

Dans ce cas, on pourrait opérer autrement : l'observateur, se rapprochant de l'œil examiné, cherche la position qu'il doit occuper pour que le déplacement du miroir amène l'obscurissement simultané de toutes les parties de la pupille; d'après ce que nous avons dit, l'œil de l'observateur est alors au p. remotum de l'œil examiné : il suffit donc de mesurer la distance des deux yeux. Cette méthode est d'une application au moins difficile pour les myopies supérieures à 5 dioptries, parce que l'observateur doit trop se rapprocher de l'œil examiné.

Enfin, ajoutons pour terminer que la même méthode peut être appliquée à la détermination de l'astigmatisme. On comprend, en effet, que, en faisant tourner le miroir successivement autour de divers axes, on puisse étudier la réfraction de l'œil dans les différents méridiens; il est donc possible de déterminer la direction des méridiens principaux et la puissance de l'œil dans chacun d'eux. On a ainsi tous les éléments nécessaires pour corriger l'astigmatisme.

## CHAPITRE V

### NOTIONS D'OPTIQUE PHYSIQUE

658. **Notions d'optique physique.** — Dans les chapitres précédents nous avons fait usage successivement de deux hypothèses différentes pour expliquer les phénomènes observés : l'hypothèse de l'émission (343) pour l'optique géométrique, l'hypothèse des ondulations (447) pour l'étude des radiations. Dès le début, nous avons indiqué que l'hypothèse de l'émission, quoique permettant d'exposer plus simplement les premiers phénomènes de l'optique géométrique, ne pouvait être acceptée, parce qu'elle est incompatible avec un certain nombre de faits dont l'hypothèse des ondulations rend compte, au contraire, d'une façon complète. Quelques-uns de ces faits donnent lieu à des applications utiles et méritent, à ce titre, d'être signalés; de plus, leur exposé rapide justifiera le rejet de l'hypothèse de l'émission et l'adoption de l'hypothèse des ondulations qui, développée par Huygens dont on lui donne quelquefois le nom, a été complétée par les recherches de Fresnel et des physiiciens modernes et répond à tous les besoins de la science actuelle.

Ainsi que nous l'avons dit, cette hypothèse ne s'applique pas seulement aux phénomènes lumineux, mais à tous ceux que nous avons rattachés aux radiations, et si, dans ce chapitre, nous signalons particulièrement les effets lumineux, c'est parce qu'ils sont plus faciles à étudier, étant directement observables; mais il importe de savoir que des effets

analogues peuvent être mis en évidence pour les phénomènes qui se rapportent aux actions calorifiques ou aux actions chimiques.

Nous attribuons l'origine des phénomènes lumineux au mouvement vibratoire des molécules de l'éther, mouvement vibratoire qui, communiqué en un point de l'espace, se propage dans toutes les directions soit dans le vide, soit dans la matière. Bien que cette hypothèse s'accorde bien comme nous l'avons vu d'une manière générale avec les faits mis en évidence par l'étude des radiations, nous n'avons pas encore signalé d'une manière précise des effets impliquant d'une manière presque nécessaire l'existence de mouvements vibratoires; les phénomènes d'interférence et de diffraction que nous allons indiquer conduisent naturellement, au contraire, à la nécessité de cette hypothèse. L'étude de la polarisation précisera certaines conditions de ce mouvement vibratoire, et l'exposé des phénomènes de polarisation rotatoire mettra en évidence l'influence de la matière et de sa constitution sur les vibrations de l'éther.

C'est l'ensemble des principaux faits se rapportant à ces trois ordres de questions que nous réunissons sous le titre d'*Optique physique*.

659. — Mais, avant d'aborder l'examen de ces questions, il est utile de donner quelques indications générales dont nous aurons à faire usage.

Quelle que soit la nature attribuée à la cause des phénomènes lumineux, on ne saurait admettre que son action se transmette *instantanément* à distance : elle se propage très rapidement, mais il faut un temps fini pour passer d'un point à un autre.

Le fait a été mis en évidence, d'abord par des observations astronomiques : l'étude des éclipses des satellites de Jupiter par Rømer (1676), celle de l'aberration des étoiles par Bradley (1728). Plus récemment les recherches de Foucault, de Fizeau (1850) et de M. Cornu (1873) ont confirmé les premiers résultats obtenus et ont permis même de déterminer la vitesse avec laquelle se propage dans l'éther la cause des phénomènes lumineux. Sans entrer dans l'indication des méthodes employées, nous nous bornerons à dire que cette vitesse est d'environ 300 000 kilomètres par seconde.

