

preuves de plus à ajouter à celles que nous avons déjà de la non-existence d'une atmosphère sur sa surface.

En 1863, le P. Secchi a étudié avec soin les lumières des planètes Vénus, Mars, Jupiter et Saturne. « De nombreuses observations, dit-il, accompagnées de dessins multipliés et correspondant à des soirées différentes, ont démontré que, dans la lumière réfléchie par ces astres, existent non-seulement les raies propres de la lumière solaire directe, mais que quelques-unes de ces raies sont énormément renforcées et dilatées en bandes par leurs atmosphères, agissant de la même manière que le fait sur le spectre solaire l'atmosphère terrestre. En un mot, les spectres de ces planètes sont de même espèce que le spectre atmosphérique terrestre, avec la différence, cependant, que certains rayons sont plus absorbés que par l'atmosphère terrestre elle-même, de sorte que ces bandes sont plus sombres, surtout pour Saturne...

» L'observation devient très-concluante si on choisit un moment où la lune soit à peu près à la hauteur des planètes qu'on veut examiner. En dirigeant alternativement la lunette vers la lune et vers les planètes, on voit la différence énorme des spectres, car celui de la lune n'a que les raies solaires assez fines, et, au contraire, on voit sur les planètes de larges bandes dans les places indiquées, qui paraissent de véritables fils noirs, si l'atmosphère est tranquille. Les dessins des spectres planétaires, faits avec beaucoup d'attention dans les soirées sombres, conduisent à la même conclusion. On déduit de là que les planètes ont certainement une atmosphère qui, dans sa composition, ne s'éloigne pas beaucoup de la nôtre. »

Le P. Secchi croit pouvoir conclure, à la suite de nombreuses recherches, que les bandes atmosphériques dont il vient d'être question sont principalement dues à la vapeur d'eau, et il en tire la conséquence que « il est très-probable que cet élément existe dans les atmosphères des planètes. »

Des observations ultérieures, faites par le même astronome, et aussi par MM. Huggins et Miller, n'ont fait que confirmer l'exactitude du résultat de ce premier examen des spectres planétaires, et ont montré en même temps que les atmosphères des planètes, tout en ayant une composition analogue à celle de l'atmosphère de la terre, et en contenant comme elle de la vapeur d'eau, doivent renfermer en outre certaines substances dont la nature n'est pas encore déterminée. Une analogie toute spéciale s'est manifestée, sous ce rapport, entre l'atmosphère de Jupiter et celle de Saturne.

§ 365. **Spectre des étoiles.** — Fraunhofer avait déjà pu observer les spectres de quelques étoiles, telles que Sirius, Castor, Pollux, la Chèvre, Bételgeuse, Procyon; il avait reconnu que ces spectres différaient plus ou moins du spectre solaire par leurs raies principales. Des dispositions spéciales données aux spectroscopes, et l'emploi de puissantes lunettes pour concentrer une grande quantité de lumière ont permis d'étendre considérablement le champ de ces observations. Le père Secchi, auquel on doit d'importants travaux sur ce sujet, a publié un mémoire qui contient la description plus ou moins détaillée des spectres de 316 étoiles. Il a pu ainsi reconnaître que, sauf quelques rares exceptions, les étoiles peuvent être rapportées à quatre types particuliers, et que chacun de ces types domine de préférence dans certaines régions du ciel. Le premier type comprend les étoiles blanches, telles que Sirius,  $\alpha$  de la Lyre,  $\alpha$  de l'Aigle, etc.; il est caractérisé surtout par la présence du gaz hydrogène à une très-haute température; outre l'hydrogène, beaucoup de ces étoiles renferment très-distinctement d'autres substances, telles que le sodium et le magnésium. Un deuxième type comprend les étoiles qui ont une composition analogue à celle de notre soleil; on y trouve notamment Arcturus, la Chèvre, Pollux, etc. Ces deux premiers types se partagent à peu près également la presque totalité des étoiles les plus brillantes du ciel. Le troisième et le quatrième type, bien que se distinguant l'un de l'autre par les différences marquées, ont un caractère commun et spécial qui semble indiquer la présence de gaz à basse température; les étoiles qu'ils renferment ont généralement une teinte rougeâtre; leur lumière semble être celle des deux types précédents, modifiée par le passage à travers une atmosphère absorbante, telle que celle de nos planètes.

