

QUATRIÈME PARTIE

RADIATIONS

I

CONSTITUTION DES RADIATIONS

La lumière qui nous arrive du soleil ou des diverses sources éclairantes n'est pas une chose simple. Newton a montré le premier qu'en faisant tomber un faisceau lumineux provenant du soleil sur un prisme de verre, le faisceau était non seulement dévié de sa direction première, mais subissait des modifications de couleur suivant une loi constante. La lumière incidente était blanche et donnait une tache de cette couleur sur un écran inter-

posé sur le trajet du faisceau. En passant à travers le prisme il se produisait par réfraction une déviation vers la base de ce prisme en même temps qu'un étalement perpendiculaire à l'arête. Vue de face la tache sur l'écran présentait avant le prisme l'aspect A, et après le prisme l'aspect B. La tache B, au lieu d'être uniformément blanche comme A, avait une série de colorations

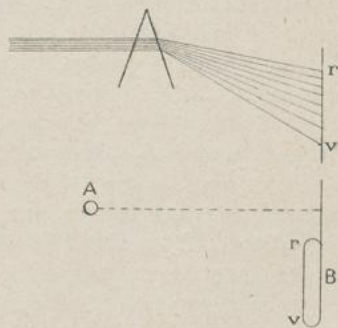


Fig. 251.

commençant par du rouge du côté le moins dévié et se terminant par du violet du côté le plus dévié. Newton classa la série des teintes qu'il observa en sept couleurs se succédant toujours dans l'ordre

suivant : Rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet. Cette classification est absolument arbitraire, car il y a une variation continue de teinte du rouge au violet; on pourrait adopter un autre nombre quelconque.

L'expérience de Newton est aisée à répéter avec la lumière d'une source naturelle ou artificielle, un bec de gaz, une lampe. On forme ce que l'on appelle un spectre lumineux.

Il y a lieu de se demander quel est le mécanisme de ce phénomène; la lumière a-t-elle été modifiée dans ses propriétés, ou ces différentes radiations colorées que nous observons à la sortie du prisme existaient-elles dans la lumière blanche incidente? Newton a complètement résolu la question de la façon suivante. La lumière blanche est un mélange de radiations colorées qui, par réfraction, se séparent les unes des autres, par suite de leur indice de réfraction, différent pour chacune d'elles dans une même substance. On peut en effet, après le passage de la lumière à travers le prisme, isoler une radiation de couleur quelconque et, par les procédés connus en optique, mesurer l'indice de réfraction de cette radiation. On constate en prenant une partie limitée du spectre, c'est-à-dire un faisceau assez pur, que ce faisceau ne se disperse plus par le passage à travers un second prisme comme le faisait le faisceau blanc, il ne contient donc qu'une radiation simple, son indice de réfraction croit graduellement pour les couleurs passant du rouge jusqu'au violet. Donc la lumière blanche a bien été décomposée en radiations simples, c'est-à-dire non décomposables elles-mêmes. Ces radiations ayant des indices différents sont d'autant plus déviées par leur passage à travers le prisme que l'indice est plus grand, et c'est ce qui explique leur séparation. Si maintenant, à l'aide d'un artifice quelconque, et ils sont nombreux, on mélange de nouveau les diverses radiations simples, on reproduit le blanc; on peut, pour cela, placer par exemple sur le faisceau décomposé un prisme de sens inverse du premier.

Il n'est pas indispensable pour obtenir de la lumière blanche de mélanger toutes les couleurs du spectre. L'expérience prouve, en effet, que l'on arrive à ce résultat par diverses combinaisons de radiations. Ainsi, il suffit de prendre, dans une proportion convenable, du rouge et du vert, ou bien du bleu et du jaune, ou encore de l'orangé et du violet, etc. Deux couleurs qui par le mélange donnent du blanc sont dites complémentaires; en particulier on obtiendra toujours deux teintes complémentaires en divi-

sant le spectre en deux parties. Ainsi prenant d'un côté, le rouge, l'orangé, le jaune et le vert, leur mélange donnera une certaine teinte complémentaire du mélange formée par le bleu, l'indigo, le violet, puisque le tout ensemble donne du blanc. Au premier abord il semble étrange qu'un mélange de lumière jaune et bleue donne du blanc, on est habitué à lui voir former du vert, nous verrons plus loin que dans ce cas on ne mélange pas en réalité les deux couleurs en question.

En général, la plupart des sources lumineuses dont nous disposons émettent une foule de radiations simples, du rouge au violet sans interruption, nous verrons que l'on peut produire des sources n'émettant qu'une radiation absolument simple; on a alors une lumière dite monochromatique. Ou bien il peut y avoir dans une lumière deux, trois, un nombre quelconque, mais mesurable de radiations simples.

Les corps de la nature ne nous envoient que la lumière qu'ils reçoivent du soleil. En se déplaçant dans une chambre noire sans fenêtre ni ouverture d'aucune sorte, ni source lumineuse artificielle on ne voit rien, tout est absolument sombre. Si l'on introduit dans la chambre une lumière monochromatique, tout prend la couleur de cette lumière, il n'y a que des différences d'intensité, tous les crayons d'une boîte de pastels par exemple paraissent gris plus ou moins foncé, un artiste s'en servant pour exécuter un dessin croit faire une grisaille; mais quelle surprise quand on laisse pénétrer la lumière du jour, toutes les couleurs ont été confondues. A la lumière du jour les corps absorbent une partie de cette lumière et ne diffusent vers nous que ce qu'ils n'absorbent pas, ils ont donc la couleur complémentaire de cette lumière absorbée, et l'on conçoit que suivant la source éclairante leur couleur variera. On sait combien il est difficile d'obtenir un éclairage artificiel respectant la valeur des teintes exécutées sur un tableau dans la journée, ou inversement. Cela tient à ce que la lumière du jour et les sources lumineuses que nous pouvons créer n'ont pas absolument la même composition. Elles contiennent les mêmes radiations simples, mais leur proportion varie; généralement les sources artificielles contiennent plus de jaune que la lumière solaire; les teintes des corps seront faussées par un excès de jaune.

Quand on prend un corps transparent et qu'on l'interpose sur le trajet d'un faisceau lumineux, une partie de la lumière seule-

ment le traverse, le reste est absorbé; là encore, par transparence, le corps prend la couleur complémentaire de ce qui est absorbé. Nous allons à cette occasion faire comprendre comment, quoique le jaune et le bleu soient complémentaires on obtient du vert par superposition de verres bleus et jaunes. Un verre jaune se laisse généralement traverser par toute la partie du spectre au-dessous du bleu, c'est-à-dire par le rouge, orangé, jaune et vert, le mélange de tout cela donne une teinte jaune. Un verre bleu se laisse traverser par le vert, bleu, indigo, violet dont le mélange donne une teinte bleue. Superposons les deux verres, l'un d'eux se charge d'arrêter le bleu, indigo, violet, l'autre le rouge, orangé, jaune, il n'y a que le vert qui passe, et cependant si on avait mélangé par un artifice quelconque les radiations traversant les deux verres colorés placés l'un à côté de l'autre on aurait pu avoir du blanc.

Il s'agit maintenant de savoir en quoi consistent les radiations simples. La nature de ces radiations a provoqué une des discussions les plus célèbres dans l'histoire de la science, les noms des savants les plus éminents y sont mêlés. Pendant longtemps on crut avec Newton que les corps lumineux émettent de petits particules qui traversaient l'espace et les corps transparents en ligne droite, pour aller frapper la rétine et l'impressionner. Il fut, au contraire, démontré par Fresnel qu'un point lumineux est le siège d'un mouvement vibratoire qui se transmet dans toutes les directions autour de lui, comme l'ondulation à la surface d'une eau tranquille se propage à partir du point où l'on a jeté une pierre. Dans le cas de la pierre tombant dans l'eau, c'est une seule ondulation, ou deux parfois, qui se propagent ainsi; dans le cas du point lumineux le même phénomène se répète périodiquement avec une fréquence variant selon la couleur de la lumière, fréquence d'autant plus grande qu'on se déplace davantage du rouge vers le violet. C'est comme si, au lieu de jeter une pierre dans l'eau, on en faisait tomber une série interrompue, à des intervalles égaux.

En somme, dans la théorie de Newton, dite de l'émission, des particules matérielles se propagent depuis la source lumineuse jusqu'aux divers points éclairés. Dans la théorie de Fresnel, dite des ondulations, il n'y a pas de transport de matière: un certain milieu, interposé entre la source de lumière et les points éclairés, se met en vibration, de même que l'air vibre sous l'influence d'un son qui le traverse.

La démonstration de Fresnel a pour base ce que l'on nomme

l'interférence de la lumière, et son expérience cruciale est dite des deux miroirs. Il est trop souvent question d'interférences en biologie pour que nous ne précisions pas ici la nature de ce phénomène souvent mal interprété; nous allons donc exposer avec quelques détails l'expérience des deux miroirs.

Le mouvement pendulaire. — Considérons un pendule suspendu en un point o , écartons-le d'un angle α de sa position d'équilibre et abandonnons-le (fig. 252). Nous savons, en admettant qu'il n'éprouve aucune résistance, qu'il décrira de part et d'autre de sa position d'équilibre une série d'oscillations isochrones d'amplitude constante. On dit que le point A est animé d'un mouvement pendulaire. Nous pouvons représenter ce phénomène par une courbe, en portant les temps en abscisses à partir d'une origine o , et en ordonnées les distances du pendule à la position d'équilibre A (fig. 253), ces ordonnées seront portées au-dessus de oA et au-dessous pour les déplacements à droite de oA et au-dessous pour les déplacements à gauche, par exemple. La courbe ainsi obtenue est ce que l'on appelle une *sinusoïde*. Naturellement les ordonnées maximales seront d'autant plus grandes que les oscillations du pendule sont

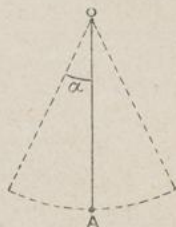


Fig. 252.



Fig. 253.

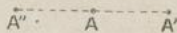


Fig. 254.

plus amples; mais pour un même pendule la distance entre deux recouvrements de la courbe avec ot restera constante, puisque l'on sait que les durées d'oscillations d'un pendule sont constantes.

On arrive aux mêmes conclusions quand, au lieu de prendre un pendule, on prend l'extrémité d'un diapason qui vibre, ou si l'on considère un point A (fig. 254) qui, écarté de sa position d'équilibre, tend à y revenir par suite de forces élastiques ou autres, et qui vibrera entre A' et A'' de part et d'autre de A .

Supposons qu'un pareil point vibrant dans l'espace transmette, par un procédé quelconque, son mouvement aux points voisins. De

proche en proche chaque point prendra un mouvement pendulaire, l'espace sera traversé par un mouvement vibratoire qui sera continu si le point d'origine continue à vibrer. Ce mouvement se trans-

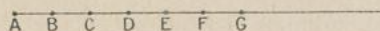


Fig. 255.

mettra de proche en proche avec une vitesse dépendant de la nature du milieu traversé.

Soit A (fig. 255) l'origine du mouvement, B, C, D, E, etc., des points successifs auxquels le mouvement s'est transmis, comme ce mouvement s'est transmis de proche en proche, les divers points

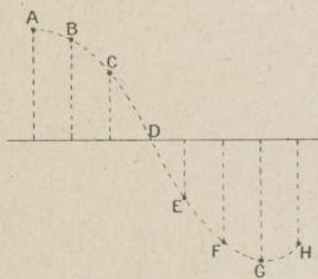


Fig. 256.

considérés ne sont pas dans les mêmes conditions, le déplacement actuel de B est celui que A avait un instant auparavant, car il a fallu un certain temps au déplacement pour se transmettre de A en B, autrement dit B est un peu en retard sur A, de même C sur B et ainsi de suite. Si nous figurions les positions des divers points à un moment donné on aurait

une disposition comme celle de la figure 256, ce serait encore une sinusoïde.

Donc à chaque instant les divers points de la trajectoire parcourue par un mouvement vibratoire se trouvent sur une sinusoïde. Pour avoir la représentation du mouvement en chaque point il faut se figurer que cette sinusoïde se déplace dans le sens de la propagation de la vibration avec une vitesse dépendant de la nature du milieu.

Ainsi, en résumé, nous avons en A (fig. 257) un mouvement vibratoire pendulaire et nous voulons avoir la représentation de la propagation de ce mouvement suivant AX; traçons sur AX une sinusoïde dont l'amplitude, c'est-à-dire l'ordonnée maxima et la distance entre deux points analogues, dépend, dans le milieu sur lequel on opère, de la nature du mouvement en A, et supposons-la animée, dans le sens F de la propagation, d'une vitesse dépendant de la nature du milieu; on aura ainsi l'image de ce qui se passe. On se rend en effet très bien compte du mouvement vibratoire perpendiculaire à AX que prendra un point tel que B, entre B' et B".