Disons, également sans insister, que Foucault a pu expérimentalement déterminer la vitesse de propagation dans l'eau, qu'il a trouvée différente. Le résultat qu'il a obtenu est fort important, car il est conforme à ce qu'on pouvait déduire de l'hypothèse des ondulations : si  $u$  est la vitesse de propagation dans une substance,  $u_a$  la vitesse de propagation dans le vide, le rapport  $\frac{u_a}{u}$  est égal à l'indice de réfraction de la substance par rapport au vide.

660. — Considérons un centre A de vibrations dans l'éther et cherchons à nous rendre compte de la manière dont ces vibrations vont se



propager dans l'espace : nous examinerons d'abord seulement les effets produits sur une ligne droite partant de A.

La transmission du mouvement vibratoire n'étant pas instantanée, pendant le temps que la molécule A partant de sa position d'équilibre y revient après avoir effectué une oscillation complète, l'action s'est propagée à une certaine distance; au delà de cette distance, rien encore ne se manifeste, en deçà, toutes les molécules sont entrées en vibration et sont à des périodes, à des phases de leur vibration d'autant plus éloignées de l'origine qu'elles sont plus rapprochées de A; la molécule B, la plus distante de A qui ait reçu l'action, commence seulement le mouvement à l'instant où A revenant à sa position d'équilibre entame une 2<sup>e</sup> oscillation. La distance AB à laquelle l'action s'est transmise pendant la durée de 1 oscillation de A est ce qu'on appelle la *longueur d'onde*, que nous désignerons par  $\lambda$ ; on dit aussi *longueur d'ondulation*.

Toutes les molécules comprises entre A et B oscillent dans le même temps que A, à partir de l'instant considéré, mais le retard initial persiste; elles ne sont pas toutes à la même phase de leur oscillation. Seule la molécule B, qui a commencé sa 1<sup>re</sup> oscillation quand A commençait la 2<sup>me</sup>, se trouve toujours à la même phase que celle-ci. On comprend aisément que la molécule située entre A et B, à moitié distance, doit se trouver précisément dans la phase opposée, étant à une extrémité de sa course quand A est à l'autre extrémité de l'autre côté.

Mais l'action ne s'arrête pas à la molécule B et continue à se propager; la propagation se fait de la même façon, de telle sorte que lorsque A ayant effectué  $n$  oscillations complètes repasse à sa position d'équilibre, le mouvement s'est étendu jusqu'à une molécule située à une distance égale à  $n$  fois la longueur d'onde à  $n\lambda$ , par conséquent.

A cet instant les diverses molécules situées à des distances  $\lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$  repassent, comme A, à leur position d'équilibre ainsi que le fait B, et toutes ces molécules continuent à osciller exactement comme A, étant à chaque instant à la même phase de leur oscillation que cette molécule.

De même aussi, toutes les molécules qui sont à moitié distance entre les molécules dont nous venons de parler sont à chaque instant dans la phase de leur vibration exactement opposée à celle de A; ces molécules sont à des distances de A égales à  $\frac{\lambda}{2}, 3\frac{\lambda}{2}, 5\frac{\lambda}{2}, \dots$

On peut aisément généraliser les résultats que nous venons d'indiquer, et dire :

Deux molécules qui sont séparées par un nombre exact de longueurs d'onde (ou ce qui revient au même, par un nombre pair de demi-longueurs d'onde) sont dans la même phase de leur vibration.

Deux molécules qui sont séparées par un nombre impair de demi-longueurs d'onde sont dans des phases opposées de leur vibration.

En réalité, le mouvement vibratoire ne se propage pas dans une seule direction, mais l'effet est le même dans toutes les directions à partir de A. L'ensemble des points où, à un instant donné, s'est communiqué le mouvement, constitue ce qu'on appelle une *surface d'onde*.

Dans les substances isotropes (28) l'effet est le même dans toutes les directions : dans le même temps, le mouvement vibratoire s'est propagé à la même distance, les surfaces d'onde sont donc des sphères.

Il n'en est pas ainsi pour les substances anisotropes dont les propriétés sont variables, à partir d'un point, suivant la direction considérée.

Il importe de signaler l'analogie qui existe entre les indications que nous venons de donner et les faits que nous avons étudiés en parlant des ondes liquides.

