

DU SAROS

On sait qu'on nomme *saros* un intervalle de temps égal à 223 lunaisons au terme duquel les éclipses de Soleil et de Lune reviennent dans le même ordre, chacune reproduisant assez exactement les caractères de l'homologue qui l'a précédée. La plupart des ouvrages d'enseignement élémentaire et de vulgarisation font mention de cette périodicité et l'expliquent en montrant que la durée de 223 révolutions synodiques S contient presque exactement un nombre entier de révolutions draconitiques D de la Lune, et que par conséquent, le Soleil, la Lune et les nœuds de son orbite doivent se retrouver à peu près dans les mêmes positions relatives. On a ⁽¹⁾ :

$$1 \text{ saros} = 223 S = 6 \text{ 585 jours, } 321 \text{ 2} \quad [1]$$

$$\frac{1 \text{ saros}}{D} = 241,998 \text{ 68} = 242 - 0,001 \text{ 32} \quad [2]$$

Si le saros n'avait d'autres propriétés que celles qui sont contenues dans la définition ci-dessus rappelée, il ne vaudrait pas qu'on en parle, car il ramènerait très irrégulièrement les éclipses. Voici pourquoi. La définition réside dans une relation entre les *moyens mouvements* en longitude du Soleil, de la Lune et du nœud, c'est-à-dire entre leurs vitesses angulaires supposées uniformes ; or ces astres et ce point oscillent périodiquement autour de leur position moyenne avec une amplitude qui atteint, de chaque côté, près de 2° pour le Soleil, environ 7° 1/2 pour la Lune et 1° 1/2 pour le nœud. A l'instant assigné pour une syzygie par la considération des moyens mouvements, les astres pourraient se trouver éloignés l'un de l'autre de plus de 9°, ce qui pourrait avancer ou retarder de quelque dix-huit heures l'instant de la conjonction ou de l'opposition réelle, et d'autre part rapprocher ou éloigner d'environ 4° le lieu de la syzygie du nœud. On voit que les *inégalités* des mouvements vrais sont assez grandes pour changer de façon importante les intervalles des éclipses et leurs caractères, et qu'elles pourraient rendre malaisément reconnaissable la suite des phénomènes.

En réalité, la périodicité des éclipses est d'une régularité remarquable ; c'est ce qui a permis la découverte du saros en des temps très anciens, et fait qu'on a utilisé ses propriétés à l'époque moderne, de Halley et Le Monnier à Newcomb, pour diverses recherches. L'intérêt du saros résulte de deux propriétés entièrement étrangères à sa définition et dues à deux coïncidences fortuites : sa durée renferme à peu près un nombre entier d'années anomalistiques a et aussi de révolutions anomalistiques A de la Lune :

$$\frac{1 \text{ saros}}{a} = 18,029 \text{ 149} \quad [3]$$

$$\frac{1 \text{ saros}}{A} = 238,992 \text{ 13} = 239 - 0,007 \text{ 87} \quad [4]$$

Les principales inégalités du Soleil et de la Lune étant liées à leurs anomalies (ou distances angulaires des astres à leurs périégées), il s'ensuit que le

⁽¹⁾ S. NEWCOMB, *On the recurrence of solar eclipses. Astron. papers*, vol. I, p. 7 (1882).

1940IAstr...54...3C

saros se trouve être une période de restitution approchée de ces inégalités (1). Dès lors, les phénomènes simples prévus par la considération des moyens mouvements ne doivent être altérés que par de faibles variations résiduelles des inégalités. Peut-être aimera-t-on trouver ici, en un exposé élémentaire, quelques détails sur cette curiosité naturelle.

* * *

Moyens mouvements. — Soit (fig. 1) γ le point vernal, γE l'écliptique ; nous supposons qu'à l'instant zéro le Soleil S et la Lune L , coïncident avec le nœud ascendant Ω de l'orbite lunaire Ωm . Cherchons leurs positions S', L' et Ω' au bout de un saros ; pour cela multiplions par la durée du saros les moyens mouvements tropiques du Soleil et de la Lune ; nous trouvons les accroissements de longitude suivants :

$$\begin{array}{l} \text{pour le Soleil, } SS' = 18 \text{ circonférences} + 10^{\circ}48',2 \\ \text{pour la Lune, } \quad 241 \quad \quad \quad \quad \quad + 10^{\circ}48',2 \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{pour le Soleil, } SS' = 18 \text{ circonférences} + 10^{\circ}48',2 \\ \text{pour la Lune, } \quad 241 \quad \quad \quad \quad \quad + 10^{\circ}48',2 \end{array}} \right\} [1 \text{ bis}]$$

L'argument de la latitude de la Lune s'est accru de :

$$\Omega'L' = 242 \text{ circonférences} - 28',6 \quad [2 \text{ bis}]$$

Connaissant l'inclinaison i qui vaut comme nous le verrons $5^{\circ}18'$, nous tirons immédiatement la distance du Soleil au nœud, $\Omega'S' = -28',5$, et la latitude de la Lune $S'L' = -2',64$. Les conjonctions homologues successives

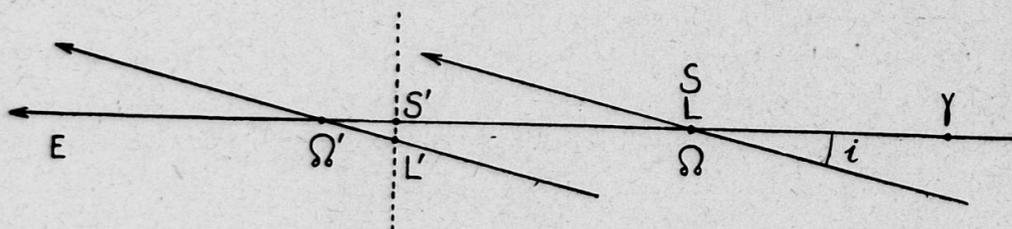


Fig. 1.

