

céde ordinaire, le deviennent dans le phosphoscope; tel est, par exemple, le spath d'Islande. Les substances qui présentent le plus vif éclat dans cet appareil sont les composés d'uranium, qui commencent à répandre une lueur verte très-vive quand l'observateur peut les voir 0,003 ou 0,004 de seconde après l'insolation. Mais un grand nombre de substances ne présentent aucun effet dans le phosphoscope; tels sont le quartz, le soufre, le phosphore, les métaux et les liquides.

532. **Fluorescence.** — On nomme *fluorescence*, une sorte de phosphorescence instantanée, mais s'épuisant très-vite. Elle s'observe avec les solutions de sulfate de quinine, d'esculine, de chlorophylle, avec les verres d'urane, et avec certains échantillons de spath fluor. Lorsque ces substances sont exposées dans les rayons extrêmes du violet du spectre, même dans les rayons invisibles, elles prennent instantanément une teinte bleuâtre assez vive; ce qui indique que les rayons invisibles, placés au delà du spectre, sont transformés en rayons moins réfringibles. Les phénomènes de fluorescence ont surtout été étudiés par M. Stokes.

* CHAPITRE VIII.

DOUBLE RÉFRACTION, INTERFÉRENCE, POLARISATION.

533. **Double réfraction.** — On a déjà vu (463) que la *double réfraction* est la propriété que possèdent un grand nombre de cristaux de donner naissance, pour un seul rayon incident, à deux rayons réfractés; d'où il résulte que lorsqu'on regarde un objet au travers de ces cristaux, on le voit double. La double réfraction a d'abord été observée par Bartholin, en 1647; mais c'est Huyghens qui, le premier, en 1673, en donna une théorie complète.

Les cristaux qui possèdent la double réfraction sont dits *biréfringents*. Cette propriété s'observe, à des degrés inégaux, dans tous les cristaux qui n'appartiennent point au système cubique. Les corps cristallisés dans ce système, et ceux qui sont privés de cristallisation, comme le verre, ne possèdent pas la double réfraction, mais peuvent l'acquérir accidentellement, quand on les comprime inégalement, ou par la *trempe*, c'est-à-dire par le refroidissement brusque après avoir été chauffés. Les liquides et les gaz ne sont jamais biréfringents. De toutes les substances, celle qui présente le phénomène de la double réfraction d'une manière plus apparente, est le spath d'Islande, ou chaux carbonatée.

Fresnel a expliqué la double réfraction par une inégale densité de l'éther dans les cristaux biréfringents; d'où résulte une vitesse du mouvement vibratoire plus rapide dans une certaine direction qui est déterminée par l'état moléculaire du cristal. Cette hypothèse se trouve confirmée par la propriété qu'acquiert le verre de devenir biréfringent par la trempe et par la compression (381).

534. **Cristaux à un axe.** — Dans un cristal doué de la double réfraction, il y a toujours une ou deux directions suivant lesquelles on n'observe que la réfraction simple, c'est-à-dire suivant lesquelles on ne voit qu'une image des objets. Ces directions se nomment *axes optiques*, ou *axes de double réfraction*. Toutefois cette dernière dénomination est impropre, car c'est précisément dans la direction de ces axes que la double réfraction n'a pas lieu.

On nomme *cristaux à un axe*, ceux qui ne présentent qu'une direction où la lumière ne se bifurque pas, et *cristaux à deux axes*, ceux qui en présentent deux.

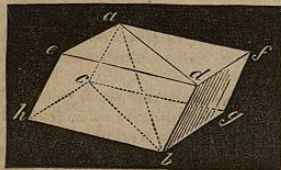


Fig. 420.

Les cristaux à un axe dont l'emploi est le plus fréquent dans les instruments d'optique, sont le spath d'Islande, le quartz et la tourmaline. Le spath a la forme d'un rhomboédre dont les faces sont inclinées de $103^{\circ} 5'$ (fig. 420). Les faces, au nombre de six, sont des rhombes ou losanges qui se réunissent, trois par trois, par leurs angles obtus, aux extrémités d'une droite *ab* qui est l'*axe de cristallisation*.

M. Brewster a constaté cette loi générale, dans les cristaux à un axe, que l'*axe de double réfraction coïncide toujours avec l'axe de cristallisation*.

On nomme *section principale* d'un cristal à un axe, le plan qui, passant par l'axe optique, est perpendiculaire à une face soit naturelle, soit artificielle du cristal.

535. **Rayon ordinaire et rayon extraordinaire.** — Des deux rayons réfractés auxquels donnent naissance les cristaux à un axe, l'un suit toujours les lois de la réfraction simple (464), mais l'autre n'est pas soumis à ces lois, c'est-à-dire que le rapport entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction n'est pas constant, et que le plan de réfraction ne coïncide pas avec le plan d'incidence. Le premier de ces rayons est dit le *rayon ordinaire*, et l'autre le *rayon extraordinaire*. Les images qui leur correspondent se désignent elles-mêmes sous les noms d'*image ordinaire* et d'*image extraordinaire*.

Le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire ont des indices différents: dans certains cristaux, c'est l'indice du rayon ordinaire qui est le plus grand; dans d'autres, c'est l'indice du rayon extraordinaire. Fresnel a nommé les premiers, *cristaux négatifs*, et les derniers, *cristaux positifs*. Le spath d'Islande, la tourmaline, le saphir, le rubis, l'émeraude, le mica, le prussiate de potasse, le phosphate de chaux, sont négatifs. Le quartz, le zircon, la glace, l'apophyllite à un seul axe, sont positifs. La classe des cristaux négatifs est beaucoup plus nombreuse que celle des cristaux positifs.

