

diatè. L'éloignement même où ces grands corps sont placés de nos yeux est une circonstance éminemment favorable qui nous permet d'embrasser d'un seul regard l'ensemble de leur forme, en même temps que leur mouvement ou le nôtre nous les fait voir successivement sous tous les aspects possibles. La distance, il est vrai, pourrait être tellement grande que les dimensions et, par suite, la forme nous devinssent totalement imperceptibles : tel est le cas de tous les astres extérieurs à notre monde, qui ne sont aperçus, dans les plus puissans télescopes, que comme des points mathématiques d'un très vif éclat, et dont la sphéricité ne nous est réellement indiquée que par une induction très forte. C'est aussi ce qui arrive jusqu'ici pour quelques corps secondaires de notre propre système, pour les satellites d'Uranus par exemple, et même, à un certain degré, pour les quatre petites planètes situées entre Mars et Jupiter. Mais tous les astres de quelque importance dans notre monde comportent, à cet égard, une exploration complète, du moins avec nos instrumens actuels. Il suffit donc de mesurer soigneusement, par les meilleurs moyens micrométriques, leurs diamètres apparens dans tous les sens possibles, pour juger immédiatement de leur véritable figure, après avoir toutefois effectué les

deux corrections fondamentales de la réfraction et de la parallaxe. Si la figure de la terre a été long-temps mise en question, et si sa connaissance exacte a exigé les recherches les plus difficiles et les plus laborieuses, comme je l'indiquerai plus bas, il n'a jamais pu en être ainsi du soleil et de la lune, et successivement de tous les autres astres de notre système; à mesure que le perfectionnement de la vision artificielle a permis de les explorer assez distinctement. Un seul cas a dû présenter, à cet égard, une véritable difficulté scientifique. C'est celui des deux singuliers satellites annulaires dont Saturne est immédiatement entouré. L'étrangeté de leur figure a exigé que, pour la bien reconnaître, Huyghens, guidé par des apparences long-temps inexplicables, formât à ce sujet une heureuse hypothèse, qui a satisfait ensuite à toutes les observations. Il en a été ainsi, jusqu'à un certain point, dans l'origine de la science astronomique, à l'égard de la lune, par la diversité de ses aspects, quoique la plus simple géométrie permette ici de décider la question. A ces seules exceptions près, l'inspection immédiate a évidemment suffi pour reconnaître la sphéricité presque parfaite de tous nos astres (1), et pour

(1) Il semble nécessaire d'en excepter les quatre petites planètes dé-

s'apercevoir plus tard qu'ils sont tous légèrement aplatis dans le sens de leur axe de rotation et renflés dans leur équateur. La quantité de cet aplatissement a pu même être exactement mesurée avec des micromètres perfectionnés. Le résultat général de ces mesures a été de montrer, ce me semble, que les astres sont d'autant plus aplatis que leur rotation est plus rapide, depuis l'aplatissement presque imperceptible de la lune ou de Vénus, jusqu'à l'aplatissement d'environ $\frac{1}{2}$ dans Jupiter ou dans Saturne; ce que nous verrons plus tard être conforme à la théorie de la gravitation.

Quant à la véritable grandeur des corps célestes, un calcul très facile la déduit immédiatement de la mesure du diamètre apparent combinée avec la détermination de la distance. Car, la sécante du demi-diamètre apparent d'un corps sphérique est évidemment égale au rapport entre son rayon réel et sa distance à l'œil; ce qui permet d'évaluer maintenant ce rayon, et, par suite, la surface et le volume. L'homme n'a eu si long-temps des idées profondément erronées des vraies dimensions des astres que parce que leurs distances réelles lui étaient inconnues; quoique, d'ailleurs,

elles ont été couvertes depuis le commencement de ce siècle, et dont la forme semble être beaucoup moins régulière, autant que leur faible étendue et leur grand éloignement permettent jusqu'ici d'en juger.

par son ignorance des lois de la vision, il n'ait pas toujours maintenu une exacte harmonie entre les fausses notions qu'il se formait des unes et des autres.

Le résultat général de ces diverses déterminations pour tous les astres de notre monde, comparé avec l'ordre fondamental de leurs distances au soleil, ne se montre assujetti jusqu'à présent à aucune règle. On y remarque seulement que le soleil est beaucoup plus volumineux que tous les autres corps de ce système, même réunis; et, en général, que les satellites sont aussi beaucoup moindres que leurs planètes, comme l'exige la mécanique céleste.

