

éclipses totales qui précèdent et qui suivent le temps pendant lequel la lune couvre complètement le soleil, sont loin de produire des effets aussi marqués que les éclipses totales. Quand une éclipse partielle est un peu forte, la lumière envoyée par le soleil diminue d'une manière très-sensible, quoique cependant on soit toujours très-fortement éclairé, tant qu'il reste encore quelque portion du soleil en dehors du disque de la lune.

Il est impossible de regarder directement le soleil pour suivre

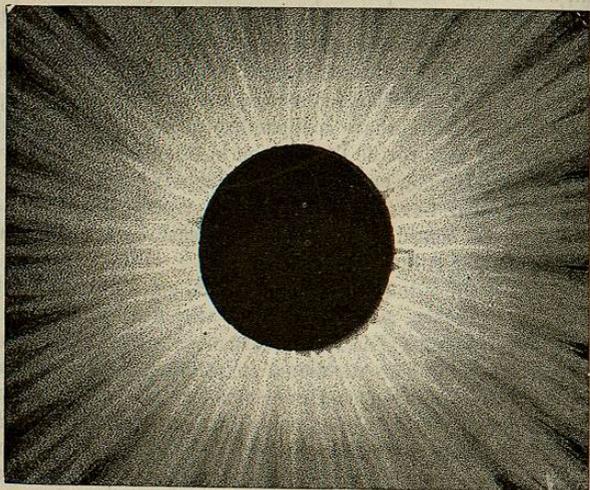


FIG. 288.

les diverses phases d'une éclipse partielle; on ne peut le faire qu'en plaçant devant les yeux un verre coloré, ou bien un verre blanc que l'on a préalablement recouvert de noir de fumée en le passant au-dessus de la flamme d'une chandelle.

Si l'on présente au soleil, pendant une éclipse partielle, une plaque mince de métal ou une carte, dans laquelle on a pratiqué un petit trou avec une épingle, puis qu'on place en arrière un écran destiné à recevoir les rayons solaires qui traversent le trou, on voit sur cet écran une image du disque du soleil avec l'échancrure produite par l'interposition de la lune. Il suffit de se reporter à ce qui a été dit dans le § 122 pour comprendre qu'il doit en être ainsi; la forme du petit espace lumineux que produisent sur l'écran les rayons envoyés par le soleil à travers le trou de la carte, dépend

uniquement de la forme qu'affecte l'astre, et ne dépend nullement de celle du trou, pourvu qu'il soit petit. On a encore par là un moyen très-simple de suivre sans difficulté les diverses phases d'une éclipse de soleil.

Le feuillage des arbres laisse souvent passer quelques rayons de soleil, qui viennent éclairer certaines parties du sol, au milieu de l'ombre que ce feuillage occasionne. Les interstices des feuilles jouent alors le rôle que nous venons de voir jouer au petit trou pratiqué dans une carte; il en résulte que les parties du sol éclairées

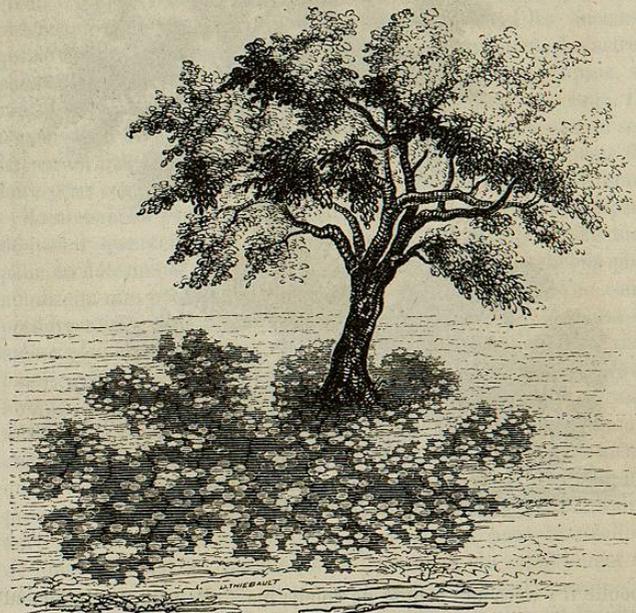


FIG. 289.

