achromatisme parfait; mais deux suffisent en général dans tous les instruments d'optique: on leur donne la courbure nécessaire pour achromatiser les rayons *rouge* et *jaune*.

487. **Absorption de la lumière par les milieux transparents.** — On ne connaît pas de substance d'une transparence parfaite. Le verre, l'eau, l'air même, éteignent graduellement la lumière qui les traverse, et, sous une épaisseur suffisante, ces milieux peuvent l'affaiblir assez pour qu'elle n'agisse plus sur la rétine. On observe, en effet, qu'un grand nombre d'étoiles qui ne sont pas visibles, même par le ciel le plus pur, quand on est dans les plaines, deviennent visibles sur les hautes montagnes.

Cette perte graduelle qu'éprouve la lumière en traversant les milieux diaphanes se nomme *absorption*. Si tous les rayons simples étaient également transmissibles à travers les milieux diaphanes, ceux-ci seraient incolores. Or il n'en est jamais ainsi : les corps diaphanes laissent passer certains rayons lumineux plus facilement que d'autres. Le milieu prend alors la couleur des rayons pour lesquels il est le plus diaphane. C'est pour cette raison que, sous une grande épaisseur, l'air paraît *bleu;* de même, une lame épaisse de verre est *verte;* le verre coloré *en rouge* par le protoxyde de cuivre ne laisse passer que les rayons *rouges*, et absorbe tous les autres, même sous une petite épaisseur.

Pour plusieurs milieux transparents, la coloration varie avec l'épaisseur. Par exemple, le perchlorure de chrome, qui est vert sous une faible épaisseur, devient rouge foncé sous une épaisseur plus grande. On nomme *polychroïques* les substances dont la teinte varie ainsi avec l'épaisseur.

C'est aussi par un effet d'absorption que les rayons du soleil sont moins intenses quand cet astre est à l'horizon que lorsqu'il est au zénith, car ils traversent alors une épaisseur d'atmosphère plus considérable.

CHAPITRE VIII

CHROMATIQUE (SUITE)

—

RAIES DU SPECTRE ET ANALYSE SPECTRALE.

488. **Raies du spectre.** — 1° *Définition et production.* — Quand on produit un spectre solaire très pur (règle de Newton), on s'aperçoit que ce spectre n'est pas continu; il est sillonné, perpendiculairement à sa longueur, de *raies obscures*, plus ou moins nombreuses, plus ou moins larges, suivant le degré de netteté de l'image. C'est ce qu'on appelle les *raies du spectre solaire*.

Pour bien observer les raies, on reçoit un faisceau de lumière solaire dans une chambre obscure, par une fente très étroite, et à la distance de 3 à 4 mètres on regarde cette fente à travers un prisme de flint exempt de stries, en tenant les arêtes parallèles aux bords de la fente : on voit alors un grand nombre de raies

obscures, très déliées, parallèles aux arêtes du prisme et très inégalement espacées. On voit encore mieux ces raies en les observant à l'aide d'une lunette.

Les diverses couleurs du spectre solaire ne sont donc point continues; les rayons paraissent manquer pour plusieurs degrés de réfrangibilité.

2° *Description et historique.* — Il est étonnant que Newton n'ait pas aperçu ces raies; il est probable que la substance de ses prismes n'était pas assez pure. C'est Wollaston qui les signala le premier, en 1802 ; mais c'est Fraünhofer qui le premier, en 1815, les étudia avec soin et en donna une description détaillée, avec un dessin précis. Il désignait par les lettres A, *a*, B, C, D, E, *b*, F, G, H, les plus apparentes de ces raies, qu'on appelle ordinairement *raies de Fraünhofer*. La raie A (fig. 1 des planches I et II) est à la limite du rouge; B, au milieu du rouge; C, à la limite du rouge et de l'orangé; D, dans le jaune; E, dans le vert : F, dans le bleu; G, dans l'indigo et H dans le violet. Il y a encore d'autres raies remarquables, telles que *a* dans le rouge et *b* dans le vert. Avec la lumière solaire, ces raies ont des positions fixes dans les différentes régions du spectre, ce qui donne le moyen de mesurer avec précision les indices de réfraction des couleurs correspondantes.

Fraünhofer avait fait de nombreuses observations sur ces raies. Il avait reconnu que les spectres de la lumière des planètes offrent les mêmes raies, que ceux des étoiles en présentent quelquefois d'autres : ce qui prouve que les planètes ne reflètent que la lumière du soleil, tandis que les étoiles ont une lumière propre, plus ou moins différente de celle-ci. Il a publié un dessin de $0^m,394$ de longueur, contenant 354 raies.

