

Mais il existe un autre moyen plus précis, à l'aide duquel l'absence d'atmosphère autour de la lune a été complètement mise hors de doute. Voici en quoi il consiste. Lorsque la lune, en vertu de son mouvement propre sur la sphère céleste, vient à passer devant une étoile, on peut observer avec une grande exactitude l'instant précis de la disparition de l'étoile, et aussi l'instant précis de sa réapparition; on en conclut la durée de l'occultation de l'étoile. D'un autre côté, d'après la connaissance que l'on a des lois du mouvement de la lune, et de son diamètre, on peut parfaitement déterminer, par le calcul, quelle est la corde du disque lunaire dont les divers points sont venus se placer dans la direction même de l'étoile, et, en comparant la longueur de la corde ainsi obtenue avec la vitesse que possède la lune sur la sphère céleste au moment de l'occultation, on peut en déduire le temps que la lune a dû employer à s'avancer dans le ciel d'une quantité égale à cette corde. Or, on trouve toujours que ce temps est égal à la durée de l'occultation, telle que l'observation l'a fournie; ou du moins la différence qui existe entre ces deux temps est toujours assez faible pour qu'on puisse la regarder comme résultant uniquement des

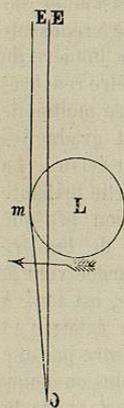


FIG. 269.

erreurs d'observation. Pour peu qu'on y réfléchisse, on verra que le temps employé par la lune à marcher sur la sphère céleste d'une quantité égale à la corde de son disque qui passe devant l'étoile, doit en effet être la durée exacte de l'occultation, en supposant que les rayons de lumière venus de l'étoile n'éprouvent aucune déviation dans leur passage près de la surface de la lune. Mais, si ces rayons de lumière sont tant soit peu dérangés de leur route par le voisinage de la lune, il doit en être tout autrement. Or, c'est ce qui arriverait précisément, si la lune était entourée d'une atmosphère. Au lieu que l'occultation commence à l'instant précis où la lune vient toucher le rayon qui va de l'étoile E (*fig.* 269) à l'œil O de l'observateur, l'étoile resterait visible encore quelque temps après, parce que les rayons, tels que Em, seraient infléchis par l'atmosphère lunaire, de manière à pouvoir encore arriver à l'œil, malgré l'interposition réelle du corps de la lune entre l'œil et l'étoile; par la même raison l'étoile commencerait à reparaitre du côté opposé au disque lunaire, quelque temps avant que cette interposition de la lune ait complètement cessé: la durée de l'occultation serait donc nécessairement diminuée par la réfraction

des rayons lumineux dans l'atmosphère de la lune. L'égalité entre les valeurs que l'on trouve pour la durée de l'occultation, par le calcul fondé sur les lois du mouvement de la lune, d'une part, et par l'observation directe du phénomène, d'une autre part, prouve donc que les rayons lumineux qui nous viennent de l'étoile, en touchant la surface de la lune, n'y éprouvent aucune déviation appréciable. On a pu reconnaître par là que l'atmosphère de la lune, s'il en existe une, est nécessairement moins dense, à la surface même de l'astre, que l'air qui reste dans le récipient de nos meilleures machines pneumatiques, lorsqu'on y fait le vide autant que possible. Cela revient tout à fait à dire que la lune n'a pas d'atmosphère.

Une conséquence immédiate de cette absence d'atmosphère autour de la lune, c'est que cet astre ne peut pas être habité par des êtres animés, ou au moins par des êtres analogues à ceux qui existent sur la terre.

Une autre conséquence importante au point de vue de la constitution physique de la lune, c'est qu'il ne peut pas y avoir d'eau à sa surface; car, s'il y en avait, cette eau produirait des vapeurs, qui constitueraient immédiatement une atmosphère. C'est donc à tort que Hévélius a donné le nom de mers aux régions de la surface lunaire qui nous apparaissent sous forme de taches grisâtres.

La surface de la lune doit présenter partout une nature morte, sans végétation aucune. La température y est probablement très-basse. En raison de l'absence d'eau et d'atmosphère, la configuration extérieure du globe lunaire a dû se conserver telle qu'elle était au moment où ce globe s'est solidifié. C'est ce qui explique pourquoi on y voit un si grand nombre de cirques, tandis qu'ils sont rares sur la terre, où les eaux et les agents atmosphériques, en dégradant continuellement les aspérités du sol, ont produit des dépôts sédimentaires qui recouvrent et masquent presque complètement la surface primitive du globe.

