BUREAU DES LONGITUDES

CALCUL DES CIRCONSTANCES DE L'ÉCLIPSE PARTIELLE DU SOLEIL

DES 17 et 18 AVRIL 1996

Bureau Des Longitudes

le : 27 janvier 1995

P. ROCHER

Tél : (33) 1 40 51 22 72

Fax : (33) 1 46 33 28 34

Email : rocher@bdl.fr

TABLE DES MATIÈRES

GÉNÉRALITÉS ET DÉFINITIONS

Définitions

Les éclipses de Soleil se produisent à la nouvelle Lune, lorsque la Terre passe dans le cône d'ombre ou dans le cône de pénombre de la Lune (Fig. 1). Lorsque la Terre passe uniquement dans la pénombre de la Lune il y a *éclipse partielle* du Soleil, lorsque la Terre passe dans l'ombre de la Lune il y a *éclipse centrale* du Soleil. La distance Terre-Lune n'étant pas constante, le diamètre apparent de la Lune est variable, il peut être plus petit ou plus grand que le diamètre apparent du Soleil, il y a donc deux types d'éclipses centrales : les *éclipses totales*, lorsque le diamètre apparent de la Lune est plus grand que le diamètre apparent du Soleil (le Soleil est complètement éclipsé), et les *éclipses annulaires* lorsque le diamètre de la Lune est plus petit que le diamètre apparent du Soleil. Il existe un cas limite lorsque le diamètre apparent de la Lune est inférieur au diamètre apparent du Soleil au début de l'éclipse, puis supérieur (autour du maximum) puis de nouveau inférieur au diamètre apparent du Soleil, dans ce cas l'éclipse est appelée *éclipse totale-annulaire*.

Durant une éclipse, l'ombre et la pénombre se déplacent sur la surface du globe terrestre par suite du mouvement synodique de la Lune et de la rotation terrestre. L'aire balayée par l'ombre, très étroite (quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres), s'appelle la *bande de centralité*, la ligne parcourue par l'axe du cône d'ombre s'appelle la *ligne de centralité*, c'est sur cette ligne que se situe le maximum de l'éclipse. Un observateur placé dans la bande de centralité voit d'abord une éclipse partielle puis, pendant un court instant (quelques minutes) une éclipse totale ou annulaire, puis de nouveau une éclipse partielle. L'aire balayée par la pénombre, à l'intérieur de laquelle l'éclipse est vue comme partielle, est beaucoup plus large (plusieurs milliers de kilomètres).

Circonstances générales d'une éclipse

Les circonstances générales d'une éclipse correspondent aux différentes phases de l'éclipse, qui sont le commencement et la fin de l'éclipse générale, le commencement et la fin de l'éclipse totale ou annulaire, le commencement et la fin de la centralité, le maximum de l'éclipse et l'éclipse centrale à midi ou minuit vrai. Ces phases sont liées aux mouvements relatifs du Soleil, de la Lune et de la Terre. Elles correspondent chacune à un instant particulier et à un lieu unique sur Terre. Par exemple, le commencement de l'éclipse générale correspond à l'instant où la Terre entre dans le cône de pénombre de la Lune et le lieu est le point de contact de ce cône de pénombre avec la Terre (ce point est un point de la courbe "commencement au lever du Soleil") . Le maximum de l'éclipse correspond à l'instant et au lieu où l'éclipse a une grandeur maximum. Cette valeur maximum de la grandeur de l'éclipse est appelée *magnitude* de l'éclipse. L'éclipse centrale à midi ou minuit vrai correspond à l'instant et au lieu où l'éclipse est centrale et où le Soleil est au méridien.

Circonstances locales d'une éclipse

Il ne faut pas les confondre avec les circonstances générales décrites dans le chapitre précédent. Les circonstances locales d'une éclipse décrivent, en un lieu donné, les différentes phases de l'éclipse, observables par un observateur situé en ce lieu (Fig. 2 et 3).

Ces phases sont les suivantes :

– le début de l'éclipse partielle, appelé également *premier contact* (parfois premier contact extérieur),
– le début de l'éclipse totale ou annulaire (si l'observateur est dans la bande de centralité), appelé également *deuxième contact* (parfois premier contact intérieur),
– le maximum de l'éclipse, instant où la grandeur est maximum en ce lieu,
– la fin de l'éclipse totale ou annulaire (si l'observateur est dans la ligne de centralité), appelée également le *troisième contact* (parfois deuxième contact intérieur),
– la fin de l'éclipse partielle, appelée également *quatrième contact* (parfois deuxième contact extérieur).

Pour chacun des contacts, en plus des instants du contact, on donne *l'angle au pôle P* et *l'angle au zénith Z*.

