

Diffraction de la lumière

Initiation

Tout le monde connaît les deux phénomènes de l'Optique élémentaire : la réflexion spéculaire (de speculum = miroir) et la réfraction à travers les surfaces polies des corps transparents : réfraction toujours accompagnée d'une réflexion partielle qui devient totale sous certains angles quand la lumière vient du milieu le plus réfringent. Ces phénomènes se décrivent, se dessinent, se calculent sur l'hypothèse simple de la propagation de la lumière par rayons lumineux représentant les trajectoires de petits projectiles qui pour les uns venaient du feu et pour les autres de l'oeil lui même et faisaient l'aller et retour comme pour le radar.

Avec la diffraction nous entrons dans un domaine de phénomènes plus variés et beaucoup plus complexes ; devenus plus variés et plus complexes à mesure que l'on s'enfonçait vers les très petites longueurs d'ondes, que l'on connaissait mieux les atomes, leurs niveaux énergétiques, l'émission et le transport de la lumière par quantas. Nous remettrons à la fin de notre étude la définition générale de la diffraction et avancerons avec l'expérience sur le chemin suivi par les opticiens depuis 3 siècles et dont nous apercevons à peine le bout.

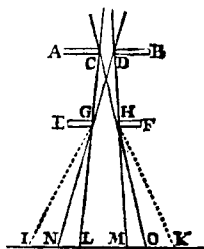
La première définition est due au Père Grimaldi jésuite de Bologne.

Il en décrit même deux essentielles :

1° - La première est la diffraction par un obstacle opaque, dont le bord vu obliquement, paraît lumineux. Nous la retrouverons plus loin. Mais disons tout de suite qu'il vit des franges de diffraction dans la lumière, au bord des ombres.

2° - La seconde est la diffraction par une ouverture dans une plaque opaque. Le P. Grimaldi cherchait à isoler un rayon lumineux. Un premier trou CD percé dans une feuille opaque AB était vivement éclairé de partout sur une face. De l'autre côté on plaçait un deuxième trou GH percé dans la feuille opaque EF. Dans le plan inférieur de l'image on distingue une zone centrale LM de plein éclaircissement, puis une zone marginale LN, MO de pénombre qui ne devait pas dépasser le domaine NO si la lumière se propageait bien par rayons rectilignes. En fait, en I et K on observe de la lumière et si l'on place l'oeil en I ou K on voit qu'elle provient des bords G, H du second trou.

us ab, per cuius foraminu arcummmum
CD Scilicet lumen admodum formabit se in
conum: hinc videri magna distantia post



laminam AB ad rectos angulos fecerunt ab
alia lamella EF, habente pariter foramen
parium GH, per quod excipitur aliquid

Fig. 1 - Deuxième expérience de Grimaldi
(De lumine p. 9), Extrait de l'ouvrage
Histoire de la Lumière - (V. Ronchi STEVEN
13 rue du Four - Paris).

Dans les deux expériences les rayons qui dépassent le contour des obstacles sont brisés, "fracturés" et, dès son début, la "diffrazione" du P. Grimaldi est définie comme une action de l'obstacle sur la lumière. Newton essaya de l'expliquer par son attraction universelle, mais il était visible que la lumière n'en subissait pas l'effet. Il fallut attendre 150 ans pour reprendre le problème.

La méthode des Stries. - Tels quels, sans explication théorique, les faits constatés par le P. Grimaldi permettent de comprendre et de mettre au point la fameuse méthode des stries qui est une expérience simple, facile à comprendre, instructive, brillante qu'ont faite à leurs élèves tous les grands professeurs d'optique ; Lippmann, Fabry, Buisson, Cabannes. Il y a deux montages possibles que je donne tels que je les ai pratiqués moi-même :

1°. - Montage simple à petit champ. - Il est représenté Fig. 2. S. est la source de lumière, une lampe de projecteur 6 ou 12 volts. F est la feuille de papier noir dur ou mieux de métal, très plane, percée d'une fente

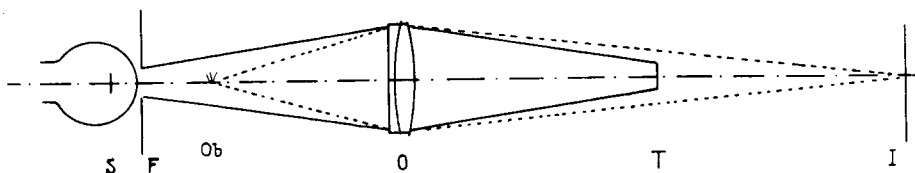
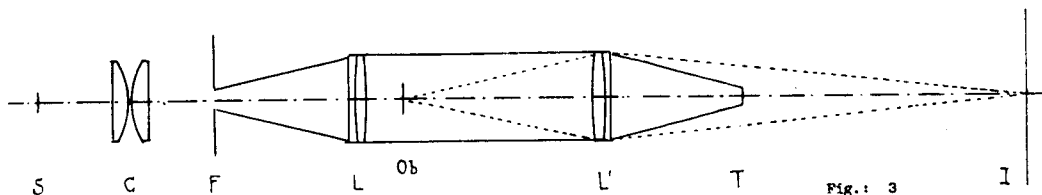


Fig. 2 - Montage simple à petit champ.

taillée avec beaucoup de soins, ayant juste la dimension nécessaire pour éclairer uniformément l'objectif, ou la lentille, O. O. est une lentille d'une focale de 15 à 20 cms, de préférence achromatique : les objectifs anciens de jumelles de Galilée vont très bien. On place F pour avoir en T une image de la fente de dimensions à peu près égales. On place alors en T une tige cylindrique : crayon, fer étiré, qui occulte cette image. On joue des positions de F, O et T pour que cette occultation soit aussi exacte et complète que possible : un écran en I ne doit plus recevoir aucune lumière. La tige T doit être escamotable : on peut la planter dans un gros bouchon, ou mieux, la poser horizontale, sur deux vés. On place alors, tige enlevée, un objet à peu près plan en arrière du foyer de O pour que son image se projette en I sur un écran : une étoile métallique, un morceau de gaze, un pinceau déplumé, une plume lâche de poulet, le tranchant d'une lame de rasoir. L'image est noire sur fond blanc quand la lumière régulièrement réfractée passe. Si l'on replace T elle ne passe plus et l'on a l'image donnée par la lumière diffractée seule, celle des contours, blanche sur fond noir. On peut prendre pour objet un morceau de vitre. On en verra alors les défauts, les rayures, les empreintes digitales, le dernier coup de torchon.

