

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<sup>re</sup> 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

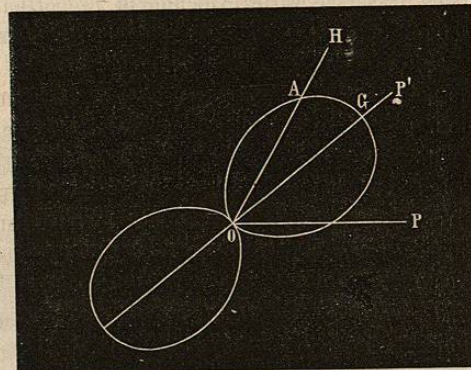


Fig. 345.

plan de polarisation. On peut satisfaire à cette condition en employant deux prismes  $PP'$  (fig. 348) rectangles allongés qui glissent l'un sur l'autre en s'appuyant par leurs faces hypothénuses; l'épaisseur de la lame traversée varie évidemment proportionnellement au déplacement latéral; ce système est souvent employé sous le nom de *compensateur*.

On appelle *pouvoir rotatoire* d'un corps l'angle dont tourne le plan de polarisation pour une épaisseur de 1 millimètre de ce corps. A cause de la proportionnalité, ce pouvoir rotatoire se détermine en observant la rotation pour une épaisseur quelconque.

Les mesures prises en opérant successivement avec des lumières simples diverses, montrent que le pouvoir rotatoire varie avec la réfrangibilité du rayon considéré et que, en général, au moins, le pouvoir rotatoire croît avec elle.

Voici les pouvoirs rotatoires du quartz pour quelques-unes des lumières simples :

Rouge extrême.....	17° 30'
Jaune moyen.....	24° 00'
Limite du vert et du bleu.....	30° 02'
Limite de l'indigo et du violet.....	37° 52'
Violet extrême.....	44° 05'

2<sup>e</sup> LOI. Si l'on place à la suite, sur le trajet d'un faisceau polarisé, diverses substances actives, la rotation totale du plan de polarisation est la somme algébrique des rotations partielles.

Cette loi signifie, au fond, que l'effet d'une substance active n'est pas modifiée par le passage antérieur à travers une autre substance active.

Si deux substances agissent dans le même sens la rotation totale est la somme des rotations partielles; elle est la différence des rotations partielles agissant en sens contraire.

C'est pour réunir ces deux cas en une seule règle qu'on introduit la notion de somme algébrique; on convient que les rotations à droite sont caractérisées par le signe + et les rotations à gauche par le signe —.

3<sup>e</sup> LOI. Lorsqu'une substance active est dissoute dans un liquide inactif, pour une même épaisseur traversée, la rotation du plan de polarisation est proportionnelle à la quantité de substance active.

Cette loi, qui est trop simple pour qu'il soit nécessaire d'insister, est importante au point de vue des applications, comme nous le dirons.

686. — Bien que les lois qui régissent la rotation du plan de polarisation soient les mêmes pour toutes les radiations, les effets observés, lorsqu'on répète les expériences précédentes avec de la lumière composée, sont très différents comme apparence de ceux que nous venons d'indiquer : cette différence tient à ce que les valeurs des pouvoirs rotatoires ne sont pas les mêmes pour toutes les radiations et est analogue aux

différences que nous avons indiquées pour l'absorption (301) et pour les interférences (666), lorsqu'on remplace une lumière simple par une lumière composée.