De nombreuses recherches ont été faites depuis Fraünhofer sur le même sujet, et l'on a publié des dessins plus complets des raies du spectre solaire. On peut citer :

Le dessin	de S. Brewster,	de $1^m,727$	de long,	contenant	2000 raies
—	Kirchow,	— $1^m,25$	—	—	3000 raies (et plus).
—	Angström,	— $2^m,90$	—	—	1000 —
—	Thollon	— 15^m	—	—	4000 —

489. **Spectroscopes.** — I. *Définition.* — Tout appareil qui sert à étudier le spectre est un spectroscope. Le dispositif qui a servi à Fraünhofer a été le premier modèle et le type de ces instruments. Il était formé : 1° d'une fente pratiquée dans un volet de chambre obscure, par où arrivaient les rayons solaires; 2° d'un prisme, qui décomposait la lumière solaire : 3° d'une lunette pour

observer le spectre. La nécessité d'avoir des rayons incidents à peu près parallèles faisait placer le prisme à une assez grande distance, environ 10 mètres de la fente. Ce spectroscope primitif était donc d'un usage peu commode. Le but de la construction des spectroscopes proprement dits a été d'obtenir les mêmes résultats que Fraünhofer avec des appareils plus petits, plus commodes et plus précis.

II. *Description schématique.* — Tout spectroscope se compose essentiellement de quatre pièces :

1° Un *système dispersif* P, simple ou composé, formé d'un ou plusieurs prismes qui sont convenablement disposés pour que leurs effets puissent s'ajouter (fig. 553).

2° Un *collimateur* C, pièce destinée à envoyer sur le prisme un

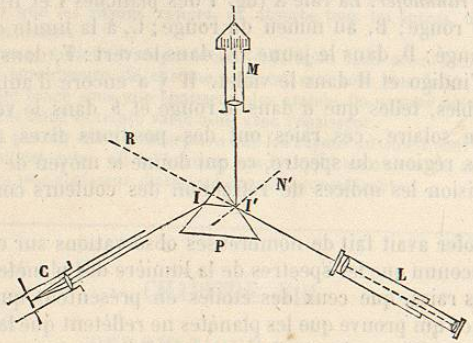

Fig. 553.

faisceau de rayons parallèles. Il se compose d'une lentille et d'une fente portées par un même tuyau de lunette. La fente peut être éclairée par la source de lumière quelconque qu'il s'agit d'analyser. Elle est disposée au foyer principal de la lentille, de sorte que le faisceau divergent qu'elle envoie sur celle-ci en émerge parallèlement à l'axe principal, lequel coïncide avec l'axe géométrique du tube.

3° Une *lunette* L, dont l'axe optique est dirigé de manière à recevoir les rayons émergents du prisme. Cette lunette est aussi parfaite que possible, et pour cela elle a un faible grossissement. Si le *collimateur* a été bien réglé, le faisceau blanc qui en sort est parfaitement parallèle; de même, les faisceaux colorés qui émergent du système réfringent sont chacun parallèles à une même direction, quelle que soit la dispersion. Chacun des faisceaux peut donc être reçu successivement dans la lunette, parallèlement à

l'axe principal, et venir former une image colorée au foyer de l'objectif : c'est cette image qu'on examine à l'aide de l'*oculaire*.

4° Un *micromètre* M. C'est un dispositif imaginé par Bunsen pour faciliter la lecture des déviations et déterminer la position des différentes raies. C'est une sorte de deuxième collimateur, ayant à son foyer un *micromètre*, c'est-à-dire une échelle divisée photographiée sur verre, à divisions très fines et équidistantes. Cet objet, étant bien éclairé, envoie sur la lentille des faisceaux divergents qui sont transformés en faisceaux parallèles. L'axe de la lentille étant symétrique de l'axe de la lunette par rapport à la face d'émergence du prisme, il en résulte que les rayons émis par le micromètre viennent se réfléchir en I' et entrent dans la lunette parallèlement à son axe optique. On voit donc à la fois, dans une même direction LR, l'image du spectre et l'image de l'échelle divisée : on s'arrange de manière que celle-ci vienne se projeter un peu au-dessus de celle-là.

490. **Spectroscope ordinaire.** — Cet appareil est représenté, en perspec-

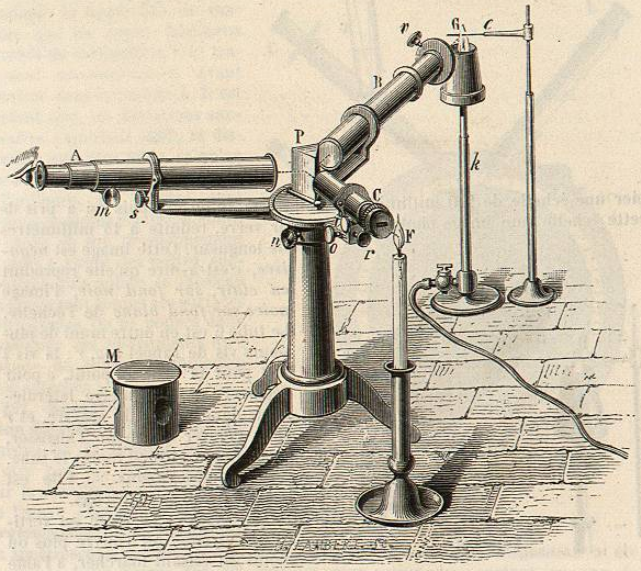

Fig. 554.

tive (fig. 554), tel qu'il a été employé par MM. Kirchhoff et Bunsen, avec quelques modifications de MM. Duboscq et Grandeau.

