Aussi, dans l'un et l'autre cas, la lumière, qui s'était bien dédoublée en traversant le premier spath, est restée simple en traversant le deuxième. Le passage à travers le premier spath lui a fait perdre la faculté de se dédoubler en traversant le deuxième spath biréfringent.

III. *Expérience des nicols croisés.* — On peut simplifier l'expérience d'Huygens, de manière à la rendre plus facile à interpréter. Pour cela, au lieu de se servir de rhomboèdres naturels de spath, on prend deux cristaux de spath, taillés artificiellement et modifiés de manière à n'être plus *biréfringents*. C'est ce qu'on appelle des *prismes de Nicol*, ou tout simplement des *nicols*, du nom de l'inventeur[1]. En réalité, le cristal ne perd pas sa propriété biréfringente; mais le rayon réfracté extraordinairement émerge seul, tandis que le rayon ordinaire subit une réflexion intérieure. Les faces traversées par la lumière sont d'ailleurs deux faces naturelles du spath (fig. 645); ce sont donc deux rhombes, où il est facile de distinguer les deux petites diagonales qui définissent les sections principales du cristal.

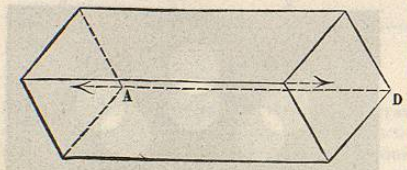

Fig. 645.

Si l'on met un premier nicol sur le trajet de la lumière, on n'obtient donc qu'un seul rayon réfracté, et si l'on fait tourner le nicol autour du rayon incident, la lumière passe toujours avec facilité, elle n'a perdu ni son intensité, ni sa couleur : tout se passe comme si elle avait traversé une simple lame de verre. Mais recevons ce rayon émergent sur un deuxième nicol, semblable au premier. Si nous le tournons d'abord de manière que les sections principales soient parallèles, nous ne voyons rien de particulier, la lumière traverse le deuxième cristal comme le premier; mais si nous croisons les sections principales (fig. 646), il n'y a plus de rayon émergent, la lumière est *éteinte* : le deuxième nicol, qui tout à l'heure était *transparent* comme du verre, semble être devenu *opaque* comme du plomb.

1. Pour construire un *nicol*, on prend un rhomboèdre de spath d'Islande de 20 à 30 millimètres de hauteur environ, sur 8 à 9 de largeur, et on le coupe en deux suivant un plan perpendiculaire au plan des grandes diagonales des bases et passant par les sommets obtus les plus rapprochés l'un de l'autre, puis on recolle les deux moitiés avec la même orientation avec du baume de Canada. Le parallélépipède ainsi construit constitue le prisme de Nicol (fig. 643).

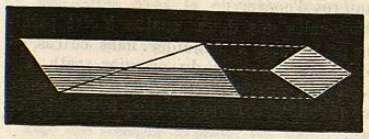
Fig. 643.

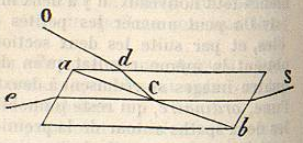

Fig. 644.

L'indice de réfraction du baume de Canada étant plus petit que l'indice ordinaire du spath d'Islande, mais plus grand que son indice extraordinaire, il en résulte que lorsqu'un faisceau lumineux SC (fig. 644) pénètre dans le prisme, le rayon ordinaire éprouve sur la surface *ab* la réflexion totale, et prend la direction C*d*O, tandis que le rayon extraordinaire C*e* passe seul.

IV. *Interprétation de ces expériences.* — Interprétons l'expérience d'Huygens, ou celle des nicols croisés. La lumière naturelle, c'est-à-dire celle qui nous vient directement du soleil, traverse tous les nicols, quelle qu'en soit l'orientation; mais la lumière qui a traversé un premier nicol ne peut plus en traverser un deuxième *quand leurs sections principales sont croisées* : cette lumière n'est donc plus de la lumière *naturelle;* son passage à travers le premier nicol lui a donné des propriétés nouvelles, entre autres celle de ne pouvoir plus traverser le deuxième nicol. On exprime ce fait en disant que *cette lumière est polarisée*, et ce phénomène nouveau constitue *la polarisation de la lumière*. On peut donc définir la polarisation, au point de vue expérimental, de la manière suivante : *Un rayon polarisé est un rayon qui a traversé un premier nicol : il est entièrement éteint par un deuxième nicol, orienté à angle droit avec le premier.*

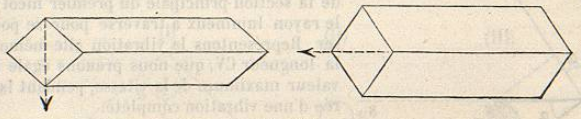
Fig. 646.

587. **Cause de la polarisation : Vibrations transversales de l'éther.** — Pour découvrir la cause de la polarisation, il suffit d'analyser avec soin l'une des expériences précédentes. Si la rotation du premier nicol autour du rayon incident ne produit aucun effet quelle que soit l'orientation de la section principale du cristal, c'est que le rayon incident ou rayon naturel est identique à lui-même sur toute sa périphérie. Mais il n'en est plus de même du rayon polarisé, puisqu'il passe dans un deuxième nicol, orienté *parallèlement* au premier, et qu'il est éteint par un deuxième nicol orienté perpendiculairement au premier. Tout n'est donc pas égal sur le contour de ce rayon polarisé, le côté horizontal est tout à fait différent du côté vertical[1].