On voit aussi que B et C ont les mêmes mouvements, mais que ces deux mouvements ne sont pas simultanés, l'un est en retard sur l'autre.

On voit aussi qu'il y a toute une série de points qui se comportent d'une façon identique : ainsi tous les points D, D', etc. Pour chaque point il suffira de chercher les autres points se

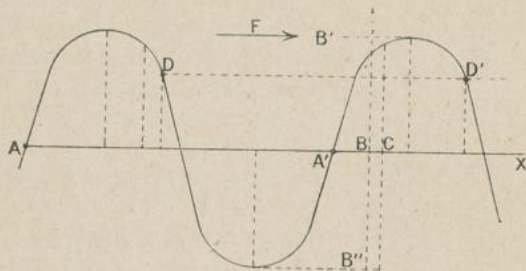


Fig. 257.

trouvant placés de même par rapport à la courbe, il est évident que lors du mouvement tous ces points se comportent de la même façon. On voit aussi que pour tous ces points les distances telles que DD' comptées parallèlement à AX sont les mêmes et sont égales à AA'. Cette longueur AA' est ce que l'on nomme la longueur d'onde du mouvement vibratoire dans le milieu considéré.

Superposition des mouvements vibratoires. — Supposons qu'il se produise en un point ou en deux points très voisins A et A' deux mouvements vibratoires

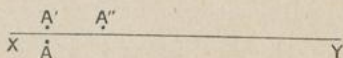


Fig. 258.

identiques (fig. 258), voyons ce qui se produira sur la ligne XY, A et A' étant assez voisins de cette ligne pour pouvoir être considérés comme placés sur cette ligne. Chacun des points AA' est le siège d'un mouvement vibratoire que l'on peut représenter par une sinusoïde. Afin de ne pas embrouiller la figure traçons ces courbes sur deux figures spéciales, la première (259, I) représente le mouvement émané de A. Le mouvement émané de A' étant absolument identique à celui de A sera représenté sur (259, II). Les effets des deux mouvements se superposeront, et l'on démontre que pour avoir la figure résultante il suffit d'ajouter les ordonnées. On comprend en effet, quel que soit

le point de XY où l'on se place, et en examinant les effets qui doivent s'y produire d'après les courbes I et II, que partout ces effets s'ajoutent. Une molécule est sollicitée à se déplacer dans le même sens par le mouvement venu de A et par celui venu de A' ; le résultat est représenté par (259, III).

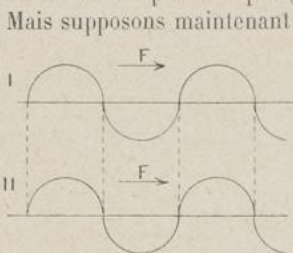


Fig. 259.

Mais supposons maintenant que le point A' soit transporté en A'' (fig. 258), d'une distance égale à une demi-longueur d'onde, il faudra déplacer de la même quantité la courbe II représentative du mouvement vibratoire qu'elle envoie suivant XY en même temps que celui venu de A. Dès lors les

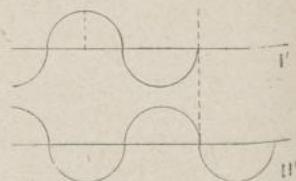
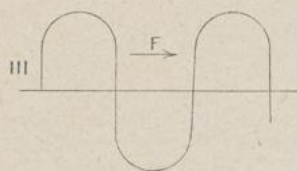


Fig. 260.

deux courbes se présenteront suivant I' et II' (fig. 260); et il suffit de regarder cette figure pour voir que dans ces conditions les vibrations en un point quelconque du trajet se contrarient; leurs effets sont précisément de sens opposé sur chaque molécule qui doit rester au repos, il y a *interférence*.

Voici donc ce qui doit se passer pour la superposition de deux mouvements vibratoires; voyons maintenant comment Fresnel a disposé pratiquement son expérience pour vérifier si ces interférences s'appliquent à la propagation de la lumière et si on peut en conclure à la nature vibratoire de cette lumière.

Expérience des deux miroirs. — Considérons deux points lumineux identiques A et A', très voisins l'un de l'autre, un écran étant placé en EE', parallèlement à AA'. BX est une droite perpendiculaire au milieu de AA' (fig. 261). La lumière vient en B simultanément de A et de A', sous forme d'un mouvement vibratoire comme nous venons de le dire. En nous reportant aux explications que nous avons données sur la superposition des vibrations

et à la figure 261, nous voyons qu'en B les effets s'ajouteront, le mouvement vibratoire sera plus énergique que si une des sources A ou A' existait seule. Mais déplaçons nous latéralement sur EE', vers la gauche par exemple, nous arriverons en un point C, inégalement distant de A et A', pour lequel les choses se comporteront comme sur la figure 260, c'est-à-dire où les vibrations se neutraliseront.

A ce moment la différence entre les distances CA et CA' sera d'une demi-longueur d'ondulation; en ce point il n'y aura pas de vibrations et par suite l'obscurité. Continuons le déplacement, en D, la différence des distances DA et DA' sera d'une longueur d'ondulation entière, il est aisé de voir qu'il y a de nouveau concordance de vibration et par suite de lumière. Ainsi de suite. Le même phénomène se reproduira à

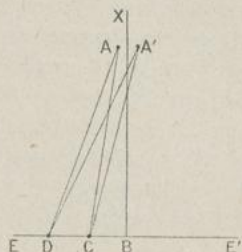


Fig. 261.

droite de B, c'est-à-dire que sur l'écran on voit un point brillant B accompagné à droite et à gauche d'une série de points alternativement brillants et obscurs.

Il faut, avons-nous dit, deux sources A et A' identiques afin qu'elles émettent des mouvements vibratoires identiques.

Pour obtenir ces deux sources on prend un point lumineux L (fig. 262) placé vis-à-vis de deux miroirs M et M' dans lesquels il donne des images L', L''. Ces deux images seront forcément identiques, et ce sont elles que l'on prend comme sources A et A' de l'expérience, d'où le nom d'expérience des deux miroirs. Le résultat de cette expérience prouve l'exactitude des prévisions de la théorie. On conçoit que les distances qui séparent deux points lumineux sur l'écran, BD par exemple (fig. 261), dépendent des conditions de l'expérience, c'est-à-dire de l'écartement de AA', de leur éloignement de l'écran EE', etc. En particulier cette distance BD, pour un dispositif donné, est liée à la longueur d'onde de la lumière employée, et l'on comprend que tout étant connu, sauf cette longueur d'onde, on puisse la calculer en mesurant BD AA', etc. C'est ce que l'on a fait pour les diverses radiations colorées, et nous donnons un exemple des valeurs trouvées.

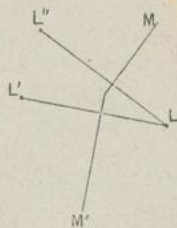


Fig. 262.

Rouge.	0 μ 620
Jaune.	0 μ 551
Bleu	0 μ 475

La lumière blanche se compose donc d'un mélange de radiations constituées chacune par un mouvement vibratoire. Toutefois il y a encore une question qui se pose. Nous avons parlé de mouvement vibratoire, mais qu'est-ce qui vibre? Ce n'est pas l'air, ni les milieux transparents traversés, puisque la lumière se propage dans le vide. On a admis l'existence d'une substance impondérable par les moyens dont nous disposons, et à laquelle on a donné le nom d'éther. C'est cet éther qui sert de véhicule aux radiations qui se propagent dans les corps transparents traversés. Son existence a pu être mise en évidence, mais il n'y a pas lieu ici d'insister sur ce point.

Vitesse de la lumière. — La lumière se propage avec une vitesse très grande, mais non infinie. Dans le vide toutes les radiations ont la même vitesse. La mesure en a été faite par l'observation de certains phénomènes astronomiques et par des expériences directes. Le nombre 300 000 km. par seconde ne s'éloigne pas beaucoup du chiffre précis. Cette vitesse est moindre dans les corps transparents que dans le vide, d'autant moindre que l'indice de réfraction de cette substance est plus grand, on peut donc, connaissant l'indice d'une substance, calculer la vitesse de la lumière dans cette substance. Si l'indice est 2 la vitesse est la moitié de 300 000 km. par seconde, si l'indice est 3 la vitesse est un tiers de 300 000 km. par seconde. On voit immédiatement que dans un même milieu la vitesse n'est pas la même pour les diverses radiations puisqu'elles n'ont pas le même indice de réfraction, et qu'en général la vitesse va en diminuant de grandeur du rouge au violet.

II

SPECTROSCOPIE

Dans l'expérience de Newton décrite plus haut, en interposant un écran sur le trajet du faisceau dispersé on obtient un très mauvais spectre, car en tous ses points il y a encore un mélange

de diverses radiations. Cela tient au recouvrement partiel des divers faisceaux simples. On peut, à l'aide d'un artifice simple, obtenir de meilleurs résultats. Prenons une fente mince verticale O (fig. 263), la figure étant vue de haut en bas en plan, et derrière cette fente plaçons une lumière S . A l'aide de la lentille L nous pouvons faire une image de la fente O en O' sur l'écran EE' . Interposons sur le trajet de la lumière un prisme P , nous savons que tous les rayons seront déviés vers la base, et s'il n'y avait pas de dispersion, c'est-à-dire si la lumière était monochromatique, il y aurait en O'' sur l'écran ee' une image de la fente O . Si, au contraire, nous avons une lumière complexe, blanche par exemple, nous aurons bien en O'' une image de la fente correspondant à une certaine couleur, mais cette image sera accompagnée latéralement par autant d'autres images placées les unes à côté des autres qu'il y a de radiations simples dans la lumière considérée. Si la fente est très fine les images O'' sont aussi très fines et l'on a une bonne séparation des radiations.

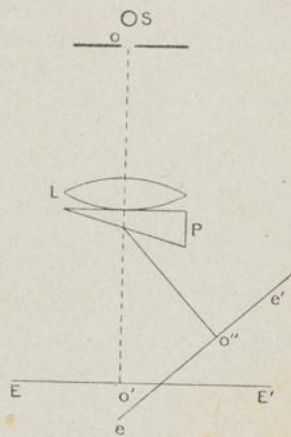


Fig. 263.

C'est là le principe du spectroscope, dont voici maintenant le dispositif pratique d'après une vue en plan de haut en bas.

En O la fente avec la source lumineuse à étudier en S (fig. 264). Cette fente est au foyer de la lentille L , le faisceau lumineux passant par O et tombant sur L est par suite parallèle après la réfraction. Un prisme P est orienté de telle sorte que dans sa traversée la lumière est sensiblement parallèle à la base AB , l'expérience et la théorie montrent que ce sont là les meilleures conditions. A la sortie du prisme la lumière tombe sur une lentille L' égale à L , cette lumière est dispersée et il se forme une série d'images de la fente donnant le spectre en ee' , ce spectre est regardé avec la loupe l formant oculaire. Le système optique placé avant le prisme constitue ce que l'on appelle le collimateur, le système placé après le prisme est la lunette. Il est évident que cette lunette est réglée sur l'infini puisque les rayons qui y pénètrent et donnent

une image nette sont parallèles entre eux. Il est indispensable, pour repérer les observations dans le spectroscope, de faire une graduation dans le spectre; voici à l'aide de quel artifice on l'obtient. Sur le côté se trouve une petite échelle divisée m , dite micromètre, elle est au foyer de la lentille L' , son image est donc à l'infini et l'observateur la voit par réflexion dans la face CB du

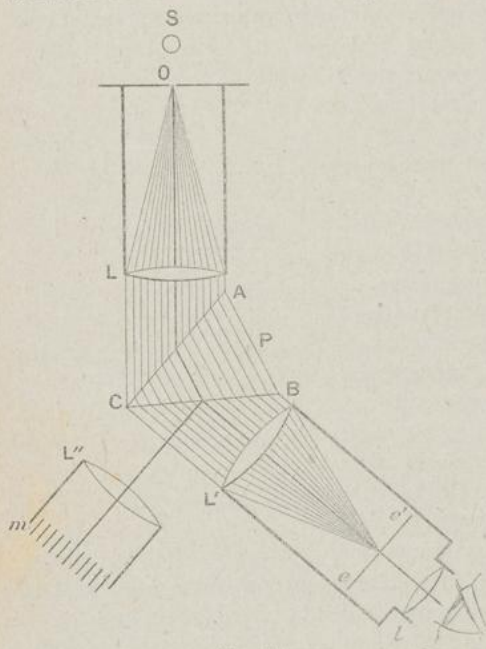


Fig. 364.

prisme en même temps qu'il regarde le spectre.