Les quatre pièces sont montées sur un pied commun, et les axes des trois tubes convergent vers les faces du prisme de flint P. La lunette A peut seule tourner autour du prisme. On la fixe par une vis de pression *n* dans la position qu'on veut lui donner. Le bouton *m* sert à *mettre au point*, c'est-à-dire à faire avancer ou reculer l'oculaire, jusqu'à ce qu'on voie nettement l'image du spectre; enfin le bouton *s* donne le moyen d'incliner plus ou moins la lunette. La lumière qu'il s'agit d'analyser est en G. Elle est placée devant la fente du collimateur, lequel est porté par le tube B.

Le micromètre, fixé dans le tube C, est éclairé par une bougie F. Il porte 250 divisions équidistantes. Pour les obtenir, on a tracé sur une bande de papier une échelle de 250 millimètres, graduée de 10 en 10; puis on a pris de cette échelle une image photographique sur verre, réduite à 15 millimètres de longueur. Cette image est *négative*, c'est-à-dire qu'elle reproduit *en clair, sur fond noir*, l'image *noire sur fond blanc* de l'échelle. Le tube C est en outre muni de plusieurs vis de rappel *i*, *o*, *r* : la vis *i* sert pour la mise au point, *o* pour déplacer le micromètre latéralement dans le sens du spectre, et *r* pour l'élever ou pour l'abaisser, en inclinant plus ou moins le tube.

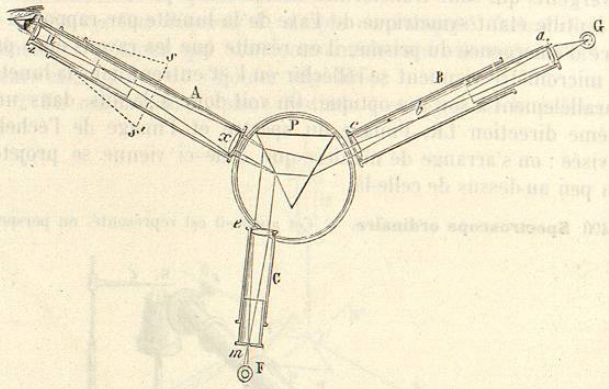

Fig. 555.

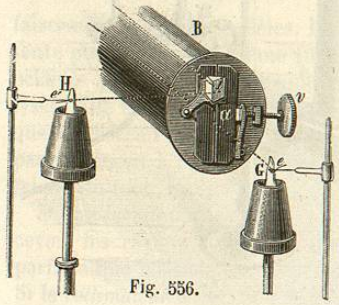

Fig. 556.

Marche des rayons. — Elle est indiquée dans la figure 555.

Opération. — La fente est verticale et étroite : on l'ouvre plus ou moins en faisant marcher, à l'aide d'une vis de pression *v*, la pièce *a*, qui est mobile (fig. 556). Lorsqu'on veut observer simultanément deux spectres pour les comparer entre eux, on place à la partie supérieure de la fente un petit prisme *i* dont l'angle réfringent est de 60°. Les rayons partis d'une flamme H tombent normalement sur une des faces du prisme, éprouvent la

réflexion totale sur la deuxième, et, sortant perpendiculairement à la troisième, entrent dans la lunette suivant une direction parallèle à son axe. Puis une deuxième flamme G envoie un second faisceau, un peu au-dessous du petit prisme, dans la même direction que le premier; et ces deux faisceaux, traversant le prisme P du spectroscope (fig. 555), vont former deux spectres horizontaux parallèles, qu'on regarde avec la lunette A. Dans les flammes G et H sont des fils de platine *e*, *e'*. Ces fils ont été trempés d'avance dans les dissolutions salines des métaux sur lesquels on veut expérimenter; ou bien ils supportent de petits cristaux de ces sels, et c'est en se vaporisant que les métaux modifient la lumière transmise et donnent naissance à telles ou telles raies.

Remarque. — Chacune des flammes H et G est fournie par la combustion de gaz d'éclairage dans un *bec Bunsen*. Le gaz arrive par la tige, qui est creuse. A la partie inférieure de celle-ci est un orifice latéral destiné à laisser entrer l'air qui doit brûler le gaz. Cet orifice se ferme plus ou moins au moyen d'un diaphragme tournant, qui fait l'office de régulateur. Si on laisse entrer beaucoup d'air, le gaz brûle avec éclat, et les raies sont peu apparentes. Si on laisse passer moins d'air, la flamme perd de son éclat et bleuit. Alors elle ne donne plus de spectre; mais dès qu'on y introduit un sel métallique à l'état de dissolution ou à l'état solide, le spectre du métal apparaît.

491. **Spectroscopes à prismes multiples.** — Ce sont des appareils où le prisme P est remplacé par une plate-forme portant plusieurs prismes. Ces prismes sont disposés, comme l'indique la figure 557, de manière que les rayons lumineux émanés du collimateur C le traversent successivement avant d'entrer dans la lunette L. Il est évident que, les déviations successives s'ajoutant (486), la dispersion sera plus forte, et qu'on aura un spectre plus étendu.