L'*angle au pôle P* d'un contact est l'angle de la direction SN (partie boréale du cercle horaire du centre S du Soleil) avec l'arc de grand cercle joignant les centres S et L du Soleil et de la Lune, compté positivement dans le sens nord-est-sud-ouest (Fig. 4).

L'*angle au zénith* Z d'un contact a une définition analogue à celle de P, en remplaçant le cercle horaire du centre S du Soleil par le vertical du même point (Fig. 5).

Pour le maximum on donne également la *grandeur de l'éclipse*, le *degré d'obscurité* (en anglais obscuration), la *hauteur* h et l'*azimut* a du Soleil.

À un instant donné la *grandeur* g de l'éclipse est l'inverse du rapport du diamètre du Soleil sur la distance du bord du Soleil le plus rapproché du centre de la Lune au bord de la Lune le plus rapproché du centre du Soleil (Fig. 6).

Le *degré d'obscurité* est le pourcentage de la surface du disque solaire éclipsé par la Lune (Fig. 7).

La *hauteur* h du Soleil est l'angle de la direction du Soleil et du plan horizontal, compté en degrés de $-90°$ à $+90°$. Dans nos tableaux, on ne tient pas compte de la réfraction atmosphérique.

L'*azimut* est l'angle formé par la projection de la direction du Soleil dans le plan horizontal avec la direction du Sud, compté en degré dans le sens rétrograde (sud = 0°, ouest = 90°, nord = 180°, est = 270°).

Les circonstances locales d'une éclipse peuvent être calculées à l'aide des éléments de Bessel.

LISTE DES TABLEAUX ET CARTES CONTENUS DANS CE DOCUMENT

Tous les instants publiés sont en **Temps universel**, toutes les longitudes sont comptées à partir du **méridien de Greenwich, positivement vers l'ouest et négativement vers l'est**.

Pour chaque éclipse de Soleil on publie les renseignements suivants :

– Les éphémérides de la Lune et du Soleil le jour et le lendemain de l'éclipse, ce sont les coordonnées équatoriales géocentriques apparentes calculées à l'aide des éphémérides du Bureau des Longitudes BDL82. On donne également l'écart en ascension droite entre la Lune et le Soleil.

– Les différents paramètres utilisés dans le calcul, notamment la valeur ΔT_e qui est la différence estimée entre le Temps Terrestre et le Temps Universel le jour de l'éclipse.

– Les circonstances générales de l'éclipse.

– Les éléments de Bessel sous forme polynômiale et sous forme tabulée (notation française et américaine).

– Les limites de la bande de centralité (limites nord et sud de l'ombre), la ligne de centralité, la durée de l'éclipse sur la ligne de centralité, ainsi que la hauteur (h) du Soleil au moment du maximum.

– Les circonstances locales sur la ligne centrale. Pour un instant donné on fournit : la durée de la phase centrale (totale ou annulaire), L la largeur de l'ombre sur la Terre dans la direction perpendiculaire à son déplacement, le degré d'obscurité (Obs.), la grandeur de l'éclipse (g), la hauteur (h) et l'azimut (a) du Soleil, les coordonnées géographiques du point correspondant. Pour chaque contact on donne : l'instant du contact, l'angle au pôle P et l'angle au zénith Z. Toutes ces données tiennent compte de l'aplatissement du globe terrestre mais ne tiennent pas compte de l'altitude des lieux au-dessus du niveau de la mer.

– Des tableaux de circonstances locales pour différents pays. Pour chaque ville on donne les coordonnées géographiques de la ville (en degré et minute de degré), le nom de la ville, la durée de la phase centrale (si elle existe), l'instant du maximum avec le degré d'obscurité (Obs.), la grandeur de l'éclipse (Mag.), la hauteur (h) et l'azimut (a) du Soleil. Pour chaque contact l'instant du contact ; on donne également : l'angle au pôle P et l'angle au zénith Z. Toutes ces données tiennent compte de l'aplatissement du globe terrestre mais ne tiennent pas compte de l'altitude des lieux au-dessus du niveau de la mer.

Remarque : l'utilisation du formulaire et des éléments de Bessel permet des calculs plus précis, tenant compte d'une meilleure précision dans la latitude et longitude du lieu, ainsi que de l'altitude du lieu.

Corrections liées à l'échelle de temps utilisée

Ce sont les corrections à effectuer pour tenir compte d'une meilleure connaissance de l'écart Temps terrestre (TT) - Temps universel (UT).

En effet, tous les calculs sont faits à partir d'une estimation de cet écart ΔT_e. Les prévisions étant parfois faites de nombreuses années à l'avance, il arrive que la valeur réelle de cet écart ΔT_r diffère de sa valeur estimée. Dans ce cas on doit corriger les résultats publiés de la manière suivante :

Soit $\delta t = \Delta T_r - \Delta T_e$ la différence entre la valeur réelle et la valeur estimée.

