

---

---

B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQU

---

---

## **Observation d'un spectre cannelé avec des interféromètres à division du front d'onde**

par Luc DETTWILLER  
Lycée Blaise Pascal – 36, avenue Carnot  
63037 Clermont-Ferrand Cedex

### **RÉSUMÉ**

*On propose une méthode d'observation des spectres cannelés de la lumière recueillie dans le champ d'interférences des interféromètres à division du front d'onde. Ceux-ci exigent un éclairage procuré par une fente source très fine, donc il est faible et très directif dans le champ d'interférences ; cela induit, pour l'observation du spectre, des contraintes auxquelles le protocole indiqué s'adapte, afin de permettre une observation à la fois confortable et assez lumineuse.*

### **INTRODUCTION**

L'observation d'un spectre cannelé avec un interféromètre à division d'amplitude, comme l'interféromètre de Michelson réglé en coin d'air, ne présente pas de difficultés : il suffit de former une image réelle des miroirs sur lesquels, au voisinage du contact optique, sont localisées les franges, et de placer sur cette image la fente d'entrée d'un spectroscopie. La largeur de celle-ci devra être petite devant l'interfrange, pour que la lumière analysée pour chaque élément de longueur de cette fente ait un spectre bien défini ; mais ce réglage n'est pas contraignant puisqu'on peut facilement obtenir des franges très espacées avec un interféromètre de Michelson. Enfin, la source de lumière blanche utilisée peut être assez large, et donc le faisceau qu'elle délivre au travers de la fente du spectroscopie peut facilement couvrir toute la lentille du collimateur du spectroscopie.

Il est encore plus facile d'analyser directement la lumière réfléchie par une lame de mica ; mais pour être rigoureux il faudrait placer la fente d'entrée du spectroscopie à l'infini (ou dans le plan focal image d'une lentille) et tenir compte de la biréfringence du mica...

---



---

**B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQU**


---



---

Avec un interféromètre à division du front d'onde, comme les miroirs de Fresnel ou les bilentilles de Billet, la situation est moins favorable : l'interfrange est moins grand, d'autant plus qu'on veut avoir du blanc d'ordre supérieur dans le champ d'interférences, donc la fente d'entrée du spectroscopie devra être fine ; l'interféromètre est lui-même déjà éclairé par une fente très fine, ce qui réduit terriblement la luminosité du montage.

Comme l'observation d'un spectre cannelé figure explicitement au programme des classes préparatoires de deuxième année PC et PSI, nous proposons un autre protocole qui permet d'y arriver sans lame de mica ni interféromètre de Michelson, afin que le professeur puisse illustrer s'il le désire cette notion importante sans être confronté aux difficultés conceptuelles liées à ces interféromètres. Cet autre montage fait appel à des dispositifs plus élémentaires, mais oblige à une réflexion instructive sur les questions de champ instrumental dans l'image d'objets transparents éclairés par un faisceau partiellement dirigé (*i.e.* d'objets partiellement cohérents).

### **PROTOCOLE OPÉRATOIRE**

Nous considérons ici l'exemple des miroirs de Fresnel ; le principe des opérations reste évidemment le même avec des fentes d'Young, des bilentilles de Billet, etc. On réalisera un spectroscopie soi-même (avec une fente, une lentille, un réseau), afin de mieux contrôler le cheminement de la lumière dans celui-ci ; le plus simple consiste à utiliser un réseau comme élément dispersif – mais on peut aussi prendre un prisme à vision directe, afin de ne pas disperser la lumière analysée dans plusieurs ordres. Comme la lumière utile doit passer au travers de deux fentes fines  $F_1$  et  $F_2$ , on ne cherchera pas à projeter une image réelle sur un écran (son observation ne serait pas assez lumineuse), mais on devra se contenter d'une image aérienne (et virtuelle) destinée à l'observation oculaire individuelle. De plus, il se peut que les cannelures soient assez larges (donc peu nettes), aussi on ne cherchera pas à étaler le spectre ; on l'observera assez peu dispersé, sans lunette de visée – pour cela un réseau d'environ 100 à 200 traits par millimètre convient bien. L'observation se fera directement à l'œil nu derrière le réseau (ou le prisme).