sont elliptiques (fig. 289). Pendant les éclipses de soleil, l'échancrure plus ou moins prononcée du disque de l'astre se reproduit dans ces espaces clairs au milieu de l'ombre, et ils prennent la forme d'ellipses échancrées toutes du même côté et de la même quantité (fig. 290). Cette particularité que présente l'ombrage des arbres pendant les éclipses est très-prononcée, et il est difficile de ne pas la remarquer, pour peu qu'on y fasse attention, lors même qu'on n'en serait pas prévenu.

§ 243. **Prédiction des éclipses de soleil.** — La période de 18 ans 11 jours, qui servait aux anciens astronomes à prédire le retour des éclipses de lune, semble pouvoir servir de même à la prédiction des éclipses de soleil. Il n'en est rien cependant. Cette période peut bien servir à indiquer à l'avance qu'à telle ou telle



Fig. 290.

époque il y aura une éclipse de soleil; mais elle ne peut nullement faire savoir si l'éclipse sera visible ou non dans un lieu déterminé; et, dans le cas où l'éclipse serait visible, elle ne peut pas faire connaître le degré d'importance qu'elle doit avoir.

Cette différence tient à ce que les éclipses de soleil et les éclipses de lune ne sont pas des phénomènes de même nature. Une éclipse de lune est due à ce que la lune perd réellement sa lumière; une pareille éclipse est visible pour tous les points où la lune se trouve au-dessus de l'horizon, et partout elle se présente avec le même caractère d'intensité. Dans une éclipse de soleil, au contraire, le soleil ne perd nullement sa lumière : la lune, en s'interposant

entre lui et la terre, dérobe une portion de son disque aux observateurs, et cette portion du disque qui est cachée par la lune est plus ou moins grande, suivant que l'observateur occupe telle ou telle position sur la terre. La période de 18 ans 11 jours n'étant pas entièrement rigoureuse, et la rotation de la terre sur elle-même amenant successivement différents lieux du globe dans la direction du cône d'ombre de la lune, on comprend que les éclipses de soleil qui arrivent en un lieu déterminé, dans l'espace de 18 ans 11 jours, peuvent ne correspondre en aucune manière à celles qu'on y a observées dans un intervalle de temps de même durée précédant immédiatement celui dont il s'agit. Aussi les anciens, qui ne connaissaient pas assez exactement les mouvements des astres pour arriver par d'autres moyens à la prédiction des éclipses, se sont-ils toujours contentés de prédire les éclipses de lune. Ils n'avaient pu saisir, entre les retours successifs des éclipses de soleil en un lieu déterminé, aucune loi qui pût les mettre à même de faire pour ces éclipses ce qu'ils faisaient pour les éclipses de lune.

Maintenant on parvient tout aussi facilement à prédire les éclipses de soleil que celles de lune. Seulement les calculs à effectuer pour en déterminer les diverses circonstances sont beaucoup plus nombreux que pour ces dernières éclipses. C'est ce que l'on comprendra sans peine en observant qu'une éclipse de lune est la même pour tous les points de la terre d'où l'on peut voir la lune; tandis qu'une éclipse de soleil se présente avec des caractères différents dans les divers lieux où elle est visible, ce qui entraîne une grande complication, si l'on veut se rendre compte de la marche de l'éclipse sur les diverses parties du globe. Mais, lors même qu'on voudrait se contenter de chercher les circonstances que doit présenter une éclipse de soleil en un lieu particulier, on aurait à faire beaucoup plus de calculs qu'il n'en faut pour une éclipse de lune. En effet, les parallaxes de la lune et du soleil jouent un rôle des plus importants dans les éclipses de soleil; puisque, si l'on était au centre de la terre, on verrait généralement les deux astres occuper des positions différentes dans le ciel, et que, de ce point, l'éclipse pourrait être tout autre que celle qui correspond au lieu où l'on est placé. Or, la parallaxe de hauteur de la lune, qui sert à passer de la position de l'astre vu du centre de la terre à la position dans laquelle on le voit du lieu d'observation, varie considérablement aux diverses heures d'une même journée, et par conséquent pendant toute la durée de l'éclipse dont on s'occupe. La parallaxe de hauteur dont on se sert pour trouver le commencement de l'éclipse n'est donc pas la même que celle qui doit servir

