

A propos de la dispersion de la lumière

par Roland JOUANISSON,
Université de Clermont II.

L'étude de la dispersion de la lumière fait partie du programme des classes de premières et cette étude ne peut qu'être réalisée expérimentalement. On a, avec un tel sujet, l'occasion de montrer de belles expériences, susceptibles d'intéresser vivement nos apprentis physiciens. Or, la pratique démontre que l'on éprouve souvent des difficultés à réaliser correctement des expériences aussi élémentaires que la projection d'un spectre pur ou la recombinaison d'une lumière blanche. Réaliser une bonne expérience d'optique ne relève pas, comme on pourrait le penser, du tour de main, mais tout simplement d'une bonne compréhension de certaines lois physiques que l'on a peut-être oubliées.

Je rappelle donc, dans cet article, un certain nombre de principes qu'il faut respecter si l'on veut avoir des chances de réussir. J'ajoute également quelques « recettes » personnelles susceptibles d'intéresser nos collègues.

I. DISPERSION PAR UN PRISME : DISPOSITIF EXPERIMENTAL.

Le principe est le suivant : on réalise sur un écran l'image F' d'une fente F convenablement éclairée par la lumière à analyser ; on dispose ensuite le prisme de manière à obtenir de l'objet virtuel F' des images F''_{λ} correspondant à chaque radiation monochromatique. On dit qu'on a alors un *spectre pur* (voir fig. 1).

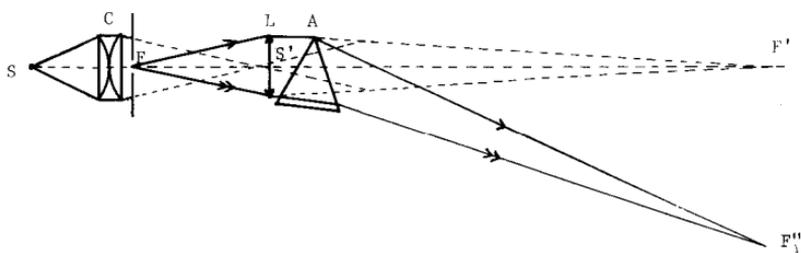


Fig. 1

La difficulté de cette expérience provient de deux causes essentielles :

- a) Un prisme ne donne pas de bonnes images dans n'importe quelles conditions.
- b) On a besoin en général d'images très lumineuses destinées à être vues de toute une classe.

D'où les recommandations qui suivent :

1. Il faut d'abord obtenir une bonne image F' de F . Pour cela, il faut placer F près du condenseur C (de la sorte F sera uniformément éclairée et on ne sera pas gêné par les aberrations chromatiques du condenseur); ensuite on déplace la source S de manière que le condenseur en donne une image S' au centre de la lentille L de projection (ainsi on réalise une des conditions de GAUSS et de plus on perd le minimum de lumière) (fig. 1). Si on utilise un prisme à vision directe qui risque de limiter le champ, on fera l'image S' à l'intérieur de ce prisme, celui-ci étant placé très près de L (afin de concilier le maximum d'exigences) (fig. 1 bis).

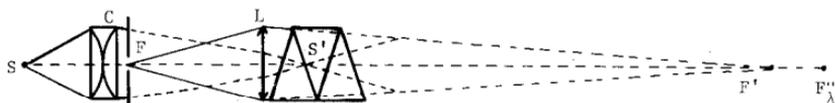


Fig. 1 bis.

N.B. — Il ne faut surtout pas former l'image de la source (arc, filament) sur la fente F comme on le trouve dans certains livres. Cette technique serait acceptable si la source était rectiligne, comme c'est le cas pour certaines lampes spectrales et dans certaines conditions expérimentales particulières.

La lentille L peut être avantageusement remplacée par un objectif corrigé des principales aberrations et notamment des aberrations chromatiques. Avec une lentille ordinaire, les images F''_{λ} définitives ne seront pas dans un même plan et on sera obligé de déplacer l'écran d'observation pour mettre au point successivement sur les différentes radiations (surtout si on observe des raies ultraviolettes).

