

(puisque MT est la distance de la lune à la terre), diminué de l'angle MOT; mais l'angle MOT est lui-même égal à l'angle ATS (demi-diamètre apparent du soleil), diminué de l'angle BAT (parallaxe du soleil); donc, pour avoir le demi-diamètre apparent du cercle d'ombre MM', il faut ajouter la parallaxe du soleil à celle de la lune, et en retrancher le demi-diamètre apparent du soleil. On trouve ainsi que ce diamètre apparent du cercle d'ombre varie entre $1^{\circ} 15' 29''$ et $1^{\circ} 31' 40''$: sa valeur, pour une époque quelconque, peut être obtenue à l'aide des valeurs que fournit la *Connaissance des temps*, pour les parallaxes du soleil et de la lune, et pour le diamètre apparent du soleil. Nous ajouterons que, en raison de la pénombre et de la présence de l'atmosphère, l'ombre de la terre paraît avoir un diamètre un peu plus grand que celui qu'on obtient conformément à ce que nous venons de dire. Pour que les prédictions d'éclipses de lune s'accordent avec les observations, Mayer a trouvé qu'il faut augmenter le diamètre de l'ombre d'un soixantième de sa valeur; les astronomes se conforment habituellement à cette règle.

Soient AB (fig. 277) le grand cercle de l'écliptique, et CD l'or-

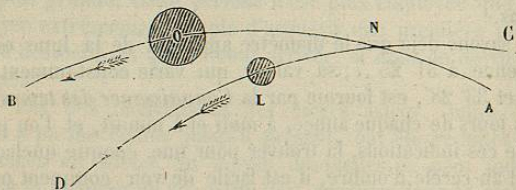


FIG. 277.

bite de la lune; N sera un des nœuds de cette orbite. L'ombre se meut le long du premier cercle avec la vitesse du soleil, et la lune L se meut le long du second cercle avec une vitesse environ 13 fois plus grande. Pour que, dans ce mouvement commun, la lune L vienne rencontrer l'ombre O, il faut qu'au moment de l'opposition de la lune le centre de l'ombre soit suffisamment rapproché du nœud N. En tenant compte de ce que les diamètres apparents de la lune et de l'ombre varient d'une époque à une autre, et remarquant que la distance du centre de l'ombre au nœud N est précisément égale à la distance du centre du soleil à l'autre nœud de la lune, on trouve que : 1^o si, à l'époque d'une pleine lune, la distance du centre du soleil au nœud le plus voisin est plus grande que $12^{\circ} 3'$, il ne peut pas y avoir éclipse; 2^o si, à une pa-

reille époque, la distance du centre du soleil à l'un des nœuds de la lune est plus petite que $9^{\circ} 31'$, il y a certainement éclipse; 3^o enfin, si la distance du soleil à l'un des nœuds est comprise entre $9^{\circ} 31'$ et $12^{\circ} 3'$, l'éclipse est douteuse, et le calcul détaillé des circonstances de cette éclipse montrera si elle a lieu réellement.

§ 235. Voyons maintenant comment on effectue la détermination des diverses circonstances d'une éclipse, comment on calcule d'avance les époques précises auxquelles se produiront ses diverses phases. Ce que nous pouvons faire de mieux, pour cela, c'est de donner un exemple de ce genre de calcul.

Prenons l'éclipse des 13 et 14 novembre 1845. D'après la *Connaissance des temps*, le 13 novembre, à midi moyen (temps de Paris), la longitude du soleil surpasse celle de la lune de $186^{\circ} 20' 7,1$; le lendemain 14, également à midi moyen, la longitude du soleil ne surpasse plus celle de la lune que de $174^{\circ} 45' 8,6$. Dans l'intervalle, il doit y avoir un instant pour lequel la différence des deux longitudes est exactement de 180° ; on trouve facilement que cet instant pour lequel la lune est en opposition, correspond au 14 novembre, à $1^{\text{h}} 4^{\text{m}} 20^{\text{s}},9$ du matin. La *Connaissance des temps* fait voir qu'à cette époque la longitude du soleil surpasse celle d'un des nœuds de la lune d'environ 5 degrés et demi; on est donc certain, d'après ce que nous avons dit, que la lune pénètre dans l'ombre de la terre, c'est-à-dire qu'il y a éclipse.

On trouve, toujours dans la *Connaissance des temps*, que, pour le moment de l'opposition :

La parallaxe de la lune est de.....	55' 39",6
La parallaxe du soleil est de.....	8",7
La demi-diamètre apparent de la lune est de.....	15' 10",1
Le demi-diamètre apparent du soleil est de.....	16' 12",3.

On en conclut que le demi-diamètre de l'ombre est de $39' 36''$, ou $2376''$; en sorte qu'en l'augmentant d'un soixantième de sa valeur, par la raison que nous avons indiquée, il devient égal à $2415'',6$.

On trouve encore, au moyen de la *Connaissance des temps*, que : 1^o le 14 novembre à $0^{\text{h}} 30$ du matin, l'excès de la longitude du soleil sur celle de la lune est de $180^{\circ} 16' 33'',7$, et la latitude de la lune est de $0^{\circ} 25' 57'',6$ A.; 2^o le même jour, à $1^{\text{h}} 30^{\text{m}}$ du matin, l'excès de la longitude du soleil sur celle de la lune est de $179^{\circ} 47' 37'',7$, et la latitude de la lune est de $0^{\circ} 28' 51'',5$ A.