à la détermination du milieu et de la fin du phénomène. Cette circonstance fait qu'on est obligé d'effectuer beaucoup plus de calculs que pour une éclipse de lune. Mais les calculs ne présentent pas plus de difficulté que dans ce dernier cas.

Nous ne donnerons pas d'exemple de la recherche des diverses particularités que doit présenter une éclipse de soleil, en un lieu déterminé, comme nous l'avons fait pour une éclipse de lune, parce que cela nous entraînerait trop loin. Nous nous contenterons de dire que c'est en comparant les positions que les disques de la lune et du soleil doivent occuper l'un par rapport à l'autre dans le ciel, à des époques assez rapprochées les unes des autres, de dix minutes en dix minutes, par exemple, qu'on parvient à trouver l'instant où l'éclipse commence, l'instant où elle finit, l'instant où le phénomène est à son maximum d'intensité, etc.

Nous ajouterons encore que, dans la recherche des positions apparentes du soleil et de la lune dans le ciel, correspondant à un instant quelconque, on tient bien compte des parallaxes de hauteur des astres, dont le rôle est des plus importants; mais on ne tient pas compte de la réfraction atmosphérique. Si les disques des deux astres paraissaient en contact l'un avec l'autre, à un certain instant, dans le cas où l'atmosphère de la terre n'existerait pas, la présence de cette atmosphère ne modifierait pas cette circonstance; par l'effet de la réfraction atmosphérique, les astres seraient tous deux relevés dans le ciel, sans cesser d'être en contact l'un avec l'autre. Ainsi il suffit de déterminer les époques auxquelles doivent arriver les diverses phases de l'éclipse, comme s'il n'y avait pas d'atmosphère, et les époques trouvées seront bien celles auxquelles on observera réellement ces phases à travers l'atmosphère terrestre.

§ 244. **Ocultations des étoiles par la lune.** — Les occultations des étoiles par la lune sont des phénomènes entièrement analogues aux éclipses de soleil. Il n'y a de différence qu'en ce que l'étoile occultée n'est pas animée d'un mouvement propre sur la sphère céleste, comme le soleil, et aussi en ce que le diamètre apparent de l'étoile est nul.

L'occultation d'une étoile peut être aperçue d'un grand nombre de lieux de la terre. Pour se rendre compte de la manière dont ces lieux sont répartis sur le globe, il suffit d'étudier la marche du cône d'ombre de la lune relatif à la lumière qui émane de l'étoile. Vu le grand éloignement de l'étoile par rapport à la distance de la lune à la terre, on peut considérer ce cône d'ombre comme un cylindre à base circulaire, dont le rayon est égal au rayon de la lune. Ce cylindre, qui se déplace avec la lune et qui ne peut com-

prendre à chaque instant qu'une faible portion de la surface de la terre à son intérieur, vient successivement couvrir sur cette surface diverses régions formant une zone; et c'est des différents points de cette zone que l'occultation peut être observée. Il n'y a pas lieu de s'occuper ici du cône de pénombre, puisque le diamètre apparent de l'étoile est nul, et qu'en conséquence ce cône de pénombre se confond entièrement avec le cône d'ombre.

Pour prédire les instants précis auxquels l'occultation d'une étoile doit commencer et finir, on effectue des calculs analogues à ceux qui se rapportent aux éclipses de soleil. En déterminant les positions apparentes que le centre de la lune doit venir occuper dans le ciel, à diverses époques rapprochées les unes des autres, on parvient à trouver celles pour lesquelles la distance de l'étoile au centre de la lune est égale à la moitié du diamètre apparent de ce dernier astre : il est clair que ce sont ces époques particulières qui marquent le commencement et la fin de l'occultation.