Il faut conclure de là que la vibration lumineuse ne peut pas être longitudinale, c'est-à-dire dirigée suivant le rayon lui-même, car alors ce rayon serait identique à lui-même sur tout son contour. Cette vibration ne peut pas non plus être *oblique* au rayon lumineux, car, si elle était oblique, elle pourrait nécessairement se décomposer en deux vibrations composantes (d'après la règle du *parallélogramme des vitesses*); l'une, *transversale*, resterait donc perpendiculaire au rayon, et l'autre *longitudinale*. Or cette dernière ne pourrait jamais être éteinte par un nicol, puisqu'elle serait identique à elle-même sur tout son contour. Par suite, la vibration lumineuse, ne pouvant être ni parallèle au rayon ni oblique, doit lui être *perpendiculaire* : donc les *vibrations lumineuses* sont des *vibrations transversales*, tout comme les vibrations des ondes aqueuses que nous avons étudiées précédemment en acoustique (384).

On est donc forcé d'admettre, comme une conséquence rigoureuse de l'expérience, que *la lumière est le résultat des vibrations transversales de l'éther*. Dans la lumière naturelle, les vibrations transversales s'effectuent dans toutes les directions à la fois autour du rayon; dans la lumière qui a traversé un nicol ou un cristal biréfringent, les vibrations transversales ont été orientées dans une seule et même direction : c'est pourquoi l'on dit que le rayon est *polarisé*.

Or, supposons qu'un rayon polarisé perce le plan du tableau au point C, et

1. A. Bertin, *loc. cit.*

soit CP la trace de son plan d'incidence (fig. 647). Le rayon étant polarisé, sa vibration est nécessairement située dans le plan du tableau. Elle pourrait d'ailleurs être orientée dans un azimut quelconque, autour du point C : mais nous admettrons, avec Fresnel, qu'elle est orientée suivant CVS, c'est-à-dire dans un plan perpendiculaire au plan d'incidence. On exprime ce fait en disant que le rayon lumineux *est polarisé dans le plan* CP.

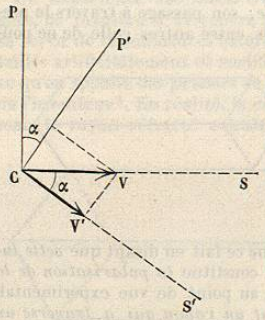

Fig. 647.

588. **Loi de Malus.** — Le plan CS est celui de la section principale du premier nicol que le rayon lumineux a traversé pour se polariser. Représentons la vibration elle-même par la longueur CV, que nous prenons égale à la valeur maximum de la vitesse, pendant la durée d'une vibration complète.

Supposons qu'en C le rayon lumineux tombe sur un deuxième nicol, dont la section principale CS' soit orientée d'une manière quelconque et fasse un angle α avec la section principale CS du premier nicol. Le rayon qui sortira du deuxième nicol vibrera dans le plan CS' et aura le plan CP' pour nouveau plan de polarisation.

Le physicien Malus a démontré que *la vitesse maximum* CV' *de la nouvelle vibration se déduit de la vitesse maximum initiale* CV *par la règle du parallélogramme des vitesses.*

CV' étant la composante de CV, on a entre ces deux quantités la relation

$$[1] \qquad CV' = CV \cos \alpha.$$

Comme, d'autre part, on démontre que *l'intensité* I *d'un rayon lumineux est proportionnelle au carré de sa vitesse maximum*, il résulte que l'intensité I' du nouveau rayon polarisé est liée à l'intensité initiale I par la relation

$$[2] \qquad I' = I \cos^2 \alpha.$$

L'une quelconque des relations [1] et [2] exprime ce qu'on appelle la *loi de Malus.*

589. **Conséquences de la loi de Malus. — Vérification expérimentale.** — La première conséquence de la loi de Malus, c'est le phénomène qui nous a servi pour définir la polarisation. On voit que si $\alpha = 90°$, c'est-à-dire que si la section principale du deuxième nicol est perpendiculaire à la section principale du premier nicol, on a $I' = 0$, c'est-à-dire que l'intensité du rayon lumineux est réduite à zéro : il est *éteint* par le deuxième nicol. Cette conséquence a été vérifiée ci-dessus par l'expérience des nicols croisés.

Au contraire, si $\alpha = 0$, $I' = I$, c'est-à-dire que l'intensité du rayon polarisé n'est pas diminuée par son passage à travers le deuxième nicol. C'est ce que nous avions vu précédemment, en orientant la section principale du deuxième nicol parallèlement à celle du premier.

Enfin, si α a une valeur quelconque, comprise entre 0 et 90°, le rapport $\left(\frac{I'}{I}\right)$ a une valeur comprise entre 0 et 1, c'est-à-dire que l'intensité I' du rayon transmis par le deuxième nicol est toujours plus faible que l'intensité du rayon polarisé par le premier nicol; et quand l'inclinaison du deuxième nicol sur le premier varie depuis 0° jusqu'à 90°, l'affaiblissement de l'image transmise s'accentue de plus en plus, jusqu'à atteindre l'extinction complète.

