

II. — ÉTUDE DES SPECTRES DE DIVERSES ORIGINES.
ANALYSE SPECTRALE.

546. Méthode de Newton pour obtenir un spectre pur. — Lorsqu'on fait pénétrer un faisceau de lumière solaire dans une chambre obscure, par une petite ouverture, on obtient, sur un écran placé à une certaine distance de l'ouverture, sans interposition de prisme, une image blanche, sensiblement circulaire (465). Par suite, lorsqu'on place un prisme sur le trajet du faisceau, on obtient, sur l'écran, un spectre dans lequel les nuances sont plus ou moins mélangées, en raison de l'empiétement des couleurs voisines les unes sur les autres. — Pour obtenir un spectre *pur*, c'est-à-dire dans lequel la séparation des rayons de nuances différentes se fasse aussi complètement que possible, Newton a employé la méthode suivante.

On introduit la lumière, dans la chambre obscure, par une fente très étroite. Le faisceau est reçu sur une lentille convergente (*), placée à une distance de l'ouverture égale au double de sa distance focale principale. Cette lentille donne, sur un écran placé à la même distance, de l'autre côté, une image brillante de la fente lumineuse, et les dimensions de cette image sont égales à celles de la fente (530, 2°). Enfin, on place le prisme au voisinage de la lentille, de manière que son arête réfringente soit parallèle à la longueur de la fente; on l'oriente dans une position correspondant à peu près au minimum de déviation (519), et l'on dirige l'écran de façon qu'il soit perpendiculaire à la direction moyenne des rayons réfractés. — Le spectre résulte alors de la juxtaposition d'une infinité de rectangles très déliés, empiétant peu les uns sur les autres. Le mélange des couleurs est d'autant moindre que la largeur de la fente est plus petite.

547. Raies du spectre solaire. — Dans le spectre solaire, obtenu par la méthode de Newton, on observe un grand nombre de *raies obscures*, parallèles à l'arête du prisme. L'apparition de ces raies prouve que, dans la lumière du soleil, il n'y a pas continuité parfaite entre les réfrangibilités des radiations qui la constituent : on peut dire qu'il y manque un grand nombre de couleurs simples, dont le degré de réfrangibilité serait déterminé par la place qu'occupent les raies obscures.

La production de ces lignes obscures avait échappé à Newton, probablement à cause du peu d'homogénéité des lentilles dont il pouvait faire usage. Le phénomène a été signalé par Wollaston, en 1802. Treize ans après, un physicien de Munich, Fraunhofer, en fit une étude attentive, et parvint à compter environ six cents de ces lignes; c'est pourquoi on les désigne souvent sous le nom de *raies de Fraunhofer*. —

(*) La lentille doit être achromatique (541).

Plus tard, Brewster, M. Kirchhoff et d'autres expérimentateurs en ont encore signalé de nouvelles.

On distingue aisément huit groupes principaux de raies, qui ont été désignés par les lettres A, B, C, D, E, F, G, H, et dont la figure 580 représente la position (avec celle de quelques autres groupes, *a, b*); dans l'intervalle, on découvre encore une multitude de lignes plus fines, distribuées irrégulièrement dans le spectre (*).

548. Spectroscope. — Le spectre que l'on obtient sur un écran, en employant la méthode de Newton (546), est la succession d'une série d'images réelles de la fente, formées chacune par les rayons d'une nuance déterminée. Or, supposons qu'on supprime l'écran et qu'on

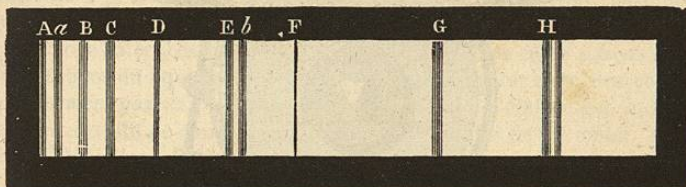


Fig. 580. — Raies du spectre solaire.

place, au delà de la position qu'il occupait et sur le trajet des faisceaux lumineux, une loupe; l'œil placé derrière cette loupe verra l'image *aérienne* du spectre, comme il verrait un objet occupant la même position : le grossissement produit par la loupe permettra, en outre, de mieux distinguer les détails. — Mais la succession de la lentille qui, dans la méthode de Newton, reçoit le faisceau lumineux à sa sortie du prisme, et de la lentille qui fonctionne comme loupe, constitue précisément le système que nous étudierons plus loin sous le nom de *lunette astronomique*. Ce mode d'observation revient donc, en réalité, à placer au delà du prisme P (fig. 581), sur la direction du faisceau réfracté, une lunette LO convenablement ajustée.