§ 226. **Mouvement de la lune dans l'espace.** — Jusqu'ici, nous avons étudié le mouvement de la lune, tel que nous l'apercevons de la terre, et nous n'avons pas tenu compte de ce que la terre elle-même se meut autour du soleil. Il est bien évident que le mouvement que nous avons trouvé pour la lune est tout différent de celui que nous lui verrions prendre, si, au lieu de l'observer de la surface de la terre, nous étions immobiles en un lieu quelconque de l'espace, au centre du soleil, par exemple. Le mouvement de la lune autour de la terre, dont nous avons indiqué précédemment les principales circonstances, n'est qu'un mouvement relatif. Pen-

dant que la lune tourne ainsi autour de la terre, celle-ci l'emporte dans son mouvement annuel autour du soleil. On peut se faire une idée assez nette de l'existence simultanée de ces deux mouvements, en comparant la lune et la terre à deux personnes qui valsent en-

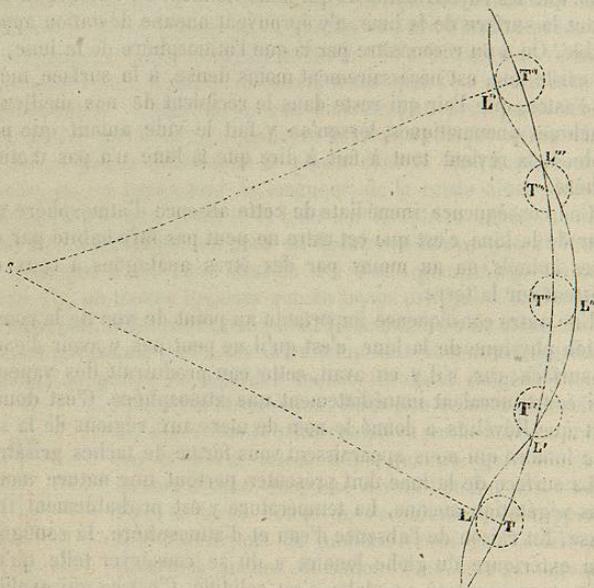


Fig. 270.

semble, et qui tournent l'une autour de l'autre, pendant qu'elles se déplacent en faisant le tour d'un salon.

Le mouvement réel de la lune dans l'espace résulte de la combinaison des deux mouvements dont il s'agit. En étudiant attentivement les diverses circonstances que doit présenter ce mouvement absolu de la lune, on reconnaît qu'elle décrit dans l'espace une ligne sinueuse telle que $LL'L'L''L''''$ (fig. 270), pendant que la terre parcourt son orbite elliptique $TT'T''T''''$ autour du soleil S. On voit en effet que, la lune étant en L lorsque la terre est en T, en L' lorsque la terre est en T', et ainsi de suite, un observateur placé sur la terre doit apercevoir cet astre successivement dans les mêmes directions que si, la terre étant immobile, la lune tournait autour d'elle. L'intervalle de temps compris entre les deux retours successifs de la lune à des positions telles que L et L', dans les-

quelles elle se trouve dans la direction même du soleil, forme ce que nous avons appelé une lunaison (§ 213); et comme la durée d'une lunaison est contenue un peu plus de douze fois dans une année, il s'ensuit que la courbe sinueuse décrite par la lune dans l'espace présente, le long de l'orbite $TT'T''...$ de la terre, un peu plus de douze sinuosités complètes telles que $LL'L'L''L''''$. Les diverses parties de ces sinuosités sont d'ailleurs beaucoup plus rapprochées de l'orbite de la terre que ne l'indique la figure, puisque la distance $LT, L'T', L''T'',...$ de la lune à la terre, n'est guère que la 400^e partie de la distance ST de la terre au soleil (§ 204). C'est pour rendre la forme de cette ligne sinueuse plus sensible, qu'on l'a construite ici en exagérant la distance de la lune à la terre relativement à celle de la terre au soleil.

§ 227. **Périodes astronomiques déduites des mouvements du soleil et de la lune.** — La comparaison de certains nombres relatifs aux mouvements du soleil et de la lune, a conduit les astronomes à la découverte de quelques périodes qui ont joué un grand rôle dans l'histoire de l'astronomie, et qui sont encore de quelque utilité de nos jours. Nous allons faire connaître les plus importantes.

Si les nœuds de l'orbite de la lune n'étaient pas animés du mouvement rétrograde dont nous avons parlé (§ 210), l'intervalle de temps compris entre deux coïncidences successives du soleil avec l'un de ces nœuds serait précisément l'année sidérale (§ 189). Mais, en vertu du mouvement rétrograde des nœuds, cet intervalle de temps est plus court; sa valeur est de 346j,619; c'est ce qu'on nomme la *révolution synodique des nœuds de la lune*. En prenant 19 fois cette durée, on trouve 6585j,76. D'un autre côté, d'après la durée que nous avons assignée à une lunaison (§ 213), on trouve que 223 lunaisons font 6585j,32. Ainsi 19 révolutions synodiques des nœuds de la lune font à très-peu près 223 lunaisons. Cette période, qui comprend environ 18 ans 11 jours, a beaucoup servi et sert encore à la prédiction des éclipses, comme nous le verrons bientôt. Elle était connue des Chaldéens sous le nom de *saros*.

On trouve facilement que 235 lunaisons font 6939j,69; et que 19 années tropiques (§ 189) font 6939j,60. Il en résulte que 19 années tropiques font à peu près 235 lunaisons. Au moyen de cette période, nommée *cycle lunaire* ou *cycle de Méthon* (du nom de son inventeur), il suffisait d'avoir observé et noté les dates des pleines lunes et des nouvelles lunes pendant 19 ans, pour pouvoir les prédire ensuite indéfiniment; car il est clair que, si l'on considère des périodes successives de 19 années, dans chacune d'elles ces dates doivent se reproduire exactement de la même manière que dans les autres.