La figure 421 montre la marche des rayons dans le phénomène de la double réfraction, le parallélogramme *abcd* représentant une coupe principale d'un rhomboédre de spath d'Islande. Celui-ci étant posé sur un carton blanc, on regarde, au travers, un point noir *o* tracé sur le carton. Le rayon incident du point *o* se divise en deux rayons *oi* et *oe*, qui, se réfractant inégalement à l'émergence, donnent à l'œil deux images *o'* et *o''*.

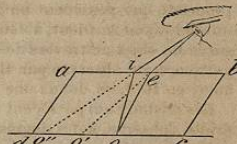


Fig. 421.

Si l'on tourne le rhomboédre sur lui-même en le tenant toujours appliqué sur le carton, une des images reste fixe, c'est l'image ordinaire, tandis que l'image extraordinaire tourne autour de la première; ce qui indique que le plan du rayon réfracté se déplace par rapport au plan d'incidence, et, par conséquent, que le rayon extraordinaire ne suit pas les lois de la réfraction simple.

536. **Lois de la double réfraction dans les cristaux à un axe.** — Le phénomène de la double réfraction, dans les cristaux à un axe, est soumis aux lois suivantes:

1^o Le *rayon ordinaire*, quel que soit son plan d'incidence, suit toujours les deux lois générales de la réfraction simple (464).

2^o Dans toute section perpendiculaire à l'axe, le rayon extraordinaire suit aussi ces deux lois comme le rayon ordinaire, mais son indice de réfraction n'est pas le même que celui de ce dernier rayon; de là la distinction en *indice ordinaire* et en *indice extraordinaire*.

3^o Dans toute section principale, le rayon extraordinaire ne suit que la seconde loi de la réfraction, c'est-à-dire que les plans d'incidence et de réfraction coïncident, mais que le rapport des sinus des angles d'incidence et de réfraction n'est pas constant.

4^o La vitesse de la lumière dans un cristal n'étant pas la même pour le rayon ordinaire que pour le rayon extraordinaire, la différence des carrés de ces deux vitesses est proportionnelle au carré du sinus de l'angle que le rayon extraordinaire fait avec l'axe.

Cette dernière loi est la traduction d'une formule empirique donnée par Biot pour lier entre elles les vitesses des deux rayons. Elle découle aussi de formules auxquelles Fresnel fut conduit par des considérations purement théoriques, et qui offrent cela de remarquable qu'on peut en déduire la formule de Biot.

Huyghens, qui, le premier, a donné une théorie complète de la double réfraction fondée sur le système des ondulations, a fait connaître une construction géométrique très-remarquable, à l'aide de laquelle on peut, dans toutes ses positions par rapport à l'axe, construire le rayon réfracté, quand on connaît son incidence; mais la théorie de Huyghens fut rejetée par les physiciens jusqu'à ce que Malus en eût établi l'exactitude par de nombreuses expériences.

337. **Lois de la double réfraction dans les cristaux à deux axes.** — Les cristaux à deux axes sont très-nombreux: de ce genre sont les sulfates de nickel, de magnésie, de baryte, de potasse, de fer, le sucre, le mica, la topaze du Brésil. Dans ces différents cristaux, l'angle des deux axes prend des valeurs très-différentes, car il varie depuis 3 jusqu'à 90 degrés.

Fresnel a découvert par la théorie et démontré par l'expérience que, dans les cristaux à deux axes, ni l'un ni l'autre des rayons réfractés ne suivent les lois de la réfraction simple; mais en appelant *ligne moyenne* et *ligne supplémentaire* les lignes qui divisent l'angle des deux axes et son supplément en deux parties égales, il a trouvé que, dans toute section perpendiculaire à la ligne moyenne, un des rayons réfractés suit les lois ordinaires de la réfraction, et que, dans toute section perpendiculaire à la ligne supplémentaire, c'est l'autre rayon qui suit ces lois.

On verra bientôt, dans les appareils de polarisation, de nombreuses applications de la double réfraction du spath d'Islande. Cette propriété a été aussi utilisée dans la lunette micrométrique de Rochon, appareil qui sert à mesurer le diamètre apparent des corps, et à l'aide duquel on peut déterminer la distance d'un objet quand sa grandeur est connue.

* DIFFRACTION, INTERFÉRENCE ET ANNEAUX COLORÉS.

538. **Diffraction et franges.** — La *diffraction* est une modification que subit la lumière quand elle rase le contour d'un corps, ou quand elle traverse une petite ouverture, modification en vertu de laquelle les rayons lumineux paraissent s'infléchir et pénétrer dans l'ombre. Pour observer le phénomène de la diffraction, on fait pénétrer un faisceau de lumière solaire par une ouverture très-petite pratiquée dans le volet d'une chambre obscure, et on le reçoit sur une lentille convergente L à court foyer (fig. 422). Un verre coloré en rouge est fixé à l'ouverture de la chambre noire, et ne laisse passer que de la lumière rouge. Un écran opaque e, à bord mince, et placé derrière la lentille, au delà de son foyer, intercepte une moitié du cône lumineux, tandis que l'autre va se projeter sur un écran B, représenté de face en B. Or, on observe alors, en dedans de l'ombre géométrique limitée par la droite ab, une lumière rougeâtre assez vive, qui décroît d'intensité à mesure que les points de l'écran sont plus éloignés de la limite de l'ombre; et sur la partie de l'écran qui devrait être uniformément éclairée, on remarque des alternatives de franges obscures et de franges lumineuses, qui vont en s'affaiblissant graduellement et finissent par disparaître complètement.

