

ART. II. — POLARISATION

674. **Polarisation de la lumière.** — Considérons un faisceau lumineux émané du soleil ou d'une source lumineuse quelconque et qui, par exemple, après avoir passé à travers une lentille convergente, donne une image réelle sur un écran.

Recevons ce faisceau sur un miroir : il sera réfléchi et l'image, dont la position aura changé, sera affaiblie, comme nous le savons. Conservons invariable le faisceau incident, et faisons tourner le miroir autour de l'axe du faisceau, de manière que l'angle d'incidence reste constant, l'image se déplacera, mais dans toutes les positions elle conservera la même intensité.

Nous devons conclure de cette expérience, que, comme on pouvait le prévoir, ce faisceau est pour ainsi dire homogène; qu'il présente les mêmes propriétés sur les divers points de la périphérie; que rien ne distingue, dans une section, le haut ou le bas, la droite ou la gauche.

Mais cette uniformité de propriétés, cette homogénéité n'existe pas dans tous les faisceaux lorsque ceux-ci ont été placés dans des conditions déterminées dont nous indiquerons les principales.

Supposons qu'on fasse arriver un faisceau de lumière solaire S sur un miroir de verre noir M (fig. 342) de manière à le réfléchir dans la direction du tube A B : celui-ci porte à l'autre extrémité un miroir analogue M' par l'inter-

médiaire d'un collier B qui permet de le faire tourner autour de l'axe du tube. Le faisceau se réfléchit en O, et peut donner une image sur un écran.

Si l'on fait tourner le miroir M', on observe que l'image ainsi obtenue par réflexion varie d'intensité, et pour un tour complet passe par deux maximums, pour deux positions diamétralement opposées, et par deux minimums pour les positions moyennes entre les précédentes. Si même l'angle d'incidence du faisceau solaire sur le miroir M a été pris égal à $54^{\circ} 35'$ et si le faisceau rencontre le miroir M' sous un angle d'inci-

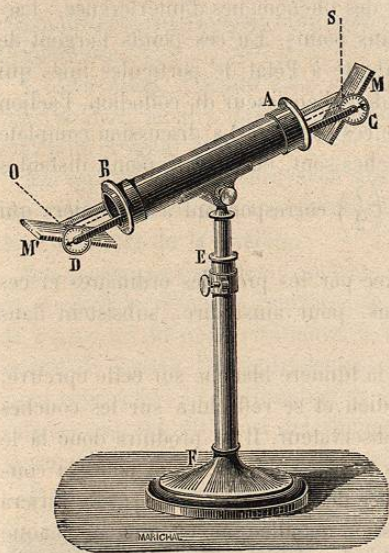


Fig. 342.

dence ayant la même valeur, pour les deux positions moyennes entre celles qui correspondent aux maximums, il n'existe plus d'image, le faisceau réfléchi n'existe plus, il est éteint.

Le faisceau réfléchi par le miroir M ne possède donc plus les mêmes propriétés que le faisceau solaire dont il est la continuation; il y a, pour ainsi dire, une certaine orientation dans ses propriétés au point de vue de la réflexion, puisque le faisceau réfléchi, sous le même angle d'incidence, présente des intensités différentes et peut même disparaître lorsque le miroir réflecteur tourne autour de l'axe du faisceau.

Un faisceau qui présente ainsi une orientation dans la manifestation de ses propriétés est dit *polarisé*, la lumière qui le compose est *polarisée* et la modification que lui a fait subir le miroir M qui a produit ce changement de propriété est appelée *polarisation* de la lumière.

675. — Examinons l'expérience de plus près, pour en préciser certaines conditions.

La réflexion sur le miroir M, réflexion qui a amené la polarisation du faisceau, est caractérisée par deux éléments : l'angle d'incidence, dont nous avons donné la valeur la plus convenable, et le plan d'incidence qui est déterminé par la direction du faisceau solaire et la direction de la normale au miroir M.

De même, la réflexion sur le miroir M' est caractérisée par l'angle d'incidence et par le plan d'incidence qui passe par le faisceau incident, dont la direction invariable est celle de l'axe du tube AB, et par la normale au miroir M'. Ce plan tourne donc avec le miroir.