Une première période de 19 ans ayant été prise arbitrairement, toutes les années qui l'ont suivie ont été réparties en périodes de même durée, qui se sont succédé sans interruption; les diverses années d'une même période ont d'ailleurs été distinguées les unes des autres par des numéros d'ordre, depuis 1 jusqu'à 19. Le numéro que porte une année quelconque, dans une des périodes dont il s'agit, est ce qu'on nomme le *nombre d'or*; cette dénomination vient de ce que les Grecs, qui attachaient une grande importance au cycle de Méthon pour la fixation de leurs fêtes, avaient décidé que la découverte de cet astronome serait inscrite en lettres d'or sur leurs monuments publics. En 1875, le nombre d'or est 14; cela veut dire que l'année 1875 est la 14^e d'une de ces périodes de 19 ans dont nous venons de parler.

Une année commune de 365 jours renferme 52 semaines et un jour. Il en résulte que, d'une année à l'autre, les jours de même date n'occupent pas la même place dans la semaine dont ils font partie. Ainsi le 1^{er} janvier 1850 étant un mardi, le 1^{er} janvier 1851 a été un mercredi, et le 1^{er} janvier 1852 un jeudi. Si toutes les années étaient de 365 jours, il arriverait qu'au bout de 7 ans les jours de même date reprendraient chacun dans la semaine la même place qu'au commencement. L'intercalation des années bissextiles, vient troubler ce résultat, et c'est tantôt au bout de 6 ans, tantôt au bout de 5 ans que cela arrive, suivant que, dans cet intervalle de temps, il y a une ou deux années bissextiles. Mais, en prenant un intervalle de 28 ans, qui, dans le calendrier Julien, renferme toujours 7 années bissextiles, et qui par conséquent se compose dans son ensemble d'un nombre exact de semaines, on est sûr qu'au bout de ce temps et pendant une nouvelle période de même durée, les divers jours des semaines successives arriveront tous aux mêmes dates que pendant les 28 premières années. Cette période de 28 ans se nomme *cycle solaire*. Les années sont également réparties en groupes de 28; et, dans chacun de ces groupes, elles portent des numéros d'ordre de 1 à 28. Ainsi, dans les calendriers pour 1875, on trouve l'indication suivante : cycle solaire, 8. Cela signifie que l'année 1875 est la 8^e d'un de ces groupes de 28 ans. L'usage du cycle solaire se trouve un peu modifié lorsqu'on suit le calendrier Grégorien chaque fois qu'on passe par une année séculaire qui n'est pas bissextile.

Le cycle des *indictions romaines* est une période de 15 ans, qui a été adoptée du temps des empereurs romains, et qui n'est liée à aucun phénomène astronomique. Chaque année porte un numéro relatif à ce cycle, comme pour chacun des deux précédents. Ainsi, en 1875, l'indiction romaine est 3.

Les trois nombres 19, 28, 15, qui représentent les durées des périodes relatives au cycle lunaire, au cycle solaire et au cycle des indictions romaines, sont premiers entre eux deux à deux. Il en résulte que, dans l'espace de 7980 années consécutives (7980 est égal à $19 \times 28 \times 15$), il n'y a pas deux années qui aient le même nombre d'or, le même cycle solaire et la même indiction romaine. En sorte que, dans un pareil intervalle de temps de 7980 ans, la connaissance des trois numéros que porte une année quelconque, relativement aux trois cycles dont il est question, suffit pour distinguer cette année de toutes les autres. Cette considération a conduit à adopter une nouvelle période, comprenant 7980 ans, à laquelle on donne le nom de *période julienne*. On a pris pour la première année de cette immense période, celle qui porte le numéro 1 dans chacun des trois cycles composants, et l'on a trouvé que cette première année de la période julienne qui comprend l'époque actuelle est l'année 4713 avant J.-C. La même période, commençant à cette époque réculée, ne se terminera qu'en l'an 3267; elle s'étend donc à tous les temps historiques et se prolongera encore longtemps dans l'avenir : en sorte que, pour l'indication des dates dont nous pouvons avoir à nous occuper, il est entièrement inutile de considérer les périodes qui l'ont précédée ou qui la suivront. La première année de cette période julienne forme ainsi une ère particulière, à laquelle on rapporte toutes les autres pour les comparer. L'année 1875 est la 6588^e à partir de cette ère. D'après la manière dont la première année de la période a été choisie, si l'on divise le nombre 6588 successivement par chacun des nombres 19, 28, 15, on doit trouver pour le reste de ces trois divisions les nombres 14, 83, qui sont le nombre d'or, le cycle solaire et l'indiction romaine relatifs à l'année 1875 : c'est ce qui a lieu en effet, comme on peut le vérifier.

ÉCLIPSES ET OCCULTATIONS.