Les diverses couleurs du spectre donnent naissance au même phénomène, mais avec cette différence que les franges sont d'autant plus étroites, et, par conséquent, moins dilatées, que la lumière est moins réfrangible. Il résulte de cette dernière propriété que lorsqu'on expérimente avec de la lumière blanche, les franges de chaque couleur simple se trouvant séparées par leur inégale diffraction, celles qui se forment sur l'écran B sont irisées.

Si, au lieu d'interposer, entre la lentille L et l'écran B, les bords d'un corps

opaque, on y place un corps opaque très-étroit, comme un cheveu, ou un fil métallique très-fin, non-seulement il y a encore des franges alternativement obscures et lumineuses des deux côtés de la portion de l'écran qui correspond à l'ombre géométrique du corps, mais dans cette ombre même on aperçoit les mêmes alternatives de bandes obscures et de bandes lumineuses: c'est-à-dire qu'il se produit alors des franges extérieures et des franges intérieures.

C'est le père Grimaldi, de Bologne, qui fit connaître, le premier, en 1663, le phénomène de la diffraction et des franges, mais sans en donner l'explication. Newton essaya d'expliquer le phénomène de la diffraction, dans le système de l'émission, en admettant une action répulsive exercée par les corps sur les rayons lumineux, ce qui n'expliquait pas les franges intérieures. Thomas Young expliqua le phénomène de la diffraction, dans le système des ondulations, en l'attribuant à l'interférence (559) des rayons directs avec les rayons réfléchis par les bords des corps

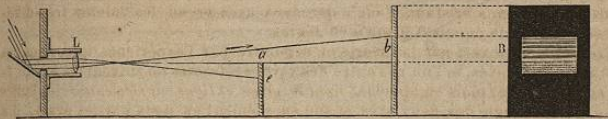


Fig. 422.

opaques. Mais il résulterait de cette théorie que la formation des franges devrait dépendre de la nature du corps opaque dont la lumière rase les contours, ainsi que de son degré de poli, ce qui est contraire à l'observation. C'est Fresnel qui a expliqué, le premier, tous les phénomènes de la diffraction, en se fondant toujours sur la théorie des ondes lumineuses (560).

539. **Interférence.** — On nomme *interférence*, une action mutuelle qu'exercent l'un sur l'autre deux rayons lumineux, lorsque, émis par une même source, ils se rencontrent sous un très-petit angle. Cette action peut s'observer très-simplement au moyen de l'expérience suivante: Par deux ouvertures circulaires très-petites, de même diamètre, et peu distantes l'une de l'autre, on introduit, dans une chambre obscure, deux faisceaux de lumière homogène, de lumière rouge par exemple; ce qui s'obtient en fixant aux deux ouvertures de la chambre noire des verres colorés en rouge, qui ne laissent passer que cette lumière. Les deux faisceaux formant, après leur entrée dans la chambre noire, deux cônes lumineux qui vont se rencontrer à une certaine distance, on les reçoit un peu au delà de leur point de rencontre, sur un carton blanc, et l'on remarque alors, dans le segment commun aux deux disques qui se forment sur cet écran, des franges d'une obscurité remarquable, formant des alternatives de rouge et de noir. Mais si l'on ferme l'une des deux ouvertures, les franges disparaissent et sont remplacées par une teinte rouge à peu près uniforme. De ce que les franges obscures disparaissent quand on intercepte un des faisceaux, on conclut qu'elles sont le résultat de la rencontre des deux faisceaux qui se croisent obliquement.

Cette expérience est due à Grimaldi, qui en avait tiré cette conséquence remarquable, que de la lumière ajoutée à de la lumière produit de l'obscurité. Dans l'expérience décrite ci-dessus, il y a diffraction, car les rayons lumineux rasent les bords des ouvertures; mais, sans faire intervenir ce phénomène, on peut faire interférer deux faisceaux au moyen de l'appareil suivant, dû à Fresnel.

Deux miroirs plans M et N (fig. 423), de métal, sont disposés à côté l'un de l'autre, de manière à former un angle MON très-obtus. Une lentille hémicylindrique L, à court foyer, concentre, en avant de ces miroirs, un faisceau de lumière rouge introduit dans la chambre noire, lequel tombe en partie sur l'un des miroirs et en partie sur l'autre. Les ondes lumineuses, après s'être réfléchies, viennent se rencontrer sous un très-petit angle, comme le montre la figure, plus près du

miroir N que du miroir M; et si on les reçoit alors sur un écran blanc, on observe, sur celui-ci, des bandes alternativement sombres et brillantes, parallèles à la ligne d'intersection des deux miroirs et symétriquement disposées des deux côtés du plan OKA qui passe par la ligne d'intersection des miroirs, et partage en deux parties égales l'angle que forment entre eux les rayons réfléchis.

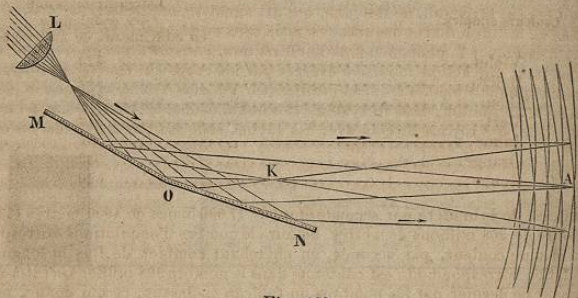


Fig. 423.

Si l'on arrête la lumière qui tombe sur l'un des miroirs, les franges disparaissent : résultat identique avec celui de l'expérience précédente.