On place ordinairement la fente F, par laquelle arrivent les rayons, à l'extrémité d'un tube noirci intérieurement, et l'on fixe dans ce tube une lentille C, dont la fente F occupe le foyer principal : les rayons qui viennent de chacun des points de la fente sortent alors de la lentille *parallèlement* entre eux, et arrivent sur le prisme comme s'ils venaient d'un objet placé à l'infini. — Le système formé d'une lentille et d'une ente ainsi disposées porte le nom général de *collimateur*.

L'appareil dont nous venons d'indiquer les éléments essentiels a été

(*) Les raies du spectre forment des lignes de repère fixes, que l'on utilise pour la détermination précise des indices de réfraction. — Pour la construction des instruments d'optique, dans lesquels on veut obtenir un achromatisme aussi parfait que possible, il est utile de connaître, pour les différentes sortes de verre, les indices de réfraction qui correspondent aux rayons voisins des raies principales.

désigné sous le nom de *spectroscope*. — Le prisme P est placé au centre d'un limbe circulaire, et le collimateur FC en un point du contour de ce cercle, de façon que son axe aille rencontrer l'une des faces du prisme; la lunette OL est mobile dans le plan du limbe, de manière à permettre d'explorer le faisceau réfracté par le prisme. — Enfin, pour comparer entre elles les positions des diverses raies, on fixe sur le

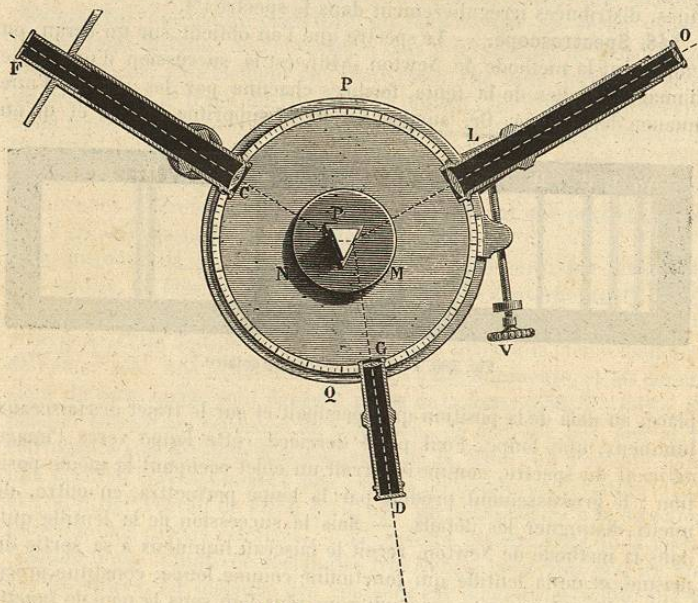


Fig. 581. — Spectroscope.

limbe un *tube micrométrique* DG. A l'extrémité D est une plaque de verre bien éclairée, sur laquelle est gravée une petite échelle formée de traits fins, parallèles à l'arête du prisme; à l'autre extrémité G est une lentille qui fonctionne encore comme un collimateur, envoyant sur la deuxième face du prisme, en faisceaux parallèles, les rayons émis par les traits du micromètre : ces rayons sont réfléchis par cette face, et viennent former dans la lunette l'image aérienne du micromètre, laquelle se superpose à celle du spectre et est vue en même temps. Les diverses régions du spectre peuvent alors être caractérisées par les divisions du micromètre auxquelles elles correspondent.

549. Spectres des lumières artificielles. — Quand on chauffe progressivement un corps *solide* ou *liquide*, en observant au spectroscope la lumière qu'il émet, on constate que, à la température du rouge naissant, le spectre se compose presque uniquement de rayons rouges,

c'est-à-dire des rayons les moins réfrangibles; puis, à mesure que la température s'élève, on voit apparaître dans le spectre, à la suite du rouge, des rayons orangés, puis des rayons jaunes, verts, etc., par ordre de réfrangibilité croissante; les rayons violets n'apparaissent nettement qu'à la *température blanche*. — En d'autres termes, le spectre s'étend d'une manière progressive, à mesure que l'incandescence du corps devient plus vive; mais le spectre de ces corps *solides* ou *liquides* est toujours un *spectre continu, sans intervalles obscurs*.