« La première chose qui frappe, dit le P. Secchi, dans l'analyse spectrale des étoiles, c'est leur grande uniformité et le petit nombre des types. Quand on pense que les diverses substances terrestres donnent des spectres différents les uns des autres, et que, à des températures diverses, des substances identiques varient dans leurs spectres, on devrait s'attendre à trouver dans les étoiles examinées en grand nombre une diversité encore plus considérable; mais il en est tout autrement. Les différences fondamentales déjà reconnues par nous sont très-peu nombreuses et se réduisent à trois seulement.

» Un autre fait non moins important, c'est que les divers types dominent de préférence dans certaines régions du ciel. Ainsi, dans les constellations de la Lyre, de la Grande Ourse, du Tau-

» reau, et particulièrement dans le groupe des Pléiades et des  
 » Iades, domine le type  $\alpha$  de la Lyre. Dans la Baleine, Céphée, le  
 » Dragon, etc., domine le type solaire. La vaste constellation d'Orion  
 » est singulière en ce qu'elle contient une modification spéciale du  
 » premier type, qui la rend bien différente des autres; on y voit  
 » les raies de ce type, mais elles y sont remarquablement étroites,  
 » et il s'y joint un grand nombre de raies très-fines répandues sur  
 » tout le spectre; en outre, la couleur verte domine dans toutes ces  
 » étoiles, tandis que le rouge y fait défaut... Il n'est pas possible  
 » d'admettre que ces coïncidences soient accidentelles; elles doi-  
 » vent tenir à la distribution première de la matière dans l'espace.»

En établissant cette classification générale des étoiles, le P. Secchi a rencontré un très-petit nombre d'exceptions.

« L'étoile  $\gamma$  de Cassiopée est parfaitement complémentaire du  
 » premier type, et au lieu d'avoir une raie obscure à la place de  
 » la raie F du Soleil, elle a une bande lumineuse d'une longueur  
 » sensible. Il est facile de s'en convaincre en regardant  $\beta$  de Cas-  
 » siopée, qui est du premier type ordinaire, et en portant ensuite  
 » l'instrument sur  $\gamma$  de Cassiopée : on voit qu'à la place de la  
 » raie noire de la première, on a une raie brillante dans la se-  
 » conde. Après avoir beaucoup cherché si cette exception se pré-  
 » sentait pour d'autres étoiles, je viens d'en trouver une autre,  
 » c'est  $\beta$  de la Lyre; mais sa raie est très-fine et très-difficile à  
 » voir. Ces exceptions si peu nombreuses méritent toute l'attention  
 » du théoricien. Car, s'il est vrai que les raies noires sont dues à  
 » une absorption par une certaine substance (l'hydrogène dans le  
 » cas actuel), ici nous trouvons la lumière directe émanée de cette  
 » substance. » Cette exception, relative à  $\gamma$  de Cassiopée, a été  
 confirmée et même plus fortement établie encore par des observa-  
 tions ultérieures de M. Huggins, qui a trouvé dans le spectre de  
 l'étoile une seconde raie brillante correspondant également à l'hy-  
 drogène.

MM. Wolf et Rayet ont découvert, à l'observatoire de Paris, trois autres étoiles très-petites (de huitième grandeur), dont les spectres présentent des raies brillantes, comme celui de  $\gamma$  de Cassiopée. Ces étoiles sont très-voisines les unes des autres; elles font partie de la constellation du Cygne. Les mesures prises pour fixer la position des raies brillantes dans chaque spectre n'ont pas permis de reconnaître les substances spéciales auxquelles ces raies peuvent être attribuées.

Les étoiles doubles présentent souvent cette particularité remarquable que les deux étoiles composantes d'une même étoile dou-

ble sont diversement colorées; et même on rencontre fréquemment parmi ces composantes, des étoiles de couleur bleue ou verte.