#### ***Conditions requises pour les franges d'interférences en lumière blanche***

Régler les miroirs de Fresnel de la façon usuelle (cela est un peu plus facile si on place les miroirs de Fresnel le plus près possible de la fente source – voir figure 1). Le champ d'interférences doit aller jusqu'à l'ordre dix, ou plus, afin de présenter du blanc d'ordre supérieur et donc un spectre ayant des cannelures suffisamment nombreuses.

---



---

 B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQU
 

---

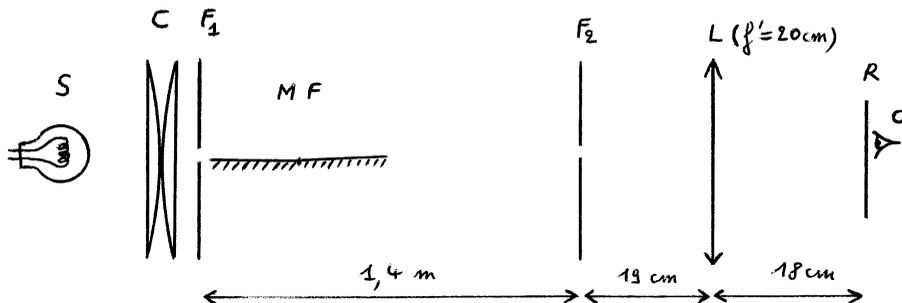


---

Par exemple nous avons observé, à  $D = 1,4$  m de la fente source, un champ d'interférences large de 1,7 cm avec des franges en lumière blanche d'«interfrange» voisin de 0,3 mm (d'après l'examen à l'oculaire micrométrique) ; la distance entre les deux images de la fente source  $F_1$ , formées par les miroirs de Fresnel, était volontairement assez grande (de l'ordre de  $a \approx 2$  mm, donc l'angle entre les miroirs est approximativement :

$$\alpha \approx \frac{a}{2d} \approx \frac{2 \text{ mm}}{2 \times 15 \text{ cm}} \approx 0,007 \text{ rad} \approx 0,4^\circ$$

$d \approx 15$  cm désignant la distance séparant  $F_1$  de l'arête des miroirs). Avec le modèle usuel des miroirs de Fresnel, la frange blanche d'ordre zéro est au centre du champ d'interférences (ce qui n'est pas forcément le cas avec les bilentilles de Billet).



**Figure 1** : Montage permettant l'observation d'un spectre cannelé avec les miroirs de Fresnel  
 S : source (lampe à halogènes) – C : condenseur –  $F_1$  : fente source – MF : miroirs de Fresnel –  $F_2$  : fente d'entrée du spectroscopie – L : lentille convergente – R : réseau – O : œil.

Les franges d'interférences doivent être irréprochables. On veillera donc particulièrement au réglage de la largeur de la fente source  $F_1$ , et à son parallélisme avec l'arête des miroirs de Fresnel, qui sont très critiques, d'autant plus que l'interfrange est petit ; la qualité optimale des franges sera contrôlée par l'observation à l'aide d'un oculaire. Dans notre exemple, la largeur de  $F_1$  était (d'après l'observation de sa figure de diffraction à l'infini) de l'ordre de  $10^{-2}$  mm, ce qui est normal (elle doit être petite devant  $\frac{\lambda}{2\alpha} \approx 0,04$  mm puisque  $d \ll D$ ).

On a donc intérêt à choisir comme source une lampe à incandescence puissante (nous avons utilisé une lampe à halogènes Leybold de 100 W sous 12 V).

