BUREAU DES LONGITUDES

CALCUL DES CIRCONSTANCES DE L'ÉCLIPSE PARTIELLE DU SOLEIL

DES 1 ET 2 SEPTEMBRE 1997

BDL

Bureau Des Longitudes

le : 2 février 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 phénomènes 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 1ER SEPTEMBRE 1997

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	10 40 53,2824	+ 8 20 42,2982	9 57 10,4388	+10 22 42,4877	− 0 43 42,8437
1	10 41 2,3540	+ 8 19 47,9549	9 59 7,1325	+10 14 56,1929	− 0 41 55,2216
2	10 41 11,4251	+ 8 18 53,5977	10 1 3,7053	+10 7 7,4071	− 0 40 7,7199
3	10 41 20,4957	+ 8 17 59,2266	10 3 0,1586	+ 9 59 16,1657	− 0 38 20,3372
4	10 41 29,5658	+ 8 17 4,8416	10 4 56,4936	+ 9 51 22,5041	− 0 36 33,0722
5	10 41 38,6353	+ 8 16 10,4427	10 6 52,7120	+ 9 43 26,4576	− 0 34 45,9234
6	10 41 47,7044	+ 8 15 16,0300	10 8 48,8149	+ 9 35 28,0619	− 0 32 58,8895
7	10 41 56,7729	+ 8 14 21,6035	10 10 44,8040	+ 9 27 27,3522	− 0 31 11,9689
8	10 42 5,8409	+ 8 13 27,1632	10 12 40,6806	+ 9 19 24,3639	− 0 29 25,1603
9	10 42 14,9084	+ 8 12 32,7091	10 14 36,4463	+ 9 11 19,1326	− 0 27 38,4621
10	10 42 23,9754	+ 8 11 38,2413	10 16 32,1025	+ 9 3 11,6934	− 0 25 51,8729
11	10 42 33,0419	+ 8 10 43,7597	10 18 27,6507	+ 8 55 2,0819	− 0 24 5,3911
12	10 42 42,1078	+ 8 9 49,2645	10 20 23,0926	+ 8 46 50,3334	− 0 22 19,0152
13	10 42 51,1733	+ 8 8 54,7556	10 22 18,4296	+ 8 38 36,4833	− 0 20 32,7437
14	10 43 0,2382	+ 8 8 0,2331	10 24 13,6633	+ 8 30 20,5669	− 0 18 46,5749
15	10 43 9,3026	+ 8 7 5,6969	10 26 8,7953	+ 8 22 2,6194	− 0 17 0,5073
16	10 43 18,3666	+ 8 6 11,1471	10 28 3,8273	+ 8 13 42,6763	− 0 15 14,5393
17	10 43 27,4300	+ 8 5 16,5838	10 29 58,7608	+ 8 5 20,7728	− 0 13 28,6692
18	10 43 36,4929	+ 8 4 22,0069	10 31 53,5975	+ 7 56 56,9442	− 0 11 42,8955
19	10 43 45,5554	+ 8 3 27,4165	10 33 48,3390	+ 7 48 31,2258	− 0 9 57,2163
20	10 43 54,6173	+ 8 2 32,8126	10 35 42,9871	+ 7 40 3,6526	− 0 8 11,6302
21	10 44 3,6787	+ 8 1 38,1952	10 37 37,5433	+ 7 31 34,2601	− 0 6 26,1354
22	10 44 12,7396	+ 8 0 43,5644	10 39 32,0095	+ 7 23 3,0833	− 0 4 40,7301
23	10 44 21,8000	+ 7 59 48,9201	10 41 26,3874	+ 7 14 30,1574	− 0 2 55,4127

ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 2 SEPTEMBRE 1997

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	10 44 30,8600	+ 7 58 54,2624	10 43 20,6786	+ 7 5 55,5176	− 0 1 10,1814
1	10 44 39,9194	+ 7 57 59,5914	10 45 14,8849	+ 6 57 19,1990	+ 0 0 34,9655
2	10 44 48,9783	+ 7 57 4,9070	10 47 9,0082	+ 6 48 41,2366	+ 0 2 20,0298
3	10 44 58,0368	+ 7 56 10,2092	10 49 3,0501	+ 6 40 1,6656	+ 0 4 5,0133
4	10 45 7,0947	+ 7 55 15,4982	10 50 57,0125	+ 6 31 20,5210	+ 0 5 49,9178
5	10 45 16,1522	+ 7 54 20,7738	10 52 50,8973	+ 6 22 37,8378	+ 0 7 34,7451
6	10 45 25,2092	+ 7 53 26,0362	10 54 44,7061	+ 6 13 53,6510	+ 0 9 19,4970
7	10 45 34,2656	+ 7 52 31,2854	10 56 38,4409	+ 6 5 7,9955	+ 0 11 4,1753
8	10 45 43,3216	+ 7 51 36,5213	10 58 32,1036	+ 5 56 20,9063	+ 0 12 48,7819
9	10 45 52,3771	+ 7 50 41,7441	11 0 25,6959	+ 5 47 32,4184	+ 0 14 33,3188
10	10 46 1,4321	+ 7 49 46,9537	11 2 19,2198	+ 5 38 42,5665	+ 0 16 17,7876
11	10 46 10,4867	+ 7 48 52,1502	11 4 12,6771	+ 5 29 51,3856	+ 0 18 2,1904
12	10 46 19,5407	+ 7 47 57,3335	11 6 6,0698	+ 5 20 58,9105	+ 0 19 46,5291
13	10 46 28,5943	+ 7 47 2,5038	11 7 59,3998	+ 5 12 5,1760	+ 0 21 30,8055
14	10 46 37,6474	+ 7 46 7,6609	11 9 52,6690	+ 5 3 10,2169	+ 0 23 15,0217
15	10 46 46,7000	+ 7 45 12,8051	11 11 45,8794	+ 4 54 14,0679	+ 0 24 59,1794
16	10 46 55,7521	+ 7 44 17,9362	11 13 39,0329	+ 4 45 16,7637	+ 0 26 43,2808
17	10 47 4,8037	+ 7 43 23,0543	11 15 32,1314	+ 4 36 18,3391	+ 0 28 27,3277
18	10 47 13,8549	+ 7 42 28,1595	11 17 25,1771	+ 4 27 18,8287	+ 0 30 11,3222
19	10 47 22,9056	+ 7 41 33,2517	11 19 18,1717	+ 4 18 18,2671	+ 0 31 55,2662
20	10 47 31,9558	+ 7 40 38,3309	11 21 11,1175	+ 4 9 16,6891	+ 0 33 39,1617
21	10 47 41,0055	+ 7 39 43,3973	11 23 4,0162	+ 4 0 14,1290	+ 0 35 23,0107
22	10 47 50,0548	+ 7 38 48,4508	11 24 56,8701	+ 3 51 10,6216	+ 0 37 6,8153
23	10 47 59,1036	+ 7 37 53,4915	11 26 49,6811	+ 3 42 6,2013	+ 0 38 50,5775
24	10 48 8,1519	+ 7 36 58,5193	11 28 42,4513	+ 3 33 0,9026	+ 0 40 34,2994

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) : $\Delta T_e = 62$ 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 1 SEPTEMBRE 1997

Instant de la conjonction géocentrique en ascension droite
le 2 septembre 1997 à 0h 40m 2,541s UT.

Ascension droite du Soleil	: 10h 44m 36,906s.
Déclinaison du Soleil	: + 7° 58′ 17,78″.
Ascension droite de la Lune	: 10h 44m 36,906s.
Déclinaison de la Lune	: + 7° 0′ 11,12″.
Parallaxe équatoriale du Soleil	: 8,72″.
Parallaxe équatoriale de la Lune	: 53′ 58,65″.
Demi-diamètre vrai du Soleil	: 15′ 51,08″.
Demi-diamètre vrai de la Lune	: 14′ 42,47″.

CIRCONSTANCES DE L'ÉCLIPSE GÉNÉRALE

magnitude : 0,8989

	UT	Longitude	Latitude
Commencement de l'éclipse générale	: le 1 à 21h 44,1m	−127° 40,1′	−24° 47,5′
Maximum de l'éclipse	: le 2 à 0h 3,8m	−114° 21,1′	−71° 51,5′
Fin de l'éclipse générale	: le 2 à 2h 23,2m	+138° 20,6′	−57° 9,2′

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 $t = (T -$ 21h$) + \delta T/3600$, T est exprimé en heures et fraction d'heure. Ces équations ne sont valides que sur l'intervalle 21h $< T <$ 27h, 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.

