0,5\%$ près.

Soit A' l'image d'un point A situé sur l'axe optique.

BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

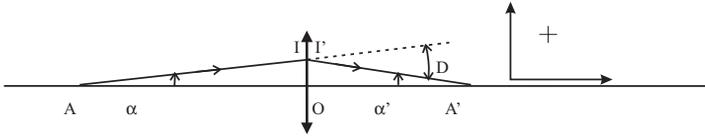


Figure 2

$\alpha = - \overline{OI} / \overline{OA}$ $\alpha' = - \overline{OI} / \overline{OA'}$. Introduisant l'approximation suivante : la déviation D est la même quelle que soit la position de A (le point d'incidence I du rayon sur la lentille restant fixe) ; en effet, pour I fixé, sur une lentille mince, le point d'émergence I' du rayon est quasiment indépendant de l'angle d'incidence dans les conditions de Gauss ; donc la déviation est celle d'un prisme de petit angle S et $D \cong (n - 1)S$, S étant quasi proportionnel à \overline{OI} et indépendant de A , il vient alors $D = \overline{OI} / \overline{OF'}$ (figure 3). $D / \overline{OI} = 1 / \overline{OF'}$ s'exprimerait facilement en fonctions des rayons de courbure des faces des lentilles et de $(n - 1)$.

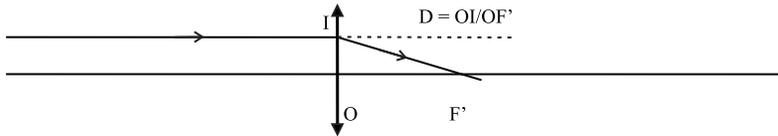


Figure 3

Sachant que $D = \alpha - \alpha'$ comme angle extérieur au triangle AIA' (figure 2), et associant à la lentille les axes traditionnels, il vient $1 / \overline{OA'} - 1 / \overline{OA} = 1 / \overline{OF'}$. La vérification de la formule dans quelques cas : objet réel, virtuel, lentille convergente, divergente confirme l'approximation de Gauss.

Dans le cas d'un système de deux lentilles minces accolées, la déviation finale est la somme des déviations dues à chaque lentille $D = D1 + D2$, si en plus ces lentilles sont minces, et accolées ou suffisamment proches les points d'incidence et d'émergence d'un rayon sur ces lentilles sont quasiment confondus donc :

$$\overline{OI} / \overline{OF'} = \overline{OI} / \overline{OF'}_1 + \overline{OI} / \overline{OF'}_2$$

ce qui implique la relation connue $C = C1 + C2$ (figure 4).

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

Deux supports avec noix et pinces sont nécessaires pour tenir la lentille et le petit écran. La lentille peut tourner dans la pince autour d'un axe vertical, ce qui permet de montrer la propriété du centre optique.

3. LES ABERRATIONS DE SPHÉRICITÉ ET CHROMATIQUE

Avec un diaphragme et un écran circulaire complémentaire, qui cache la moitié centrale d'une lentille de 8 δ les élèves mettent en évidence le fait que la lentille est plus convergente sur le bord qu'au centre. On peut très facilement montrer les distorsions en coussinet et en barillet. On utilise une lentille de 20 δ comme une loupe pour observer un quadrillage tracé sur un papier ; le phénomène est particulièrement net quand on amène le foyer tout près du papier et que l'on regarde d'assez loin. Pour la distorsion en barillet, l'œil accommode sur une image réelle du quadrillage donnée par la lentille (figure 6).

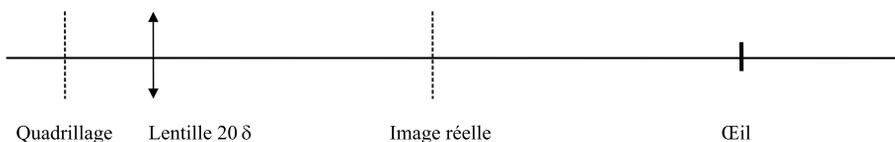


Figure 6

Une façon spectaculaire de montrer l'aberration chromatique a déjà été donnée dans le BUP n° 774 (mai 1995). Lorsque les élèves construisent sur le banc un «microscope», ou une «lunette» pour observer un objet, ils constatent que l'image définitive est largement irisée, ce qui est dû au chromatisme de la lentille objectif principalement.

L'expérience que Newton fit est très simple : d'après H. Bouasse (1920), il éclairait un carton dont une moitié était peinte en rouge et l'autre moitié en bleu, un fil de soie noir est enroulé sur le carton de façon à tracer des lignes noires, il faisait l'image du fil avec une lentille en verre dispersif sur un verre dépoli. Mettant au point, l'image du fil n'est pas nette pour les deux couleurs simultanément. Nous pouvons la réaliser en enroulant un fil noir sur une plaque de verre, qui porte un filtre vert et un filtre rouge côte à côte (figure 7).