§ 228. Il arrive de temps en temps que le disque du soleil perd pendant quelques heures la forme circulaire que nous lui connaissons. Ce disque s'échancre d'un côté; l'échancrure augmente progressivement d'étendue; puis bientôt elle diminue peu à peu, et finit par s'anéantir, en laissant le disque de l'astre tel qu'il était avant le commencement de ce singulier phénomène. Quelquefois l'échancrure du disque s'étend à un tel point qu'elle finit par le couvrir complètement, et que le soleil disparaît pendant quelques minutes;

au bout de ce temps, l'astre reparait en passant successivement, et en sens inverse, par les diverses phases qu'il avait présentées avant sa disparition.

La lune éprouve aussi de temps à autre des modifications analogues dans la forme de son disque, modifications qui, tout en ayant une certaine ressemblance avec les phases de cet astre (§ 202), ne doivent pas être confondues avec elles, tant à cause de leur durée, qu'il n'est jamais que d'une fraction de jour, qu'en raison de leur grandeur et de l'irrégularité des intervalles de temps compris entre les époques auxquelles on les observe.

Ces phénomènes remarquables, qui ont été pendant longtemps une cause de frayeur pour les hommes, et qui maintenant ne font plus qu'exciter la curiosité, sont ce qu'on nomme des *éclipses*. Les éclipses de soleil arrivent toujours au moment de la nouvelle lune et les éclipses de lune au moment de la pleine lune. Cette circonstance a depuis longtemps fait connaître la cause à laquelle on devait les attribuer. Au moment de la nouvelle lune, la lune, passant entre la terre et le soleil, peut dérober à nos regards une portion plus ou moins grande de cet astre : c'est ce qui produit les éclipses de soleil. Au moment de la pleine lune, la terre se trouve entre le soleil et la lune; elle peut donc empêcher les rayons solaires d'arriver sur la surface de ce dernier astre, qui cessera dès lors de présenter l'aspect brillant sous lequel on le voyait quelque temps auparavant, et il en résultera une éclipse de lune.

Si la lune, dans son mouvement autour de la terre, restait toujours dans le plan de l'écliptique, il est clair qu'il y aurait une éclipse de soleil à chaque nouvelle lune, et une éclipse de lune à chaque pleine lune. Nous savons qu'il n'en est pas ainsi : les éclipses sont beaucoup plus rares qu'elles ne le seraient dans ce cas. Cela tient à ce que la lune se meut dans une orbite inclinée par rapport au plan de l'écliptique; elle se trouve tantôt d'un côté de ce plan, tantôt de l'autre côté, et à une distance qui varie d'un instant à un autre : en sorte que, au moment des syzygies, elle passe ordinairement assez loin de la ligne qui joint le centre du soleil au centre de la terre, pour qu'il n'y ait pas d'éclipse. Il ne peut y avoir d'éclipse qu'autant qu'au moment de la nouvelle lune ou de la pleine lune, le centre de la terre se trouve dans le plan de l'écliptique ou suffisamment près de ce plan. C'est de là que vient le nom d'*écliptique* donné au plan de l'orbite apparente du soleil autour de la terre.

Nous allons entrer dans quelques développements relativement aux circonstances que présentent les éclipses de soleil et de lune, et aux moyens que l'on emploie pour en prédire le retour. Nous

commencerons par les éclipses de lune, qui sont de beaucoup les plus simples.

§ 229. **Éclipses de lune.** — Nous venons de dire que les éclipses de lune sont dues à ce que la terre, en s'interposant entre le soleil et la lune, empêche les rayons solaires d'arriver sur la surface de ce dernier astre. Cherchons à reconnaître s'il est possible qu'il en soit ainsi.

Le soleil envoie des rayons de lumière dans toutes les directions. Ceux de ces rayons qui sont dirigés vers la terre sont arrêtés par la présence de ce corps opaque; et il en résulte que, au delà de la terre, une portion de l'espace se trouve dans l'ombre. Imaginons un cône AOA' (fig. 271), qui enveloppe complètement le soleil S

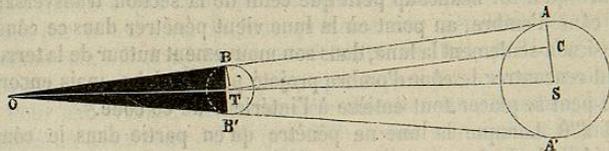


FIG. 271.

et la terre T, en touchant leurs surfaces sur tout son contour. Il est aisé de voir qu'aucun rayon solaire, en supposant qu'il conserve constamment sa direction rectiligne, ne pourra pénétrer dans la portion de ce cône qui est comprise entre son sommet et la terre; tandis que, si l'on prend un autre point quelconque de l'espace, on verra qu'il peut toujours y arriver des rayons provenant sinon de la totalité, au moins d'une partie de l'hémisphère solaire qui est tourné vers ce point. C'est donc la partie BOB' du cône qui constitue l'ombre produite par la terre du côté opposé au soleil.