À l'aide de toutes ces données, nous pouvons étudier toutes les

circonstances de l'éclipse de la manière suivante. Considérons la portion de la sphère céleste sur laquelle se trouvent la lune et l'ombre de la terre, pendant toute la durée de l'éclipse, comme étant plane, ce qui peut se faire sans erreur appréciable. Supposons en outre que l'ombre de la terre soit immobile, et que la lune ne se meuve qu'en vertu du mouvement relatif dont elle est ainsi animée par rapport à cette ombre. Nous pouvons représenter l'ombre de la terre par le cercle ABCD (fig. 278), en choisissant

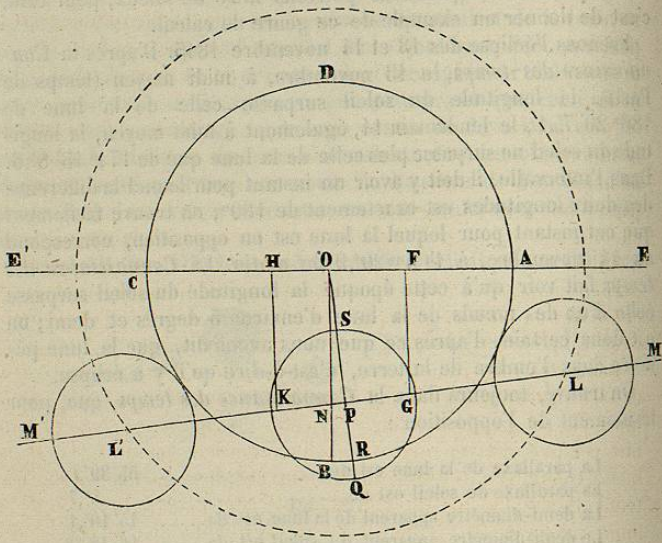


FIG. 273.

le rayon OA de ce cercle de manière qu'il corresponde à la valeur du demi-diamètre de l'ombre (2415",6), d'après l'échelle que nous aurons adoptée pour la construction de la figure. La ligne droite EE', passant par le centre O de ce cercle, représentera une portion de l'écliptique.

A 0^h 30^m du matin, la longitude du soleil surpasse celle de la lune de 180° 16' 33",7; la longitude du centre O de l'ombre surpasse donc la longitude de la lune seulement de 16' 33",7, ou 993",7. Si nous supposons que les longitudes se comptent de droite à gauche sur notre figure, et que nous prenions OF égal à 993",7, d'après l'échelle adoptée, le point F sera le pied du cer-

cle de latitude de la lune, pour le moment dont il s'agit. Élevons en F une perpendiculaire sur l'écliptique EE', puis prenons sur cette perpendiculaire une longueur FG égale à 25' 57",6, ou 1557",6, qui est la latitude correspondante de la lune, et nous aurons en G la position occupée par le centre de la lune à 0^h 30^m du matin.

Prenons de même OH égal à 12' 22",3 ou 72",3, qui est l'excès de la longitude de la lune sur celle du centre O de l'ombre, à 1^h 30^m du matin; puis portons, sur la perpendiculaire à l'écliptique menée par le point H, une longueur HK égale à la latitude correspondante de la lune, dont la valeur est de 28' 51",5 ou 1731",5 : le point K sera la position du centre de la lune à 1^h 30^m du matin.

Nous pouvons, sans erreur sensible, regarder le mouvement de la lune, par rapport à l'ombre, comme étant rectiligne et uniforme pendant toute la durée de l'éclipse. En sorte que, si nous faisons passer une ligne droite MM' par les points G, K, cette ligne sera le chemin parcouru par le centre de la lune, par rapport au cercle d'ombre ABCD. Le point N, où la ligne MM' est rencontrée par la perpendiculaire à l'écliptique menée par le point O, n'est autre chose que la position qu'occupe la lune au moment de l'opposition, c'est-à-dire le 14 novembre à 1^h 4^m 20^s,9 du matin.

Décrivons une circonférence de cercle, du point O comme centre, et avec un rayon égal à la somme des rayons de l'ombre et de la lune, c'est-à-dire égal à 3325",7; cette circonférence coupera l'orbite relative MM' du centre de la lune en deux points L, L'. Il est bien évident, d'après la manière dont ces deux points ont été obtenus, que si, de chacun d'eux comme centre, avec le rayon de la lune, qui est de 910",1, on trace une circonférence de cercle, ces deux cercles seront tangents au cercle d'ombre ABCD, et représenteront par conséquent les deux positions de la lune relatives au commencement et à la fin de l'éclipse. Si, de plus, on abaisse du point O une perpendiculaire sur MM', le pied P de cette perpendiculaire sera la position du centre de la lune au milieu de l'éclipse.