s'éloignent donc progressivement du nœud vers l'ouest, et à chacune la Lune s'est déplacée vers le sud de 1 : 12 environ, en moyenne, de son diamètre apparent. La même figure s'applique aux éclipses de Lune : il suffit de convenir que S et S' y représentent dans ce cas les positions successives du centre de l'ombre de la Terre. Il est évident que si on avait considéré le nœud descendant de l'orbite, après un saros la Lune aurait au contraire marché vers le nord

(1) Lorsqu'on poursuit la réduction de la fraction continue qui représente $S : D$ au delà du terme correspondant au saros, on trouve la période :

$$716 S = 777 D \text{ environ} = 21\,144 \text{ jours environ}$$

qui est beaucoup plus exacte que le saros, mais ne possède pas ses propriétés. On a en effet :

$$716 S = 57,887 a = 767,347 A ;$$

on voit que les anomalies du Soleil et de la Lune sont loin d'être restituées.

de 2',64. Dans l'un et l'autre cas, nous sommes en mesure de prévoir le sens des changements d'aspect qui doivent se produire progressivement dans une suite d'éclipses homologues ; deux exemples en sont donnés plus loin.

Comparons maintenant la durée du saros à celle de la révolution sidérale T de la Lune :

$$\frac{1 \text{ saros}}{T} = 241,029 \ 314 ;$$

dans l'intervalle considéré, la Lune parcourt sur la sphère étoilée :

$$241 \text{ circonférences} + 10^{\circ}33',2.$$

Une éclipse de Lune se voit donc à l'est des étoiles près desquelles on a observé son homologue antérieure ; à sa 34^e apparition, le phénomène a fait le tour du ciel.

Il reste à considérer les conditions de l'observation faite à la surface de la Terre. La durée du saros excède de 15^{jours},3212 celle de 18 années communes ; dans cet intervalle le calendrier grégorien place soit 3, soit 4, soit 5 jours intercalaires. Une éclipse doit donc reparaître dans nos almanachs après 18 ans, 12, 11 ou 10 jours, selon le cas, plus 7^h42^m,5 en moyenne. On voit que si telle syzygie écliptique a lieu au passage de la Lune au méridien de Greenwich, ce sera ensuite au méridien de longitude ouest 116° environ. Qu'un observateur sédentaire doive attendre la durée de trois saros pour voir reparaître une éclipse de Lune à peu près à la même heure locale, cette remarque n'est pas nouvelle. Dans l'*Introduction aux Phénomènes* de Géminus ⁽¹⁾, écrite vraisemblablement quelque soixante-quinze ans avant notre ère, qui est l'un des plus anciens traités d'astronomie dont le texte nous soit parvenu, il est question d'une période de 669 mois, soit 19 756 jours ; l'auteur l'appelle $\xi\epsilon\lambda\gamma\mu\omicron\varsigma$ (évolution) ; il la considère comme une « donnée des temps anciens » et nomme, à ce propos, les Chaldéens.

Inégalités de la longitude du nœud et de l'inclinaison. — Nous examinerons en premier lieu les inégalités qui affectent la position du plan de l'orbite lunaire, parce qu'elles sont liées seulement aux éléments qui entrent dans la définition proprement dite du saros, c'est-à-dire les relations [1] et [2].

La rétrogradation des nœuds de la Lune, dont la révolution tropique dure 6 798 jours, est loin d'être uniforme : tantôt les nœuds sont stationnaires, tantôt ils se déplacent avec une vitesse double de leur vitesse moyenne ; simultanément l'inclinaison de l'orbite sur l'écliptique, qui vaut en moyenne 5°09', varie de 5°00' à 5°18'. L'ensemble de ces phénomènes constitue la nutation de l'orbite lunaire ⁽²⁾ ; il est lié au mouvement relatif du Soleil et des nœuds et sa

⁽¹⁾ Traduction de HALMA ; à la suite de la Chronologie (*Table des Rois*) de Ptolémée. Paris, 1819, p. 76.

⁽²⁾ La description qui en est rappelée ici est à dessin simplifiée et réduite aux seuls faits importants pour l'étude des éclipses.

période est l'intervalle de temps que le Soleil, parti d'un nœud de la Lune, met à rejoindre l'autre, soit 173^{jours},31. On constate que la longitude du nœud d'une part, et l'inclinaison d'autre part, ont des valeurs stationnaires lorsque le Soleil passe en conjonction avec l'un des nœuds ; résultat qu'on devait intuitivement prévoir en se rappelant que la rétrogradation des nœuds et la nutation de l'orbite sont dues à la composante de la force perturbatrice exercée par le Soleil perpendiculaire au plan de l'orbite ; cette composante s'annule quand le Soleil est dans le plan de l'orbite, et en conséquence celui-ci est momentanément immobile. Il faut ajouter que, à ce moment, la longitude vraie du nœud stationnaire est égale à sa longitude moyenne, et que l'inclinaison présente alors sa valeur maxima ; au contraire, lors des quadratures du Soleil avec les nœuds, ceux-ci rétrogradent avec leur plus grande vitesse, et l'inclinaison de l'orbite est minima.

