BUREAU DES LONGITUDES

CALCUL DES CIRCONSTANCES DES L'ÉCLIPSES DU SOLEIL DE L'AN 2000

le : 23 février 1998

P. ROCHER

Tél : (33) 1 40 51 22 72

Fax : (33) 1 46 33 28 34

Email : rocher@bdl.fr

Ce document se trouve également sur le serveur ftp du Bureau des longitudes, ftp.bdl.fr
dans le répertoire /pub/ephem/eclipses/an2000 ; dans le fichier Ecl2000.ps

TABLE DES MATIÈRES

Avertissement
Information 3
Précision dans le calcul des prédictions d'éclipses 3
Recommandation 4
Généralités et définitions
Généralités et définitions 5
Liste des tableaux et cartes contenus dans ce document 6
Calcul des phases d'une éclipse pour un lieu donné 7
Éclipse partielle du 5 février 2000 11
Données relatives à l'éclipse
Éphémérides de la Lune et du Soleil le 5 février 2000 13
Éphémérides de la Lune et du Soleil le 6 février 2000 14
Paramètres physiques utilisés dans les calculs 15
Éléments de l'éclipse partielle du 5 février 2000 15
Circonstances de l'éclipse générale 15
Éléments de Bessel sous forme polynômiale 15
Éléments de Bessel (notation française) 16
Éléments de Bessel (notation américaine) 17
Éclipse partielle du 1 juillet 2000 19
Données relatives à l'éclipse
Éphémérides de la Lune et du Soleil le 1 juillet 2000 21
Éphémérides de la Lune et du Soleil le 2 juillet 2000 22
Paramètres physiques utilisés dans les calculs 23
Éléments de l'éclipse partielle du 1 juillet 2000 23
Circonstances de l'éclipse générale 23
Éléments de Bessel sous forme polynômiale 23
Éléments de Bessel (notation française) 24
Éléments de Bessel (notation américaine) 25
Éclipse partielle du 31 juillet 2000 27
Données relatives à l'éclipse
Éphémérides de la Lune et du Soleil le 30 juillet 2000 29
Éphémérides de la Lune et du Soleil le 31 juillet 2000 30
Paramètres physiques utilisés dans les calculs 31
Éléments de l'éclipse partielle du 31 juillet 2000 31
Circonstances de l'éclipse générale 31
Éléments de Bessel sous forme polynômiale 31
Éléments de Bessel (notation française) 32
Éléments de Bessel (notation américaine) 33

TABLE DES MATIÈRES
(*Suite et fin*)

Éclipse partielle du 25 décembre 2000 35
Données relatives à l'éclipse
Éphémérides de la Lune et du Soleil le 25 décembre 2000 37
Éphémérides de la Lune et du Soleil le 26 décembre 2000 38
Paramètres physiques utilisés dans les calculs 39
Éléments de l'éclipse partielle du 25 décembre 2000 39
Circonstances de l'éclipse générale 39
Éléments de Bessel sous forme polynômiale 39
Éléments de Bessel (notation française) 40
Éléments de Bessel (notation américaine) 41
Hors-Textes
Figures 43
Cartes générales 46

AVERTISSEMENT

Information

La présente note contient l'ensemble des prédictions pour les quatre éclipses partielles du Soleil visibles durant l'année 2000. Ces éclipses auront lieu respectivement le 5 février, le 1 juillet, le 31 juillet et le 25 décembre 2000.

Précision dans le calcul des prédictions d'éclipses

Les différents organismes nationaux producteurs d'éphémérides publient dans leurs éphémérides et dans des bulletins spécifiques les circonstances générales et locales des éclipses de Lune et de Soleil. Parmi ces organismes figurent entre autres :

– l'**U.S. Naval Observatory**, qui publie l'*Astronomical Almanac*,
– la **Division Astronomie du Département d'Hydrographie de Tokyo**, qui publie les *Éphémérides Japonaises*,
– le **Département de Météorologie Indienne** qui publie les *Éphémérides Astronomiques Indiennes*,
– le **Bureau des longitudes** qui publie la *Connaissance des Temps* et les *Éphémérides Astronomiques.* A cette liste il convient d'ajouter, la **NASA** qui publie et diffuse régulièrement des bulletins spécifiques aux éclipses de Soleil.