Il est presque superflu d'ajouter ici que notre ignorance à l'égard des distances effectives de tous les corps extérieurs à notre monde, nous interdit toute connaissance de leurs vraies dimensions, quand même nous parviendrions, à l'aide de plus puissans télescopes, à mesurer leurs diamètres apparens. Nous avons seulement lieu de penser vaguement que leur volume doit être analogue à celui de notre soleil.

Une question secondaire, mais qui n'est point sans intérêt, se rattache à l'étude de la figure et de la grandeur des astres, dont elle est, en quelque sorte, un complément minutieux. C'est

l'évaluation exacte de la hauteur des petites aspérités qui recouvrent leur surface, à la façon de nos montagnes. Rien n'est plus propre peut-être qu'une telle estimation à rendre sensible la puissance de nos lunettes actuelles et la précision qu'ont acquis nos moyens micrométriques.

On conçoit, en général, que l'un quelconque des astres intérieurs à notre monde doit avoir un hémisphère éclairé par le soleil et un autre hémisphère visible de la terre; et que nous apercevons seulement la portion commune, plus ou moins étendue suivant les divers aspects, de ces deux hémisphères, dont chacun serait d'ailleurs nettement terminé par un cercle, si la surface était parfaitement polie. Cela posé, s'il existe, dans la partie invisible de l'hémisphère éclairé, ou dans la partie obscure de l'hémisphère visible, et tout près de la ligne de séparation, une montagne suffisamment élevée, son sommet nous apparaîtra nécessairement, dans l'image de l'astre, comme un point isolé extérieur au disque régulier, et dont la distance à ce disque, ainsi que la situation, exactement appréciées l'une et l'autre à l'aide d'un bon micromètre, nous permettront de déterminer, avec plus ou moins de précision, par un calcul trigonométrique fort simple, la hau-

teur cherchée, d'abord comparativement au rayon de l'astre, et finalement en mètres si nous le désirons. Le degré de précision que comporte une estimation aussi délicate dépend, évidemment, de l'étendue et de la netteté du disque; et l'absence d'atmosphère doit aussi contribuer à l'augmenter. Aucun astre, sous ces divers rapports, ne peut être plus exactement exploré, à cet égard, que la lune, dont les principales montagnes sont peut-être mieux mesurées aujourd'hui, d'après les opérations de M. Schroëter, qu'un grand nombre des montagnes terrestres. Il est remarquable qu'elles soient, en général, plus élevées que nos plus hautes montagnes, puisqu'on en trouve de huit mille mètres au moins, ce qui est surtout frappant par contraste avec un diamètre plus de trois fois moindre. La même singularité s'observe à l'égard de Vénus et de Mercure, seules planètes qui aient pu jusqu'ici permettre une semblable détermination, bien moins exacte toutefois que pour la lune; M. Schroëter a trouvé que leurs montagnes atteignent jusqu'à quatre myriamètres environ, dans la première, qui est à peu près égale en grandeur à la terre, et deux dans la seconde, dont le diamètre est presque trois fois moindre.

Une recherche plus importante, qui complète

naturellement l'étude de la figure et de la grandeur des astres, consiste à évaluer l'étendue et l'intensité de leurs atmosphères. Elle est fondée sur la déviation appréciable que ces atmosphères doivent imprimer à la lumière des astres extérieurs à notre monde, devant lesquels vient se placer en ligne droite l'astre intérieur proposé; ce qui constitue ce genre particulier d'éclipses, connu sous le nom d'occultations d'étoiles, et qui est, comme tout autre, et même mieux qu'aucun autre, susceptible d'être exactement calculé. Cette déviation, qui est parfaitement semblable à la réfraction horizontale de notre atmosphère, peut être surtout estimée d'une manière extrêmement précise, par un procédé indirect, qui ne nous serait point applicable, d'après l'influence très sensible qu'elle exerce sur la durée totale de l'occultation. Par le simple mouvement diurne du ciel, cette durée serait naturellement indéfinie; mais elle est, en réalité, plus ou moins longue, suivant le mouvement propre plus ou moins lent de l'astre proposé. On peut la calculer d'avance avec exactitude, d'après la vitesse angulaire et la direction de ce mouvement, comparées au diamètre apparent de l'astre, et modifiées d'ailleurs par le mouvement de l'observateur lui-même. Or, maintenant, la réfraction atmosphé-