---



---

B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQU

---



---

### ***Réglage de la fente d'entrée du spectroscopie***

La fente d'entrée  $F_2$  du spectroscopie, censée isoler la lumière donnée par des interférences de différence de marche bien définie, devrait avoir une largeur nettement plus petite que l'interfrange (qui valait 0,3 mm dans notre expérience). Contrairement à ce que l'on pourrait croire, l'expérience montre que ce réglage n'est pas critique (une fente de largeur relativement supérieure à 0,1 mm convient encore). On placera cette fente  $F_2$  dans le champ d'interférences, suffisamment près du bord pour avoir une différence de marche assez grande, et donc un nombre convenable de cannelures dans le spectre.

D'autre part, le réglage du parallélisme de  $F_2$  avec les franges n'est pas indispensable : s'il n'est pas réalisé, cela n'empêchera pas d'observer des cannelures, mais elles ne seront pas parallèles à  $F_2$ , car le spectre de la lumière qu'elle recueille n'est pas le même pour chacun de ses éléments de longueur.

### ***Réglage des positions de la lentille du spectroscopie et de l'œil***

La lentille convergente  $L$  du spectroscopie a pour premier but de former une image de la fente  $F_2$  du spectroscopie, sachant que le spectre se formera près du plan de front contenant cette image. On observera un spectre «aérien» ; on réglera donc la position de  $L$ , derrière  $F_2$ , de façon que l'image de  $F_2$  se trouve sensiblement au *punctum remotum* de l'œil de l'observateur (qui devra se trouver quasiment dans le plan focal image de  $L$ , comme nous le verrons ci-dessous). Dans notre expérience, nous avons choisi une lentille  $L$  de focale  $f' = 20$  cm, et nous l'avons placée 19 cm après  $F_2$  (voir figure 1).

Mais dans ce montage, la position de l'œil ne pourra être quelconque ! En effet, si on observe la fente  $F_2$  du spectroscopie éclairée par les miroirs de Fresnel (ou les bilentilles de Billet, etc.) en plaçant l'œil peu après elle, on constate qu'on n'en voit lumineuse qu'une faible partie, alors qu'elle est éclairée en entier... Cela vient du fait qu'elle est éclairée de façon très directive, par les faisceaux issus des deux images (très voisines) de la fente source  $F_1$  par les miroirs de Fresnel, situées à assez grande distance de  $F_2$  : la pupille de l'œil ne peut intercepter que la lumière traversant  $F_2$  sur une faible hauteur, et derrière un réseau l'observateur ne verrait donc qu'un spectre de faible hauteur (voir figure 1)... L'effet de la diffraction par  $F_2$  n'est certes pas négligeable, puisque sa largeur est de l'ordre de 0,1 mm, mais il n'empêche que l'essentiel de la lumière utile passe, après la lentille  $L$ , au voisinage des images géométriques (par  $L$ ) des deux images de  $F_1$  (par les miroirs de Fresnel) ; donc en plaçant son œil juste sur

---

---

**B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQU**

---

---

ces images là (assez rapprochées pour être interceptées toutes les deux en même temps par la pupille), l'observateur pourra voir toute la hauteur de  $F_2$  illuminée par la lumière issue de l'interféromètre. Ce fait constitue d'ailleurs le critère de bon réglage de la position de l'œil derrière L (position qui est proche du plan focal image de L) ; pour y parvenir sans difficulté, il est commode de placer d'abord son œil tout près de la lentille L, d'observer au travers de celle-ci la portion lumineuse de l'image de  $F_2$ , puis de reculer progressivement son œil en gardant cette portion lumineuse au centre du champ, et de s'arrêter lorsque cette portion lumineuse a envahi toute la hauteur de  $F_2$ .