661. — Il existe des relations importantes entre la vitesse de propagation  $u$ , la longueur d'onde  $\lambda$ , le nombre  $n$  de vibrations effectuées en une seconde et la durée  $\theta$  d'une vibration.

Pendant la durée  $\theta$  d'une vibration le mouvement s'est propagé à une distance mesurée par la longueur d'onde (d'après la définition même de cette quantité); le mouvement de propagation était uniforme, la vitesse  $u$  est donnée par la relation (XXIV) :

$$\frac{\lambda}{\theta} = u \quad \text{ou} \quad \lambda = u\theta.$$

D'autre part, il existe, entre la durée  $\theta$  d'une vibration et le nombre  $n$  en une seconde, la relation évidente :

$$n\theta = 1.$$

En multipliant cette équation par la précédente, il vient après réduction :

$$n\lambda = u.$$

Il résulte de là que lorsqu'on connaît deux des quatre quantités  $u, \lambda, n$  et  $\theta$  ces équations permettent de déterminer les deux autres.

Ces relations ne sont pas particulières aux vibrations de l'éther; elles sont applicables évidemment à tout mouvement vibratoire se propageant uniformément; nous les retrouverons en acoustique.

#### ART. I. — INTERFÉRENCES. — DIFFRACTION

662. **Des interférences.** — Nous avons dit, en parlant de la photométrie (458), que lorsqu'on soumet une surface déjà éclairée à l'action d'une autre source lumineuse, l'éclairement augmente. Cette indication est d'accord avec ce que montre l'observation journalière pour les sources lumineuses que l'on emploie dans la pratique. Mais on peut arriver à des résultats très différents quand on prend, dans des conditions convenables,



des sources lumineuses de très petites dimensions et sensiblement assimilables à des points lumineux.

Nous allons indiquer deux expériences qui mettent en évidence des résultats très intéressants.

Soit un point lumineux  $L$  (fig. 332) placé dans le voisinage de deux miroirs  $ab$  et  $ac$  faisant entre eux un angle  $bac$  très voisin de  $180^\circ$ ; la lumière partant de  $L$  sous forme de faisceau divergent se réfléchit sur chacun d'eux et donne après réflexion deux faisceaux également divergents (363) ayant

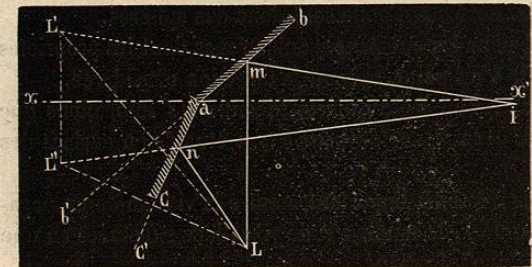


Fig. 332.

pour sommets les points  $L'$  et  $L''$ , images de  $L$  sur ces miroirs. Ainsi qu'on le reconnaît aisément, ces deux faisceaux ont une partie commune qui se trouve dans les mêmes conditions que si elle recevait de la lumière à la fois de  $L'$  et de  $L''$ . En masquant successivement à l'aide d'un écran opaque chacun des miroirs, cet espace est éclairé par le faisceau ayant pour sommet l'image de  $L$  sur l'autre miroir. L'expérience montre que, comme on pouvait s'y attendre, les deux éclairagements ont la même valeur.

Il serait naturel de penser que quand la réflexion se fait sur les deux miroirs à la fois, l'éclairage sera augmenté en tous les points de la partie commune.

En réalité, il n'en est rien, et si, pour simplifier, on a employé de la lumière monochromatique, on observe, sur un écran, placé de manière à couper les faisceaux réfléchis, une série de bandes alternativement lumineuses et obscures. Une bande très lumineuse se trouve sur la droite  $xx'$  menée perpendiculairement au milieu de la droite qui joint les deux images  $L'$  et  $L''$  de la source  $L$ ; de part et d'autre, les bandes sont placées symétriquement d'autant moins nettes qu'on s'éloigne davantage de  $xx'$ , si bien qu'à une certaine distance ces bandes cessent d'être visibles et que l'écran paraît uniformément éclairé. Ajoutons enfin que si on déplace l'écran, la largeur des bandes varie, la distance de deux bandes consécutives étant d'autant plus grande que l'écran est plus éloigné des miroirs et, par suite, des points  $L'$  et  $L''$ .