Enfin, si l'on fait passer le faisceau déjà réfléchi par l'un des miroirs, au travers d'une lame de verre à faces parallèles, toutes les franges sont déplacées, à droite ou à gauche, d'une quantité qui augmente avec l'épaisseur de la lame. Cette dernière expérience montre que l'action mutuelle des rayons qui se rencontrent est modifiée par la substance qu'ils traversent, et l'on en a déduit que la lumière se propage moins vite dans le verre que dans l'air.

560. **Principe des interférences.** — Le phénomène des interférences, de même que celui de la diffraction, ne peut s'expliquer dans le système de l'émission; mais Fresnel en a donné une explication complète dans le système des ondulations. Dans ce système, les molécules de l'éther étant animées d'un mouvement de va-et-vient extrêmement rapide (429), on nomme *longueur d'ondulation*, l'espace qu'embrassent l'aller et le retour de chaque molécule d'éther, et *demi-ondulation*, l'aller ou le retour seul; en sorte qu'une ondulation complète se compose de deux demi-ondulations de sens contraire. Cela posé, lorsque deux systèmes d'ondulations de même longueur et de même intensité se propagent suivant une même direction, si l'un des systèmes est en avance ou en retard sur l'autre, juste d'un nombre pair de demi-longueurs d'ondulation, les deux systèmes s'ajoutent pour imprimer à l'éther un mouvement dans le même sens, et l'intensité de la lumière est doublée; mais si, au contraire, un système est en retard sur l'autre d'un nombre impair de demi-ondulations, les mouvements imprimés à l'éther se détruisent, et il en résulte de l'obscurité.

Telle est l'explication des franges sombres et lumineuses observées dans les expériences de Fresnel et de Grimaldi. Les franges observées dans la diffraction se rapportent à la même cause.

Les deux expériences décrites ci-dessus (359) ayant été faites avec de la lumière rouge, les franges étaient alternativement noires et rouges; mais si on les répète avec de la lumière blanche, les franges sont irisées. Pour expliquer cette coloration, il faut remarquer que la largeur des franges varie avec chaque couleur simple: il en résulte que, quand on fait interférer deux faisceaux de lumière blanche, les franges dues à chaque couleur se séparent, ce qui produit l'irisatation qu'on observe. On voit que cette explication est la même que celle des couleurs dans la diffraction.

561. **Longueur des ondulations, cause des couleurs.** — En mesurant avec précision l'intervalle de deux franges consécutives, dans le phénomène des interférences, Fresnel en a déduit par le calcul la longueur des ondulations de l'éther, et il a reconnu que cette longueur n'est pas la même pour tous les rayons colorés, mais va en augmentant du violet au rouge, comme le montre le tableau suivant :

Couleurs simples.	Longueur moyenne des ondulations en millièmes de millimètre.
Violet.....	423
Indigo.....	449
Bleu.....	475
Vert.....	512
Jaune.....	551
Orangé.....	583
Rouge.....	620

La vitesse de la lumière par seconde étant de 77 000 lieues de 4000 mètres (433), c'est-à-dire de 308 millions de mètres, on aura le nombre d'ondulations correspondant à chaque couleur, par seconde, en cherchant combien de fois la longueur d'ondulation correspondante est contenue dans le nombre 308 millions, c'est-à-dire en divisant ce dernier par les nombres du tableau ci-dessus; ce qui donne, pour le rayon violet, plus de 728 millions de millions d'ondulations par seconde, et, pour le rayon rouge, plus de 496 millions de millions. A chaque couleur simple correspondant ainsi un nombre d'ondulations qui lui est propre, on voit que la théorie des ondulations conduit à admettre que c'est le nombre de vibrations que font les molécules de l'éther, en un temps donné, qui détermine la nature des couleurs, de même que c'est le nombre des ondes sonores qui produit les différents sons.

562. **Couleurs des lames minces, anneaux de Newton.** — Tous les corps diaphanes, solides, liquides ou gazeux, lorsqu'ils sont réduits en lames suffisamment minces, paraissent colorés de nuances extrêmement vives, surtout par réflexion. Les cristaux qui se clivent en feuilles très-minces, comme le mica, le gypse, présentent ce phénomène; il en est de même de la nacre et du verre soufflé en boule très-mince. Une goutte d'huile étalée rapidement sur une grande masse d'eau présente toutes les nuances du spectre dans un ordre constant. Une bulle de savon paraît blanche d'abord; mais à mesure qu'on l'enfle, on voit apparaître de brillantes teintes irisées, surtout à la partie supérieure où l'enveloppe liquide qui forme la bulle est plus mince. Ces couleurs se disposent en zones concentriques horizontales autour du sommet, qui devient noir au moment où il n'a plus l'épaisseur suffisante pour réfléchir la lumière, et la bulle crève alors subitement.



Fig. 424.



Fig. 425.

Newton, qui, le premier, étudia le phénomène des anneaux colorés dans les bulles de savon, voulant constater la relation qui existe entre l'épaisseur de la lame mince, la couleur des anneaux et leur étendue, produisait ceux-ci au moyen d'une couche d'air interposée entre deux verres, l'un plan, l'autre convexe et à très-long foyer (fig. 424). Les deux surfaces étant essuyées et exposées devant une fenêtre, à la lumière du jour, de manière à les voir par réflexion, on aperçoit,

au point de contact, une tache noire entourée d'anneaux colorés, au nombre de six ou sept, dont les teintes s'affaiblissent graduellement (fig. 425). Si les verres sont vus par transmission, le centre des anneaux est blanc, et les couleurs de chacun d'eux sont exactement complémentaires de celles des anneaux par réflexion.