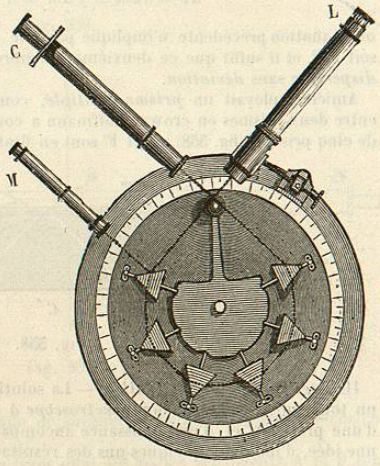

Fig. 557.

D'ailleurs, ce spectre sera beaucoup moins éclairé, d'abord à cause de son développement et puis à cause des pertes successives qu'a subies le faisceau en traversant toutes ces surfaces réfringentes. On ne pourra donc appliquer ces instruments qu'à l'étude de sources lumineuses très intenses.

492. **Spectroscopes à vision directe.** — Ce sont des appareils où la lunette, au lieu d'être plus ou moins inclinée sur la direction du collimateur, se trouve exactement *sur son prolongement:* il en résulte que le spectroscope complet a l'air d'une simple lunette. Cette disposition a été imaginée pour rendre les observations plus commodes, surtout en vue de l'analyse spectrale des astres.

Le problème de la spectroscopie à vision directe a reçu deux solutions : 1° l'une, surtout théorique, appliquée dans le spectroscope d'Amici; 2° l'autre, beaucoup plus pratique, dans le spectroscope de M. Thollon.

I. *Spectroscope d'Amici.* — Nous avons vu (486) que lorsqu'un rayon lumineux traverse une suite de prismes dont les indices sont m, m', m'', etc., la *déviation totale* qu'il subit est égale à la *somme algébrique des déviations partielles*. On a donc

$$D = d \pm d' \pm d'' \pm \ldots,$$

ou bien, en appliquant les formules des petits prismes,

$$D = (m-1)A \pm (m'-1)A' \pm (m''-1)A'' \pm \ldots,$$

les déviations partielles étant positives ou négatives, suivant que les prismes sont orientés dans le même sens ou en sens inverse. On conçoit donc qu'on puisse choisir les angles et les indices d'une série de prismes de manière que l'on ait

$$(m-1)A \pm (m'-1)A' \pm (m''-1)A'' + \ldots = 0.$$

Dans ce cas, la couleur correspondante à ces indices *ne sera pas déviée* et l'on pourra la recevoir dans la lunette en plaçant l'axe optique de l'instrument dans la direction même d'incidence.

Remarquons bien d'ailleurs qu'on peut annuler la *déviation* sans détruire la *dispersion*. En effet, pour un autre rayon coloré, d'indices $m + \Delta m$, $m' + \Delta m'$, $m'' + \Delta m''$, etc., la dispersion ΔD (ou *différence de déviation*) est fournie par l'équation

$$\Delta D = A\Delta m \pm A'\Delta m' \pm A''\Delta m'' \pm \ldots;$$

or l'équation précédente n'implique pas que le deuxième membre de celle-ci soit *nul*, et il suffit que ce deuxième membre ne soit pas nul pour qu'il y ait *dispersion* sans *déviation*.

Amici employait un *prisme multiple*, composé d'un prisme en flint, placé entre deux prismes en crown. Hoffmann a construit un prisme multiple formé de cinq prismes (fig. 558) : F et F′ sont en flint; C, C′, C″ sont en crown.

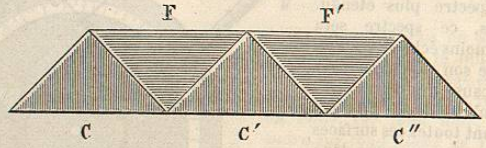

Fig. 558.

II. *Spectroscope de M. Thollon.* — La solution de M. Thollon est fondée sur un tout autre principe. Son *spectroscope à vision directe* est un instrument d'une précision et d'une puissance incomparables. Il suffit, pour en donner une idée, d'indiquer quelques-uns des résultats qu'en a tirés cet habile expérimentateur :

1° Un rayon de lumière solaire, examiné dans ce spectroscope, donne un spectre de 185°, qui a une longueur apparente de 15 *mètres*.

2° On voit nettement dans ce spectre plus de 4000 *raies obscures*.

3° Aucun spectroscope n'avait donné jusqu'à ce jour une résolution aussi complète des groupes de raies du spectre solaire. Ainsi, dans l'intervalle de la double raie D on en voit *distinctement* 12 autres, dont 3 sont métalliques et 9 produites par notre atmosphère.

4° Comme exemple frappant de l'énorme dispersion des prismes et de la perfection des images, nous citerons ce résultat récent des observations de

M. Thollon. Par le déplacement des raies métalliques, il a pu non seulement *constater* le mouvement de rotation du soleil, mais encore le *mesurer* avec une certaine précision.

Description du spectroscope et marche des rayons. — La description de l'appareil et la marche des rayons sont indiquées dans les figures 559 et 560.

1° P. Projection horizontale du prisme composé (sulfure de carbone et crown).