$$
\begin{aligned}
x &= -1,777\,211\,71 + 0,484\,505\,16 \times t + 0,000\,045\,99 \times t^2 - 0,000\,005\,43 \times t^3 \\
y &= -0,554\,885\,59 - 0,143\,000\,69 \times t - 0,000\,016\,88 \times t^2 + 0,000\,001\,54 \times t^3 \\
\sin d &= 0,139\,667\,73 - 0,000\,256\,25 \times t - 0,000\,000\,04 \times t^2 \\
\cos d &= 0,990\,198\,42 + 0,000\,036\,15 \times t - 0,000\,000\,03 \times t^2 \\
H &= 135,038\,460\,70 + 15,004\,497\,19 \times t + 0,000\,001\,13 \times t^2 - 0,000\,000\,02 \times t^3 - 0,004\,178\,07\,\delta T \\
u_e &= 0,567\,507\,38 + 0,000\,080\,44 \times t - 0,000\,009\,73 \times t^2 \\
u_i &= -0,021\,016\,60 - 0,000\,080\,04 \times t + 0,000\,009\,68 \times t^2
\end{aligned}
$$

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					°		
21 0	−1,777 212	−0,554 886	0,139 668	0,990 198	135,038 46	0,567 507	−0,021 017
21 10	−1,696 460	−0,578 720	0,139 625	0,990 204	137,539 21	0,567 521	−0,021 030
21 20	−1,615 705	−0,602 554	0,139 582	0,990 210	140,039 96	0,567 533	−0,021 042
21 30	−1,534 948	−0,626 390	0,139 540	0,990 216	142,540 71	0,567 545	−0,021 054
21 40	−1,454 189	−0,650 226	0,139 497	0,990 223	145,041 46	0,567 557	−0,021 066
21 50	−1,373 429	−0,674 064	0,139 454	0,990 229	147,542 21	0,567 568	−0,021 077
22 0	−1,292 666	−0,697 902	0,139 411	0,990 235	150,042 96	0,567 578	−0,021 087
22 10	−1,211 902	−0,721 740	0,139 369	0,990 241	152,543 71	0,567 588	−0,021 097
22 20	−1,131 136	−0,745 580	0,139 326	0,990 247	155,044 46	0,567 597	−0,021 106
22 30	−1,050 369	−0,769 419	0,139 283	0,990 253	157,545 21	0,567 606	−0,021 115
22 40	−0,969 600	−0,793 260	0,139 241	0,990 259	160,045 96	0,567 614	−0,021 123
22 50	−0,888 831	−0,817 101	0,139 198	0,990 265	162,546 71	0,567 622	−0,021 131
23 0	−0,808 061	−0,840 942	0,139 155	0,990 271	165,047 46	0,567 629	−0,021 138
23 10	−0,727 290	−0,864 784	0,139 112	0,990 277	167,548 21	0,567 636	−0,021 145
23 20	−0,646 518	−0,888 626	0,139 070	0,990 283	170,048 96	0,567 642	−0,021 151
23 30	−0,565 746	−0,912 469	0,139 027	0,990 289	172,549 71	0,567 648	−0,021 156
23 40	−0,484 974	−0,936 312	0,138 984	0,990 295	175,050 46	0,567 653	−0,021 161
23 50	−0,404 201	−0,960 155	0,138 941	0,990 301	177,551 21	0,567 657	−0,021 166
0 0	−0,323 429	−0,983 998	0,138 899	0,990 307	180,051 96	0,567 661	−0,021 170
0 10	−0,242 657	−1,007 842	0,138 856	0,990 313	182,552 71	0,567 665	−0,021 173
0 20	−0,161 885	−1,031 685	0,138 813	0,990 319	185,053 46	0,567 667	−0,021 176
0 30	−0,081 113	−1,055 529	0,138 770	0,990 325	187,554 21	0,567 670	−0,021 178
0 40	−0,000 342	−1,079 373	0,138 728	0,990 331	190,054 96	0,567 671	−0,021 180
0 50	0,080 428	−1,103 216	0,138 685	0,990 337	192,555 72	0,567 673	−0,021 181
1 0	0,161 197	−1,127 060	0,138 642	0,990 343	195,056 47	0,567 673	−0,021 182
1 10	0,241 966	−1,150 904	0,138 599	0,990 349	197,557 22	0,567 674	−0,021 182
1 20	0,322 733	−1,174 747	0,138 557	0,990 355	200,057 97	0,567 673	−0,021 182
1 30	0,403 498	−1,198 590	0,138 514	0,990 360	202,558 72	0,567 672	−0,021 181
1 40	0,484 262	−1,222 434	0,138 471	0,990 366	205,059 47	0,567 671	−0,021 179
1 50	0,565 025	−1,246 276	0,138 428	0,990 372	207,560 22	0,567 669	−0,021 177
2 0	0,645 785	−1,270 119	0,138 386	0,990 378	210,060 97	0,567 666	−0,021 175
2 10	0,726 544	−1,293 961	0,138 343	0,990 384	212,561 72	0,567 663	−0,021 172
2 20	0,807 301	−1,317 803	0,138 300	0,990 390	215,062 48	0,567 660	−0,021 168
2 30	0,888 055	−1,341 644	0,138 257	0,990 396	217,563 23	0,567 655	−0,021 164
2 40	0,968 807	−1,365 485	0,138 215	0,990 402	220,063 98	0,567 651	−0,021 159
2 50	1,049 556	−1,389 325	0,138 172	0,990 408	222,564 73	0,567 645	−0,021 154
3 0	1,130 303	−1,413 165	0,138 129	0,990 414	225,065 48	0,567 640	−0,021 148