Si on compare les prédictions de ces différentes publications, on constate des écarts, sur les instants des conjonctions en longitude, sur les limites des bandes de centralité et sur les circonstances locales des éclipses. Ces écarts proviennent des différences entre les paramètres utilisés dans les calculs de prédiction.

Le premier choix porte sur les éphémérides et les théories utilisées dans le calcul des positions apparentes de la Lune et du Soleil. Tous les organismes cités ci-dessus, à l'exception du Bureau des longitudes, utilisent pour le calcul des éphémérides de la Lune et du Soleil les résultats de l'intégration numérique américaine DE200/LE200 du **Jet Propulsion Laboratory**. Au Bureau des longitudes, nous utilisons, pour la Lune la théorie analytique ELP2000 élaborée par M. Chapront-Touzé et J. Chapront, et pour le Soleil la théorie analytique VSOP82 élaborée par P. Bretagnon. Ces deux théories et les éphémérides américaines sont suffisamment proches pour ne pas entraîner des écarts dans les prédictions. Par contre tous les organismes nationaux, à l'exception de la NASA, effectuent une correction empirique en latitude et en longitude dans le calcul des éphémérides des positions apparentes de la Lune. Cette correction a pour but de passer des coordonnées du centre de masse de la Lune aux coordonnées du centre optique de la Lune. Cette correction est de $+0,50''$ en longitude et de $-0,25''$ en latitude. L'absence de cette correction dans les bulletins de la NASA, explique les écarts constatés sur les instants de conjonction et une partie des écarts dans la détermination des lignes de centralité (décalage de la ligne de centralité).

Un deuxième paramètre important dans l'explication des écarts constatés entre les différentes prédictions, est la valeur du paramètre k utilisée dans les calculs. k est la valeur du rayon moyen de la Lune exprimé en rayon terrestre. Jusqu'en 1982, on utilisait deux valeurs distinctes de k, une première ($k = 0,272\,488\,0$) dans le cas général et une spécifique ($k = 0,272\,281$) uniquement pour le calcul des quantités liées à l'ombre dans le cas des éclipses totales. Le fait d'utiliser deux valeurs différentes pour les éclipses centrales posait des problèmes de discontinuité pour les éclipses mixtes. En 1982 l'Union Astronomique Internationale a recommandé d'adopter une valeur unique pour k ($k = 0,272\,507\,6$) dans tous les calculs relatifs aux éclipses. Cette recommandation a été suivie par tous les organismes à l'exception de la NASA qui continue à utiliser deux paramètres distincts, en prenant comme première valeur de k la valeur recommandée par l'UAI ($k = 0,272\,507\,6$) et en étendant l'utilisation de la deuxième valeur de k ($k = 0,272\,281$) au cas des éclipses annulaires. Cela produit donc de nouveaux écarts entre les résultats des Bulletins de la NASA et les prédictions des autres organismes, cela se traduit dans les bulletins de la NASA par une ligne de centralité plus large dans le cas des éclipses annulaires et moins large dans le cas des éclipses totales, de même cela affecte les calculs relatifs aux durées des phases centrales.

Ces choix sont la source des écarts observés entre les différentes publications et les bulletins de la NASA.

La valeur de l'aplatissement terrestre entre également dans les calculs des coordonnées géographiques des différentes lignes calculées. Mais les écarts produits par les variations possibles de cette valeur sont négligeables.

Par contre, les différences d'estimation de l'écart entre le temps terrestre et le temps universel affectent les résultats publiés. Cela modifie l'instant de la conjonction et les valeurs des instants et des longitudes dans les phases de l'éclipse.

Recommandation

Ces écarts entre diverses publications sont source d'erreurs et de confusions, surtout aux voisinages des limites de la bande de totalité. Il convient donc d'être prudent lors de l'utilisation ou lors des calculs des données relatives aux circonstances locales aux voisinages des limites de cette bande de centralité. En fonction de la publication utilisée, un lieu peut être ou ne pas être dans cette bande. Il faut savoir qu'en ces lieux, une variation de position de quelques kilomètres, peut changer de manière significative l'observation de la centralité. **Pour une bonne observation de l'éclipse et pour minimiser les conséquences liées aux incertitudes sur ces calculs, il convient de se rapprocher le plus possible de la ligne de centralité.** De plus pour un calcul rigoureux des instants et des positions des contacts intérieurs il est nécessaire de tenir compte de l'aspect réel du profil du limbe lunaire.