Tel est le spectroscopie le plus simple, le plus répandu. Pour obtenir une séparation plus parfaite encore de diverses radiations, c'est-à-dire un plus grand étalement du spectre, on peut placer plusieurs prismes les uns à la suite des autres, on a ainsi des spectroscopes, à deux, quatre et même six prismes.

Pour des raisons de commodité on fait aussi des com-

binaisons de prismes, sur lesquelles il n'y a pas lieu d'insister mais qui dispersent la lumière en la conservant sensiblement parallèle à l'axe du collimateur, la lunette est alors dans le prolongement du collimateur, on a ainsi des spectroscopes dits à vision directe.

Enfin, depuis un certain nombre d'années surtout, on remplace souvent les prismes par des réseaux. En faisant sur une surface réfléchissante une série de lignes au diamant, parallèles les unes aux autres et très voisines, on a un instrument possédant la propriété de disperser la lumière par réflexion, si le réseau est sur une lame de verre il disperse par réflexion et par transparence. Il n'y a pas lieu de faire ici la théorie trop compliquée de ces appa-

reils, il nous suffira de savoir que la dispersion est d'autant plus grande que le réseau est plus fin, on en a fait comptant plus de mille traits par millimètre. Ces réseaux ont aussi l'avantage de n'absorber aucune radiation, puisque la lumière ne les traverse pas; il n'en est pas de même du prisme en verre.

En étudiant les diverses lumières au moyen du spectroscope, on voit qu'il faut faire une première division, suivant que l'on veut se renseigner sur la nature des radiations émises par une source lumineuse ou que l'on veut rechercher quelles sont les radiations absorbées dans le passage d'un faisceau lumineux à travers un corps transparent. On a donc considéré séparément les spectres d'émission et les spectres d'absorption.

Spectres d'émission. — Les spectres d'émission sont de deux espèces, suivant qu'ils sont continus, c'est-à-dire qu'ils contiennent un nombre infini de radiations; ou qu'ils sont interrompus ne contenant qu'un nombre limité de radiations.

Le type des spectres continus est le spectre solaire; lorsqu'on l'observe dans un spectroscope on voit qu'il commence au rouge et se continue jusqu'au violet en passant de proche en proche par toutes les couleurs intermédiaires. Ce que l'œil perçoit ainsi est le spectre dit lumineux, mais il y a aussi un grand nombre de radiations qui nous échappent.

Si on reçoit le spectre sur une plaque photographique, on constate que la réduction du sel d'argent se fait jusque dans une partie très éloignée située au delà du violet, dans ce que l'on appelle l'ultra-violet, avec une intensité régulièrement variable, c'est dans cet ultra-violet que se trouve le maximum d'action. De même en promenant un thermomètre dans le spectre on constate un maximum de température au-dessous du rouge, dans l'infrarouge. On peut représenter sur une figure, en



Fig. 255.

trois courbes, les effets lumineux, chimiques ou actiniques, et calorifiques des diverses radiations du spectre. On voit alors que les maximums pour ces trois espèces d'actions ne se produisent pas aux mêmes points et que la région lumineuse du spectre n'est en somme qu'une partie du spectre total.

Disons aussi que dans la partie lumineuse du spectre solaire on

voit une série de raies noires tenant à des radiations faisant défaut, nommées raies de Fraunhofer et désignées habituellement par les lettres de l'alphabet. Cela tient à l'absorption de certaines radiations par l'atmosphère terrestre et par l'atmosphère solaire.

Tous les corps solides et liquides incandescents donnent un spectre continu; quand la température est faible on voit d'abord apparaître le rouge, puis le spectre s'étend de plus en plus vers le violet en même temps qu'il augmente d'éclat.

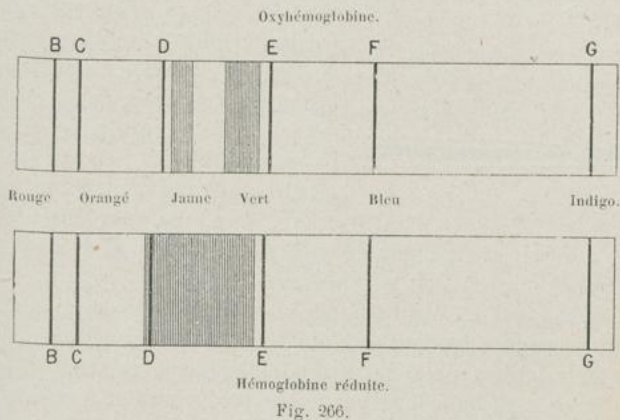
Si l'on prend au contraire un gaz ou une vapeur incandescente, la lumière émise ne contient qu'un nombre limité de radiations, et le spectre, au lieu d'être continu, présente un nombre correspondant de raies brillantes. Ces raies sont caractéristiques de la substance en vapeur; pour les observer il suffit de placer devant la fente du spectroscopie une flamme incolore, une flamme de bec Bunsen par exemple, puis d'y introduire le corps à examiner. S'il est volatil, il se vaporise aussitôt; la flamme se colore, et au spectroscopie on voit les raies correspondant aux radiations qu'elle contient. On pourra repérer sur l'image du micromètre la position des raies observées, et le jour où, dans un mélange inconnu de sels, on trouvera une raie ainsi repérée, on pourra en conclure à la présence du sel correspondant. Si l'on voit une raie nouvelle, on peut en déduire qu'il y a un corps nouveau vaporisé dans la flamme.

Au lieu d'employer le bec de Bunsen on peut aussi placer le corps à étudier dans l'étincelle électrique, ou, si c'est un gaz, dans un tube à gaz raréfié que l'on fait traverser par les décharges d'une bobine d'induction, c'est le tube de Geissler.

Ces procédés de recherche sont extrêmement sensibles, mais ils ne permettent, bien entendu, de retrouver que les corps simples qui entrent dans la composition d'une substance, les autres étant dissociés ou brûlés dans la flamme. Exception est faite toutefois pour certains gaz composés, que l'on peut rendre lumineux dans le tube de Geissler et observer sans les dissocier.

Spectres d'absorption. — Si l'on produit un spectre continu à l'aide d'un corps solide ou liquide incandescent, un bec de gaz par exemple, qui, brûlant à blanc, contient des particules de charbon, et que l'on interpose un corps transparent sur le trajet du faisceau entrant dans le spectroscopie, il arrive souvent que certaines radiations soient absorbées et fassent alors défaut dans le spectre auparavant continu.

En particulier, les gaz jouissent de cette propriété remarquable d'absorber les radiations qu'ils sont capables d'émettre. Ainsi, la vapeur de sodium incandescente donne généralement une double raie jaune quand on observe son spectre d'émission. Si maintenant on regarde un corps très lumineux, donnant un spectre continu, et que l'on interpose entre lui et le spectroscopie de la vapeur de sodium à température plus basse, cette vapeur absorbe les radiations correspondant au sodium; à leur place il y a dans le spectre diminution de luminosité et apparence de raies noires. C'est là le mécanisme de la formation des raies de Fraunhofer. Le noyau



liquide ou solide incandescent du soleil donnerait un spectre continu; mais certaines radiations sont absorbées par les gaz entourant ce noyau ou par l'atmosphère terrestre, et il en résulte des raies noires, occupant sur le micromètre la même place que les raies brillantes émises par les mêmes vapeurs incandescentes donnant un spectre d'émission.

L'étude de l'absorption par les liquides ou les solides transparents a une plus grande application en biologie que celle des gaz. Si, après avoir placé une lumière blanche en face de la fente du spectroscopie de façon à produire un spectre continu, on interpose entre cette lumière et la fente un solide ou un liquide transparent coloré, on absorbe certaines radiations qui disparaissent dans le spectre. Dans ces conditions ce ne sont plus quelques raies noires qui apparaissent, mais de larges bandes estompées sur le bord. Parfois il n'y a qu'une seule de ces bandes, parfois c'est un

côté du spectre qui disparaît, d'autres fois il y a deux ou même plusieurs bandes. Ce fait est facile à observer avec des solutions ou des verres colorés.

Le sang artériel donne ainsi deux belles bandes d'absorption dans le jaune et le commencement du vert, il faut pour cela l'étendre d'eau; avec quelques tâtonnements on trouve aisément la concentration la plus convenable, qui dépend, bien entendu, de l'épaisseur du vase que l'on place devant la fente du spectroscopie et contenant le liquide. Si, au lieu de sang artériel, on prend du sang veineux, on n'observe plus qu'une seule bande d'absorption, occupant un peu plus de l'espace des deux précédentes réunies.



Fig. 267.

On peut d'ailleurs facilement passer de l'un des aspects à l'autre. En agitant le sang veineux au contact de l'air il s'oxygène, passe à l'état de sang artériel, et l'on aperçoit le spectre correspondant. Si, au contraire, on ajoute un réducteur au sang artériel, par exemple du sulfhydrate d'ammoniaque, on voit apparaître le spectre du sang veineux.

Le sang qui a subi l'action de l'oxyde de carbone donne un spectre presque identique à celui du sang artériel, mais on a beau ajouter un réducteur, il ne s'y produit plus aucune modification; l'oxyde de carbone a formé avec l'hémoglobine une combinaison stable, impropre dans la suite aux échanges respiratoires.

On sait, que sous l'influence de divers réactifs, l'hémoglobine peut donner une série de dérivés; chacun d'eux a un spectre caractéristique.

Henocque a basé sur l'examen des spectres d'absorption du sang un procédé de dosage de l'hémoglobine. Pour cela il a remarqué que sous une certaine épaisseur de sang artériel, les deux bandes d'absorption ont une égale intensité, pour une épaisseur moindre l'une d'elles l'emporte, pour une épaisseur plus grande c'est l'autre qui paraît plus noire. Cette épaisseur dépend de la richesse en hémoglobine. On place le sang dans une petite cuve prismatique, simplement formée par deux lames de verre entre lesquelles le sang se maintient par capillarité (fig. 267). On passe cette cuve sur un petit spectroscopie vertical à vision directe, et l'on cherche le point où les deux bandes paraissent d'égale intensité. Une graduation faite sur la lame de verre supérieure renvoie à une table

dressée par Henocque et donnant la richesse du sang examiné en hémoglobine.

Si avec le même petit spectroscope on examine la lumière réfléchie sur l'ongle du pouce, on voit encore le spectre du sang artériel. Vient-on à lier le pouce à la base pour arrêter la circulation, l'hémoglobine se réduit peu à peu, avec une vitesse variable suivant l'activité des tissus. En comptant le temps nécessaire pour l'apparition du spectre de l'hémoglobine réduite, Henocque a cherché à en déduire l'état d'activité de ces tissus; mais il ne faut pas oublier que divers facteurs peuvent entacher d'erreur cette détermination.

Le spectroscope permet de retrouver le sang dans des liquides où il se trouve à l'état très dilué : par exemple on peut reconnaître dans une urine à teinte douteuse s'il s'agit d'hémoglobine ou d'une autre matière colorante.

III

PHOTOMÉTRIE

La Photométrie a pour but la mesure des intensités lumineuses; les problèmes à résoudre peuvent se présenter sous deux aspects différents. On peut se demander quelle est la valeur d'une source éclairante déterminée, d'une lampe, d'un bec de gaz, etc. Ou bien on peut chercher quel est l'éclairement, sous l'influence des sources naturelles ou artificielles, en une région de l'espace.

Plaçons-nous d'abord au premier point de vue; comment pouvons-nous évaluer la valeur d'une source lumineuse? Il faut deux choses, d'abord une unité, et en second lieu une méthode de comparaison des diverses sources de lumière avec l'unité.

Toute cette question est dominée par la loi suivante.

L'éclairement d'une surface par une source lumineuse varie en raison inverse du carré de la distance de la surface à la source.

Ceci est très facile à comprendre. Prenons une source lumineuse S qui envoie sa lumière dans toutes les directions, et considérons une série de sphères ayant leur centre en S et des rayons de 1 m., 2 m., 3 m., etc.



Fig. 268.

En prenant une de ces sphères en particulier, quelle qu'elle soit, elle reçoit toute la lumière émanée de S, mais cette lumière se répartit sur des surfaces de plus en plus grandes à mesure que le rayon croît. Si ce rayon est 2 m., la surface est 4 fois plus grande que pour un rayon de 1 m.; si c'est 3 m., la surface est 9 fois plus grande et ainsi de suite. Par conséquent si nous représentons par 1 la lumière reçue par l'unité de surface de la première sphère, l'unité de surface de la deuxième recevra $1/4$, l'unité de surface de la troisième $1/9$, etc. C'est-à-dire que l'éclairement de l'unité de surface sera en raison inverse du carré de la distance.