Au contraire, les corps *gazeux*, amenés à l'incandescence, émettent une lumière qui, décomposée par un prisme, donne un *spectre discontinu*, formé de raies brillantes se détachant sur un fond à peine lumineux (*). Ces lignes brillantes ont une couleur et une position *caractéristiques* pour chaque gaz en particulier.

Pour constater ces propriétés, qui distinguent les corps gazeux des corps solides ou liquides, il est indispensable d'opérer avec des corps *complètement gazeux*. — Pour obtenir un métal à l'état de gaz incandescent, il suffit de faire jaillir, entre deux points de ce métal, une série d'étincelles électriques : les particules métalliques vaporisées sont transportées à l'état d'incandescence, d'une pointe à l'autre. — Pour les métaux alcalins ou alcalino-terreux, on fait usage d'un bec de gaz, dit *brûleur de Bunsen*, dans lequel l'arrivée d'un courant d'air a pour effet de brûler complètement le charbon et de rendre la flamme à peine visible (**): on introduit, à la base de la flamme, une petite cuillère de platine, contenant une parcelle d'un sel du métal soumis à l'expérience. — Enfin, les gaz raréfiés contenus dans les tubes de Geissler (livre V, chap. viii) sont rendus incandescents par le passage de courants d'induction.

550. Analyse spectrale. — Les différences qu'on observe entre les spectres produits par les divers corps, à l'état de gaz ou de vapeurs incandescentes, ont conduit à une méthode d'analyse, d'une extrême sensibilité. Si l'on observe au spectroscope la flamme d'un bec de Bunsen, dans laquelle on a introduit un fil de platine humecté avec un sel métallique volatil, on voit apparaître, dans le spectre, des lignes brillantes, *caractéristiques* de la nature du métal. C'est ainsi que la présence du sodium est accusée par une double raie jaune, très brillante; celle du lithium, par une raie rouge et par une raie jaune différente de la raie du sodium, etc.

(*) Les raies vont en s'élargissant, et le spectre tend à devenir continu, à mesure que le corps gazeux est porté à une température plus élevée; ou bien encore, à mesure que l'on opère sur des masses gazeuses de plus en plus denses.

(**) Quand on observe au spectroscope les flammes de gaz tenant en suspension des particules solides, on obtient des spectres continus, parce que l'éclat des particules solides incandescentes l'emporte sur l'éclat du gaz lui-même. Ainsi, les flammes de nos bougies, de nos lampes, qui doivent leur propriété éclairante aux parcelles de charbon mises en liberté pendant la combustion, donnent toujours des spectres continus, dans lesquels certaines parties ont seulement une intensité prédominante.

Enfin, l'apparition de raies particulières, n'appartenant à aucun des métaux déjà connus, a conduit presque immédiatement MM. Kirchhoff et Bunsen à la découverte de deux nouveaux métaux, le cæsium et le rubidium, qui ont ensuite été isolés par eux, au moyen de procédés chimiques. — Bientôt après, un troisième métal, le thallium, signalé en Angleterre par M. Crookes, sur la simple apparition d'une raie verte spéciale, a été isolé en France par M. Lamy. — Plus récemment encore, un nouveau métal, le gallium, a été découvert d'une manière semblable par M. Lecoq de Boisbaudran.

551. Expérience du renversement des raies. — Voici maintenant une expérience, qui a été faite pour la première fois par Foucault, et qui a conduit M. Kirchhoff à une théorie de la formation des raies obscures du spectre solaire.

Quand on éclaire la fente d'un spectroscopie au moyen de la lumière blanche émise par un corps solide porté à une haute température (charbons de l'arc voltaïque, lumière de Drummond) on observe un spectre très brillant et *absolument continu*. — Si maintenant on interpose, sur le trajet de cette lumière blanche, devant la fente du spectroscopie, une flamme d'alcool salé, on voit apparaître, dans le spectre, une bande *obscur*, occupant exactement la même position que la bande jaune, brillante, que l'on observerait si la fente du spectroscopie était seulement éclairée par la vapeur de sodium portée à l'incandescence (c'est la position de la raie obscure D du spectre solaire).