Avec une lumière homogène, la couleur rouge, par exemple, les anneaux sont successivement noirs et rouges, et d'un diamètre d'autant moindre que la couleur est plus réfrangible; mais avec de la lumière blanche, les anneaux sont colorés des différentes couleurs du spectre, ce qui provient de ce que les anneaux des différentes couleurs simples ayant des diamètres différents, les anneaux ne se superposent pas, mais se séparent plus ou moins.

Si la distance focale de la lentille est de 3 à 4 mètres, les anneaux peuvent s'observer à l'œil nu; mais si le foyer est plus rapproché, il faut regarder les anneaux avec une loupe.

En calculant l'épaisseur de la couche d'air comprise entre la lame et la lentille, Newton a trouvé que, pour les anneaux obscurs, ces épaisseurs sont entre elles comme la suite des nombres pairs 0, 2, 4, 6...; et que, pour les anneaux brillants, ces mêmes épaisseurs varient comme la suite des nombres impairs 1, 3, 5, 7...; ces rapports étant indépendants de la courbure de la lentille et de la couleur des rayons qui la traversent. Newton a trouvé, en outre, que l'épaisseur de la couche d'air interposée diminue à mesure que la réfrangibilité augmente, cette épaisseur est de 161 millièmes de millimètre pour le rouge extrême du premier ordre, c'est-à-dire correspondant au premier anneau brillant, tandis que, pour le violet extrême, cette épaisseur n'est plus que de 101 millièmes de millimètre. Enfin, pour des anneaux de même ordre, c'est-à-dire de même rang, les diamètres sont d'autant plus grands, que la couleur simple qui tombe sur la lentille est moins réfrangible.

La coloration des lames minces et des anneaux de Newton est un phénomène d'interférence qui résulte de ce que les rayons qui se sont réfléchis sur la seconde surface de la lame interfèrent avec ceux que la première surface a réfléchis. Quant aux anneaux vus par réflexion, ils résultent de l'interférence des rayons transmis directement avec les rayons qui ne sont transmis qu'après deux réflexions intérieures sur les faces de la lame (444).

563. **Phénomènes des réseaux.** — On nomme *réseau*, en optique, une série de raies opaques et de raies transparentes très-rapprochées les unes des autres. Tels sont les traits parallèles qu'on grave au diamant, sur verre, pour former les micromètres (310). Les traits sont ici la partie opaque du réseau. Si l'on reçoit, par transmission, la lumière d'une bougie à travers un pareil réseau contenant 100 traits par millimètre, on aperçoit une suite de petits spectres ayant le rouge en dehors et le bleu en dedans. La même chose a lieu si l'on regarde la flamme d'une bougie à travers les barbes d'une plume placée près de l'œil. Cette coloration est encore un phénomène d'interférence.

* POLARISATION.

564. **Polarisation par réflexion.** — La *polarisation* est une modification particulière des rayons lumineux, en vertu de laquelle, une fois réfléchis ou réfractés, ils deviennent incapables de se réfléchir ou de se réfracter de nouveau dans certaines directions. Le nom de polarisation a été adopté pour caractériser ces nouvelles propriétés de la lumière, parce que, pour les expliquer dans la théorie de l'émission, on admet que les molécules lumineuses ont des pôles et des axes qui, par la réflexion sous un certain angle, se tournent tous dans une même direction. La polarisation a été découverte en 1810 par Malus, physicien français, mort deux ans plus tard.

La lumière se polarise par réflexion ou par réfraction. Réfléchi sur une glace de verre noir, la lumière se polarise lorsque la réflexion se produit sous un angle

de $35^{\circ} 25'$ avec la glace. Voici quelques-unes des propriétés que possède alors le rayon polarisé :

1^o Ce rayon n'éprouve aucune réflexion en tombant sur une seconde lame de verre, sous le même angle de $35^{\circ} 25'$, si le plan d'incidence sur cette seconde lame est perpendiculaire au plan d'incidence sur la première, tandis qu'il se réfléchit plus ou moins sous les autres incidences.

2^o Transmis au travers d'un prisme biréfringent (568, 3^o), il ne donne qu'une image, si la section principale est parallèle ou perpendiculaire au plan d'incidence, tandis que, dans toute autre position par rapport à ce plan, il donne deux images plus ou moins intenses.

3^o Il ne peut pas se transmettre au travers d'une plaque de tourmaline (568, 2^o) dont l'axe de cristallisation est parallèle au plan d'incidence, et se transmet au contraire d'autant plus facilement, que l'axe de la tourmaline approche davantage de la direction perpendiculaire à ce plan.

Tous les corps peuvent, comme le verre, polariser la lumière par réflexion, mais plus ou moins complètement et sous des angles d'incidence inégaux. 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.

565. **Angle et plan de polarisation.** — L'*angle de polarisation* d'une substance est l'angle que doit faire le rayon incident avec une surface plane et polie de cette substance, pour que le rayon réfléchi soit polarisé le plus complètement possible. Pour l'eau, cet angle est de $37^{\circ} 15'$; pour le verre, de $35^{\circ} 25'$; pour le quartz, de $32^{\circ} 28'$; pour le diamant, de 22° ; il est de $33^{\circ} 30'$ pour l'obsidienne, espèce de verre noir naturel qui polarise très-bien la lumière.

M. Brewster a fait connaître, sur l'angle de polarisation, la loi suivante, remarquable par sa simplicité : L'*angle de polarisation est l'angle d'incidence pour lequel le rayon réfléchi est perpendiculaire au rayon réfracté*. Toutefois cette loi n'est pas applicable à la lumière réfléchie par les cristaux biréfringents.