Les instants des phénomènes doivent être corrigés de $-\delta t$, et les longitudes géographiques des phénoménes doivent être corrigées de $\delta\lambda = -1,002\,738 \times \delta t$ (λ et δt étant dans la même unité). Attention, on corrige les longitudes des lieux liés aux différentes phases et courbes et non les longitudes des lieux des villes dans les tableaux de circonstances locales.

Cartes générales et locales

En fin de document on trouvera une carte générale de l'éclipse. Sur cette carte on fait figurer les courbes suivantes : la bande de centralité (lorsqu'elle existe), les limites boréale et australe de l'éclipse, les courbes de commencement, de fin et de maximum aux lever et coucher du Soleil, ainsi que les courbes de commencement et fin pour un instant donné (toutes les heures en général). Sur les cartes locales, lorsqu'elles sont présentes, on donne, en plus, les courbes de commencement, de fin et de maximum à un instant donné (avec un pas plus adapté à la carte), et parfois la projection de l'ombre à des instants donnés.

CALCUL DES PHASES D'UNE ÉCLIPSE POUR UN LIEU DONNÉ

Définition des éléments de Bessel

Pour un lieu donné il y a lieu de déterminer :

Les instants des différents contacts.

L'instant du maximum de l'éclipse et la valeur de ce maximum.

Les angles au pôle et au zénith de chacun des contacts.

Le lieu d'observation est défini par sa longitude λ (positive à l'ouest et négative à l'est du méridien de Greenwich), sa latitude φ et son altitude h au-dessus du niveau de la mer.

On définit à chaque instant un système de coordonnées $Oxyz$ de sens direct, dans lequel :

O est le centre de la Terre.

L'axe Oz est parallèle à l'axe des cônes de pénombre et d'ombre, le sens positif étant celui qui va de la Terre à la Lune.

L'axe Ox est l'intersection du plan fondamental Oxy perpendiculaire à Oz et du plan de l'équateur terrestre, le sens positif étant vers l'est.

L'axe Oy est normal à Ox dans le plan fondamental, le sens positif étant vers le Nord.

En utilisant comme unité de longueur le rayon équatorial terrestre, les éléments de Bessel sont définis de la manière suivante :

x, y, z sont les coordonnées du centre de la Lune.

d et H sont la déclinaison de l'axe Oz et son angle horaire par rapport au méridien de Greenwich.

f_e et f_i sont les demi-angles au sommet des cônes de pénombre et d'ombre, f_e étant pris par convention positif et f_i négatif.

u_e et u_i sont les rayons des sections circulaires des cônes de pénombre et d'ombre par le plan fondamental Oxy et s'obtiennent par les formules suivantes :

$$u_e = z \cdot \tan f_e + k \cdot \text{séc}\, f_e,$$
$$u_i = z \cdot \tan f_i + k \cdot \text{séc}\, f_i,$$

où k est le rayon de la Lune exprimé en rayon équatorial terrestre.

Les coordonnées ξ, η, ζ du lieu d'observation dans le système $Oxyz$ sont :

$$\begin{aligned}
\xi &= \rho \cdot \cos\varphi' \cdot \sin(H-\lambda),\\
\eta &= \rho \cdot \sin\varphi' \cdot \cos d - \rho \cdot \cos\varphi' \cdot \sin d \cdot \cos(H-\lambda),\\
\zeta &= \rho \cdot \sin\varphi' \cdot \sin d + \rho \cdot \cos\varphi' \cdot \cos d \cdot \cos(H-\lambda),
\end{aligned}$$

avec :

$$\rho \cdot \cos\varphi' = \cos u + \frac{h}{r_0} \cdot \cos\varphi,$$

$$\rho \cdot \sin\varphi' = (1-f) \cdot \sin u + \frac{h}{r_0} \cdot \sin\varphi,$$

et

$$\tan u = (1-f) \cdot \tan\varphi,$$

où h est l'altitude du lieu exprimée en mètres, r_0 est le rayon équatorial terrestre exprimée en mètres et f l'aplatissement de l'ellipsoïde terrestre $(f = 1/298,257 = 0,003\,352\,81)$.

