

Franges de Young :

REALISATION D'UN DISPOSITIF DE T.P. PERMETTANT L'ETUDE DE L'INTERFRANGE EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE

par J.-P. PRATALI, J.-M. BOURLIER,
et J.-P. POILPRÉ,

Lycée Voltaire
101, avenue de la République, 75011 Paris.

Les nouveaux programmes de Première S comportent l'étude des interférences lumineuses. Or, celles-ci ne peuvent être bien comprises que si elles font l'objet d'une manipulation au cours de laquelle les élèves puissent, d'abord les observer, ensuite faire des mesures sérieuses.

Comment disposer, pour des T.P., d'un matériel simple et peu onéreux, mais permettant, à ce niveau, l'étude complète du phénomène, à savoir la possibilité de faire varier chacun des trois paramètres entrant dans l'expression de l'interfrange ? En général, on se contente de mesures semi-quantitatives, faute de connaître la longueur d'onde avec précision, les filtres colorés interposés sur la lumière blanche ayant des bandes passantes assez larges.

Comment donc pouvoir sélectionner à volonté une radiation quasi monochromatique et connaître immédiatement sa longueur d'onde avec une grande précision ? En disposant, bien entendu, d'un monochromateur.

C'est dans ce but que nous avons réalisé, au laboratoire, à partir du dispositif interférentiel le plus simple : celui des « fentes de Young », une série d'appareils de T.P. offrant cette possibilité pour une dépense modique et un travail compatible avec la modestie de notre outillage.

L'originalité de notre montage réside dans l'utilisation d'un matériel bien connu, le « bâti-support L.M.E. pour l'étude de la réfraction », que nous avons modifié de la manière suivante :

1. sur le disque gradué tournant, normalement destiné à recevoir l'hémi-cylindre de plexiglas, nous avons fixé une lanterne fournissant une source intense de lumière blanche (lampe à iode), éclairant une fente fine accolée à un réseau, et placée exactement au centre du disque, l'ensemble formant ainsi un monochromateur simple et suffisamment lumineux ;

2. à l'emplacement de la lanterne d'origine, nous avons placé un support sur chariot, destiné à recevoir les fentes de Young et, éventuellement, d'autres accessoires.

Le système ainsi obtenu peut coulisser le long d'un banc d'optique A.O.I.P. (rail en U pour « banc de focométrie ») qui comprend en outre un porte-lentille équipé d'un oculaire micro-métrique.

Nous nous proposons de donner ci-après une description détaillée des diverses parties de l'appareil ainsi qu'un aperçu de ses performances.