Les variations d'intensité du faisceau réfléchi O sont en relation avec la position de ce plan d'incidence par rapport au plan d'incidence sur le miroir M : le faisceau réfléchi en M' présente une intensité maxima lorsque les deux plans d'incidence ont la même direction : au contraire le faisceau réfléchi en M' est éteint lorsque le plan d'incidence en M' est perpendiculaire au plan d'incidence en M; et d'une manière générale l'intensité du faisceau est d'autant plus grande que le plan d'incidence en M' est plus près d'avoir la même direction que le plan d'incidence en M.

La position du plan d'incidence sur le miroir M peut donc être utilisée pour caractériser les conditions dans lesquelles se produisent les phénomènes que nous étudierons.

Ce plan est appelé *plan de polarisation*¹.

Enfin, nous avons dit que, pour que les effets fussent le plus nets possible, il fallait que l'angle d'incidence eût une valeur déterminée. Cet angle, qui pour le verre noir est de $54^{\circ} 35'$, a reçu le nom d'*angle de polarisation*; il varie avec la substance réfléchissante.

1. On dit aussi quelquefois que la lumière est *polarisée dans le plan d'incidence* sur le miroir M; cette expression ne nous paraît pas sans quelques inconvénients, nous ne l'emploierons pas.

Lorsqu'un faisceau arrive sur un miroir noir sous un angle d'incidence de $54^{\circ}35'$ trois cas peuvent se présenter, en résumé :

Le faisceau réfléchi conserve la même intensité pendant la rotation du miroir ;

Le faisceau réfléchi varie d'intensité, sans jamais s'annuler ;

Le faisceau réfléchi varie d'intensité et s'éteint deux fois pour un tour complet du miroir.

Le premier cas est celui qui correspond à la lumière émanée directement des sources lumineuses, le soleil, les flammes : cette lumière est dite *naturelle*.

Nous avons dit que, dans le 3^e cas, la lumière est dite *polarisée* ; dans le 2^e cas, on dit qu'elle est *partiellement polarisée* ; on peut considérer un faisceau de ce genre comme formé par la réunion de lumière naturelle qui ne varie pas et de lumière polarisée qui varie et s'éteint.

Ajoutons que des phénomènes entièrement analogues à ceux que nous venons de signaler au point de vue des effets lumineux peuvent être observés si on étudie les faisceaux au point de vue calorifique ou au point de vue des actions chimiques. En un mot, il n'y a pas seulement polarisation de la lumière, il y a polarisation des radiations en général, et ce fait vient corroborer l'hypothèse que nous avons admise sur l'unité de cause des effets lumineux, calorifiques et chimiques.

676. — Les faits que nous venons de citer ne sont pas seulement intéressants au point de vue des applications qu'on a pu en faire ; ils sont, en outre, très importants par les renseignements qu'ils fournissent pour compléter sur certains points l'hypothèse des ondulations.

Il faut remarquer, en effet, que les divers phénomènes qui se rattachent aux interférences conduisent naturellement à l'idée que la cause des phénomènes lumineux, ou mieux des radiations en général, est un mouvement vibratoire ; mais cette notion ne suffit pas : en effet, par rapport à la direction suivant laquelle il se propage, un mouvement vibratoire peut se présenter dans des conditions différentes ; il peut être longitudinal ou transversal : longitudinal lorsque les molécules qui sont mises en vibration s'écartent de leur position d'équilibre dans la direction même de la propagation ; — transversal si les molécules se déplacent obliquement ou perpendiculairement à la direction de la propagation ; il est naturel d'admettre, sauf vérification ultérieure, que, par raison de symétrie, les vibrations doivent être perpendiculaires à la direction de la propagation.

Or, étant donné un faisceau, cylindrique par exemple, correspondant à la propagation de vibrations longitudinales, on ne peut se rendre compte qu'il présente des inégalités, des différences, aux divers points de la périphérie où on le considère, par exemple. Par rapport à une section quelconque, en tous les points les molécules d'éther en vibration se pré-

sentent exactement dans les mêmes relations et, par suite, il ne doit y avoir aucune différence dans les propriétés du faisceau aux différents points de la section.

Si, au contraire, les vibrations sont transversales, nous pouvons concevoir qu'elles soient toutes parallèles entre elles. S'il en est ainsi, les différents points de la section, de sa périphérie ne sont pas dans les mêmes conditions par rapport aux vibrations : en certains points les vibrations sont perpendiculaires aux éléments de la surface qui limite le faisceau, en d'autres points elles leur sont parallèles, ailleurs encore elles sont obliques. On peut concevoir que si un miroir rencontre le faisceau suivant l'un ou l'autre de ces points, les effets produits seront différents.

