

quelques-unes de leurs parties, des accumulations évidentes de matière nébuleuse autour de certains points qui sont comme des centres d'attraction. D'un autre côté, un grand nombre de nébuleuses affectent une forme arrondie, avec une condensation marquée vers leurs centres de figure. Cette concentration de la ma-

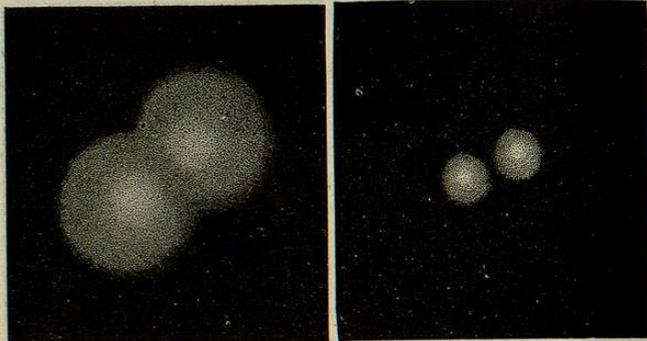


FIG. 371. (AR = 174° 20', D = 34° 29' B.) FIG. 372. (AR = 342° 48', D = 13° 43' A.)

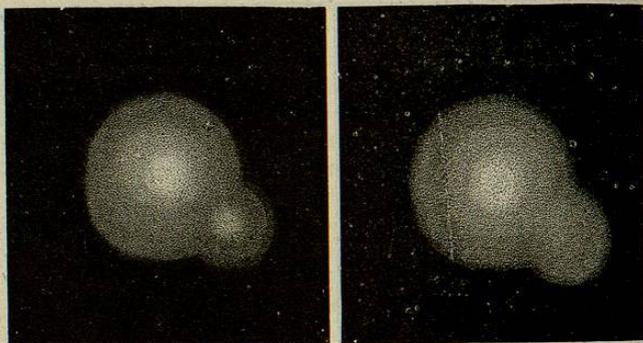


FIG. 373. (AR = 140° 38', D = 22° 15' B.) FIG. 374. (AR = 183° 48', D = 5° 25' B.)

tière nébuleuse autour du centre d'attraction se montre d'ailleurs à des degrés d'avancement plus ou moins prononcés, dans les différentes nébuleuses dans lesquelles on l'observe; en sorte que, par le rapprochement des apparences diverses qu'elles présentent, on a, pour ainsi dire, une image des transformations qu'une nébuleuse doit subir successivement pour passer complètement à l'état d'étoile.

A l'inspection des quatre figures ci-jointes (*fig.* 367 à 370), ne semble-t-il pas qu'on voie la matière d'une nébuleuse globulaire se concentrer peu à peu à son centre, jusqu'à ce qu'une étoile se forme à ce centre même? Il n'y a plus qu'à suivre, par la pensée, cette condensation progressive au delà de l'état qu'indique la figure 370, pour voir l'atmosphère immense qui environne l'étoile centrale se resserrer peu à peu en diminuant d'intensité, et enfin disparaître entièrement, pour ne laisser qu'une étoile isolée comme celles que nous apercevons en si grand nombre dans le ciel. Les deux nébuleuses que représentent les figures 371 et 372 paraissent également n'être que deux états différents d'une même nébuleuse, dont la matière se condense autour de deux centres d'attraction, de manière à donner lieu, en définitive, à la formation d'une étoile double. Il en est encore de même des nébuleuses représentées par les figures 373 et 374; la condensation inégale de la matière nébuleuse autour de deux centres d'attraction est précisément celle qui devrait se produire, pour donner naissance à une étoile double dont les deux éléments seraient de grandeurs différentes.