Vue d'ensemble du montage

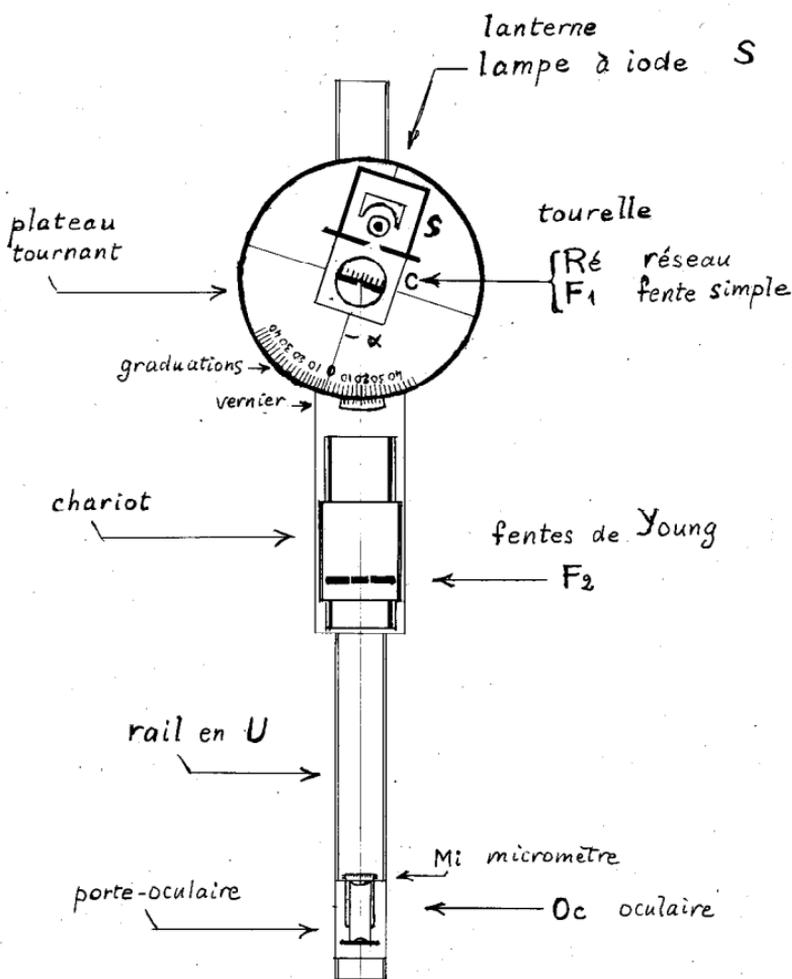


Fig. 1

1. SOURCE LUMINEUSE.

On a choisi la lampe à iode Mazda H1, qui donne une puissance d'environ 50 W sous 12 V, essentiellement pour la forme de son filament, enroulé selon l'axe de l'ampoule (fig. 2), ce qui a permis de la monter sur la potence porte-lampe du matériel L.M.E., munie d'un réflecteur cylindrique.

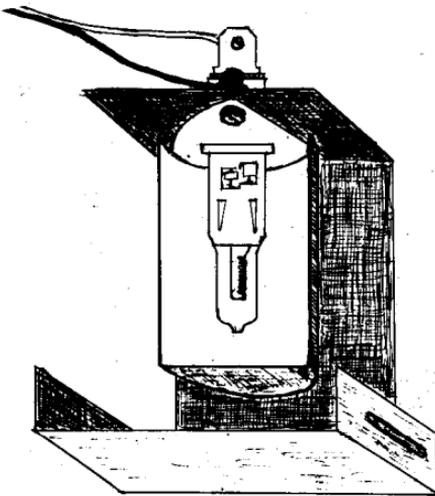


Fig. 2

Par contre, on n'a pas utilisé le boîtier et la lentille collimatrice parce qu'on obtenait un éclairage insuffisant de la fente-source. On a donc construit un capot métallique pour la lampe, avec seulement une ouverture verticale réglable pour réduire la lumière parasite (fig. 3).

2. FENTE-SOURCE.

C'est une diapositive. La raie transparente sur fond noir a une largeur de 0,07 mm. Cette largeur ne doit pas excéder $1/10^e$ de mm si l'on veut avoir un système de franges bien net (fig. 4).

3. RESEAU DE DIFFRACTION.

Il s'agit, là aussi, d'une diapositive, les véritables réseaux gravés sur verre étant hors de prix (il en existe sur plastique transparent vendu en rouleaux, mais difficiles à trouver en France).

Encore faut-il que cette diapositive soit de bonne qualité. Il y a deux moyens de s'en assurer : l'examen au microscope doit révéler des stries nettement visibles, et d'autre part, en la plaçant face à un tube fluorescent ou même à la lumière du jour,

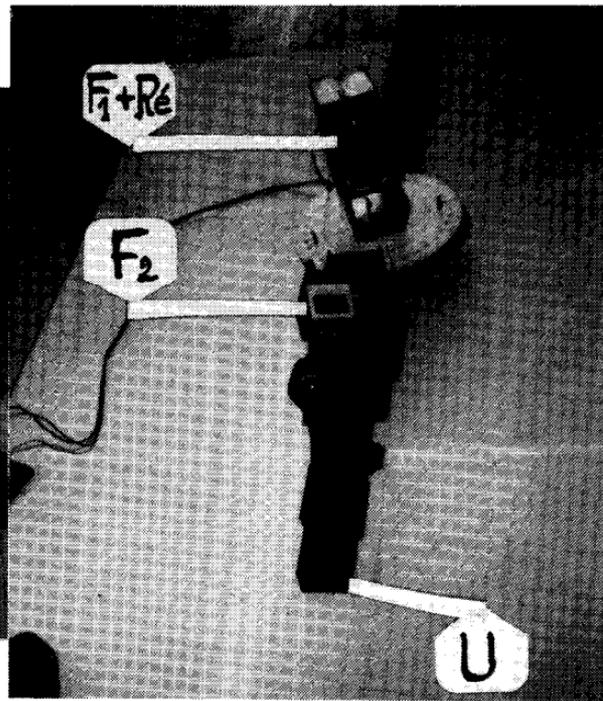
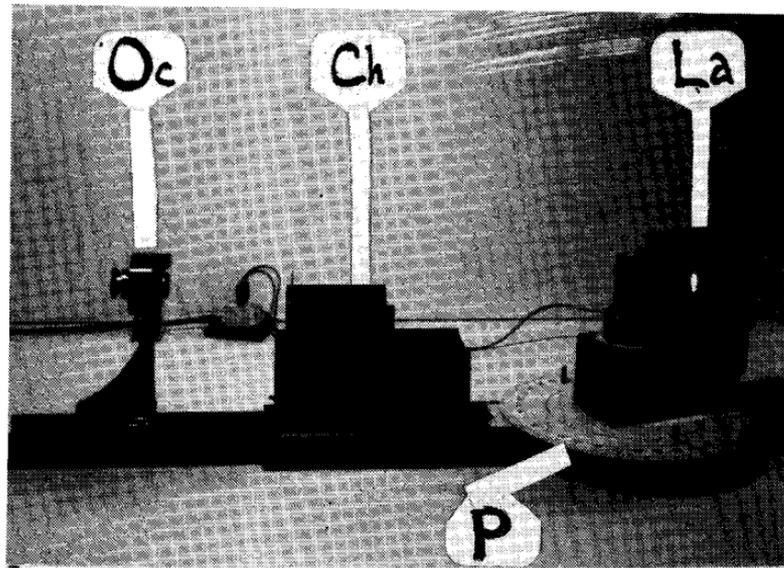


