

En 1852, on revit la comète double. Les deux parties avaient continué à marcher ensemble, tout en s'éloignant l'une de l'autre, mais avec une extrême lenteur. En 1846, la distance des noyaux des deux parties de la comète était de 310 000 kilomètres, le jour du passage au périhélie; en 1852, cette distance était de 2 614 000 kilomètres.

En 1859, la position défavorable de l'orbite de la comète empêcha qu'on en fit l'observation. La comète devait reparaitre au commencement de 1866 et passer au périhélie le 26 janvier; les circonstances étaient très-favorables à son observation, et cependant malgré tout le soin que l'on a mis à la rechercher avec des instruments puissants, on n'est pas parvenu à la découvrir dans le ciel. M. Pogson, à Madras, croit l'avoir revue les 2 et 3 décembre 1872

§ 297. **Comète de Faye.** — La quatrième comète périodique a été découverte, à l'observatoire de Paris, par M. Faye, le 22 novembre 1843.

Peu de temps après, le D^r Goldschmidt, élève de Gauss, en s'appuyant sur des observations faites à Paris et à Altona, reconnut que la comète décrit une ellipse dont l'excentricité est assez faible relativement à celles des comètes périodiques déjà connues. Quoique l'on n'ait trouvé dans le *Catalogue des comètes* aucun astre dont les éléments aient quelque ressemblance avec ceux de cette nouvelle comète, on ne se hasarda pas moins à prédire son retour pour le commencement de 1851, en se fondant uniquement sur la connaissance des éléments du mouvement elliptique que l'on avait obtenu. La prédiction s'accomplit avec une très-grande précision : la comète revint passer à son périhélie, à l'heure même que le calcul avait assignée à ce passage. La durée de la révolution de cette comète est de près de 7 ans et demi. Sa plus petite distance au soleil est égale à 1,7, et sa plus grande distance au même astre est égale à 5,9, la distance moyenne du soleil à la terre étant prise pour unité.

La figure 330, construite à la même échelle que celle qui représente le système de Copernic (*fig. 309*), peut donner une idée des grandeurs et des positions relatives des orbites des quatre premières comètes périodiques. L'orbite de la comète de Halley n'a pu y être tracée en totalité, à cause de ses grandes dimensions. On voit que les orbites de ces comètes s'entrelacent entre elles et avec les orbites des planètes, de telle sorte qu'il semble qu'il existe dans l'espace un certain nombre de points où se croisent les orbites des deux astres différents. Mais il faut observer que ces orbites ne sont pas toutes dans un même plan; leurs plans sont

diversement inclinés sur l'écliptique, ce qui fait que deux orbites qui semblent se couper passent réellement à une certaine distance l'une de l'autre, distance qui est quelquefois très-grande.

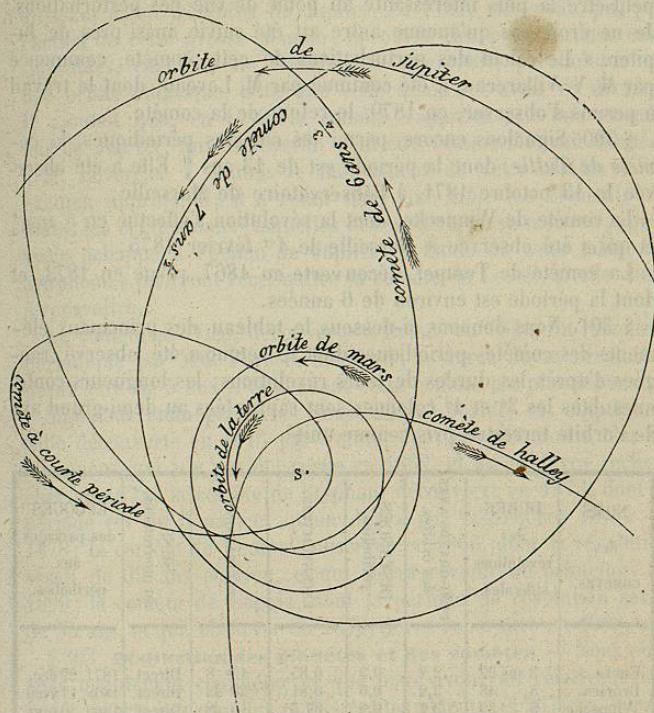


FIG. 330.

