

## VINGT-DEUXIÈME LEÇON.

Considérations générales sur le mouvement de la terre.

Pour faciliter l'examen général de cette grande question fondamentale, il convient d'envisager séparément, comme à l'égard des autres astres, les deux mouvemens dont notre planète est animée, en commençant aussi par la rotation, bien plus simple à reconnaître directement que la translation. Cette décomposition est ici d'autant plus naturelle que, dans l'accomplissement total de la profonde révolution intellectuelle qui a dû résulter du passage de l'idée de repos à celle de mouvement, l'esprit humain a formé en effet une hypothèse intermédiaire, peu connue aujourd'hui, celle de Longomontanus, qui admettait la rotation de la terre en continuant à méconnaître sa translation, et qui, quelque absurde qu'elle soit sans doute, astronomiquement, n'a pas été inutile, sous le point de vue philosophique, comme moyen transitoire. Il est

d'ailleurs évident que, suivant le principe général de la liaison de ces deux mouvemens dans un corps quelconque, les preuves directes de chacun deviennent ici, de même qu'envers toutes les planètes, autant de preuves indirectes de l'autre. Mais, de plus, cette relation présente, dans le cas actuel, un caractère tout spécial, qui ne saurait avoir lieu à l'égard d'aucun autre corps céleste : c'est l'impossibilité évidente que le mouvement annuel de la terre existe sans son mouvement diurne, quoique l'inverse ait pu logiquement être supposé.

La rotation de la terre ne pouvant point, par sa nature, être exactement commune au même degré à tous les points de sa surface, doit laisser, parmi les phénomènes purement terrestres quelques indices sensibles de son existence, comme je l'ai noté d'avance dans le premier volume, ce qui ne saurait être pour la translation. Il faut donc distinguer les preuves célestes et les preuves terrestres de notre mouvement diurne, tandis que notre mouvement annuel n'en comporte que du premier genre, qui sont, il est vrai, plus variées.

Les astronomes commencent avec raison, par écarter entièrement la considération des apparences immédiates, qui ne sauraient devenir,

en aucun sens, un motif réel de décision, puisqu'elles s'accordent également bien avec les deux hypothèses opposées. Il est clair, en effet, que l'observateur, ne pouvant avoir nullement la conscience de la rotation de sa planète, doit apercevoir, en vertu de cette rotation, le même spectacle céleste que si le ciel tournait journellement, comme un système solide, autour de l'axe de la terre, et en sens contraire du vrai mouvement; ainsi qu'on l'observe habituellement dans une foule de cas analogues.

Dans l'enfance de l'esprit humain, l'opinion, d'ailleurs spontanée, de l'immobilité de la terre, et du mouvement quotidien de la sphère céleste autour d'elle, n'avait point, à beaucoup près, le degré d'absurdité qu'elle présente de nos jours chez le petit nombre d'intelligences mal organisées qui s'obstinent quelquefois à la maintenir : elle était, au contraire, ce me semble, aussi logique que naturelle. Car elle se trouvait être exactement en harmonie avec les idées profondément erronées que l'on se formait nécessairement des distances et des dimensions des astres avant la naissance de la géométrie céleste. Les astres étaient regardés comme très voisins, et par suite supposés très peu supérieurs à leurs grandeurs apparentes, en même temps qu'on devait na-

tuellement s'exagérer beaucoup les dimensions de la terre, lorsqu'on eut commencé à lui reconnaître des limites. Avec de tels renseignements, il eût été, évidemment, impossible de ne pas admettre l'immobilité d'une masse aussi immense, et le mouvement journalier d'un univers dont les élémens et les intervalles étaient, comparativement, aussi petits. Une conception tellement enracinée, et appuyée sur des motifs directs d'une telle force, indépendamment de la confiance énergique que lui prêtait l'ensemble des sentimens humains, ne pouvait donc être ébranlée que par une approximation, au moins grossière, mais, pourtant géométrique, des distances et des dimensions célestes, comparées à la grandeur de la terre. Or, malgré que ces déterminations statiques, objet essentiel de la leçon dernière, doivent certainement précéder aujourd'hui l'étude des mouvemens dans une exposition rationnelle de la géométrie céleste, il n'a pu en être entièrement ainsi dans le développement historique de la science. L'astronomie grecque avait ébauché la théorie vraiment géométrique des mouvemens célestes, en n'envoyant essentiellement que les directions, sans s'être nullement occupée de mesurer les proportions de l'univers; ce qui a dû maintenir

beaucoup plus long-temps l'opinion primitive sur le système du monde.