Expériences. — On peut montrer aisément cette variation continue d'intensité en *analysant*, comme on dit, c'est-à-dire en faisant passer par un nicol, les deux faisceaux lumineux qui sont transmis par un rhomboèdre de spath dans l'expérience de Bartholin. Faisons d'abord tourner le rhomboèdre autour du faisceau incident de manière à distinguer les deux images : on voit l'image ordinaire qui reste immobile, et l'image extraordinaire qui vient se placer au-dessus de la première, dans le même plan vertical (fig. 648, I) : la petite diagonale du rhomboèdre est alors verticale, et il en est de même de la section principale du cristal. Analysons maintenant ces deux images avec un nicol. Pour éteindre l'*image ordinaire*, nous devons amener la grande diagonale du nicol à être horizontale, comme celle du spath (fig. 648, II); pour éteindre l'*image extraordinaire*, il faut tourner le nicol de manière que sa grande diagonale devienne verticale, comme la petite diagonale du spath (fig. 648, III). Enfin, dans les positions intermédiaires du nicol, les deux images sont visibles, mais à des degrés d'intensité différents. La figure 649 représente, étalées sur un double cercle, les deux images à leurs divers degrés d'affaiblissement.

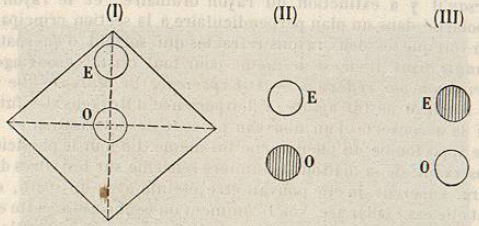

Fig. 648.

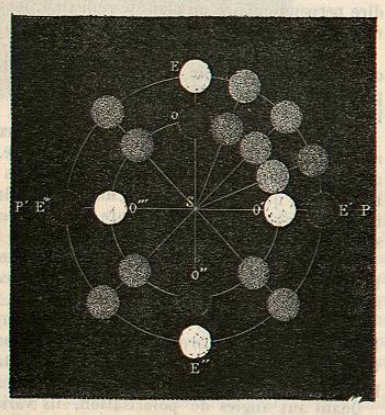

Fig. 649.

590. **Divers procédés de polarisation de la lumière.** — Un rayon lumineux *polarisé* est donc un rayon ayant acquis la propriété d'être *éteint* par son passage à travers un nicol dans une certaine direction, et d'être plus ou moins affaibli dans toutes les autres directions. Cette modification de la lumière peut être réalisée de différentes manières.

I. *Polarisation par double réfraction.* — Le procédé le plus ancien est la *double réfraction.* Nous avons vu dans l'expérience précédente que les deux faisceaux qui sortent d'un spath peuvent être tour à tour *éteints* par un nicol. Le faisceau *ordinaire* est éteint lorsque la petite diagonale du nicol est parallèle à la petite diagonale du spath, c'est-à-dire quand *les sections principales*

des deux cristaux *sont parallèles ;* le faisceau *extraordinaire* est éteint lorsque, au contraire, les *sections principales* des deux cristaux sont *croisées*. Or nous avons vu précédemment que le nicol ne laisse passer que les vibrations parallèles à sa petite diagonale : donc les vibrations du *rayon extraordinaire* sont parallèles à la petite diagonale du nicol, et les vibrations du rayon ordinaire sont perpendiculaires à la *petite diagonale* du nicol. Autrement dit, le *rayon ordinaire* est polarisé dans le plan de la section principale du nicol (ou, dans le plan, de la section principale du spath, puisque les deux sections sont parallèles lorsqu'il y a extinction du rayon ordinaire), et le rayon extraordinaire est polarisé dans un plan perpendiculaire à la section principale.

Enfin, on voit que les deux rayons réfractés qui sortent d'un spath sont *polarisés à angle droit*. Il en est de même pour tout cristal biréfringent.

II. *Polarisation par réflexion.* — 1° *Expérience de Malus.* — De 1672 à 1808 aucun fait nouveau ne fut ajouté à l'expérience d'Huygens. Ce fut le hasard qui amena la découverte d'un nouveau procédé de polarisation et qui provoqua l'étude approfondie du phénomène lui-même. Un jour le physicien français Malus [1], observant, de sa maison, la lumière réfléchie sur les vitres du palais du Luxembourg, s'aperçut qu'elle pouvait être éteinte avec un spath, et que par conséquent elle était polarisée. Voici comment on peut répéter cette expérience : On envoie un faisceau de lumière naturelle sur une glace verticale, de manière à la réfléchir horizontalement, sous une incidence convenable. Si l'on reçoit le faisceau réfléchi sur un nicol, on peut l'éteindre complètement pour une orientation convenable du nicol : *donc le rayon réfléchi est polarisé.* Au moment de l'extinction, on remarque que la grande diagonale du nicol est *verticale :* donc la vibration du rayon réfléchi est également verticale, c'est-à-dire perpendiculaire au plan de réflexion, lequel est horizontal. Donc le rayon réfléchi est polarisé dans le plan de réflexion (ou d'incidence).