Fig. 3 et 4. — Vues d'ensemble du dispositif expérimental :

La : lanterne avec lampe à iode,
 Ch : chariot porte-fentes,
 Oc : oculaire avec micromètre,
 U : banc d'optique (rail en U) (matériel AOIP),

F_1 : fente-source,
 Ré : réseau superposé à F_1 ,
 F_2 : fentes de Young,
 P : plateau tournant gradué (matériel LME).

on doit observer une vive irisation. C'est ainsi qu'une série livrée par JEULIN a été trouvée tout à fait ratée, alors que celles de chez BIOLAB ont été très bonnes, donnant, par suite, un spectre de premier ordre très lumineux.

Les deux pellicules sont montées, accolées, sur le même châssis, fente et stries bien verticales. L'ensemble constitue une source rectiligne monochromatique si on l'observe dans une direction convenable par rapport à la normale au réseau. Il est situé au centre d'une tourelle, elle-même placée juste au centre du cercle gradué. La tourelle peut pivoter, permettant éventuellement de modifier l'angle d'incidence du pinceau de lumière blanche arrivant de la lampe (fig. 4 et 5).

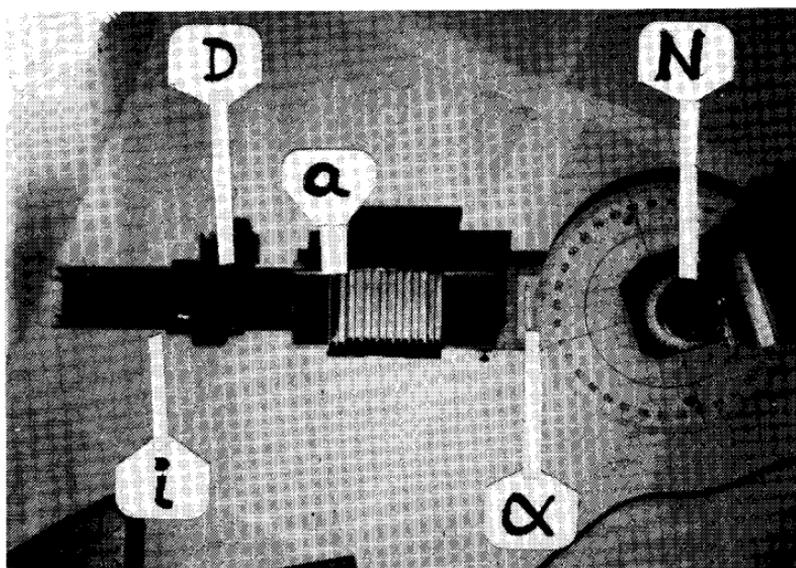


Fig. 5. — Lecture des mesures :

N : nombre de traits du réseau, préalablement mesuré au goniomètre,
 α : distance angulaire de la radiation dans le spectre de premier ordre,
 mesurée sur le cercle gradué,

N et α déterminent la longueur d'onde λ ,

a : interfente, préalablement mesurée au microscope,

D : distance des franges (recueillies sur le micromètre) aux fentes F_2 ,

i : interférence, mesurée à l'oculaire micrométrique ;

la mesure de i est comparée à la valeur déduite des mesures de λ ,
 D et a .

