LA LUNE

I. — Les tables lunaires.

Courtanvaux raconte qu'on lui demandait quelquefois si l'honneur de résoudre le problème de la longitude devait appartenir à l'astronomie ou bien à l'horlogerie. La réponse était facile. Il n'y a que l'astronomie qui puisse y parvenir; car c'est seulement par les moyens qu'elle donne qu'on peut régler les montres sur l'heure du premier méridien, obtenir leur marche et déterminer le temps local; tandis que le chronomètre n'est qu'un instrument, très commode il est vrai, pour transporter d'une manière presque immédiatement utilisable les résultats des observations astronomiques faites pour le calcul de l'heure.

A la mer, c'était par des observations lunaires qu'on devait réussir. Pour cela il fallait avoir de bonnes tables de ce satellite. Revenons d'abord, dans une revue rapide, sur les erreurs des tables lunaires aux XVI^e et XVII^e siècles. D'après Tycho-Brahé, les erreurs des éclipses calculées par Copernic allaient souvent à une heure. Tycho, mort en 1601, améliora les tables de la Lune. Il découvrit la variation et l'équation annuelle; mais il ne savait s'il fallait faire de 30 ou de 50′ le coefficient de la première, qui est égal à 39′ et finalement il le fit de 4′ trop fort. Quant à l'équation annuelle, il lui donna un coefficient de 4′5 au lieu de 11′, d'où une erreur de 6′5. Horrockes, sérieux astronome, mort prématurément à 23 ans en 1641, avait fait la variation de 36′5. Bouillaud, en 1645, n'avait pu éviter dans le lieu de la Lune, d'après sa théorie, des erreurs de 30 à 56′ en longitude et de 23′ en latitude. Les tables de Street, parues pour la première fois en 1661, et qui eurent plusieurs éditions, furent réputées. Or Flamsteed annonçait en 1680 que d'après leurs éléments, les erreurs sur la position de notre satellite allaient à 5 ou 6′, quelquefois à 10 ou 11; et Halley, en 1710, les examinant en les comparant à des observations, trouva qu'en les utilisant il y avait des cas où l'on devait se tromper de 100 lieues (au minimum 5°) sur la longitude, ce qui correspond bien aux erreurs voisines de 10′ signalées par Flamsteed.

Mais le XVII^e siècle ne s'en tint pas là. En effet, pendant qu'on y essayait les premières montres marines, on commençait aussi à y préparer les éléments nécessaires pour aboutir par les mouvements de la Lune. Il fallait d'abord des tables lunaires très exactes puisque toute erreur sur la position de la Lune donne en moyenne sur la longitude une erreur 27 ou 30 fois plus grande selon qu'on la situe par rapport aux étoiles ou par rapport au Soleil. Or, de 1668 à 1671, Perrault avait construit l'observatoire de Paris. L'abbé Picard l'avait demandé pour y établir de grands muraux, de grands secteurs, y déterminer les ascensions droites et les déclinaisons, les réfractions et les parallaxes; enfin tous les fondements de l'astronomie. C'était un vaste programme, amorçant tout ce qui a été fait depuis. Le 20 octobre 1667, Picard avait fait la première observation réelle avec application des lunettes. Il avait grandement perfectionné les instruments, donné le moyen de placer la lunette parallèlement au plan du limbe et de mesurer l'écart entre le zéro et l'axe optique. Auzout avait construit le premier réticule à fil mobile. Picard sut mesurer le chemin du curseur d'Auzout. Il avait aussi essayé de faire tourner une lunette dans le plan du méridien; elle allait de 56 à 61° de distance zénithale et Rœmer, son collaborateur, réalisa complètement son idée. Enfin Picard avait demandé instamment l'installation d'un quart de cercle dans le méridien, et La Hire l'installa en 1683. Dès lors on put quotidiennement prendre les hauteurs méridiennes du soleil et suivre les étoiles visibles dans la journée pour avoir leurs différences d'ascensions droites.

De même en Angleterre, l'observatoire de Greenwich, vers 1675, fut confié à Flamsteed à qui il était prescrit de s'appliquer « avec un soin et une diligence extrêmes à la rectification des tables des mouvements célestes et des positions des étoiles fixes dans le but d'arriver à la solution tant désirée du problème des longitudes en mer ». En conséquence, il y installa, en 1689, un arc mural, et il y fit beaucoup d'observations. Toutefois Lemonnier dit qu'en 36 ans, à compter de 1683, on n'y recueillit que 1.200 observations lunaires, ce qui était peu.