La lune emploie une heure pour aller de G en K. D'après le rapport qui existe entre les deux lignes NP et GK, dont on peut mesurer les longueurs sur la figure, on trouve que la lune doit mettre 5^m 40^s,8 à parcourir la distance NP : c'est donc 5^m 40^s,8 avant l'opposition, c'est-à-dire à 0^h 58^m 40^s,1 du matin, qu'arrive le milieu de l'éclipse. On trouve de même que la lune doit mettre 1^h 39^m 19^s,4 à parcourir l'une ou l'autre des deux distances égales

LP, PL' : c'est donc le 13 novembre à 11^h 49^m 20^s,7 du soir que l'éclipse commence, et le 14 novembre, à 2^h 37^m 59^s,5 du matin qu'elle finit.

En décrivant un cercle du point P comme centre, avec le rayon de la lune, on reconnaît tout de suite si l'éclipse est totale ou partielle. Ici on voit qu'elle est partielle, puisque, au moment où le centre de la lune se trouve le plus rapproché du centre de l'ombre, une portion de son disque se trouve encore en dehors du cercle d'ombre. Si l'on mène le diamètre QS, dirigé vers le point O, et si l'on prend le rapport qui existe entre la portion RS de ce diamètre qui est dans l'ombre et le diamètre lui-même, ce rapport est ce qu'on nomme la *grandeur de l'éclipse*. Dans l'exemple particulier que nous traitons ici, la grandeur de l'éclipse est de 0,92. On exprime ordinairement cette grandeur en *doigts*. Pour cela on imagine que le diamètre QS soit divisé en 12 parties égales ou doigts, et l'on indique combien la partie RS contient de ces parties. La fraction 0,92 étant à peu près égale à $\frac{11}{12}$, on dit que la grandeur de l'éclipse des 13 et 14 novembre 1845 est de 11 doigts.

Si le diamètre QS était tout entier à l'intérieur de cercle d'ombre, auquel cas l'éclipse serait totale, on déterminerait le commencement et la fin de l'éclipse totale, en cherchant des positions de la lune pour lesquelles son disque est tangent intérieurement au cercle d'ombre. La recherche de ces deux positions particulières s'effectuerait tout aussi facilement que celle des positions L, L', où le disque de la lune et le cercle d'ombre sont tangents extérieurement.

Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que c'était par la construction graphique de la figure 278, et par la mesure de certaines longueurs sur cette figure, qu'on effectuait la détermination des diverses circonstances de l'éclipse. On comprend qu'à ces moyens peu exacts on peut substituer des méthodes de calcul correspondantes et conduisant à une précision beaucoup plus grande que les opérations graphiques. C'est ce qu'on fait en réalité, tout en suivant complètement la marche que nous venons d'expliquer.

Pour achever d'indiquer tout ce qui se rapporte à l'éclipse que nous venons de prendre pour exemple, il ne nous reste plus qu'à faire connaître les lieux de la terre où cette éclipse est visible. Cherchons d'abord les lieux d'où l'on pourra voir l'éclipse, au moment où le phénomène a atteint son maximum d'intensité. Nous avons trouvé que le milieu de l'éclipse arrive le 14 novembre à 0^h 58^m 40^s du matin (temps moyen de Paris). En tenant compte de l'équation du temps (§ 186), qui à cette époque est de 15^m 27^s, on

voit que c'est à 1^h 14^m 7^s de temps vrai que correspond ce milieu de l'éclipse. Si l'on considère le point de la terre pour lequel la lune est au zénith à cet instant, on reconnaîtra sans peine qu'il est minuit à ce point, et que, par conséquent, sa longitude à l'Ouest du méridien de Paris est de 18° 31' 45". Quant à la latitude de ce point, elle est égale à la déclinaison du centre de la lune au même instant, déclinaison qui, d'après la *Connaissance des temps*, est de 17° 42' 17" B. Dès lors on n'a qu'à imaginer que la surface de la terre soit divisée en deux hémisphères, par un plan mené perpendiculairement au rayon qui aboutit au point dont la longitude est 18° 31' 45" O. et dont la latitude est 17° 42' 17" B.; le milieu de l'éclipse sera visible pour tous les points de la terre situés sur l'un des deux hémisphères, et invisible pour tous les points situés sur l'autre. Ce que nous venons de faire pour le milieu de l'éclipse, nous pourrions le répéter pour le commencement et pour la fin, et nous trouverions ainsi tous les lieux d'où l'on verrait l'éclipse, soit tout entière, soit en partie seulement. Il est aisé de conclure de là que les lieux d'où l'on peut voir une éclipse de lune, pendant la totalité ou une partie seulement de la durée de ce phénomène, occupent plus de la moitié de la surface du globe terrestre.

Pour qu'on puisse voir une éclipse de lune, il faut que la lune soit au-dessus de l'horizon, ainsi que l'ombre de la terre, ou au moins une partie de cette ombre; or cela ne peut avoir lieu qu'autant que le soleil est au-dessous de l'horizon : ce n'est donc que pendant la nuit qu'on peut voir les éclipses de lune. Il y a cependant certaines circonstances particulières dans lesquelles on peut voir une éclipse de lune pendant quelques instants, avant le coucher



FIG. 279.

du soleil, ou après son lever. Si, par exemple, on se trouve en un point tel que A (fig. 279), au moment où une éclipse commence, le soleil sera tout entier au-dessous de l'horizon, et la partie de la lune qui se trouve dans le cône d'ombre y sera également; mais la réfraction atmosphérique, en relevant les deux astres au-dessus de l'horizon, permettra de voir le soleil d'un côté, et la partie éclipsée de la lune de l'autre côté.