2° *Angle de polarisation.* — La réflexion, comme la double réfraction, opère donc une sorte de triage des vibrations lumineuses. Ce triage est d'autant plus parfait, et la polarisation qui en résulte est d'autant plus complète, que l'angle de réflexion est plus convenable.

L'angle pour lequel la polarisation est maximum s'appelle l'*angle de polarisation.* Il est de 34° 25′ à la surface du verre. Quand le rayon incident y fait un angle d'incidence égal à 34° 25′, toutes les composantes des vibrations lumineuses qui sont perpendiculaires au plan d'incidence, c'est-à-dire parallèles à la surface réfléchissante, sont *réfléchies*, et toutes les autres composantes sont *éteintes.*

3° *Loi de Brewster.* — Tous les corps peuvent, comme le verre, polariser la lumière par réflexion, mais plus ou moins complètement et sous des angles de polarisation très divers.

Le *marbre noir*, par exemple, polarise complètement la lumière, tandis que le *diamant*, le *verre ordinaire*, le *verre d'antimoine* ne la polarisent que partiellement. De tous les corps, ce sont les métaux qui ont le plus faible pouvoir polarisant.

Quant aux angles de polarisation, ils varient avec les diverses substances, d'après la loi suivante, due à Brewster :

L'angle de polarisation est l'angle d'incidence pour lequel le rayon réfléchi est perpendiculaire au rayon réfracté.

Ainsi, lorsqu'un rayon lumineux SI (fig. 650) tombe sur une glace de verre sous l'*angle de polarisation* (35° 25′), il se partage en deux rayons, l'un IR qui est réfléchi dans l'air sous un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, et l'autre Ir qui est réfracté dans le verre, perpendiculairement au rayon IR. La loi de Brewster se vérifie pour tous les corps qui réfléchissent et réfractent la

1. Malus était professeur à l'Ecole polytechnique de Paris.

lumière, et elle permet de déterminer leurs angles de polarisation. Cet angle est de 22° pour le *diamant*, de 32° 28′ pour le *quartz*, de 33° 30′ pour l'*obsidienne* (espèce de verre noir naturel), de 37° 15′ pour l'eau.

III. *Polarisation par réfraction simple.* — Nous avons dit précédemment que, dans le phénomène de la réflexion par une surface vitreuse, il se produit une sorte de triage des vibrations du rayon naturel incident : toutes les vibrations qui sont perpendiculaires au plan d'incidence sont réfléchies et se retrouvent exclusivement dans le rayon réfléchi, lequel (au moins sous l'angle de polari-

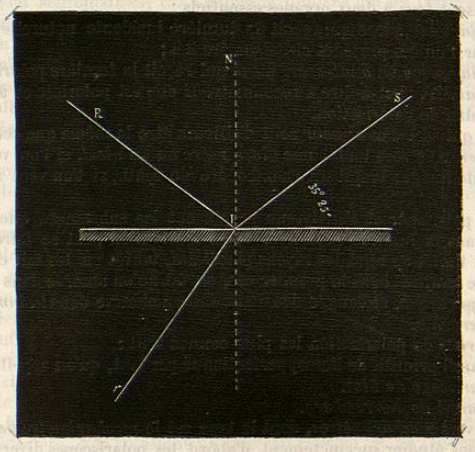

Fig. 650.

sation) se trouve ainsi complètement polarisé dans le plan d'incidence ; toutes les autres vibrations sont éteintes ou du moins paraissent éteintes, car, en réalité, elles sont transmises et passent intégralement dans le rayon réfracté. Celui-ci se trouve donc également polarisé, mais dans un plan perpendiculaire au plan d'incidence. Donc les deux rayons, réfléchi et réfracté, qui correspondent au rayon incident unique, sont polarisés dans des plans rectangulaires, comme les deux rayons réfractés qui correspondent à un rayon incident unique dans le phénomène de la double réfraction. C'est ce que Malus a démontré en 1811, trois ans après sa première découverte, et par un procédé tout à fait semblable au précédent.

IV. *Conclusion.* — Ainsi toutes (ou presque toutes) les modifications que subit la lumière naturelle (réflexion, réfraction simple et double réfraction), la polarisent plus ou moins complètement. Et, comme, à la surface de la terre, on reçoit bien peu de lumière qui n'ait plus ou moins subi l'une de ces modifications, il en résulte qu'il est difficile non pas d'avoir *de la lumière polarisée*, mais d'avoir de la lumière *qui ne soit pas polarisée partiellement.*

Lumière naturelle. — Il résulte en outre de ces divers procédés de polarisation qu'on peut considérer un faisceau de lumière naturelle comme formé de deux *faisceaux d'égale intensité, polarisés à angle droit.*

591. **Interférence des rayons polarisés.** — Après la découverte de la polarisation, Arago et Fresnel cherchèrent si les rayons polarisés présentaient

entre eux les mêmes phénomènes d'interférence (579) que les rayons non polarisés. Leurs expériences les conduisirent aux deux lois suivantes.

1re Loi. — *Deux rayons polarisés dans le même plan interfèrent entre eux absolument comme deux rayons naturels.*

2e Loi. — *Deux rayons polarisés dans deux plans perpendiculaires n'interfèrent pas dans le cas où interféreraient deux rayons naturels*[1].