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 différe 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.

ÉCLIPSE PARTIELLE DU SOLEIL LE 5 FÉVRIER 2000

ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 5 FÉVRIER 2000

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	21 11 45,7340	−16 11 39,3650	20 47 45,5077	−18 24 37,4150	− 0 24 0,2263
1	21 11 55,8254	−16 10 54,4232	20 49 52,7553	−18 19 10,0425	− 0 22 3,0701
2	21 12 5,9153	−16 10 9,4522	20 51 59,9439	−18 13 37,1989	− 0 20 5,9714
3	21 12 16,0039	−16 9 24,4521	20 54 7,0723	−18 7 58,9083	− 0 18 8,9316
4	21 12 26,0911	−16 8 39,4229	20 56 14,1394	−18 2 15,1950	− 0 16 11,9517
5	21 12 36,1768	−16 7 54,3646	20 58 21,1439	−17 56 26,0840	− 0 14 15,0329
6	21 12 46,2612	−16 7 9,2774	21 0 28,0847	−17 50 31,6006	− 0 12 18,1765
7	21 12 56,3441	−16 6 24,1611	21 2 34,9607	−17 44 31,7710	− 0 10 21,3834
8	21 13 6,4256	−16 5 39,0159	21 4 41,7710	−17 38 26,6213	− 0 8 24,6546
9	21 13 16,5057	−16 4 53,8418	21 6 48,5144	−17 32 16,1787	− 0 6 27,9913
10	21 13 26,5845	−16 4 8,6388	21 8 55,1900	−17 26 0,4703	− 0 4 31,3944
11	21 13 36,6618	−16 3 23,4069	21 11 1,7970	−17 19 39,5241	− 0 2 34,8647
12	21 13 46,7376	−16 2 38,1462	21 13 8,3344	−17 13 13,3684	− 0 0 38,4032
13	21 13 56,8121	−16 1 52,8567	21 15 14,8015	−17 6 42,0318	+ 0 1 17,9894
14	21 14 6,8852	−16 1 7,5384	21 17 21,1974	−17 0 5,5437	+ 0 3 14,3122
15	21 14 16,9569	−16 0 22,1914	21 19 27,5214	−16 53 23,9336	+ 0 5 10,5646
16	21 14 27,0271	−15 59 36,8157	21 21 33,7729	−16 46 37,2317	+ 0 7 6,7458
17	21 14 37,0959	−15 58 51,4112	21 23 39,9511	−16 39 45,4684	+ 0 9 2,8552
18	21 14 47,1634	−15 58 5,9782	21 25 46,0556	−16 32 48,6748	+ 0 10 58,8922
19	21 14 57,2294	−15 57 20,5165	21 27 52,0857	−16 25 46,8823	+ 0 12 54,8563
20	21 15 7,2940	−15 56 35,0262	21 29 58,0410	−16 18 40,1226	+ 0 14 50,7469
21	21 15 17,3572	−15 55 49,5073	21 32 3,9209	−16 11 28,4281	+ 0 16 46,5637
22	21 15 27,4190	−15 55 3,9600	21 34 9,7252	−16 4 11,8313	+ 0 18 42,3062
23	21 15 37,4794	−15 54 18,3841	21 36 15,4534	−15 56 50,3653	+ 0 20 37,9740

ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 6 FÉVRIER 2000

Instants en UT.	Coordonnées équatoriales géocentriques apparentes du Soleil: ascension droite	Coordonnées équatoriales géocentriques apparentes du Soleil: déclinaison	Coordonnées équatoriales géocentriques apparentes de la Lune: ascension droite	Coordonnées équatoriales géocentriques apparentes de la Lune: déclinaison	Écart en ascension droite Lune − Soleil
h	h m s	° ′ ″	h m s	° ′ ″	h m s
0	21 15 47,5384	−15 53 32,7798	21 38 21,1052	−15 49 24,0637	+ 0 22 33,5668
1	21 15 57,5960	−15 52 47,1470	21 40 26,6804	−15 41 52,9602	+ 0 24 29,0845
2	21 16 7,6521	−15 52 1,4858	21 42 32,1788	−15 34 17,0891	+ 0 26 24,5267
3	21 16 17,7069	−15 51 15,7962	21 44 37,6001	−15 26 36,4851	+ 0 28 19,8933
4	21 16 27,7602	−15 50 30,0783	21 46 42,9443	−15 18 51,1832	+ 0 30 15,1841
5	21 16 37,8122	−15 49 44,3321	21 48 48,2114	−15 11 1,2187	+ 0 32 10,3992
6	21 16 47,8627	−15 48 58,5576	21 50 53,4011	−15 3 6,6274	+ 0 34 5,5384
7	21 16 57,9118	−15 48 12,7548	21 52 58,5137	−14 55 7,4456	+ 0 36 0,6019
8	21 17 7,9595	−15 47 26,9238	21 55 3,5492	−14 47 3,7095	+ 0 37 55,5897
9	21 17 18,0058	−15 46 41,0646	21 57 8,5076	−14 38 55,4562	+ 0 39 50,5018
10	21 17 28,0507	−15 45 55,1773	21 59 13,3892	−14 30 42,7228	+ 0 41 45,3386
11	21 17 38,0942	−15 45 9,2618	22 1 18,1943	−14 22 25,5467	+ 0 43 40,1001
12	21 17 48,1363	−15 44 23,3182	22 3 22,9229	−14 14 3,9660	+ 0 45 34,7867
13	21 17 58,1769	−15 43 37,3466	22 5 27,5756	−14 5 38,0188	+ 0 47 29,3987
14	21 18 8,2162	−15 42 51,3469	22 7 32,1526	−13 57 7,7436	+ 0 49 23,9364
15	21 18 18,2540	−15 42 5,3191	22 9 36,6544	−13 48 33,1794	+ 0 51 18,4003
16	21 18 28,2905	−15 41 19,2634	22 11 41,0813	−13 39 54,3653	+ 0 53 12,7909
17	21 18 38,3255	−15 40 33,1798	22 13 45,4340	−13 31 11,3407	+ 0 55 7,1085
18	21 18 48,3591	−15 39 47,0682	22 15 49,7130	−13 22 24,1456	+ 0 57 1,3539
19	21 18 58,3913	−15 39 0,9288	22 17 53,9188	−13 13 32,8200	+ 0 58 55,5275
20	21 19 8,4221	−15 38 14,7615	22 19 58,0522	−13 4 37,4044	+ 1 0 49,6300
21	21 19 18,4515	−15 37 28,5663	22 22 2,1138	−12 55 37,9393	+ 1 2 43,6622
22	21 19 28,4795	−15 36 42,3434	22 24 6,1043	−12 46 34,4659	+ 1 4 37,6248
23	21 19 38,5061	−15 35 56,0926	22 26 10,0247	−12 37 27,0254	+ 1 6 31,5186
24	21 19 48,5313	−15 35 9,8142	22 28 13,8756	−12 28 15,6592	+ 1 8 25,3443

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 : $r_0 = 6\,378\,140\,\mathrm{m}$
– le carré de l'ellipticité de l'ellipsoïde terrestre : $e^2 = 0,006\,694\,38$.
– la différence estimée entre le Temps terrestre (TT) et le Temps universel (UT) : $\Delta T_e = 65,10\,\mathrm{s}$
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.
Pour tenir compte des écarts en le centre optique et le centre de masse de la Lune les positions de la Lune ont été corrigées de $0,50''$ en longitude et de $-0,25''$ en latitude.

ÉLÉMENTS DE L'ÉCLIPSE PARTIELLE DU 5 FÉVRIER 2000

Instant de la conjonction géocentrique en ascension droite
le 5 février 2000 à 12h 19m 47,566s UT.

Ascension droite du Soleil	: 21h 13m 50,061s.
Déclinaison du Soleil	: −16° 2′ 23,21″.
Ascension droite de la Lune	: 21h 13m 50,061s.
Déclinaison de la Lune	: −17° 11′ 4,85″.
Parallaxe équatoriale du Soleil	: 8,92″.
Parallaxe équatoriale de la Lune	: 55′ 7,61″.
Demi-diamètre vrai du Soleil	: 16′ 13,32″.
Demi-diamètre vrai de la Lune	: 15′ 1,26″.