Les variations horaires $\dot{\xi}, \dot{n}, \dot{\zeta}$ de ces coordonnées sont fournies avec une précision de l'ordre de la seconde de temps par les formules suivantes :

$\dot{H}$ étant exprimé en radians par heure,

$$\begin{aligned}
\dot{\xi} &= \dot{H} \cdot \rho \cdot \cos\varphi' \cdot \cos(H-\lambda),\\
\dot{\eta} &= \dot{H} \cdot \xi \cdot \sin d,\\
\dot{\zeta} &= -\,\dot{H} \cdot \xi \cdot \cos d.
\end{aligned}$$

Les rayons l_e et l_i des sections circulaires des cônes de pénombre et d'ombre par le plan mené par le lieu d'observation parallèlement au plan fondamental s'obtiennent par les formules suivantes :

$$\begin{aligned}
l_e &= u_e - \zeta \cdot \tan f_e,\\
l_i &= u_i - \zeta \cdot \tan f_i.
\end{aligned}$$

Calculs des circonstances locales

Chaque élément de Bessel b est représenté sur un intervalle de temps (t_0, t_1) par des coefficients de développements en polynômes du temps, à l'exception des valeurs $\tan f_e$ et $\tan f_i$ qui sont considérées comme constantes sur l'intervalle. Un élément de Bessel se calcule à un instant t par la formule :

$$b = b_0 + b_1 \cdot T + b_2 \cdot T^2 + b_3 \cdot T^3.$$

avec $T = t - t_0$.
T, exprimé en heure, représente le temps écoulé depuis l'instant origine t_0.

La variation horaire $\dot{b}$ d'un élément de Bessel se calcule par la formule :

$$\dot{b} = b_1 + 2b_2 \cdot T + 3b_3 \cdot T^2.$$

Soient :

$$\begin{aligned}
U &= x - \xi, & \dot{U} &= \dot{x} - \dot{\xi},\\
V &= y - \eta, & \dot{V} &= \dot{y} - \dot{\eta}.
\end{aligned}$$

— Calcul de la grandeur maximale :

On prend comme valeur de départ t_d l'époque du maximum de l'éclipse, l'instant du maximum t_m se calcule en ajoutant à t_d la valeur τ_m donnée par :

$$\tau_m = -\,\frac{U\dot{U} + V\dot{V}}{\dot{U}^2 + \dot{V}^2}\ .$$

On doit réitérer le calcul en prenant comme nouvelle valeur de départ la valeur de t_m.

La grandeur maximale est donnée par :

$$g = \frac{l_e - l_m}{l_e - l_i} \ ,$$

pour une éclipse annulaire ou totale au lieu considéré, ou :

$$g = \frac{l_e - l_m}{2l_e - 0,5465} \ ,$$

pour une éclipse partielle, avec :

$$l_m = \sqrt{U^2 + V^2} \ .$$

— Calcul des contacts :

On prend comme valeurs de départ t_d du premier et du quatrième contacts (contacts extérieurs) des valeurs approchées déduites de la carte de l'éclipse et l'on prend comme valeurs de départ du second et du troisième contacts (contacts intérieurs), lorsqu'ils existent, la valeur t_m du maximum calculée précédemment.

Pour chaque valeur t_d de départ on calcule les quantités suivantes :

$$\beta = \frac{U\dot{U} + V\dot{V}}{\dot{U}^2 + \dot{V}^2}, \qquad \gamma = \frac{U^2 + V^2 - l^2}{\dot{U}^2 + \dot{V}^2}, \qquad \theta = \pm\sqrt{\beta^2 - \gamma} \ ,$$

avec $l = l_e$ ou $l = l_i$ et θ étant du signe de β.

Les instants du premier et du quatrième contacts se calculent par la formule :

$$t = t_d - \beta + \theta$$

et les instants du second et du troisième contacts se calculent par les formules :

$$t = t_d - \beta - \mid \theta \mid \text{ pour le second contact,}$$

et :

$$t = t_d - \beta + \mid \theta \mid \text{ pour le troisième contact.}$$

Comme pour le calcul du maximum on doit réitérer les calculs en prenant comme nouvelles valeurs de départ les valeurs t.

— Calcul de l'angle au pôle et de l'angle au zénith :

La valeur de l'angle au pôle P d'un point de contact est donnée par :

$$\operatorname{tg} P = \frac{U}{V} \ ,$$

où $\sin P$ a le signe de U, sauf pour les second et troisième contacts (contacts intérieurs) d'une éclipse totale pour lesquels $\sin P$ est de signe contraire à U.

L'angle au zénith Z d'un point de contact est donné par :

$$Z = P - \Gamma \ ,$$

en désignant par Γ l'angle parallactique défini d'une façon approchée par :

$$\tan \Gamma = \frac{\xi}{\eta} \ ,$$

$\sin \Gamma$ étant du signe de ξ.

ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 17 AVRIL 1996

Instants en UT.	Coordonnées équatoriales géocentriques apparentes du Soleil		Coordonnées équatoriales géocentriques apparentes de la Lune		Écart en ascension droite Lune − Soleil
	ascension droite	déclinaison	ascension droite	déclinaison	
h	h m s	° ′ ″	h m s	° ′ ″	h m s
0	1 41 13,5504	+10 29 54,5244	0 56 48,3250	+ 6 14 22,6848	− 0 44 25,2254
1	1 41 22,8339	+10 30 47,2692	0 58 58,3410	+ 6 24 29,2859	− 0 42 24,4930
2	1 41 32,1181	+10 31 39,9960	1 1 8,3464	+ 6 34 33,3991	− 0 40 23,7717
3	1 41 41,4030	+10 32 32,7047	1 3 18,3425	+ 6 44 34,9704	− 0 38 23,0605
4	1 41 50,6885	+10 33 25,3954	1 5 28,3302	+ 6 54 33,9463	− 0 36 22,3583
5	1 41 59,9747	+10 34 18,0679	1 7 38,3108	+ 7 4 30,2734	− 0 34 21,6639
6	1 42 9,2616	+10 35 10,7222	1 9 48,2851	+ 7 14 23,8990	− 0 32 20,9765
7	1 42 18,5492	+10 36 3,3584	1 11 58,2543	+ 7 24 14,7707	− 0 30 20,2948
8	1 42 27,8374	+10 36 55,9764	1 14 8,2193	+ 7 34 2,8363	− 0 28 19,6181
9	1 42 37,1263	+10 37 48,5761	1 16 18,1811	+ 7 43 48,0442	− 0 26 18,9452
10	1 42 46,4159	+10 38 41,1576	1 18 28,1407	+ 7 53 30,3432	− 0 24 18,2753
11	1 42 55,7062	+10 39 33,7209	1 20 38,0988	+ 8 3 9,6824	− 0 22 17,6075
12	1 43 4,9972	+10 40 26,2658	1 22 48,0564	+ 8 12 46,0114	− 0 20 16,9408
13	1 43 14,2889	+10 41 18,7924	1 24 58,0143	+ 8 22 19,2802	− 0 18 16,2746
14	1 43 23,5812	+10 42 11,3007	1 27 7,9733	+ 8 31 49,4391	− 0 16 15,6079
15	1 43 32,8743	+10 43 3,7906	1 29 17,9342	+ 8 41 16,4391	− 0 14 14,9400
16	1 43 42,1680	+10 43 56,2621	1 31 27,8978	+ 8 50 40,2312	− 0 12 14,2702
17	1 43 51,4624	+10 44 48,7151	1 33 37,8646	+ 9 0 0,7673	− 0 10 13,5978
18	1 44 0,7575	+10 45 41,1497	1 35 47,8355	+ 9 9 17,9994	− 0 8 12,9220
19	1 44 10,0532	+10 46 33,5659	1 37 57,8110	+ 9 18 31,8801	− 0 6 12,2423
20	1 44 19,3497	+10 47 25,9636	1 40 7,7917	+ 9 27 42,3624	− 0 4 11,5580
21	1 44 28,6469	+10 48 18,3427	1 42 17,7782	+ 9 36 49,3998	− 0 2 10,8686
22	1 44 37,9447	+10 49 10,7033	1 44 27,7712	+ 9 45 52,9463	− 0 0 10,1736
23	1 44 47,2433	+10 50 3,0453	1 46 37,7709	+ 9 54 52,9561	+ 0 1 50,5277

ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 18 AVRIL 1996

Instants en UT.	Coordonnées équatoriales géocentriques apparentes du Soleil		Coordonnées équatoriales géocentriques apparentes de la Lune		Écart en ascension droite
	ascension droite	déclinaison	ascension droite	déclinaison	Lune − Soleil
h	h m s	° ′ ″	h m s	° ′ ″	h m s
0	1 44 56,5425	+10 50 55,3687	1 48 47,7781	+10 3 49,3842	+ 0 3 51,2356
1	1 45 5,8424	+10 51 47,6735	1 50 57,7930	+10 12 42,1858	+ 0 5 51,9506
2	1 45 15,1431	+10 52 39,9596	1 53 7,8161	+10 21 31,3168	+ 0 7 52,6731
3	1 45 24,4444	+10 53 32,2271	1 55 17,8478	+10 30 16,7335	+ 0 9 53,4034
4	1 45 33,7464	+10 54 24,4759	1 57 27,8884	+10 38 58,3925	+ 0 11 54,1420
5	1 45 43,0491	+10 55 16,7059	1 59 37,9382	+10 47 36,2511	+ 0 13 54,8891
6	1 45 52,3525	+10 56 8,9172	2 1 47,9975	+10 56 10,2671	+ 0 15 55,6450
7	1 46 1,6566	+10 57 1,1098	2 3 58,0665	+11 4 40,3986	+ 0 17 56,4099
8	1 46 10,9614	+10 57 53,2835	2 6 8,1454	+11 13 6,6045	+ 0 19 57,1840
9	1 46 20,2669	+10 58 45,4384	2 8 18,2345	+11 21 28,8438	+ 0 21 57,9676
10	1 46 29,5731	+10 59 37,5745	2 10 28,3337	+11 29 47,0763	+ 0 23 58,7606
11	1 46 38,8800	+11 0 29,6917	2 12 38,4433	+11 38 1,2622	+ 0 25 59,5633
12	1 46 48,1876	+11 1 21,7900	2 14 48,5633	+11 46 11,3623	+ 0 28 0,3757
13	1 46 57,4959	+11 2 13,8693	2 16 58,6937	+11 54 17,3378	+ 0 30 1,1978
14	1 47 6,8049	+11 3 5,9298	2 19 8,8346	+12 2 19,1505	+ 0 32 2,0296
15	1 47 16,1146	+11 3 57,9712	2 21 18,9858	+12 10 16,7627	+ 0 34 2,8712
16	1 47 25,4250	+11 4 49,9937	2 23 29,1473	+12 18 10,1372	+ 0 36 3,7223
17	1 47 34,7362	+11 5 41,9971	2 25 39,3191	+12 25 59,2373	+ 0 38 4,5829
18	1 47 44,0480	+11 6 33,9815	2 27 49,5009	+12 33 44,0270	+ 0 40 5,4530
19	1 47 53,3605	+11 7 25,9469	2 29 59,6927	+12 41 24,4705	+ 0 42 6,3322
20	1 48 2,6737	+11 8 17,8931	2 32 9,8942	+12 49 0,5330	+ 0 44 7,2205
21	1 48 11,9877	+11 9 9,8202	2 34 20,1051	+12 56 32,1798	+ 0 46 8,1175
22	1 48 21,3023	+11 10 1,7281	2 36 30,3253	+13 3 59,3769	+ 0 48 9,0230
23	1 48 30,6177	+11 10 53,6169	2 38 40,5543	+13 11 22,0910	+ 0 50 9,9367
24	1 48 39,9338	+11 11 45,4865	2 40 50,7920	+13 18 40,2891	+ 0 52 10,8582

PARAMÈTRES PHYSIQUES UTILISÉS DANS CES CALCULS

– la parallaxe horizontale du Soleil à une unité astronomique : $\pi_0 = 8,794\,148''$.
– le demi-diamètre solaire : $s_0 = 15'\ 59,63''$.
– le rapport du rayon lunaire sur le rayon équatorial terrestre : $k = 0,272\,507\,6$.
– le rayon équatorial terrestre : $r_0 = 6\,378\,140$ m
– le carré de l'ellipticité de l'ellipsoïde terrestre : $e^2 = 0,006\,694\,54$.
– la différence estimée entre le Temps terrestre (TT) et le Temps universel (UT) : $\Delta T_e = 61$ s
Remarque : les instants sont donnés en Temps universel et les longitudes sont comptées à partir du méridien de Greenwich, positivement vers l'ouest et négativement vers l'est.

ÉLÉMENTS DE L'ÉCLIPSE DU 17 AVRIL 1996

Instant de la conjonction géocentrique en ascension droite
le 17 avril 1996 à 22h 5m 3,441s UT.

Ascension droite du Soleil	: 1h 44m 38,728s.
Déclinaison du Soleil	: +10° 49′ 15,12″.
Ascension droite de la Lune	: 1h 44m 38,728s.
Déclinaison de la Lune	: + 9° 46′ 38,60″.
Parallaxe équatoriale du Soleil	: 8,76″.
Parallaxe équatoriale de la Lune	: 57′ 13,74″.
Demi-diamètre vrai du Soleil	: 15′ 55,63″.
Demi-diamètre vrai de la Lune	: 15′ 35,62″.

CIRCONSTANCES DE L'ÉCLIPSE GÉNÉRALE

magnitude : 0,8802

	UT	Longitude	Latitude
Commencement de l'éclipse générale	: le 17 à 20h 31,4m	−159° 1,3′	−56° 53,3′
Maximum de l'éclipse	: le 17 à 22h 37,2m	+104° 8,4′	−71° 25,4′
Fin de l'éclipse générale	: le 18 à 0h 43,3m	+106° 40,2′	−27° 19,4′

ÉLÉMENTS DE BESSEL SOUS FORME POLYNÔMIALE

(notation française)

Les séries suivantes représentent un ajustement polynômial par la méthode des moindres carrés des éléments de Bessel de la page suivante. Pour calculer la valeur de ces coefficients pour un instant T, prendre $t = (T - 20\text{h}) + \delta T/3600$, T est exprimé en heures et fraction d'heure. Ces équations ne sont valides que sur l'intervalle $20\text{h} < T < 25\text{h}$, ne pas les utiliser pour des valeurs extérieures à cet intervalle. δT représente la différence entre ΔT_r et ΔT_e, ΔT_e représente la différence estimée de TT−UT et ΔT_r la différence réelle de TT−UT.