Nous verrons que les voyages maritimes entrepris par les astronomes à d'autres fins que les observations de la Lune pour la longitude ont été généralement un stimulant très vif pour ces sortes d'observations. Les longues et monotones traversées d'alors leur fournissaient des occasions excellentes pour essayer des méthodes et méditer sur le problème. Le premier exemple en fut donné par Halley. On l'envoya à l'île Sainte-Hélène, en 1676, à l'âge de 20 ans, pour y dresser un catalogue d'étoiles australes. Il mit trois mois à s'y rendre et c'est sans doute à ce moment qu'il commença à réfléchir sur les méthodes par la Lune. Il fut toujours d'ailleurs partisan des distances lunaires et, pour lever l'objection capitale qui consistait à faire remarquer qu'on n'avait pas d'instrument d'observation, il proposa d'abord l'usage des occultations pour lesquelles on n'a pas à faire de mesure angulaire.

Enfin, on sait que la loi de Newton fut révélée au monde savant en 1685.

Puis, en 1713, Newton donna sa théorie de la Lune dont il calcula les éléments au moyen des observations de Flamsteed. Lemonnier affirme que les erreurs tombèrent alors à 2 ou 3′; mais qu'elles allaient quelquefois encore à 5′, ce qui faisait 2°5 sur la longitude, quantité encore beaucoup trop forte.

Vers le même temps fut faite une tentative qui devait séduire plusieurs astronomes jusqu'au milieu du XVIII^e siècle, et qui, si elle ne donna pas des résultats conformes aux espérances fondées sur elle, eut pour heureuse conséquence de faire faire beaucoup d'observations lunaires. Halley avait une grande confiance dans le « Saros », période qu'il attribuait aux Chaldéens, dont la durée de 18 ans 11 jours sépare les mêmes éclipses, en ramenant à peu près la Lune et le Soleil à la même distance du nœud de l'orbite lunaire et le Soleil et la Lune aux mêmes distances de la Terre. Il en conclut trop hâtivement que les inégalités du mouvement de la Lune devaient se reproduire identiquement tous les 18 ans 11 jours et que, dès lors, si on observait cet astre pendant un saros, on pourrait connaître les erreurs des tables pendant le saros suivant par celles qui avaient été constatées dans le saros des observations. Il avait succédé à Flamsteed, en 1720, comme directeur de l'observatoire de Greenwich, et il entreprit, en 1722, à 66 ans, des observations dans le but indiqué ci-dessus. Il les continua jusqu'en 1740 annonçant, dès 1731 (un demi-saros après avoir commencé) que grâce à son procédé, on pouvait avoir la longitude à 1° près, ce qui revient à dire qu'il croyait donner la position de la Lune à 2′ près. Mais l'idée de Halley n'était pas exacte. Le Gentil prouva que, même pour les éclipses, elle ne donnait pas ce qu'il espérait et La Caille la jugea de même, la regardant « comme la dernière ressource d'une cause presque désespérée ». Enfin les recherches postérieures des géomètres démontrèrent son peu d'utilité. Pourtant, en 1732, Lemonnier commença, dans le même dessein que Halley, une série d'observations lunaires; et, s'il les interrompit, après avoir réuni 400 observations, pendant son séjour en Laponie, il les reprit à son retour et les publia en 1751. Enfin, Cassini III de Thury, né en 1714, se rangeant dans la même école, observa également la Lune de 1737 à 1755, période pendant laquelle il réunit 980 positions qu'il classa, pour plus de commodité, suivant les valeurs croissantes de l'anomalie moyenne; précaution inutile, car Delambre fit remarquer que les erreurs qui auraient résulté de leur emploi allaient à plusieurs minutes; et que, d'ailleurs, on n'avait presque jamais la correspondante exacte. Or Cassini avait les tables de Clairaut et de d'Alembert.

L'Académie de Saint-Pétersbourg avait proposé, pour sujet d'un prix de 1750, de déduire la théorie de la Lune du principe de Newton. Un mémoire de Clairaut fut couronné; mais Clairaut, dont La Caille pensait, en 1759 que, grâce à lui, il ne tenait presque plus à rien qu'on n'ait d'excellentes tables lunaires, n'avait pas réuni des observations suffisantes pour déterminer de bonnes valeurs des coefficients de ses formules et ses prédictions s'écartaient de 3 à 5′ des valeurs réelles, ainsi que cela résultait de cent comparaisons à des observations de Cassini et de Maraldi. Il perfectionna ses tables, il est vrai, en 1765 et il fit alors tomber leurs erreurs à 1′5; mais on avait mieux à cette époque, comme nous allons le voir bientôt.