4. SELECTION DE LA LONGUEUR D'ONDE.

La lanterne et le monochromateur étant fixés sur le cercle, il suffit de faire tourner celui-ci, vers la gauche ou vers la droite, pour faire balayer les fentes de Young par les diverses radiations du spectre de diffraction de premier ordre.

Le réseau comportant 545 traits par millimètre (nombre déterminé au goniomètre, alors que le fabricant indique 530!), s'il est placé en position normale par rapport à l'incidence, les abscisses angulaires correspondant aux radiations, du violet au rouge extrêmes, sont comprises entre 13 et 22 degrés environ. Il serait donc utile d'adjointre au cercle gradué un vernier permettant d'accéder au moins au 1/6^e de degré près. Mais c'est une réalisation très difficile avec les moyens du laboratoire (fig. 5).

5. FENTES DE YOUNG.

La confection de fentes de Young en nombre suffisant pour une séance de T.P. a posé un problème qui nous a longtemps tenus en échec. Nous disposions de deux diapositives provenant des accessoires de générateur laser. Notre première idée a été évidemment de les faire reproduire, et nous nous sommes adressés aux laboratoires KODAK. Le résultat a été désastreux (signalons qu'une première fois, on nous a livré des diapos entièrement noires, la machine à mettre sur châssis ayant automatiquement pratiqué les coupures... sur les interfentes) : les clichés paraissaient, à première vue, identiques aux originaux. Pourtant leur exploitation s'est révélée absolument nulle : pas de franges !

L'examen au microscope a montré la différence : au lieu d'être nets, les bords des fentes reproduites présentaient un dégradé continu sur une profondeur au moins égale à la largeur des fentes d'origine.

Pensant que c'était un défaut de mise au point inhérent au mode de reproduction, nous avons tenté de produire directement des diapositives en photographiant des fentes à l'échelle $\times 30$, pratiquées dans du Canson noir et placées devant un tube fluorescent à 1,65 m de l'appareil (soit 30 fois la distance focale de 55 mm). Le résultat a été aussi décevant.

Il fallait donc trouver un film à haute résolution et fort contraste (émulsion à grains fins et vitesse lente). Le seul connu répondant à la question est le KODALITH. Encore a-t-il fallu le commander en Angleterre sous forme d'un rouleau de 30 m sur 35 mm. De plus, comme il ne permet que des clichés négatifs, on a dû, dans les mêmes conditions géométriques que précédemment, photographier des bandes noires sur un écran blanc vivement éclairé par plusieurs projecteurs (environ 700 lux). Dispo-

sant d'une bonne réserve de pellicule, nous avons pu choisir la meilleure combinaison ouverture/temps de pose avant de tirer une série de clichés convenables.

6. OCULAIRE MICROMETRIQUE.

Les franges sont recueillies sur le micromètre au $1/100^e$ de cm d'un oculaire $\times 10$. Quel que soit le soin que l'on apporte au réglage, il est difficile d'obtenir que la frange centrale soit juste au milieu du champ. C'est pourquoi nous avons été amenés à modifier également le porte-lentille A.O.I.P. : nous avons séparé, à la scie, la partie cylindrique du pied et équipé les deux de glissières (sous forme de petits tubes de laiton emboîtés et montés sur des cales d'altuglas). Nous obtenons ainsi un réglage latéral avec un jeu de 1 cm à gauche ou à droite, ce qui est largement suffisant pour le rattrapage (fig. 6).