$\tan f_e = +0,004\,635$

$\tan f_i = -0,004\,612$

$H' = +0,261\,878$ rd/h

$d' = -0,000\,259$ 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					°		
21 0	−1,777 212	−0,554 886	0,139 668	0,990 198	135,038 46	0,567 507	0,021 017
21 10	−1,696 460	−0,578 720	0,139 625	0,990 204	137,539 21	0,567 521	0,021 030
21 20	−1,615 705	−0,602 554	0,139 582	0,990 210	140,039 96	0,567 533	0,021 042
21 30	−1,534 948	−0,626 390	0,139 540	0,990 216	142,540 71	0,567 545	0,021 054
21 40	−1,454 189	−0,650 226	0,139 497	0,990 223	145,041 46	0,567 557	0,021 066
21 50	−1,373 429	−0,674 064	0,139 454	0,990 229	147,542 21	0,567 568	0,021 077
22 0	−1,292 666	−0,697 902	0,139 411	0,990 235	150,042 96	0,567 578	0,021 087
22 10	−1,211 902	−0,721 740	0,139 369	0,990 241	152,543 71	0,567 588	0,021 097
22 20	−1,131 136	−0,745 580	0,139 326	0,990 247	155,044 46	0,567 597	0,021 106
22 30	−1,050 369	−0,769 419	0,139 283	0,990 253	157,545 21	0,567 606	0,021 115
22 40	−0,969 600	−0,793 260	0,139 241	0,990 259	160,045 96	0,567 614	0,021 123
22 50	−0,888 831	−0,817 101	0,139 198	0,990 265	162,546 71	0,567 622	0,021 131
23 0	−0,808 061	−0,840 942	0,139 155	0,990 271	165,047 46	0,567 629	0,021 138
23 10	−0,727 290	−0,864 784	0,139 112	0,990 277	167,548 21	0,567 636	0,021 145
23 20	−0,646 518	−0,888 626	0,139 070	0,990 283	170,048 96	0,567 642	0,021 151
23 30	−0,565 746	−0,912 469	0,139 027	0,990 289	172,549 71	0,567 648	0,021 156
23 40	−0,484 974	−0,936 312	0,138 984	0,990 295	175,050 46	0,567 653	0,021 161
23 50	−0,404 201	−0,960 155	0,138 941	0,990 301	177,551 21	0,567 657	0,021 166
0 0	−0,323 429	−0,983 998	0,138 899	0,990 307	180,051 96	0,567 661	0,021 170
0 10	−0,242 657	−1,007 842	0,138 856	0,990 313	182,552 71	0,567 665	0,021 173
0 20	−0,161 885	−1,031 685	0,138 813	0,990 319	185,053 46	0,567 667	0,021 176
0 30	−0,081 113	−1,055 529	0,138 770	0,990 325	187,554 21	0,567 670	0,021 178
0 40	−0,000 342	−1,079 373	0,138 728	0,990 331	190,054 96	0,567 671	0,021 180
0 50	0,080 428	−1,103 216	0,138 685	0,990 337	192,555 72	0,567 673	0,021 181
1 0	0,161 197	−1,127 060	0,138 642	0,990 343	195,056 47	0,567 673	0,021 182
1 10	0,241 966	−1,150 904	0,138 599	0,990 349	197,557 22	0,567 674	0,021 182
1 20	0,322 733	−1,174 747	0,138 557	0,990 355	200,057 97	0,567 673	0,021 182
1 30	0,403 498	−1,198 590	0,138 514	0,990 360	202,558 72	0,567 672	0,021 181
1 40	0,484 262	−1,222 434	0,138 471	0,990 366	205,059 47	0,567 671	0,021 179
1 50	0,565 025	−1,246 276	0,138 428	0,990 372	207,560 22	0,567 669	0,021 177
2 0	0,645 785	−1,270 119	0,138 386	0,990 378	210,060 97	0,567 666	0,021 175
2 10	0,726 544	−1,293 961	0,138 343	0,990 384	212,561 72	0,567 663	0,021 172
2 20	0,807 301	−1,317 803	0,138 300	0,990 390	215,062 48	0,567 660	0,021 168
2 30	0,888 055	−1,341 644	0,138 257	0,990 396	217,563 23	0,567 655	0,021 164
2 40	0,968 807	−1,365 485	0,138 215	0,990 402	220,063 98	0,567 651	0,021 159
2 50	1,049 556	−1,389 325	0,138 172	0,990 408	222,564 73	0,567 645	0,021 154
3 0	1,130 303	−1,413 165	0,138 129	0,990 414	225,065 48	0,567 640	0,021 148