Pour qu'une syzygie donne lieu à une éclipse, le Soleil doit être près d'un nœud ; en conséquence, nous devons ici considérer seulement le moyen mouvement des nœuds, et prendre constamment pour l'inclinaison i de l'orbite la valeur maxima, 5°18'. C'est donc à tort que presque tous les manuels élémentaires présentent à leurs lecteurs des calculs numériques sur les limites en longitude des éclipses où figure la valeur moyenne de l'inclinaison.

* * *

Inégalités de la longitude du Soleil et de la Lune.— La plus importante des inégalités du mouvement en longitude du Soleil et de la Lune est celle qui résulte de la seconde loi de Képler, l'équation du centre. Trois mois après son passage au périhélie, c'est-à-dire aux premiers jours d'avril, le Soleil se trouve à l'est de la position qu'il occuperait si sa vitesse angulaire était constante, d'une quantité presque égale à quatre fois son diamètre apparent ; l'écart est opposé au début d'octobre. En général, sa longitude vraie est égale à sa longitude moyenne augmentée de la correction (approximative)

$$+ 1^{\circ}55',2 \sin x + 1',2 \sin 2x \dots$$

où x est l'anomalie moyenne du Soleil, c'est-à-dire sa distance angulaire au périhélie supposée proportionnelle au temps t écoulé depuis le passage au périhélie :

$$x = 360^{\circ} \frac{t}{a}.$$

On déduit de la relation [3] que l'angle x croît en un saros de :

$$+ 18 \text{ circonférences} + 10^{\circ}29',7; \quad [3 \text{ bis}]$$

par conséquent, ce temps écoulé, l'équation du centre a varié de :

$$+ 1^{\circ}55',2 [\sin (x + 10^{\circ}29',7) - \sin x] + 1',2 [\sin 2(x + 10^{\circ}29',7) - \sin 2x] \dots;$$

achevant le calcul et tenant compte de [1 bis], nous voyons que la longitude vraie l_0 du Soleil s'est accrue, dans l'intervalle de :

$$\Delta l_0 = 10^{\circ}48',2 + 21',0 \cos x - 1',9 \sin x + 0',4 \cos 2x \dots$$

en négligeant un nombre entier de circonférences.

Le mouvement de la Lune en longitude exige pour être représenté avec la précision d'une minute d'arc l'introduction d'une vingtaine de termes périodiques ; nous écrirons seulement ceux auxquels leur importance a fait donner des noms. Appelons γ l'anomalie moyenne de la Lune, L sa longitude moyenne et l celle du Soleil, D la différence $L - l$, enfin z la distance de la Lune au nœud ascendant de son orbite, ou argument de la latitude. La longitude vraie de la Lune L_v surpasse sa longitude moyenne des quantités suivantes (Tables de Damoiseau, nombres arrondis) :

équation du centre	+ 6°17' sin γ + 13' sin 2 γ + ...
évection	+ 1°16' sin (2D - γ)...
inégalité parallactique	- 2' sin D
variation	+ 39' sin 2 D
équation annuelle	- 11' sin x
réduction à l'écliptique	- 7' sin 2 z

Nous allons examiner brièvement les changements que subissent ces termes correctifs après un saros écoulé.

On remarque immédiatement que l'inégalité parallactique et la variation, qui ont respectivement pour périodes la lunaison et sa moitié, sont, après un saros, rigoureusement restituées et d'ailleurs sont nulles en syzygie. La restitution de l'argument de la latitude est si près d'être parfaite [2 bis] que nous pouvons négliger ici le petit terme qui représente la variation en un saros de la réduction à l'écliptique.

L'équation annuelle a précisément la même forme que l'équation du centre pour le Soleil. Dans la première moitié de l'année anomalistique, tandis que le Soleil est à l'est de son lieu moyen, l'équation annuelle rejette la Lune à l'ouest du sien ; le mode de calcul déjà indiqué donne la variation de cette inégalité en un saros :

$$- 2',1 \cos x.$$

A l'instant d'une syzygie, l'angle D est nul ou égal à deux droits par définition et l'argument de l'évection se réduit à l'anomalie changée de signe : $-\gamma$. L'évection prend donc, dans les éclipses la même forme que l'équation du centre et s'en retranche.

L'équation du centre est beaucoup plus grande pour la Lune que pour le Soleil, mais la restitution de l'anomalie après un saros est plus près d'être exacte ; l'écart est d'ailleurs de sens opposé : en effet nous voyons par [4] que l'anomalie de la Lune a crû de :

$$+ 239 \text{ circonférences} - 20'50'. \quad [4 \text{ bis}]$$

Opérant comme plus haut, nous déduirons le terme qui représente l'accroissement en un saros de l'équation du centre diminuée de l'évection,

$$- 14',9 \cos \gamma - 1',2 \cos 2 \gamma.$$

La constante [1 bis], augmentée des termes périodiques que nous venons de trouver, nous donne l'accroissement de la longitude vraie L_v de la Lune :

$$\Delta L_v = + 10^{\circ}48',2 - 2',1 \cos x - 14',9 \cos \gamma - 1',2 \cos 2 \gamma...$$