C'est ce dernier cas qui se présente pour la lumière polarisée : on est donc conduit à admettre que cette lumière est le résultat de mouvements vibratoires de l'éther, vibrations parallèles entre elles et perpendiculaires à la direction de la propagation lumineuse.

Comment concevoir alors la constitution d'un faisceau de lumière naturelle ? on admet qu'il est également constitué par des vibrations transversales, mais ces vibrations, au lieu d'être parallèles entre elles, changent à chaque instant, très rapidement de direction. Chaque point de la périphérie se trouve alors dans un temps très court en rapport avec des vibrations qui ont successivement des directions incessamment variables ; il ne saurait y avoir aucune propriété particulière en un point donné, puisque l'action change partout dans les mêmes conditions : le faisceau est homogène.

La polarisation de la lumière correspond alors dans cette hypothèse à un phénomène simple : toutes les vibrations qui avaient des directions quelconques sont rendues parallèles entre elles : les mouvements vibratoires deviennent orientés parallèlement à une direction fixe.

677. — Nous avons vu que lorsqu'un faisceau polarisé se réfléchit sous un angle convenable sur un miroir noir, il subit des variations d'intensité qui présentent une certaine régularité. Malus a cherché s'il existait une relation entre l'intensité du faisceau réfléchi et la position du plan d'incidence correspondant par rapport au plan de polarisation, et il a trouvé une loi simple.

Si on appelle I l'intensité du faisceau incident, i celle du faisceau réfléchi et α l'angle que fait le plan d'incidence avec le plan de polarisation, on a :

$$i = I \cos^2 \alpha.$$

Il est facile de reconnaître immédiatement que les résultats de cette formule concordent bien avec ceux que l'expérience fournit pour $\alpha = 0$ ou $\alpha = 180^{\circ}$ et pour $\alpha = 90^{\circ}$ ou $\alpha = 270^{\circ}$.

Au lieu d'utiliser cette formule, nous nous servons d'une courbe qui la représente et dont l'emploi est plus facile. Portons sur une droite OX (fig. 343) représentant la direction du plan de polarisation une longueur OG égale à I, intensité du faisceau polarisé incident. Soit OH la direction du plan d'incidence lors de la réflexion sur le miroir noir,

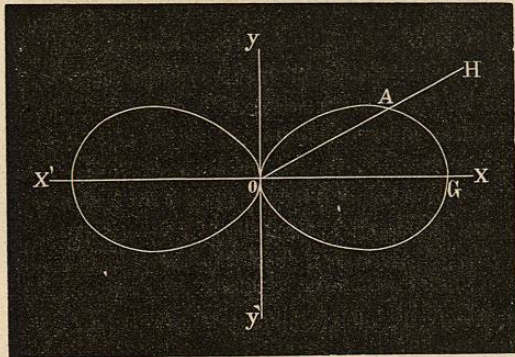


Fig. 343.

convenons de porter sur cette droite une longueur OA égale à la valeur de i pour l'angle HOX. Pour chaque direction de OH nous aurons un point de la même façon, et l'ensemble de ces points forme une courbe constituée par deux ovals tangents en O et ayant pour axe de symétrie la droite OX, direction du plan de polarisation et la droite YOY' perpendiculaire à XX'.

Connaissant alors la direction OH du plan d'incidence, la longueur OA du rayon vecteur correspondant donne l'intensité du faisceau réfléchi.

678. — Nous avons dit que l'intensité du faisceau réfléchi correspondant à un faisceau incident polarisé change par la rotation de la surface réfléchissante. Mais, il importe d'ajouter que, à l'intensité près, la lumière polarisée suit dans la réflexion les mêmes lois que la lumière naturelle. Au point de vue géométrique la polarisation n'amène aucun changement.

Cette remarque n'est pas applicable seulement à la réflexion, mais aussi à la réfraction et à la double réfraction. Un faisceau incident rencontrant une substance uniaxiale suit les lois de Descartes, lois géométriques de la réfraction (383). Sur un cristal biréfringent un faisceau de lumière polarisée se bifurque et donne un faisceau ordinaire et un faisceau extraordinaire, comme nous l'avons indiqué pour la lumière naturelle (438).

Enfin, il semble, d'autre part, et quoique la question n'ait pas été complètement étudiée, que la lumière polarisée suit, d'une manière générale, la même loi d'absorption que la lumière naturelle. Seulement le coefficient d'absorption est différent, au moins dans certains cas.