MM. Huggins et Miller sont parvenus à montrer que, dans certains cas au moins, la diversité de couleur tient réellement à une diversité de composition de la lumière émise par les deux composantes de l'étoile. Ils ont pu observer l'un après l'autre les spectres des deux parties de l'étoile double  $\beta$  du Cygne, colorées l'une en jaune et l'autre en bleu, et ont constaté une différence capitale dans les deux systèmes de raies obscures que présentent ces deux spectres. Une observation analogue, faite sur les deux composantes de  $\alpha$  d'Hercule, dont l'une est orangée et l'autre d'un vert bleuâtre, leur a également fourni des spectres totalement différents l'un de l'autre. Dans chacun de ces deux cas, ils ont reconnu que la couleur spéciale de chaque étoile partielle concorde avec la manière dont la lumière est répartie dans les diverses parties de son spectre.

Il existe un certain nombre d'étoiles dont l'éclat varie périodiquement, et cela avec un degré de régularité qui n'est pas le même pour toutes. Diverses conjectures ont été faites pour expliquer cette variabilité; mais elles ne reposaient sur aucune base solide. Dès que l'analyse spectrale a pu être appliquée aux étoiles, on a naturellement cherché dans ce nouveau mode d'examen des indications capables de mettre sur la voie des causes d'un si curieux phénomène. Le P. Secchi s'en est occupé dans diverses circonstances; voici quelques conséquences auxquelles ses observations l'ont conduit.

« L'étoile variable la plus célèbre est *Algol* ou  $\beta$  de Persée  
 » (période très-régulière de 2i 20<sup>h</sup> 48<sup>m</sup>; éclat maximum constant  
 » pendant 2i 14<sup>h</sup>, suivi d'un affaiblissement progressif, puis d'un  
 » accroissement également progressif durant ensemble un peu  
 » moins de 7<sup>h</sup>); examinée plusieurs fois, à l'époque de son mini-  
 » mum d'éclat, elle a toujours montré le même type de  $\alpha$  de  
 » la Lyre. D'où on pourrait conclure qu'il n'y a pas de diffé-  
 » rence dans l'embrassement de l'étoile, parce que le spectre  
 » changerait avec le changement de température; mais qu'il doit  
 » exister un corps opaque qui l'éclipse. » Cette idée, déjà émise  
 antérieurement d'attribuer la diminution périodique d'éclat d'Algol  
 à une éclipse produite par un corps opaque circulant autour de  
 l'étoile, s'accorde d'ailleurs très-bien avec la régularité du phéno-  
 mène et avec le peu de durée de la phase de diminution relative-  
 ment à la durée totale d'une période.

L'étoile *Mira* ou  $\alpha$  de la Baleine, présente beaucoup moins de

régularité dans ses variations qu'Algol; la durée de sa période est beaucoup plus longue (environ 334 jours). Le spectre de l'étoile se modifie à mesure qu'elle change d'éclat, ce qui indiquerait une source de variabilité différente de celle d'Algol.

Les étoiles temporaires qui se montrent plus ou moins brusquement dans le ciel, puis diminuent d'éclat peu à peu pour disparaître ensuite tout à fait, sont en réalité des étoiles variables qui, habituellement trop faibles pour être aperçues, prennent momentanément un éclat inaccoutumé. Une étoile de ce genre ayant paru subitement, au mois de mai 1866, dans la constellation de la Couronne boréale, pour disparaître ensuite dans l'espace de quelques jours, on s'est empressé de soumettre à l'analyse spectrale la lumière de cette étoile qui n'était, du reste, autre chose qu'une étoile connue, mais très-faible, devenue momentanément étincelante. Le spectre obtenu a présenté l'aspect du spectre d'une étoile analogue à notre soleil, *traversé par un certain nombre de raies brillantes*. Cette dernière circonstance indiquait la présence d'un gaz lumineux à une température très-élevée; la position de deux des raies brillantes montra que ce gaz est surtout formé d'hydrogène.