Pour que la lune puisse s'éclipser, il faut qu'elle puisse pénétrer dans le cône d'ombre. Voyons donc quelle est la longueur de ce cône. Si, par le point T, nous menons la ligne TC parallèle à OA, nous aurons deux triangles semblables OBT, TCS, qui nous donneront la proportion :

$$\frac{OT}{TB} = \frac{TS}{SC}$$

Si nous prenons le rayon de la terre TB pour unité, SC, qui est la différence entre le rayon du soleil et le rayon de la terre, sera égal à $107\frac{1}{2}$ (§ 152); d'ailleurs la distance TS du soleil à la terre est en moyenne égale à 23 280 : on en conclut que la distance OT du sommet du cône d'ombre au centre de la terre est égale à 246

rayons terrestres. Ce résultat nous montre que la lune peut pénétrer dans le cône d'ombre de la terre, puisque la distance qui existe entre son centre et celui de la terre est seulement de 60 rayons terrestres. On peut même ajouter que la lune, en pénétrant dans le cône d'ombre, peut y être contenue en totalité. Car, si l'on considère la section transversale du cône, au milieu de la distance OT, c'est-à-dire à une distance du point T égale à 108 rayons terrestres, le diamètre de cette section est égal à la moitié du diamètre de la terre; le diamètre de la section faite à une distance du point T égale à 60 rayons terrestres seulement, est donc plus grand que la moitié du diamètre de la terre: or, on sait que le diamètre de la lune n'est guère que le quart de celui de la terre, c'est-à-dire qu'il est beaucoup petit que celui de la section transversale du cône d'ombre, au point où la lune vient pénétrer dans ce cône. Ainsi, non-seulement la lune, dans son mouvement autour de la terre, peut rencontrer le cône d'ombre projeté par ce globe, mais encore elle peut se placer tout entière à l'intérieur de ce cône.

§ 230. Lorsque la lune ne pénètre qu'en partie dans le cône d'ombre de la terre, on dit que l'éclipse est *partielle*; lorsqu'elle pénètre complètement à l'intérieur du cône, l'éclipse est *totale*.

Si l'on se représente la lune marchant d'un mouvement sensiblement uniforme et suivant une direction à peu près perpendiculaire à celle de l'axe du cône d'ombre, on se fera tout de suite une idée des circonstances principales que devra présenter une éclipse de lune, depuis le moment où elle commence jusqu'à celui

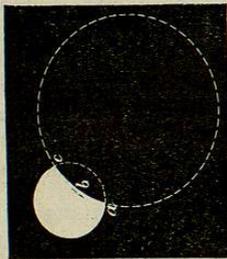


Fig. 272.

où elle finit. Dans le cas d'une éclipse partielle, l'ombre de la terre s'étend de plus en plus sur la surface de la lune, jusqu'à l'instant où le centre de l'astre se trouve au point de son orbite le plus rapproché de l'axe du cône; à partir de là, l'ombre abandonne la lune peu à peu, puis finit par disparaître complètement. La figure 272 peut donner une idée de l'échancrure que présente le disque de la lune, lorsque l'ombre de la terre se projette ainsi sur une portion de sa surface. Le bord *abc* de cette échancrure est une partie du contour de la section transversale faite dans le cône d'ombre à l'endroit où se trouve la lune; la forme arrondie de ce bord, qu'il est impossible de ne pas remarquer lorsqu'on observe une éclipse, manifeste

d'une manière évidente la rondeur de la surface de la terre, rondeur que nous avons constatée tout d'abord au moyen d'observations simples faites à la surface même du globe (§§ 50 et 51).

Dans le cas d'une éclipse totale, la lune pénètre d'abord peu à peu dans le cône d'ombre; son disque présente une échancrure de plus en plus prononcée, jusqu'au moment où il est entièrement couvert par l'ombre de la terre. La lune reste dans cet état pendant un certain temps, puis elle en sort en repassant successivement par les diverses apparences qu'elle avait présentées précédemment, mais en sens inverse.

§ 231. L'échancrure du disque de la lune, au moment où cet astre n'est que partiellement éclipsé, est loin d'être aussi nette et aussi tranchée que la figure 272 semble l'indiquer. L'ombre projetée par la terre sur la lune présente une pénombre (§ 119), comme cela a lieu nécessairement toutes les fois qu'il s'agit de l'ombre produite par un corps opaque exposé aux rayons du soleil.

Pour nous rendre compte de l'étendue de cette pénombre, imaginons un autre cône AO'A' (fig. 273), ayant son sommet O' entre le soleil et la terre, et enveloppant le soleil S et la terre T dans

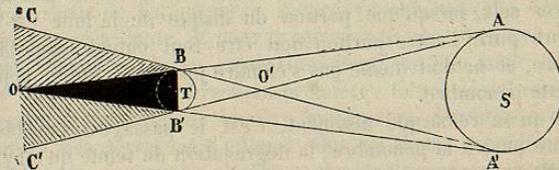


Fig. 273.

ses deux nappes opposées AO'A', BO'B', qui touchent les surfaces de ces deux corps par tout leur contour. Il est aisé de voir que tout point situé à l'intérieur de l'espace CBB'C', et en dehors de l'ombre BO'B', doit recevoir des rayons de lumière venant d'une portion seulement de l'hémisphère du soleil tourné de son côté; d'un pareil point on ne doit apercevoir qu'une partie du disque du soleil, l'autre partie étant masquée par la terre, qui se trouve interposée entre ce point et le soleil. On reconnaîtra de plus très-facilement que la portion du soleil qui envoie des rayons de lumière au point dont il s'agit, est d'autant plus grande que ce point est plus rapproché de la surface extérieure de l'espace CBB'C', et d'autant plus petite, au contraire, qu'il est plus rapproché de la surface de l'ombre pure BO'B'. En sorte que, pendant que la lune

s'avance de manière à pénétrer dans le cône d'ombre de la terre, une portion quelconque de sa surface doit commencer à perdre de son éclat au moment où elle entre dans le cône $CBB'C'$; la lumière doit aller ensuite en diminuant progressivement, à mesure que cette portion de surface s'avance vers l'ombre pure, pour disparaître tout à fait à l'instant où elle franchit la limite extérieure de cette ombre pure.