On voit dans le ciel un certain nombre de nébuleuses arrondies,

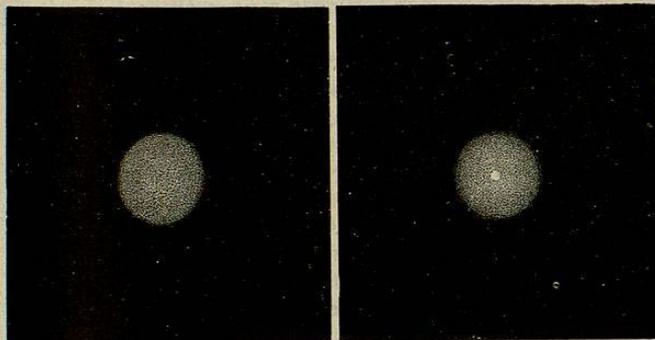


FIG. 375. (AR = 166° 12', D = 55° 56' B.) FIG. 376. (AR = 295° 5', D = 50° 6' B.)

présentant un éclat sensiblement uniforme dans toute leur étendue (*fig.* 375); et souvent, au milieu de ces nébuleuses, on aperçoit une étoile (*fig.* 376), quelquefois deux (*fig.* 377), et même trois (*fig.* 378). Ce sont probablement des espèces d'atmosphères considérables qui ont persisté après que la plus grande partie de la matière de chacune de ces nébuleuses s'est condensée dans un ou plusieurs centres d'attraction. Les étoiles formées par cette

condensation peuvent ne pas être toujours visibles (*fig. 375*), au milieu de la nébulosité due à l'atmosphère environnante. Il suffit pour cela que leur éloignement soit assez grand pour qu'elles ne paraissent dans les lunettes que comme des points lumineux d'un éclat très-faible ; en sorte qu'on ne puisse pas le distinguer dans

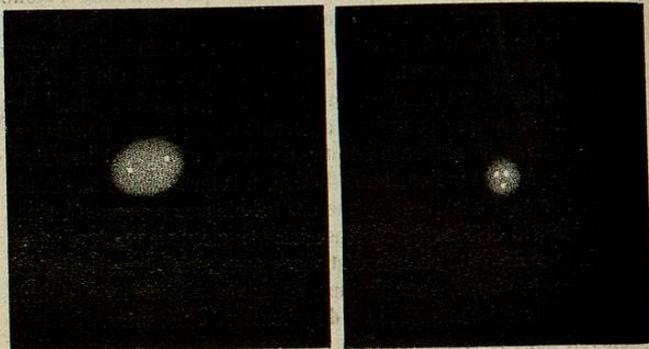


FIG. 377. ( $AR = 27^{\circ} 45'$ ,  $D = 49^{\circ} 56' A.$ ) FIG. 378 ( $AR = 80^{\circ} 3'$ ,  $D = 34^{\circ} 6' B.$ )

cette nébulosité, dont la clarté est d'ailleurs indépendante de la distance qui la sépare de nous (§ 20).

Il est aisé de comprendre, d'après ce qui précède, que les nébuleuses résolubles et les nébuleuses proprement dites sont loin d'avoir le même degré d'importance dans l'univers. Tandis que les nébuleuses résolubles sont des agglomérations d'un très-grand nombre d'étoiles, que nous pouvons comparer à l'amas d'étoiles auquel nous appartenons (§ 356), les nébuleuses proprement dites ne doivent être regardées que comme des parties intégrantes très-minimes de ce dernier amas d'étoiles.

§ 358. **Hypothèse de Laplace sur la formation de notre système planétaire.** — Après avoir donné un aperçu des idées auxquelles on a été conduit relativement aux astres si nombreux qui sont répandus dans l'immensité des cieux, revenons à notre système planétaire, et voyons comment on peut se rendre compte de la manière dont il s'est formé.

Buffon supposait que les planètes et leurs satellites provenaient des éclaboussures produites par le choc d'une comète sur la surface du soleil ; mais les lois de la mécanique démontrent que les choses n'ont pas pu se passer ainsi. D'après ces lois, si une portion de la masse du soleil était projetée dans l'espace par une cause

quelconque, le corps qui en résulterait se mouvrait autour du soleil, en revenant, à chaque révolution, passer par son point de départ : la forme presque circulaire des orbites des planètes, et la position du soleil près du centre de chacune de ces orbites, ne peuvent donc pas se concilier avec l'idée de Buffon.