Mais, depuis que ces proportions ont commencé à être géométriquement appréciées, l'ensemble des notions sur lesquelles reposait une telle opinion a pris un caractère absolument inverse, qui a dû provoquer de plus en plus la formation de la conception copernicienne. Quand il a été une fois bien constaté que la terre n'est qu'un point au milieu des intervalles célestes, et que ses dimensions sont extrêmement petites comparativement à celles du soleil et même de plusieurs autres astres de notre monde, il est devenu absurde d'en faire le centre de divers mouvemens, et surtout l'immense rotation journalière du ciel a aussitôt impliqué une contradiction choquante. A la vérité, les astres extérieurs à notre système seront réputés 24000 fois moins lointains, d'après la leçon précédente, en n'admettant point la circulation annuelle de la terre: mais leurs distances n'en cesseraient pas d'être immenses, et beaucoup plus grandes que celle du soleil; ce qui doit, en outre, leur faire attribuer certainement des volumes au moins analogues. Dès lors, la prodigieuse vitesse que devraient avoir tous ces grands corps pour décrire en un jour, autour de la terre, des cercles d'une

telle immensité, devient évidemment inadmissible, surtout quand on reconnaît que, pour l'éviter, il suffit en laissant tout ce système immobile, d'attribuer à la terre un très petit mouvement, qui n'excède point, même à l'équateur, le mouvement initial d'un boulet de 24. Cette considération est puissamment fortifiée en pensant, sous le point de vue mécanique, à l'énormité de la force centrifuge qui résulterait de mouvemens aussi étendus et aussi rapides, et qui exigerait continuellement, de la part de la terre, imperceptible comparativement à l'univers, un effort évidemment impossible, pour empêcher ces masses immenses de poursuivre à chaque instant leur route suivant la tangente, tandis que la rotation de la terre détermine seulement une force centrifuge presque insensible, aisément surmontée par la pesanteur, dont elle n'est, même à l'équateur, que la deux cent quatre-vingt-neuvième partie.

Une seconde preuve fondamentale, indépendante de la connaissance des intervalles et des dimensions, se tire de l'existence des mouvemens propres. Il a suffi de voir les astres passer les uns devant les autres pour être assuré qu'ils sont inégalement éloignés; ensuite, l'observation des mouvemens particuliers aux différentes pla-

nètes, en sens contraire du mouvement général du ciel, et selon des directions et des périodes fort distinctes, a constaté que tous les astres ne tenaient point ensemble. Or, il était évidemment impossible de concilier cette indépendance avec la liaison si étroite qu'exigeait l'harmonie fondamentale du mouvement diurne, où l'on voyait le ciel tourner tout d'une pièce. Aristote et Ptolémée avaient été inévitablement conduits, pour établir cette conciliation, à construire l'hypothèse si compliquée, quoique ingénieuse, d'un système de cieux solides et transparens, qui présente d'ailleurs tant d'absurdités physiques. Mais la simple connaissance de certains astres, comme les comètes, qui passent successivement dans toutes les régions célestes, aurait suffi seule à détruire tout ce pénible échafaudage, qui, suivant l'ingénieuse expression de Fontenelle, exposait ainsi l'univers à être cassé. Il est singulier que ce soit Tycho-Brahé, le plus illustre antagoniste de la découverte de Copernic, qui ait ainsi fourni un des argumens les plus sensibles contre sa propre opinion, en ébauchant, le premier, la vraie théorie géométrique des comètes.

Quel que doive être l'empire des opinions établies, surtout quand elles sont aussi profondément enracinées, l'ensemble des considérations

précédentes, aurait, probablement, par son évidence de plus en plus puissante, déterminé les astronomes à reconnaître, long-temps avant Copernic, la réalité du mouvement de rotation de la terre; car, la précision des déterminations modernes n'était nullement nécessaire pour faire sentir la force de telles preuves : il suffisait d'une approximation grossière, déjà essentiellement obtenue à une époque très antérieure. Mais l'ignorance des lois fondamentales du mouvement présentait un obstacle nécessairement insurmontable à l'admission d'une théorie, dont la supériorité astronomique était sans doute vivement sentie, par un aussi grand astronome que Tycho entre autres, et qui toutefois paraissait absolument inconciliable avec l'observation de qui ce se passe habituellement sous nos yeux à la surface de la terre, principalement dans la chute des corps pesans. Copernic ne fit nullement disparaître cet obstacle radical, il dura encore près d'un siècle, jusqu'à la mémorable époque de la création de la dynamique par le génie de Galilée, qui établit, le premier, cette grande loi, que j'ai cru devoir présenter, dans la philosophie mathématique, comme une des trois bases physiques nécessaires de la mécanique rationnelle : l'indépendance totale des mouvemens re-