Les diverses parties du disque de la lune occupant, à un instant donné, des dispositions différentes à l'intérieur de cet espace qui correspond à la pénombre, il doit y avoir une dégradation insensible de lumière, depuis les points qui sont éclairés par toute la surface du soleil, jusqu'à ceux qui n'en reçoivent aucun rayon lumineux. Mais il est aisé de voir que le diamètre du disque de la lune n'est pas assez grand pour qu'on puisse bien y distinguer la pénombre dans toute son étendue. La largeur angulaire de la pénombre est précisément l'angle CBO ; or, cet angle est égal à l'angle ABA' , qui n'est autre chose que le diamètre apparent du soleil vu de la terre : et comme le diamètre apparent de la lune est à peu près le même que celui du soleil, il en résulte que la lune peut occuper à peu près toute la largeur de la pénombre. D'après cela, lorsqu'une portion du disque de la lune est dans l'ombre pure, l'autre portion doit être tout entière dans la pénombre, et ne doit même pas s'étendre jusqu'à la limite opposée de cette pénombre.

Ce qu'on remarque aisément, c'est le passage insensible de l'ombre pure à la pénombre; la dégradation de teinte qu'on y voit est tellement prononcée, qu'il est impossible d'indiquer avec précision l'instant où un point remarquable de la lune quitte la pénombre pour entrer dans l'ombre pure, ou inversement.

§ 232. Outre les circonstances que nous venons d'indiquer, et qui résultent de la manière dont une partie des rayons solaires est arrêtée par l'interposition du globe terrestre entre le soleil et la lune, il y en a encore d'autres qui sont dues à la présence de l'atmosphère de la terre, et que nous allons faire connaître.

Pour que les choses arrivent exactement comme nous l'avons dit jusqu'à présent, il faut que les rayons solaires, en passant près de la terre, conservent la direction rectiligne qu'ils avaient au moment où ils sont partis du soleil. Mais on sait qu'il n'en est pas ainsi pour les rayons lumineux qui traversent l'atmosphère de la terre; ces rayons changent de direction chaque fois qu'ils passent d'une couche d'air dans une autre couche d'une densité différente : lorsque, après avoir pénétré dans l'atmosphère d'un côté, ils en

sortent d'un autre côté sans avoir rencontré la surface de la terre, ils doivent avoir éprouvé dans l'intervalle un changement notable de direction. Considérons en particulier un rayon, tel que SA , (*fig.* 274), qui traverse l'atmosphère terrestre en passant tout près

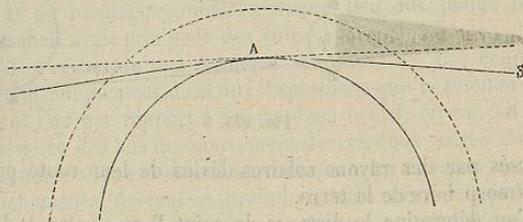


FIG. 274.

de la surface du sol. La direction de ce rayon au point A , où il est devenu pour ainsi dire tangent à cette surface, n'est pas la même que la direction qu'il avait avant de pénétrer dans l'atmosphère; la déviation qu'il a éprouvée jusqu'au point A est de plus de $33'$ (§ 55), dans les circonstances ordinaires. Depuis le point A , jusqu'à sa sortie de l'atmosphère, il éprouve une nouvelle déviation égale à la précédente, et dans le même sens; en sorte que la direction définitive de ce rayon lumineux, fait un angle de plus d'un degré avec sa direction première. Cette déviation totale qu'éprouve un rayon de lumière qui traverse l'atmosphère, sans s'arrêter à la terre, est d'ailleurs plus ou moins grande suivant que ce rayon s'approche plus ou moins de la surface du sol; elle présente tous les états de grandeur, depuis la déviation de plus d'un degré relative au rayon qui pénètre dans les couches les plus basses de l'atmosphère, jusqu'à une déviation nulle correspondant au rayon qui touche la couche extérieure de l'atmosphère sans y pénétrer.

On comprend, d'après cela, que le cône d'ombre, dont nous avons parlé précédemment, ne doit pas être privé de rayons solaires dans toute son étendue. Les rayons qui traversent l'atmosphère terrestre y éprouvent une déviation qui les rapproche de l'axe de ce cône. Si l'on considère ceux de ces rayons qui, dirigés d'abord suivant les génératrices du cône $ABA'B'$ (*fig.* 275), pénètrent jusque dans les couches inférieures de l'atmosphère, et continuent leur route après avoir passé tout près de la surface de la terre, on verra qu'ils viennent converger en un point D beaucoup plus rapproché de la terre que le point O . Le cône BDB' , formé par ces

rayons, divise le cône d'ombre BOB', en deux régions : l'une, intérieure au cône BDB', dans laquelle il n'arrive aucun rayon solaire; l'autre, extérieure à ce cône BDB' dont tous les points sont

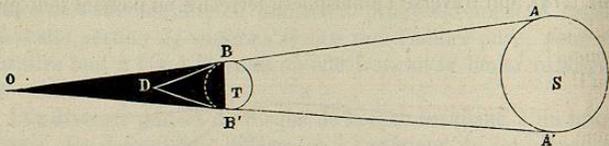


FIG. 275.

traversés par des rayons solaires déviés de leur route primitive par l'atmosphère de la terre.