CIRCONSTANCES DE L'ÉCLIPSE GÉNÉRALE

magnitude : 0,5796

	UT	Longitude	Latitude
Commencement de l'éclipse générale .... :	le 5 à 10h 55,7m	+ 99° 10,0′	−59° 5,6′
Maximum de l'éclipse .... :	le 5 à 12h 49,4m	−134° 20,1′	−70° 15,4′
Fin de l'éclipse générale .... :	le 5 à 14h 43,1m	− 65° 36,8′	−37° 54,4′

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 $t = (T - 10\mathrm{h}) + \delta T/3600$, T est exprimé en heures et fraction d'heure. Ces équations ne sont valides que sur l'intervalle $10\mathrm{h} < T < 15\mathrm{h}$, 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.

$$\begin{aligned}
x &= -1,178\,203\,54 + 0,505\,647\,99 \times t + 0,000\,033\,35 \times t^2 - 0,000\,006\,04 \times t^3\\
y &= -1,493\,243\,91 + 0,104\,264\,37 \times t + 0,000\,163\,44 \times t^2 - 0,000\,001\,17 \times t^3\\
\sin d &= -0,276\,733\,84 + 0,000\,206\,33 \times t + 0,000\,000\,07 \times t^2\\
\cos d &= 0,960\,946\,60 + 0,000\,059\,42 \times t - 0,000\,000\,00 \times t^2\\
H &= -33,490\,977\,27 + 15,000\,380\,92 \times t + 0,000\,002\,92 \times t^2 - 0,000\,000\,01 \times t^3 - 0,004\,178\,07\,\delta T\\
u_e &= 0,568\,397\,77 - 0,000\,034\,66 \times t - 0,000\,010\,32 \times t^2\\
u_i &= -0,021\,902\,28 + 0,000\,034\,49 \times t + 0,000\,010\,27 \times t^2
\end{aligned}$$

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					°		
10 0	−1,178 204	−1,493 244	−0,276 734	0,960 947	326,509 02	0,568 398	−0,021 902
10 10	−1,093 928	−1,475 862	−0,276 699	0,960 957	329,009 09	0,568 392	−0,021 896
10 20	−1,009 651	−1,458 471	−0,276 665	0,960 966	331,509 15	0,568 385	−0,021 890
10 30	−0,925 372	−1,441 071	−0,276 631	0,960 976	334,009 21	0,568 378	−0,021 882
10 40	−0,841 092	−1,423 662	−0,276 596	0,960 986	336,509 28	0,568 370	−0,021 875
10 50	−0,756 811	−1,406 244	−0,276 562	0,960 996	339,009 34	0,568 362	−0,021 866
11 0	−0,672 528	−1,388 817	−0,276 527	0,961 006	341,509 41	0,568 353	−0,021 858
11 10	−0,588 245	−1,371 382	−0,276 493	0,961 016	344,009 47	0,568 343	−0,021 848
11 20	−0,503 961	−1,353 937	−0,276 459	0,961 026	346,509 54	0,568 333	−0,021 838
11 30	−0,419 677	−1,336 484	−0,276 424	0,961 036	349,009 60	0,568 323	−0,021 827
11 40	−0,335 392	−1,319 021	−0,276 390	0,961 046	351,509 67	0,568 311	−0,021 816
11 50	−0,251 107	−1,301 550	−0,276 355	0,961 056	354,009 73	0,568 300	−0,021 805
12 0	−0,166 823	−1,284 071	−0,276 321	0,961 065	356,509 80	0,568 287	−0,021 792
12 10	−0,082 538	−1,266 582	−0,276 286	0,961 075	359,009 86	0,568 274	−0,021 779
12 20	0,001 747	−1,249 085	−0,276 252	0,961 085	1,509 93	0,568 261	−0,021 766
12 30	0,086 030	−1,231 580	−0,276 218	0,961 095	4,009 99	0,568 247	−0,021 752
12 40	0,170 314	−1,214 066	−0,276 183	0,961 105	6,510 06	0,568 232	−0,021 737
12 50	0,254 596	−1,196 543	−0,276 149	0,961 115	9,010 13	0,568 217	−0,021 722
13 0	0,338 877	−1,179 011	−0,276 114	0,961 125	11,510 19	0,568 201	−0,021 706
13 10	0,423 158	−1,161 472	−0,276 080	0,961 135	14,010 26	0,568 184	−0,021 690
13 20	0,507 436	−1,143 923	−0,276 045	0,961 145	16,510 32	0,568 167	−0,021 673
13 30	0,591 714	−1,126 367	−0,276 011	0,961 155	19,010 39	0,568 150	−0,021 656
13 40	0,675 989	−1,108 802	−0,275 976	0,961 164	21,510 46	0,568 132	−0,021 638
13 50	0,760 263	−1,091 228	−0,275 942	0,961 174	24,010 52	0,568 113	−0,021 619
14 0	0,844 535	−1,073 646	−0,275 907	0,961 184	26,510 59	0,568 094	−0,021 600
14 10	0,928 805	−1,056 056	−0,275 873	0,961 194	29,010 66	0,568 074	−0,021 580
14 20	1,013 072	−1,038 458	−0,275 839	0,961 204	31,510 73	0,568 054	−0,021 560
14 30	1,097 337	−1,020 851	−0,275 804	0,961 214	34,010 79	0,568 033	−0,021 539
14 40	1,181 599	−1,003 237	−0,275 770	0,961 224	36,510 86	0,568 011	−0,021 517
14 50	1,265 858	−0,985 614	−0,275 735	0,961 234	39,010 93	0,567 989	−0,021 495
15 0	1,350 115	−0,967 983	−0,275 701	0,961 244	41,511 00	0,567 966	−0,021 473