679. — Par la réfraction et par la double réfraction, un faisceau de lumière polarisée subit des modifications d'intensité analogues à celles que nous avons étudiées pour la réflexion et les effets observés sont très analogues.

Quoique la réfraction produise les modifications dont nous parlons, notamment par l'emploi des *piles de glace*, comme les phénomènes correspondants n'ont pas reçu d'application, nous ne nous y arrêtons pas.

Au contraire, nous devons insister sur les effets de la double réfraction.

Considérons un faisceau de lumière polarisée qui rencontre normalement un spath d'Islande, nous savons qu'il y a un faisceau ordinaire qui traverse le spath d'Islande sans déviation, ni déplacement (440); nous savons aussi que, à moins que le spath n'ait été taillé d'une manière très particulière, le faisceau extraordinaire prend une autre direction dans le spath et sort parallèlement au faisceau ordinaire, mais avec un certain déplacement, de telle sorte que, à l'émergence, on obtient deux images complètement séparées ou partiellement superposées suivant la valeur du déplacement et la largeur du faisceau incident.

Dans le cas que nous examinons, où le faisceau est polarisé, les deux images obtenues, ordinaire et extraordinaire, ont en général des intensités différentes. De plus, si on tourne le spath autour de l'axe du faisceau incident, on reconnaît que chacune des images change d'intensité d'une manière continue : pour un tour complet, l'image présente deux maxima, pour deux positions diamétralement opposées, et s'éteint deux fois pour les positions à égale distance de celles qui donnent le maximum d'intensité.

De plus, les variations d'intensité se manifestent en sens contraire : quand l'une des images devient plus lumineuse, l'autre devient plus sombre, et quand l'une des images s'éteint, l'autre atteint son maximum.

Il existe des lois simples entre l'intensité du faisceau incident, celle des faisceaux émergents et la position de ceux-ci. Cette position est définie par la *section principale* du spath qui est le plan passant par la normale à la face d'entrée, ici la direction du faisceau incident, et l'axe du cristal (439).

En désignant comme précédemment par I l'intensité du faisceau incident, par α l'angle de la section principale avec le plan de polarisation et par i_o et i_e les intensités des faisceaux émergents, ordinaire et extraordinaire, Malus a trouvé les relations suivantes :

$$i_o = I \cos^2 \alpha \quad \text{et} \quad i_e = I \sin^2 \alpha.$$

Ces formules permettent de déterminer les intensités des faisceaux émergents; mais elles peuvent être remplacées par des courbes.

La courbe qui donne l'intensité du faisceau ordinaire est la même que celle que nous avons indiquée pour la réflexion (fig. 343); la droite OX donnant la direction du plan de polarisation et la droite OH celle de la section principale.

Quant à la courbe qui donne l'intensité du faisceau extraordinaire elle présente la même forme, mais elle est autrement dirigée. En conser-

vant OX comme direction du plan de polarisation la courbe devrait être tournée de 90° , de manière à avoir la ligne yy' pour axe; ou autrement, cette même courbe représenterait l'intensité i_o si yy' était le plan de polarisation.

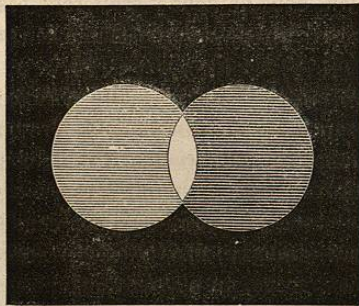


Fig. 344.

Les formules montrent que pour $\alpha = 45^\circ$ les deux faisceaux, ordinaire et extraordinaire, ont la même intensité, car pour cet angle, le sinus est égal au cosinus. L'expérience vérifie qu'il en est réellement ainsi.

Si les deux images, ordinaire et extraordinaire, ont une partie commune, celle-ci a un éclaircissement qui est la somme des éclaircissements des deux images, qui correspond par conséquent à $i_o + i_e$. Mais à cause de la relation connue $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$, il vient

$$i_o + i_e = I.$$

Cette valeur ne dépend pas de l'angle α , elle doit rester la même lorsqu'on fait tourner le spath : c'est ce que l'on reconnaît aisément en prenant un faisceau incident assez large pour que les images aient une partie commune (fig. 344). Les deux lunules, qui correspondent chacune à l'une des images, varient d'intensité, la partie commune présente un éclaircissement constant.

680. — Examinons, pour un cas particulier, l'action d'un cristal biréfringent fréquemment utilisé, la tourmaline.