Remarque : H est donné en degré par rapport au méridien de Greenwich.

$$x = -1,085\,768\,14 + 0,520\,869\,15 \times t + 0,000\,043\,75 \times t^2 - 0,000\,007\,06 \times t^3$$
$$y = -1,393\,509\,17 + 0,142\,385\,58 \times t - 0,000\,007\,70 \times t^2 - 0,000\,001\,88 \times t^3$$
$$\sin d = 0,187\,277\,34 + 0,000\,243\,55 \times t - 0,000\,000\,05 \times t^2$$
$$\cos d = 0,982\,307\,07 - 0,000\,046\,43 \times t - 0,000\,000\,02 \times t^2$$
$$H = 120,140\,340\,90 + 15,003\,620\,77 \times t - 0,000\,001\,28 \times t^2 - 0,000\,000\,02 \times t^3 - 0,004\,178\,07\,\delta T$$
$$u_e = 0,551\,872\,97 + 0,000\,174\,65 \times t - 0,000\,011\,12 \times t^2$$
$$u_i = -0,005\,460\,03 - 0,000\,173\,78 \times t + 0,000\,011\,07 \times t^2$$

ÉLÉMENTS DE BESSEL (notation française)

Instant	Coordonnées de l'axe dans le plan fondamental		Direction de l'axe du cône d'ombre			Rayons des ombres dans le plan fondamental	
UT	x	y	$\sin d$	$\cos d$	H	u_e	u_i
h m					°		
20 0	−1,085 768	−1,393 509	0,187 277	0,982 307	120,140 34	0,551 873	−0,005 460
20 10	−0,998 955	−1,369 778	0,187 318	0,982 299	122,640 94	0,551 902	−0,005 489
20 20	−0,912 140	−1,346 048	0,187 359	0,982 292	125,141 55	0,551 930	−0,005 517
20 30	−0,825 324	−1,322 319	0,187 399	0,982 284	127,642 15	0,551 958	−0,005 544
20 40	−0,738 505	−1,298 589	0,187 440	0,982 276	130,142 75	0,551 984	−0,005 571
20 50	−0,651 684	−1,274 861	0,187 480	0,982 268	132,643 36	0,552 011	−0,005 597
21 0	−0,564 862	−1,251 133	0,187 521	0,982 261	135,143 96	0,552 036	−0,005 623
21 10	−0,478 039	−1,227 406	0,187 561	0,982 253	137,644 56	0,552 062	−0,005 648
21 20	−0,391 215	−1,203 680	0,187 602	0,982 245	140,145 17	0,552 086	−0,005 672
21 30	−0,304 390	−1,179 954	0,187 643	0,982 237	142,645 77	0,552 110	−0,005 696
21 40	−0,217 564	−1,156 230	0,187 683	0,982 230	145,146 37	0,552 133	−0,005 719
21 50	−0,130 738	−1,132 506	0,187 724	0,982 222	147,646 97	0,552 156	−0,005 741
22 0	−0,043 911	−1,108 784	0,187 764	0,982 214	150,147 58	0,552 178	−0,005 763
22 10	0,042 915	−1,085 062	0,187 805	0,982 206	152,648 18	0,552 199	−0,005 785
22 20	0,129 742	−1,061 342	0,187 845	0,982 199	155,148 78	0,552 220	−0,005 805
22 30	0,216 568	−1,037 623	0,187 886	0,982 191	157,649 38	0,552 240	−0,005 825
22 40	0,303 394	−1,013 905	0,187 926	0,982 183	160,149 99	0,552 260	−0,005 845
22 50	0,390 219	−0,990 188	0,187 967	0,982 175	162,650 59	0,552 279	−0,005 864
23 0	0,477 043	−0,966 472	0,188 008	0,982 168	165,151 19	0,552 297	−0,005 882
23 10	0,563 865	−0,942 758	0,188 048	0,982 160	167,651 79	0,552 315	−0,005 899
23 20	0,650 687	−0,919 046	0,188 089	0,982 152	170,152 40	0,552 332	−0,005 916
23 30	0,737 507	−0,895 334	0,188 129	0,982 144	172,653 00	0,552 348	−0,005 933
23 40	0,824 326	−0,871 625	0,188 170	0,982 137	175,153 60	0,552 364	−0,005 949
23 50	0,911 142	−0,847 917	0,188 210	0,982 129	177,654 20	0,552 379	−0,005 964
0 0	0,997 957	−0,824 210	0,188 251	0,982 121	180,154 80	0,552 394	−0,005 978
0 10	1,084 769	−0,800 505	0,188 291	0,982 113	182,655 40	0,552 408	−0,005 992
0 20	1,171 579	−0,776 802	0,188 332	0,982 105	185,156 01	0,552 421	−0,006 006
0 30	1,258 386	−0,753 101	0,188 372	0,982 098	187,656 61	0,552 434	−0,006 018
0 40	1,345 190	−0,729 401	0,188 413	0,982 090	190,157 21	0,552 446	−0,006 030
0 50	1,431 991	−0,705 704	0,188 453	0,982 082	192,657 81	0,552 458	−0,006 042
1 0	1,518 789	−0,682 008	0,188 494	0,982 074	195,158 41	0,552 469	−0,006 053

$$\tan f_e = +0,004\,656$$
$$\tan f_i = -0,004\,633$$
$$H' = +0,261\,862 \text{ rd/h}$$
$$d' = +0,000\,248 \text{ rd/h}$$