Laplace a été plus heureux. En adoptant les idées d'Herschell sur la condensation progressive des nébuleuses et leur transformation en étoiles, et, appliquant ces idées à notre système planétaire, il est parvenu à en expliquer la formation de la manière la plus satisfaisante. Aucune des particularités que l'observation a manifestées, relativement aux planètes et à leurs satellites, n'échappe à l'ingénieuse explication qu'il a développée à la fin de l'*Exposition du système du monde*, et dont nous allons chercher à donner une idée.

Laplace suppose que, dans l'origine, le soleil et tous les corps qui circulent autour de lui ne formaient qu'une seule nébuleuse, animée d'un mouvement de rotation autour d'une ligne passant par son centre, s'étendant jusqu'à l'orbite de la planète la plus éloignée, et même au delà. Il admet, en outre, que, par suite d'un refroidissement progressif, des portions de plus en plus grandes de la matière de la nébuleuse se sont condensées en son centre, de manière à former un noyau dont la masse s'accroissait ainsi peu à peu. En partant de cette hypothèse, il fait voir qu'avec le temps la nébuleuse a dû se réduire à l'état où se trouve actuellement le système planétaire.

A mesure que le refroidissement amenait la condensation de nouvelles parties de la nébuleuse, les matières ainsi condensées se précipitaient vers le centre, exactement de la même manière que nous voyons tomber par gouttes l'eau qui résulte de la condensation de la vapeur contenue dans notre atmosphère. Mais cette chute des matières condensées ne pouvait pas se produire sans qu'il en résultât un accroissement de la vitesse avec laquelle la nébuleuse tout entière tournait autour de son axe. Il suffit, pour le comprendre, de se reporter à ce que nous avons dit relativement à la déviation qu'éprouve un corps tombant d'une grande hauteur (§ 333), par suite de la rotation de la terre ; ce corps tombe un peu à l'est du pied de la verticale menée par son point de départ ; la ligne qui le joint au centre de la terre tourne donc plus vite que cette verticale, et l'accroissement de sa vitesse deviendrait plus sensible, si l'on pouvait laisser tomber le corps d'une hauteur qui fût comparable au rayon de la terre. Les matières condensées, en tombant vers le centre de la nébuleuse, devaient donc

prendre, autour de son axe, un mouvement de rotation plus rapide que celui du reste de la masse; alors les frottements des diverses parties de la nébuleuse les unes sur les autres accélèrent le mouvement de celles qui tournaient le moins vite, et ralentissaient, au contraire, le mouvement de celles qui tournaient le plus vite; la masse entière de la nébuleuse finissait donc, au bout d'un certain temps, par tourner tout d'une pièce avec une vitesse angulaire plus grande que celle qu'elle possédait d'abord. Ainsi la condensation progressive des matières primitivement gazeuses de la nébuleuse, et leur réunion en quantité de plus en plus grande en son centre, produisaient nécessairement une augmentation continuelle dans la vitesse de rotation de cette nébuleuse autour de son axe.

Une nébuleuse, comme celles que nous considérons, qui est animée d'un mouvement de rotation sur elle-même, ne peut pas s'étendre, dans le plan de son équateur, au delà d'une certaine limite, qui dépend de la vitesse du mouvement. Une molécule quelconque, située dans le plan de l'équateur de la nébuleuse, et participant à son mouvement, est soumise à la fois à l'attraction que toute la masse de la nébuleuse exerce sur elle, et à la force centrifuge développée par son mouvement de rotation. Les dimensions de la nébuleuse ne doivent pas être telles que, pour un point pris sur son équateur même, la seconde force l'emporte sur la première: si, par une cause quelconque, la nébuleuse se trouvait placée dans des conditions telles qu'il en fût ainsi, la force centrifuge des molécules situées à son équateur l'emportant sur leur poids, ces molécules cesseraient de faire partie de la nébuleuse, et se mouvraient dans l'espace, indépendamment d'elle, en vertu de la vitesse qu'elles possédaient à l'instant où elles s'en seraient détachées.