Dans la polarisation par réflexion, on nomme *plan de polarisation* le plan de réflexion dans lequel la lumière se trouve polarisée; ce plan coïncide avec le plan d'incidence, et contient, par conséquent, l'angle de polarisation. C'est dans ce plan que, réfléchi une première fois, la lumière ne peut se réfléchir sous l'angle de polarisation dans un plan perpendiculaire au premier; c'est encore dans ce plan qu'elle n'est pas transmissible au travers d'une tourmaline dont l'axe est parallèle au plan. Tout rayon polarisé par réfraction possède aussi un plan de polarisation, c'est-à-dire un plan dans lequel il présente les propriétés qu'on vient d'énoncer.

566. **Polarisation par simple réfraction.** — Quand un rayon de lumière non polarisée tombe sur une lame de verre à faces parallèles, sous l'angle de polarisation, il n'est qu'en partie réfléchi; l'autre partie traverse la lame en se réfractant, et la lumière transmise est polarisée partiellement dans un plan perpendiculaire au plan de réflexion, et, par conséquent, au plan de polarisation de la lumière qui a été polarisée par réflexion. Arago a observé, en outre, que le faisceau réfléchi et le faisceau réfracté contiennent une égale quantité de lumière polarisée, et que la réunion de ces deux faisceaux donne de la lumière naturelle. On peut donc regarder la lumière ordinaire comme formée de deux faisceaux égaux polarisés à angle droit.

Une seule lame de verre ne polarisant jamais complètement la lumière, on peut en réunir plusieurs qu'on superpose, et qui, par des réflexions et des réfractions successives, produisent un effet plus complet. Des lames de verre ainsi réunies forment ce qu'on appelle une *pile de glaces*, appareil qu'on utilise fréquemment pour obtenir un faisceau de lumière polarisée.

567. **Polarisation par double réfraction.** — La lumière se polarise par double réfraction, lorsqu'elle traverse un cristal de spath d'Islande ou de toute autre sub-

stance biréfringente; les deux faisceaux, distincts à leur émergence, sont tous les deux polarisés entièrement, mais dans des plans différents, qui sont exactement ou très-sensiblement perpendiculaires entre eux. Pour le démontrer, on regarde au travers d'un rhomboïdre de spath d'Islande un point noir tracé sur une feuille de papier. A l'œil nu, on aperçoit deux images qui présentent le même éclat; mais si l'on interpose une tourmaline qu'on fait tourner dans son propre plan, chaque image disparaît et reparaît deux fois dans une révolution de la tourmaline, ce qui fait voir que les deux rayons émergents sont polarisés dans des plans perpendiculaires entre eux (568, 2°). L'image ordinaire s'éteint au moment où l'axe de la tourmaline est parallèle à la section principale de la surface d'incidence, et l'image extraordinaire au moment où ce même axe est perpendiculaire à cette même section; on conclut de là que le faisceau ordinaire est polarisé dans le plan de la section principale, et le faisceau extraordinaire dans un plan perpendiculaire à cette section.

568. **Polariscope ou analyseurs.** — On nomme *polariscope*, ou *analyseurs*, de petits instruments qui servent à reconnaître quand la lumière est polarisée, et à déterminer son 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 décrites ci-dessus (566).

1° *Glace noire.* — On verra ci-après, dans l'appareil que représente la figure 429, qu'une glace noire *m* fait reconnaître si la lumière est polarisée, en refusant de la réfléchir sous l'angle de polarisation, quand le plan d'incidence sur cette glace est perpendiculaire au plan de polarisation; la glace *m* est donc un analyseur.

2° *Tourmaline.* — L'analyseur le plus simple est une lame de tourmaline brune taillée parallèlement à son axe de cristallisation. Ce minéral, qui est biréfringent, a la propriété de ne laisser passer que la lumière naturelle et la lumière polarisée dans un plan perpendiculaire à son axe; 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. 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. C'est le rayon extraordinaire qui passe dans une tourmaline taillée parallèlement à l'axe; le rayon ordinaire est complètement absorbé, du moins si la tourmaline est suffisamment colorée.

3° *Prisme biréfringent.* — On construit, avec le spath d'Islande, des prismes biréfringents qui sont employés comme analyseurs dans plusieurs instruments d'optique, notamment dans l'appareil de Biot pour étudier la polarisation circulaire (fig. 432). 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 second prisme de verre, d'un angle tel, qu'en réfractant la lumière en sens contraire, il détruit à peu près complètement l'effet de la dispersion. On obtient le maximum d'écart entre l'image ordinaire et l'image extraordinaire en taillant le prisme biréfringent de manière que ses arêtes soient parallèles ou perpendiculaires à l'axe optique du cristal.

Le prisme biréfringent étant fixé à l'extrémité d'un tube de cuivre (fig. 426), 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



Fig. 426.

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 que prend le prisme biréfringent, l'intensité relative des images varie. On voit, en même temps, que 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.

4° *Prisme de Nicol.* — Le prisme de Nicol est l'analyseur le plus précieux, parce qu'il est tout à fait incolore, qu'il polarise complètement la lumière, et qu'il ne transmet qu'un seul rayon polarisé dans la direction de son axe.

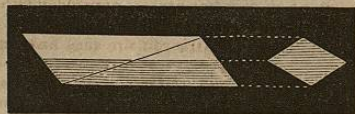


Fig. 427.

Pour le construire, on prend un rhomboïdre 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 rejoint les deux moitiés dans le même ordre avec du baume de Canada. Le parallélépipède ainsi construit constitue le prisme de Nicol (fig. 427).