En 1768, l'Académie des Sciences avait mis au concours le « perfectionnement des méthodes sur lesquelles est fondée la théorie de la Lune », la détermination « par ce moyen de celles des équations de ce satellite qui sont encore incertaines », enfin la question consistant à « examiner si on pouvait rendre raison, par cette théorie, de l'équation séculaire du mouvement » de ce petit astre. Euler et Lagrange prirent part au concours; et en 1772, trois pièces, deux d'Euler et une de Lagrange, avaient été envoyées. Ils y firent preuve de connaissances mathématiques profondes. Euler, qui avait déjà fait imprimer des tables en 1745 et en 1750, intitulait sa pièce de 1772 « Nouvelles recherches sur la Lune, où on détermine toutes les inégalités auxquelles son mouvement est assujetti », ce qui était exagéré. Quant à la pièce de Lagrange, elle contenait une étude générale du problème des trois corps, qu'il appliquait ensuite au cas particulier de la Lune.

Il était réservé à Tobie Mayer de donner enfin des résultats vraiment pratiques. Né en 1723, à Marbach, en Wurtemberg, où son père était inspecteur des eaux, il s'occupa d'abord avec succès de belles-lettres et traduisit en allemand une partie des *Métamorphoses* d'Ovide. Ce n'est qu'en 1746 qu'il se mit à l'étude de l'astronomie. Il devint professeur de mathématiques à Göttingen. Ses tables du Soleil et de la Lune parurent pour la première fois en 1753 dans les mémoires de Göttingen. Pour les construire, il rapportait la Lune à trois axes, posait les équations d'Euler et les développait par approximations. Ne demandant à la théorie que la forme des équations et consultant les observations beaucoup plus que ses prédécesseurs, il se servait de celles-ci pour déterminer les coefficients. Il n'avait du reste à sa disposition aucune collection de passages méridiens, et il ne put utiliser que 200 observations en s'attachant surtout aux éclipses de Soleil et aux occultations. Il s'était fait un catalogue d'étoiles zodiacales, ce qui lui montra que les positions qu'on en donnait alors étaient quelquefois erronées de 2′. Il adopta pour la parallaxe du Soleil la valeur de 11″5 et employa 14 équations pour la longitude de la Lune. En 1755, il adressa ses tables à l'Amirauté d'Angleterre « comme un des plus grands pas qu'on eût pu faire pour la découverte des longitudes et comme devant lui mériter une récompense aux termes de l'acte de la reine Anne », dit Lalande dans la *Connaissance des Temps* de 1767. Bradley les examina, les compara à 230 observations, et il attesta que jamais l'écart ne dépassait 1′5, et que sur cette quantité, une partie pouvait être attribuée à l'observation. La plupart, d'ailleurs, étaient exactes à moins de 1′. En continuant l'examen, Bradley annonça qu'après quelques légers changements, les écarts avec 1.200 observations nouvelles tombaient au-dessous de 1′. Mayer, de son côté, ne restait pas inactif, et lorsqu'il mourut bientôt après, en 1762, il laissait à sa veuve deux exemplaires de tables nouvelles. Celle-ci envoya d'abord l'un d'eux au Bureau des Longitudes qui lui donna une récompense de 3.000 livres, en attribuant aussi 300 livres à Euler. Maskelyne était occupé à améliorer les données de ce manuscrit lorsqu'il reçut le second qui était encore plus complet et où Mayer rapportait 41 éclipses ou occultations dans lesquelles les erreurs de ses tables n'étaient que d'un petit nombre de secondes. Le Bureau ordonna de délivrer de nouveau 2.000 livres à sa veuve et il décida la publication des tables. Elles parurent en 1770 et furent aussitôt adoptées par tous les astronomes. Maskelyne, chargé de l'édition, s'aperçut qu'on pouvait les améliorer aisément au moyen des observations de Bradley. Celles-ci devaient en effet permettre de déterminer des valeurs des coefficients plus exactes que celles de Mayer et d'ajouter aux équations que celui-ci avait retenues quelques équations nouvelles qu'il avait indiquées, mais dont il n'avait pu déterminer les coefficients faute de recueil suffisant à sa disposition. Il chargea Mason de ce travail et cet astronome donna deux éditions des tables améliorées, l'une en 1780 et l'autre l'année de sa mort, en 1787. Maskelyne crut pouvoir assurer alors que les écarts ne dépassaient pas 30″. Lalande, en 1792, écrivait que Mason fut désespéré de ne pas recevoir un gros prix du Bureau des Longitudes, mais Delambre douta d'une telle prétention. Ainsi on aboutissait de ce côté en même temps que par les montres.