La condensation progressive de diverses parties de la matière formant notre nébuleuse a dû déterminer, comme nous l'avons dit, une accélération correspondante de son mouvement de rotation, et, par conséquent, une augmentation progressive de la force centrifuge due à ce mouvement, pour un point situé à une même distance de l'axe; la limite dont nous venons de parler, au delà de laquelle la nébuleuse ne peut pas s'étendre, a donc dû se resserrer de plus en plus. Si, à une certaine époque, cette limite, en se rapprochant peu à peu du centre, a fini par atteindre la surface de la nébuleuse, les condensations que le refroidissement a continué à opérer ont dû bientôt la faire pénétrer à l'intérieur de cette surface; alors, les molécules extrêmes de la nébuleuse, tout

autour de son équateur, se sont trouvées au delà de la limite qu'elle ne peut pas dépasser; et, par conséquent, cette portion excédante de sa matière a dû cesser de faire corps avec le reste de la masse, et s'en séparer sous forme d'un anneau, tournant dans son plan et autour de son centre, avec la vitesse qu'il possédait à l'instant où il s'est détaché. Ce n'est que le long de son équateur que la nébuleuse peut ainsi abandonner une partie de la matière qui la compose; car, partout ailleurs que dans le plan de ce cercle, l'attraction qu'une molécule éprouve de la part de la nébuleuse tout entière n'a pas la même direction que la force centrifuge due à son mouvement de rotation, et ces deux forces se composent en une résultante qui tend de plus en plus à rapprocher la molécule de l'équateur, à mesure que la force centrifuge va en augmentant: l'accroissement de la vitesse angulaire de la nébuleuse fait donc que les molécules de sa surface se transportent de toutes parts à son équateur, et c'est là qu'elles sont abandonnées dans l'espace, comme nous venons de le dire.

On comprend dès lors que notre nébuleuse, en se refroidissant continuellement, a dû abandonner successivement, dans le plan de son équateur, divers anneaux de matière nébuleuse, qui ont continué à tourner dans ce plan et autour de leur centre commun. La masse centrale, à laquelle la nébuleuse a fini par se réduire à la suite de ses condensations successives, n'est autre chose que le soleil; et les anneaux concentriques de matière nébuleuse qu'elle a déposés, les uns après les autres, dans le plan de son équateur, ont donné naissance aux planètes. Voici comment cette transformation des anneaux a pu s'effectuer:

Chacun de ses anneaux aurait dû présenter une régularité parfaite dans tout son contour, pour conserver indéfiniment sa forme annulaire. Cette régularité ne pouvant évidemment exister que dans des cas tout à fait exceptionnels, il est naturel d'admettre qu'elle ne s'est pas présentée dans les anneaux dont nous parlons. Dès lors, la matière de chacun d'eux a dû se réunir peu à peu autour de certains centres d'attraction, et bientôt ces concentrations partielles ont dû les diviser en divers fragments qui ont continué à se mouvoir chacun séparément, à peu près comme ils se mouvaient lorsqu'ils étaient réunis. Les vitesses des diverses parties qui constituaient précédemment un même anneau, n'étant pas rigoureusement les mêmes, soit qu'elles fussent déjà différentes au moment de la séparation de ces parties, soit qu'elles aient été altérées ultérieurement par les actions perturbatrices auxquelles toutes les portions du système se trouvaient soumises, il en est résulté que

toutes les parties du même anneau ont pu se rejoindre successivement, et finir par se confondre en une seule masse circulant autour du soleil à peu près suivant la circonférence de l'anneau qui lui a donné naissance : cette masse unique, en continuant à se condenser, a produit une planète. Cependant, il pouvait arriver que les divers fragments dans lesquels un anneau s'était décomposé continuassent à circuler isolément, et donnassent lieu, par la suite, à la formation d'autant de planètes distinctes, se mouvant toutes à peu près dans la même région : c'est ainsi que les 146 planètes que l'on connaît entre Mars et Jupiter ont pu résulter des fragments dans lesquels se serait divisé un anneau de matière nébuleuse déposé dans cette région.