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 qu'un faisceau lumineux *SC* (fig. 428) pénétrant dans le prisme, le rayon ordinaire éprouve sur la surface *ab* la réflexion totale, et prend la direction *CdO*,

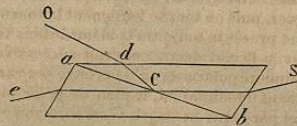


Fig. 428.

tandis que le rayon extraordinaire *Cc* passe seul; c'est-à-dire que le prisme de Nicol, de même que la tourmaline, ne laisse passer que le rayon extraordinaire. Il peut donc servir d'analyseur comme la tourmaline. On l'utilise aussi, sous le nom de *polariseur*, pour obtenir un faisceau de lumière blanche polarisée. Le prisme biréfringent sert au même usage.

569. **Appareil de Noremborg.** — Noremborg a imaginé un appareil simple et peu dispendieux, à l'aide duquel on peut répéter la plupart des expériences relatives à la lumière polarisée. Cet appareil se compose de deux colonnes *b* et *d* (fig. 429), de cuivre, 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 plateau gradué *i* 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 *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, différentes inclinaisons, et porte un écran noir *e*, percé à son centre d'une ouverture circulaire.

Cela posé, la glace n faisant, avec la verticale, un angle de $35^{\circ} 25'$, c'est-à-dire égal à l'angle de polarisation du verre, les rayons lumineux Sn , qui rencontrent cette glace sous cet angle, se polarisent (364) et 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 $35^{\circ} 25'$, puisque cette glace fait précisément le même angle avec la verticale.

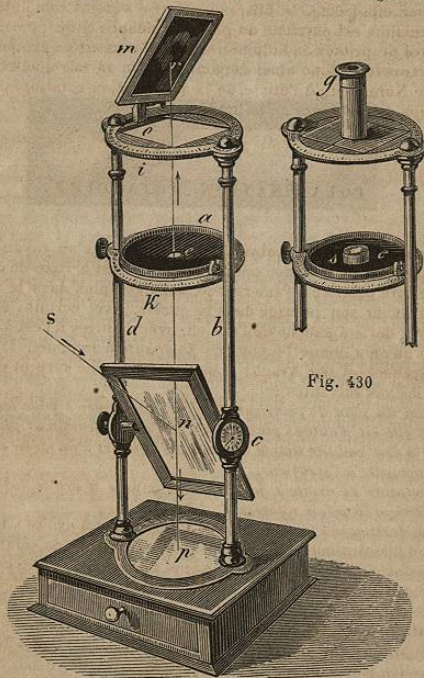


Fig. 429.

Or, si l'on fait mouvoir 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 Sn sur la glace n . Telle est la position représentée dans le dessin ci-dessus. Dans toute autre position, le faisceau polarisé est 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 $35^{\circ} 25'$, le faisceau polarisé est toujours réfléchi dans toutes les positions du plan d'incidence.

Quand, au lieu de recevoir la lumière polarisée sur la glace noire m , on la reçoit sur un prisme biréfringent (368, 3^e) placé dans un tube g (fig. 430), on n'obtient qu'une image toutes les fois que le plan de la section principale du prisme

coïncide avec le plan de 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 biréfringent, on voit deux images dont l'intensité varie 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 Sn .

Les différentes propriétés de la lumière polarisée énoncées précédemment (364, 1^e, 2^e et 3^e) se trouvent donc ainsi démontrées. On va voir d'autres applications de l'appareil de Noremburg à l'étude de la polarisation rotatoire dans le quartz, et à l'observation des couleurs de la lumière polarisée.

* POLARISATION ROTATOIRE.

370. **Rotation du plan de polarisation.** — 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 dévié 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 par Arago; mais il a été étudié surtout par Biot, qui a fait connaître les lois suivantes :

1^o La rotation du plan de polarisation n'est pas la même pour les diverses couleurs simples, et elle est d'autant plus grande que ces couleurs sont plus réfringibles.

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

3^o Dans la rotation de droite à gauche ou de gauche à droite, la même épaisseur imprime sensiblement la même rotation.

On a nommé *dextrogyres* les substances qui tournent à droite : tels sont le sucre de canne en dissolution dans l'eau, l'essence de citron, la solution alcoolique de camphre, la dextrine et l'acide tartrique; et l'on a appelé *lévogyres* les substances qui tournent à gauche, comme l'essence de térébenthine, l'essence de laurier, la gomme arabique.

371. **Coloration produite par la polarisation circulaire.** — 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, dont les teintes sont complémentaires, car, en se recouvrant par leurs bords, les deux images donnent du blanc (fig. 431). En tournant alors le prisme à droite ou à gauche, les deux images changent de teintes et prennent successivement toutes les couleurs du spectre, tout en continuant à être complémentaires.

Ce phénomène est une conséquence de la première loi sur la polarisation circulaire (470, 1^o). En effet, Biot ayant reconnu que le quartz fait tourner le plan de polarisation du rayon rouge de près de $17^{\circ} 30'$, et celui du rayon violet de $44^{\circ} 5'$, il résulte de la grande différence de ces deux angles que, lorsque la lumière polarisée qui a traversé la plaque de quartz ci-dessus émerge, les diverses couleurs simples qu'elle renferme sont polarisées dans des plans différents. Par conséquent, lorsque le faisceau ainsi transmis par



Fig. 431.

le quartz est reçu à travers un prisme biréfringent qui le décompose en deux autres polarisés à angles droits (367), les diverses couleurs simples se partagent inégalement entre les deux images ordinaires et extraordinaires 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.