§ 236. **Éclipses de soleil.** — Nous avons dit que les éclipses de soleil sont dues à l'interposition de la lune entre le soleil et la terre. Il est clair que, lorsque cette circonstance se présente, la lune doit dérober à nos regards une portion plus ou moins grande du disque du soleil. Cherchons d'abord à reconnaître si la lune peut le couvrir complètement.

En suivant une marche toute semblable à celle que nous avons suivie pour les éclipses de lune (§ 228), nous pourrions trouver la longueur du cône d'ombre que la lune projette du côté opposé au soleil. Comparons donc cette longueur OL (*fig.* 280), calculée pour

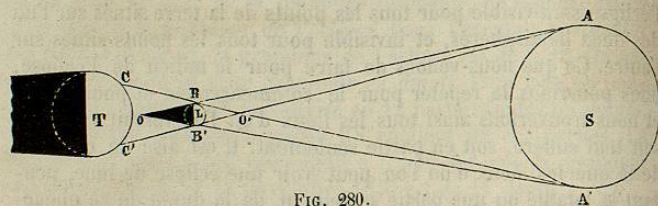


FIG. 280.

le cas où la lune L se trouve exactement entre le soleil S et la terre T , avec la distance LT qui existe en même temps entre le centre de la terre et le centre de la lune. Le rayon de la terre étant pris pour unité, la plus petite valeur de la distance LT est égale à 55,947 (§ 204); d'ailleurs la plus grande valeur de la dis-

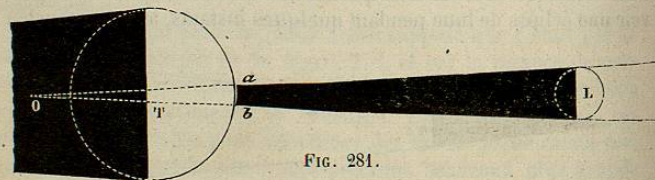


FIG. 281.

tance OL du sommet du cône d'ombre au centre de la lune est de 59,73 : donc, dans les circonstances auxquelles correspondent ces valeurs de LT et OL , l'ombre de la lune s'étend jusqu'à la terre et au delà (*fig.* 281). Pour tout point compris dans la portion ab de la surface de la terre, la lune couvre complètement le soleil : il y a alors *éclipse totale*. Mais, d'un autre côté, si l'on cherche la plus petite valeur de la longueur OL du cône d'ombre de la lune, on trouve qu'elle est égale à 57,76; et la plus grande distance du centre de la lune au centre de la terre est de 63,802 : lorsque ces

circonstances se présentent, le cône d'ombre de la lune ne s'étend pas jusqu'à la terre (*fig.* 283). Dans ce cas, il n'y a d'éclipse totale pour aucun point de la surface de la terre; de tous les points de l'hémisphère terrestre qui est tourné vers le soleil, on aperçoit une portion, sinon la totalité du disque de cet astre. Il y a cependant une particularité à signaler : c'est que, si l'on prolonge le cône d'ombre de la lune au delà du sommet O (*fig.* 282), la se-

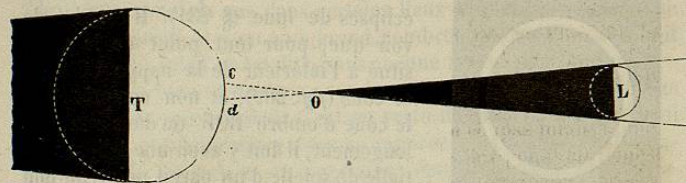


FIG. 282.

conde nappe de ce cône interceptera à son intérieur une certaine portion cd de la surface de la terre, pour tous les points de laquelle il y aura une *éclipse annulaire* : de chacun de ces points on verra la lune se projeter comme un cercle noir au milieu du disque du soleil, et la portion excédante de ce disque formera un anneau lumineux tout autour de ce cercle. Ainsi, lorsque la lune vient se placer entre le soleil et la terre, il y a éclipse totale ou éclipse annulaire, pour certains points de la terre, suivant que les distances du soleil et de la lune à la terre sont plus ou moins grandes.

On peut arriver encore au même résultat par d'autres considérations. Si, au moment où la lune vient passer devant le soleil, son diamètre apparent est plus grand que celui de ce dernier astre, elle pourra le couvrir complètement, et il y aura éclipse totale : or, il est aisé de voir que cette circonstance peut bien se présenter, puisque la plus grande valeur du diamètre apparent de la lune vue de la surface de la terre est de $34' 6''$, et que la plus petite valeur du diamètre apparent du soleil est seulement de $31' 31''$. Si, au contraire, le diamètre apparent de la lune est plus petit que celui du soleil, la lune ne pourra pas couvrir tout le disque de ce dernier astre; ce disque débordera tout autour de la lune, et il en résultera une éclipse annulaire : or, c'est ce qui peut encore très-bien arriver, puisque le diamètre apparent de la lune, vue de la surface de la terre, peut se réduire à $29' 22''$, et que celui du soleil peut atteindre une valeur de $32' 35',6$. Dans ce dernier cas, si l'on

se trouve au point de la terre d'où les centres des deux astres semblent coïncider à un certain instant, le disque du soleil doit se présenter sous la forme qu'indique la figure 283.