2. Un prisme n'est stigmatique que pour des objets à l'infini. On a donc intérêt à faire tomber sur le prisme un faisceau peu convergent, c'est-à-dire à faire une image F' assez éloignée de L . Mais si l'on utilise le prisme au *minimum de déviation*, on a pratiquement toujours des images acceptables et ces images sont telles que $AF' = AF''$. De plus, au minimum de déviation les pertes de lumière par réflexion sur les faces du prisme sont minimales.

(Si on n'utilise pas le prisme au minimum de déviation, la fente étant parallèle à l'arête du prisme, on obtient encore une « pseudo-image » de cette fente, correspondant à la focale transverse, qui peut être, selon l'angle d'incidence, plus ou moins loin du prisme).

On notera de plus que le prisme donne une image courbe due au fait que tous les rayons ne sont pas dans un plan de section principale. Pour limiter les effets de cette courbure, on réduira éventuellement la hauteur de la fente.

3. Mise au point définitive.

La mise au point a été faite pour l'image F' . Quand on place le prisme l'image définitive vient en F'' . Comment mettre au point sur l'image définitive ? Si l'on a affaire à un spectre discontinu, le problème est simple : on déplace l'écran de manière à voir nettement les bords de la fente, cette mise au point étant différente selon la longueur d'onde, à cause des aberrations chromatiques de la lentille de projection, comme on l'a vu précédemment. Mais si on a affaire à un *spectre continu*, les images de la fente empiètent les unes sur les autres et la mise au point n'est pas évidente. Je signale une technique simple pour parvenir au but recherché : avec un prisme ordinaire, placé au *minimum de déviation* (condition impérative), on obtient une image convenable à la fois des bords aa' , bb' parallèles à l'arête

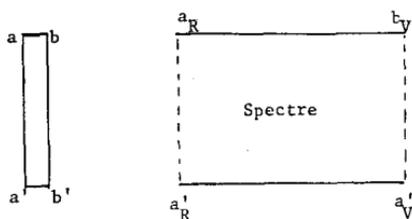


Fig. 2

et des bords ab , $a'b'$ perpendiculaires à cette arête. On observera donc pour faire la mise au point les images de ab et $a'b'$, soit $a_R b_V$ et $a'_R a'_V$ allant du rouge au violet. On verra facilement d'ailleurs que la mise au point ne peut pas être obtenue simultanément pour toutes les couleurs pour les raisons déjà signalées.

Avec un prisme à vision directe, on opère de la même façon ; le déplacement de l'image dans ce cas est due au fait que ce prisme a une grande épaisseur e ; le déplacement étant de

$$\frac{n-1}{n} e \text{ (fig. 1 bis).}$$

La mise au point sur un spectre continu est une opération indispensable si l'on veut montrer par la suite des couleurs complémentaires comme on va le voir plus loin.

II. RECOMPOSITION D'UNE LUMIERE BLANCHE.

Notons d'abord qu'il n'y a pas *une* lumière blanche mais *des* lumières blanches, correspondant à des compositions spectrales variables. Il est regrettable que les programmes ne soient pas plus explicites à ce sujet.

1. **Une expérience simple** permet de *voir* la relation qui existe entre une lumière « blanche » et sa composition spectrale. Réaliser un spectre de lumière blanche à l'aide d'une source à incandescence alimentée sous tension variable (alternostat). Placer le prisme de manière à ce qu'il n'intercepte qu'une partie de la lumière : on voit sur l'écran *simultanément* l'image F' blanche et le spectre correspondant (fig. 3).

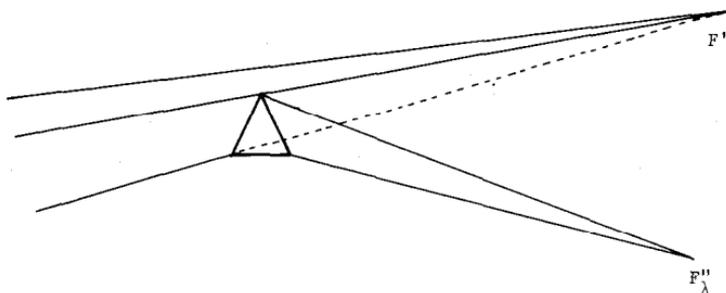


Fig. 3

2. Différentes techniques de recombinaison d'une lumière blanche.

Un moyen commode consiste à utiliser un miroir tournant (fig. 4). On placera le miroir de manière à obtenir l'image réelle du spectre sur l'écran d'observation.