§ 298. **Comète de Brorsen.** — Cette comète a été découverte à Kiel par M. Brorsen, le 26 février 1846. MM. Goujon et Brunnow montrèrent que son orbite est elliptique et fixèrent à 5 ans $\frac{1}{2}$ la durée de sa révolution. La comète, restée invisible en 1851, fut aperçue en 1857, le 18 mars, par M. Bruhns; en 1868, le 17 avril; en octobre 1873, par M. Stephan à Marseille.

§ 299. **Comète de d'Arrest.** — Cette comète fut découverte à Leipsick, le 27 juin 1851. M. Yvon Villarceau, après avoir reconnu en même temps que M. d'Arrest que l'orbite de cette comète était elliptique, calcula des éphémérides pour le prochain retour

au périhélie, qu'il annonça pour la fin de 1857, et qui se vérifia à douze heures près. « De toutes les comètes qui n'ont pas cessé de nous revenir, dit M. Yvon Villarceau, la comète de d'Arrest est peut-être la plus intéressante au point de vue des perturbations. Je ne crois pas qu'aucune autre ait été suivie aussi près de Jupiter. » Le calcul des perturbations de cette comète, commencé par M. Y. Villarceau, a été continué par M. Leveau, dont le travail a permis d'observer, en 1870, le retour de la comète.

§ 300. Signalons encore, parmi les comètes périodiques, la *comète de Tuttle*, dont la période est de 13 ans $\frac{2}{3}$. Elle a été observée le 13 octobre 1871, à l'observatoire de Marseille;

La comète de Winnecke, dont la révolution s'effectue en 5 ans $\frac{1}{2}$, et qui a été observée à Marseille le 1^{er} février 1875;

La comète de Tempel, découverte en 1867, revue en 1873, et dont la période est environ de 6 années.

§ 301. Nous donnons ci-dessous le tableau des principaux éléments des comètes périodiques dont le retour a été observé, rangées d'après les durées de leurs révolutions; les longueurs contenues dans les 3^e et 4^e colonnes sont rapportées au demi-grand axe de l'orbite terrestre pris comme unité.

NOMS des COMÈTES.	DURÉE des révolutions sidérales.	DEMI-GRANDS AXES des orbites.	DISTANCES périhélie.	EXCENTRICITÉS.	INCLINAISONS.	SENS du mouvement.	ÉPOQUES des passages aux périhélie.
Encke...	3 ans 29	2,2	0,3	0,85	13° 8'	Direct.	1871, 29 déc.
Brorsen...	5 48	3,2	0,6	0,81	29 23	Direct.	1868, 17 avril
Winnecke	5 59	3,1	0,8	0,75	10 48	Direct.	1869, 30 juin
D'Arrest..	6 57	3,5	1,3	0,63	45 39	Direct.	1870, 23 sept.
Biéla (1)...	6 59	3,5	0,9	0,76	12 33	Direct.	1852, 24 sept.
Biéla (2)...	6 63	3,5	0,9	0,76	12 34	Direct.	1852, 23 sept.
Faye.....	7 41	3,8	1,7	0,56	11 22	Direct.	1866, 14 févr.
Tuttle....	13 81	5,8	1,0	0,82	54 17	Direct.	1870, 30 nov.
Halley ...	76 37	18,0	0,6	0,97	17 45	Rétrog.	1835, 15 nov.

§ 302. Ces comètes périodiques, dont nous venons de retracer succinctement l'histoire, ne sont pas les seules qui aient été observées. Certaines comètes, dont l'orbite était elliptique, ne sont cependant pas revenues à leur périhélie.

La *comète de Lexell*, par exemple, aperçue par Messier en 1770, fut reconnue périodique par Lexell, qui lui attribua une période de 5 ans $\frac{1}{2}$. Lexell pensait que cette comète pouvait être nouvelle; qu'ayant passé très-près de Jupiter, en 1767, elle avait pu, par l'action de cette grosse planète, éprouver des perturbations considérables, capables de transformer une orbite parabolique en une orbite elliptique, telle que celle qu'on lui avait vu décrire. Il ajoutait que, en 1779, la comète s'approcherait une seconde fois de Jupiter, qui l'enlèverait peut-être comme il l'avait donnée.