$$\tan f_e = +0,004\,743\,32$$
$$\tan f_i = -0,004\,719\,69$$
$$H' = +0,261\,806\,28\ \mathrm{rd/h}$$
$$d' = +0,000\,215\,02\ \mathrm{rd/h}$$

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					°		
10 0	−1,178 204	−1,493 244	−0,276 734	0,960 947	326,509 02	0,568 398	0,021 902
10 10	−1,093 928	−1,475 862	−0,276 699	0,960 957	329,009 09	0,568 392	0,021 896
10 20	−1,009 651	−1,458 471	−0,276 665	0,960 966	331,509 15	0,568 385	0,021 890
10 30	−0,925 372	−1,441 071	−0,276 631	0,960 976	334,009 21	0,568 378	0,021 882
10 40	−0,841 092	−1,423 662	−0,276 596	0,960 986	336,509 28	0,568 370	0,021 875
10 50	−0,756 811	−1,406 244	−0,276 562	0,960 996	339,009 34	0,568 362	0,021 866
11 0	−0,672 528	−1,388 817	−0,276 527	0,961 006	341,509 41	0,568 353	0,021 858
11 10	−0,588 245	−1,371 382	−0,276 493	0,961 016	344,009 47	0,568 343	0,021 848
11 20	−0,503 961	−1,353 937	−0,276 459	0,961 026	346,509 54	0,568 333	0,021 838
11 30	−0,419 677	−1,336 484	−0,276 424	0,961 036	349,009 60	0,568 323	0,021 827
11 40	−0,335 392	−1,319 021	−0,276 390	0,961 046	351,509 67	0,568 311	0,021 816
11 50	−0,251 107	−1,301 550	−0,276 355	0,961 056	354,009 73	0,568 300	0,021 805
12 0	−0,166 823	−1,284 071	−0,276 321	0,961 065	356,509 80	0,568 287	0,021 792
12 10	−0,082 538	−1,266 582	−0,276 286	0,961 075	359,009 86	0,568 274	0,021 779
12 20	0,001 747	−1,249 085	−0,276 252	0,961 085	1,509 93	0,568 261	0,021 766
12 30	0,086 030	−1,231 580	−0,276 218	0,961 095	4,009 99	0,568 247	0,021 752
12 40	0,170 314	−1,214 066	−0,276 183	0,961 105	6,510 06	0,568 232	0,021 737
12 50	0,254 596	−1,196 543	−0,276 149	0,961 115	9,010 13	0,568 217	0,021 722
13 0	0,338 877	−1,179 011	−0,276 114	0,961 125	11,510 19	0,568 201	0,021 706
13 10	0,423 158	−1,161 472	−0,276 080	0,961 135	14,010 26	0,568 184	0,021 690
13 20	0,507 436	−1,143 923	−0,276 045	0,961 145	16,510 32	0,568 167	0,021 673
13 30	0,591 714	−1,126 367	−0,276 011	0,961 155	19,010 39	0,568 150	0,021 656
13 40	0,675 989	−1,108 802	−0,275 976	0,961 164	21,510 46	0,568 132	0,021 638
13 50	0,760 263	−1,091 228	−0,275 942	0,961 174	24,010 52	0,568 113	0,021 619
14 0	0,844 535	−1,073 646	−0,275 907	0,961 184	26,510 59	0,568 094	0,021 600
14 10	0,928 805	−1,056 056	−0,275 873	0,961 194	29,010 66	0,568 074	0,021 580
14 20	1,013 072	−1,038 458	−0,275 839	0,961 204	31,510 73	0,568 054	0,021 560
14 30	1,097 337	−1,020 851	−0,275 804	0,961 214	34,010 79	0,568 033	0,021 539
14 40	1,181 599	−1,003 237	−0,275 770	0,961 224	36,510 86	0,568 011	0,021 517
14 50	1,265 858	−0,985 614	−0,275 735	0,961 234	39,010 93	0,567 989	0,021 495
15 0	1,350 115	−0,967 983	−0,275 701	0,961 244	41,511 00	0,567 966	0,021 473