Voyons maintenant ce que sont devenues les matières provenant de la totalité d'un anneau, et réunies en un seul point de son contour, conformément à ce que nous venons de dire : cherchons à reconnaître comment la masse qu'elles ont formée ainsi a pu produire une planète tournant sur elle-même et accompagnée de satellites, ce qui est le cas le plus général dans notre système planétaire. Dans la condensation progressive de cette masse, les molécules les plus éloignées du soleil se sont rapprochées de cet astre, et les molécules qui en étaient les plus rapprochées s'en sont éloignées ; les premières ayant une vitesse plus grande, et les dernières une vitesse plus petite que celle de la partie moyenne vers laquelle les unes et les autres se concentraient de plus en plus, il a dû en résulter un mouvement de rotation de la masse tout entière autour de son centre, et dans le sens même du mouvement de révolution de cette masse autour du soleil. Dès lors ces matières, provenant d'un des anneaux abandonnés par la nébuleuse primitive, ont constitué un système entièrement analogue à cette nébuleuse, mais de dimensions beaucoup plus petites ; elles ont donné lieu à une nouvelle nébuleuse qui, tout en se mouvant autour du centre de la première, tournait sur elle-même et dans le même sens. Cette nouvelle nébuleuse a donc pu, par son refroidissement continu, abandonner sur son contour successivement différents anneaux de matière nébuleuse, et finir par former une planète tournant sur elle-même dans le sens dans lequel elle se meut autour du soleil : quant aux anneaux, en se comportant comme ceux que la nébuleuse principale avait elle-même abandonnés, ils ont pu donner naissance aux satellites de cette planète. Quelques-uns de ces anneaux ont pu accidentellement présenter une régularité tout exceptionnelle, et par suite conserver leur forme primitive jusqu'à l'époque actuelle ; les anneaux de

Saturne trouvent donc par là leur explication toute naturelle.

La matière, qui s'est réunie à une certaine distance d'une planète pour former un satellite, a dû s'allonger dans le sens de la ligne qui la joignait à sa planète, de même que l'action de la lune détermine un allongement de la surface de la mer, suivant la ligne qui va de la terre à la lune. Cet allongement du satellite, encore à l'état fluide, beaucoup plus grand que celui auquel nous venons de le comparer, a dû donner au satellite une tendance à tourner toujours les mêmes points de sa surface vers le centre de la planète. Ainsi s'explique très-simplement cette circonstance remarquable que présente la lune, et que Herschell a cru retrouver dans les satellites de Jupiter.

On voit que l'hypothèse émise par Laplace, sur l'origine et la formation de notre système planétaire, rend parfaitement compte de toutes les particularités qui le caractérisent. Coïncidence presque complète des plans des orbites des planètes, petitesse des excentricités de ces orbites, identité de sens des mouvements de rotation et de révolution de tous les corps du système, tout s'explique de la manière la plus naturelle et conformément aux lois de la mécanique.

Dans cette hypothèse, le corps d'une planète formée par les condensations dont nous avons parlé a dû être tout d'abord une masse liquide affectant la forme d'un sphéroïde aplati dans le sens de son axe de rotation, et environnée d'une atmosphère, reste de la nébuleuse qui lui a donné naissance. Cette masse liquide, en continuant à se refroidir, s'est solidifiée peu à peu sur toute sa surface. La croûte solide qui en est résultée s'est ensuite déformée insensiblement, et a fini par se briser successivement dans diverses parties, en raison de la diminution progressive du volume du liquide qui restait à son intérieur, par suite de l'abaissement continu de sa température. En même temps, si l'atmosphère contenait une grande quantité de vapeur d'eau, cette vapeur devait fournir par sa condensation des masses d'eau énormes, dont la présence sur la surface de la croûte solide occasionnait des dégradations de cette surface, et des transports de matières qui finissaient par se déposer en couches horizontales au fond des vastes bassins où ces eaux s'accumulaient ; et ce genre de phénomène devait se reproduire continuellement par suite des vaporisations et condensations successives que l'eau devait éprouver, en raison de la température encore élevée de la surface du globe d'une part, et du refroidissement continu de l'atmosphère environnante d'une autre part. C'est ainsi que la formation successive des terrains sur la surface

du globe terrestre, telle que la géologie est parvenue à l'expliquer, se rattache naturellement aux idées que nous venons de développer.

