

planétaires, que doit résulter l'ensemble des différences les plus importantes entre les planètes et les comètes quant à leur constitution physique et chimique, essentiellement fixe, d'après cela, dans les premières, et, au contraire, éminemment variable dans les dernières. Les philosophes qui ont regardé les comètes comme habitables n'ont point suffisamment considéré, ce me semble, l'influence physiologique de cette distinction fondamentale. D'après tout ce que nous connaissons de positif jusqu'ici sur les lois de la vie, son existence doit être jugée radicalement incompatible avec une aussi énorme variation dans l'ensemble des circonstances extérieures, sous les rapports thermométriques, hygrométriques, barométriques, et probablement électriques et chimiques, que celle qui doit nécessairement avoir lieu lors du passage, quelquefois très rapide, d'une comète de son périhélie à son aphélie ou réciproquement.

On conçoit aisément, du point de vue astronomique, la difficulté nouvelle que doivent introduire, dans l'étude des mouvemens, ces deux caractères essentiels des comètes, si peu intéressans en apparence. Indépendamment des perturbations bien plus grandes qui en sont la suite nécessaire, et que nous ne devons point considérer encore, il est clair que l'obligation de ne rien négliger, à l'é-

gard des excentricités et des inclinaisons, doit rendre les calculs purement géométriques presque inextricables dans l'exécution, quoique d'ailleurs la théorie soit entièrement semblable à celle des planètes. Il est remarquable toutefois que, même dans ce cas, l'hypothèse circulaire puisse être encore réellement employée pour diriger les premières observations, quoiqu'il faille évidemment la restreindre à un temps beaucoup plus court. C'est par l'emploi de cette hypothèse, à laquelle Tycho s'était borné, qu'il démontra, le premier, contrairement à tous les préjugés philosophiques, que les comètes sont de véritables astres, aussi réguliers dans leur cours que les planètes elles-mêmes, quoique d'une étude plus difficile, après qu'il eut d'abord établi, par l'évaluation grossièrement approchée de leurs distances, qu'on ne saurait y voir des météores atmosphériques.

Mais, la première ébauche de la théorie des comètes se fait essentiellement aujourd'hui à l'aide d'une nouvelle hypothèse, imaginée par Newton, et qui leur est spécialement adaptée, à raison même de la forme très allongée de leurs orbites elliptiques. C'est l'hypothèse parabolique, qui, moins simple sans doute que l'hypothèse circulaire, représente nécessairement beaucoup mieux la course de l'astre, jusqu'à une assez grande distance de

son périhélie. On conçoit, en effet, que l'ellipse d'une comète, vu sa grande excentricité, doit peu s'écarter, depuis son périhélie jusqu'à environ quatre-vingt-dix degrés de là, de la parabole qui aurait le même sommet et le même foyer : c'est seulement plus loin que la distance des deux courbes devient de plus en plus considérable, et bientôt immense, quelque allongée que puisse être l'ellipse. La parabole peut donc suffisamment correspondre aux positions effectives de l'astre pendant cette première partie de sa course, dont elle simplifie extrêmement l'étude, d'après l'ensemble des propriétés géométriques de cette courbe, bien plus facile à traiter que l'ellipse. Cette substitution provisoire est d'autant plus heureuse, qu'elle convient précisément à la seule portion qui intéresse vivement la curiosité publique, l'astre n'étant plus ordinairement assez éclairé, lorsqu'il s'écarte davantage du soleil, pour être visible de la terre à l'œil nu.

Pour employer une telle hypothèse, il suffit évidemment, d'après la nature de la parabole, d'avoir observé la comète dans deux positions différentes, comme s'il s'agissait du cercle. On en déduit alors géométriquement tous les élémens ordinaires, sauf bien entendu, le temps périodique, et le grand axe étant remplacé par la distance du sommet au

foyer. Ce sont ces cinq élémens qui servent aux astronomes de signalement ordinaire pour reconnaître ou distinguer les comètes dans leurs apparitions successives, quoique les variations considérables qu'ils sont susceptibles d'éprouver en réalité puissent souvent induire en erreur à ce sujet, et qu'elles aient probablement conduit en effet à multiplier beaucoup trop le nombre des comètes. Enfin, le problème de Képler, qui comporte alors une solution rigoureuse et même facile, déterminant l'aire décrite pendant l'intervalle connu des deux observations primitives, achève de régler tout ce qui concerne la course de l'astre, en faisant apprécier sa vitesse, ce qui permet dès lors à nos calculs de le devancer dans toutes ses positions successives, jusqu'aux limites naturelles de l'hypothèse parabolique.