M. Leverrier a soumis le mouvement de cette comète à un examen approfondi; il a réuni dans une *table* les éléments de toutes les orbites dans lesquelles la comète a pu se mouvoir, après avoir échappé à l'action de Jupiter; à l'aide de cette table, les astronomes pourront reconnaître la comète de Lexell, si elle vient à reparaitre.

La comète de Vico, découverte à Rome, en 1844, fut reconnue périodique par MM. Faye et Brunnow; la durée de sa révolution devait être de 5 ans $\frac{1}{2}$. Cependant cette comète n'a plus été revue.

Signalons enfin parmi les comètes dont l'orbite est elliptique : celle découverte en 1846 par Peters, dont la révolution a lieu en 16 années, qui n'a pas été revue en 1862, et qu'on devra rechercher en 1878; la comète de Stéphan, découverte en 1873, dont la période est de 5 ans, et qu'on devra par conséquent revoir en 1878; la comète de Tempel, observée en 1866, dont la révolution serait de 33 ans environ, et qui devra revenir au printemps de 1899; la comète de Coggia, dont la période de révolution serait de 55 ans, et qui, observée en 1873, devra reparaitre en 1928, etc.

§ 303. **Distinction des planètes et des comètes.** — Nous pouvons maintenant compléter ce que nous avons dit relativement à la découverte des comètes et des petites planètes (§ 267), en faisant connaître la différence qui existe entre ces astres.

Les planètes se meuvent toutes dans le même sens; les plans de leurs orbites sont peu inclinés les uns sur les autres; les excentricités de ces orbites sont très-petites, en sorte que les planètes décrivent à peu près des cercles ayant le soleil pour centre commun. Les comètes, au contraire, se meuvent dans des plans qui sont souvent fortement inclinés sur le plan de l'écliptique; les unes se meuvent dans le sens direct, les autres dans le sens rétrograde; la plupart d'entre elles décrivent des orbites tellement allongées, que, pendant qu'elles sont visibles, elles semblent se mouvoir suivant des paraboles, et, pour le petit nombre de celles dont le mouvement elliptique est bien connu, l'excentricité de l'orbite est

de beaucoup supérieure à celle des orbites des planètes. La distance d'une comète au soleil éprouve des variations considérables, et il en résulte que la comète ne peut être aperçue que lorsqu'elle se trouve dans la portion de son orbite qui se rapproche le plus du soleil. La distance d'une planète au soleil ne varie, au contraire, qu'entre des limites restreintes, et la planète peut être observée dans toutes les parties de son orbite, excepté lorsqu'elle se trouve presque dans la direction du soleil, auquel cas la vive lumière que cet astre répand dans notre atmosphère empêche de l'apercevoir.

Tout astre nouveau que l'on voit se mouvoir dans le sens direct, suivant une ellipse peu excentrique ayant le soleil pour un de ses foyers, est immédiatement classé parmi les planètes. Les astres qui ne satisfont pas à ces deux conditions sont regardés comme des comètes.

Il semble que la distinction ainsi établie entre les planètes et les comètes ne soit pas bien nette. Les quatre comètes périodiques, dont nous avons parlé précédemment, diffèrent beaucoup entre elles sous le rapport de l'excentricité de leurs orbites; l'excentricité de la comète de 7 ans $\frac{1}{2}$ est beaucoup plus petite que celle de la comète de Halley. On comprend qu'il pourrait exister d'autres comètes se mouvant suivant des orbites encore moins excentriques que celle de 7 ans $\frac{1}{2}$; et si leur mouvement était direct, elles se rapprocheraient considérablement de remplir les conditions nécessaires pour être rangées parmi les planètes. Il y aurait alors, parmi les astres qui circulent autour du soleil, pour ainsi dire, un passage insensible de la planète dont l'orbite diffère le moins d'un cercle à la comète dont l'orbite a la plus grande excentricité; et, dans la série continue des orbites rangées dans l'ordre de leurs excentricités, on ne saurait où placer le point de séparation des planètes et des comètes. Mais il n'en est pas ainsi. La distinction entre les deux espèces d'astres est parfaitement tranchée. La comète de 7 ans $\frac{1}{2}$, dont l'excentricité fait exception parmi les excentricités des comètes, est loin de pouvoir être considérée comme une planète. Et ce n'est pas par un simple effet du hasard que les astres dont nous nous occupons peuvent être ainsi divisés en deux groupes bien distincts. Tout porte à croire que les planètes et les comètes n'ont pas une même origine; et cette diversité d'origine, sur laquelle nous reviendrons plus loin, explique tout naturellement les différences essentielles que nous venons de signaler entre les mouvements des planètes et ceux des comètes, différences qui servent à distinguer les unes des autres.