Considérons une lumière composée, formée seulement de trois lumières simples et ayant traversé un polariseur qui l'a polarisée de manière que le plan de polarisation ait la direction  $OP$  (fig. 346). Faisons passer ce faisceau de lumière polarisée à travers une substance active qui aura pour effet de faire tourner le plan de polarisation pour chacune des lumières simples; seulement l'angle de rotation n'est pas le même pour les diverses lumières. Supposons

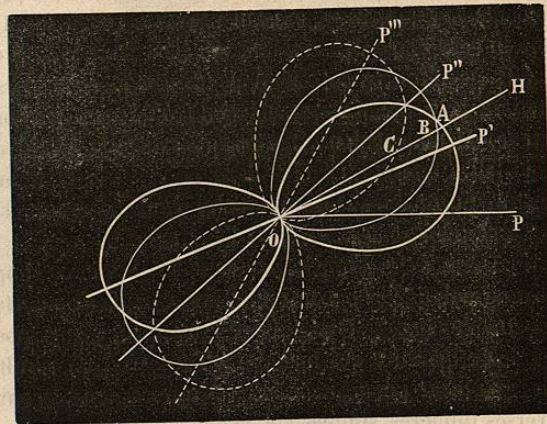


Fig. 346.

que les plans de polarisation prennent respectivement les positions  $OP'$ ,  $OP''$ ,  $OP'''$ , le déplacement étant d'autant plus grand que la lumière est plus réfrangible. Les courbes qui caractérisent les intensités après le passage dans l'analyseur auront pris les positions indiquées par la figure, la ligne en trait fort correspondant à la lumière la moins réfrangible, la ligne en traits interrompus correspondant à la lumière la plus réfrangible.

Supposons maintenant que la lumière traverse un analyseur, et soit  $OH$  la direction de sa section principale; nous savons que les trois lumières auront des intensités qui seront représentées par les longueurs des rayons vecteurs,  $OA$  pour la lumière la moins réfrangible,  $OB$  pour la suivante,  $OC$  pour la plus réfrangible. L'observateur recevra donc un mélange dans lequel les diverses lumières n'auront pas les mêmes proportions que dans la lumière primitive : la couleur ne sera plus celle que fournissait le faisceau avant l'interposition de la substance active.

De plus, en changeant la position de la section principale, en faisant tourner l'analyseur, les proportions des lumières simples changeront d'une manière continue et il en sera de même, par conséquent, de la lumière observée.

On voit, notamment, que si la section principale de l'analyseur  $OH$  arrive à être perpendiculaire à  $OP'$  la lumière correspondante sera complètement éteinte; elle n'existera plus dans le faisceau reçu par l'observateur.

Bien entendu, les effets seraient les mêmes, mais les variations plus complexes encore, si le faisceau incident contenait, non pas seulement trois lumières simples, mais un plus grand nombre.

Dans le cas de la lumière blanche, lorsque, en particulier, la teinte jaune qui est la plus lumineuse est éteinte, la couleur obtenue prend une teinte *gris de lin* que Biot a désignée sous le nom de *teinte sensible*, parce qu'elle se modifie très vivement même pour de petits déplacements de l'analyseur, passant presque brusquement au rouge pour un certain sens de ce déplacement, au bleu pour le sens opposé.

687. — D'après ce que nous avons dit (679) lorsqu'un faisceau de lumière polarisée traverse un spath d'Islande fonctionnant comme analyseur, on obtient deux images qui sont en général d'inégale intensité, mais telles que l'on trouve dans l'une toute la lumière qui manque à l'autre, puisque si l'on réunit les deux faisceaux, l'intensité demeure constante malgré la rotation de l'analyseur.

Il en sera de même pour chacune des lumières simples composant un faisceau polarisé qui a traversé une couche de substance active : dans chacune des images fournies par le spath, il y aura pour chaque lumière simple la quantité qui manque à l'autre. Il en résulte que si les deux faisceaux sont superposés, on retrouvera dans la partie commune, les diverses lumières simples en même quantité que dans le faisceau incident : cette partie commune devra donc présenter la même coloration que celle qu'aurait donnée directement ce faisceau incident.

En particulier, si le faisceau incident était composé de lumière blanche, la partie commune sera blanche et, par suite, les teintes des deux images seront complémentaires.

Le faisceau incident doit avoir une largeur assez grande pour que l'image ordinaire et l'image extraordinaire se superposent en partie.

Pour vérifier la constance de la couleur blanche de la partie commune, il faut avoir soin de masquer avec un écran opaque les deux lunules colorées. Sans cela l'existence de ces parties de couleurs vives ne permet pas d'apprécier la teinte exacte de la partie intermédiaire.