La différence $\Delta l_1 - \Delta l_2$ représente la distance des astres vrais, à l'instant de la conjonction des astres moyens, à la fin du saros. On en déduira l'excès de l'intervalle de temps qui sépare deux éclipses sur la durée d'un saros, connaissant les vitesses angulaires vraies de la Lune et du Soleil. Supposons les deux astres voisins de leurs périhélie respectifs : dans ce cas extrême, le Soleil vrai se trouve à $21',4$ à l'est, et la Lune à $18',2$ à l'ouest du point de conjonction moyenne ; cette distance de $39',6$ est parcourue par la Lune avec une vitesse relative qui vaut alors $34',0$ par heure : la seconde éclipse retarde donc de $1^h 10^m$. On voit immédiatement que le point de conjonction vraie est reporté de $24',3$ à l'est du point de conjonction moyen ; au lieu de s'éloigner du nœud vers l'ouest (fig. 1) de $28',5$, il s'en éloigne seulement de $4',2$ et la latitude de la Lune éclipsée ne varie que de $0',4$. Nous retiendrons que les éclipses qui arrivent près des périhélie du Soleil et de la Lune sont plus espacées dans le temps, et que leurs lieux sont plus resserrés dans le ciel que ne le comporte leur distribution moyenne, et que dans ce cas il ne doit y avoir, d'une éclipse à l'autre, qu'un très petit changement d'aspect. L'inverse a lieu si la Lune et le Soleil sont au contraire tous deux près de leurs apogées. A l'instant de la conjonction moyenne, le Soleil est à $20',6$ à l'ouest, la Lune $15',8$ à l'est du lieu moyen ; comme la vitesse relative est seulement alors de $26',9$ à l'heure, la conjonction vraie s'est produite $1^h 21^m$ en avance et à $23',8$ à l'ouest, de telle sorte que le déplacement du point de conjonction par rapport au nœud est de $52',3$ et que la variation de la latitude de la Lune éclipsée atteint $4',8$ dans ce cas extrême.

Les éclipses se produisant en tout point des orbites, on peut calculer et aisément vérifier dans les catalogues que l'écart moyen des intervalles des éclipses homologues est ± 35 minutes.

Le lecteur pourra rechercher semblablement de combien changent en un saros les diamètres apparents et les parallaxes ; il trouvera les accroissements suivants :

du demi-diamètre apparent du Soleil	— $2'',9 \sin x$,
du demi-diamètre apparent de la Lune	+ $2'',5 \sin y$,
de la parallaxe de la Lune	+ $9'',3 \sin y$,

qui sont petits et ne peuvent entraîner d'une éclipse à la suivante qu'un changement d'aspect bien léger.

* * *

Evolution d'une suite d'éclipses homologues. Exemples. — Pour plus de clarté, rappelons d'abord que les éclipses se classent en deux catégories correspondant aux deux cônes tangents communs à deux sphères. La première, qui est relative au cône tangent commun intérieur, comprend les éclipses partielles de Soleil et les éclipses de Lune par la pénombre ; la seconde, qui correspond au cône tangent commun extérieur, renferme les éclipses centrales de Soleil et les éclipses de Lune par l'ombre. Il se trouve que les limites angulaires qui déterminent la possibilité des deux espèces d'éclipses d'une même catégorie sont à peu près les mêmes ; cela vient de ce que les diamètres apparents du

Soleil et de la Lune sont peu différents, et d'autre part, de ce que la parallaxe du Soleil est un angle très petit.

Les éclipses centrales de Soleil sont ou annulaires ou totales. Il faut mentionner qu'il arrive que l'une des régions polaires de la Terre pénètre dans l'une des nappes du cône d'ombre de la Lune sans atteindre son axe ; il en résulte, pour ces régions, une éclipse annulaire ou totale qui n'est pas une éclipse centrale ; ces phénomènes très rares sont arbitrairement comptés au nombre des éclipses centrales dans les statistiques qu'on trouvera plus loin. En général, les catalogues ne mentionnent pas les éclipses de Lune par la pénombre car elles n'attirent pas l'attention ; mais les exposés pédagogiques qui n'omettent pas d'en faire état y gagnent en symétrie et en clarté (1).

Enfin, la Lune peut entrer tout entière dans l'ombre de la Terre. Ce fait est sans réciproque ; les éclipses totales de Lune forment donc à elles seules une troisième catégorie à laquelle correspondent des limites beaucoup plus étroites que celles des deux précédentes.

Cela rappelé, une éclipse quelconque étant donnée, on peut rechercher dans un catalogue les éclipses qui l'ont précédée et suivie, de saros en saros, jusqu'à ce qu'on trouve des syzygies sans éclipses. Nous appellerons *suite d'éclipses* la liste limitée ainsi dressée. Chaque suite commence par une dizaine ou une quinzaine d'éclipses au cône de pénombre ; puis suit une cinquantaine d'éclipses par l'ombre ; s'il s'agit d'éclipses de Lune, une vingtaine de celles-ci sont totales ; la suite s'achève comme elle a commencé par des éclipses de première catégorie. Le tableau suivant indique le contenu moyen des suites ; les nombres relatifs à une suite donnée peuvent s'écarter largement des nombres moyens.

TABLEAU I. — SUITE D'ÉCLIPSES (NOMBRES MOYENS).

ÉCLIPSES	DE SOLEIL	DE LUNE
des catégories 1, 2, 3	au moins partielles, 74	au moins par la pénombre, 75
des catégories 2, 3	centrales, 48	par l'ombre, 48
de la catégorie 3	—	totales, 22

Des 48 éclipses centrales de soleil, en moyenne 24 sont annulaires ; 3 sont annulaires sur une partie de la ligne de centralité et totales pour l'autre partie : 21 sont totales pour toute la ligne de centralité.