C'est en opérant comme nous venons de l'indiquer en peu de mots qu'on arrive à déterminer le temps que doit durer l'occultation d'une étoile. Nous avons vu précédemment (§ 225) que l'égalité rigoureuse entre la valeur de cette durée de l'occultation ainsi obtenue, et celle que fournit l'observation directe du phénomène, constitue la meilleure preuve de l'absence d'atmosphère autour de la lune.

§ 245. **Méthode des distances lunaires, pour la détermination des longitudes géographiques.** — Nous savons que la grande difficulté de la mesure des longitudes géographiques consiste dans la détermination de la différence des heures marquées simultanément par deux horloges installées dans deux lieux très-éloignés l'un de l'autre, et réglées, par exemple, sur les temps solaires de ces deux lieux (§§ 99 et 180). Le mouvement de la lune parmi les constellations fournit un excellent moyen de lever cette difficulté, ainsi que nous allons le faire comprendre facilement.

Supposons qu'on soit en un lieu quelconque de la terre, et qu'on veuille trouver la longitude de ce lieu, comptée à partir du méridien de Paris. On pourra régler un chronomètre sur le temps solaire du lieu où l'on est placé, en employant un des moyens indiqués précédemment (§ 181); il n'y aura plus alors qu'à déterminer la quantité dont ce chronomètre avance ou retarde sur une horloge qui serait réglée sur le temps solaire de Paris, pour en conclure tout de suite la longitude cherchée. S'il était possible d'installer dans le ciel une horloge dont le cadran fût visible de tous les points de la terre, comme les étoiles, et qui marquât constam-

ment l'heure de Paris, il suffirait évidemment de regarder ce cadran, et de comparer l'heure qu'y marque l'aiguille à celle que marque en même temps le chronomètre réglé sur le temps du lieu où l'on se trouve. Or, les astronomes sont parvenus à réaliser cette idée, qui paraît si singulière au premier abord. Ce cadran placé dans le ciel, et dont l'aiguille se meut de manière à marquer le temps solaire de Paris, est formé par la sphère céleste tout entière; les étoiles remplacent les divisions qu'on trace ordinairement sur le contour d'un cadran, et la lune, qui se meut à travers les étoiles, tient lieu de l'aiguille. Il ne manque plus que les chiffres destinés à indiquer l'heure qu'il est, lorsque l'aiguille, c'est-à-dire la lune, occupe telle ou telle place parmi les divisions du cadran représentées par les étoiles : au lieu de les tracer dans le ciel, ce qui ne pourrait se faire, les astronomes de Paris les inscrivent dans la *Connaissance des temps*, et, à l'aide de la table qui les contient, un observateur placé n'importe où sur le globe, peut dire tout de suite quelle heure il est à Paris, d'après la position qu'il voit occuper à la lune parmi les étoiles. Quelques détails sont nécessaires pour faire comprendre au juste en quoi consiste cette méthode remarquable, dont nous venons seulement de faire connaître l'idée fondamentale.

§ 246. Le Bureau des longitudes fait calculer, et insérer dans la *Connaissance des temps*, les distances angulaires qui doivent exister entre le centre de la lune et les étoiles principales qui l'avoisinent, de trois heures en trois heures, pour tous les jours de chaque année. Ces distances sont calculées pour le cas où l'observateur serait placé au centre de la terre, et les heures qui l'accompagnent sont données en temps vrai de Paris.