C'est dans cet esprit que la théorie géométrique des comètes est habituellement traitée ; car, sur le très grand nombre de comètes actuellement connues et paraboliquement caractérisées, il n'y en a pas dix dont les orbites elliptiques soient jusqu'ici bien établies, tant est extrême la difficulté mathématique de la solution rigoureuse. Néanmoins, sans la théorie elliptique on ne saurait, évidemment, atteindre à la partie la plus intéressante de cette recherche, la prévision exacte des

retours, d'après l'évaluation du temps périodique. Il faut même reconnaître, à cet égard, que la durée de la révolution sidérale constitue le trait le plus caractéristique, et peut-être le seul vraiment décisif, du signalement d'une comète; car, malgré les perturbations dont cet élément est aussi susceptible, il varie beaucoup moins que les divers élémens paraboliques.

On conçoit, par cet ensemble de considérations, quelle est jusqu'ici l'imperfection nécessaire de la théorie des comètes, comparée à celle des planètes.

Tels sont, dans leurs caractères essentiels, les trois cas généraux que présente l'application des lois de Képler au problème fondamental de la géométrie céleste. C'est ainsi que l'astronomie a pu parvenir à assigner mathématiquement, pour la suite entière des temps, ou futurs ou passés, la position qu'occupe, en un instant donné, l'un quelconque des divers astres qui composent le système solaire dont nous faisons partie. D'après ces déterminations fondamentales, il devient aisé de comprendre, en thèse générale, comment tous les phénomènes secondaires qui peuvent résulter de la situation mutuelle de plusieurs de ces corps ont dû être exactement calculés et prévus, d'une manière entièrement rationnelle. Les principaux de

ces aspects sont les éclipses de diverses sortes, qu'entraîne naturellement le passage de ces astres les uns devant les autres par rapport à nous. L'exactitude et la rationalité de leur prévision ont toujours été le critérium évident et décisif d'après lequel la perfection effective des théories astronomiques est devenue facilement appréciable, même par le vulgaire, puisqu'un tel résultat suppose nécessairement une profonde connaissance réelle des lois géométriques que suivent, dans leurs mouvemens, les deux ou les trois astres qui concourent au phénomène. A la vérité, tous les événemens célestes sont, par leur nature, essentiellement périodiques, puisque les orbites sont toujours nécessairement des courbes fermées. Ainsi, la notion empirique et grossière de quelques périodes qui reproduisent à peu près certains genres d'éclipses, a pu devenir, dès la première enfance de l'astronomie, un moyen direct de prédiction fort imparfait; ce qui a souvent trompé les érudits sur l'étendue des connaissances de quelques castes antiques, quoique cela ne supposât essentiellement d'autre découverte que celle d'une écriture quelconque pour tenir registre des événemens observés. Mais, il ne saurait évidemment être question ici de ce procédé anti-géométrique, fondé sur des périodes très mal observées à l'ori-

gine, et d'ailleurs réellement variables, qui pourrait tout au plus indiquer vaguement, même aujourd'hui, le jour de l'événement. Il s'agit uniquement de prédictions vraiment mathématiques, qui n'ont pu commencer que dans l'immortelle école d'Alexandrie; et dont le degré de précision, à l'heure, à la minute, et enfin à la seconde, représente fidèlement en effet les grandes phases historiques du perfectionnement graduel de l'ensemble de la géométrie céleste. Voilà ce qui, abstraction faite de toute application à nos besoins, fera toujours, de l'observation des éclipses, un spectacle aussi intéressant pour les vrais philosophes que pour le public lui-même, et par des motifs que la propagation de l'esprit positif rendra, j'espère, de plus en plus, essentiellement analogues, quoique inégalement énergiques.