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

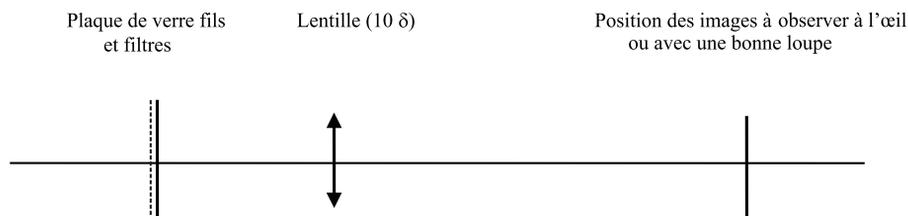


Figure 7

4. EXPÉRIENCE DE DIFFRACTION

La diffraction par une fente éclairée par la lumière d'une diode laser donne de bons résultats à condition que la fente soit de bonne qualité. Une solution consiste à noircir une lame porte objet de microscope avec la flamme d'une bougie et l'on trace avec une grosse aiguille ou une épingle un trait qui est la fente ; la fabrication d'une double fente d'écartement variable peut être réalisée avec un tire ligne de bonne qualité. Le film de carbone doit être fin pour obtenir des bords nets. La réalisation d'un trou bien circulaire est plus délicate : on peut créer un bossage avec une grosse aiguille sur une plaque de métal mou (cuivre) de faible épaisseur (3/10 mm) et l'user avec du papier abrasif très fin (numéro 600, mouillable) sans privilégier une direction (voir Bibliographie).

Avec une projection, les élèves peuvent vérifier la valeur de la largeur de la fente qu'ils ont obtenue avec la diffraction. La source est l'arc, la lentille est l'objectif d'un microscope ($\times 5$) corrigée des aberrations, l'écran est placé à deux ou trois mètres ; dans ces conditions, le grandissement déterminé en projetant une règle graduée transparente de bonne qualité. Pour effectuer la projection, mettre le microscope renversé sur un support à crémaillère, enlever l'oculaire et faire la mise au point en utilisant le bouton moleté de déplacement rapide, l'obscurité doit être soignée.

Pour montrer l'influence de la diffraction sur la limitation du pouvoir séparateur d'une lunette, observer deux points lumineux de 1 ou 2 mm de diamètre à 5 mm l'un de l'autre, obtenus en perçant (les bords doivent être lisses et l'on peut faire rougir un fil métallique pour percer en brûlant les bavures) que l'on fixe sur le verre d'une lampe de poche. Les points sont à 20 m au moins (se placer dans un long couloir), le grossissement de la lunette est de l'ordre de 30. Mettre au point (il faut un long tirage), puis diaphragmer l'objectif avec un diaphragme à iris bien centré, lorsque son diamètre est de

BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

l'ordre du centimètre, on observe deux taches d'Airy dues à la diffraction par «la monture» de l'objectif.

5. INTENSITÉ DU COURANT DANS UNE PHOTODIODE EN FONCTION DE L'ÉCLAIREMENT

On n'a pas toujours des luxmètres à sa disposition. Avec une source laser et une lentille de 20δ , on construit une source ponctuelle qui rayonne dans un cône de petit angle (voir figure 8). Par symétrie de révolution autour de l'axe, la variation de l'intensité est du second ordre par rapport à la distance à l'axe, ce qui permet d'utiliser un domaine où l'intensité peut être considérée uniforme. Pour une incidence donnée, la variation de l'éclairement dans ce domaine obéit à la loi $E / E_0 = (d_0 / d)^2$.

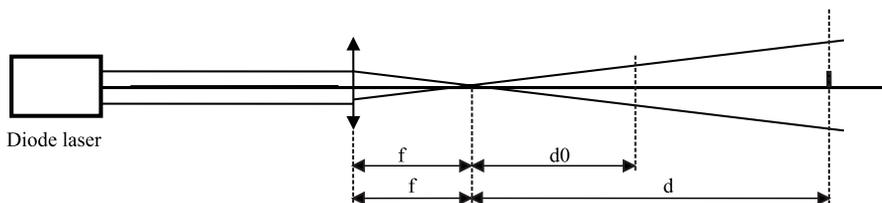


Figure 8

On prendra E_0 comme unité d'éclairement, la mesure de E est réduite à celle de longueurs. Le dispositif utilise le banc d'optique traditionnel, la photodiode (BPW34) est fixée sur un carton épais (2-3 mm) que l'on met à la place de l'écran. d varie de $d_0 = 20$ cm à 1 m, la diode laser est placée en bout de banc. Les distances au foyer ne sont pas mesurables parce que la source est beaucoup trop brillante, on se réfère alors à la position de la lentille.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] R. JOUANISSON : «*Expériences d'optique à l'aide d'un projecteur de diapositive*» - BUP n° 774, mai 1995, pp. 839-875.
- [2] M. HENRY et R. JOUANISSON : «*La lumière du laser*» - Guide d'expériences - 2^e édition - Masson, Paris (1995).
- [3] Berkeley Physics course WAVES Frank S. Crawford, Jr. McGrawHill.
- [4] H. BOUASSE : «*Optique géométrique élémentaire*».