688. **Saccharimétrie.** — La saccharimétrie a pour but de déterminer, par l'application des effets de la rotation du plan de polarisation, la quantité de matière sucrée active contenue en dissolution dans un liquide inactif. Elle est appliquée notamment à la détermination de la quantité de matière sucrée contenue dans l'urine, détermination de grande importance au point de vue de la clinique.

Divers appareils sont employés pour faire cette détermination ; nous en décrirons seulement deux : le *saccharimètre à teinte sensible* de Soleil (fig. 347), le *saccharimètre à pénombre* de Laurent (fig. 351).

Le saccharimètre de Soleil comprend, montées sur le même axe et fixées dans des garnitures en laiton, les pièces suivantes : un Nicol N

(fig. 348) qui recevant de la lumière blanche la polarise, comme nous l'avons dit ; un *biquartz* Q, disque circulaire de quartz composé de deux

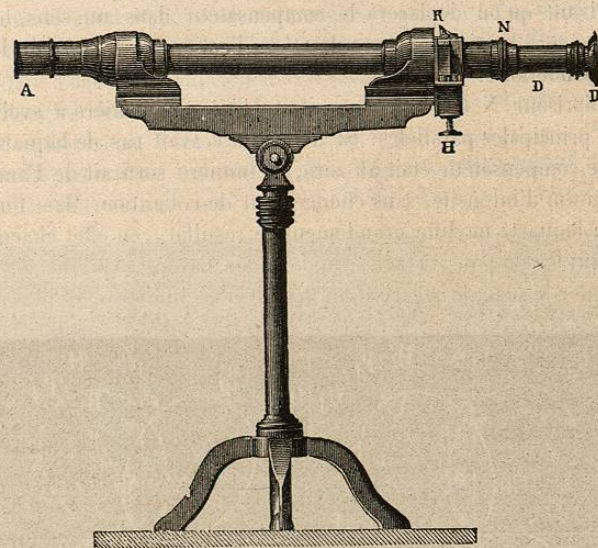


Fig. 347.

parties demi-circulaires ajustées ensemble, mais dont l'une provient d'un quartz dextrogyre, l'autre d'un quartz lévogyre. Après ce biquartz se

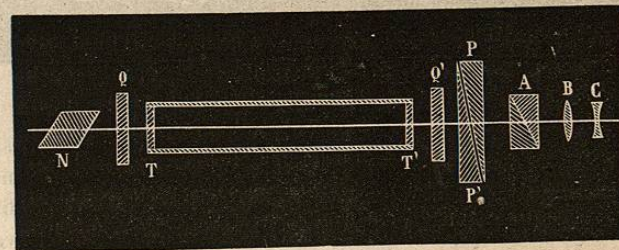


Fig. 348.

trouve un espace vide de 20 centim. de longueur environ dans lequel on introduira un tube contenant le liquide à analyser ; au delà viennent successivement un quartz lévogyre Q', un prisme compensateur PP' de quartz dextrogyre, un analyseur A (un Nicol ou un prisme biréfringent analogue à celui décrit au n° 435) ; enfin, à la suite, deux lentilles B et C constituant une lunette de Galilée et permettant de voir nettement le biquartz.

Le prisme compensateur, dont les déplacements sont évalués sur une échelle, a été choisi de telles dimensions que lorsque l'index est au zéro

de la graduation, son épaisseur est précisément égale à celle du quartz lévogyre  $Q'$  : les effets de ces deux quartz s'annulent donc absolument ; mais suivant qu'on déplacera le compensateur dans un sens ou dans l'autre, ce sera l'action lévogyre de  $Q'$  ou l'action dextrogyre de  $PP'$  qui sera prépondérante.