Si nous cherchons maintenant à comparer l'une à l'autre deux

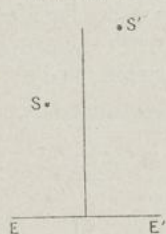


Fig. 269.

sources lumineuses S et S', plaçons-les vis-à-vis d'un écran et cherchons à quelle distance de l'écran elles produiront le même éclairement. Soit d pour S et d' pour S' (fig. 269); l'intensité des sources sera en raison directe du carré des distances à l'écran, c'est-à-dire que l'on aura

$$\frac{S}{S'} = \frac{d^2}{d'^2}.$$

Si par exemple, la source S' produit le même éclairement que S quand elle est à distance double de l'écran, c'est que S' a une intensité quatre fois plus grande que S, ce qui veut dire qu'à la même distance, S' envoie sur la même surface quatre fois plus de lumière que S.

Pratiquement voici comment on opère. On prend un écran translucide EE', on l'éclaire avec les deux sources à comparer S et S', en interposant entre les deux sources un écran opaque de façon que S n'éclaire que le côté gauche de EE' et S' que le côté droit. On observe l'écran par transparence et en déplaçant les sources d'avant en arrière on cherche à établir l'égalité d'éclairement des deux côtés. A ce moment la condition de comparaison est réalisée, il suffit de mesurer les distances de S et S' à l'écran et d'appliquer la formule. Cet appareil est le photomètre de Foucault; d'autres dispositifs ont été imaginés, mais ils reposent tous sur le même principe et ne diffèrent les uns des autres que par la manière d'observer l'égalité d'éclairement.

Pour simplifier les opérations, il y a intérêt à prendre toujours pour la source S la même unité d'intensité. On place alors S dans une position fixe et on peut graduer une fois pour toutes la ligne sur laquelle se déplacera S' en valeurs de S, de façon à éviter les

calculs des opérations ultérieures. Si S est à 1 m. de l'écran, pour S' on marquera 4 unités à 2 m., 9 unités à 3 m., etc.

Il reste donc à choisir une unité. Cette unité est la *bougie internationale*, elle vaut à peu près 10 carcels et est souvent désignée sous le nom de *bougie décimale*.

Prenons maintenant le deuxième problème. Quelle que soit la façon dont une pièce soit éclairée, par la lumière du jour ou par des sources artificielles, il faut déterminer quel est l'éclairement en une région déterminée de cette pièce. Ce n'est que par des mesures de ce genre que l'on peut établir finalement quelle est la quantité de lumière nécessaire pour un genre de travail donné, et, ce point une fois acquis, savoir, dans un cas particulier, si cette

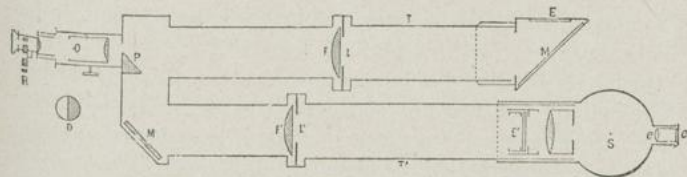


Fig. 270.

condition est réalisée. Supposons par exemple que l'on ait trouvé qu'il faille, pour la bonne lecture sans fatigue, un éclairement égal à celui que produit un carcel à 1 m., il faudra que l'on puisse vérifier si cette condition est réalisée.

Voici en principe comment doit se faire l'expérience. On place une feuille de papier à l'endroit à étudier, de façon qu'elle soit éclairée, sur une moitié, dans les conditions où se fera la lecture. L'autre moitié sera éclairée uniquement par une lampe Carcel que l'on approchera ou que l'on éloignera du papier jusqu'à égalité d'éclairement. A ce moment on mesurera la distance de la lampe au papier et on en déduira la valeur de cet éclairement.

Pratiquement l'opération se fait au moyen du photomètre de Mascart (fig 270).

Le petit écran E , porté par une bonnette mobile dans un collier, est placé à l'endroit que l'on veut étudier, et convenablement orienté. Son éclairement est comparé à celui de l'écran E' éclairé par la source artificielle S , servant d'unité, et se trouvant toujours à la même distance de E' .

En regardant par l'oculaire, grâce à une série de réflexions, on

voit simultanément et juxtaposés comme il est représenté en D, la moitié de l'écran E et la moitié de E', on peut donc comparer leurs éclairagements. On voit que l'un des écrans n'est éclairé que par la lumière à utiliser, l'autre par l'unité S. Au lieu de déplacer S par rapport à l'écran E' on fait varier l'éclairément de E' en ouvrant ou fermant plus ou moins un diaphragme gradué une fois pour toutes. Il suffira de lire cette graduation pour avoir la valeur de l'éclairément de E. L'éclairément d'une surface s'exprime au moyen de l'unité appelée *Lux*. C'est l'éclairément produit par une bougie placée à 1 m. de la surface.

Cette question de détermination de l'éclairément dans les appartements est très importante, car elle est intimement liée à l'hygiène de la vue, en particulier dans les locaux affectés à l'enseignement des enfants. On estime que pour lire et écrire dans de bonnes conditions il faut un éclairément d'au moins 10 Lux.

Quand on cherche à déterminer par les procédés qui viennent d'être indiqués soit l'éclairément des locaux, soit l'intensité d'une source lumineuse par rapport à un étalon, on se heurte très souvent à une difficulté pratique tenant à la différence de couleur des lumières. Dans le langage ordinaire nous désignons sous le nom de lumière blanche aussi bien celle du jour que celle de nos appareils d'éclairage; mais nous savons pourtant combien ces diverses sources diffèrent entre elles; il suffit pour cela d'avoir une seule fois observé un objet coloré, une peinture, de jour et à un éclairage artificiel. Le contraste deviendra encore plus frappant si, par exemple au photomètre de Bunsen, nous voulons comparer un bec Auer à une lampe Carcel, la couleur jaune de la lumière émise par cette dernière rend la comparaison avec le bec Auer extrêmement difficile, ce n'est qu'avec une vague approximation que nous pouvons juger de l'égalité d'intensité entre les deux plages dont la différence de couleur nous frappe autant que la différence de luminosité. Examiné de cette façon, le problème n'est pas susceptible d'une solution précise; on ne peut pas comparer entre elles deux choses d'espèces différentes.

Si deux sources lumineuses ne peuvent en général se comparer directement avec précision, il n'en est pas moins vrai que les lumières émises par ces deux sources sont composées des mêmes radiations simples formant le spectre, de chaque côté il y a du rouge, de l'orange, du jaune, etc., du violet, et, si nous décomposons chacune des lumières complexes, nous pourrions comparer

entre elles les radiations rouges, les radiations jaunes, etc. Nous pouvons en faire une véritable analyse, et, prenant l'une des sources comme unité, chercher combien l'autre contient d'unités de rouge, d'orangé, etc., de violet. C'est là le principe de la spectrophotométrie. Le problème est le même que si nous voulions comparer deux solutions contenant des sels en diverses proportions; une comparaison directe n'aurait aucun sens. Mais en prenant l'une d'elles comme unité, nous pourrions par une analyse trouver que la seconde contient 2 fois plus de NaCl; 3 fois de KCl; 1,5 fois de CaSO_4 , etc., que la première. Cela définirait la deuxième solution par rapport à la première prise pour unité, et l'on pourrait comparer entre elles toutes les solutions diverses évaluées grâce à cette unité.

Ainsi donc quand on veut comparer deux lumières n'ayant pas identiquement la même couleur, il faut chercher combien elles contiennent l'une par rapport à l'autre des diverses radiations simples colorées. Souvent on se contente de filtrer ces lumières à travers des écrans colorés, c'est-à-dire qu'on interposera successivement des verres rouges, jaunes, verts et bleus et l'on fera une évaluation photométrique dans chaque cas. Pour la connaissance pratique de l'éclairage cela peut suffire, mais quand on veut des résultats précis il faut opérer autrement, les verres colorés ne laissent en effet jamais passer des radiations simples, mais toutes les radiations contenues dans une région parfois étendue du spectre.

La seule méthode précise consiste à décomposer les deux lumières par un prisme, on forme alors, l'un au-dessus de l'autre, les deux spectres; en limitant chaque région par une fente mince, on compare, dans chacun de ces spectres, les radiations simples entre elles, par des procédés sur lesquels il n'y a pas lieu d'insister ici. En prenant l'un des spectres pour unité on pourra évaluer toutes les radiations de l'autre et tracer une couche des intensités lumineuses des diverses radiations simples de la lumière étudiée.

Cette manière d'opérer est importante quand on recherche quelle est l'absorption produite par une substance transparente colorée.

On formera l'un au-dessus de l'autre deux spectres identiques, puis sur le trajet du faisceau donnant l'un de ces spectres on interposera le corps transparent à étudier et on fera l'analyse spectrophotométrique de la lumière qui le traverse. Ayant la courbe

d'intensités des diverses radiations de cette lumière par rapport à la lumière reçue directement on en conclura ce qui a été arrêté par le corps transparent. C'est là la base d'une méthode de dosage des solutions des corps colorés, très précieuse dans certains cas.

IV

COLORIMÉTRIE

Lorsqu'on dissout un corps coloré dans un liquide incolore comme l'eau, la solution a, par transparence, une couleur d'autant plus foncée que la solution est plus concentrée.

Bien entendu, l'épaisseur de la couche liquide influe sur la quantité de lumière absorbée, et dans certaines limites on peut admettre que deux solutions absorbent la même quantité de lumière, c'est-à-dire ont la même couleur par transparence lorsque les épaisseurs sont en raison inverse des concentrations. C'est-à-dire qu'en doublant, triplant, etc., la quantité de corps dissous dans un même volume il faut réduire l'épaisseur de la couche liquide à moitié, au tiers, etc., pour avoir la même couleur.

Ces principes permettent d'évaluer la concentration d'une solution colorée par deux méthodes.

On prend comme point de comparaison une solution contenant un poids donné du corps à doser, on l'observe par transparence en même temps que la solution étudiée, en les plaçant toutes deux dans des vases à faces parallèles de même

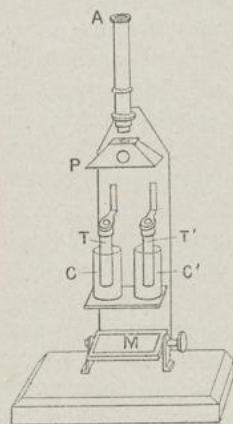


Fig. 271.

épaisseur, et l'on dilue la solution la plus concentrée jusqu'à obtenir l'égalité de teinte. Il suffit de connaître la proportion dans laquelle cette dilution a été faite pour en déduire le rapport des concentrations.

La deuxième méthode est plus rapide, elle consiste à faire varier l'épaisseur des couches liquides traversées, quand on a amené

l'égalité de teinte on admet que les concentrations sont en rapport inverse des épaisseurs.

L'instrument figuré en 271 et 272 est très pratique pour faire ces déterminations. Les liquides sont placés dans deux vases cylindriques verticaux C et C', un miroir M envoie la lumière de bas en haut. Les deux prismes à réflexion P et P' envoient dans la lunette A la lumière ayant traversé C et C', et l'observateur voit à travers cette lunette, simultanément deux plages demi-circulaires juxtaposées, éclairées l'une par la lumière ayant traversé C, l'autre par la lumière ayant traversé C'. Or deux plongeurs en verre T et T' permettent de régler à volonté l'épaisseur du liquide dans chacun des verres C et C', car cette épaisseur de liquide est comprise entre le fond des vases C, C' et le bas des tubes T, T', et une graduation portée par l'instrument donne cette épaisseur. On fait monter et descendre T, T' au moyen de crémaillères et, quand l'égalité des teintes de deux plages est obtenue, on lit les épaisseurs de liquide et on en déduit le rapport des concentrations.

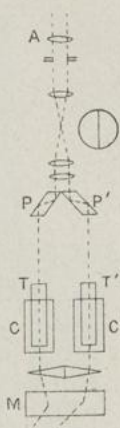


Fig. 272.

Cet appareil est extrêmement commode par la rapidité de ses indications.

V

PHOTOGRAPHIE

Il y n'y a pas lieu de revenir ici sur les principes généraux de la photographie, qui se trouvent exposés dans tous les traités élémentaires de physique et dans une foule de manuels spéciaux. On y indique comment on opère pour obtenir les clichés négatifs et les tirages positifs; nous passerons immédiatement aux modifications apportées à la technique en vue des applications aux sciences biologiques.