rique doit, en réalité, diminuer, plus ou moins selon les différens astres, mais toujours très notablement, cette durée géométrique; car elle retarde le commencement de l'occultation, et elle en accélère la fin. Cette influence, entièrement comparable à celle qui prolonge un peu la présence du soleil sur notre horizon, est d'ailleurs beaucoup plus grande; elle quadruple en quelque sorte l'effet direct de la réfraction, puisqu'on cumule ainsi la déviation éprouvée par la lumière à sa sortie de l'atmosphère aussi bien qu'à son entrée, et cela tant à la fin de l'occultation qu'au commencement. On pourra donc, en comparant la durée effective de cette occultation avec sa durée mathématique, connaître, d'après l'excès plus ou moins grand de celle-ci sur l'autre, la valeur de la réfraction horizontale de l'atmosphère proposée, bien plus exactement que par aucune observation directe. Le degré de précision que comporte cette détermination compliquée, et qui est évidemment mesuré par le temps plus ou moins long que l'occultation doit durer, est très inégal suivant les différens astres. C'est ainsi que, pour la lune, qui offre, il est vrai, le cas le plus favorable, on a pu garantir que la réfraction horizontale, dont la valeur est, sur notre terre, de treize à quatre minutes, ne s'élève pas à une seule seconde,

d'après les mesures de M. Schroëter, et que, par conséquent, il n'y existe aucune atmosphère appréciable, ce qui a été confirmé plus tard par M. Arago, d'après un tout autre genre d'observations, relatif à la polarisation de la lumière que réfléchissent sous certaines incidences les surfaces liquides, et d'où il est résulté qu'il n'y a point, à la surface de la lune, de grandes masses liquides, susceptibles de former une atmosphère. Parmi tous les autres cas, le mieux connu est celui de Vénus, où M. Schroëter a constaté une réfraction horizontale de trente minutes vingt-quatre secondes.

Quant à l'étendue des atmosphères, il est clair qu'elle est appréciable, jusqu'à un certain point, en examinant, soit d'après le procédé précédent, soit à l'aide d'une observation directe, à quelle distance de la planète peut cesser l'action réfringente. Mais, comme la réfraction décroît graduellement à mesure qu'on s'éloigne de l'astre, elle finit par devenir assez faible pour ne plus exercer aucune influence bien sensible, quoique les limites de l'atmosphère soient peut-être encore très reculées. Le résultat le plus singulier, à cet égard, est celui des planètes télescopiques, en exceptant Vesta, dont les atmosphères sont vraiment monstrueuses; la hauteur de l'atmosphère

de Pallas surtout excède, suivant M. Schroëter, douze fois le rayon de la planète. Le cas normal, dans l'ensemble du système solaire, semble être cependant, comme pour la terre, une très petite étendue atmosphérique comparativement aux dimensions de l'astre, quoique l'extrême incertitude de ce genre d'exploration ne permette encore de rien affirmer bien positivement à ce sujet.

Pour compléter l'examen des phénomènes statiques étudiés en géométrie céleste, il me reste enfin à considérer la question fondamentale de la figure et de la grandeur de la terre, qui a dû ci-dessus être soigneusement réservée, à cause de sa nature toute spéciale.

Si l'inspection immédiate a dû suffire pour connaître, d'après leurs distances, les dimensions et la forme de tous les astres de notre monde, il est évident que cela ne pouvait être à l'égard de la planète que nous habitons. L'impossibilité absolue où nous sommes de nous en écarter assez pour en apercevoir l'ensemble d'un seul coup d'œil ne nous a permis de connaître exactement sa véritable figure qu'à l'aide de raisonnemens mathématiques très compliqués, fondés sur une longue suite d'observations indirectes, laborieusement accumulées. Quoiqu'une telle question se rattache

aux plus hautes théories de la mécanique céleste, et malgré même que la première impulsion des plus grands travaux géométriques à cet égard soit réellement due à une conception mécanique, je dois néanmoins me réduire ici, autant que possible, à considérer ce sujet sous le point de vue purement géométrique, devant l'envisager plus tard sous le rapport mécanique.