On peut arriver au même résultat à l'aide d'une autre disposition :

Devant le point  $L$  on place un prisme isocèle en verre  $acb$  (fig. 333) dont l'angle  $c$  est très grand; la lumière qui, partant de  $L$ , tombe sur ce prisme

peut être considérée comme constituant deux faisceaux, l'un qui rencontre la face  $ac$ , l'autre qui rencontre la face  $bc$ . Chacun d'eux est réfracté à travers un prisme dont l'angle réfringent est  $a$  pour le premier et  $b$  pour le second. Ainsi le prisme agit en réalité comme le feraient deux prismes accolés suivant une face dirigée suivant  $LH$ , d'où le nom de *biprisme* donné à cet appareil.

Le faisceau qui rencontre la face  $ac$  est dévié et à l'émergence il est divergent; à cause de la faible valeur de l'angle, il peut être considéré comme constituant un faisceau homocentrique dont le sommet serait  $L'$  dévié du côté du sommet du prisme. L'action sera la même sur l'autre face, et le faisceau qui a rencontré la face  $bc$  a, à l'émergence, la même forme que s'il partait du point  $L''$ .

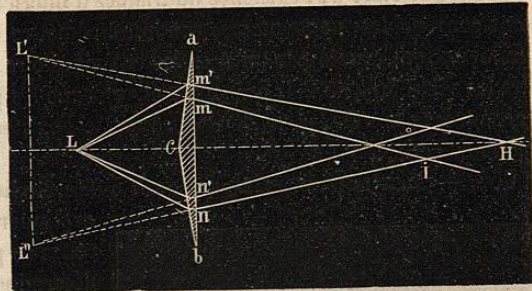


Fig. 333.

Les deux faisceaux émergents de sommets  $L'$  et  $L''$  ont une partie commune qui est éclairée par chacun d'eux; on le reconnaît expérimentalement en masquant successivement chacune des faces  $ac$  et  $bc$  de manière à ne laisser agir qu'un faisceau. Si on laisse se produire l'action simultanée des deux faisceaux, au lieu de trouver en tous les points de la partie commune une augmentation d'éclairage, on observe des franges présentant exactement la disposition que nous avons indiquée dans l'expérience précédente.

663. — Ces expériences dues à Fresnel conduisent à ce résultat que, en faisant agir simultanément en un point, dans des conditions convenables, deux causes dont chacune, prise isolément, produit des effets lumineux, on peut arriver à la suppression de tout effet de ce genre.

C'est ce que l'on exprime encore d'une manière abrégée, mais incorrecte dans la forme, en disant que, dans des conditions convenables, de la lumière ajoutée à de la lumière peut produire de l'obscurité.

Cette annulation de l'effet dû à une certaine cause par l'action d'une autre cause de même nature constitue ce que l'on appelle l'*interférence*. Les bandes lumineuses et obscures que nous avons décrites ont reçu le nom de *franges d'interférence*.

Nous pouvons rapprocher ce genre de phénomènes de celui que nous avons désigné sous le nom d'interférence des ondes liquides (LXXIV); l'analogie conduit à admettre une cause de même nature, c'est-à-dire con-



duit à penser que ces phénomènes d'interférences sont possibles parce que la cause des actions considérées est vibratoire, oscillatoire. On conçoit d'ailleurs aisément, d'une manière générale, que deux actions correspondant à des mouvements vibratoires puissent s'entre-détruire si les vibrations sont dans des phases opposées et ont la même vitesse : il est au contraire difficile de comprendre une cause d'une autre nature telle que, ajoutée à elle-même, elle puisse s'annuler.

Ainsi, par suite de l'existence de franges d'interférence dans des conditions convenables, nous sommes conduit à admettre que les phénomènes lumineux sont causés par un mouvement vibratoire. Comme ce ne peut être les vibrations de l'air qui agissent, puisque les phénomènes se produisent dans le vide, nous devons admettre l'existence d'une substance spéciale, l'éther.

664. — Mais le phénomène demande à être étudié de plus près, pour expliquer pourquoi l'interférence se produit en des points déterminés et non en tous les points.

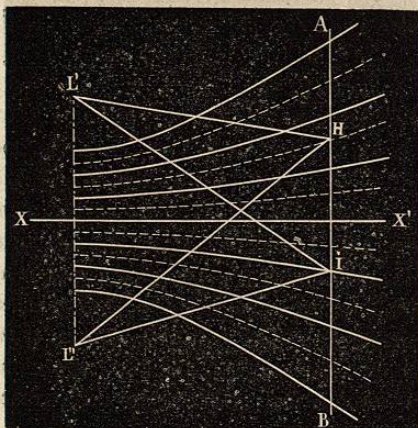


Fig. 334.