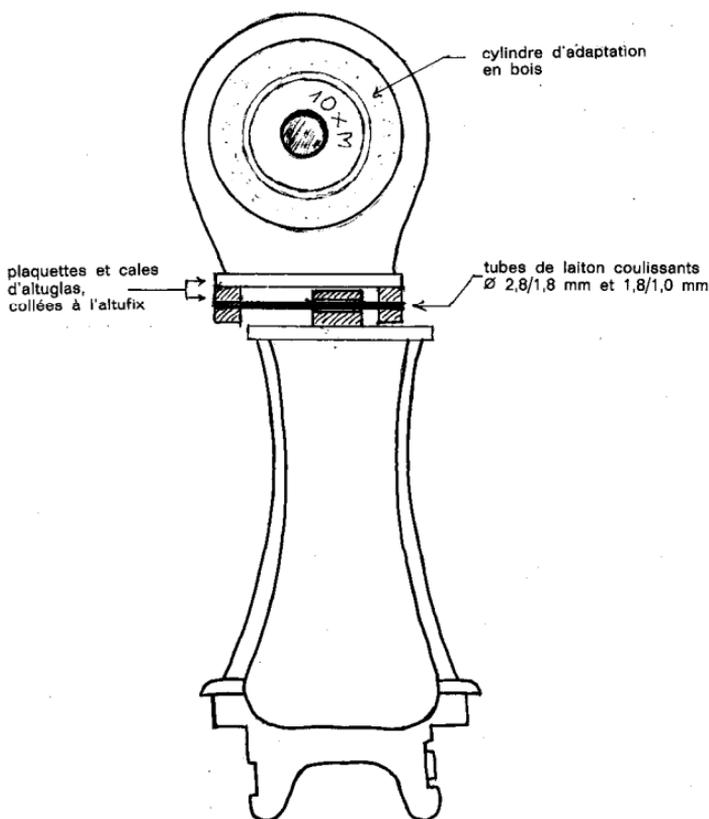


Fig. 6. — Porte-lentilles, accessoire du « banc de focométrie » A.O.I.P., modifié en porte-oculaire à réglage latéral.

MANIPULATION

1. Réglage préalable (voir fig. 1).

Il est essentiel d'assurer un alignement aussi rigoureux que possible des points déterminant la marche du faisceau jusqu'aux fentes de Young, puis de la zone d'interférences jusqu'à l'oculaire :

- S : milieu du filament vertical de la lampe à iode,
- C : centre du plateau où sont positionnés le réseau (traits verticaux) et la fente unique F_1 qui doit être également parfaitement verticale,
- O : zéro du cercle gradué porté par le plateau tournant,
- F_2 : milieu de l'interfente des fentes de Young dont il faut aussi soigner la verticalité,
- Oc : milieu de la graduation de l'oculaire, mise horizontale.

On estimera que le réglage est bon si les deux conditions suivantes sont satisfaites :

1) on obtient dans le champ du micromètre un système de franges « en lumière blanche » bien nettes et brillantes, et dont la frange centrale blanche est située au milieu de la graduation (on affine ce positionnement en jouant sur le déplacement latéral du porte-oculaire),

2) en faisant tourner le plateau dans un sens puis dans l'autre, on doit observer une même couleur des franges (même λ) pour une même graduation (pour des graduations symétriques) : les franges monochromatiques s'observent entre 13 et 22° environ.

N.B. — Si l'on veut se contenter d'observer en lumière blanche, puis d'interposer éventuellement un filtre coloré, on pourra passer sur la condition 2 : celle-ci n'est nécessaire que si on veut faire des calculs précis, notamment par la connaissance de λ par la loi et la formule des réseaux.

La distance de l'oculaire à F_2 (distance D de l'expression de l'interfrange) peut varier utilement de 5 à 25 centimètres. A 15 cm, on observe facilement 7 franges, soit en lumière blanche, soit en lumière monochromatique pour des variations proches du maximum de sensibilité de l'œil (de vert-bleu à orange), un peu moins pour les radiations extrêmes (violet et rouge) si l'on n'opère pas dans une salle parfaitement obscure.

2. Tableau des couleurs des franges en fonction de la position angulaire du plateau.

Lorsque l'on fait tourner le plateau, dans un sens ou dans l'autre, on voit d'abord disparaître les franges « blanches », puis apparaître les franges « monochromatiques », dont la couleur

passé, de manière continue, du violet au rouge quand l'angle α croît et que F_1 est balayée par le spectre d'ordre 1 émis par le réseau.

On a alors :

$$\lambda = c \cdot \sin \alpha = \frac{\sin \alpha}{N}$$

c étant le pas du réseau qui comporte : $N = 545$ traits par mm.

D'où le tableau α/λ , pour α variant par demi-degré et pour les longueurs d'onde comprises dans le domaine visible (entre 4 000 et 7 000 angströms ou 400 et 700 nanomètres), avec des exemples de radiations spectrales classiques (« raies »).