Photographie microscopique. — Lorsqu'on a à photographier de très petits objets, on remplace les objectifs ordinaires par un objectif de microscope. Au point de vue théorique il n'y a rien de

changé. La figure 273 représente une chambre noire installée sur un microscope, l'appareil est vertical, mais il peut aussi se disposer horizontalement. On met au point sur la préparation en tournant

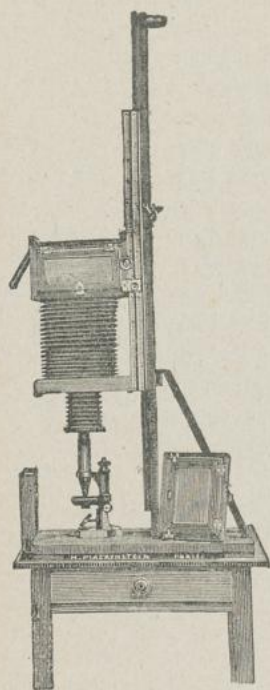


Fig. 273.

la vis de rappel du microscope et observant l'image sur la glace dépolie ; si l'on veut faire varier la grandeur de l'image on change d'objectif ou bien, dans certaines limites, on peut arriver à un résultat satisfaisant en allongeant ou raccourcissant la chambre noire.

Dans ces expériences on se heurte à deux difficultés. Par suite de l'amplification considérable, l'image sur la glace dépolie est très sombre ; il faut une grande habitude pour arriver à une bonne mise au point. En second lieu la moindre trépidation de l'appareil fait varier le point, car l'objectif est très près de la préparation, le moindre mouvement donne lieu à une variation relative très considérable de cette distance et par suite l'image perd toute sa netteté. Il faut donc des bâtis très solides. Il y a encore une série des difficultés spéciales provenant de la couleur des préparations. En effet les matières colorantes employées en histologie, bonnes pour l'œil, sont parfois

mauvaises pour l'impression de la plaque sensible, le bleu ne se distingue pas par transparence du blanc, le jaune ou le rouge deviennent noirs, etc. On tourne la question en faisant usage de plaques spéciales et d'écrans colorés absorbant certaines radiations. Il y a là toute une technique que l'on ne peut apprendre que par l'expérience.

Chronophotographie. — L'application la plus heureuse de la photographie aux sciences naturelles consiste dans son emploi pour la détermination des mouvements des êtres ou de leurs organes, sans que l'on ait à relier à ces organes des appareils enregistreurs

qui parfois altèrent les conditions normales de leur fonctionnement.

On peut déjà obtenir des renseignements intéressants par la photographie instantanée, bien des problèmes ont pu être élucidés de cette façon, mais elle ne suffit plus quand on veut étudier comment varie un phénomène avec le temps. Prenons le cas le plus simple. Un corps, une boule brillante par exemple, tombe suivant une verticale devant un fond sombre : que nous donnerait la photographie instantanée? la boule dans une de ses positions. Le cliché ainsi obtenu n'aurait aucun intérêt. Supposons au contraire qu'à l'aide d'un artifice que nous allons indiquer, on prenne sur la même plaque une photographie tous les dixièmes de seconde, nous aurons sur une ligne verticale une série d'images nous donnant la position de la boule tous les dixièmes de seconde. Pour avoir les positions exactes dans l'espace, il suffira de photographier en même temps une échelle graduée le long de laquelle tombera la boule, on aura ainsi un excellent document pour étude de la chute des corps, et l'on n'aura apporté aucun trouble dans le mouvement de la boule.



Fig. 274.

Le dispositif pratique pour arriver à ce résultat est très simple : au lieu de prendre un obturateur ordinaire, on fait tourner devant l'objectif un disque opaque percé d'un ou de plusieurs trous. Chaque fois qu'un trou passera devant l'objectif, une photographie se prendra. Il suffit de connaître le nombre de trous du disque et sa vitesse de rotation pour connaître le temps qui s'écoule entre la prise de deux images.

Cette méthode s'applique avec succès chaque fois que l'objet est assez petit et se déplace assez rapidement pour qu'il n'y ait pas de superpositions des images. Mais prenons le cas extrême de mouvement sur place; supposons, par exemple, que l'on veuille étudier les diverses positions d'un homme sautant en l'air suivant la verticale, il est certain que sur la plaque on aura un fouillis dans lequel il sera impossible de se reconnaître. Il en sera déjà ainsi si, pendant la marche au pas, on veut prendre assez d'images pour étudier les diverses phases de ce pas. Pour lever cette difficulté on a recours à divers procédés. On peut réduire la surface du sujet; c'est ce que Marey faisait en le plaçant sur un fond noir et l'habillant tout en noir (fig. 275). Sur son costume on traçait en blanc certains repères dont l'image sur la plaque était assez réduite pour

que l'on ne risquât pas les superpositions. Une chronophotographie donne alors une épreuve analogue à celle de la figure 113.

Le deuxième moyen consiste à prendre des épreuves séparées pour chaque position, cela revient à changer de plaque pour chaque pose. Naturellement cette opération doit se faire très rapidement puisqu'il s'agit d'épreuves prises à des intervalles d'une



Fig. 275.

petite fraction de seconde parfois. Ceci est impossible avec des plaques, leur mise en mouvement et leur arrêt brusque donneraient lieu à des chocs et à des ruptures soit des clichés, soit des organes de l'instrument.

M. Marey a imaginé un appareil nommé chronophotographe, dans lequel une pellicule sensible se déroule au plan focal de l'objectif. Cette pellicule est arrêtée par un dispositif spécial au moment de l'admission de la lumière à travers un trou du disque tournant, elle avance au contraire d'une quantité égale à la lon-

gueur d'une épreuve dans l'intervalle de deux éclairéments; ceci se fait aisément grâce à sa faible inertie. On peut ainsi avec une bande assez longue prendre un nombre considérable d'images à des intervalles de temps égaux.

Par l'emploi de ce procédé on fixe, par la photographie instantanée, les attitudes successives d'un animal exécutant un mouvement quelconque. Si maintenant on désire savoir quel a été le déplacement d'un membre ou d'un point du corps dans l'espace, on reporte, à l'aide de calques, les diverses images sur une même figure; il faut bien entendu pour cela avoir des repères fixes sur les diverses épreuves, ce qui est facile. On peut aussi, à l'exemple de certains expérimentateurs, après avoir pris des clichés, photographier sur ces mêmes clichés un quadrillage permettant de prendre des mesures et de voir de combien un point s'est déplacé quand on passe d'une image à l'autre.

La chronophotographie est un des moyens les plus précieux d'investigation dans l'étude du mouvement, il est d'une application très générale; on peut l'employer pour suivre dans ses moindres détails la locomotion des grands animaux aussi bien que pour analyser le vol des insectes ou pour suivre les variations de forme d'un protozoaire. Bien entendu dans chacun de ces cas, il faudra munir l'appareil d'un objectif spécial; dans le cas des infiniment petits on emploiera le microscope.

La seule difficulté qui se présente en général est celle de l'éclairage. Quand on prend des images à court intervalle avec pose très réduite, ce qui a eu lieu dans l'étude d'un mouvement rapide, d'un cheval au galop par exemple, ou d'un sauteur franchissant un obstacle, on a généralement assez de lumière en opérant au soleil, au besoin en choisissant convenablement le fond sur lequel on opère. Si l'on a un cheval blanc on prend de préférence un fond plus ou moins sombre, au contraire pour un cheval de couleur foncée le fond sera clair. Quand on en arrive à la photographie microscopique, où les images sont très amplifiées, il faut envoyer dans l'appareil un faisceau extrêmement intense. On risque alors de chauffer outre mesure les objets soumis à l'expérience, et de les cuire. Un artifice permet de tourner la question. Au lieu de placer le disque tournant percé de trous entre l'objet à photographier et l'objectif du microscope, on le place entre la source de lumière et l'objet, qui n'est alors éclairé que par intermittences pendant les durées très courtes de la pose.

Avec un peu de sens expérimental on arrive à trouver dans chaque circonstance un dispositif favorable au but que l'on se propose. M. Marey, qui a fait une étude approfondie de la chronophotographie, a du reste donné, dans un grand nombre de cas, des solutions dont on pourra s'inspirer.

VI

POLARISATION

On a vu que la lumière était un mouvement vibratoire de l'éther; mais, même en considérant une radiation monochromatique, la forme de la vibration peut être très variable suivant les cas, tout en conservant la même durée.

On a démontré, par des procédés sur lesquels il n'y a pas lieu

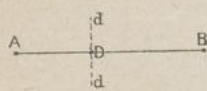


Fig. 276.



Fig. 277.

d'insister ici, que la vibration lumineuse est perpendiculaire à la direction de sa propagation. Prenons, par exemple, un point lumineux A (fig. 276) envoyant de la lumière en B; sur le trajet considérons le point D. En ce point comme en tout autre de AB, la vibration lumineuse est perpendiculaire à AB, c'est-à-dire qu'elle se produit dans un plan *dd* perpendiculaire à AB. Regardons ce plan *dd* de face, marquons-y le point D (fig. 277), c'est autour de ce point D que

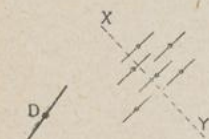


Fig. 278.



Fig. 279.

elles vibrent les molécules d'éther. Elles décriront par exemple des ellipses analogues à celle qui est représentée sur la figure 277; ces ellipses seront plus ou moins allongées, elles varieront depuis le cercle jusqu'à la droite, elles tourneront même autour de leur centre, bref, elles affecteront les mouvements les plus variés, et seront assujetties à la seule condition qu'une vibration, c'est-à-dire un tour de l'ellipse exécuté par la molécule d'éther, aura toujours la même durée, dépendant de la couleur de la radiation considérée.

Il n'en est plus de même de la lumière polarisée; dans ce cas la vibration, encore située dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation de la lumière, est rectiligne et parallèle à une

direction invariable (278). Pour un rayon se propageant horizontalement, cette direction peut être verticale, horizontale, plus ou moins oblique, mais elle est constante tant que les conditions de polarisation ne sont pas modifiées. Si nous considérons toutes les molécules d'éther faisant partie d'un faisceau de lumière polarisé, elles vibrent suivant la même orientation, comme le représente la figure 279 sur laquelle le faisceau est supposé se propager perpendiculairement au papier, d'avant en arrière, ou d'arrière en avant. Toutes ces vibrations sont perpendiculaires à un plan XY que l'on voit par la tranche et que l'on appelle le plan de polarisation du faisceau.

Comment polarise-t-on la lumière? Il faut, pour polariser la lumière, éteindre les vibrations dans toutes les directions sauf une seule. L'expérience nous prouve qu'il y a pour cela bien des procédés.

Supposons un personnage tenant à la main une canne par la poignée et décrivant dans l'espace des mouvements quelconques avec le bout de cette canne, rien ne l'empêchera de tracer les courbes les plus variées, des ellipses, des cercles, etc. Mais plaçons-le vis-à-vis d'une grille assez serrée pour laisser juste passer sa canne, il ne pourra plus décrire de l'autre côté de cette grille que des mouvements rectilignes, la grille a polarisé le mouvement. De même nous avons des sortes de grilles pour vibrations lumineuses, qui ne laissent passer la vibration que dans une seule direction et qui polarisent la lumière.

Le plus employé des appareils polarisant la lumière, le seul que l'on rencontre dans la pratique, est le prisme de Nicol. Quand la lumière a passé par le Nicol, elle est filtrée, toutes les vibrations ont la même direction perpendiculaire à un certain plan de polarisation.

Comment pourrions-nous reconnaître que la lumière est polarisée? Prenons un second Nicol pareil au premier, orienté de la même façon, et plaçons-le sur le trajet du faisceau que nous supposons polarisé; la lumière le traversera sans altération. Faisons-lui maintenant subir une rotation de 90° autour de son axe, dans sa garniture, il devra éteindre complètement le faisceau. En effet, reprenons la comparaison de la grille. Si derrière la première grille, à travers laquelle on a passé la canne, on en place une seconde identique et orientée de la même façon, elle n'influera rien sur le mouvement de la canne, mais faisons-la tourner de 90° , les barreaux qui étaient verticaux, par exemple, deviendront horizontaux; tout mouvement sera arrêté. Le premier Nicol qui a

servi à polariser la lumière se nomme le polariseur, le second est l'analyseur. Les deux Nicols sont en somme identiques, ils ne sont polariseur ou analyseur que par la place où on les a mis.