2 - Montage à grand champ. - C'est celui des essais professionnels (Fig. 3).



La source est une grosse lampe de projection à filament carré de 500 ou 1000 watts. On en projette une image sur le diaphragme F percé d'un trou généralement rond. L'objectif O du montage simple est remplacé par deux lentilles ou objectifs corrigés entre lesquels le faisceau est parallèle. La tige T, est remplacée par un disque noir. Le reste est identique à ce qui précède. Si l'objectif de projection O a une grande ouverture numérique, la lumière diffractée est abondante, l'image projetée grande et claire. J'ai longtemps utilisé un objectif de projection Leitz ouvert à $f/4$ de 8 cm d'ouverture.

Le nom de Méthode des stries est dû à un objet particulier : on place en Ob une cuve à faces parallèles remplie d'eau pure à la surface de laquelle on place un nouet de gaze avec un petit morceau de sucre. Le sucre fond et le sirop, très dense s'écoule en stries fortement colorées par la réfraction entre filets de sirop et l'eau pure. Il faut se rappeler que la projection renverse les objets. On peut montrer de même des stries d'air chaud au-dessus d'un fil chauffé par un courant. L'expérience est brillante et c'est toujours par elle que j'ai commencé mes cours d'optique pendant 40 ans.

Diffraction, réfraction, diffusion. - Dans les deux montages optiques précédents, on peut remplacer l'ensemble objectif de projection-écran, par une lunette, un microscope et une loupe qui permettent de regarder de près l'objet et ce qui se passe derrière lui. Ceci nous amène jusqu'à Fresnel et au début du XIXe siècle. Pour épurer les phénomènes on est vite amené à prendre comme lumière incidente, soit un faisceau parallèle donné par un collimateur (Cassini XVIIe S.) ou conique, issu d'une source ponctuelle. La diffraction apparaît alors due au contour apparent des obstacles placés sur le trajet du faisceau.

Fresnel observa ainsi que " les résultats sont indépendants " de l'épaisseur, de la forme, de l'état et de la nature des écrans. Ce bord peut être " arrondi, tranchant, poli, dépoli, recouvert de noir de fumée, formé de verre ou de métal ". De la lumière diffractée pénètre dans l'ombre géométrique et les franges observées par le P. Grimaldi, sillonnent le faisceau lumineux derrière l'obstacle. On a observé les franges produites par des tranchants de rasoir, par la lune sur la lumière des étoiles (Arnulf), par les objets quelconques, une main (Arcadiew), par des fils incandescents, par le bord très net d'une feuille transparente mince (lame demi-onde Kastler).

Quelles sont les parts respectives de la diffraction et de la transmission par réfraction dans ce que l'on appelle la diffusion de la lumière par un brouillard, un verre dépoli, une poussière cristalline ?

C'est d'abord une question de dimension relative des facettes possédant le poli spéculaire ou de diamètre des gouttelettes et de la longueur d'onde de la lumière. Pour la partie visible, la longueur d'onde moyenne est de 0,55 microns. Une fente de 2 microns diffuse la lumière dans toutes les directions; une gouttelette transparente aussi et il est impossible de distinguer dans les franges qui suivent un faisceau géométrique. On ne peut plus isoler des éléments trop petits quand ils font partie d'un ensemble. Les lois de dispersion sont statistiques : on parle alors de diffusion : lumière diffusée par un verre dépoli, par un brouillard, par un vernis chargé de pellicules d'aluminium ou d'or, par un bloc de magnésie calcinée, par un tas de cristaux microscopiques, par les grains d'argent d'un cliché photographique; diffusion moléculaire de Loris Rayleigh d'où nous vient le bleu du ciel. Mais un rien change le langage.

Les réseaux de diffraction sont des traits tracés au diamant sur du verre nu ou recouvert d'une couche épaisse d'aluminium. Les traits tracés sur le verre sont des alignements de fractures analogues à celles des verres dépolis : leur périodicité en fait des réseaux de diffraction. Les traits dans l'aluminium tracés parfois à la cadence de 1000 au mm sont des facettes polies qui sont des miroirs étroits plans et parfaits au 1/100 de longueur d'onde. Ce sont aussi des réseaux de diffraction mais leur théorie invoque la réflexion spéculaire sur les longues facettes périodiques. Quand les brouillards de gouttelettes d'eau ou de fumées industrielles et de poussières volcaniques sont formés de particules de grosseurs égales, on observe des halos de diffraction autour du soleil ou de la lune.

Il y a, dans les appellations scientifiques, des questions d'époque. Du temps de Lord Rayleigh (1880-1910) la diffraction était ce que j'appellerai par la suite la diffraction instrumentale. Aussi a-t-il parlé de diffusion dans le cas du bleu du ciel.

Ces discussions de mots sont tout à fait oiseuses. Les sciences sont inséparables de leur histoire car leurs vérités évoluent et changent de vêtement et même de visage.

© Les Prismes (1965)
av. Maréchal Leclerc
Montpellier