Prenons une tourmaline taillée en forme de lame à faces parallèles, de telle façon que son axe soit parallèle à ces faces, et faisons arriver normalement sur cette lame un faisceau de lumière polarisée. On obtient un seul faisceau émergent, une seule image, et si on fait tourner la tourmaline, cette image change d'intensité, présentant tous les caractères d'une image extraordinaire.

Pour expliquer ce fait, il faut admettre que le faisceau ordinaire qui a dû prendre naissance à l'incidence a été absorbé par l'épaisseur de la tourmaline, tandis que le faisceau extraordinaire a subi l'absorption d'une manière moins considérable : la tourmaline est plus transparente pour le faisceau extraordinaire que pour le faisceau ordinaire.

681. **Analyseurs et polariseurs.** — Ainsi, en résumant les faits que nous venons d'indiquer :

Dans le cas où l'on emploie un faisceau de lumière naturelle à l'incidence,

Le faisceau réfléchi a la même intensité, quelle que soit la direction du plan d'incidence ;

Les deux faisceaux fournis par un spath ont toujours la même intensité.

Le faisceau ayant traversé une tourmaline a toujours la même intensité.

Si le faisceau incident est polarisé,

L'intensité du faisceau réfléchi varie avec la position du plan d'incidence ;

Les intensités des deux faisceaux fournis par un spath sont inégales en général et varient avec la position de la section principale ;

L'intensité du faisceau ayant traversé une tourmaline varie avec la position de la section principale de ce cristal.

On comprend dès lors aisément que le miroir noir, que le spath, que la tourmaline peuvent servir à reconnaître si un faisceau est formé de lumière naturelle ou de lumière polarisée.

D'autre part, en se reportant à ce que nous avons dit et notant les positions où se font les extinctions et celles qui correspondent au maximum d'intensité, il est aisé de déterminer la direction du plan de polarisation de la lumière incidente.

Le miroir noir, le spath, la tourmaline qui renseignent ainsi sur l'état de la lumière au point de vue de la polarisation sont appelés des *analyseurs*.

Il est évident que pour se servir d'un spath comme analyseur, il n'est pas nécessaire d'obtenir les deux faisceaux et que les variations d'un seul renseignement complètement si l'on sait s'il est ordinaire ou extraordinaire. Un Nicol ou un Foucault (442) qui donne le faisceau extraordinaire peut donc être utilisé comme analyseur.

682. — Nous avons dit au début que le miroir noir qui peut servir d'analyseur transforme, par la réflexion sous un angle convenable, la lumière naturelle en lumière polarisée. Considéré à ce point de vue, le miroir noir est appelé un *polariseur*.

Une étude complète, que nous ne saurions faire ici, montre que cette propriété d'être un polariseur et celle d'être un analyseur ont, au fond, la même origine, qu'elles s'expliquent de la même façon.

Il est naturel, dans ces conditions, de se demander s'il n'en serait pas de même des autres analyseurs.

En faisant tomber sur un analyseur quelconque les faisceaux ordinaire et extraordinaire, qui ont été produits par un spath, le faisceau sortant d'un Nicol ou d'un Foucault, le faisceau qui a passé à travers une tourmaline taillée parallèlement à l'axe, on reconnaît que ces faisceaux sont tous polarisés : les divers analyseurs peuvent donc tous être utilisés comme polariseurs.

Pour définir complètement la fonction d'un polariseur, il faut connaître la direction du plan de polarisation du faisceau qu'il fournit.

Nous avons déjà dit que dans le cas du miroir noir, le plan d'incidence est le plan de polarisation. Lorsque le polariseur est un cristal biréfrin-

gent, le plan de polarisation coïncide avec la section principale pour le faisceau ordinaire, tandis qu'il est perpendiculaire à cette section pour le faisceau extraordinaire.

ART. III. — ROTATION DU PLAN DE POLARISATION

683. **Rotation du plan de polarisation.** — Le premier fait se rapportant aux phénomènes dont nous avons à parler a été signalé par Arago (1811).

Nous considérerons d'abord le cas où la lumière employée est monochromatique, et nous étudierons ensuite le cas de la lumière composée.