Voici, à titre d'exemple, une suite d'éclipses de Lune au nœud descendant (le Soleil au nœud ascendant), relevée dans un catalogue classique (2). La suite entière s'étend du VIII^e au XXIV^e siècle de notre ère, mais nous laissons de côté les éclipses par la pénombre. Le nord du limbe lunaire a pénétré pour la première fois dans l'ombre le 6 juillet 1126 (vieux style) ; nous donnons le N^o 1 à

(1) G. BLUM. *Les éclipses de Lune par la pénombre et leurs relations avec les éclipses de Soleil et de Lune. L'Astronomie*, 40 (1926), p. 19.

(2) TH. VON OPPOLZER. *Canon der Finsternisse*. Vienne, 1887.

celle éclipse partielle. L'éclipse N° 10 du 11 octobre 1288 (v. s.) était la première des éclipses totales ; la plus longue fut l'éclipse N° 29 du 15 mai 1631, et la dernière de cette catégorie fut celle du 20 juillet 1739, N° 35. On trouvera dans *L'Astronomie*, t. 33, p. 523 la photographie de l'éclipse N° 45, partielle, du 7 novembre 1919 : c'est le bord sud de la Lune qui maintenant pénètre dans l'ombre. L'éclipse suivante était observable de l'Amérique, le 18 novembre 1937 ; la prochaine, N° 47, arrivera le 29 novembre 1955. La Lune effleurera l'ombre pour la dernière fois le 13 février 2082 (N° 54).

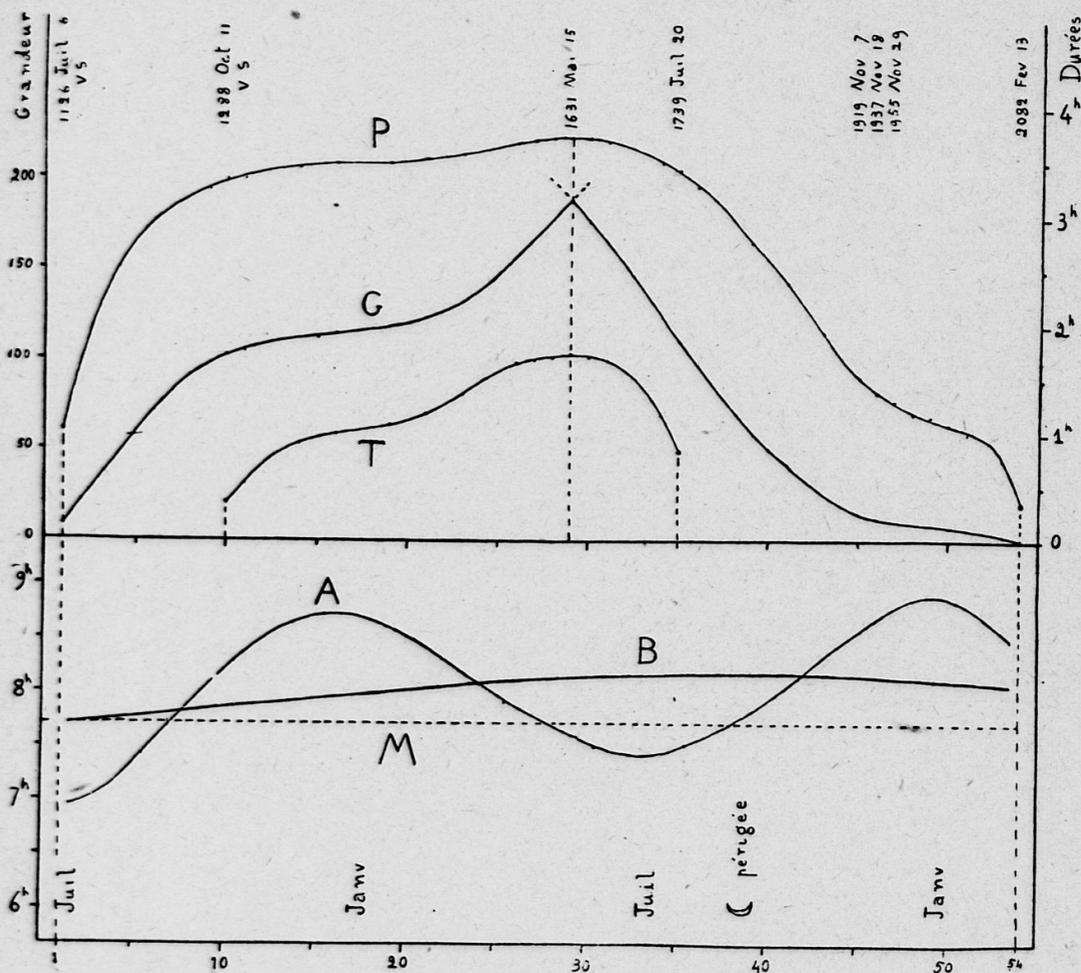


Fig. 2.

La figure 2 a été construite en portant en abscisses les numéros d'ordre des éclipses. Les ordonnées de la courbe G, comparées à l'échelle de gauche, indiquent la *grandeur* des éclipses en centièmes du diamètre apparent de la Lune ; cette courbe présente un point anguleux pour la plus grande éclipse, car la grandeur G mesure d'abord la pénétration du bord nord de la Lune à l'intérieur de l'ombre, et ensuite celle du bord sud. Les courbes P et T, comparées à l'échelle de droite, indiquent respectivement la durée de l'éclipse et le temps pendant lequel elle est totale. On voit que d'une éclipse à la suivante le changement est petit ou que, s'il est notable, il se produit dans un sens immédiatement prévisible.