De cette expérience il résulte qu'une flamme contenant un sel de sodium, en même temps qu'elle a la propriété d'*émettre* exclusivement des rayons jaunes, possède aussi la propriété d'*absorber* la lumière jaune émise par une source lumineuse plus intense, sans absorber les autres couleurs que contient cette lumière. — De même, le chlorure de lithium, placé dans une flamme non éclairante, donne un spectre remarquable par une ligne rouge *brillante*, qui correspond à peu près au milieu de l'intervalle compris entre les raies B et C de Fraunhofer. Cette flamme, placée sur le trajet du faisceau lumineux produit par la lumière de Drummond, fait apparaître, dans le spectre de cette lumière, une raie *obscur* correspondante.

Ces résultats ont été rattachés par M. Kirchhoff à un principe qui avait été établi par l'expérience, pour la chaleur rayonnante en particulier (617), le principe de *l'égalité du pouvoir émissif et du pouvoir absorbant* d'un même corps, pour des rayons d'une espèce déterminée. — En généralisant ce principe, on devra raisonner comme il suit. Puisque la flamme de l'alcool salé donne, à la température de sa combustion, un spectre dans lequel prédomine une bande jaune, cette flamme n'a de pouvoir émissif sensible, à cette température, que pour les radiations jaunes : par suite, si l'on fait tomber sur cette flamme les radiations émanées d'une autre source, elle ne doit avoir de pouvoir

absorbant que pour les radiations jaunes : son pouvoir absorbant pour toutes les radiations d'une autre couleur doit être sensiblement nul. Dès lors, lorsque le faisceau de la lumière de Drummond traverse cette flamme, les rayons jaunes de ce faisceau perdent une partie considérable de leur intensité ; d'autre part, les rayons jaunes émis par la flamme elle-même, qui est à une température plus basse, n'ont pas une intensité qui compense la perte d'éclat du faisceau transmis. On doit donc bien obtenir, dans la région du spectre qui correspond aux rayons de cette couleur, une bande *obscur*, tranchant sur les autres couleurs dont l'éclat n'est pas sensiblement amoindri.

Cette explication s'étend à toutes les expériences semblables, c'est-à-dire à toutes celles dans lesquelles on produit le phénomène qui est aujourd'hui désigné sous le nom de *renversement des raies*.

552. Explication de la production des raies du spectre solaire, d'après M. Kirchhoff. — Pour expliquer la production des raies obscures dans le spectre de la lumière solaire, il suffit d'admettre, avec M. Kirchhoff, que le noyau solide ou liquide de l'astre est enveloppé d'une *photosphère* gazeuse, dont l'éclat est notablement inférieur au sien. Sans la présence de cette photosphère, le noyau enverrait une lumière qui produirait un spectre continu (549) ; mais la photosphère se comporte, par rapport à la lumière émise par le noyau, comme la flamme d'alcool salé par rapport à la lumière émise par la chaux incandescente, c'est-à-dire que la lumière du noyau perd, en traversant la photosphère, la plus grande partie des rayons dont la réfrangibilité correspond à ceux que la photosphère émet elle-même.

M. Kirchhoff a déterminé, avec le plus grand soin, la position des raies obscures du spectre solaire, pour la comparer à celle des raies brillantes des corps connus : on voit, en effet, que si l'on constate une coïncidence exacte entre certaines raies *obscur* du spectre solaire et les lignes *brillantes* fournies par un corps à l'état gazeux, on en pourra conclure la présence de ce corps dans la photosphère du soleil. De là, la possibilité d'une véritable *analyse de l'atmosphère solaire*, analyse qui a déjà fourni les résultats les plus remarquables. — L'hydrogène, le sodium, le calcium, le magnésium, le fer, le chrome, le zinc, font partie de l'atmosphère du soleil : pour le fer, en particulier, cette assertion est fondée sur la concordance entre un nombre considérable de raies brillantes du spectre fourni par le métal en vapeur, et des raies obscures observées dans le spectre solaire.

553. Raies telluriques. — Certaines bandes obscures, observées dans le spectre solaire, doivent être considérées comme ayant pour origine l'absorption de certains rayons lumineux par l'atmosphère de la Terre : elles augmentent d'intensité quand le soleil s'approche de l'horizon, parce que la couche d'air traversée par les rayons solaires est alors plus épaisse. Ces bandes ont reçu le nom de *raies telluriques*.

M. Janssen a montré qu'on peut faire apparaître, dans le spectre d'une lumière artificielle, celles de ces raies telluriques qui sont situées de part et d'autre de la raie D, en faisant traverser à cette lumière une couche épaisse de vapeur d'eau : c'est donc surtout à la présence de la vapeur d'eau dans notre atmosphère qu'il faut attribuer la production des raies telluriques voisines de la raie D. D'ailleurs, ces mêmes raies semblent diminuer par un temps sec et froid, lorsque l'atmosphère ne contient qu'une très faible quantité de vapeur d'eau.