§ 237. En même temps qu'il y a éclipse totale ou annulaire pour certains points de la surface de la terre, il y a éclipse partielle pour un grand nombre d'autres points. Concevons, autour du soleil et de la lune, un cône analogue à celui qui nous a servi à trouver la pénombre dans les éclipses de lune (§ 231). Il est aisé de voir que, pour tout point de la terre situé à l'intérieur de la nappe $CO'C$ de ce cône (fig. 280), et non compris dans le cône d'ombre BOB' ou dans son prolongement, il doit y avoir une éclipse partielle de soleil; d'un pareil point, on doit voir la lune se projeter sur une portion du disque du soleil, en y produisant une échancrure circulaire (fig. 284), et la

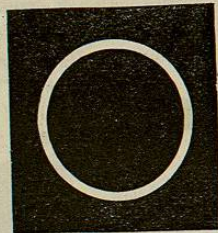


FIG. 283.

partie de ce disque qui est couverte par la lune doit être d'autant plus grande que le point d'où l'on observe les deux astres est plus loin de la surface du cône $CO'C$ et plus près de celle du cône d'ombre BOB' .

Les dimensions transversales du cône $CO'C$, dans le voisinage de la terre, ne sont pas assez grandes pour que le globe terrestre puisse être contenu tout entier à son intérieur. Pour nous en rendre compte d'une manière simple, observons que, en raison de la petitesse de la lune par rapport au soleil, ce qui fait que les distances OL , $O'L$ sont très-petites par rapport à la distance LS , et sensiblement égales entre elles, les angles BOB' , $BO'B$ ont à très-peu près la même grandeur; observons en outre que, la longueur

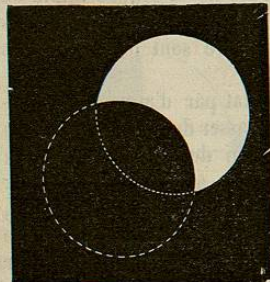


FIG. 284.

OL du cône d'ombre de la lune étant en moyenne à peu près égale à la distance LT de la lune à la terre, l'angle BOB' ne diffère pas beaucoup du diamètre apparent de la lune vue de la terre, de telle sorte qu'on peut regarder l'angle $BO'B$ comme étant égal à ce diamètre apparent. Or, puisque $O'T$ est sensiblement le double de $O'L$, les dimensions transversales du cône $CO'C$, dans le voisinage

de la terre T , doivent être doubles de ce qu'elles sont dans le voisinage de la lune L : il faudrait donc que le diamètre de la terre fût seulement le double de celui de la lune, pour que le globe terrestre pût être contenu dans le cône $CO'C$, en le touchant sur tout son contour. Nous savons, au contraire, que le diamètre de la terre est près de quatre fois plus grand que celui de la lune (§ 207); ainsi le cône $CO'C$ ne peut jamais renfermer à son intérieur qu'une portion de l'hémisphère terrestre qui est tourné vers le soleil. Il résulte de là que, pendant que dans certains lieux de la terre on voit une éclipse de soleil, il y en a un grand nombre d'autres d'où l'on voit le disque du soleil en totalité, sans aucune apparence d'éclipse.

§ 238. La lune se déplace, sur la sphère céleste, environ treize fois plus vite que le soleil. C'est en vertu du mouvement relatif qui en résulte que le premier astre se rapproche et s'éloigne alternativement du second, et qu'à certaines époques il vient passer devant son disque de manière à produire les éclipses de soleil. En y réfléchissant un peu, on trouve sans peine les diverses particularités que doit présenter une de ces éclipses pour un observateur qui est placé sur la terre et qui suit les diverses phases du phénomène. Ces particularités sont tout à fait analogues à celles que nous avons trouvées relativement aux éclipses de lune, par la considération du mouvement de la lune par rapport à l'ombre de la terre.

L'éclipse commence à l'instant où le disque de la lune vient toucher le disque du soleil. Alors, la lune empiète peu à peu sur le soleil, et en dérobe à nos regards une portion de plus en plus grande. Si le centre de la lune, dans son mouvement relatif, ne passe pas assez près du centre du soleil pour que la distance de ces points devienne plus petite que la différence des rayons apparents des deux astres, l'éclipse n'est que partielle. Lorsque la distance des centres a atteint la plus petite valeur qu'elle puisse prendre, l'éclipse est à son maximum d'intensité. A partir de là, la lune continuant toujours à se mouvoir, la portion du soleil qui est cachée par elle va en diminuant progressivement, et l'éclipse cesse à l'instant où le disque de la lune devient de nouveau tangent au disque du soleil.

Si la distance du centre de la lune au centre du soleil peut diminuer assez pour devenir inférieure à la différence des rayons apparents des disques des deux astres, l'éclipse est totale ou annulaire : totale, si le diamètre apparent de la lune vue du lieu où l'on observe est plus grand que celui du soleil; annulaire, si c'est le contraire qui a lieu. Dans l'un et l'autre cas, la lune commence par

couvrir une portion de plus en plus grande du disque du soleil. L'éclipse totale ou annulaire commence à l'instant où la distance des centres des deux disques devient égale à la différence de leurs rayons apparents, circonstance qui fait que les circonférences de ces disques sont tangentes intérieurement. Au bout de quelque temps, les centres s'étant encore rapprochés, puis ayant commencé à s'éloigner, leur distance redevient égale à cette différence des rayons, et l'éclipse totale ou annulaire cesse. Enfin, la lune continuant toujours à s'éloigner du soleil, ce dernier astre se démasque peu à peu, jusqu'à ce que les deux disques redeviennent tangents extérieurement, ce qui détermine la fin de l'éclipse.