La courbe A représente de même graphiquement la variation de la quan-

tité dont l'intervalle de deux éclipses consécutives excède 6 585 jours, quantité qui en moyenne vaut $7^h 42^m,5$. On voit nettement que les éclipses qui arrivent en janvier, le Soleil étant au périégée, sont les plus espacées dans le temps, comme il a été expliqué. L'anomalie moyenne du Soleil croissant en un saros de $10^o 29',7$ [3 bis], cette circonstance se reproduit après un intervalle de $360^o : 10^o,495$ soit 34,3 saros ou 618 ans. Calculons les retards liés à l'anomalie α du Soleil qui est dû à l'équation du centre pour le Soleil et à l'équation annuelle de la Lune, et retranchons ces retards des ordonnées de la courbe observée A. Les différences sont représentées par la courbe B ; ses ordonnées, comparées à la ligne moyenne M, représentent la partie du retard qui est liée à l'anomalie γ de la Lune ; il passe par un maximum qui correspond au N^o 39 et vaut 28^m : en effet, la Lune éclipsée était alors presque exactement au périégée. Comme d'une éclipse à l'autre l'anomalie γ croît seulement de $-2^o 50'$, la variation du retard qui lui est lié est un effet à très longue période, $360^o : 2^o,83$, soit 127 saros ou près de 23 siècles. de beaucoup supérieure à la durée de la suite. Le fait que la plupart des éclipses sont ici proches du périégée lunaire, joint à une remarque faite plus haut, explique que cette suite soit notablement plus longue que la moyenne : 54 éclipses au lieu de 48, dont 26 totales au lieu de 22. Notons encore que la grandeur et la durée des éclipses n'éprouvent que de faibles variations des N^{os} 13 à 20 et 45 à 52, comme il doit arriver lorsque les éclipses présentent leur plus fort excès d'espacement dans le temps.

Le second exemple est une suite d'éclipses de Soleil. Dans la partie de cette suite qui est contemporaine de la précédente, chaque éclipse succède avec un intervalle de 17,5 lunaisons, soit 19,0 révolutions draconitiques environ, à l'une des éclipses de Lune précédemment considérées. Ces éclipses de Soleil étant au nœud descendant, les premières de la suite ont été observables du pôle sud de la Terre, les dernières le seront du pôle nord.

SUITE D'ÉCLIPSES DE SOLEIL

8	}	1	partielle	24 mai 803 (v. s.)	
		8	partielle	7 août 929 (v. s.)	
56	}	9	totale	18 août 947 (v. s.)	Continent antarctique.
		27	totale	1 mars 1272 (v. s.)	Madagascar.
		48	totale	25 octobre 1650	Chine.
		49	A — T	4 novembre 1668	Maroc.
8	}	50	A — T	15 novembre 1686	Pacifique est.
		51	A — T	27 novembre 1704	Birmanie.
		52	annulaire	8 décembre 1722	Iles du Cap Vert.
		53	annulaire	18 décembre 1740	Iles Hawai.
8	}	63	annulaire	8 avril 1921	Mer de Barentz.
		64	annulaire	19 avril 1939	Pôle nord.
		65	(A)	29 avril 1957	
		66	partielle	11 mai 1975	
8	}	72	partielle	14 juillet 2083	

A — T, totale pour une partie seulement de la ligne de centralité, annulaire pour le reste.
 (A), annulaire non centrale.

On voit que les éclipses centrales sont ici d'abord des éclipses totales, puis des éclipses annulaires. Cette observation s'explique si l'on calcule l'anomalie de la Lune éclipsée ; on trouve que c'est durant l'éclipse N° 27 que la Lune était le plus près du périégée, et avait donc son plus grand diamètre apparent. Une vingtaine d'éclipses avant celle-là et autant après sont totales ; lorsque la Lune est plus loin du périégée, les éclipses sont annulaires. D'autre part, le voisinage du périégée explique que le nombre des éclipses de la seconde catégorie soit, comme dans l'exemple précédent, supérieur à la moyenne : 56 au lieu de 48.