Rotation du plan de polarisation. — Un grand nombre de substances sont douées du pouvoir rotatoire, voici ce que cela signifie. Considérons un faisceau de lumière polarisée arrivant à l'œil, toutes les vibrations seront verticales, pour fixer les idées; le plan de polarisation sera horizontal. Interposons sur le trajet du faisceau un corps doué du pouvoir rotatoire, après le passage à



Fig. 280.

travers ce corps, la vibration ne sera plus verticale, mais plus ou moins oblique, sa direction aussi bien que celle du plan de polarisation ont tourné. C'est-à-dire que le plan de polarisation XY de la figure 280 a subi une rotation d'un angle α dans le sens de la flèche f pour prendre une nouvelle position $X'Y'$. On dit que la substance fait tourner le plan de polarisation à droite, ou qu'elle est dextrogyre. Le plan de polarisation aurait pu tourner en sens inverse de la flèche f , la substance aurait été lévogyre.

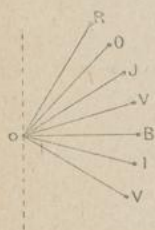


Fig. 281.

Il est aisé à l'aide d'un analyseur, de reconnaître que le plan de polarisation a tourné; avant interposition de la substance douée du pouvoir rotatoire, on obtenait l'extinction du faisceau dans une première position; après interposition il a fallu faire tourner l'analyseur de l'angle α pour maintenir cette extinction. Ce que nous venons de dire se rapporte à une lumière monochromatique. Si l'on a de la lumière complexe blanche, par exemple, la rotation n'est pas la même pour toutes les couleurs, en général elle croit du rouge au violet. Il en résulte que toutes les vibrations étant parallèles entre elles dans le faisceau polarisé, ne le sont plus après passage à travers la substance douée du pouvoir rotatoire, elles n'ont plus le même plan de polarisation. Il en résulte qu'il n'y a plus de position de l'analyseur les éteignant toutes, s'il éteint le rouge il ne fait qu'affaiblir les autres couleurs, de moins en moins en allant du rouge au violet. En faisant tourner l'analyseur, on éteint donc successivement des radiations différentes; celles qui le traversent donnent la couleur complémentaire de celles qui sont

arrêtées et l'on voit apparaître aussi une série de colorations très brillantes et très variées.

Il y a quelques corps doués du pouvoir rotatoire qui perdent cette propriété lorsqu'on les dissout dans un liquide inactif comme l'eau, tel le chlorate de soude. Cela tient à ce que dans ce cas le pouvoir rotatoire est lié à la forme cristalline du corps. Mais en général, la propriété de faire tourner le plan de polarisation est conservée dans la solution, qui est d'autant plus active qu'il y a plus de corps en solution.

Dans ces conditions, l'angle dont tourne le plan de polarisation, lors du passage de la lumière à travers une cuve à faces parallèles contenant une solution, est proportionnel à l'épaisseur de la cuve et au poids du corps qui est contenu dans l'unité de volume. De plus, il dépend, bien entendu, de la couleur de la lumière employée. S'il y a un mélange de corps, les rotations produites par chacun d'eux pris isolement s'ajoutent. On conçoit l'importance de cette loi due à Biot. En effet elle nous donne le moyen :

1° De caractériser un corps par son pouvoir rotatoire ; caractéristique importante, car elle permet de le reconnaître. Si, en effet, nous prenons toujours le même poids de corps en solution dans le même volume, et que nous l'examinions sous la même épaisseur, c'est-à-dire dans la même cuve, l'angle dont tourne le plan de polarisation dans la lumière jaune, par exemple, sera défini ; on pourra le mesurer. Quand on fera une mesure sur un corps inconnu il suffira de se reporter à une table de pouvoirs rotatoires pour connaître le corps sur lequel on a opéré. Il faut bien entendu pour cela que le corps soit pur ; l'on pourra, au cours des opérations de purification d'un corps, suivre la marche de cette purification en mesurant les pouvoirs rotatoires ; quand on arrivera à un pouvoir constant, que les opérations successives ne modifieront plus, on aura un corps pur. Pour pouvoir dresser une table des pouvoirs rotatoires spécifiques il faut donc convenir de la lumière que l'on emploie ; sauf indication spéciale c'est la lumière jaune émise par une flamme dans laquelle on vaporise un sel de sodium. L'épaisseur de la cuve sera 1 dm., quant à la concentration elle doit être telle que l'unité de volume contienne l'unité de poids du corps. Ainsi 1 dm³ devra contenir 1 kg. de corps. En général cela n'a pas lieu, mais on fera la correction par calcul sachant que le pouvoir rotatoire est proportionnel au poids de substance active. Si par exemple pour 10 g. par litre on a trouvé un

angle α , le pouvoir rotatoire spécifique sera 100 fois plus grand, c'est-à-dire $100 \times \alpha$; c'est ce nombre que l'on inscrira ou cherchera dans la table.

2° La loi de Biot nous permet de plus, quand on sait qu'une solution ne contient qu'un seul corps doué du pouvoir rotatoire, et que l'on connaît son pouvoir rotatoire spécifique, de doser le

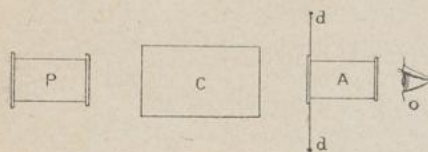


Fig. 282.

corps en solution. Cela est évident au point de vue théorique. Plaçons une solution de sucre de canne dans une cuve de 1 dm. d'épaisseur, si cette solution contient 1 kg. de sucre par litre, le plan de polarisation de la lumière jaune doit tourner à droite de $66^{\circ},5$; il ne tourne que de $32^{\circ},25$ il y a 500 g. de sucre par litre; s'il tourne de $16^{\circ},42$ il y a 250 g. de sucre et ainsi de suite; un calcul simple donnera à chaque instant la teneur en sucre du litre de solution.

Théoriquement l'installation pour ces mesures est très simple. On fait passer la lumière naturelle à travers un polariseur P

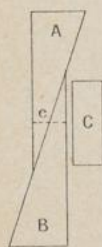


Fig. 283.

(fig. 282), puis à travers un analyseur A, on fait tourner ce dernier de façon à ne percevoir aucune lumière; à ce moment, d'après ce que nous avons dit, le plan de polarisation de l'analyseur est perpendiculaire à celui du polariseur. Interposons maintenant la cuve C contenant la solution sur laquelle on veut expérimenter, pour maintenir l'extinction il faut tourner A d'un angle égal à l'angle de rotation du plan de polarisation; on lit cette rotation sur un disque dd gradué en degrés. Ce procédé, qui exige l'emploi d'une lumière monochromatique, est mauvais dans la pratique, car au voisinage de l'extinction on hésite beaucoup sur la position à donner à l'analyseur, il n'y a aucune précision dans cette détermination.

Au lieu de faire tourner l'analyseur A pour rechercher l'extinction, on conçoit que l'on puisse interposer entre A et C (fig. 282) une pièce, dite compensateur, produisant une rotation de sens inverse et égale à celle de C. On aurait alors de nouveau l'extinction. Un pareil compensateur se compose de deux prismes A et B en quartz (fig. 283), glissant l'un sur l'autre et formant dans leur partie superposée une lame à faces parallèles d'épaisseur variable;

en plus il y a un quartz C à faces parallèles. A et B sont taillés dans des quartz dextrogyres, C dans un quartz laevogyre. Dans le cas de la figure l'épaisseur e étant égale à celle de C, l'ensemble n'a aucun pouvoir rotatoire. Si l'on augmente l'épaisseur de e , l'appareil est dextrogyre et peut compenser des substances laevogyres. Si on diminue e , C l'emporte et peut compenser des substances dextrogyres.

On a construit un certain nombre d'appareils nommés polarimètres, ou saccharimètres, puisqu'ils sont principalement destinés au dosage du sucre; les modèles les plus répandus sont le saccharimètre

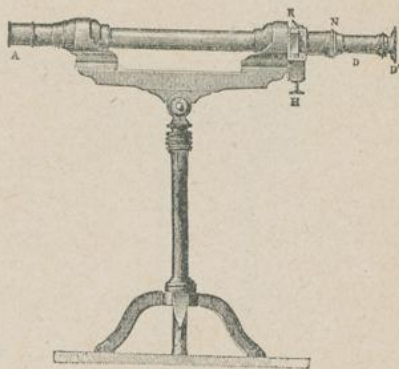


Fig. 285.



Fig. 284.

de Soleil et les saccharimètres à pénombre de Laurent ou de Cornu. Nous ne donnerons pas leur théorie détaillée, mais uniquement la manière de s'en servir.

Saccharimètre Soleil (fig. 284 et 285). — Quand on regarde par l'oculaire D, de l'appareil éclairé par un bec de gaz ordinaire placé vis-à-vis de A, on voit un disque divisé diamétralement en deux parties de couleurs différentes. En tirant sur l'oculaire on met au point, à sa vue, sur la ligne de séparation diamétrale, le tube destiné au liquide à examiner étant plein d'eau distillée. On tourne sur un bouton H faisant fonctionner le compensateur, jusqu'au moment où les deux teintes sont identiques. A ce moment l'échelle graduée R doit être zéro, sinon on l'y ramène en tournant uniquement un petit bouton latéral, non visible sur la figure, mais bien en vue sur l'instrument. On remplace l'eau distillée par la solution sucrée, les teintes changent, on les ramène à l'égalité en manœuvrant le compensateur par H, on lit la division correspondante de l'échelle graduée. En se reportant à une table où en multipliant le nombre lu par 0,163, on a le poids de glucose par

litre de solution. Le nombre 0,163 se rapporte aux tubes T de 20 cm. de longueur.

Saccharimètres à pénombre (fig. 286). — Les saccharimètres à pénombre s'éclairaient au moyen d'un brûleur de Bunsen contenant

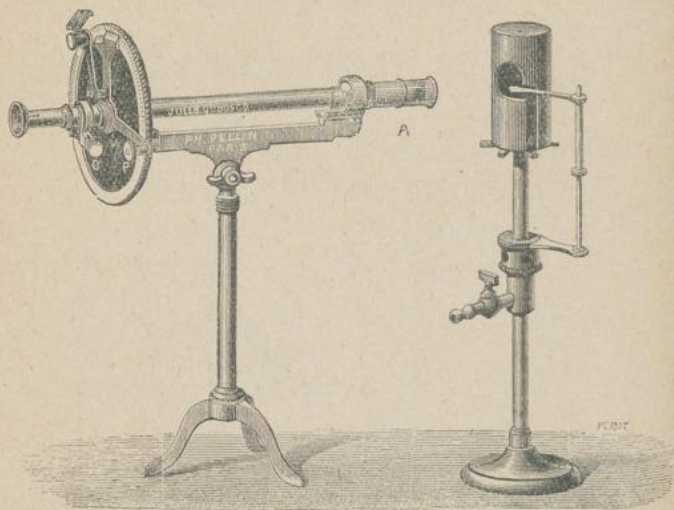


Fig. 286. — Réfractomètre à pénombre.

du chlorure de sodium fondu. Quand on regarde par l'oculaire O on voit encore les deux demi-disques. Au lieu d'être de couleurs différentes comme dans le saccharimètre Soleil, ils sont tous deux de couleur jaune mais sont plus ou moins foncés. Le tube étant plein d'eau distillée et l'oculaire au point, on met l'appareil au zéro en tournant le bouton P et observant le vernier à travers une loupe. Si à ce moment les deux disques ne sont pas de teinte égale, on les y ramène en tournant sur O. On remplace alors l'eau distillée par la solution sucrée, l'égalité de teinte disparaît, on tourne P de façon à ramener cette égalité de teinte et après lecture on achève comme pour le saccharimètre Soleil. Il faut remarquer que le disque porte deux graduations; l'une en degrés du cercle, elle permet de déterminer le pouvoir rotatoire d'une substance quelconque; l'autre spécialement destinée au glucose et correspondant à celle du saccharimètre Soleil. Dans le modèle de

Laurent, le petit levier J (fig. 287), mobile entre deux arrêts, permet en l'élevant ou en l'abaissant de modifier la luminosité de l'instrument.

Quand on opère sur une urine colorée on la décolore en lui ajoutant un dixième de son volume d'une solution d'acétate de plomb. Pour compenser la dilution de la solution ainsi obtenue, on emploie des tubes de 22 cm. de longueur au lieu de 20 cm.,

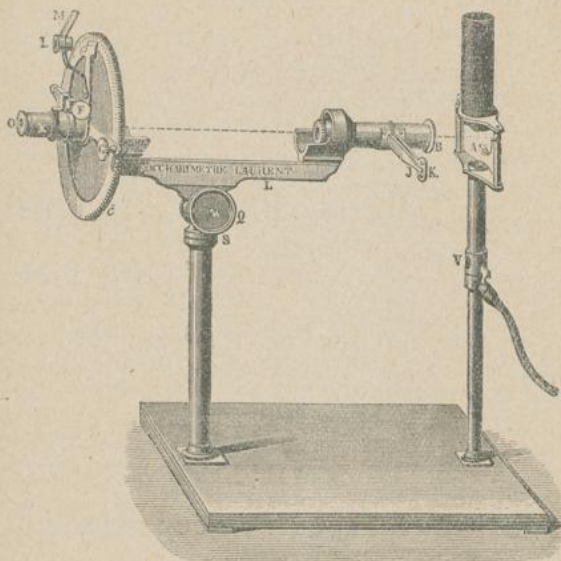


Fig. 287.

il n'y a alors rien à changer aux observations et aux calculs.