Le polariseur  $N$  et l'analyseur sont placés de manière à avoir leurs sections principales parallèles. Si donc il n'y avait pas de biquartz et si le prisme compensateur était au zéro, la lumière sortirait de l'analyseur au maximum d'intensité, sans changement de coloration. Mais l'interposition du biquartz modifie grandement le résultat : en effet chacune des moitiés qui le compose va agir comme nous l'avons expliqué ci-dessus, fera tourner le plan de polarisation des diverses lumières simples et don-

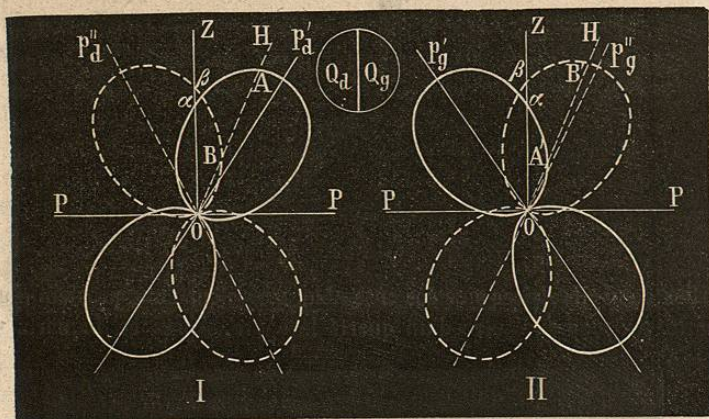


Fig. 349.

nera une coloration particulière ; seulement, les déplacements des plans de polarisation tout en étant de même valeur auront eu lieu en sens contraire. Si, par exemple, le plan de polarisation est horizontal, les dispositions des courbes représentatives des intensités seraient respectivement celles indiquées en I (fig. 349) pour le quartz dextrogyre, celles indiquées en II pour le quartz lévogyre. Si l'analyseur a sa section  $OH$  dirigée d'une façon quelconque les lumières reçues ne seront pas composées de la même façon pour les deux quartz, les colorations seront différentes. (La figure suppose qu'il n'y a que deux lumières simples dans la lumière incidente pour plus de simplicité.) Mais si la section principale de l'analyseur a pour direction soit celle du plan de polarisation  $PP$ , soit la direction perpendiculaire  $OZ$ , à cause de la symétrie des figures, les rayons vecteurs  $O\alpha$ ,  $O\beta$  seront les mêmes en I et en II et, par suite, les faisceaux reçus par l'observateur auront la même composition, donneront la même couleur. Ajoutons que l'épaisseur de la lame du biquartz a été choisie

de telle façon que cette coloration soit justement celle de la teinte sensible.

L'appareil étant réglé dans ces conditions si, entre les deux quartz  $Q$  et  $Q'$ , on introduit un tube  $TT$  contenant une dissolution d'une substance active dans l'eau, cette substance fera tourner tous les plans de polarisation, d'angles différents pour les diverses lumières simples, mais tous dans le même sens, à droite, par exemple. Les plans  $p'_a, p''_a$  correspondant au biquartz droit s'écartent davantage du plan primitif de polarisation  $PP'$  et viendront en  $p'''_a, p''''_a$  (fig. 350) : les courbes représentatives

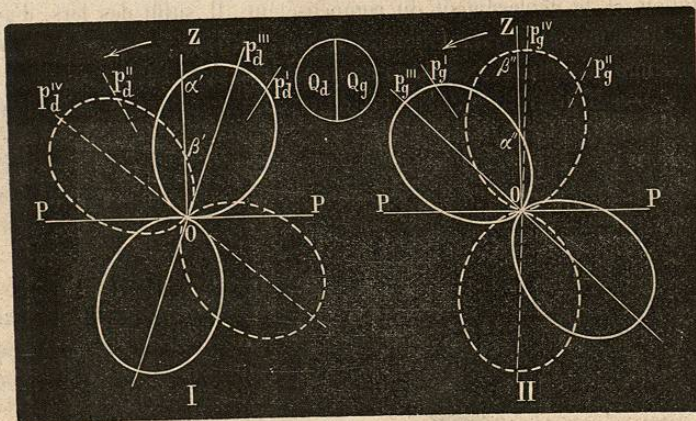


Fig. 350.

des intensités sont entraînées naturellement avec ces droites mêmes. Au contraire, les plans  $p'_g$  et  $p''_g$  correspondant au biquartz gauche se rapprocheront du plan primitif de polarisation  $PP'$  ; les courbes représentatives suivront ce mouvement.