Remarquons que tout se passe comme si la lumière partait des points L' et L'' (fig. 334); ces points doivent être supposés vibrer absolument de la même façon, puisque, en réalité, la lumière part seulement de la source L.

Si nous considérons un point pris sur la ligne XX', il est clair qu'il est à la même distance de L' et de L'' : les vibrations parties de ces points en concordance (ou plus exactement parties de L et s'étant réfléchies comme si elles venaient de L et de L'') arriveront en concordance sur ce point et les effets s'ajouteront.

Mais, si nous prenons sur l'écran AB un point quelconque H ou I, les distances au point L' et L'' ne sont plus les mêmes. Par exemple pour le point I, on a  $L'I > L''I$ ; pour le point H, on a au contraire  $L'H < L''H$ . Les deux mouvements vibratoires n'arriveront pas, en général, dans la même période de leur phase. S'ils arrivent en phases opposées, cette différence subsistera d'une manière continue, et aucun effet ne pourra se produire, les causes s'entre-détruisant. Nous savons (660) que pour qu'il en soit ainsi, il faut que les chemins parcourus soient différents d'un nombre impair de demi-longueurs d'onde. Telle est la condition pour qu'il y ait interférence, pour qu'il y ait production d'une frange obscure.

Si, au contraire, la différence est d'un nombre pair de demi-longueurs d'onde, les vibrations arrivent en concordance, les effets s'ajoutent, l'éclairement est augmenté, il y a production d'une frange brillante.

Ainsi, partant de la frange brillante centrale, la première frange obscure doit correspondre à des chemins dont la différence est  $\frac{\lambda}{2}$ ; cette différence devra être respectivement  $3\frac{\lambda}{2}$ ,  $5\frac{\lambda}{2}$  pour la deuxième, la troisième..... frange obscure.

De même, la première frange brillante après la frange centrale doit correspondre à des chemins parcourus dont la différence est  $2\frac{\lambda}{2}$  et cette différence doit être successivement  $4\frac{\lambda}{2}$ ,  $6\frac{\lambda}{2}$ ... pour les franges suivantes.

Il résulte de là que si on peut mesurer les différences de distance des diverses franges aux points L' et L'' on pourra déterminer la valeur de  $\lambda$ . Comme vérification, cette valeur devra être la même, quel que soit l'ordre de la frange qui a servi à faire la mesure.

Nous avons dit que l'on connaît la vitesse de propagation de la lumière  $u$  : on pourra donc déduire de la mesure précédente les valeurs de  $n$  et de  $\theta$ .

665. — L'expérience réussit également bien, quelle que soit la lumière simple que l'on emploie et les effets observés sont absolument les mêmes; seulement, en examinant les franges avec attention, on reconnaît qu'elles n'ont pas la même largeur dans tous les cas : les franges sont les plus larges dans le rouge et leur largeur est d'autant plus petite que la lumière considérée est plus réfrangible. Il résulte de là nécessairement que la valeur de la longueur d'onde  $\lambda$  varie avec la couleur considérée.

Ajoutons que des effets entièrement analogues ont été observés soit au point de vue des actions calorifiques, soit au point de vue de l'action chimique sur le papier photographique. Le phénomène des interférences s'étend donc à toutes les radiations.

On a même pu mesurer la valeur de la longueur d'onde pour des radiations autres que les radiations moyennes (lumineuses).

Nous donnons ci-dessous quelques nombres qui déterminent les vibrations de diverses radiations.

Nature de la radiation.	Longueur d'onde.	Nombre de vibrations par seconde.
Violet.....	0 <sup>mm</sup> ,000 423	708 000 000 000 000
Indigo.....	0 <sup>mm</sup> ,000 449	669 000 000 000 000
Bleu.....	0 <sup>mm</sup> ,000 479	630 000 000 000 000
Vert.....	0 <sup>mm</sup> ,000 521	576 000 000 000 000
Jaune.....	0 <sup>mm</sup> ,000 551	543 000 000 000 000
Orangé.....	0 <sup>mm</sup> ,000 583	513 000 000 000 000
Rouge.....	0 <sup>mm</sup> ,000 620	483 000 000 000 000