Double réfraction. — L'examen des corps en lumière polarisée donne souvent des renseignements intéressants sur leur structure. Ainsi plaçons un polarisateur et un analyseur dans la position de l'extinction, c'est-à-dire leurs plans de polarisation étant perpendiculaires entre eux. A ce moment introduisons entre les deux appa-

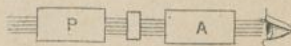


Fig. 288.

reils un petit cristal, aussitôt nous le verrons prendre les couleurs les plus éclatantes. En faisant tourner le cristal ces couleurs changeront et, pour certaines positions, l'extinction se produira. Ce petit cristal est doué de ce que l'on appelle la double réfraction.

Prenons maintenant un simple morceau de verre; introduit entre P et A il ne produit aucun effet, mais si l'on vient à le soumettre à une traction, une flexion, une compression, ou s'il est dans un certain état de tension par suite de la trempe, aussitôt nous voyons apparaître la double réfraction. En faisant tourner le

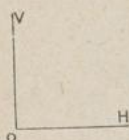


Fig. 289.

morceau de verre, les positions pour lesquelles se produit l'extinction nous donnent les directions de la traction ou de la compression, ou les directions perpendiculaires à ces actions. Ainsi en supposant que l'on regarde dans l'appareil, figurons par OH et OV (fig. 289) les directions des plans de polarisation de l'analyseur et du polarisateur. Si un morceau de verre comprimé ou étiré latéralement est introduit entre les deux il y aura extinction quand la direction de compression ou de traction sera parallèle à OV ou OH.

Certains tissus, le cartilage, les disques sombres des muscles, sont biréfringents, et leur étude à ce point de vue est importante. Il faut donc pouvoir les regarder au microscope en lumière polarisée, nous verrons plus loin que tout microscope permet de le faire facilement.

VII

PHOSPHORESCENCE ET FLUORESCENCE

Certains corps, comme le sulfure de calcium, jouissent de la propriété d'être lumineux dans l'obscurité, lorsqu'ils ont été préalablement exposés quelque temps à la lumière du jour ou d'une source artificielle. On dit qu'ils sont phosphorescents, par analogie avec le phénomène que présente le phosphore dans l'air.

D'autres corps, une solution d'éosine par exemple, émettent à la lumière du jour, lorsqu'on les regarde par réflexion, une lueur qui rappelle celle des corps phosphorescents, mais ils sont invisibles dans l'obscurité. Ils sont phosphorescents mais seulement pendant qu'ils sont exposés à la lumière. On a réservé à ce phénomène le nom de fluorescence.

En réalité il n'y a pas de limite nette entre les corps fluorescents et les corps phosphorescents, ce n'est qu'une question de durée d'une même manifestation. Chez un corps phosphorescent on voit en effet, après l'insolation préalable, la luminosité dans

l'obscurité diminuer graduellement pour disparaître finalement. D'autre part Ed. Becquerel a montré que si l'on éclaire un corps fluorescent et qu'on l'observe très rapidement après son passage à l'obscurité, il reste lumineux pendant un certain temps, plus ou moins long suivant les corps. C'est ainsi que le spath d'Islande reste lumineux $\frac{1}{3}$ de seconde environ, le corindon $0^{\prime},03$, certains platinocyanures $0^{\prime},00025$ seulement. On pourrait donc faire une échelle complète depuis les corps conservant la propriété d'être lumineux après éclairage pendant une fraction de temps extrêmement petite jusqu'aux corps la gardant plusieurs heures et même plusieurs jours.

La lumière émise par les corps phosphorescents n'est jamais de la même couleur que la lumière incidente, elle est généralement plus voisine de la région rouge du spectre que cette dernière. Dans la lumière incidente c'est la partie du spectre voisine du violet qui produit la phosphorescence, on peut le constater en dispersant un faisceau lumineux par le prisme et y promenant le corps que l'on veut étudier; le corps prendra alors une couleur plus voisine du rouge que la radiation qui l'éclaire. On peut même de cette façon mettre en évidence la région ultra-violette du spectre, il suffit d'y placer un morceau de papier enduit d'une solution de sulfate de quinine ou d'esculine, le papier deviendra lumineux, alors que la lumière ultra-violette incidente n'impressionne pas la rétine. Les corps fluorescents absorbent les radiations qui leur donnent leur propriété, pour les émettre ensuite transformées en une autre couleur. En effet, si l'on place sur le trajet d'un faisceau lumineux une solution d'éosine par exemple, après son passage à travers le liquide la lumière est incapable de rendre fluorescente une autre solution d'éosine. On voit même que dans la première cuve ce n'est que la face tournée du côté de la lumière qui est fluorescente, les rayons actifs sont absorbés très rapidement dans les premières couches du liquide. Certains tissus vivants sont fluorescents, en particulier la cornée et le cristallin qui deviennent lumineux dans la région ultra-violette; il y a donc lieu d'en conclure, d'après ce qui précède, que les rayons ultra-violets ne peuvent pas arriver jusqu'à la rétine.

Les variations de température ont une très grande influence sur la phosphorescence, qui augmente quand la température s'élève et diminue dans le cas inverse. Il suffit, pour s'en rendre compte, d'approcher les doigts d'un papier enduit d'une matière phospho-

rescente et rendue lumineuse dans l'obscurité par une insolation préalable, toutes les régions ainsi chauffées augmentent de luminosité, pour devenir moins actives que le fond quand on éloigne les doigts; la phosphorescence s'use plus rapidement par l'élévation de température.

Un grand nombre d'organismes vivants sont phosphorescents; mais ce phénomène n'a pas besoin d'une insolation préalable, il n'est pas comparable à la phosphorescence du sulfure de calcium, il est directement lié à la vie des tissus et aux phénomènes chimiques qui s'y produisent.

Certaines parties des plantes dépourvues de chlorophylle émettent une lueur dans l'obscurité, ainsi les fleurs du Souci ou de la Capucine, un grand nombre de Champignons et d'Algues. Il y a des bactéries qui jouissent aussi de cette propriété, et, quand elles envahissent les animaux, la communiquent à leurs tissus; cela se produit souvent sur les poissons chez lesquels la phosphorescence apparaît surtout après la mort. Les bactéries lumineuses infectent aussi parfois les mammifères, et il arrive alors que leur viande soit phosphorescente, cela a lieu principalement pour le porc, le bœuf, le cheval et a été signalé chez l'homme. Ces bactéries peuvent se cultiver et l'on obtient des bouillons de culture émettant une lumière assez intense pour permettre de distinguer dans l'obscurité des caractères d'imprimerie.

Un phénomène très connu est la phosphorescence que prend parfois la mer; il est dû le plus souvent au noctiluque, protozoaire dont la masse est parsemée de points lumineux, comme on peut le reconnaître au microscope.

Enfin il est fréquent de rencontrer, pendant les nuits d'été, ce que l'on nomme vulgairement des vers luisants, émettant une lumière très intense; ils appartiennent à différentes variétés d'insectes.

VIII

EFFETS DE LA LUMIÈRE SUR LES ÊTRES VIVANTS

Les actions chimiques qui se produisent dans les plantes sous l'influence de la lumière solaire constituent un des phénomènes les plus importants dans l'économie de la terre; sans lui aucune vie ne serait possible.

Nous savons en effet que les animaux absorbent sans cesse l'oxygène atmosphérique pour rejeter de l'acide carbonique. Le protoplasma incolore des plantes agit de la même façon, et de la sorte l'air devrait peu à peu perdre tout son oxygène et s'enrichir en acide carbonique. Il n'en est rien, on sait que la composition de l'air reste remarquablement constante. Cela tient à ce que les parties vertes des plantes, d'une façon plus précise la chlorophylle, agit d'une façon inverse. Sous l'influence de la lumière, cette chlorophylle décompose l'acide carbonique de l'air, en fixant le carbone sur la plante et exhalant de l'oxygène. De plus les plantes évaporent de l'eau. Les conditions d'éclairement jouent un rôle considérable sur l'intensité de ces échanges.

Quand une plante verte est maintenue longtemps à l'obscurité elle perd sa couleur verte, elle s'étiole; si on la ramène à la lumière elle verdit plus ou moins rapidement. Il suffit pour cela d'une lumière assez faible, celle d'un bec de gaz par exemple; à mesure que l'intensité lumineuse augmente, le verdissement se produit plus rapidement jusqu'à une certaine limite où il y a un optimum. Au delà le verdissement se ralentit et la chlorophylle peut même être tuée. Cette chlorophylle que l'on aperçoit au microscope sous forme de grains se déplace dans les cellules végétales suivant l'éclairement. Quand cet éclairement est faible les grains se placent les uns à côté des autres pour profiter le mieux possible de la lumière, quand l'intensité lumineuse devient trop forte et que l'on arrive à la zone dangereuse pour la vitalité de la chlorophylle, les grains se mettent les uns derrière les autres pour se protéger.

De nombreuses recherches ont montré que c'est bien à cette chlorophylle qu'il faut attribuer la réduction de l'acide carbonique de l'air.

L'expérience classique consiste à mettre une feuille verte dans une éprouvette renversée sur le mercure et pleine d'une solution aqueuse d'acide carbonique. On l'expose au soleil et au bout d'un certain temps on constate qu'une partie de l'acide carbonique a été remplacée par de l'oxygène. Le carbone fixé s'unit à l'eau de la plante pour donner un hydrate de carbone, l'amidon.

Toutes les radiations ne sont pas également propres à la formation de la chlorophylle et à la mise en activité de sa fonction. Prenons une solution de chlorophylle et interposons-la sur le trajet d'un faisceau lumineux que nous disperserons ensuite pour en former le spectre, nous constaterons la présence d'une série de

bandes d'absorption formant deux groupes principaux (fig. 290), l'un à gauche du jaune vers le rouge, l'autre à droite du bleu vers le violet. Ce sont ces radiations absorbées qui sont les radiations actives, car si l'on fait tomber la lumière filtrée à travers une solu-



Fig. 290.

tion de chlorophylle sur la feuille verte plongée dans une solution aqueuse d'acide carbonique, on constate que la réduction avec élimination d'oxygène ne se produit plus. On peut aussi disposer une série d'éprouvettes contenant des feuilles, dans des diverses régions d'un spectre solaire, en cherchant au bout d'un certain temps combien il y a eu d'acide carbonique réduit, on constate que l'action dominante se produit dans le rouge à l'endroit de la bande très noire du spectre d'absorption, qu'il y a aussi une action moindre, dans le bleu et le violet, mais qu'il n'y en a aucune dans le vert. Engelmann a donné une démonstration très élégante de la répartition de l'activité chlorophyllienne dans le spectre. Plaçant un prisme sous la platine d'un microscope il

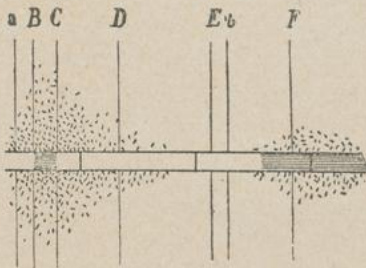


Fig. 291.

forme sur une lame porte-objet un spectre. Sur cette lame est tendu un filament d'algue plongé dans de l'eau contenant des bactéries avides d'oxygène. Peu à peu l'oxygène tend à disparaître par suite de l'action des bactéries, et on les voit s'accumuler autour de l'algue aux endroits où se produit la réduction d'acide carbonique et le dégagement d'oxygène; les groupes de ces bactéries indiquent l'activité de la réduction (fig. 291).

La lumière agit aussi sur la vaporisation de l'eau par les plantes vertes. Pour donner une idée de l'amplitude des variations qui peuvent se produire ainsi, citons cet exemple: Une plante étiolée exhale 1 cm³ d'eau à l'obscurité, à la lumière elle en produit

2 cm³ 2 avant d'avoir verdi, et après verdissement 100 cm³. Cette vaporisation est, comme on le voit, liée à l'action de la lumière et de la chlorophylle, elle se produit dans les mêmes régions du spectre que la décomposition de l'acide carbonique.