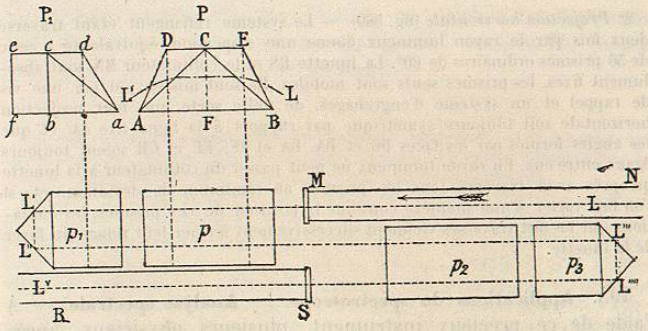

Fig. 559.

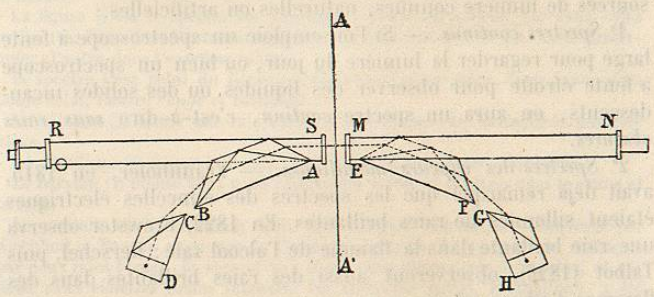

Fig. 560.

ACB. Portion du prisme remplie de sulfure de carbone. L'angle réfringent C = 112°.

ACD et BCE. Prismes en crown léger dont les angles réfringents A et B sont égaux à 30° et de sens opposé à C.

LL′. Marche du rayon lumineux à travers le prisme; il rencontre les faces BE et AD sous l'angle *de polarisation totale*, ce qui évite une trop grande perte de lumière par réflexion. Les quatre faces décomposant la lumière dans le même sens, la dispersion de chaque prisme est considérable : elle équivaut à celle de cinq prismes en flint de 60°.

P_1. Demi-prisme dont la partie *abcd* est identique à la moitié de P, CFBE; l'autre moitié est remplacée par le prisme rectangle *cbfe*, dont la face hypoténuse *bc* forme une des parois du prisme liquide *abc*. L'arête de l'angle droit, *cf*, est horizontale.

p, p_1. *Coupe verticale de* P et P_1.
p_2, p_3. *Coupe verticale* du second prisme et du second demi-prisme complétant le système et produisant la vision directe.
L, L′ L″... L′′. Marche du rayon lumineux à travers le système, en ne tenant pas compte de la réfraction.
MN. Collimateur.
RS. Lunette.

2° *Projection horizontale* (fig. 560). — Le système réfringent étant traversé deux fois par le rayon lumineux donne une dispersion équivalente à celle de 30 prismes ordinaires de 60°. La lunette RS et le collimateur MN sont absolument fixes, les prismes seuls sont mobiles. Ils sont mis en jeu par une vis de rappel et un système d'engrenages, de telle sorte que leur projection horizontale soit toujours symétrique par rapport à la ligne fixe AA′ et que les angles formés par les faces DC et BA, BA et EF, EF et GH soient toujours égaux entre eux. Un rayon lumineux ne peut passer du collimateur à la lunette qu'après avoir traversé tous les prismes au minimum de déviation, et, si l'on fait varier d'une manière continue la position de ces prismes, les radiations qui les ont traversés viennent successivement former leur image au foyer de la lunette.

493. **Applications du spectroscope. — Analyse spectrale.** — A l'aide de ce précieux instrument, plusieurs physiciens, après Fraünhofer, ont poursuivi l'étude du spectre pour toutes les sources de lumière connues, naturelles ou artificielles.

1° *Spectres continus.* — Si l'on emploie un spectroscope à fente large pour regarder la lumière du jour, ou bien un spectroscope à fente étroite pour observer des liquides ou des solides incandescents, on aura un spectre *continu*, c'est-à-dire *sans raies obscures*.

2° *Spectres des vapeurs métalliques.* — Fraünhofer, en 1815, avait déjà remarqué que les spectres des étincelles électriques étaient sillonnés de raies brillantes. En 1822, Brewster observa une raie brillante dans la flamme de l'alcool salé; Herschel, puis Talbot (1826), observèrent aussi des raies brillantes dans des flammes d'éthers colorés.

Plusieurs observateurs, et entre autres Fox Talbot (1826), remarquèrent que les *raies brillantes* sont caractéristiques *des métaux;* Wheatstone fit la même observation (1836) pour l'étincelle électrique; Masson (1851) et Angström (1855) démontrèrent que les raies électriques appartenaient à la fois aux métaux et à l'air traversé.