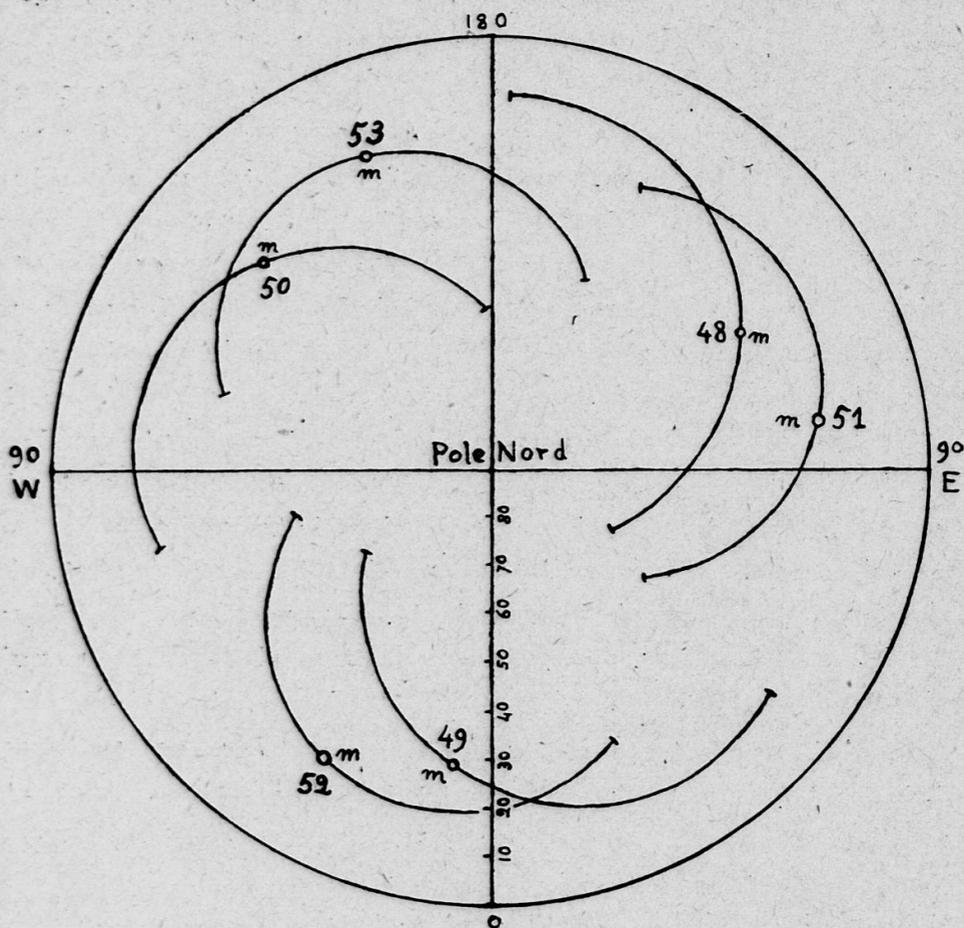


Fig. 3.

La figure 3 représente l'hémisphère nord de la Terre ; on y a reporté les lignes de centralité (sommairement déterminées par trois points) pour les éclipses N°s 48 à 53 de la suite : on voit l'étroite parenté de ces courbes. Les points *m* marquent les lieux où le milieu de l'éclipse coïncidait avec le passage du Soleil au méridien. Comme la Lune et le Soleil sont assez près de leurs périégées, les intervalles de ces éclipses sont tous un peu plus longs que le saros ; en conséquence l'accroissement de la longitude du point *m*, d'une éclipse à la suivante, est supérieur à la moyenne, et même à 120° . D'autre part, la comparaison des latitudes de ces points montre un déplacement vers le Sud, de sens contraire à la marche générale de l'éclipse vers le nord. Les éclipses comparées ont été choisies précisément pour donner l'occasion d'observer cette fluctuation de

latitude, propre aux éclipses de Soleil, dont l'origine saisonnière est évidente si l'on note les dates des éclipses, qui vont d'octobre à décembre.

* * *

Groupes d'éclipses. — On est amené à dresser la liste des éclipses survenues durant un saros, en vue de prédire leur retour. Nous appellerons *groupe d'éclipses* le contenu d'une telle liste. Combien un groupe contient-il d'éclipses de chaque type ? C'est un fait que certains manuels indiquent des chiffres inexacts, voire largement erronés.

Il n'est pas inutile de rappeler que le calcul des circonstances d'une éclipse comporte un certain degré d'empirisme : il est d'usage d'y introduire des valeurs des diamètres apparents du Soleil et de la Lune un peu plus petites que celles qui résultent des mesures directes, et de majorer notablement la valeur trouvée pour les diamètres de l'ombre et de la pénombre de la Terre. D'autre part, rechercher le nombre moyen des éclipses d'un saros revient à déterminer la probabilité qu'a une syzygie d'amener une éclipse, ce qui ne peut résulter d'un calcul élémentaire. Pour ces deux raisons, nous nous contenterons d'indiquer ici le résultat de la statistique établie par Oppolzer d'après son catalogue de 13 200 éclipses ; cette liste est à la vérité le résultat du calcul, mais son accord avec la réalité nous permet de la considérer tout aussi bien comme un registre d'observations. Nous y ajouterons les éclipses de Lune par la pénombre, dont le nombre se déduit aisément avec assez d'exactitude de celui des éclipses partielles de Soleil.

TABLEAU II. — GROUPE D'ÉCLIPSES (NOMBRES MOYENS).
86,1 ÉCLIPSES.

ÉCLIPSES	DE SOLEIL	DE LUNE
des catégories 1, 2, 3	au moins partielles, 42,8	au moins par la pénombre, 43,3
des catégories 2, 3	centrales, 27,7	par l'ombre, 27,8
de la catégorie 3	—	totales, 12,9

Des 27,7 éclipses centrales de Soleil, en moyenne 13,9 sont annulaires ; 1,9 sont annulaires sur une partie de la ligne de centralité et totales pour l'autre partie ; 11,9 sont totales pour toute la ligne de centralité.

Pour un saros donné, les nombres réels s'écartent peu de ces nombres moyens. En dehors des ouvrages spéciaux, le lecteur possède dans l'*Astronomie populaire* de Flammarion la liste des éclipses pour trois saros consécutifs de 1842 à 1900, moins les éclipses de Lune par la pénombre qu'il trouvera dans l'article de M. Blum cité plus haut, pour le saros 1908-1926.

Les groupes successifs ne peuvent, bien entendu, être identiques : on voit disparaître des éclipses qui étaient devenues faibles, et apparaître de nouvelles éclipses, faibles elles aussi. Quelle est la fréquence moyenne de ces modifi-

cations ? On la déduit immédiatement de la comparaison des nombres des premières lignes des tableaux II et I ; leur rapport est 0,58. En moyenne, chaque groupe doit donc contenir 0,58 éclipse de Soleil qui n'appartenait pas au précédent, et 0,58 qui ne figurera plus dans le suivant ; de même pour les éclipses de Lune.

* * *

La prédiction des éclipses était l'une des préoccupations principales des astronomes de l'Antiquité ; cet exposé permet de concevoir la forme de leurs recherches et la précision des résultats qu'ils pouvaient obtenir.