A la naissance de l'astronomie mathématique, les variations que présente dans les différens lieux le spectacle général du mouvement diurne ont d'abord fourni la preuve géométrique de la figure sphérique de la terre. Il a suffi, pour s'en convaincre, de constater que le changement éprouvé par la hauteur du pôle sur chaque horizon était toujours exactement proportionnel à la longueur du chemin parcouru suivant un même méridien quelconque, ce qui est un caractère évident et exclusif de la sphère. Or, cette comparaison primitive, sans cesse développée et perfectionnée pendant vingt siècles, est la véritable et unique source de toutes nos connaissances géométriques sur la forme et la grandeur de notre planète. L'explication en sera simplifiée si, sans nous occuper d'abord de la figure, et continuant à la supposer parfaitement sphérique, nous cherchons à déterminer la grandeur, comme l'ont réellement

fait les astronomes; car la connaissance de la forme n'a pu être perfectionnée que par la comparaison des mesures effectuées en des lieux différens. Dans ce cas, comme dans tout autre, la figure d'un corps n'est appréciable qu'en comparant ses dimensions en divers sens: il n'y a ici de particulier que la difficulté de les mesurer.

Le principe fondamental de cette importante détermination a été établi, dès les premiers temps de l'école d'Alexandrie, par Ératosthène. Il consiste, sous sa forme la plus simple et la plus ordinaire, à mesurer la longueur effective d'une portion plus ou moins grande d'un méridien quelconque, pour en conclure celle de la circonférence entière, et par suite du rayon, d'après les hauteurs comparatives du pôle observées aux deux extrémités de l'arc. On pourrait choisir, sans doute, au lieu d'un méridien, un grand cercle quelconque, et même un petit cercle; mais l'opération deviendrait plus compliquée et plus incertaine, sans procurer d'ailleurs aucune facilité réelle.

Quelque reculée que soit l'origine de cette idée générale, elle n'a pu être, en réalité, convenablement appliquée que dans la célèbre opération conçue et exécutée par Picard, vers le milieu de

l'avant-dernier siècle, pour mesurer le degré entre Paris et Amiens; soit que, jusque alors, la hauteur du pôle ne pût pas être connue d'une manière suffisamment exacte; soit, surtout, qu'on n'eût point imaginé de déterminer la longueur de l'arc par des procédés purement trigonométriques. Tel est le vrai point de départ des grands travaux géodésiques exécutés depuis, et qui ont très peu changé la valeur moyenne du rayon terrestre que Picard avait obtenue.

Malgré le penchant naturel à regarder la terre comme une sphère parfaite, le simple désir de perfectionner cette mesure fondamentale, en donnant à l'arc plus d'étendue, aurait sans doute inévitablement conduit à découvrir la vraie figure, par la seule inégalité des degrés les plus opposés. Mais cette importante connaissance eût été certainement très retardée, puisque le premier prolongement, inexactement opéré par Jacques Cassini et La Hire, et d'ailleurs trop peu considérable, avait d'abord donné, comme on sait, une figure inverse de la véritable. Cette réflexion doit faire sentir, quoique ce ne soit pas ici le moment de l'expliquer davantage, combien a été nécessaire, pour hâter cette découverte, la grande impulsion donnée par Newton, qui, d'après la seule théorie de la gravitation, et sans aucun autre fait que le

simple raccourcissement du pendule à secondes à Cayenne, eut l'heureuse hardiesse de décider que notre globe devait être nécessairement aplati à ses pôles et renflé à son équateur, dans le rapport de 229 à 230.

Ce trait de génie devint l'origine de la controverse, prolongée pendant plus d'un demi-siècle, entre les géomètres proprement dits, pour lesquels la théorie newtonienne avait une pleine évidence, et les astronomes, qui ne croyaient point devoir prononcer contrairement à des mesures directes. Rien n'a plus excité qu'un tel débat à entreprendre les mémorables opérations qui, faisant cesser cette sorte d'anarchie scientifique, ont mis enfin les observations en harmonie avec les principes, et déterminé exactement la forme réelle de notre planète.

Si la terre était rigoureusement sphérique, les degrés du méridien seraient parfaitement égaux, à quelque latitude qu'ils fussent mesurés: ainsi, le seul fait de leur inégalité constate directement le défaut de sphéricité. D'une autre part, si la terre est aplatie dans un sens quelconque, il est clair qu'il faudra parcourir un arc plus étendu pour que le pôle s'élève sur l'horizon d'un degré de plus, à mesure que la courbure deviendra moindre. Toute la question se réduit donc essen-