M. Janssen a également montré que d'autres raies telluriques, appartenant aux groupes A et B, peuvent apparaître dans le spectre d'une lumière artificielle, quand cette lumière a traversé une couche épaisse d'oxygène comprimé. Ces autres raies telluriques seraient dues à l'absorption, par l'oxygène de l'air, des radiations correspondantes.

554. Résultats relatifs à l'étude physique des corps célestes. —

Les planètes ne nous renvoyant que la lumière qu'elles reçoivent du Soleil, on devait s'attendre à retrouver, dans leurs spectres, les mêmes lignes obscures que dans le spectre solaire : c'est ce que confirme l'observation. — Mais une étude attentive a montré que les spectres fournis par Jupiter et par Saturne présentent, même quand ces astres sont bien au-dessus de notre horizon, des raies correspondantes à celles que produit la présence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère terrestre. On est ainsi conduit à admettre, comme d'autres observations l'avaient déjà fait penser, qu'il existe, à la surface de ces planètes, de grandes nappes d'eau, entretenant leur atmosphère dans un état d'humidité continuelle. — Quant à la Lune, l'analyse spectrale, aussi bien que les autres modes d'observation, indique qu'elle n'a pas d'atmosphère.

Les étoiles émettant une lumière propre, l'étude des spectres qu'elles fournissent présente un intérêt tout particulier. — Pour toutes les étoiles proprement dites, on obtient des spectres *continus*, sillonnés de raies obscures : ces astres sont donc constitués, comme le Soleil, par un noyau solide ou liquide, entouré d'une atmosphère absorbante. La nature chimique de cette atmosphère pourra être révélée par la position des lignes obscures, dans le spectre de chacune d'elles.

Quant aux *nébuleuses non résolubles*, c'est-à-dire dans lesquelles les instruments les plus puissants ne distinguent qu'une sorte de nuage lumineux, elles fournissent, en général, un spectre formé de quatre lignes brillantes, se détachant sur un fond obscur. Cette apparence est celle qui caractérise les corps entièrement gazeux : deux des raies brillantes appartiennent à l'hydrogène; les deux autres peuvent être attribuées à l'azote et au baryum.

CHAPITRE V

VISION. — INSTRUMENTS D'OPTIQUE. VITESSE DE LA LUMIÈRE.

I. — VISION.

555. *Structure de l'œil.* — Le globe de l'œil offre, chez l'homme, à peu près la forme d'une sphère : la figure 382 en représente une coupe, par un plan vertical dirigé d'avant en arrière. — L'enveloppe de ce globe est formée par une membrane blanche et opaque SS, à laquelle sa consistance a fait donner le nom de *sclérotique* (σκληρός, dur). — A la partie antérieure, la sclérotique est remplacée par une membrane incolore et transparente C, qui présente une courbure un peu plus prononcée que la sclérotique : on lui donne le nom de *cornée transparente*, pour la distinguer de la sclérotique, qu'on nomme aussi quelquefois *cornée opaque*.

A l'intérieur du globe, derrière la cornée et à une petite distance, se trouve une cloison membraneuse verticale, perpendiculaire à l'axe de l'œil : c'est l'*iris* I, I, percé en son centre d'une ouverture circulaire, la *pupille* P. La membrane de l'iris offre, chez les divers individus, des colorations différentes,

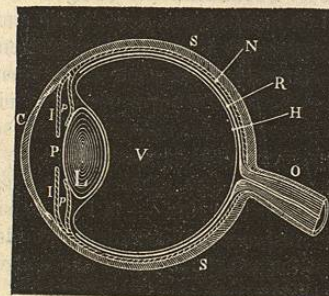


Fig. 382. — Coupe du globe de l'œil

variant du bleu au brun le plus foncé. — Derrière la pupille, à une très petite distance, se trouve une lentille convergente, le *crystallin* L : cette lentille est formée de couches superposées, dont les indices de réfraction vont en croissant des parties superficielles aux parties profondes ; elle est maintenue en avant par les *procès ciliaires* p, p.

La cavité du globe est ainsi séparée, par le cristallin et les procès ciliaires, en deux cavités. — La première, située en avant du cristallin, est remplie d'une humeur limpide et incolore, l'*humour aqueuse*. — La