Des registres d'observations datées sans ambiguïté existaient très anciennement en Chaldée ; quelques-unes, remontant au VIII^e siècle avant notre ère, sont parvenues jusqu'à nous. Il n'est pas étonnant que ces recueils aient aisément fait apparaître l'existence et les propriétés du saros. Nous avons déterminé plus haut le degré d'incertitude qu'on pouvait attendre, à l'aube de l'Astronomie, d'une application pure et simple de la période de 18 ans. Au temps d'Hipparque, quelque cent trente ans avant notre ère, on savait effectuer couramment les corrections correspondant aux équations du centre et dès lors les prédictions pouvaient atteindre une exactitude fort honorable. On peut faire à ce sujet des remarques curieuses. A cette époque, on attribuait une valeur trop petite, 5⁰⁰⁰', au coefficient de l'équation du centre pour la Lune. C'est que, peu confiants — à juste titre — dans leurs mesures des longitudes célestes et dans leurs corrections de parallaxes, les anciens choisissaient la valeur du coefficient qui convenait le mieux à la représentation des éclipses, où, comme nous l'avons vu, cette équation apparaît toujours diminuée de la valeur de l'évection. Ptolémée s'est aperçu le premier (vers 140) que la Lune à 90° de son périégée, lorsqu'elle est en même temps en quartier, est éloignée de son lieu moyen de plus de 7° 1/2 et non pas de 5° seulement, et a donné des tables d'une « seconde inégalité » lunaire qui a reçu beaucoup plus tard le nom d'évection.

Inversement, les anciens admettaient unanimement pour le Soleil une valeur du coefficient de l'équation du centre qui nous paraît trop grande, compte tenu de la diminution que l'excentricité de l'orbite terrestre a subie depuis leur temps ; ici encore, ils adoptaient la valeur numérique qui convenait aux éclipses : l'équation annuelle de la Lune s'y trouvait incorporée. Tycho, ayant perfectionné la technique instrumentale et fait un nombre immense de mesures angulaires précises, vit que les valeurs admises jusque-là pour l'excentricité de l'orbite apparente du Soleil, et pour le terme de l'équation du temps moyen qui en dépend, étaient fausses par excès et Kepler a achevé de dégager l'équation annuelle de la Lune. Il est intéressant de noter qu'un Hipparque se trouvait tenir compte, dans ses prédictions d'éclipses, de deux inégalités lunaires qu'il ne connaissait pas.

A ces particularités que Lalande, puis Laplace ont mises en évidence dans

leurs admirables précis historiques, on peut joindre une remarque analogue touchant les perturbations du plan de l'orbite lunaire. Nous voyons les anciens attribuer à l'inclinaison de l'orbite une valeur fixe, $5^{\circ}00'$, qui est sa valeur minima ; essayons d'expliquer pourquoi. Les latitudes petites observées dans les éclipses au voisinage d'un nœud déterminant très mal l'angle i , Ptolémée tirait sa valeur de l'observation des plus grandes latitudes, à 90° des nœuds. Il utilisait pour cela des mesures de hauteurs méridiennes faites au moyen des deux instruments qui lui servaient à observer le Soleil, sortes de cercles méridiens où l'ombre jouait le rôle d'index. Il est évident que de telles mesures n'ont de signification que si la Lune est pleine : alors seulement l'ombre définit la position de son centre. Or, quand la Lune à sa plus grande latitude est pleine, le Soleil est en quadrature avec les nœuds et l'inclinaison i est minima, comme nous l'avons rappelé. C'est encore Tycho qui a montré que la Lune à 90° de ses nœuds, lorsqu'elle est en quartier, s'éloigne de l'écliptique de $18'$ de plus qu'on ne croyait.

Ajoutons que si la prédiction des éclipses de Lune a pu être très tôt assez approchée pour satisfaire aux besoins du public, et même exciter son admiration, dire si une éclipse de Soleil sera totale ou annulaire n'est devenu possible que lorsqu'on a su enfin exactement comment varient diamètres apparents et parallaxes en fonction de l'anomalie ; il a fallu que Kepler l'enseignât.

ANDRÉ COUDER

Astronome à l'Observatoire de Paris.

LES ROTATIONS DES PLANÈTES

Dans les *Monthly Notices* (Vol. 99, n^o 3, janvier 1939) le D^r RAYMOND A. LYTTLETON publie un fort intéressant mémoire, dont voici le résumé :

D'après l'auteur, il faut surtout tenir compte des effets dynamiques. Les théories de la rupture des satellites à leur origine et des planètes, assignent des rotations rapides à tous les corps dans leur état initial. L'étude de l'orbite de la Lune indique qu'autrefois la Terre avait une rotation courte. Dans le cas de Vénus, cependant, la rotation actuelle est tellement lente que cela laisse croire qu'autrefois Mercure était un satellite de Vénus. Et cette hypothèse est conforme à la théorie dynamique. Le mouvement lent de rotation de Mars a pu être déterminé par des marées solaires, si l'on admet que ses satellites sont d'une acquisition récente. Les satellites des grandes planètes montrent tous que les frottements de la marée ont autrefois produit un accroissement général des distances moyennes. De même les anneaux de Saturne peuvent être attribués à la rupture d'un très proche satellite. La direction exceptionnelle de l'axe de rotation d'Uranus pourrait être en partie primitive et en partie due aux effets de la précession, parce que le plan de l'orbite a varié. La plus lente rotation de Neptune comparée aux trois autres grandes planètes et les particularités des orbites de Triton et de Pluton peuvent aussi être regardées comme une conséquence de l'action des frottements de marée.