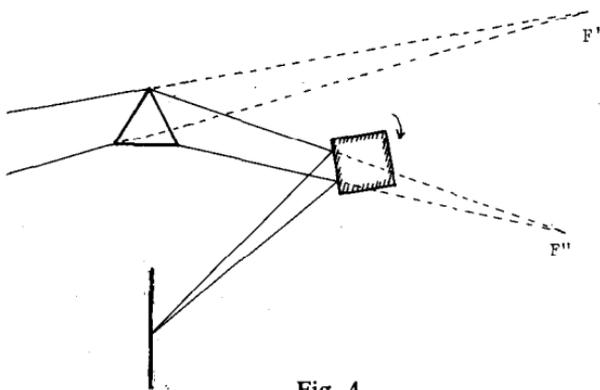


Fig. 4

L'expérience la plus intéressante consiste à faire l'image de la face d'entrée AB du prisme. Cette image peut être obtenue soit à l'aide d'un miroir concave soit à l'aide d'une lentille. On éclairera convenablement la face d'entrée du prisme en déplaçant la source de lumière de manière que son image ne soit pas, contrairement à ce qu'on a vu précédemment, sur ce prisme, sinon on aurait à nouveau l'image de la source sur l'écran d'observation. On a intérêt à découper une fenêtre rectangulaire qu'on disposera sur la face du prisme de manière à avoir un objet bien délimité. Si l'on fait l'expérience avec une lentille L' , il faudra veiller à ce que cette lentille ne diaphragme pas le faisceau (fig. 5). On pourra s'arranger, par exemple, pour que L' soit justement dans le plan du spectre F''_{λ} , mais ce n'est pas indispensable.

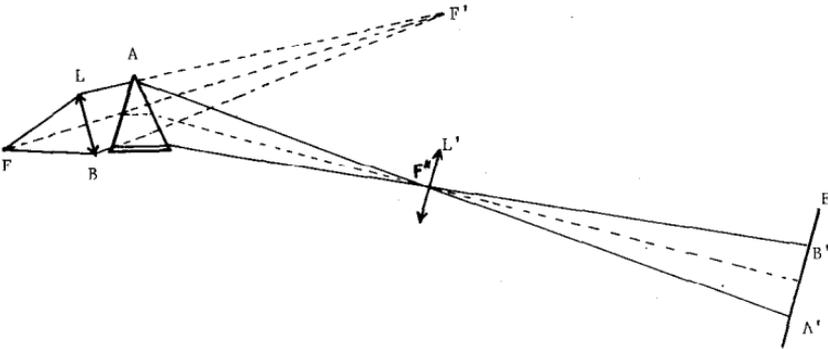


Fig. 5

Si l'on veut montrer les *couleurs complémentaires*, il faut intervenir impérativement dans le plan où se trouve le spectre, en interceptant une partie de ce spectre à l'aide d'une bande de papier à bords bien parallèles et parallèles à la fente source. Sur l'écran apparaît la teinte complémentaire. Si les conditions précédentes ne sont pas bien respectées, on obtient une teinte non uniforme.

Une expérience spectaculaire consiste à utiliser un prisme de petit angle (quelques degrés) qui, placé dans le plan du spectre, dévie une partie du faisceau. Sur l'écran, on observe trois bandes parallèles : deux bandes colorées complémentaires et, au milieu, dans la partie commune aux deux faisceaux, la somme des deux, c'est-à-dire ici du blanc. Un biprisme de FRESNEL convient très bien pour cette expérience. On peut obtenir trois bandes d'égale largeur qui donnent l'aspect d'un drapeau tricolore. On peut faire varier les couleurs en déplaçant le biprisme dans le spectre et même intercepter une partie du faisceau

avant le biprisme : on obtient alors sur l'écran trois couleurs, celle de milieu étant la somme des deux autres.

Un hasard m'a fait découvrir un autre artifice pour montrer simultanément, dans le même plan E, les deux teintes complémentaires : au lieu de prendre une bande de papier blanc pour intercepter une couleur, on peut prendre une baguette de verre plein de quelques millimètres de diamètre. Cette baguette se comporte comme une lentille cylindrique de très courte distance focale ; elle étale la couleur interceptée sur l'écran E en $\alpha\beta$ et l'image A'B' est privée presque totalement de cette couleur. On voit donc en A'B' pratiquement la couleur complémentaire de celle qui l'encadre (fig. 6). L'inconvénient est que les intensités respectives des faisceaux sont très différentes.