Si l'on détermine la distance du point D au centre de la terre, on trouve que cette distance est en moyenne de 42 rayons terrestres. On voit donc que la lune ne peut jamais pénétrer dans l'espace BDB', qui est complètement privé de lumière; au moment d'une éclipse totale, la lune est tout entière contenue dans la portion du cône d'ombre BOB' où pénétrant les rayons réfractés par l'atmosphère de la terre. Aussi arrive-t-il que, dans une pareille éclipse, la lune ne perd pas complètement sa lumière; elle est encore faiblement éclairée par les rayons dont nous venons de parler.

On observe que cette faible lumière que la lune conserve dans les éclipses totales présente une teinte rougeâtre très-prononcée. Quelques points brillants, qu'Herschell avait remarqués dans certaines parties de la surface de l'astre, pendant les éclipses, l'avaient même porté à croire qu'il existait sur la lune quelques volcans en activité; mais on ne doit voir, dans tout cela, que l'effet dû à la lumière du soleil, arrivant à la surface de la lune après avoir subi l'influence de l'air atmosphérique. L'air arrête une portion de la lumière qui le traverse, et la réfléchit dans toutes les directions, ce qui donne lieu à la lumière diffuse; mais cette action de l'air ne s'exerce pas également sur les diverses lumières élémentaires qui composent la lumière blanche. Les rayons de l'extrémité violette du spectre solaire sont arrêtés en plus grand nombre que ceux de l'extrémité rouge; c'est ce qui occasionne la couleur bleue du ciel, en raison de la prédominance des rayons de la première espèce dans la lumière diffuse; c'est ce qui produit encore la teinte rougeâtre des nuages éclairés par le soleil, au moment du coucher de cet astre, en raison de ce que la lumière qui leur arrive, ayant traversé une grande épaisseur d'atmosphère, contient une plus grande proportion des rayons de la seconde espèce

que la lumière blanche. On comprend donc que la lumière qui arrive encore à la surface de la lune, pendant les éclipses totales de cet astre, doit avoir une teinte rougeâtre, puisqu'elle ne lui arrive qu'après avoir traversé une grande épaisseur d'air atmosphérique. Cette lumière rouge, fortement réfléchi par quelques sommets de montagnes lunaires, donne lieu aux points brillants qu'Herschell avait pris pour des volcans en activité.

§ 233. **Prédiction des éclipses de lune.** — Les éclipses de lune étant uniquement dues aux dispositions que le soleil et la lune occupent l'un par rapport à l'autre dans le ciel, on conçoit que la connaissance des lois du mouvement de ces deux astres doit permettre, non-seulement de calculer d'avance les époques auxquelles ces phénomènes doivent se produire, mais encore de prédire les diverses circonstances qu'ils doivent présenter. Nous allons donner une idée de la marche qu'on suit pour atteindre ce but.

Les anciens étaient loin de connaître les lois du mouvement du soleil et de la lune aussi bien qu'on les connaît maintenant; mais à l'aide de la période de 18 ans 11 jours dont nous avons parlé (§ 227), ils étaient parvenus à prédire le retour des éclipses de lune, avec un assez grand degré d'exactitude. Nous savons qu'il y aurait éclipse à chaque pleine lune, si la lune ne sortait pas du plan de l'écliptique. Ce qui fait que les éclipses de lune sont beaucoup plus rares, c'est que, la lune se trouvant d'un côté ou de l'autre de l'écliptique, au moment où elle est en opposition avec le soleil, elle peut passer au-dessus ou au-dessous du cône d'ombre de la terre, sans y pénétrer; il n'y a éclipse que quand, au moment de l'opposition, la lune est suffisamment rapprochée de l'écliptique, ou bien, ce qui est la même chose, suffisamment rapprochée de l'un des nœuds de son orbite. Si, à deux époques différentes, la lune, en opposition avec le soleil, se trouve placée de la même manière par rapport à ses nœuds, il ne peut pas y avoir une éclipse à l'une de ces deux époques, sans qu'il y en ait une autre, entièrement pareille, à la seconde époque. Or, si, à partir d'une éclipse que l'on a observée, on attend qu'il s'écoule 223 lunaisons, on se retrouvera à une pleine lune pour laquelle la lune occupera, par rapport à ses nœuds, la même place qu'au commencement de cet intervalle de temps; puisque, pendant ce temps, il se sera écoulé 19 révolutions synodiques des nœuds : on devra donc, après les 223 lunaisons, observer encore une éclipse pareille à celle que l'on avait observée précédemment. On conçoit, d'après cela, qu'il suffit d'avoir noté les dates et les phases principales des éclipses de lune qui se sont produites pen-

dant la durée de 223 lunaisons successives pour, pouvoir prédire indéfiniment le retour de ces éclipses.