Indépendamment de la haute utilité pratique de cette classe générale de phénomènes au sujet du grand problème des longitudes, quelques-uns d'entre eux sont devenus, depuis un siècle, susceptibles d'une destination scientifique fort importante, en fournissant, comme je l'ai annoncé dans l'avant-dernière leçon, les meilleurs moyens de déterminer avec exactitude la distance du soleil à la terre, donnée si indispensable à toute notre astronomie.

Quand le soleil est plus ou moins éclipsé par un astre quelconque, soit qu'il s'agisse d'une éclipse très apparente, comme celles que produit la lune, soit, au contraire, que le phénomène se réduise à obscurcir un seul point du disque solaire, d'une manière imperceptible à l'œil nu, comme lors des passages de Vénus ou de Mercure entre le soleil et nous, l'observation de ces phénomènes, dont la théorie est, dans tous les cas, essentiellement identique, peut nous conduire à apprécier, plus exactement que par aucune autre voie, la parallaxe relative de cet astre et du soleil, et par suite la distance du soleil lui-même, d'après la différence, soigneusement mesurée, que doit présenter la durée totale du phénomène aux divers observatoires de notre globe. Considérons, en effet, que la théorie a d'abord déterminé cette durée pour le centre de la terre, qui verrait l'astre décrivant une certaine corde du disque solaire. Dès lors, par l'effet de la parallaxe, qui abaisse inégalement les deux astres, l'observateur situé à la surface du globe verra décrire une corde différente, ce qui changera la durée effective du phénomène. Or, dans les cas ordinaires, cet effet se trouvera nécessairement inverse pour deux lieux situés de part et d'autre de l'équateur terrestre. Car, si la parallaxe relative rapproche la corde du

centre du disque, à l'égard de l'un de nos hémisphères, et, conséquemment, augmente la durée mathématique du passage, elle l'en éloignera, au contraire, et diminuera cette durée, envers l'hémisphère opposé. Il y aura donc, sous ce rapport, une différence très appréciable entre deux lieux distincts, convenablement choisis parmi ceux qui permettent d'apercevoir le phénomène, et surtout d'un hémisphère à l'autre. Cette différence constatée, ne dépendant, évidemment, que de la parallaxe relative et de la vitesse angulaire, déjà bien connue, de l'astre considéré, conduira à l'évaluation de la première de ces deux quantités et, par suite, de la parallaxe horizontale du soleil.

Tous les astres susceptibles de passer entre le soleil et nos yeux ne sont pas, à beaucoup près, également propres à une telle détermination. Il faut d'abord que la parallaxe relative ne soit pas trop considérable, afin que l'influence propre à la parallaxe solaire ne s'efface point, pour ainsi dire, vis-à-vis de celle de l'astre, dont la distance à la terre serait alors insuffisante à nous servir de base dans l'exacte évaluation de l'éloignement du soleil. D'un autre côté, cette parallaxe relative serait elle-même trop mal connue si elle ne surpassait pas notablement la parallaxe du soleil, qu'il vaudrait alors presque autant déterminer d'une ma-

nière directe; et d'ailleurs la différence des durées serait trop peu prononcée. Enfin, il faut aussi que le mouvement angulaire de l'astre soit assez lent, pour que, le phénomène se prolongeant longtemps, cette différence doive être très sensible.

Parmi les trois seuls astres connus qui puissent ainsi éclipser le soleil, l'ensemble de ces motifs exclut, évidemment, la lune, et même Mercure, en sorte qu'il ne reste que Vénus. La parallaxe, dans une telle position, offre les proportions convenables, étant presque triple de celle du soleil; et la vitesse angulaire est assez petite pour que le phénomène, dont la durée totale est de six à huit heures, puisse présenter des différences de vingt minutes au moins entre deux observatoires bien choisis. Telle est la belle méthode imaginée par Halley, et pratiquée plus tard par divers astronomes. Le degré de précision du résultat se trouve, évidemment fixé d'après les considérations qui précèdent.