« Le caractère du spectre de cette étoile, disent MM. Huggins et Miller, rapproché de la soudaine explosion de sa lumière et de la diminution rapide de son éclat, nous amène à supposer que, par suite de quelque grande convulsion intérieure, de grandes quantités de gaz s'en sont dégagées, que l'hydrogène qui en faisait partie s'est enflammé en se combinant avec quelque autre élément, et a fourni la lumière représentée par les raies brillantes; qu'enfin les flammes ont chauffé la matière solide de la photosphère de l'étoile jusqu'à une vive incandescence. Lorsque l'hydrogène a été épuisé, tout le phénomène a diminué d'intensité, et l'étoile s'est éteinte rapidement. » Ne trouve-t-on pas là tous les caractères d'un véritable incendie, qu'il nous a été donné d'apercevoir dans la profondeur des espaces célestes? Il ne faut pas oublier que, vu l'immense éloignement du lieu où s'est produit ce phénomène, la lumière a dû mettre un temps considérable à venir nous en avertir, et qu'il y avait peut-être dix ans, vingt ans, cent ans, et même plus, qu'il était terminé, lorsque nous nous en sommes aperçus.

Avant de terminer ce qui se rapporte à l'analyse spectrale des étoiles, nous dirons encore quelques mots de l'influence que le mouvement propre d'une étoile peut avoir sur la position des raies de son spectre et des conséquences qu'on peut espérer en tirer. Pour bien comprendre ce point un peu délicat, considérons un

corps sonore produisant un son d'une hauteur déterminée, et supposons que ce corps, tout en vibrant, se meuve de manière à se rapprocher assez rapidement de l'observateur. Les vibrations qu'il effectue se transmettent à l'oreille de l'observateur par l'intermédiaire de l'air et mettent ainsi un certain temps à y arriver. Mais à mesure que le corps vibrant se rapproche de l'observateur, le retard du moment de la perception d'une vibration sur le moment de sa production va en diminuant progressivement; et si l'on considère l'ensemble des vibrations produites par le corps en une seconde du temps, il s'écoulera moins d'une seconde entre la perception de la première de ces vibrations et celle de la dernière: les vibrations du corps sembleront donc à l'observateur s'effectuer plus rapidement qu'elles ne s'effectuent en réalité, et le son perçu sera plus aigu que si le corps sonore était immobile au lieu de se rapprocher de l'oreille. Un effet pareil, mais inverse, se produira si le corps sonore s'éloigne de l'observateur pendant qu'il est en vibration: le son perçu par l'oreille sera plus grave que si le corps vibrant ne se déplaçait pas. Des considérations analogues peuvent être appliquées à la lumière, et on en conclura immédiatement que, si une étoile se rapproche rapidement de nous, la réfrangibilité de chacun des rayons lumineux qu'elle nous envoie sera augmentée; et si, au contraire, l'étoile s'éloigne, la réfrangibilité de chaque rayon sera diminuée: donc, en définitive ce mouvement de rapprochement ou d'éloignement de l'étoile se traduira par un déplacement d'ensemble des raies de son spectre vers l'extrémité violette ou vers l'extrémité rouge. Bien entendu que ce déplacement des raies ne peut devenir sensible qu'autant que la vitesse de rapprochement ou d'éloignement de l'étoile n'est pas trop petite relativement à la vitesse avec laquelle la lumière se transmet dans l'espace.

Cette idée d'une modification de la hauteur du son par suite du rapprochement ou de l'éloignement du corps vibrant qui le produit est due à M. Fizeau; elle a été confirmée par l'expérience. C'est également M. Fizeau qui en a fait l'application aux phénomènes lumineux. Récemment le P. Secchi a cherché, par des mesures délicates et précises, si des raies bien connues dans les spectres de certaines étoiles manifestent un déplacement quelconque pouvant indiquer un rapprochement ou un éloignement sensible entre ces astres et la terre; il n'a rien trouvé de pareil; et il a constaté que, « parmi les étoiles qu'il a examinées (constellations » du Grand Chien, d'Orion, du Petit Chien, du Lion, du Triangle, » de l'Ours, du Cocher, de Cassiopée, etc.), il n'y en a aucune dont

» le mouvement propre soit cinq ou six fois celui de la terre. » Il n'est question ici, comme on le pense, que du mouvement propre dans le sens de la ligne qui joint l'étoile à la terre.