Le calcul montre que la plus grande durée possible d'une éclipse de soleil est de $4^h 29^m 44^s$ pour un lieu situé sur l'équateur, et de $3^h 26^m 32^s$ sous le parallèle de Paris. Dans les éclipses totales, la lune ne peut pas cacher complètement le soleil pendant plus de $7^m 58^s$ à l'équateur, et de $6^m 10^s$ à la latitude de Paris. Dans les éclipses annulaires, la lune ne peut pas se projeter tout entière sur le disque du soleil pendant plus de $12^m 24^s$ à l'équateur, et de $9^m 56^s$ à la latitude de Paris. On comprend d'ailleurs que les durées de ces phénomènes peuvent passer par tous les états de grandeur au-dessous des limites qui viennent de leur être assignées.

§ 239. Si, au lieu d'examiner les diverses phases d'une éclipse de soleil, pour un observateur placé en un lieu déterminé, nous cherchons à nous rendre compte des particularités que le phénomène doit présenter en général sur toute la surface de la terre, nous y arriverons tout aussi facilement. Pour cela il faut concevoir que la

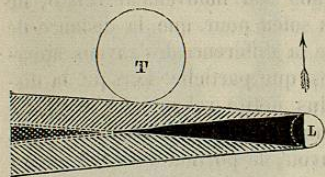


Fig. 285.

lune, en se mouvant autour de la terre, emporte avec elle les cônes d'ombre et de pénombre BOB', CO'C' (fig. 280), dont nous avons parlé précédemment. Lorsque, par suite de ce mouvement, le cône de pénombre vient toucher la surface de la terre (fig. 285), l'éclipse commence au point où se fait le contact des deux surfaces. A peine ce contact a-t-il eu lieu, que le cône de pénombre, en continuant toujours sa marche, couvre une partie de plus en plus grande du globe terrestre. Bientôt le cône d'ombre vient à son tour toucher la surface de la terre; et c'est au point de contact que l'on commence à observer soit une éclipse totale, soit une éclipse annulaire, suivant que c'est le cône d'ombre lui-même ou seulement

son prolongement qui vient rencontrer la terre. Ces deux cônes d'ombre et de pénombre, en marchant ainsi ensemble, viennent couvrir successivement diverses parties du globe; à mesure qu'ils s'avancent, ils aboutissent à de nouvelles régions, et abandonnent celles qu'ils ont atteintes d'abord. Au bout de quelque temps, le cône d'ombre, puis le cône de pénombre, redeviennent l'un après l'autre tangents à la surface du globe; et les instants auxquels ces contacts ont lieu, marquent la fin de l'éclipse totale ou annulaire d'une part, et de l'éclipse partielle d'une autre part.

Il existe quelquefois, dans notre atmosphère, des nuages isolés et de peu d'étendue qui projettent leur ombre sur le sol, au milieu de plaines dont le soleil éclaire directement toutes les autres parties. Ces nuages étant habituellement en mouvement, on voit leur ombre courir sur la terre, souvent avec une assez grande rapidité. C'est exactement de la même manière que l'ombre de la lune, dans les éclipses totales de soleil, se déplace sur la surface du globe terrestre, en allant d'un bord à l'autre de l'hémisphère qui est éclairé par le soleil.

Les astronomes déterminent ordinairement, à l'avance, les circonstances générales que doit présenter chaque éclipse de soleil sur l'ensemble de la surface de la terre; et, pour qu'on puisse saisir d'un coup d'œil les divers résultats auxquels ils sont parvenus, ils construisent une carte destinée à montrer la marche de l'éclipse sur le globe. La figure 286 fait voir quelle est la disposition de ces cartes; elle se rapporte à l'éclipse annulaire du 1^{er} avril 1764. La ligne ABC passe par tous les points où l'éclipse a commencé au moment même où le soleil se levait; et la ligne ADC par ceux où l'éclipse a fini au lever du soleil. Pour tous les points situés sur la ligne AEC, intermédiaire entre les deux précédentes, le soleil s'est levé au milieu de l'éclipse. De même les lignes AFG, AHG, AIG, renferment respectivement les points où le coucher du soleil s'est effectué à la fin, au commencement, ou au milieu de l'éclipse. La bande étroite LL, figurée par trois lignes courbes parallèles, est la route qu'a suivie le prolongement du cône d'ombre de la lune, en se déplaçant comme nous venons de l'expliquer. On voit que ce cône a passé au nord des îles du Cap-Vert, sur les îles Canaries, et au sud de Madère; qu'il a à peine touché la côte de Maroc, et qu'il a ensuite traversé le Portugal, l'Espagne, la France, les Pays-Bas, le Danemark, la Suède, la Laponie et la Nouvelle-Zemble. L'éclipse a été annulaire à Lisbonne, à Madrid et à Paris. De part et d'autre de la bande LL, on n'a observé qu'une éclipse partielle, de plus en plus faible à me-

sure que les points étaient plus éloignés de cette route de l'éclipse annulaire. Dans tous les points de la ligne MM, l'éclipse n'a été que de 9 doigts (§ 235); le long de la ligne NN, elle n'a été que de 7 doigts. De même l'éclipse a été de 9 doigts tout le long de la ligne PP, de 6 doigts tout le long de la ligne QQ, de 3 doigts