592. **Appareils de polarisation.** — Toutes les expériences de polarisation s'effectuent aisément à l'aide d'instruments spéciaux, dits *appareils de polarisation*. Ces appareils, quoique très différents de forme, sont tous les mêmes et se réduisent tous à deux organes essentiels :

1° Le *polariseur*, pièce qui recoit la lumière incidente naturelle, et qui la polarise par l'un des procédés ci-dessus étudiés ;

2° Le *polariscope* ou *analyseur*, pièce qui reçoit la lumière polarisée et qui sert à l'*analyser*, c'est-à-dire à reconnaître si elle est polarisée et à en déterminer le plan de polarisation.

La pièce qui sert d'*analyseur* peut d'ailleurs être la même que celle qui sert de *polariseur*. Ce sera tantôt une *glace noire* ou un *nicol*, si l'on veut n'avoir qu'une seule image ; tantôt un rhomboèdre de spath, si l'on veut avoir deux images.

Entre le polariseur et l'analyseur se placent les substances que l'on veut observer dans la lumière polarisée. Cette observation peut se faire de deux manières : tantôt on rend les rayons parallèles, tantôt on les fait converger à l'aide d'une lentille. Dans le premier cas, on dit qu'on observe dans la *lumière polarisée parallèle*, et dans le deuxième cas on observe dans la *lumière polarisée convergente*.

Les appareils de polarisation les plus connus sont :

1° L'appareil primitif de Malus, perfectionné par Biot, qu'on appelle quelquefois le *polariscope de Biot*.

2° L'*appareil de Norremberg*.

3° Les divers *saccharimètres*, dont le type est le *saccharimètre de Biot*.

Nous allons étudier succinctement, d'abord les polariscopes divers employés dans ces appareils, et puis ces appareils eux-mêmes.

593. **Polariscopes ou analyseurs.** — Nous avons dit qu'on nomme *polariscopes* ou *analyseurs* de petits instruments qui servent à reconnaître si la lumière est polarisée et à en déterminer le plan de polarisation. Les analyseurs les plus usités sont la glace de verre noir, la tourmaline en plaque mince, le prisme biréfringent, le prisme de Nicol et les piles de glaces. Nous avons précédemment décrit le prisme de Nicol (586, III).

1° *Glace noire.* — C'est un analyseur fondé sur la polarisation par réflexion. On en verra ci-après l'usage dans l'appareil de Norremberg (fig. 652).

2° *Tourmaline.* — L'analyseur le plus simple est une lame de tourmaline brune, taillée parallèlement à son axe de cristallisation. Ce minéral, qui est biréfrégent, a la propriété de ne laisser passer que la lumière polarisée dans un plan perpendiculaire à son axe, c'est-à-dire le *rayon extraordinaire* ; mais il se comporte comme un corps opaque à l'égard de la lumière polarisée dont le plan de polarisation est parallèle à cet axe, c'est-à-dire du *rayon ordinaire*. Pour se servir de cet analyseur, on l'interpose entre l'œil et le faisceau lumineux qu'on veut observer, puis on tourne lentement la tourmaline dans son propre plan : si alors le faisceau présente toujours la même intensité, il ne contient pas de lumière polarisée ; mais si l'éclat décroît et croît successivement, le faisceau contient d'autant plus de lumière polarisée qu'il éprouve des variations d'intensité plus considérables. Au moment du minimum, le plan de polarisation est déterminé par l'axe de la tourmaline et par le rayon visuel.

1. On déduit de ces lois l'explication des brillants phénomènes de coloration dans les lames minces qui constituent la *polarisation chromatique* proprement dite. Mais nous ne parlerons pas de ces phénomènes, qui ne rentrent pas expressément dans notre programme. Nous renvoyons le lecteur au *Cours de physique* de Jamin et Bouty, t. III, 3e fascicule.

3° *Prisme biréfringent.* — On construit avec le spath d'Islande des prismes biréfringents qui sont employés comme analyseurs dans plusieurs instruments d'optique. On obtient le maximum d'écart entre les images ordinaire et extraordinaire en taillant le spath de manière que les arêtes du prisme soient parallèles ou perpendiculaires à l'axe optique du cristal. Il est nécessaire que ces prismes soient achromatisés ; car lorsque la lumière qui les traverse n'est pas simple, elle est décomposée par la réfraction. Pour cela, on accole au prisme de spath un prisme de verre, d'un angle tel, qu'en réfractant la lumière en sens contraire il détruise à peu près complètement l'effet de dispersion.

Le prisme biréfringent étant fixé à l'extrémité d'un tube de cuivre (fig. 651), on reconnaît qu'un faisceau lumineux qu'on fait passer dans ce tube est complètement polarisé, quand, en tournant le tube sur lui-même, on trouve, pendant une révolution complète, quatre positions rectangulaires où l'on n'aperçoit qu'une image. C'est l'image ordinaire qui disparaît quand le plan de la section principale est perpendiculaire au plan de polarisation, et c'est l'image extraordinaire qui s'éteint toutes les fois que le plan de polarisation coïncide avec la section principale. Dans toutes les autres positions du prisme biréfringent, l'intensité relative des images varie. Le prisme biréfringent peut servir à déterminer la direction du plan de polarisation, puisqu'il suffit de chercher la position de la section principale du prisme pour laquelle, le faisceau incident étant normal, l'image extraordinaire s'éteint.