ÉLÉMENTS DE BESSEL (notation américaine)

Instant	Coordonnées de l'axe dans le plan fondamental		Direction de l'axe du cône d'ombre			Rayons des ombres dans le plan fondamental	
UT	x	y	$\sin d$	$\cos d$	μ	l_e	l_i
h m					°		
20 0	−1,085 768	−1,393 509	0,187 277	0,982 307	120,140 34	0,551 873	0,005 460
20 10	−0,998 955	−1,369 778	0,187 318	0,982 299	122,640 94	0,551 902	0,005 489
20 20	−0,912 140	−1,346 048	0,187 359	0,982 292	125,141 55	0,551 930	0,005 517
20 30	−0,825 324	−1,322 319	0,187 399	0,982 284	127,642 15	0,551 958	0,005 544
20 40	−0,738 505	−1,298 589	0,187 440	0,982 276	130,142 75	0,551 984	0,005 571
20 50	−0,651 684	−1,274 861	0,187 480	0,982 268	132,643 36	0,552 011	0,005 597
21 0	−0,564 862	−1,251 133	0,187 521	0,982 261	135,143 96	0,552 036	0,005 623
21 10	−0,478 039	−1,227 406	0,187 561	0,982 253	137,644 56	0,552 062	0,005 648
21 20	−0,391 215	−1,203 680	0,187 602	0,982 245	140,145 17	0,552 086	0,005 672
21 30	−0,304 390	−1,179 954	0,187 643	0,982 237	142,645 77	0,552 110	0,005 696
21 40	−0,217 564	−1,156 230	0,187 683	0,982 230	145,146 37	0,552 133	0,005 719
21 50	−0,130 738	−1,132 506	0,187 724	0,982 222	147,646 97	0,552 156	0,005 741
22 0	−0,043 911	−1,108 784	0,187 764	0,982 214	150,147 58	0,552 178	0,005 763
22 10	0,042 915	−1,085 062	0,187 805	0,982 206	152,648 18	0,552 199	0,005 785
22 20	0,129 742	−1,061 342	0,187 845	0,982 199	155,148 78	0,552 220	0,005 805
22 30	0,216 568	−1,037 623	0,187 886	0,982 191	157,649 38	0,552 240	0,005 825
22 40	0,303 394	−1,013 905	0,187 926	0,982 183	160,149 99	0,552 260	0,005 845
22 50	0,390 219	−0,990 188	0,187 967	0,982 175	162,650 59	0,552 279	0,005 864
23 0	0,477 043	−0,966 472	0,188 008	0,982 168	165,151 19	0,552 297	0,005 882
23 10	0,563 865	−0,942 758	0,188 048	0,982 160	167,651 79	0,552 315	0,005 899
23 20	0,650 687	−0,919 046	0,188 089	0,982 152	170,152 40	0,552 332	0,005 916
23 30	0,737 507	−0,895 334	0,188 129	0,982 144	172,653 00	0,552 348	0,005 933
23 40	0,824 326	−0,871 625	0,188 170	0,982 137	175,153 60	0,552 364	0,005 949
23 50	0,911 142	−0,847 917	0,188 210	0,982 129	177,654 20	0,552 379	0,005 964
0 0	0,997 957	−0,824 210	0,188 251	0,982 121	180,154 80	0,552 394	0,005 978
0 10	1,084 769	−0,800 505	0,188 291	0,982 113	182,655 40	0,552 408	0,005 992
0 20	1,171 579	−0,776 802	0,188 332	0,982 105	185,156 01	0,552 421	0,006 006
0 30	1,258 386	−0,753 101	0,188 372	0,982 098	187,656 61	0,552 434	0,006 018
0 40	1,345 190	−0,729 401	0,188 413	0,982 090	190,157 21	0,552 446	0,006 030
0 50	1,431 991	−0,705 704	0,188 453	0,982 082	192,657 81	0,552 458	0,006 042
1 0	1,518 789	−0,682 008	0,188 494	0,982 074	195,158 41	0,552 469	0,006 053

$$\tan f_1 = +0,004\,656$$
$$\tan f_2 = +0,004\,633$$
$$\mu' = +0,261\,862 \text{ rd/h}$$
$$d' = +0,000\,248 \text{ rd/h}$$