§ 304. **Notions sur la nature des comètes.** — Nous avons dit que les comètes présentent généralement l'aspect d'un noyau brillant environné d'une nébulosité qui s'étend, d'un certain côté, jusqu'à une distance plus ou moins grande du noyau. Cette nébulosité, que l'on peut assimiler à une sorte de brouillard analogue à ceux qui se produisent de temps en temps dans notre atmosphère, est bien loin d'être aussi peu transparente que le sont nos brouillards; des étoiles, même très-faibles, peuvent être aperçues à travers la queue ou la chevelure d'une comète, quoique les rayons lumineux qui viennent de ces étoiles aient souvent à la traverser dans des parties où elle présente une grande épaisseur. La nébulosité d'une comète doit donc être regardée simplement comme une vapeur extrêmement légère qui accompagne le noyau.

Les changements, souvent très-rapides, qui surviennent dans la forme d'une comète, contribuent encore à nous confirmer dans cette idée. Nous citerons comme exemple la comète de Halley, qui fut observée avec beaucoup de soin par M. J. Herschell, au cap de Bonne-Espérance, à la fin de 1835 et au commencement de 1836. Il aperçut la comète, pour la première fois, le 28 octobre 1835. La figure 327 représente la comète telle qu'il la vit ce jour même, avec une lunette dont le grossissement était de 70. Le lendemain 29 octobre, il observa la comète avec un télescope de 29 pieds, et lui trouva l'apparence singulière que montre la figure 331. Un peu plus tard, dans la même soirée, son aspect était notablement différent (fig. 332). Au bout de quelques jours, la comète devint invisible à cause de sa proximité du soleil, puis elle put être observée de nouveau le 25 janvier 1836. A cette époque, elle avait la forme que l'on voit sur la figure 333. Les jours suivants, 26, 27 et 28 janvier, son aspect changea progressivement comme l'indiquent les figures 334, 335, 336.

Il arrive quelquefois qu'une comète est très-visible, et occupe un grand espace dans le ciel, dès le premier jour de son apparition. Les lois de son mouvement, déterminées ultérieurement d'après l'observation de ses positions successives dans le ciel, font voir que, la veille de ce premier jour, elle eût été aperçue sans aucun doute, si elle se fût trouvée dans les mêmes conditions de grandeur et d'éclat que le jour où l'on a commencé à l'apercevoir. On ne peut expliquer cette apparition subite d'une grande et belle comète, dans une région du ciel où l'on ne voyait rien la veille, qu'en admettant que la nébulosité de la comète éprouve un changement considérable dans l'intervalle d'un jour. Parmi les comètes



Fig. 331.



Fig. 332.

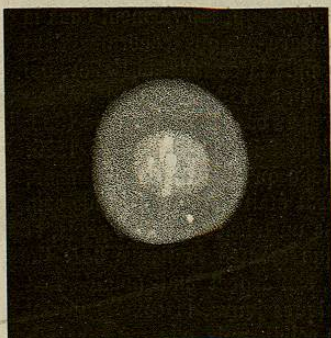


Fig. 333.

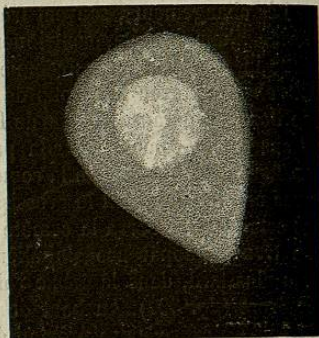


Fig. 334.