latifs de différens corps quelconques envers le mouvement commun de leur ensemble. Jusque alors, la rotation de la terre, quelque probable qu'elle fût comme hypothèse astronomique, était nécessairement inadmissible. Telle est la prépondérance des habitudes intellectuelles natives, que, sans que personne eût jamais pensé à faire l'expérience, on admettait, comme un fait incontestable, que la balle jetée du haut du mât, dans un vaisseau en mouvement, ne retombait point au pied du mât, mais à quelque distance en arrière, ce dont le moindre observateur eût immédiatement signalé la fausseté grossière. Delambre a justement remarqué, dans son *Histoire de l'Astronomie moderne*, combien l'argumentation des Coperniciens avant Galilée, dans cette célèbre discussion, était encore plus vicieuse et plus métaphysique à cet égard que celle de leurs adversaires, puisqu'ils admettaient aussi la réalité de ce prétendu fait, et que seulement ils s'efforçaient, par de vaines subtilités, de détruire l'objection qu'on en tirait très logiquement contre le mouvement de la terre. Même après les démonstrations de Galilée, il fallut encore que Gassendi provoquât spécialement, dans le port de Marseille, une expérience publique pour achever de convaincre à ce sujet les péripatéticiens obstinés.

Depuis que la propagation des saines doctrines mécaniques a fait ainsi disparaître la seule difficulté qui s'opposât réellement à l'admission de la rotation de la terre, on a cherché, dans l'examen plus approfondi de ces mêmes phénomènes de chute, une confirmation directe et terrestre de l'existence de ce mouvement. Il est clair, en effet, qu'un corps en tombant du sommet d'une tour très élevée, doit avoir une légère vitesse initiale horizontale dans le sens de la rotation terrestre, d'après le petit excès de la vitesse du sommet sur celle du pied, à raison de son cercle diurne un peu plus grand. Le corps, ainsi lancé comme un projectile, retombe donc nécessairement un peu à l'est du pied de la tour; et la quantité de cette déviation est aisément calculable, du moins en négligeant la résistance de l'air, en fonction de la hauteur de la tour et de sa latitude. Si cet écartement était plus grand, on aurait là un moyen expérimental très précieux de démontrer la rotation terrestre. Mais il est malheureusement trop petit, à l'égard même de nos édifices les plus élevés, pour que l'expérience soit vraiment décisive, à cause de l'impossibilité presque absolue, quelques précautions qu'on ait prises, de laisser tomber le corps sans qu'il reçoive aucune petite impulsion, comparable à celle dont on veut apprécier l'effet.

Néanmoins, cette ingénieuse expérience, tentée en divers lieux au commencement de ce siècle, a généralement donné une déviation dans le sens convenable, quoique sa valeur n'ait pu être celle que la théorie avait assignée; ce qui fait espérer qu'on pourra plus tard, en choisissant des conditions plus favorables, parvenir à la compléter. Il est regrettable qu'on ne l'ait point essayée à l'équateur, où l'écartement doit avoir plus d'étendue qu'en aucun autre lieu.

Afin d'obtenir des preuves terrestres vraiment incontestables de la réalité de notre rotation, il faut considérer l'influence de la force centrifuge qui en résulte nécessairement, pour altérer la direction naturelle et surtout l'intensité propre de la pesanteur.

La célèbre observation faite par Richer à Cayenne en 1672, de la diminution d'environ  $\frac{3}{2}$  ligne, à l'équateur, dans la longueur exacte du pendule à secondes réglé à Paris, fournit, en l'analysant convenablement, la première confirmation directe du mouvement de rotation de la terre. Notre globe s'écarte trop peu, d'après la leçon précédente, de la figure exactement sphérique, pour qu'un tel décroissement de la pesanteur puisse provenir du seul renflement équatorial, en vertu de la loi générale de la variation de la gra-