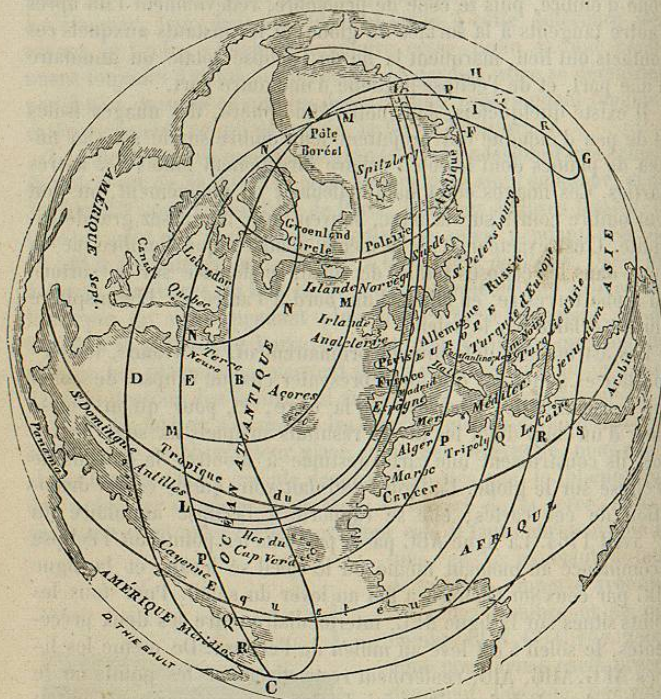


FIG. 286.

tout le long de la ligne RR; et il n'y a eu qu'un simple attouchement des bords du soleil et de la lune, sans éclipse, le long de la ligne CSG. Au delà de cette dernière ligne, il n'y a pas eu d'éclipse, malgré la présence du soleil au-dessus de l'horizon.

§ 240. La période de 18 ans 11 jours, au bout de laquelle la lune reprend les mêmes positions par rapport à ses nœuds et au soleil, joue le même rôle pour les éclipses de soleil que pour les éclipses de lune. Les éclipses de soleil que l'on a observées dans

une pareille période se reproduisent en même nombre et à des époques correspondantes, dans la période suivante. Il y a cependant quelques changements qui se présentent peu à peu, en raison de ce que 223 lunaisons ne font pas exactement 19 révolutions synodiques des nœuds. L'observation a montré qu'en moyenne, dans l'espace de 18 ans 11 jours, il y a 70 éclipses, dont 29 de lune, et 41 de soleil. Jamais il n'y a plus de sept éclipses dans une année, et jamais il n'y en a moins de deux; quand il n'y en a que deux, elles sont toutes deux de soleil.

Il est aisé de comprendre pourquoi les éclipses de soleil sont plus fréquentes que les éclipses de lune. En effet, si l'on considère le cône AOA' (fig. 287), qui enveloppe le soleil et la terre,

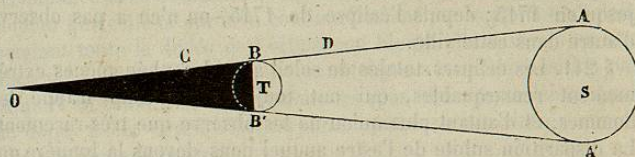


FIG. 287.

on sait qu'il faut que la lune pénètre à l'intérieur de ce cône en C, pour qu'il y ait éclipse de lune; mais on reconnaît facilement aussi qu'il faut qu'elle pénètre dans le même cône en D, pour qu'il y ait éclipse de soleil en quelques lieux de la terre: or, les dimensions transversales de ce cône étant plus grandes en D qu'en C, il en résulte nécessairement que la lune doit plus souvent atteindre sa surface vers le premier point que vers le second, et que par conséquent les éclipses de soleil doivent être plus fréquentes que les éclipses de lune.

Mais il faut bien se garder de croire qu'en un lieu déterminé on voie plus d'éclipses de soleil que d'éclipses de lune. Une éclipse de lune est visible de plus d'un hémisphère de la terre (§ 235); une éclipse de soleil, au contraire, n'est visible que dans une partie d'hémisphère, et quelquefois dans une partie assez restreinte. Cette circonstance fait que le nombre des éclipses de lune visibles en un lieu donné est plus grand que le nombre des éclipses de soleil qu'on peut y observer, malgré la plus grande fréquence de ces dernières, considérées sur toute la surface du globe terrestre. On peut s'en rendre compte, du reste, en remarquant que le diamètre apparent de l'ombre de la terre, prise à la distance de la lune (§ 234), est beaucoup plus grand que le dia-

mètre apparent du soleil, et qu'en conséquence il doit arriver plus souvent que la lune, observée d'un lieu déterminé de la terre, atteigne l'ombre de la terre que le disque du soleil.