Mais l'exactitude des tables de Mayer ne devait pas se maintenir très longtemps. C'était, au bout d'un temps plus ou moins long, le sort commun à toutes les tables de la Lune. Mayer avait employé un mouvement du Soleil trop fort de 25″ par siècle et

Mason, qui avait à peine corrigé les époques, ne toucha pas aux mouvements moyens, déterminés par Mayer au moyen des éclipses. Toujours est-il que l'erreur moyenne des tables de Mayer et Mason était devenue égale à 64″ en 1803, alors qu'elle n'était que de 2″ en 1792. D'autre part, Laplace avait grandement perfectionné la théorie de la Lune ; et, en 1786, il avait enfin découvert, dans la variation séculaire de l'excentricié de l'orbite terrestre, la cause et la loi de l'accélération séculaire du mouvement moyen de la Lune (1) et des équations analogues relatives au périgée et au nœud de son orbite. L'Institut, pour tirer profit de ces découvertes, fit faire un nouveau pas à la question en proposant, en 1798, pour prix de 1800, de « déterminer par 500 observations les plus modernes et les meilleures les époques de la longitude moyenne, de l'apogée et du nœud de la Lune » et de donner à la fin du calcul les arguments des principales inégalités de cet astre. Deux pièces furent envoyées ; l'une, écrite en latin, était d'un Viennois du nom de Burg, l'autre de Bouvard. Chacune des pièces contenait plus de 1.500 observations calculées et comparées aux tables et elles utilisaient les nouvelles équations de Laplace dont elles prouvaient l'exactitude. Burg se servait de 1.320 observations calculées de Maskelyne et d'autres de Flamsteed. Celles de Bouvard provenaient d'un plus grand nombre de sources. Il en avait retenu 680 seulement de Maskelyne, mais il en avait pris aussi à Flamsteed, Bradley, La Caille, d'Agelet et Lahire et avait contrôlé quelques-uns de ses résultats en remontant aux données laissées par les Chaldéens, les Grecs et les Arabes.

La commission chargée d'examiner les travaux des deux concurrents ne put choisir. Elle arrêta que les deux pièces partageraient le prix. Bonaparte, Premier Consul, présidait la séance de lecture du rapport, et l'un des membres de la commission ayant proposé de doubler le prix, le Premier Consul y acquiesça et il fut suivi de tout le monde. Chaque concurrent reçut 3.400 francs. Mais Laplace jugeant que Burg, qui n'avait pu

(1) On sait qu'en réalité, sur un coefficient de 12″ environ cet effet ne donne que 7″ à peu près ; qu'il faut attribuer les 5″ restantes sans doute à l'augmentation de la durée du jour sidéral due à l'effet retardateur des marées sur la rotation de la Terre.

utiliser tous ses matériaux, faute de temps pour le faire, n'était pas assez récompensé, et désirant, d'autre part, l'encourager à poursuivre son travail, fit proposer, en juin 1800, par le « Bureau des Longitudes », un nouveau prix dont le sujet était de « discuter et établir les valeurs des coefficients des inégalités de la Lune, de donner pour sa longitude, sa latitude et sa parallaxe des formules plus exactes que les formules, actuelles et de construire des tables sur ces formules ». Le prix était de 6.000 francs, dont une moitié devait être fournie par le Ministère de la Marine, l'autre moitié par le Ministère de l'Intérieur. Burg y répondit par un nouveau travail qu'il envoya dès le commencement de janvier 1801.