Enfin, en 1860, MM. Kirchhoff et Bunsen fondèrent la méthode d'*analyse spectroscopique* ou *analyse spectrale*. Elle consiste à observer au spectroscope la flamme d'un bec Bunsen. Cette flamme, très pâle par elle-même, s'illumine et se colore lorsqu'on y introduit un sel métallique. On constate alors dans le spectre correspondant la présence d'un nombre plus ou moins grand de raies

colorées brillantes, toujours situées à la même place et caractéristiques du métal introduit. Les sels métalliques les plus propres à ces expériences sont les sels facilement volatilisables, tels que les chlorures. Quand on n'a pas de chlorure sous la main, on plonge la lame métallique dans de l'acide chlorhydrique, le chlorure se forme à sa surface et on met alors la lame dans la flamme. Quelquefois, au lieu d'un bec Bunsen, on emploie les décharges électriques à travers les métaux; quelquefois aussi on fait passer la décharge entre un métal et un liquide.

494. **Découvertes principales de l'analyse spectrale.** — La planche coloriée I montre les spectres de plusieurs métaux. La figure 1 représente le spectre solaire qui sert de repère pour placer les raies métalliques.

La figure 2 donne le spectre du sodium. Ce spectre ne contient ni rouge, ni orangé, ni vert, ni bleu, ni violet; et il est caractérisé par *une double* raie *jaune* très brillante, qui tient exactement la place de la raie D (de Fraünhofer). Le sodium est de tous les métaux celui qui possède la plus grande sensibilité spectrale. En effet, on a constaté que $\frac{1}{5\,000\,000\,000}$ de gramme de soude suffit pour faire apparaître la raie jaune du sodium. Aussi est-il difficile d'éviter cette raie. Un peu de poussière soulevée dans un appartement la fait naître, ce qui montre combien le sodium est abondamment répandu dans la nature.

La figure 3 est le spectre du potassium. Il est caractérisé par *deux* raies brillantes, l'une dans l'*extrême rouge*, et correspondant à la raie A de Fraünhofer; l'autre dans l'*extrême violet*.

Le spectre 4 est celui du lithium : *deux* raies principales, l'une *jaune* d'un faible éclat, l'autre *rouge* et brillante.

Le calcium (5) donne une raie *verte*, très vive, une raie *orangée* et une raie *bleue*.

Le strontium (6) donne huit raies, six *rouges*, une *orangée*, une *bleue*.

Le baryum (7) donne deux raies principales *vertes* et d'autres dans le jaune et le bleu.

Le cæsium et le rubidium sont des métaux nouveaux, découverts par Kirchhoff et Bunsen au moyen de l'analyse spectrale. Le premier se distingue par deux raies *bleues*, le second par deux raies *rouges* très éclatantes, et par deux raies *violettes* moins intenses. Un troisième métal, le thallium, a été trouvé à l'aide de la même méthode par M. Crookes en Angleterre, et en même temps par Lamy en France. Le thallium est caractérisé par une raie *verte* unique. L'indium, caractérisé par une raie *indigo*, a été découvert récemment. Enfin, en 1876, M. Lecoq de Boisbaudran a découvert le gallium, métal qui se distingue par deux raies *violettes*.

Remarques. — 1° L'analyse spectrale s'applique très bien à tous les métaux alcalins. Pour les métaux des autres sections, les expériences deviennent plus difficiles. Ces métaux ne se vaporisant qu'à des températures très élevées, il faut avoir recours à une source de chaleur plus intense que celle qu'on obtient avec la lampe de Bunsen. C'est de l'étincelle électrique ou de l'arc voltaïque qu'on fait alors usage. On obtient ainsi des spectres parfaitement déterminés; mais ici la méthode devient complexe par le grand nombre de raies brillantes qu'on obtient. Avec le fer, par exemple, on a 71 raies, et plusieurs autres métaux en donnent à peu près autant. On conçoit que cette multiplicité de raies permette difficilement de distinguer entre eux certains métaux.

2° Le spectre des métaux dépend de leur température ; il n'est donc pas le même, suivant la manière dont on le produit. Ainsi, à une certaine température, le sodium ne donne que la raie D ; à une plus haute température, quelques raies s'ajoutent à la raie D.

3° La planche coloriée II montre les spectres des principaux métalloïdes.

495. **Résumé de spectroscopie. — Spectres de divers ordres.** — I. *Spectres des gaz.* — Ils ont été découverts par Plücker en 1856. Son travail est aussi complet que celui de MM. Kirchhoff et Bunsen. Sa méthode consiste dans l'emploi de petits tubes capillaires renflés à leurs extrémités et pouvant être traversés par une décharge électrique. On a un trait de feu plus ou moins

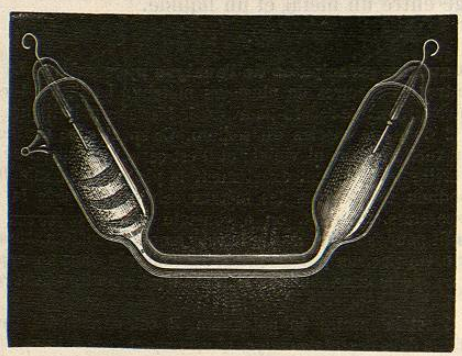

Fig. 561.

coloré, lequel donne un spectre (fig. 561). Ce spectre peut être de deux espèces différentes :

1° Spectre de *premier ordre* ou *cannelé*, observé dans l'azote ;

2° Spectre de *deuxième ordre, à raies brillantes*, observé dans l'hydrogène.