Dans ces nouvelles conditions, la section principale de l'analyseur étant restée invariable en  $ZZ'$ , les rayons vecteurs  $O\alpha'$ ,  $O\beta'$ ,  $O\alpha''$ ,  $O\beta''$  des courbes correspondantes de gauche et de droite ne seront plus égaux, les lumières n'auront plus la même composition, les deux images correspondant aux moitiés du biquartz apparaîtront avec des couleurs différentes.

Ce changement de couleur, rendu très manifeste à cause de la propriété signalée pour la teinte sensible, permet de reconnaître l'existence d'une substance active, ce qui suffit dans quelques cas ; mais, en général, il faut arriver à doser cette substance.

A cet effet, on agit sur le prisme compensateur, qu'on déplace dans un sens ou dans l'autre, jusqu'à ramener l'égalité de coloration des deux moitiés de l'image circulaire que l'on regarde. Lorsque cette condition est réalisée, c'est que l'ensemble du quartz  $Q'$  et du compensateur  $PP'$  produit un effet égal et contraire à l'effet de la substance

active interposée. On comprend donc que l'on puisse, par une étude préalable faite directement sur des dissolutions de nature et de dosage connus, déduire du déplacement du compensateur la quantité existant dans le liquide en expérience. Cette détermination est d'autant plus facile qu'il y a proportionnalité, d'une part entre la quantité de substance active en dissolution et la rotation des plans de polarisation, et, d'autre part, entre les variations d'épaisseur du compensateur ou, ce qui revient au même, entre ses déplacements et la rotation des plans de polarisation. Il y a donc, en somme, proportionnalité entre la quantité de substance active en dissolution et le déplacement du compensateur. Il suffit dès lors, d'avoir déterminé une fois pour toutes le déplacement du compensateur pour 1 gramme de la substance active en dissolution dans l'eau.

689. — L'appareil de Soleil est d'un maniement commode et donne,

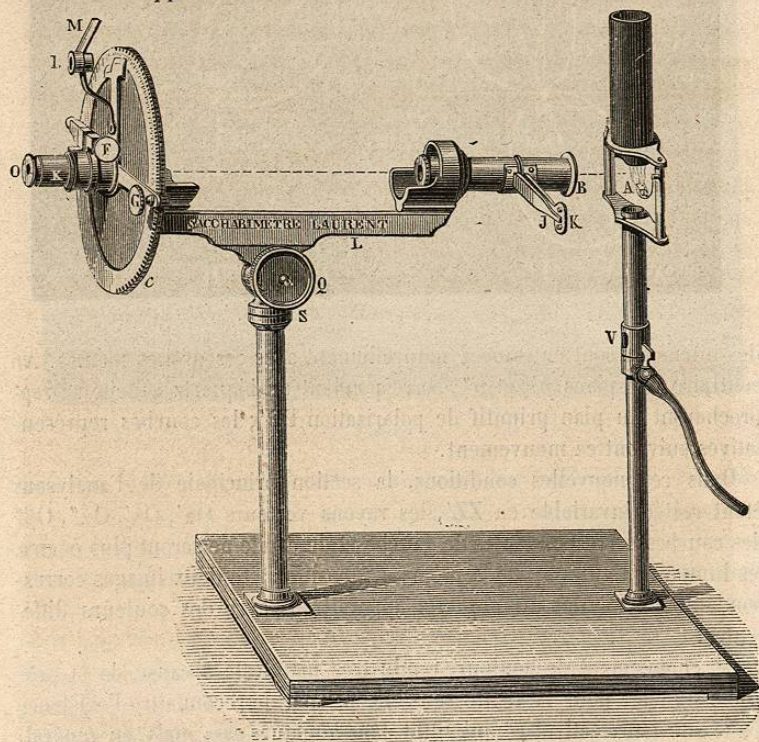


Fig. 351.

en général, une exactitude suffisante : il présente seulement l'inconvénient que son emploi repose sur la comparaison de colorations diverses ou semblables et que, non seulement tout le monde ne présente pas à cet égard la même sensibilité, mais que cette comparaison peut être rendue impossible pour les daltoniens (454).