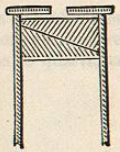

Fig. 651.

4° *Pile de glaces.* — On sait qu'une lame de verre ou de glace, étant traversée par un faisceau de rayons parallèles, produit à chacune de ses faces une série de réflexions, d'où résultent un faisceau réfléchi et un faisceau réfracté. On vient de voir, en outre, que, si la lumière incidente était naturelle, la lumière réfléchie et la lumière réfractée sont polarisées partiellement. Quand l'incidence a lieu *sous l'angle de polarisation*, la quantité de lumière polarisée est *maximum* dans le faisceau réfracté comme dans le faisceau réfléchi.

Si l'on prend une série de lames de glace superposées, chaque lame augmentera la proportion de lumière polarisée dans l'un et l'autre faisceau. Cette pile de lames constituera donc un polariseur bien supérieur à celui que forme une lame unique. C'est ce qu'on appelle une *pile de glaces*.

La pile de glaces est surtout employée comme *polariseur*. Elle polarise par réflexion d'une manière presque complète, et sous une incidence assez éloignée de l'incidence brewstérienne (angle de polarisation). D'ailleurs, comme tous les polariseurs, la pile de glaces peut servir d'analyseur.

594. **Appareil de Norremberg.** — Norremberg a transformé l'appareil primitif et incommode de Biot en un appareil simple et peu dispendieux, à l'aide duquel on peut répéter la plupart des expériences relatives à la lumière polarisée.

Description. — Cet appareil se compose de deux colonnes de cuivre *b* et *d* (fig 652), qui soutiennent une glace non étamée *n*, mobile autour d'un axe horizontal. Un petit cercle gradué *c* indique l'angle de cette glace avec la verticale. Entre les pieds des deux colonnes est une glace étamée *p*, fixe et horizontale. A leur extrémité supérieure, ces mêmes colonnes supportent un limbe gradué, dans lequel peut tourner un disque *o*. Celui-ci, au centre duquel est une ouverture quadrangulaire, porte une glace de verre noir *m*, faisant avec la

verticale un angle égal à l'angle de polarisation. Enfin, un disque annulaire gradué *k* peut se fixer, par une vis de pression, à différentes hauteurs sur les colonnes. Un deuxième anneau *a*, soutenu par le premier, peut prendre autour d'un axe horizontal différentes inclinaisons, et porte un diaphragme *e*, percé à son centre d'une ouverture circulaire.

Fonctionnement. — La glace *n* faisant avec la verticale un angle de 35° 25', c'est-à-dire égal à l'angle de polarisation du verre, les rayons S*n*, qui rencon-

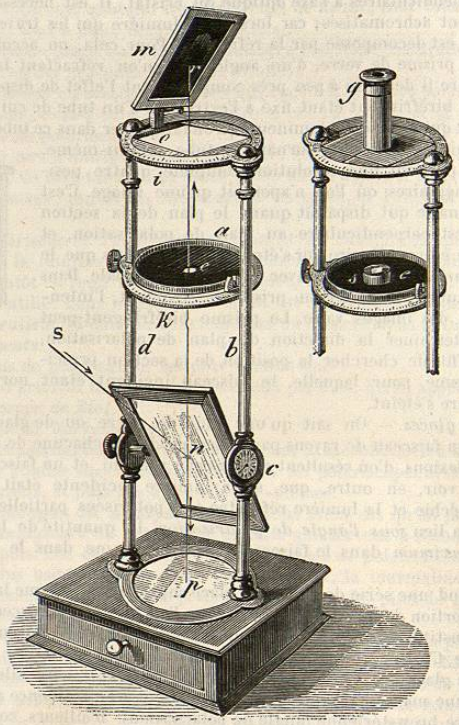

Fig. 652 et 653.

trent cette glace sous cet angle se polarisent en se réfléchissant dans la direction *np*, vers la glace *p*, qui les renvoie dans la direction *pnr*. Après avoir traversé la glace *n*, le faisceau polarisé tombe sur la glace noire *m* sous un angle de 35° 25', puisque cette glace fait précisément le même angle avec la verticale. Or, si l'on fait tourner horizontalement le disque *o* auquel est fixée la glace *m*, celle-ci se déplace en conservant toujours la même inclinaison et l'on remarque deux positions où elle ne réfléchit pas le faisceau incident *nr* : c'est lorsque le plan d'incidence, sur cette glace, est perpendiculaire au plan d'incidence S*np* sur la glace *n*. Telle est la position représentée dans le dessin.

Dans toute autre position, le faisceau polarisé est toujours réfléchi par la glace *m* en quantité variable, et le maximum de lumière réfléchie a lieu lorsque les plans d'incidence, sur les glaces *m* et *n*, sont parallèles entre eux. Si la glace *m* fait avec la verticale un angle plus grand ou plus petit que 35° 25', le faisceau polarisé est toujours réfléchi dans toutes les positions du plan d'incidence.