Ses nouvelles tables furent fondées sur une série de plus de 3.200 observations faites à Greenwich, sous la direction de Maskelyne, entre 1765 et 1793. Pour les établir, l'auteur avait formé une équation de condition pour chaque observation; équations dont la somme générale avait fait disparaître les erreurs variables, mais avait conservé une erreur constante. C'est par ce moyen qu'il avait corrigé l'époque de 1779, et il croyait, disait-il, que la longitude de la Lune pour cette date était dès lors un des éléments les plus sûrs de toute l'astronomie. Près de 1.300 observations pouvaient donner l'anomalie moyenne pour cette même année 1779. Pour déterminer une inégalité donnée, Burg retenait les équations les plus propres à ce but; et il en a réuni de 900 à 1.200 pour chacun des coefficients à déterminer. Il n'y en a qu'un seul pour lequel il n'a pu utiliser que 688 observations. Enfin il a fait une deuxième approximation C'est ainsi qu'il parvint à donner les latitudes exactes à 10″ près. Le mouvement moyen supposé par Mayer et conservé par Mason était trop grand. Par 200 observations de Flamsteed l'auteur trouva qu'il fallait le diminuer de 27″6 par siècle. Enfin, profitant d'un séjour qu'il fit à l'observatoire de Seeberg, près de Gotha, Burg compara ses observations au ciel.

Pour la longitude, Burg ajouta 6 nouvelles équations aux 22 équations retenues par Mason qui en avait ajouté 8 à celles de Mayer, ce qui porta leur nombre à 28. La somme des 6 dernières ne pouvait d'ailleurs pas produire une erreur de plus de 1′.

Pour la latitude, il avait 12 équations. Le Bureau des Longitudes compara les tables à 113 observations de Greenwich et de Paris, il trouva qu'il y avait concordance exacte pour la longitude moyenne de 1801. Le 25 juillet 1802 Laplace, Lagrange, Méchain et Delambre firent au Premier Consul leur rapport sur ce second travail de Burg. Ils lui rappelèrent qu'il avait fait doubler le premier prix et Bonaparte doubla aussitôt le second. Après ce nouveau succès le ministre Chaptal essaya de fixer Burg à Paris, en lui offrant une pension de 3.000 livres, mais « le digne astronome préféra son pays avec moins d'avantages ». Grâce à ce deuxième prix, « on pouvait admettre, dit la *Connaissance des Temps* de 1805 (an XII), que cette partie, dont on s'occupait depuis plus de cent ans, était terminée de la manière la plus satisfaisante ». Les erreurs tombaient à des valeurs inférieures à 15 ou 20″ et l'erreur moyenne était de 10″. Elles se trouvaient ainsi environ trois fois plus exactes que les tables de Mayer, et 60 fois plus que celles de Street. On les communiqua à Maskelyne avant l'impression.

Une grosse difficulté avait été d'expliquer les anomalies restantes du mouvement moyen. Celui de Flamsteed, à la fin du XVII[e] siècle, ne pouvait s'accorder avec celui de la fin du XVIII[e]. Mais, le 26 janvier 1802, Laplace annonçait qu'il avait découvert une équation allant à 16″, dont la période était de 185 ans, qui pourrait faire disparaître la discordance en question.

Cependant on n'arrivait jamais au bout de ce problème (on y arrive à peine). En 1811 Burkhardt, au moyen de 4.000 observations, avait construit de nouvelles tables, plus exactes que celles de Burg. Il employait 32 équations pour la longitude et

		BURG	BURKHARDT
Somme des carrés des écarts en longitude.	Par 167 observations de Greenwich et de Paris...	7083″	4602″
	Par 137 observations de Paris et de l'École Militaire.	6439″	4182″
Correction de l'époque de 1804, 5		+ 0″,18	+ 0″,1
— — 1811		+ 1″,4	— 0″,1

12 pour la latitude. Il les présenta en décembre à l'Institut et au Bureau des Longitudes. Pour les apprécier, on choisit des observations distribuées sur les différents points de l'orbite lunaire et on compara les nombres de Burg et de Burkhardt. D'après les indications de Laplace, on fit la somme des carrés des résidus. Les résultats de cette épreuve sont consignés dans le tableau ci-dessus.

Et les tables de Burkhardt servirent à la *Connaissance des Temps* de 1817 à 1861 pour faire place à celles de Hansen à partir de 1862. Ajoutons enfin que vers 1820, Plana, Carlini, Damoiseau avaient donné pour les mouvements moyens des valeurs encore meilleures que celles que l'on avait alors; enfin qu'avec les tables de Burkhardt les erreurs sur le calcul des instants des contacts des éclipses tombaient en 1842 à $0^m,8$ pour le premier contact, $0^m,6$ pour le dernier; tandis qu'on avait respectivement $1^m,5$ et $4^m,7$ par La Hire en 1706, et $53^m,3$ et $35^m,3$ en 1699 par les tables Rudolphines de Képler.