$$\tan f_1 = +0,004\,635$$
$$\tan f_2 = +0,004\,612$$
$$\mu' = +0,261\,878 \text{ rd/h}$$
$$d' = -0,000\,259 \text{ rd/h}$$

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
AUSTRALIE

n°	Position: Latitude	Position: Longitude	Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse: UT	Obs.	*g*	*h*	*a*
	° ′	° ′		m s	h m s	%		°	°
1	−34 56	−138 36	ADELAIDE	·· ···	23 8 5,1	44,1	0,553	23	241
2	−23 42	−133 52	ALICE SPRINGS	·· ···	·· ·· ···	···	···	··	···
3	−36 48	−144 21	BENDIGO	·· ···	23 19 3,5	45,9	0,570	28	234
4	−27 30	−153 0	BRISBANE	·· ···	·· ·· ···	···	···	··	···
5	−31 57	−141 30	BROKEN HILL .	·· ···	23 6 12,7	37,7	0,494	26	240
6	−17 58	−122 15	BROOME	·· ···	22 30 26,3	9,2	0,187	7	259
7	−16 51	−145 43	CAIRNS	·· ···	·· ·· ···	···	···	··	···
8	−35 18	−149 8	CANBERRA	·· ···	23 23 34,4	41,1	0,525	33	229
9	−24 51	−113 45	CARNARVON ..	·· ···	·· ·· ···	···	···	··	···
10	−12 23	−130 44	DARWIN	·· ···	·· ·· ···	···	···	··	···
11	−38 10	−144 26	GEELONG	·· ···	23 21 44,9	48,3	0,591	28	232
12	−42 54	−147 18	HOBART	·· ···	23 34 49,5	55,0	0,649	28	225
13	−30 49	−121 29	KALGOORLIE ..	·· ···	22 47 31,6	35,5	0,474	7	256
14	−41 25	−147 7	LAUNCESTON .	·· ···	23 31 47,9	52,7	0,629	29	226
15	−37 45	−144 58	MELBOURNE ..	·· ···	23 21 43,9	47,4	0,583	28	232
16	−20 50	−139 29	MOUNT ISA	·· ···	·· ·· ···	···	···	··	···
17	−32 55	−151 46	NEWCASTLE ...	·· ···	23 23 36,1	35,2	0,471	36	228
18	−31 58	−115 49	PERTH	·· ···	22 47 29,2	36,6	0,485	2	259
19	−33 55	−151 10	SYDNEY	·· ···	23 24 24,7	37,4	0,492	35	228
20	−19 13	−146 48	TOWNSVILLE ..	·· ···	·· ·· ···	···	···	··	···
21	−33 4	−137 34	WHYALLA	·· ···	23 3 30,0	40,7	0,522	22	243
22	−34 25	−150 52	WOLLONGONG	·· ···	23 24 49,5	38,5	0,502	34	228