Les comètes, qui viennent de temps en temps passer dans le voisinage du soleil, ne peuvent pas être regardées comme provenant de la nébuleuse à laquelle nous venons de rattacher la formation du soleil, des planètes et de leurs satellites. Les inclinaisons, quelquefois si grandes, des plans de leurs orbites sur le plan de l'écliptique, et le sens de leur mouvement, qui est direct pour les unes, rétrograde pour les autres, prouvent que ces astres ont une origine toute différente de celle que nous venons d'assigner aux planètes. Les comètes doivent être regardées comme étant de petites nébuleuses qui se meuvent dans l'immensité, et qui, lorsqu'elles s'approchent de notre système planétaire, se trouvent entraînées dans le voisinage du soleil par l'attraction qu'elles éprouvent de la part de cet astre; après s'en être approchées, elles s'en éloignent, souvent pour ne plus revenir. Lorsqu'une comète vient ainsi à se mouvoir près du soleil et des planètes, les actions qu'elle éprouve simultanément de la part de ces corps peuvent modifier la nature de la ligne qu'elle parcourt, de manière à la faire mouvoir suivant une ellipse dont le grand axe ne soit pas excessivement grand; alors la comète fait, pour ainsi dire, partie intégrante du système planétaire, et elle devient une comète périodique. Les diverses comètes périodiques dont nous avons parlé précédemment se trouvent dans ce cas; mais il pourra arriver que les actions perturbatrices qu'elles éprouveront de la part des planètes près desquelles elles viendront à passer modifient un jour leurs orbites, à un tel point, qu'elles s'éloigneront indéfiniment de nous, sans que nous les revoyons jamais.

On a quelques exemples de comètes dont le mouvement a subi des altérations de ce genre, par les actions perturbatrices des principales planètes.

La lumière zodiacale (§ 151) s'explique très-facilement dans l'hypothèse de Laplace. Nous avons dit qu'on ne peut pas la regarder comme étant due à une atmosphère du soleil; en effet, cette lumière, s'étendant au delà des orbites de Mercure et de Vénus, dépasse de beaucoup la limite à l'intérieur de laquelle l'atmosphère du soleil doit être renfermée, d'après la vitesse de son mouvement de rotation sur lui-même. Mais on peut concevoir que la matière nébuleuse, abandonnée successivement par la nébuleuse qui a formé notre système planétaire, ne soit pas condensée en totalité dans les diverses masses partielles d'où sont

sorties les planètes; il peut être resté de petites quantités de cette matière, continuant à circuler autour du soleil à différentes dis-



FIG. 379. ( $AR = 168^{\circ} 33'$ ,  $D = 13^{\circ} 55'$  B.)



FIG. 380.  $R = 167^{\circ} 36'$ ,  $D = 14^{\circ} 1'$  B.)

tances de cet astre, et formant, par leur ensemble, une sorte de nébuleuse très-diffuse et de forme lenticulaire: c'est ce qui occasionnerait la lumière zodiacale.

On trouve dans le ciel divers exemples de nébuleuses allongées, présentant dans leur ensemble précisément la forme de la nébuleuse à laquelle nous attribuons cette lumière (fig. 379, 380 et 381). Il pourrait bien se faire que la matière nébuleuse qui serait ainsi répandue en très-petite quantité dans l'espace environnant le soleil, et jusqu'à une assez grande distance de cet astre, se fût condensée par le refroidissement en un grand nombre de très-petits corps, se mouvant chacun séparément autour du soleil, et constituant une multitude innombrable de petites planètes.



FIG. 381. ( $AB = 184^{\circ} 49'$ ,  $D = 14^{\circ} 6'$  B.)