Quoi qu'il en soit, il est très-important que cette influence du déplacement d'une étoile dans l'espace sur la position des raies de son spectre soit signalée, parce que, d'une part, on doit penser à en tenir compte, quand on cherche à identifier les raies du spectre d'une étoile que donnent les diverses substances terrestres à l'état de gaz incandescent; et que, d'une autre part, s'il arrivait que cette influence fût constatée d'une manière bien nette dans les spectres de certaines étoiles, il en résulterait des données précieuses sur le mouvement de ces étoiles dans l'espace.

§ 366. **Spectre des nébuleuses.** — Les nébuleuses elles-mêmes ont été soumises à l'analyse spectrale. Malgré la faiblesse de ces lueurs blanchâtres qui indiquent la présence d'une matière très-rare disséminée dans des espaces d'une étendue considérable, M. Huggins, et d'autres après lui, ont pu produire avec leur lumière des spectres très-sensibles. Il en est résulté des indications d'une extrême importance sur la nature de ces nébuleuses. En les observant avec les télescopes les plus puissants, on avait reconnu qu'un certain nombre d'entre elles n'étaient autre chose que des amas d'étoiles d'un faible éclat; d'autres, au contraire, vues dans les mêmes instruments, avaient conservé leur aspect de nébuleuses sans aucune apparence sensible de points brillants distincts: d'où la division en *nébuleuses résolubles* en étoiles, et *nébuleuses non-résolubles*.

L'analyse spectrale a montré que cette distinction des nébuleuses en deux espèces est bien fondée sur la véritable nature de ces amas de matière. On a reconnu ainsi qu'une partie au moins des nébuleuses dites non résolubles sont des masses de gaz à l'état incandescent et non des amas d'étoiles. Leurs spectres présentent un petit nombre de raies brillantes, qui signalent notamment la présence de l'hydrogène et de l'azote.

§ 367. **Spectre des comètes.** — Les comètes se comportent comme les nébuleuses non résolubles, et doivent être regardées comme des masses gazeuses douées d'une lumière propre, outre la lumière qu'elles reçoivent du soleil. La première application de l'analyse spectrale à l'étude des comètes paraît avoir été faite par M. Donati sur la comète I de 1864. Il caractérisait le résultat de son observation en disant: « Le spectre de cette comète ressemble aux spectres des métaux; les parties obscures sont plus larges que celles qui sont plus lumineuses, et nous pouvons dire que ce

spectre est composé de trois lignes brillantes. » Depuis, MM. Huggins et le P. Secchi ont analysé la comète I de 1866, les comètes de Brorsen, de Winnecke, etc. Il faut bien le dire, les résultats obtenus ne sont pas complètement d'accord les uns avec les autres. Mais ce qui nous paraît présenter une grande importance, c'est la remarque faite par M. Wolf que les parties brillantes du spectre de la comète de Winnecke sont des *zones* plutôt que des raies, et que l'aspect de ce spectre rappelle beaucoup mieux celui des *spectres cannelés* des étoiles de troisième type du P. Secchi, que celui des nébuleuses ou des quelques étoiles à raies brillantes qui ont été signalées. Cette remarque, qui tendrait à établir une différence capitale entre les nébuleuses et les comètes, concorde d'ailleurs avec la description et les dessins que le P. Secchi donnait en même temps du spectre de la comète de Winnecke.

§ 368. **Résumé des résultats obtenus dans l'analyse spectrale des astres.** — D'après tous les détails dans lesquels nous venons d'entrer sur les diverses recherches relatives à l'analyse spectrale des astres, on voit que la science se trouve déjà en possession de données extrêmement importantes sur la nature et la composition chimique des astres. Résumons ces données pour pouvoir mieux les saisir dans leur ensemble.

L'examen des raies du spectre solaire a permis de constater que l'atmosphère du soleil contient, à l'état gazeux, du fer, du calcium, du magnésium, du sodium, du chrome, du nickel, du manganèse et de l'hydrogène; elle renferme en outre probablement, mais en petite quantité, du baryum, du cuivre et du zinc.

L'analyse des protubérances solaires a montré que ce sont des flammes gigantesques s'élevant à des hauteurs considérables et formées presque en totalité par du gaz hydrogène.

L'analyse de la couronne solaire a permis de constater la présence d'un milieu circumsolaire limité qui se distingue de la chromosphère par sa température et par sa densité.