Lorsqu'un observateur, placé en un lieu quelconque de la terre, veut savoir l'heure qu'il est à Paris, il mesure, à l'aide du sextant, par exemple, la distance angulaire d'une étoile principale au bord du disque de la lune; et la connaissance du diamètre apparent de la lune lui permet d'en déduire tout de suite la distance de l'étoile au centre de cet astre. La distance ainsi obtenue n'est pas celle que l'observateur aurait trouvée si la réfraction atmosphérique n'eût pas changé les positions apparentes de l'étoile et de la lune, et s'il eût été placé au centre de la terre; mais on passe facilement de l'une à l'autre, si l'on a soin de mesurer les distances zénithales des deux astres, en même temps qu'on mesure la distance qui les sépare l'un de l'autre. A l'aide de ces distances zénithales, on peut trouver, d'une part, les quantités dont l'étoile et la lune ont été rapprochées du zénith par l'effet de la réfraction (§ 55); et, d'une

autre part, la quantité dont le centre de la lune en a été éloigné par l'effet de la parallaxe (§ 205). Soient E la position apparente de l'étoile sur la sphère céleste (*fig.* 291), L la position apparente de la lune, et Z le zénith. On a mesuré l'angle EOL, ainsi que les angles EOZ, LOZ. Si l'on prend l'arc EE' égal à la réfraction relative à l'étoile, c'est en E' qu'on aurait vu l'étoile, si l'atmosphère n'eût pas existé, et qu'on eût été placé au centre de la terre. Prenons de même LL' égal à la réfraction relative à la lune, c'est en L' que la lune aurait été aperçue, si l'atmosphère n'eût pas changé la direction des rayons lumineux, et qu'on fût resté au lieu où l'on se trouve. Portons ensuite LL' égal à la parallaxe de hauteur de la lune, et nous aurons en L' la position où la lune aurait été vue du centre de la terre. Ainsi, à l'instant où l'on a mesuré l'angle EOL, la distance angulaire de l'étoile au centre de la lune, pour un observateur placé au centre de la terre, était égale à E'OL'.

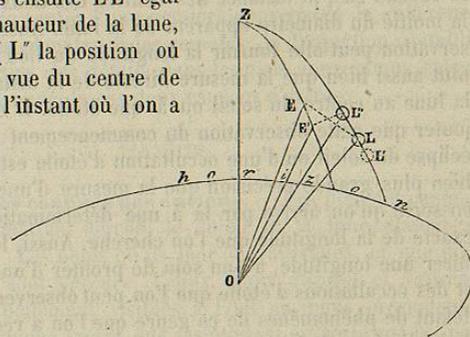


FIG. 291.

La connaissance des trois côtés

EL, EZ, LZ, du triangle sphérique ZEL, permet de calculer l'angle en Z : d'un autre côté, on connaît les distances ZE', ZL' : on a donc, dans le triangle sphérique ZE'L', l'angle Z et les deux côtés adjacents, ce qui fait qu'on peut calculer le côté E'L', ou l'angle E'OL' auquel cet arc sert de mesure.

Dès que l'angle E'OL' a été ainsi obtenu, il n'y a plus qu'à chercher, dans la *Connaissance des temps*, à quelle heure de Paris correspond cette distance angulaire de l'étoile au centre de la lune. Si la valeur de l'angle E'OL' se trouve être exactement une de celles que contient la *Table des distances lunaires*, pour l'étoile particulière dont il s'agit, l'heure inscrite à côté de cette valeur sera l'heure que l'on cherche. Autrement l'angle E'OL' sera compris entre deux des distances insérées dans cette table, et l'on trouvera facilement, par une simple proportion, au moyen des heures marquées en regard de ces deux distances, quelle est l'heure précise qui correspond à l'angle E'OL'.

On peut opérer évidemment de même en mesurant la distance de la lune au soleil ou à une planète, au lieu de mesurer sa distance à une étoile.