Le premier peut devenir spectre du deuxième ordre suivant la décharge : par exemple, dans l'azote, lorsqu'on fait passer la décharge à travers une bouteille de Leyde, on obtient un spectre de deuxième ordre.

Ces spectres dépendent encore de la pression : ainsi M. Plücker n'avait constaté qu'une raie brillante pour l'hydrogène, et M. Vülner en a constaté quatre.

II. *Spectres électriques.* — Ces spectres dépendent de la nature des électrodes, de celle des milieux et de celle de la décharge. Il y a quatre modes de décharge : l'étincelle, l'aigrette, la lueur et la décharge obscure.

L'étincelle donne des spectres du deuxième ordre : l'aigrette et la lueur des spectres du premier ordre.

III. *Spectres d'absorption.* — Quand on fait passer la lumière à travers des verres colorés, elle est décomposée par le prisme et donne des spectres brillants, mais *sillonnés de bandes obscures :* ce sont des *spectres d'absorption.* Le verre le plus curieux à ce point de vue est le *verre de cobalt.*

On peut aussi produire l'absorption à l'aide des liquides colorés. Ainsi *l'eau céleste* est monochromatique ; le sang donne une raie caractéristique. Les liquides les plus curieux sont les dissolutions de sels de didyme : la lumière blanche qui les a traversés donne un spectre *sillonné de plusieurs raies noires.* Ces bandes se voient même quand on regarde le spectre par réflexion sur le sel soluble. (Cela prouve évidemment qu la réflexion ne se fait pas à la surface

même du sel, mais à l'intérieur ; or la lumière qui pénètre dans un corps se reflète un grand nombre de fois avant de sortir, de sorte que tout se passe comme si elle avait traversé une couche épaisse du sel.)

Expériences de Brewster. — Un autre spectre d'absorption très curieux est celui que fournissent les gaz colorés, notamment les *vapeurs nitreuses* (ou *acide hypoazotique*) bien sèches. On voit un spectre qui se remplit de cannelures ; elles commencent dans le violet et finissent par s'étendre jusqu'au rouge Cette expérience capitale est due à Brewster (1833).

Quand les vapeurs étaient liquéfiées, les bandes d'absorption disparaissaient, On n'observait plus que l'absorption présentée par un liquide orangé.

Miller et Daniel étendirent les observations de Brewster à d'autres gaz colorés, tels que le chlore, le brome et l'iode. Ils obtinrent des résultats analogues, mais des spectres différents.

IV. *Raies telluriques.* — Brewster, en 1833, avait déjà remarqué que le spectre solaire n'est pas le même à toutes les heures du jour. Ainsi, vers le soir, et surtout par un ciel brumeux, on n'observe pas les mêmes bandes que vers midi et par un ciel clair. Il en conclut l'existence de *bandes* spéciales *d'absorption* dues à l'atmosphère terrestre. Ce sont les *raies telluriques.*

Expériences de M. Janssen. — M. Janssen reprit ces expériences (1862) avec un spectroscope puissant qui lui permit de résoudre en raies très fines les bandes observées par Brewster. Il obtint jusqu'à 3000 raies. Il fit une expérience directe en regardant le spectre solaire à travers un tube de vapeur d'eau de 37 mètres. Il a remarqué ainsi que la vapeur d'eau, vue sous une grande épaisseur, paraît *orangée*, comme le soleil couchant.

V. *Spectres intervertis.* — Fraünhofer, en 1815, avait déjà remarqué que la raie brillante de l'alcool salé coïncide exactement avec la raie noire D du spectre solaire, et Brewster avait étendu cette remarque à plusieurs autres raies du spectre. Foucault, en 1849, avait vu la raie noire en D au-dessus du jaune en superposant un spectre solaire au spectre électrique, mais il n'avait tiré aucune conséquence de sa remarque.

M. Kirchhoff a fait la même observation et il l'a généralisée. Il a fait passer un spectre solaire à travers la vapeur de sodium, et il a vu la raie noire D. Or la raie de la vapeur de sodium est ordinairement brillante : quand elle est noire, on dit qu'elle est *intervertie.* Il a fait de même pour la raie rouge du lithium. Quant au calcium, au baryum, à l'étain et au potassium, on a raisonné par induction : toutes les fois qu'on regarde un spectre solaire continu à travers une vapeur qui donnerait seule des raies brillantes, ces mêmes raies apparaissent *sombres.* On dit alors que le spectre de la vapeur est *interverti.*

Il y a deux manières de répéter cette expérience : 1° Si l'on regarde un fil de platine incandescent avec le spectroscope, on aura un spectre continu. Si entre le fil continu et le spectre on interpose la flamme de l'alcool salé, on verra une raie noire D à la place même où l'on verrait une raie jaune.

2° On regarde la lumière du jour avec le spectroscope et l'on interpose devant la fente un petit tube à boule plein d'hydrogène et qui contient un globule de sodium. On le met sur une lame et l'on chauffe ; quand le sodium est réduit en vapeur, on voit apparaître la raie noire D.