α	Couleur	λ (nm)	Raies classiques (nm) des lampes spectrales
13°	Violet extrême	412,8	He : 402,64, 412,08 Hg : 404,7, 407,8
13° 30'	Violet	428,3	Hg : 435,8
14°	Indigo	443,9	He : 438,79 447,15
14° 30'	Bleu indigo	459,4	
15°	Bleu	474,9	Cd : 467,815, 480,0 Zn : 472,2, 481,1
15° 30'	Vert bleu	490,3	
16°	Vert « chou »	505,8	He : 501,57 Cd : 508,582
16° 30'	Vert « jardin »	521,1	
17°	Vert moyen	536,5	
17° 30'	Vert clair	551,8	Hg : 546,074 <u>555</u> : <i>Maximum de sensibilité de l'œil</i>
18°	Jaune vert	567,0	Na : 568,8/568,9 (<i>doublet</i>) Hg : 577,0, 579,1
18° 30'	Jaune	582,2	He : 587,6
19°	Jaune orangé	597,4	Na : 589,0/589,6 (<i>doublet</i>) Kr86 : 605,7802106 (<i>étalon</i>)
19° 30'	Orangé	612,5	Na : 615,4/616,1 (<i>doublet</i>)
20°	Rouge clair	627,6	
20° 30'	Rouge	642,6	Zn : 636,2 Cd : 643,84677 (<i>étalon</i>)
21°	Rouge foncé	657,6	
21° 30'	Rouge sombre	672,5	He : 667,8
22°	Rouge extrême	687,4	

3. Mesures.

1) Observation des franges :

Dans de bonnes conditions d'obscurité (il suffit en fait d'opérer dans la pénombre), on peut observer jusqu'à 11 franges pour des radiations allant du vert foncé à l'orangé, dont 7 dans la zone centrale de diffraction, comme le permettent nos fentes de Young :

interfente : $a = 0,23$ mm,
 largeur des fentes : $b = 0,07$ mm.

Dans le cas le plus défavorable, violet ou rouge extrême, on observe au moins 3 franges.

Deux types de mesures sont possibles, basées chacune sur la variation continue d'un paramètre entrant dans l'expression de l'interfrange :

$$i = \frac{\lambda D}{a},$$

- pour une longueur d'onde donnée,
 variation de i avec la distance $F_2 \cdot O_c = D$,
 par déplacement longitudinal du chariot par rapport à l'oculaire ;
- pour une distance D donnée (entre 5 et 25 cm),
dilatation du système de franges accompagnant l'évolution de leur couleur du violet au rouge,
 par rotation du plateau, à partir de la position 0 correspondant aux franges « en lumière blanche ».

Cette deuxième partie présente l'aspect le plus spectaculaire et le plus instructif de la manipulation. C'est dans ce but que nous avons orienté nos efforts.

Le troisième paramètre, l'interfente a , ne peut être rendu variable. Mais rien n'empêche de tirer d'autres fentes par le même procédé.

2) Mesure de l'interfrange :

i est mesurée à l'oculaire, à l'aide du micromètre. L'opération serait rendue plus facile, — et plus précise —, si le déplacement latéral du porte-oculaire était assurée par une vis micrométrique.

Faute de cet accessoire, il sera nécessaire de repérer les franges (de préférence les franges sombres qui sont plus fines) par rapport aux graduations, en exécutant au préalable un croquis de l'ensemble observé.

Par exemple, en observant qu'à 11,5 cm ($D/a = 500$), il y a un peu plus de 3 interfranges comprises entre les graduations 41 et 50, dans le cas de franges rouges, on a trouvé, en mesurant sur le croquis, $i = 0,31$ mm.

On était à un angle de $20^{\circ}30'$, donc à $\lambda = 642,6$ nm. La valeur théorique de l'interfrange était donc de 0,321 mm.

Renseignements divers.

1) *La diapositive « fente-simple »*, servant de fente-source (F_2), fait partie des accessoires livrés avec le laser Jeulin (dans un coffret en plastique) ;

N.B. — Contrairement aux fentes de Young, il n'y a aucun inconvénient à la faire reproduire par un photographe.

2) *Kodalith-orthofilm-type 3*, a été commandé directement en Angleterre par Michaud-Photo, 42, avenue de Wagram (Paris 8^e). Difficile à obtenir de Kodak-France.

3) *Le film Kodalith* étant de faible sensibilité, 10/12 ASA, et de grain fin, il faut utiliser une grande ouverture et un temps de pose assez long. Nous avons tourné autour de $f/2,8$ et $1/4$ s ; on peut surexposer.