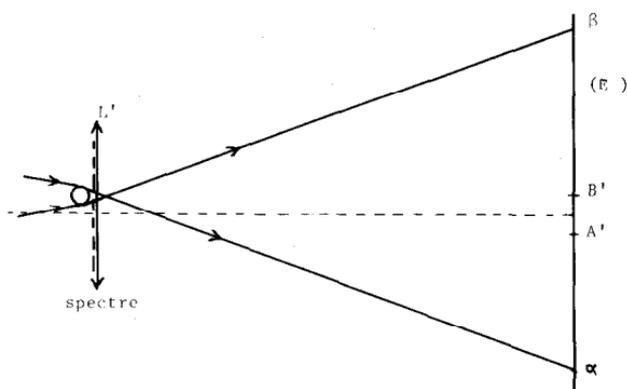


Fig. 6

III. ENERGIE TRANSPORTEE PAR LA LUMIERE.

Les différentes techniques qui permettent de mettre en évidence l'énergie rayonnante, et en particulier dans l'infrarouge, sont bien connues. Je rappelle seulement que si l'on veut faire une étude *quantitative*, il faut disposer d'un récepteur thermique (thermopile) et d'un spectre de réseau (déviations proportionnelles à λ pour les petits angles). A défaut de ces appareils, on peut utiliser un simple thermocouple relié à un galvanomètre suffisamment sensible (un thermocouple chromel-alumel délivre une f.é.m. de l'ordre de $40 \mu\text{V}$ par degré).

Avec une source incandescente ordinaire, le maximum d'énergie est rayonné dans l'infrarouge proche (aux environs de $1 \mu\text{m}$).

Je suggère une expérience simple qui permet de mesurer approximativement la fraction d'énergie rayonnée dans le spectre visible par rapport à l'énergie totale émise par la source.

On admettra que l'élévation de température ΔT du récepteur (par exemple la soudure « chaude » du thermocouple) est proportionnelle à la puissance reçue.

On forme l'image d'une fente éclairée par la source à étudier et on place le récepteur devant cette image. Le récepteur voit sa température s'élever par rapport à la température ambiante ; on arrive en quelques minutes à un régime permanent : la source délivre bien une puissance constante. On interpose ensuite deux polaroïds qui ont la propriété, lorsqu'ils sont croisés, d'arrêter complètement la lumière visible tout en étant transparents à l'infrarouge. En polaroïds parallèles, on note ΔT_1 et en polaroïds croisés ΔT_2 . La fraction d'énergie contenue dans le spectre visible est de l'ordre de :

$$q = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\Delta T_1}.$$

On trouve environ 20 % pour la source citée. En réalité, tout l'infrarouge de longueur d'onde supérieure à $3,5 \mu\text{m}$ est éliminé par l'optique de verre (1).

On peut faire l'expérience complémentaire suivante avec une cuve à eau contenant une solution de sulfate de cuivre (2). On place une cuve vide dans le faisceau et on mesure $\Delta T'_1$; on verse ensuite la solution cuivrique, on note $\Delta T'_2$; on en déduit :

$$q = \frac{\Delta T'_2}{\Delta T'_1}.$$

On trouve une valeur du même ordre que précédemment. On notera qu'une cuve à eau pure n'arrête pas complètement le rayonnement infrarouge comme on pourra le vérifier facilement à l'aide de la technique précédente.

Des expériences *qualitatives* très simples peuvent être réalisées avec une photopile munie d'une fenêtre rectangulaire qu'on peut déplacer dans le spectre pour rechercher le maximum d'énergie. Il suffit de mesurer la tension aux bornes de la photopile (avec un voltmètre numérique par exemple). Les photopiles au silicium présentent un maximum de sensibilité vers $0,9 \mu\text{m}$, ce qui rend l'expérience très (trop ?) démonstrative quand on analyse une source thermique donnant justement son maximum d'énergie pour une valeur voisine de cette longueur d'onde.

(1) L'énergie rayonnée dans l'ultraviolet est négligeable.

(2) Par exemple, une solution contenant 3 g/litre.