Conclusion. — Les raies sombres des *spectres d'absorption* sont dues à l'absorption de certaines radiations lumineuses par les vapeurs métalliques qui, si elles étaient plus chaudes, émettraient ces mêmes radiations, sous la forme de raies brillantes.

VI. *Constitution des astres.* — Il résulte de ces faits un nouveau genre d'études : c'est celle de la constitution des astres. Dans le spectre solaire, il y a une raie noire en D : c'est que l'atmosphère solaire contient du sodium ; de même les raies qui correspondent aux métaux connus indiquent la présence de ces métaux dans l'atmosphère solaire. Ainsi, il y a 460 raies brillantes du fer

qui coïncident exactement avec 460 raies sombres du spectre solaire : donc il y a du fer en vapeurs incandescentes dans le Soleil. Les métaux dont la présence dans le Soleil paraît certaine, sont le fer, le calcium, le magnésium,

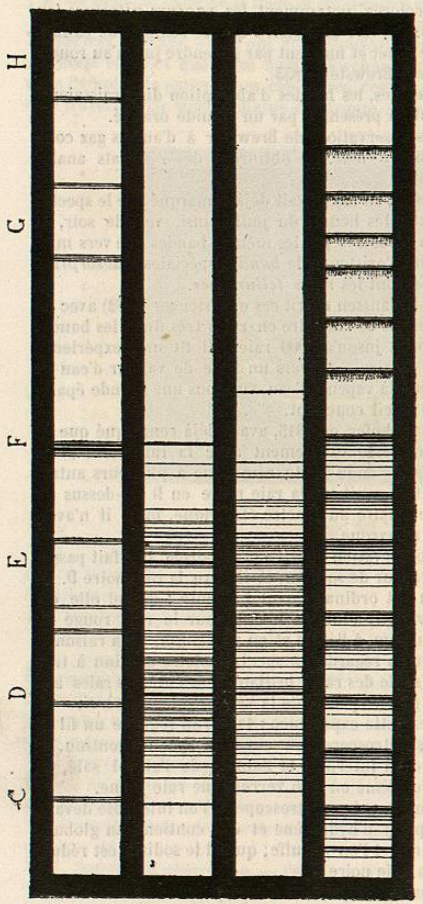

Fig. 562.

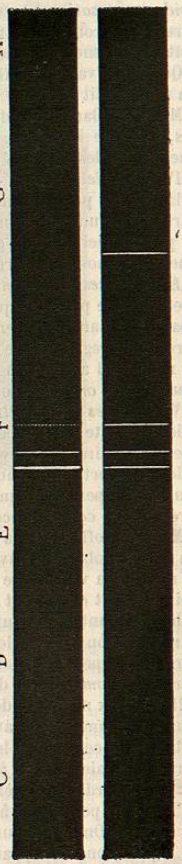

Fig. 563.

le sodium, le chrome, le nickel, le manganèse et l'hydrogène, et probablement le baryum, le cadmium et le zinc.

La Lune donne le même spectre que le Soleil : cela prouve qu'elle n'émet que de la lumière réfléchie. Il en est de même des planètes, à quelques raies près, produites par leurs atmosphères,

Les étoiles donnent des raies caractéristiques, en général noires, rarement brillantes. Elles sont donc lumineuses par elles-mêmes, comme le Soleil.

La figure 562 représente les spectres de Sirius (1), d'Aldébaran (2), de α d'Orion (3) et de α d'Hercule (4).

La figure 563 représente les spectres de la nébuleuse du Dragon (1) et de la nébuleuse d'Orion (2).

Les nébuleuses donnent des spectres à raies brillantes, comme les gaz; il en est de même des comètes.

CHAPITRE IX

INSTRUMENTS D'OPTIQUE.

496. **Définitions et classification.** — On nomme *instruments d'optique* des combinaisons de lentilles seules, ou de lentilles et de miroirs, qui peuvent se diviser en trois groupes, suivant les usages auxquels on les destine :

1° Les instruments qui donnent des images amplifiées des corps que leurs petites dimensions ne permettent pas d'observer à l'œil nu : ce sont les *microscopes*.

2° Les instruments qui *rapprochent*, c'est-à-dire qui permettent d'observer les astres ou les objets éloignés : ce sont les *lunettes* et les *télescopes*.

3° Les instruments propres à projeter sur un écran des images réduites ou amplifiées, qui peuvent être utilisées dans l'art du dessin, ou montrées à de nombreux observateurs; tels sont : la *chambre claire*, la *chambre obscure*, le *daguerréotype*, la *lanterne magique*, le *fantascope*, le *mégascope*, le *microscope solaire* et le *microscope photo-électrique*.

Les instruments des deux premiers groupes ne donnent que des images virtuelles, et les derniers, excepté la *chambre claire*, donnent des images réelles.

INSTRUMENTS QUI GROSSISSENT OU MICROSCOPES.

497. **Loupe** ou **Microscope simple.** — *Définition et description schématique.* — La *loupe* ou *microscope simple* est un instrument destiné à donner des images virtuelles et amplifiées des petits objets dont les détails échapperaient à l'œil nu.

Il est formé simplement d'un *oculaire* convergent, c'est-à-dire d'une lentille convergente qu'on place devant l'œil pour regarder