En général les plantes ont une tendance à se diriger vers les sources de lumière qui les éclairent, ainsi très rapidement on voit

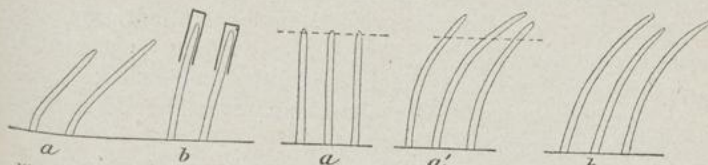


Fig. 292. — Plantules d'avoine. *a*, entièrement éclairées; *b*, à sommet couvert par une feuille d'étain.

Fig. 293. *a*, *a'*, plantules d'avoine éclairées seulement à leur sommet; *a*, avant l'exposition à la lumière; *a'* après l'action de la lumière; *b*, plantules éclairées entièrement.

les plantes d'appartement se pencher vers les fenêtres. Cela n'est pas absolument général, on voit certaines parties de végétaux, comme les vrilles de la vigne vierge, fuir au contraire la lumière, il y a donc un phototropisme positif et un phototropisme négatif. Ce sont les radiations les plus réfrangibles qui produisent cette action et l'on n'est pas fixé sur la cause du phénomène. On sait seulement que son action prédominante s'exerce au sommet des plantes; si l'on éclaire latéralement des plantules d'avoine en couvrant le sommet de certaines d'entre elles d'un petit capuchon d'étain, on les voit se courber moins que les plantules libres

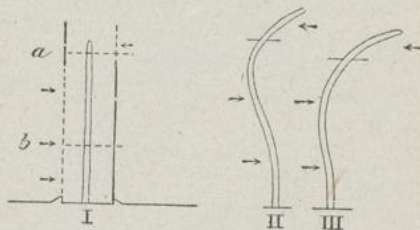


Fig. 294.

I, plantule d'avoine protégée par une cage opaque de manière à recevoir à sa partie supérieure (*a*) la lumière à droite et dans tout le reste de sa longueur (*b*) la lumière à gauche; II, la même plantule après quelque temps d'éclairement; III, la même après un éclaircissement de longue durée.

(fig. 292). Si, au contraire, on n'éclaire que le sommet, on les voit se courber jusqu'à la base, ce qui prouve que l'excitation lumineuse de ce sommet se propage dans toute la hauteur de la plante (fig. 293). Enfin si l'on éclaire d'un côté la majeure partie de la hauteur de la tige et en sens inverse la tête, on voit isolé-

ment les effets de chacune des causes, au début on a une double flexion en S, mais bientôt l'action prépondérante du sommet l'emporte et la courbure due à l'éclairement de la tige diminue (fig. 294).

Citons encore parmi les mouvements des plantes sous l'action de la lumière les phénomènes du sommeil. Ils sont bien liés aux changements d'éclairement, car de Candolle a pu en intervertir les périodes grâce à l'éclairage artificiel. Toutefois il faut pour cela une accoutumance nouvelle, ce n'est qu'au bout de plusieurs jours que l'on arrive à modifier les périodes de sommeil; même chez certaines plantes, de Candolle n'a pu y parvenir, elles restent fixées dans leur périodicité normale.

Une petite masse de protoplasma, une amibe par exemple, tend à se déplacer dans un champ lumineux, tantôt en allant des parties les plus sombres vers les plus éclairées, tantôt en sens contraire; c'est ce que l'on appelle la phototaxie positive ou négative. Parfois on voit de petites algues allongées, s'orienter simplement sous l'influence de la lumière, dirigeant toujours une de leurs extrémités vers la source qui les éclaire; d'autres fois, et ceci se présente d'une façon particulièrement nette sur un rhizopode étudié par Engelmann, au moment d'un éclairage subit le rhizopode, qui émettait des prolongements, se contracte brusquement en prenant la forme d'une boule. Tous ces phénomènes d'excitations du protoplasma par la lumière sont surtout dus aux radiations bleues et violettes, c'est-à-dire à la partie actinique du spectre.

Il y a un fait plus curieux encore, la lumière peut apporter des changements définitifs chez certains êtres unicellulaires. En faisant des cultures de levure dans du moût de bière exposé à la lumière, la levure change de forme et même de propriétés car elle peut passer d'une espèce aérobie à une espèce anaérobie. Certaines transformations obtenues ainsi sont fixées, c'est-à-dire que, les cultures successives se faisant à l'obscurité, les filles d'une culture insolée diffèrent des filles d'une culture non insolée. Ainsi en cultivant des spores d'*Aspergillus glaucus* dans du moût de bière insolé et passant ensuite à l'obscurité on peut obtenir des séries de cultures se développant d'une façon constante suivant le type *Penicillium*. Il existe un bacille qui cultivé sur pomme de terre lui donne une couleur pourprée, ces cultures exposées pendant trois heures à la lumière sont modifiées au point que les cultures qui

en descendent ne donnent plus lieu à ce phénomène de coloration.

En plus de ce qui vient d'être dit, la lumière a sur les bactéries une action de la plus haute importance, elle est bactéricide. Il résulte en effet des recherches d'un grand nombre de savants que les cultures de divers microbes exposées à la lumière deviennent stériles; il semble démontré que cela tient à une suroxydation sous l'influence des radiations chimiques du spectre. Il en est de même pour les toxines sécrétées par les microbes, et l'on comprend l'importance considérable de ces faits au point de vue de l'hygiène des locaux habités. Pour leur assurer la salubrité il leur faut non seulement de l'air, mais aussi de la lumière.

Si maintenant on s'adresse aux êtres plus élevés en organisation, l'influence de la lumière continue à se faire sentir. Béclard a trouvé que les œufs de mouche exposés à des radiations de couleurs différentes donnaient au bout d'un même temps des vers de développement différent; c'était encore le spectre chimique qui avait l'action la plus favorable, et il semblait que le vert fût le moins avantageux. Divers auteurs sont arrivés à des résultats analogues; les plus frappants sont ceux de Leredde et Pautrier. Ces auteurs placèrent dans deux aquariums, l'un en verre rouge, l'autre en verre bleu, des têtards de *Rana temporaria*; ces aquariums étaient toujours exposés à une lumière très vive. Au bout d'un mois les têtards de l'aquarium bleu étaient transformés en grenouilles, ceux de l'aquarium rouge étaient restés à l'état de larves. Un examen microscopique démontra du reste que dans les radiations chimiques, les phénomènes de karyokynèse étaient beaucoup plus actifs que dans le reste du spectre.

La lumière a une influence considérable sur la pigmentation des animaux. Remarquons qu'en général chez ceux d'entre eux qui vivent à la lumière, les parties les plus éclairées sont les plus foncées, le ventre est plus clair que le dos. L'expérience a pu mettre en évidence d'une façon directe cette relation de cause à effet de la lumière et du pigment. En élevant certains animaux à l'obscurité des catacombes, on les a vus se dépigmenter peu à peu, en portant au contraire à la lumière des espèces cavernicoles blanches elles se sont colorées, une moucheture vert noirâtre apparaissant d'abord par place pour donner ensuite des taches confluentes et finalement une coloration uniforme. Parfois, et cela se présente d'une façon particulièrement remarquable chez le caméléon, on peut voir le pigment gagner la surface de la peau,

ou voyager dans la profondeur suivant que l'animal est exposé à la lumière, ou se trouve dans l'obscurité. Il en résulte des variations de couleur de cet animal. Ce sont encore les rayons chimiques qui produisent ces phénomènes, et il y a tout lieu de croire que le pigment a pour effet de protéger la peau, par absorption de ces rayons chimiques, contre leur influence nocive.

On admet généralement que dans la lumière les échanges respiratoires sont plus actifs que dans l'obscurité. Toutefois les recherches récentes semblent avoir démontré que cette suractivité n'est pas due à l'action directe de la lumière, mais à ce que dans l'obscurité les animaux se tiennent plus immobiles qu'à la lumière, et, par suite, consomment moins.

Tous les êtres vivants, depuis la plus petite des algues jusqu'aux mammifères, sont donc influencés, directement ou indirectement, dans leurs conditions d'existence, par l'éclairage auquel ils sont soumis.

Cette question est loin d'être bien étudiée, elle est en effet très complexe. Toutefois il y a un point qui dans ces dernières années a plus particulièrement attiré l'attention des médecins, c'est l'action produite par un éclairage intense sur les téguments.

Depuis longtemps on connaît le coup de soleil. C'est un érythème qui se produit principalement sur les parties découvertes du corps, plus rarement sur les mains que sur la figure ou le cou, parce qu'en général par suite de leur exposition plus directe à la lumière elles sont plus pigmentées. Ce coup de soleil se produit chaque fois qu'une région du corps est exposée à un éclairage intense. Cela est bien connu des ascensionnistes, ils sont obligés de prendre des précautions toutes spéciales pour se garantir de la grande lumière des glaciers; la meilleure est de se noircir le visage à la suie pour empêcher les rayons actiniques d'arriver jusqu'à la peau.

Depuis l'emploi des foyers de lumière électrique intense, les accidents du même genre se produisent très fréquemment dans les usines et les diverses exploitations industrielles. Les observations de coups de soleil électriques deviennent banales. Charcot qui les a signalés le premier, les a attribués aux rayons chimiques et la suite a démontré qu'il ne s'était pas trompé. Il suffit en effet, pour s'en prémunir, de se protéger à l'aide d'un verre rouge des photographes; un verre bleu n'a aucune valeur. Pour les lumières d'intensité moindre, lorsqu'il s'agit, par exemple, d'atténuer sim-

plement la lumière du jour, les verres jaunes rendent d'excellents services. On a, dans ces derniers temps, préconisé des verres de fabrication spéciale qui seraient particulièrement efficaces.

Cette action si intense de la lumière sur les téguments est utilisée aujourd'hui dans un but thérapeutique. Diverses affections de la peau sont traitées avec succès par l'éclairage naturel ou artificiel. Depuis les travaux de Finsen la Photothérapie a pris un grand développement.

Tout d'abord on s'est contenté de la lumière émise par un arc électrique, ou, quand cela était possible, de la lumière solaire. Les dispositifs imaginés dans ce but sont nombreux. L'appareil solaire de Finsen se composait simplement d'une grande lentille creuse; on y mettait une solution de bleu céleste afin d'arrêter les rayons calorifiques et de laisser passer les rayons chimiques. Avec cette lentille on concentrait la lumière solaire sur les parties à traiter. L'appareil électrique du même auteur consistait en un arc dont la lumière était concentrée par des lentilles en quartz qui laissent passer les rayons chimiques. Les rayons traversaient une couche d'eau distillée destinée à absorber la partie calorifique du spectre. De plus le point de la peau traitée était couvert par une chambre creuse en cristal de roche dans laquelle passait un courant d'eau froide, les tissus étaient ainsi sans cesse rafraîchis. Cette chambre a encore un autre rôle important, elle sert à exercer sur les tissus en traitement une compression pour en chasser le sang, ce qui les rend plus transparents aux rayons chimiques, lesquels peuvent alors agir à une plus grande profondeur.

Les autres appareils ne sont que des modifications ou des perfectionnements de ceux de Finsen, qui les contient tous en principe.

Aujourd'hui, à côté de la lumière solaire ou artificielle, on a introduit en thérapeutique les rayons X et ceux émanant du Radium. Ces radiations ont, sur la peau et sur les affections cutanées, une action extrêmement énergique; elles demandent à être maniées avec une grande prudence et une expérience consommée. En effet s'il semble acquis dès aujourd'hui qu'elles ont une efficacité réelle dans diverses maladies et même sur certains cancers superficiels; mais elles peuvent aussi donner lieu à des altérations graves de la peau saine. Les lésions qui en résultent sont d'autant plus redoutables qu'elles mettent parfois un temps considérable à apparaître et sont extrêmement rebelles à tout traitement. Il y a

des cas où l'apparition des premiers symptômes n'a eu lieu que trois semaines après l'exposition de la peau aux rayons émanés du radium et ont mis près d'une année à disparaître. On a vu des épithéliomas se greffer sur des radiodermites. On ne saurait donc trop recommander la prudence dans l'emploi des rayons X ou des radiations du radium.

On utilise aussi depuis quelque temps, ou tout au moins on a employé avec succès dans certaines expériences du traitement des cancers, la lumière émise par les lampes électriques au mercure avec tubes de quartz. Ces lampes émettent des radiations très réfrangibles particulièrement riches en ultra-violet. C'est en somme une application du principe de la méthode de Finsen avec un procédé différent pour produire les rayons actiniques. D'après des recherches récentes, en particulier d'après les travaux de Courmont et Nogier, la lumière émise par ces mêmes lampes serait très efficace pour stériliser les liquides.

to
le
l'é
sui
app
S
par
pas
que
dro
sect
tion
Tou
le c
la l
part
peu
écla
L
simp
rédu
figu