vité inversement au carré de la distance au centre de la terre. Suivant l'aplatissement le plus certain, cette cause ne pourrait produire qu'une différence d'à peine  $\frac{1}{2}$  ligne. Reste donc, évidemment, 1 ligne pour l'influence propre de la force centrifuge, qui, étant, à l'équateur, à la fois la plus grande possible, et directement opposée à la gravité, doit la diminuer davantage qu'en tout autre lieu. La quantité de cette diminution, qui peut être aisément calculée *à priori* avec une entière certitude, coïncide, d'une manière admirable, entre les limites des erreurs des observations, avec la portion qui appartient ainsi à la force centrifuge dans le raccourcissement total; et cela, non-seulement à l'équateur, mais encore à toutes les latitudes où cette comparaison délicate a pu être établie avec le surcroît de soin qu'exige l'effet moins prononcé. Une démonstration aussi mathématique ne permettrait plus aucun doute sur la rotation de la terre, quand même on écarterait entièrement les preuves astronomiques, d'ailleurs si évidentes. C'est ainsi que l'immortelle observation de Richer se rattache aux deux plus grandes découvertes de la philosophie naturelle, le mouvement de la terre, et la théorie de la gravitation : les deux tiers de l'effet mesuré ont irrécusablement vérifié la rotation de

notre planète, et l'autre tiers a conduit Newton à déterminer son aplatissement. Aucun autre fait particulier n'a eu peut-être d'aussi grandes conséquences dans toute l'histoire de l'esprit humain.

Passons maintenant à la considération spéciale du mouvement de translation de la terre, dont l'existence ne peut être constatée, comme nous l'avons remarqué, que par des preuves astronomiques, à cause de la différence tout-à-fait insensible de la vitesse des divers points de la terre en vertu de ce mouvement, qui ne saurait donc exercer la moindre influence sur nos phénomènes terrestres.

La seule position exacte de la question établit d'abord une analogie puissante en faveur de la théorie copernicienne, puisque la circulation de toutes les autres planètes autour du soleil avait été déjà constatée par Tycho lui-même, le système ancien proprement dit étant ainsi définitivement écarté de la discussion, qui s'est dès lors trouvée réduite à examiner si la terre circule aussi à son rang, comme Vénus, Mars, Jupiter, etc., ou bien si le soleil, centre reconnu de tous les mouvemens planétaires, parcourt annuellement l'écliptique autour de la terre immobile. Par ce simple énoncé, tout esprit impartial est, évidemment, porté à présumer que le vrai motif de cette indécision tient uniquement à la situation

de l'observateur, qui, placé sur quelque autre planète, en eût fait sans doute aussi le centre général des mouvemens célestes.

Ici, comme à l'égard de la rotation, il est d'abord évident que les apparences ne peuvent rien décider. Car, en ôtant la terre du centre de l'écliptique pour y mettre le soleil, il suffit de placer la terre en un point de cette orbite diamétralement opposé à celui qu'occupait le soleil auparavant; et dès lors, sans rien changer au sens du mouvement, l'observateur terrestre apercevra continuellement le soleil dans la même direction que ci-devant. En regardant le mouvement annuel de la terre comme n'altérant point le parallélisme de son axe de rotation, toute l'explication des phénomènes relatifs aux saisons et aux climats, étant reprise sous ce point de vue, donnera, évidemment, les mêmes résultats que dans l'ancien système. Tous les phénomènes les plus sensibles du ciel sont donc exactement les mêmes pour les deux hypothèses. Ainsi, c'est uniquement dans des comparaisons plus délicates et plus détournées, fondées sur des observations plus approfondies, qu'il faut chercher des motifs de prononcer entre elles, en considérant des phénomènes qui conviennent beaucoup mieux à l'une qu'à l'autre, ou même, comme on

en a découvert, qui soient absolument incompatibles avec le système ancien, et mathématiquement en harmonie avec le système moderne. Si l'on ne voulait point distinguer, à cet égard, entre les preuves directes et indirectes, il faudrait, pour ainsi dire, envisager l'ensemble des phénomènes célestes, tant mécaniques que géométriques; car il n'en est presque aucun qui ne puisse fournir indirectement une confirmation spéciale du mouvement de notre planète, dont l'influence doit, en effet, se faire sentir naturellement dans toutes nos explorations astronomiques. Mais il ne saurait évidemment être question, en ce moment, que des preuves les plus directes. Je crois devoir les réduire à trois principales, que je vais successivement considérer dans l'ordre croissant de leur validité logique; elles se tirent de l'examen des phénomènes : 1°. de la précession des équinoxes, modifiée par la nutation de l'axe terrestre; 2°. des apparences stationnaires et rétrogrades que présentent les mouvemens planétaires; 3°. enfin, de l'aberration de la lumière, d'où l'on a déduit la démonstration la plus décisive et la plus mathématique.

En comparant deux catalogues d'étoiles dressés à des époques différentes, on remarque, dans les positions de tous ces astres, une variation très