Quant aux éclipses totales de soleil, elles sont extrêmement rares dans chaque lieu, comme on le comprend tout de suite en réfléchissant à la petitesse de l'ombre projetée par la lune sur la terre. La portion de la terre qui est successivement couverte par cette ombre n'est qu'une très-petite fraction de l'espace total d'où l'éclipse de soleil peut être observée. A Paris, par exemple, il n'y a eu qu'une seule éclipse totale de soleil dans le XVIII^e siècle, celle de 1724 ; il n'y en a pas eu encore depuis le commencement du XIX^e siècle, et il n'y en aura pas jusqu'à la fin. A Londres on a été pendant 575 ans sans en observer une seule, depuis l'an 1140 jusqu'en 1715; depuis l'éclipse de 1715, on n'en a pas observé d'autre dans cette ville.

§ 241. Les éclipses totales de soleil sont des phénomènes extrêmement remarquables, qui ont toujours beaucoup frappé les hommes, et d'autant plus qu'on ne les observe que très-rarement. La disparition subite de l'astre auquel nous devons la lumière qui nous fait jouir de toutes les beautés de la nature, et la chaleur sans laquelle nous ne pourrions pas exister, est bien de nature à inspirer de l'effroi à tous ceux qui ne se rendent pas compte de la cause d'un pareil phénomène. Quand on en connaît la cause, et qu'on sait que l'astre du jour ne disparaît que pour quelques minutes, au bout desquelles il doit se montrer de nouveau tout aussi radieux qu'il l'était auparavant, on ne s'effraye pas ; et cependant, à l'instant même où l'on cesse complètement de recevoir les rayons du soleil, on éprouve involontairement un vague sentiment de crainte. Dans tous les cas, la curiosité est vivement excitée par les circonstances que présente ce merveilleux spectacle.

Pendant que le soleil est entièrement couvert par la lune, on voit régner autour de soi une certaine obscurité, qui paraît très-intense parce qu'elle arrive brusquement, mais qui diffère cependant beaucoup de l'obscurité de la nuit. Le cône d'ombre de la lune, tout en s'étendant à une certaine distance tout autour du lieu où l'on est placé, ne peut pas comprendre à son intérieur toute la partie de l'atmosphère qui est au-dessus de l'horizon ; il laisse autour de lui une masse d'air considérable, qui reçoit directement les rayons du soleil, et qui les renvoie dans les régions de la terre où l'on observe l'éclipse totale ; il en résulte donc une sorte de crépuscule, au lieu d'une obscurité complète. Les étoiles les plus brillantes et les principales planètes deviennent visibles

dans le ciel. La température de l'air s'abaisse rapidement de quelques degrés. Les animaux témoignent de l'effroi, et beaucoup d'entre eux se comportent comme ils ont l'habitude de le faire à l'entrée de la nuit.

Tant que dure l'éclipse totale, on voit autour du soleil et de la lune une couronne lumineuse, dont la figure 288 peut donner une idée (§ 155). La lune se projette comme un cercle noir au milieu de cette couronne. On s'est demandé si cette auréole de lumière était due à une atmosphère qui environnerait le soleil, et que le vif éclat de l'astre empêcherait habituellement d'apercevoir ; ou bien si elle ne tiendrait pas à la présence d'une atmosphère très-rare appartenant à la lune. Pour résoudre la question, on a cherché à reconnaître si la couronne lumineuse suit la lune, dans le déplacement que celle-ci éprouve continuellement par rapport au soleil, pendant toute la durée de l'éclipse, ou bien si elle reste en arrière par rapport à la lune, en conservant toujours la même position par rapport au soleil. Les observations les plus récentes ne laissent pas de doute à cet égard : la couronne lumineuse est centrée sur le soleil et non sur la lune.

Pendant l'éclipse totale du 8 juillet 1842, qui a été visible dans le midi de la France, au moment où les astronomes se disposaient à observer avec soin si la couronne lumineuse paraissait tenir au soleil ou à la lune, leur attention a été attirée par un phénomène imprévu. Des protubérances d'un rose violacé (§ 155) se sont montrées sur le contour de la lune, comme on le voit sur la figure 288. Des idées très-diverses ont été émises sur la nature de ces protubérances, et on a saisi l'occasion de toutes les éclipses totales de soleil qui se sont présentées depuis, pour les observer de nouveau, afin d'arriver à quelque notion précise à ce sujet. Les observations faites tout récemment, dans l'Inde et dans la presqu'île de Malacca, pendant l'éclipse du 18 août 1868, ont fourni des résultats des plus importants. On a reconnu que les protubérances en question ne sont autre chose que des masses considérables de gaz incandescent, composé principalement d'hydrogène, qui s'élèvent au-dessus de la surface du soleil, et qui éprouvent des déformations et des déplacements énormes dans l'espace de peu de temps. Nous expliquerons plus loin, à l'occasion de l'analyse spectrale, en quoi consistent les procédés d'observation qui ont pu conduire à de pareilles conséquences, procédés qui permettent même maintenant d'observer les protubérances solaires en tout temps, en dehors des éclipses totales de soleil.

§ 242. Les éclipses partielles de soleil, comme les phases des