Soit un faisceau de lumière rouge qui traverse un polariseur; faisons arriver ce faisceau polarisé sur un analyseur et orientons celui-ci de manière à produire l'extinction complète. Si, entre l'analyseur et le polariseur, on intercale une lame de verre ou de toute autre substance isotrope, un tube rempli d'eau, on n'observe aucun effet particulier, l'extinction subsiste. Mais si on intercale certaines substances comme l'acide tartrique, le quartz, l'essence de térébenthine, une dissolution de sucre, l'image qui était éteinte reparait. Si l'on fait tourner l'analyseur, l'image varie d'intensité, ce qui prouve que le faisceau est resté polarisé, que l'effet du quartz n'a pas détruit la polarisation qui existait. Seulement le plan de polarisation du faisceau après le passage dans le quartz n'a pas la même direction qu'il avait avant : le plan de polarisation a tourné d'un certain angle.

C'est ce phénomène du changement de direction du plan de polarisation par l'action de certaines substances qui constitue la *rotation du plan de polarisation*.

Les substances qui agissent ainsi sur la direction du plan de polarisation sont dites *actives*; celles qui ne produisent pas d'effet sont dites *inactives*.

En opérant sur diverses substances, quelquefois même sur divers échantillons d'une même substance on reconnaît que le changement du plan de polarisation ne se produit pas toujours de la même façon; tantôt le plan de polarisation est dévié vers la droite de sa position primitive, tantôt il est dévié vers la gauche. On appelle *dextrogyres* les substances dans lesquelles le plan de polarisation tourne dans le sens où l'on voit tourner les aiguilles d'une montre; on appelle *lévogyres* les corps dans lesquels la rotation se produit en sens opposé.

On peut représenter graphiquement les effets dus à la rotation du plan de polarisation sur l'intensité d'un faisceau à l'émergence de l'analyseur. Si OP est la direction du plan de polarisation, les variations d'intensité sont représentées par la courbe déjà signalée (fig. 243). Après l'action de la substance active, la courbe représentant l'intensité du faisceau observé

à l'aide de l'analyseur est représentée par la même courbe, mais dont l'axe OP' par rapport au plan primitif de polarisation OP, a changé de direction (fig. 345). Si la section principale de l'analyseur est OH, l'intensité du faisceau est représentée par OA.

L'angle dont a tourné le plan de polarisation est POP', et dans ce cas, la substance est lévogyre.

684. — S'il ne saurait paraître étonnant que des substances de composition différente n'agissent pas de la même façon et même produisent des effets de sens contraire,

on s'explique moins bien que divers échantillons d'une substance de composition invariable donnent naissance à des effets opposés.

C'est ainsi que, de deux échantillons de quartz, silice pure, cristallisée, l'un fait tourner le plan de polarisation à droite, l'autre le fait tourner à gauche : c'est ainsi également que divers échantillons d'acide tartrique agissent différemment, les uns étant inactifs, tandis que certains sont dextrogyres et les autres lévogyres.

Pasteur a montré que ces différences sont liées au groupement des molécules qui se traduit par la forme cristalline : le quartz présente, en effet, le caractère de l'hémiédrie, c'est-à-dire que deux cristaux quoique composés de faces égales et d'angles égaux, peuvent ne pas être superposables, l'un des cristaux étant égal absolument à l'image de l'autre dans un miroir plan. Le même fait se présente pour l'acide tartrique, et Pasteur a reconnu que pour ces corps la propriété d'être dextrogyre ou lévogyre est liée au sens de l'hémiédrie.

Ce résultat est intéressant d'une manière générale parce qu'il montre d'une manière nette que les vibrations de l'éther se propageant à travers la matière sont influencées par les molécules matérielles et par leur mode de groupement.

685. — La rotation du plan de polarisation est soumise aux lois suivantes qui ont été découvertes par Biot.

1^{re} LOI. *Pour une même substance, les angles dont tourne le plan de polarisation sont proportionnels aux épaisseurs des lames traversées.*

Il résulte de là que, en faisant varier d'une manière continue l'épaisseur de la lame, on fait varier de la même façon l'angle de rotation du

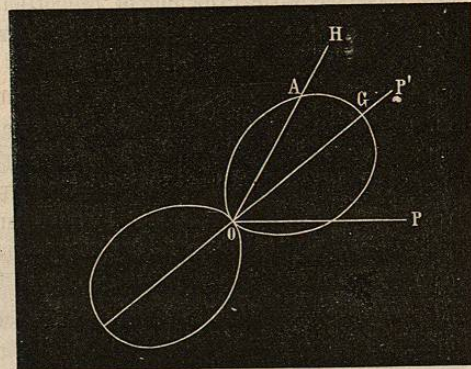


Fig. 345.