Si, au lieu de recevoir la lumière polarisée sur la glace noire *m*, on la reçoit sur un prisme biréfringent placé dans un tube *g* (fig. 653), on n'obtient qu'une image toutes les fois que le plan de la section principale du prisme coïncide avec le plan de la polarisation sur la glace *n*, et c'est alors le rayon ordinaire qui est transmis. On ne voit encore qu'une image quand le plan de la section principale est perpendiculaire au plan de polarisation, et c'est alors le rayon extraordinaire qui passe. Pour toute autre position du prisme, on voit deux images dont les intensités varient avec la position de la section principale.

Enfin si l'on substitue une tourmaline au prisme biréfringent, et qu'on la fasse tourner sur elle-même, le faisceau polarisé s'éteint complètement lorsque l'axe de la tourmaline est parallèle au plan d'incidence S*np*.

Les différentes propriétés de la lumière polarisée énoncées précédemment se trouvent donc ainsi démontrées. On fait d'autres applications de l'appareil de Norremberg soit à l'étude de la polarisation rotatoire dans le quartz, soit à l'observation des couleurs de la lumière polarisée.

POLARISATION ROTATOIRE.

595. **Rotation du plan de polarisation.** — *Définition du phénomène.* — Lorsqu'un rayon polarisé traverse une plaque de quartz taillée perpendiculairement à l'axe de cristallisation, ce rayon est encore polarisé à l'émergence, mais non plus dans le même plan de polarisation qu'avant son passage dans le quartz. Avec certains échantillons, le nouveau plan est tourné à gauche de l'ancien; avec d'autres, il l'est à droite. C'est à ce phénomène qu'on a donné le nom de *polarisation rotatoire*. Il a été observé d'abord par Seebeck et Arago; mais il a été étudié surtout par Biot, qui en a trouvé les lois.

Lois. — 1° *La rotation du plan de polarisation n'est pas la même pour les diverses couleurs simples; elle est d'autant plus grande que ces couleurs sont plus réfrangibles.*

2° *Pour une même couleur simple et pour des plaques d'un même cristal, la rotation est proportionnelle à l'épaisseur.*

3° *Dans la rotation de droite à gauche ou de gauche à droite, la même épaisseur imprime sensiblement la même rotation.*

596. **Coloration produite par la polarisation rotatoire.** — Quand on regarde avec un prisme biréfringent une lame de quartz de quelques millimètres d'épaisseur, taillée perpendiculairement à l'axe, et traversée par un faisceau de lumière polarisée, on observe deux images vivement colorées : leurs teintes sont complémentaires, car, en se recouvrant par leurs bords, elles donnent du blanc (fig. 654). Et si l'on tourne alors le prisme, les deux images changent de teinte et prennent successivement toutes les couleurs du spectre, tout en continuant à être complémentaires.

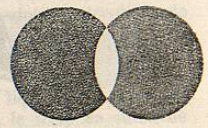

Fig. 654.

Ces phénomènes de coloration s'observent très bien avec l'appareil de Norremberg (fig. 652). Pour cela, on place sur l'écran *e* (fig. 653) une plaque de quartz *s*, taillée perpendi-

culairement à l'axe et fixée dans un disque de liège ; puis, la glace *n* (fig. 652) étant inclinée de manière à faire passer dans le quartz un faisceau polarisé, on regarde au travers d'un prisme biréfringent *g* (fig. 653), et, en faisant tourner le tube dans lequel est ce prisme, on observe les images complémentaires dont nous avons parlé ci-dessus.

Ce phénomène est une conséquence de la première loi. En effet, Biot a reconnu que le quartz fait tourner le plan de polarisation du rayon rouge de près de 17° 30′, celui du rayon violet de 44° 5′, et ceux des autres rayons d'angles intermédiaires ; par suite, lorsque la lumière polarisée qui a traversé la plaque de quartz émerge, les diverses couleurs simples qu'elle renferme sont polarisées dans des plans différents. Par conséquent, lorsque le faisceau ainsi transmis par le quartz est reçu à travers un prisme biréfringent qui le décompose en deux autres polarisés à angle droit (593, 3°), les diverses couleurs simples se partagent inégalement entre les deux images ordinaire et extraordinaire fournies par le prisme ; d'où il résulte que ces images sont nécessairement complémentaires, les couleurs qui manquent à l'une se retrouvant dans l'autre.

597. **Pouvoir rotatoire des liquides. — Expériences de Biot.** — Jusqu'en 1815 on ne connaissait que le pouvoir rotatoire du quartz. A cette époque, Biot