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
AUSTRALIE

	1er contact			2^{e} contact			3^{e} contact			4^{e} contact		
n°	UT	*P*	*Z*	UT	*P*	*Z*	UT	*P*	*Z*	UT	*P*	*Z*
	h m s	°	°	h m s	°	°	h m s	°	°	h m s	°	°
1	21 53 29,6	261	29	.. ..	...	...	.. ..	...	...	0 33 34,7	136	282
2	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...
3	21 59 55,1	264	35	.. ..	...	...	.. ..	...	...	0 48 56,2	136	292
4	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...
5	21 52 25,8	258	23	.. ..	...	...	.. ..	...	...	0 30 50,8	140	286
6	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...	23 15 50,2	159	270
7	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...
8	22 2 58,1	262	33	.. ..	...	...	.. ..	...	...	0 54 26,3	141	301
9	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...	23 32 7,8	146	263
10	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...
11	22 1 45,8	265	38	.. ..	...	...	.. ..	...	...	0 52 18,6	135	292
12	22 11 25,2	270	48	.. ..	...	...	.. ..	...	...	1 7 30,4	132	297
13	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...	23 56 44,9	137	264
14	22 8 56,8	268	45	.. ..	...	...	.. ..	...	...	1 4 18,0	133	297
15	22 1 41,4	265	37	.. ..	...	...	.. ..	...	...	0 52 21,2	136	293
16	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...
17	22 3 48,0	259	29	.. ..	...	...	.. ..	...	...	0 53 14,8	145	307
18	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...	23 53 57,4	135	261
19	22 3 58,3	260	31	.. ..	...	...	.. ..	...	...	0 54 47,9	144	305
20	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...	.. ..	...	...
21	21 50 59,8	259	24	.. ..	...	...	.. ..	...	...	0 26 46,1	137	280
22	22 4 6,1	261	32	.. ..	...	...	.. ..	...	...	0 55 31,8	143	305

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
NOUVELLE ZÉLANDE

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse				
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	*g*	*h*	*a*
	° ′	° ′		m s	h m s	%		°	°
1	−36 55	−174 47	AUCKLAND...........	·· ···	0 18 2,9	22,3	0,342	45	181
2	−43 33	−172 40	CHRISTCHURCH......	·· ···	0 21 50,3	36,2	0,480	38	182
3	−45 52	−170 30	DUNEDIN..............	·· ···	0 20 13,3	42,3	0,536	36	185
4	−37 46	−175 18	HAMILTON............	·· ···	0 20 20,2	23,2	0,352	44	179
5	−39 39	−176 52	HASTINGS.............	·· ···	0 26 4,1	25,0	0,370	42	175
6	−50 35	−166 0	ILES AUCKLAND......	·· ···	0 17 22,7	53,7	0,638	31	191
7	−46 26	−168 21	INVERCARGILL........	·· ···	0 16 50,7	45,2	0,563	35	189
8	−41 18	−173 17	NELSON	·· ···	0 20 28,0	31,6	0,436	41	182
9	−39 3	−174 4	NEW PLYMOUTH.....	·· ···	0 19 18,8	26,8	0,388	43	181
10	−40 20	−175 39	PALMERSTON NORTH	·· ···	0 24 16,5	27,4	0,395	42	178
11	−41 17	−174 47	WELLINGTON	·· ···	0 23 33,6	30,0	0,421	41	179
12	−35 43	−174 20	WHANGAREI..........	·· ···	0 15 20,7	20,6	0,324	46	183

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
NOUVELLE ZÉLANDE

n°	1er contact			2e contact			3e contact			4e contact		
	UT	P	Z	UT	P	Z	UT	P	Z	UT	P	Z
	h m s	°	°	h m s	°	°	h m s	°	°	h m s	°	°
1	22 56 46,9	256	53	.. ..	...	...	.. ..	...	...	1 39 12,9	158	359
2	22 54 17,4	264	64	.. ..	...	...	.. ..	...	...	1 49 25,0	147	344
3	22 51 30,4	267	66	.. ..	...	...	.. ..	...	...	1 49 36,2	142	337
4	22 58 27,7	257	56	.. ..	...	...	.. ..	...	...	1 41 48,2	157	359
5	23 3 23,6	258	61	.. ..	...	...	.. ..	...	...	1 47 32,0	156	359
6	22 48 32,6	272	70	.. ..	...	...	.. ..	...	...	1 48 0,8	134	324
7	22 47 46,5	269	65	.. ..	...	...	.. ..	...	...	1 47 22,4	140	333
8	22 54 17,2	262	60	.. ..	...	...	.. ..	...	...	1 46 39,4	150	349
9	22 55 15,7	259	57	.. ..	...	...	.. ..	...	...	1 43 18,1	154	354
10	23 0 6,5	259	61	.. ..	...	...	.. ..	...	...	1 47 36,5	153	355
11	22 58 9,0	261	61	.. ..	...	...	.. ..	...	...	1 48 22,6	151	352
12	22 55 17,1	255	51	.. ..	...	...	.. ..	...	...	1 35 38,0	160	0