§ 247. **Détermination des longitudes par les éclipses et les occultations.** — Il est aisé de voir que l'observation du commencement ou de la fin d'une éclipse de soleil ou d'une occultation d'étoile par la lune, équivaut à la mesure de la distance angulaire du centre de la lune au centre du soleil ou à l'étoile; puisque, dans le premier cas, la distance des centres des deux astres est égale à la somme de leurs demi-diamètres apparents, et que, dans le second cas, la distance des centres des deux astres est égale à la moitié du diamètre apparent de la lune. Aussi une pareille observation peut-elle fournir la longitude du lieu où l'on est placé, tout aussi bien que la mesure directe de la distance du centre de la lune au centre du soleil ou à une étoile. Il est même bon d'ajouter que cette observation du commencement et de la fin d'une éclipse de soleil ou d'une occultation d'étoile est susceptible d'une bien plus grande précision que la mesure d'une distance lunaire, en sorte qu'on arrive par là à une détermination beaucoup plus exacte de la longitude que l'on cherche. Aussi, lorsqu'on veut mesurer une longitude, a-t-on soin de profiter d'une éclipse de soleil et des occultations d'étoile que l'on peut observer : et ce n'est qu'à défaut de phénomènes de ce genre que l'on a recours à la mesure de la distance de la lune à une étoile, ou au soleil, ou même à une planète.

Les éclipses de lune peuvent être employées à la détermination des longitudes, mais d'une tout autre manière. L'entrée d'un des points remarquables du disque lunaire dans l'ombre de la terre est un phénomène instantané qui peut être observé d'un grand nombre de lieux à la fois; et il semble qu'on puisse s'en servir, aussi bien que d'un signal de feu (§ 99), pour comparer la marche de deux horloges situées loin l'une de l'autre. Mais l'influence de la pénombre et de l'atmosphère terrestre fait que cette observation n'est pas susceptible de précision; un point brillant, que l'on examine spécialement sur la lune, perd peu à peu sa lumière, en pénétrant dans l'ombre de la terre, et l'on ne peut pas dire au juste à quel instant il passe de la pénombre à l'ombre pure. C'est pour ce motif qu'on ne se sert pas des éclipses de lune pour la détermination des longitudes, quoique, par leur nature, elles semblent tout à fait propres à remplacer les signaux de feu, dont l'emploi est nécessairement très-restreint.

CHAPITRE CINQUIÈME

DES PLANÈTES ET DES COMÈTES

§ 248. Après avoir étudié en détail ce qui se rapporte au soleil et à la lune, nous allons nous occuper des autres astres errants (§ 57). Ces astres sont, d'une part, les planètes avec leurs satellites; d'une autre part, les comètes. Il nous est impossible, quant à présent, de faire sentir d'une manière convenable la différence qui existe entre les planètes et les comètes; la distinction à établir entre elles ressortira des détails dans lesquels nous allons entrer relativement à chacune de ces deux espèces d'astres.

PLANÈTES

§ 249. **Planètes connues des anciens.** — Les planètes connues des anciens, en mettant de côté le soleil et la lune, étaient au nombre de cinq. Les noms qu'ils leur ont attribués, et que nous avons conservés, sont *Mercury*, *Vénus*, *Mars*, *Jupiter* et *Saturne*. Ces astres, habituellement visibles à l'œil nu, nous présentent à très-peu près le même aspect que les étoiles; en sorte que les personnes qui ne sont pas très-exercées dans l'astronomie d'observation les confondent toujours avec ces dernières. Mais si l'aspect seul ne permet pas de distinguer les planètes des étoiles, il suffit de quelques jours d'observation attentive pour qu'on soit certain que tel astre qu'on a examiné spécialement appartient à la première ou à la seconde de ces deux classes. En effet, les planètes se déplacent parmi les constellations; les distances de chacune d'elles aux étoiles qui l'entourent varient d'une manière très-sensible dans un court espace de temps. Les étoiles, au contraire, restent immobiles les unes par rapport aux autres; elles conservent entre elles les mêmes positions relatives, les mêmes distances. Pour reconnaître d'une manière certaine si un astre particulier est une planète ou une étoile, on n'aura donc qu'à graver dans sa mémoire, ou mieux encore à figurer sur un dessin la position que cet astre occupe un certain jour par rapport aux étoiles qui l'environnent; puis les jours suivants, on examinera s'il se trouve dans la même position que précédemment, ou bien s'il est déplacé d'une manière appréciable.