Si 223 lunaisons faisaient exactement 19 révolutions synodiques des nœuds de la lune, on n'aurait pas besoin d'avoir recours à d'autres moyens pour la prédiction des éclipses de lune. Mais nous savons que l'égalité entre la durée de 223 lunaisons et celle de 19 révolutions synodiques des nœuds n'est qu'approximative. En sorte que, si l'on peut prédire à coup sûr, à l'aide de la période dont il s'agit, qu'une éclipse arrivera à telle époque, on ne peut pas faire connaître avec une bien grande précision l'importance ni la durée de cette éclipse, qui diffère réellement un peu de l'éclipse antérieure avec laquelle elle devrait être identique si la période était exacte. Il peut même arriver qu'une éclipse partielle très-faible ne se reproduise pas du tout au bout de 18 ans 11 jours, et aussi qu'une éclipse partielle se présente 18 ans 11 jours après une époque à laquelle on n'avait pas observé de phénomène de ce genre. Aussi l'emploi de cette période de 18 ans 11 jours, qui constituait le seul moyen employé par les anciens pour la prédiction des éclipses, ne peut-il plus suffire, maintenant que les théories astronomiques permettent d'atteindre une précision incomparablement plus grande. Cette période n'est plus employée que comme un moyen extrêmement simple d'acquérir une première notion de la série des éclipses qui devront arriver, et dont on devra avoir à s'occuper.

Les lois des mouvements des divers astres, telles que la science a pu les établir jusqu'à présent, ont été réduites par les astronomes en *tables*, au moyen desquelles on peut indiquer à l'avance la position qu'un astre doit occuper dans le ciel à une époque quelconque à venir. C'est sur les données fournies par les tables du soleil et de la lune, que l'on se fonde maintenant pour prédire les éclipses de lune. Mais habituellement ces données ne sont pas puisées directement dans les tables mêmes. Le Bureau des longitudes faisant calculer, à l'aide de ces tables, et publiant plusieurs années d'avance, dans la *Connaissance des temps*, toutes les indications relatives aux positions que le soleil et la lune doivent prendre dans le ciel, jour par jour, on profite de ce travail préliminaire; et c'est à ces indications fournies par la *Connaissance des temps* que l'on emprunte tout ce qui est nécessaire à la détermination des diverses circonstances que doivent présenter les éclipses.

§ 234. Pour comprendre comment se fait le calcul d'une éclipse de lune, il faut concevoir que le rayon de la sphère

céleste (§ 59) ait été choisi de manière que sa surface passe par le centre de la lune; cette sphère, dont le centre sera supposé au centre de la terre, coupera la lune suivant un cercle, et le cône d'ombre de la terre suivant un autre cercle: c'est en étudiant les positions que ces deux cercles prennent successivement l'un par rapport à l'autre, qu'on arrive à déterminer toutes les circonstances des éclipses de lune. Le centre du cercle d'ombre est toujours diamétralement opposé au centre du soleil; il est donc situé sur l'écliptique, et s'y déplace progressivement avec une vitesse égale à celle avec laquelle le centre du soleil lui-même parcourt ce grand cercle. Le cercle suivant lequel la surface de la lune est coupée par la sphère céleste se meut, de son côté, de manière que son centre reste toujours sur l'orbite mobile dont nous avons parlé (§ 209). Tant que le cercle d'ombre et le cercle de la lune restent extérieurs l'un à l'autre, il n'y a pas d'éclipse; si ces deux cercles viennent à pénétrer l'un dans l'autre, il y a éclipse; l'éclipse est totale, si le cercle de la lune vient se placer tout entier à l'intérieur du cercle d'ombre.

Pour comparer les positions respectives que ces deux cercles prennent successivement, il est nécessaire de connaître leurs dimensions.

Nous savons déjà que le diamètre apparent de la lune est égal en moyenne à $31' 25''{,}7$; sa valeur, qui varie constamment entre $29' 22''$ et $33' 28''$, est fournie par la *Connaissance des temps*, pour tous les jours de chaque année, à midi et à minuit, et l'on peut, à l'aide de ces indications, la trouver pour une époque quelconque.

Quant au cercle d'ombre, il est facile de voir comment on peut

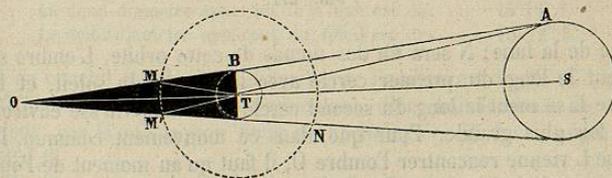


FIG. 276.

en calculer le diamètre apparent. Soit MN (*fig. 276*), la surface de la sphère céleste, que nous supposons passer par le centre de la lune; cette surface coupe le cône d'ombre de la terre suivant le cercle MM', et l'angle MTM' est le diamètre apparent que nous voulons déterminer. La moitié MTO de ce diamètre apparent est égale à l'angle BMT, qui n'est autre chose que la parallaxe de la lune