Ces phénomènes de coloration s'observent très-bien au moyen de l'appareil de Noremburg (fig. 429). Pour cela, on place sur l'écran *e* (fig. 430) une plaque de quartz *s*, taillée perpendiculairement à l'axe et fixée dans un disque de liège, puis, la glace *n* (fig. 429) étant inclinée de manière à faire passer dans le quartz un faisceau polarisé, on regarde au travers d'un prisme réfringent *g* (fig. 430), et en faisant tourner le tube dans lequel est ce prisme, on observe les images complémentaires fournies par le passage, dans le quartz, de la lumière polarisée (fig. 431).

372. **Pouvoir rotatoire des liquides.** — Le quartz est la seule substance solide dans laquelle on ait observé la polarisation circulaire; mais Biot a retrouvé

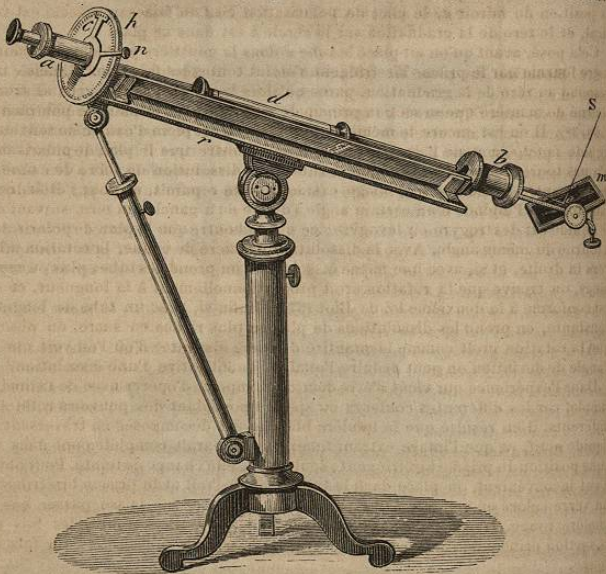


Fig. 432.

la même propriété dans un grand nombre de liquides et de dissolutions. Le même savant a observé, en outre, que le déplacement du plan de polarisation peut faire connaître des différences de composition dans des corps où l'on n'en distingue aucune par l'analyse chimique. Par exemple, le sucre de raisin fait tourner à gauche le plan de polarisation, tandis que le sucre de canne le fait tourner à droite, quoique la composition chimique de ces deux sucres soit la même.

Biot a trouvé que le pouvoir rotatoire des liquides est beaucoup moindre que celui du quartz. Dans le sirop de sucre de canne concentré, qui est un des liquides qui possèdent le pouvoir rotatoire au plus haut degré, ce pouvoir est

trente-six fois moindre que dans le quartz, d'où il résulte qu'on est forcé d'opérer sur des colonnes liquides d'une assez grande longueur, 20 centimètres environ.

La figure 432 représente l'appareil qui a été adopté par Biot pour mesurer 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, fixées par deux viroles à vis. En *m* est une glace de verre noirci, faisant avec l'axe des tubes *b*, *d*, *a*, qui est le même pour tous les trois, un angle égal à l'angle de polarisation; d'où il résulte que la lumière réfléchiée par la glace *m*, dans la direction *bda*, est 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 *n*, le plan de polarisation *Sod* du faisceau réfléchi est vertical, et le zéro de la graduation sur le cercle *h* est dans ce plan.

Cela posé, 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 se trouve tourné de manière que sa section principale coïncide avec le plan de polarisation (368, 3^e). Il en est encore de même quand le tube *d* est plein d'eau ou de tout autre liquide *inactif*, comme l'alcool, l'éther, ce qui montre que le plan de polarisation n'a pas tourné. Mais si l'on remplit le tube d'une dissolution de sucre de canne ou de tout autre liquide *actif*, l'image extraordinaire reparait, et pour l'éteindre, il faut tourner l'alidade d'un certain angle à droite ou à gauche du zéro, suivant que le liquide est dextrogyre ou lévogyre: 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 (370). Enfin si, avec un tube de longueur constante, on prend les dissolutions de plus en plus riches en sucre, on observe que la rotation croît comme la quantité de sucre dissoute; d'où l'on voit que de l'angle de déviation on peut déduire l'analyse quantitative d'une dissolution.

Dans l'expérience qui vient d'être décrite, il importe d'opérer avec de la lumière simple, car les différentes couleurs du spectre possédant des pouvoirs rotatoires différents, il en résulte que la lumière blanche est décomposée en traversant un liquide actif, et que l'image extraordinaire ne disparaît complètement dans aucune position du prisme biréfringent; seulement, elle change de teinte. Pour obvier à cet inconvénient, on place 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 la lumière rouge. L'image extraordinaire s'éteint donc alors toutes les fois que la section principale du prisme coïncide avec le plan de polarisation du faisceau rouge.

373. **Saccharimètre de Soleil.** — Soleil a utilisé la propriété rotatoire des liquides, découverte par Biot, pour construire un appareil destiné à analyser les substances saccharifères; d'où vient le nom de *saccharimètre* donné à cet appareil.

La figure 433 représente le saccharimètre fixé horizontalement sur son pied, et la figure 434 en donne une coupe longitudinale avec les modifications que lui a apportées M. Duboscq. Cet instrument, simple au point de vue pratique, ne laisse pas que d'être compliqué au point de vue théorique, car il suppose connus les principaux phénomènes de la réfraction et de la polarisation.

Le principe de cet appareil n'est pas l'amplitude de la rotation du plan de polarisation, comme dans celui de Biot, décrit ci-dessus (372), mais la *compensa-*