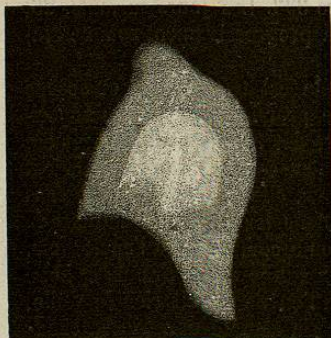


Fig. 335.

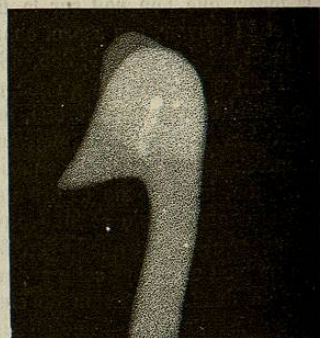


Fig. 336.

qui ont présenté cette circonstance remarquable, on peut citer celle qui fut aperçue, le 17 mars 1843, à Paris et dans beaucoup d'autres lieux. Tout le monde remarqua dans le ciel l'immense traînée lumineuse qui formait la queue de la comète, et dont la longueur sous-tendait un angle de 40 degrés; et cependant, le 16 mars, rien de pareil n'avait été vu dans le ciel.

Nous dirons en passant que, de toutes les comètes dont on a étudié le mouvement, il n'y en a aucune qui se soit autant approchée du soleil que celle dont nous parlons; sa distance périhélie a été environ $\frac{1}{200}$ de la distance moyenne du soleil à la terre. On a calculé que la plus courte distance du noyau à la surface du soleil avait été seulement de 32 000 lieues. La longueur de la queue de la comète, lors de son apparition subite, a été trouvée de 60 millions de lieues.

Le plus habituellement, le noyau d'une comète ne ressemble pas à un corps solide, comme une planète, qui serait placé au milieu de la nébulosité. Il semble plutôt être dû à une certaine accumulation d'une grande quantité de cette matière dans un espace restreint; et, tout autour de cet espace, la condensation paraît diminuer progressivement, de manière à établir un passage insensible du noyau aux parties les plus légères de la chevelure et de la queue. D'après cela, une comète ne serait autre chose qu'un amas de matière vaporeuse circulant dans l'espace et éprouvant en même temps des changements de forme plus ou moins prononcés. Nous verrons plus loin que les comètes ont des masses très-petites relativement aux masses des planètes; ce fait important donne beaucoup de force à l'idée que nous venons de nous faire de la nature des comètes.

Nous rappelons que la comète de Biela (§ 296) s'est divisée en deux parties distinctes qui ont continué à se mouvoir en restant à une petite distance l'une de l'autre. Chacune de ces parties était formée d'un noyau accompagné d'une nébulosité.

§ 305. La formation des queues des comètes, qui s'étendent ordinairement du côté opposé du soleil, et souvent sur une longueur considérable, n'est pas encore complètement expliquée. M. Faye admet l'existence d'une force répulsive à laquelle la matière de la comète serait soumise de la part du soleil, en raison de l'incandescence de ce dernier astre, et qui agirait tout autrement que la gravité (elle s'exercerait proportionnellement aux surfaces, et non aux masses; elle serait interceptée par un écran). Cette force répulsive ne pouvant produire quelque chose de sensible que sur des corps d'une très-faible densité, ses effets ne se

manifesteraient que sur les comètes; et, outre la formation des queues, on pourrait encore lui attribuer l'accélération que l'observation a indiquée dans les moyens mouvements de deux comètes, celle d'Encke et celle de Faye.

Cette hypothèse de M. Faye viendrait se substituer à celle d'un milieu résistant (§ 295) avec laquelle M. Encke expliquait le ralentissement de la comète qui porte son nom.

M. Roche, dans des recherches analytiques sur les atmosphères des comètes, a tenu compte de la force répulsive mise en avant par M. Faye, et sa théorie, exposée dans le tome V des *Annales de l'observatoire de Paris*, l'a conduit à des résultats qui s'accordent avec les indications fournies par l'observation.