J'ai cru devoir caractériser nettement cette application de la théorie géométrique des mouvements célestes, à cause de son extrême importance pour le système entier de la science astronomique. Mais, il serait contraire à la nature de cet ouvrage d'y considérer spécialement aucune autre de ces questions secondaires, quelque grande

que puisse être, d'ailleurs, leur utilité pratique.

L'ensemble de ces phénomènes provoque naturellement une remarque philosophique fort essentielle, sur l'opposition nécessaire et de plus en plus prononcée de l'esprit positif contre l'esprit théologique ou métaphysique, à mesure que la géométrie céleste s'est perfectionnée davantage. Le caractère fondamental de toute philosophie théologique est d'envisager tous les phénomènes comme gouvernés par des volontés, et, par conséquent, comme éminemment variables et irréguliers, au moins virtuellement. Au contraire, la philosophie positive les conçoit comme assujettis, à l'abri de tout caprice, à des lois invariables, qui permettent de les prévoir exactement. L'incompatibilité radicale de ces deux manières de voir n'est, aujourd'hui, nulle part plus saillante qu'à l'égard des événemens célestes, depuis qu'on a pu les prévoir complètement et avec la dernière précision. En voyant toujours arriver les comètes et les éclipses, avec toutes les circonstances minutieuses exactement annoncées long-temps à l'avance, suivant les lois que le génie humain a su enfin créer d'après ses observations, le vulgaire lui-même doit être inévitablement entraîné à sentir que ces phénomènes sont soustraits à l'em-

pire de toute volonté, qui n'aurait pu, sans doute, se subordonner aussi complaisamment à nos décisions astronomiques.

Je me suis efforcé de caractériser aussi nettement que possible, dans cette leçon et dans les deux précédentes, le véritable esprit général de la géométrie céleste, envisagée sous ses divers aspects principaux, et en faisant complètement abstraction de toute considération mécanique. Il faut maintenant passer à l'examen philosophique, bien plus difficile et non moins important, de la théorie mécanique dont sont susceptibles aussi les phénomènes astronomiques, en concevant les résultats généraux de leur étude géométrique, si admirablement résumés par les trois lois de Képler, comme autant de faits fondamentaux, propres à nous conduire à une conception supérieure et unique. Cette seconde étude procure de nouvelles déterminations, qui, sans elle, nous seraient nécessairement interdites. Mais, sa principale influence scientifique est de réagir sur le perfectionnement de la géométrie céleste elle-même, en rendant ses théories plus précises, par suite de la liaison sublime qu'elle établit profondément entre tous les phénomènes intérieurs de notre monde, sans aucune exception. C'est ainsi que

l'esprit humain en est enfin venu à regarder les lois de Képler elles-mêmes comme une sorte d'approximation, qui n'en conserve pas moins toute l'éminente valeur que nous lui avons assignée ici. Les divers élémens que ces lois supposent constants sont, en réalité, ainsi que j'ai dû déjà l'annoncer, susceptibles d'altérations plus ou moins étendues. La connaissance exacte des lois si complexes de leurs variations, constitue le principal résultat astronomique de la mécanique céleste, indépendamment de sa haute importance directe sous le rapport philosophique.

VINGT-QUATRIÈME LEÇON.

Considérations fondamentales sur la loi de la gravitation.

Beaucoup d'esprits judicieux, auxquels la saine philosophie n'est point étrangère, mais qui n'ont pas une connaissance générale assez approfondie des conceptions mathématiques, se représentent encore l'étude mécanique des corps célestes comme étant nécessairement moins positive que leur étude géométrique; parce qu'ils la confondent, sans doute, avec la recherche inaccessible de l'origine et du mode de production des mouvemens, méprise que les expressions vicieuses trop souvent employées par les géomètres semblent tendre, il est vrai, à autoriser. Cependant, les lois fondamentales du mouvement, quoique plus difficiles à découvrir que celles de l'étendue, et connues bien long-temps après elles, ne sont, incontestablement, ni moins certaines, ni moins universelles, ni d'une positivité moins évidente. Comment pourrait-il en être autrement de leur application? Tout déplacement curviligne d'un