Cet inconvénient a été évité dans les saccharimètres à pénombre dont il existe différents modèles; nous décrirons seulement celui de Laurent.

Le saccharimètre à pénombre de Laurent (fig. 351) présente la même forme générale que le précédent; on y trouve successivement les pièces suivantes : un Nicol B servant comme polariseur et derrière, occupant seulement la moitié du champ, une lame mince de mica; après la place réservée à la substance active, on rencontre un analyseur qui peut tourner autour de l'axe de l'appareil et dont un index se déplaçant sur un cercle gradué *c* permet de mesurer la rotation; derrière se trouvent comme dans l'appareil de Soleil deux lentilles constituant une lunette de Galilée K.

Voyons maintenant comment fonctionne cet appareil : Pour s'en servir on fait usage de lumière monochromatique jaune, produite par l'introduction de sel marin dans la flamme d'un bec Bunsen A. De plus, un petit cristal de bichromate de potassium est placé à l'extrémité de l'appareil et, à cause de sa coloration propre, concourt à assurer l'emploi d'un faisceau monochromatique.

Ce faisceau jaune traverse le polariseur et est polarisé comme nous l'avons indiqué : la partie qui passe librement conserve la direction du plan de polarisation; mais la lame de mica, dont l'épaisseur a été choisie spécialement, change la direction du plan de polarisation, en vertu d'un phénomène que nous ne pouvons analyser ici.

Il arrive donc sur l'analyseur deux demi-faisceaux ayant des plans de polarisation différents; pour le premier I (fig. 352) la courbe représen-

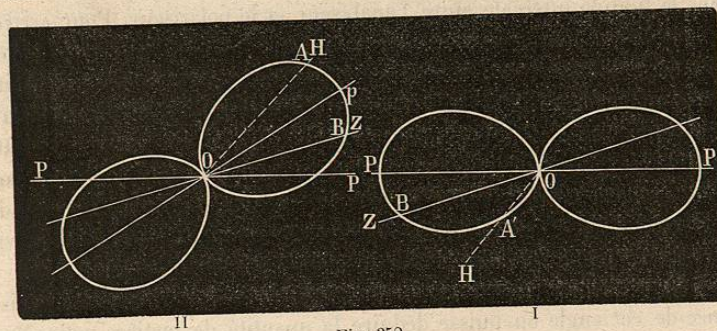


Fig. 352.

tative des intensités après le passage dans l'analyseur a pour axe la direction PP du plan primitif de polarisation; pour le second II, la courbe représentative aura pour axe une autre direction *Op*. Si la section principale de l'analyseur OH a une direction quelconque, les rayons vecteurs OA, OA' des deux courbes seront inégaux et par suite les faisceaux émergents de l'analyseur auront des intensités différentes, les éclaircissements des deux parties du champ vu par l'observateur seront inégaux.

Mais si, faisant tourner la section principale de l'analyseur, on l'amène à être également inclinée sur les deux plans de polarisation, en OZ, les deux rayons vecteurs OB, OB' seront égaux, les deux moitiés de l'image seront également éclairées.