§ 306. On s'est demandé si les comètes sont lumineuses par elles-mêmes, ou bien si elles ne brillent qu'en raison de la lumière qu'elles reçoivent du soleil. Des expériences de polarisation, faites par Arago, l'ont conduit à admettre que la lumière des comètes est, au moins en partie, de la lumière solaire réfléchiée à leur surface. Cette conséquence résulterait d'ailleurs naturellement de ce que l'éclat d'une comète diminue progressivement, à mesure qu'elle s'éloigne de nous, si elle n'éprouvait pas en même temps des changements considérables dans sa constitution intime. En effet, si elle était lumineuse par elle-même, son éloignement de la terre diminuerait bien ses dimensions apparentes, mais la clarté de sa surface ne serait pas altérée (§ 20); ce n'est que lorsque ses dimensions apparentes seraient assez petites pour qu'elle ne parût plus que comme un point lumineux, que l'accroissement de sa distance à la terre diminuerait peu à peu son éclat et finirait par la rendre tout à fait invisible. L'affaiblissement progressif de l'éclat que présentent les comètes, à mesure qu'elles s'éloignent de la terre et du soleil, et lorsqu'elles se montrent encore avec des dimensions apparentes très-appreciables, ne pourrait donc s'expliquer qu'en admettant qu'elles sont éclairées par le soleil, et que la diminution de leur éclat est due à l'augmentation de leur distance de cet astre. Quoique ces considérations ne puissent pas s'appliquer en toute rigueur aux comètes, à cause des changements qui se produisent progressivement dans leur constitution, on peut cependant les regarder comme venant appuyer le résultat auquel Arago est parvenu au moyen d'expériences directes sur la lumière des comètes.

Nous verrons plus loin, à propos de l'analyse spectrale des comètes, que ces astres sont aussi lumineux par eux-mêmes, au moins dans la partie qui forme leur noyau.

CHAPITRE SIXIÈME

DE LA GRAVITATION UNIVERSELLE.

§ 307. **Découverte de la gravitation universelle, par Newton.** — Képler ayant fait connaître les véritables lois du mouvement des planètes autour du soleil (§ 263), l'examen attentif de ces lois, uniquement fondées sur les résultats de l'observation, devait conduire à la connaissance des causes qui agissent sur les planètes et qui déterminent les diverses circonstances de leur mouvement. C'est ce qui arriva en effet. Newton, dont le vaste génie n'était pas de trop pour traiter cette grande question, eut la gloire de tirer des lois de Képler les conséquences qui y étaient implicitement renfermées, et de poser ainsi les fondements de l'astronomie mathématique, la plus belle des sciences qui aient été créées dans les temps modernes. Nous allons voir par quelle série d'idées il est arrivé à ce résultat.

Les planètes sont des corps isolés dans l'espace, qui se meuvent autour du soleil en décrivant des lignes courbes, et avec des vitesses variables d'un instant à un autre. Or, on sait qu'en vertu de l'inertie de la matière, le mouvement d'un corps qui est entièrement libre dans l'espace, et qui n'est soumis à l'action d'aucune force, est nécessairement rectiligne et uniforme. Le mouvement des planètes ne s'effectuant pas de cette manière, on doit en conclure que chacune d'elles est soumise à une certaine force qui change constamment la grandeur et la direction de sa vitesse. Reste à savoir quelles sont, à chaque instant, la direction et l'intensité de cette force : c'est ce que l'on trouve en analysant les lois auxquelles satisfont les mouvements des planètes.

§ 308. La deuxième loi de Képler, relative aux aires décrites par la ligne droite qui joint une planète au soleil (§ 263), fait voir que la force dont il s'agit est dirigée précisément suivant cette ligne droite. C'est ce que Newton reconnut d'abord par les considérations suivantes.

Supposons qu'une planète, se mouvant à une certaine distance du soleil, soit soumise à l'action d'une force dirigée constamment vers cet astre; et concevons que cette force, au lieu d'agir sur la planète d'une manière continue, n'agisse que par intermittence,