La lumière de la lune ne donne aucune trace de la présence d'une atmosphère gazeuse autour de ce satellite de la terre.

Les lumières des planètes Vénus, Mars, Jupiter et Saturne donnent quelques indications qui confirment l'existence d'atmosphères gazeuses autour de ces corps; ces atmosphères paraissent avoir une certaine analogie de composition avec celle de la terre, et contenir comme elle de la vapeur d'eau, mais en différer par la présence d'éléments dont la nature n'est pas encore déterminée. Les atmosphères de Jupiter et de Saturne paraissent avoir entre elles une analogie toute spéciale.

Les étoiles, sauf quelques rares exceptions, produisent des spectres qui ne présentent que des raies obscures ou d'absorption comme le soleil. Elles peuvent être rapportées à quatre types particuliers. Chacun de ces types domine de préférence dans certaines régions du ciel. Le premier type comprend les étoiles blanches, telles que Sirius,  $\alpha$  de la Lyre,  $\alpha$  de l'Aigle, etc. ; il est caractérisé surtout par la présence du gaz hydrogène à une très-haute température; outre l'hydrogène, beaucoup de ces étoiles renferment très-distinctement d'autres substances telles que le sodium et le magnésium. Un deuxième type comprend les étoiles qui ont une composition analogue à celle de notre soleil; on y trouve notamment Arcturus, la Chèvre, Pollux, etc. Ces deux premiers types se partagent à peu près également la presque totalité des étoiles les plus brillantes du ciel. Le troisième a un caractère spécial qui semble indiquer la présence de gaz à basse température; les étoiles qu'il renferme, telles que Bêteigeuze ou  $\alpha$  d'Orion, Antarès,  $\alpha$  d'Hercule, etc., ont généralement une teinte rougeâtre; leur lumière semble être celle des deux types précédents, modifiée par le passage à travers une atmosphère absorbante, telle que celle de nos planètes. Le quatrième type, enfin, est analogue au troisième, et ne s'en distingue que par le nombre plus restreint des zones brillantes qui constituent le spectre, et par le sens dans lequel la lumière de ces zones brillantes va en s'affaiblissant graduellement; il ne renferme que des étoiles d'un faible éclat.

Un bien petit nombre d'étoiles manifestent la présence de gaz à l'état incandescent. Pour l'une d'elles,  $\gamma$  de Cassiopée, ce gaz est de l'hydrogène.

La diversité de couleur des composantes des étoiles doubles tient à la différence de composition de ces étoiles composantes.

Les variations périodiques d'éclat de certaines étoiles paraissent être dues à deux causes distinctes : pour Algol elles semblent provenir du passage périodique d'un corps opaque devant cet astre, tandis que, pour les autres étoiles variables, cela paraît tenir à des crises subies de temps en temps par les masses atmosphériques qui les environnent.

L'étoile de la Couronne boréale, qui a brillé subitement d'un vif éclat, puis s'est éteinte peu à peu pour revenir à son état ordinaire, a dû cette circonstance au dégagement et à l'inflammation d'une grande masse de gaz contenant de l'hydrogène.

Il existe dans le ciel des nébuleuses non résolubles en étoiles, qui ne sont autre chose que des masses gazeuses à l'état incan-

descent. Elles se composent d'azote et d'hydrogène, et contiennent en outre une substance qu'on ne connaît pas encore.

Les comètes sont lumineuses par elles-mêmes, du moins dans la partie qui forme leur noyau. La nature de leur lumière les rapproche soit des nébuleuses, soit plutôt des étoiles faisant partie du troisième type.

Parmi ces divers résultats, quelques-uns sont d'une grande précision; d'autres sont plus ou moins vagues et laissent encore beaucoup à désirer. On n'en voit pas moins, par ce qui précède, combien est féconde la voie récemment ouverte à nos investigations par l'examen des spectres lumineux. Nous ne sommes qu'au début des recherches que cet instrument nouveau permet d'entreprendre pour l'étude de la constitution de l'univers; la riche moisson qu'il nous a déjà fournie peut nous faire pressentir l'importance des résultats que la science est appelée à en retirer.