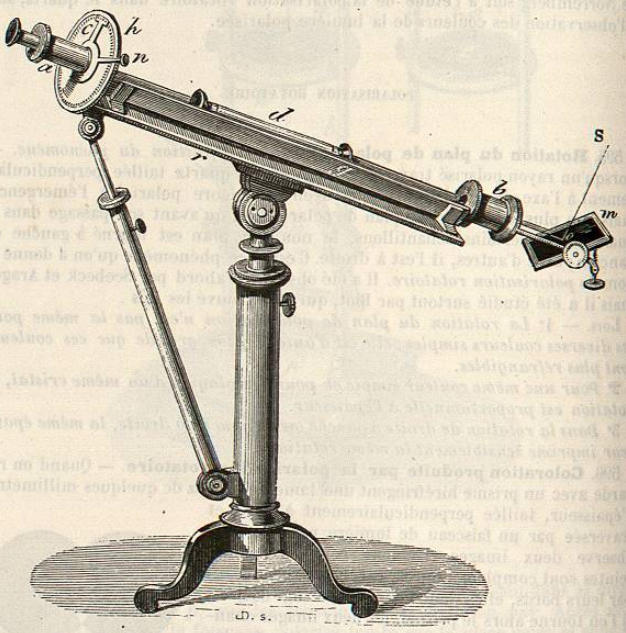

Fig. 655.

retrouva cette propriété dans un grand nombre de liquides, tels que l'eau sucrée, la solution d'acide tartrique, l'essence de térébenthine, etc.

1° *Appareil de Biot.* — La figure 655 représente l'appareil dont se servait Biot

pour étudier le pouvoir rotatoire des liquides. Dans une gouttière de cuivre *g*, fixée à un support *r*, est un tube *d* de 20 centimètres de long, où est renfermé le liquide sur lequel on veut expérimenter. Ce tube, qui est de cuivre, est étamé intérieurement et fermé à ses deux extrémités par deux glaces parallèles. En *m* est une glace de verre noir, faisant avec l'axe commun des tubes *b*, *d*, *a* un angle égal à l'angle de polarisation ; la lumière qu'elle réfléchit dans la direction *bda* est donc polarisée. Au centre du cercle divisé *h*, dans le tube *a*, et perpendiculairement à l'axe *bda*, est un prisme biréfringent achromatisé, qu'on peut tourner à volonté autour de l'axe de l'appareil au moyen d'un bouton *n*. Celui-ci est fixé à une alidade *c*, qui porte un vernier et qui marque le nombre de degrés dont on tourne. Enfin, d'après la position du miroir *m*, le plan de polarisation S*od* du faisceau réfléchi est vertical, et le zéro de la graduation sur le cercle *h* est dans ce plan.

2° *Opération.* — Avant qu'on ait placé le tube *d* dans la gouttière *g*, l'image extraordinaire fournie par le prisme biréfringent s'éteint toutes les fois que l'alidade *c* correspond au zéro de la graduation, parce qu'alors le prisme biréfringent est orienté de manière que sa section principale coïncide avec le plan de polarisation. Il en serait de même si le tube *d* était rempli d'eau ou de tout autre liquide *inactif*, comme l'alcool, l'éther : ce qui montre que le plan de polarisation ne tourne pas dans ce cas. Mais si l'on remplit le tube d'une dissolution de sucre de canne, ou de tout autre liquide *actif*, l'image extraordinaire reparaît, et pour l'éteindre il faut tourner l'alidade d'un certain angle à droite ou à gauche, suivant que le liquide est lévogyre ou dextrogyre, ce qui démontre que le plan de polarisation a tourné du même angle. Avec la dissolution de sucre de canne, la rotation a lieu vers la droite, et si, avec une même dissolution, on prend des tubes plus ou moins longs, on trouve que la rotation croît proportionnellement à la longueur, ce qui est conforme à la deuxième loi de Biot. Enfin si, avec un tube de longueur constante, on prend des dissolutions de plus en plus riches en sucre, la rotation croît comme la quanité de sucre dissoute.

Remarque. — Biot opérait avec de la lumière simple ; car, avec de la lumière blanche on aurait eu des phénomènes de coloration moins faciles à apprécier que l'extinction. Nous avons vu, en effet, que dans ce cas l'image extraordinaire ne disparaît complètement dans aucune position du prisme biréfringent : elle ne fait que changer de teinte. Biot plaçait donc dans le tube *a*, entre l'œil et le prisme biréfringent, un verre coloré en rouge par l'oxyde de cuivre, lequel ne laisse passer que de la lumière rouge. L'image extraordinaire s'éteint alors toutes les fois que la section principale du prisme coïncide avec le plan de polarisation du faisceau rouge.

3° *Résultats généraux.* — Biot trouva d'abord que, parmi les liquides ou les dissolutions qui jouissent du pouvoir rotatoire, les uns font tourner à droite le plan de polarisation, comme le *quartz droit*, et les autres le font tourner à gauche, comme le *quartz gauche*. Il nomma les premières substances *dextrogyres :* telles sont le *sucre de canne* (en dissolution dans l'eau), l'*essence de citron*, la *teinture de camphre* (dissolution alcoolique de camphre), la *dextrine*, l'acide tartrique ; il nomma les autres substances *lévogyres :* telles sont l'*essence de térébenthine*, l'*essence de laurier*, la *gomme arabique*.

Il trouva en outre que la rotation produite par les liquides est beaucoup moindre que celle du quartz, à épaisseur égale. Ainsi, le sirop de sucre de canne concentré, qui est une des substances les plus actives, fait tourner *trente-six fois moins* que le quartz.

Il trouva enfin que la rotation du plan de polarisation peut faire connaître, dans une dissolution, des altérations ou des changements de constitution que l'analyse chimique serait impuissante à révéler. Par exemple, le *sucre de raisin*