**Observation**

Il ne reste qu'à placer le réseau R juste devant l'œil, tout contre lui, donc de façon qu'il se trouve quasiment aussi sur les images réelles de  $F_1$  formées par les miroirs de Fresnel puis L (cf. figure 1) ; on voit alors les divers ordres de diffraction formant les spectres cannelés, de part et d'autre de l'image d'ordre zéro, dans le plan du *punctum remotum*. Les traits du réseau seront mis à peu près parallèles à la fente  $F_2$  du spectroscopie. Plus  $F_2$  s'écarte de la frange d'ordre zéro pour aller dans le blanc d'ordre supérieur, plus les cannelures sont étroites, nombreuses et serrées, et plus  $F_2$  doit être fine pour permettre de les résoudre. On peut même constater que, si  $F_2$  semble se situer à l'extérieur du champ d'interférences mais assez près de lui, on observe encore un spectre avec des cannelures plus serrées : car la diffraction par les bords des miroirs de Fresnel (trahie par les franges de Fresnel bien visibles aux bords du champ d'interférences) envoie encore un peu de lumière en dehors du champ prévu par l'optique géométrique, et cette lumière donne aussi lieu à des interférences – puisqu'elle provient essentiellement de deux voies distinctes (la diffraction sur le bord d'un miroir et la réflexion spéculaire sur l'autre) et qu'elles sont partiellement cohérentes.

On note que la position de l'œil juste derrière le réseau est assez critique, surtout latéralement ; il sera donc bon de la repérer sur le réseau (par exemple en collant sur ce réseau un papier découpé d'une ouverture circulaire placée à l'endroit approprié).

Si, derrière le réseau R, l'œil n'était pas placé tout près de lui (par exemple si le réseau était placé entre la lentille du spectroscopie et les images de la fente source formées dans le plan de la pupille de l'œil), l'observateur ne pourrait intercepter toutes les lumières des différentes couleurs diffractées par R dans des directions différentes, et il ne pourrait voir en entier tout le spectre du rouge au violet : il n'en verrait qu'une bande spectrale, qui varie s'il se déplace latéralement dans le plan des images.

---

---

B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQU

---

---

## CONCLUSION

### *Inconvénients de l'utilisation d'un spectrogoniomètre*

Pour observer ce spectre sans avoir à réaliser soi-même un spectroscopie, on aurait pu être tenté d'utiliser directement un spectrogoniomètre, dont on aurait placé la fente  $F_2$  du collimateur dans le champ d'interférences.

Cette méthode n'est cependant pas si simple à mettre en œuvre. En effet, l'éclairage de  $F_2$  étant fortement directif (voir le rôle important joué par  $L$ ), il faut veiller à ce que l'étroit pinceau passant par  $F_2$  se propage sensiblement selon l'axe du collimateur.

Si on veut observer d'abord à l'œil nu le spectre au travers du réseau  $R$  (ou du prisme), pour une position donnée de l'œil placé assez loin derrière  $R$  on ne voit qu'une partie du spectre, variable avec la position de l'œil : car le prisme ou le réseau ne reçoit le pinceau que sur une très faible largeur, donc la pupille de l'œil n'intercepte qu'une faible partie des radiations dispersées par le réseau ou le prisme. Si l'œil est éloigné, ceci est tellement marqué que la portion du spectre perçue peut même ne pas contenir une cannelure entière ; en plus, dans ce cas, la diffraction par  $F_2$  peut parfois rajouter des franges sombres qui se mêlent aux cannelures et en perturbent l'observation...

Quand on observe avec la lunette du spectroscopie, ces problèmes disparaissent et on peut voir le spectre occuper entièrement le champ de celle-ci, à cause du diamètre plus important de sa pupille d'entrée et de sa proximité au prisme ou au réseau. Mais le grossissement procuré par la lunette rend l'observation du spectre (et la perception des cannelures sombres) très peu lumineuse, compte tenu du faible éclairage du champ d'interférences (comparé à l'éclairage de la fente dans la situation usuelle où on place une lampe spectrale tout contre elle).