Si l'on interpose une substance active, dextrogyre, par exemple, entre le polariseur et l'analyseur, les deux plans de polarisation tourneront du même angle et viendront, le premier OP en Op (fig. 353), le second Op',

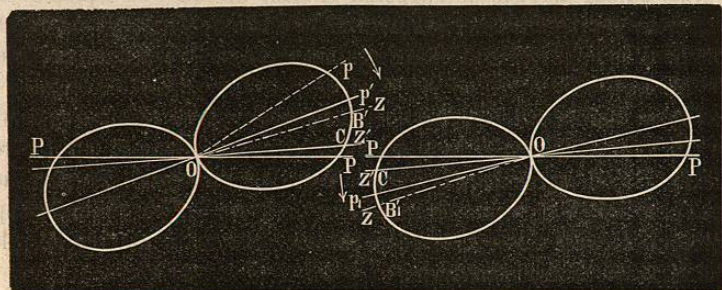


Fig. 353.

en Op'. Les rayons vecteurs OB, OB' correspondant à la direction précédemment donnée à la section principale OZ de l'analyseur ne sont plus égaux, les deux faisceaux émergents n'ont plus la même intensité : les deux moitiés du champ n'ont plus le même éclaircissement. Ce résultat suffirait pour permettre d'affirmer l'existence d'une substance active dans le liquide intercalé entre l'analyseur et le polariseur. Pour arriver au dosage, il suffit, à cause de la proportionnalité (3<sup>e</sup> loi, 685) de mesurer l'angle dont ont tourné les plans de polarisation. Pour faire cette mesure, on fait tourner la section principale de l'analyseur jusqu'à ramener l'égalité d'éclaircissement des deux moitiés du champ : lorsque cette condition sera remplie, c'est que, comme précédemment, cette section principale OZ' sera également inclinée sur les deux nouveaux plans de polarisation ; l'angle dont tourne cette section principale est égal évidemment à l'angle dont ont tourné les plans de polarisation.

Sans qu'il soit nécessaire d'insister, on comprend que de la connaissance de cet angle on puisse déduire la quantité de matière active dissoute, si, par une mesure préalable, on a déterminé l'angle de rotation qui correspond à 1 gramme de substance active en dissolution.

L'appareil est commode, il ne présente pas les inconvénients signalés pour celui de Soleil, puisqu'il y a seulement à comparer l'éclaircissement de deux champs présentant la même coloration ; enfin il peut donner des résultats plus précis. Seulement, les éclaircissements observés étant faibles en valeur absolue, il faut opérer dans l'obscurité.

690. **Microscope polarisant.** — Diverses substances placées entre un

analyseur et un polariseur produisent des phénomènes particuliers comme la production de teintes uniformes, analogues à celles dues à l'action des substances actives mais prenant naissance dans des conditions différentes. Dans d'autres cas, on observe des courbes de forme variable et présentant des couleurs irisées.

Ces effets que la théorie a complètement expliqués se produisent avec des lames minces de substances cristallisées ou non, de substance uniaxiales ou biréfringentes et même de substances organisées. Les effets produits étant toujours les mêmes dans les mêmes conditions, ils sont donc caractéristiques ; de plus ils se manifestent même pour des parcelles très petites des corps considérés. On comprend donc qu'il peut y avoir intérêt à appliquer cette méthode d'examen à l'étude des corps microscopiques : « L'importance de cet examen, dit Ch. Robin dans son *Traité du Microscope*, est assez grande pour que si, habituellement, on a deux microscopes sur sa table de travail, on doive laisser à demeure le prisme de Nicol sous celui qui est muni de faibles objectifs. »

Lorsqu'on veut appliquer la lumière polarisée à l'étude des corps microscopiques, on place sous la platine un Nicol qui polarise la lumière avant que celle-ci traverse l'objet ; la marche de la lumière dans les lentilles de l'appareil n'est pas modifiée (678) et l'image se fait de la même façon et dans les mêmes conditions ; elle ne présenterait aucune particularité si elle était regardée directement à travers l'oculaire ; mais si derrière celui-ci on place un Nicol faisant fonction d'analyseur, on voit apparaître les phénomènes de coloration dont nous avons indiqué l'existence et dans le détail desquels nous n'avons pas à entrer. L'existence de colorations, de courbes irisées de formes variées, permet de reconnaître la présence de certaines substances dont il ne serait pas possible de déterminer la nature par l'observation directe.