$$\tan f_1 = +0,004\,743\,32$$
$$\tan f_2 = +0,004\,719\,69$$
$$\mu' = +0,261\,806\,28\ \mathrm{rd/h}$$
$$d' = +0,000\,215\,02\ \mathrm{rd/h}$$

ÉCLIPSE PARTIELLE DU SOLEIL LE 1 JUILLET 2000

ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 1 JUILLET 2000

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	6 41 12,2244	+23 5 59,9167	5 51 28,2157	+21 3 15,8077	− 0 49 44,0087
1	6 41 22,5681	+23 5 49,7244	5 54 10,2315	+21 6 51,8307	− 0 47 12,3366
2	6 41 32,9114	+23 5 39,4901	5 56 52,4440	+21 10 18,3164	− 0 44 40,4675
3	6 41 43,2543	+23 5 29,2137	5 59 34,8448	+21 13 35,2125	− 0 42 8,4095
4	6 41 53,5967	+23 5 18,8954	6 2 17,4255	+21 16 42,4693	− 0 39 36,1712
5	6 42 3,9387	+23 5 8,5350	6 5 0,1774	+21 19 40,0390	− 0 37 3,7613
6	6 42 14,2802	+23 4 58,1326	6 7 43,0920	+21 22 27,8764	− 0 34 31,1883
7	6 42 24,6213	+23 4 47,6882	6 10 26,1602	+21 25 5,9385	− 0 31 58,4612
8	6 42 34,9619	+23 4 37,2019	6 13 9,3731	+21 27 34,1848	− 0 29 25,5888
9	6 42 45,3021	+23 4 26,6735	6 15 52,7218	+21 29 52,5770	− 0 26 52,5803
10	6 42 55,6418	+23 4 16,1032	6 18 36,1971	+21 32 1,0795	− 0 24 19,4448
11	6 43 5,9811	+23 4 5,4909	6 21 19,7897	+21 33 59,6591	− 0 21 46,1914
12	6 43 16,3198	+23 3 54,8367	6 24 3,4903	+21 35 48,2851	− 0 19 12,8295
13	6 43 26,6582	+23 3 44,1405	6 26 47,2896	+21 37 26,9292	− 0 16 39,3686
14	6 43 36,9960	+23 3 33,4024	6 29 31,1781	+21 38 55,5658	− 0 14 5,8179
15	6 43 47,3334	+23 3 22,6224	6 32 15,1463	+21 40 14,1718	− 0 11 32,1871
16	6 43 57,6703	+23 3 11,8004	6 34 59,1847	+21 41 22,7268	− 0 8 58,4856
17	6 44 8,0068	+23 3 0,9365	6 37 43,2835	+21 42 21,2129	− 0 6 24,7232
18	6 44 18,3427	+23 2 50,0307	6 40 27,4332	+21 43 9,6148	− 0 3 50,9095
19	6 44 28,6782	+23 2 39,0830	6 43 11,6240	+21 43 47,9199	− 0 1 17,0542
20	6 44 39,0132	+23 2 28,0934	6 45 55,8463	+21 44 16,1183	+ 0 1 16,8331
21	6 44 49,3477	+23 2 17,0619	6 48 40,0902	+21 44 34,2026	+ 0 3 50,7425
22	6 44 59,6818	+23 2 5,9886	6 51 24,3461	+21 44 42,1682	+ 0 6 24,6643
23	6 45 10,0153	+23 1 54,8734	6 54 8,6041	+21 44 40,0130	+ 0 8 58,5887

ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 2 JUILLET 2000

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	6 45 20,3484	+23 1 43,7163	6 56 52,8544	+21 44 27,7378	+ 0 11 32,5060
1	6 45 30,6809	+23 1 32,5173	6 59 37,0873	+21 44 5,3459	+ 0 14 6,4064
2	6 45 41,0130	+23 1 21,2766	7 2 21,2931	+21 43 32,8433	+ 0 16 40,2801
3	6 45 51,3446	+23 1 9,9939	7 5 5,4620	+21 42 50,2386	+ 0 19 14,1174
4	6 46 1,6757	+23 0 58,6695	7 7 49,5843	+21 41 57,5432	+ 0 21 47,9086
5	6 46 12,0063	+23 0 47,3032	7 10 33,6504	+21 40 54,7709	+ 0 24 21,6441
6	6 46 22,3364	+23 0 35,8951	7 13 17,6505	+21 39 41,9383	+ 0 26 55,3141
7	6 46 32,6659	+23 0 24,4453	7 16 1,5751	+21 38 19,0646	+ 0 29 28,9092
8	6 46 42,9950	+23 0 12,9536	7 18 45,4147	+21 36 46,1716	+ 0 32 2,4197
9	6 46 53,3236	+23 0 1,4201	7 21 29,1599	+21 35 3,2835	+ 0 34 35,8363
10	6 47 3,6516	+22 59 49,8448	7 24 12,8011	+21 33 10,4274	+ 0 37 9,1495
11	6 47 13,9791	+22 59 38,2278	7 26 56,3291	+21 31 7,6326	+ 0 39 42,3500
12	6 47 24,3062	+22 59 26,5690	7 29 39,7347	+21 28 54,9311	+ 0 42 15,4285
13	6 47 34,6327	+22 59 14,8685	7 32 23,0086	+21 26 32,3574	+ 0 44 48,3760
14	6 47 44,9587	+22 59 3,1262	7 35 6,1419	+21 23 59,9482	+ 0 47 21,1832
15	6 47 55,2841	+22 58 51,3421	7 37 49,1255	+21 21 17,7430	+ 0 49 53,8413
16	6 48 5,6091	+22 58 39,5164	7 40 31,9505	+21 18 25,7833	+ 0 52 26,3414
17	6 48 15,9335	+22 58 27,6489	7 43 14,6083	+21 15 24,1134	+ 0 54 58,6748
18	6 48 26,2574	+22 58 15,7396	7 45 57,0901	+21 12 12,7796	+ 0 57 30,8327
19	6 48 36,5807	+22 58 3,7887	7 48 39,3874	+21 8 51,8305	+ 1 0 2,8067
20	6 48 46,9036	+22 57 51,7961	7 51 21,4920	+21 5 21,3172	+ 1 2 34,5884
21	6 48 57,2259	+22 57 39,7618	7 54 3,3953	+21 1 41,2927	+ 1 5 6,1695
22	6 49 7,5476	+22 57 27,6858	7 56 45,0895	+20 57 51,8124	+ 1 7 37,5419
23	6 49 17,8688	+22 57 15,5681	7 59 26,5664	+20 53 52,9336	+ 1 10 8,6975
24	6 49 28,1895	+22 57 3,4088	8 2 7,8182	+20 49 44,7160	+ 1 12 39,6287

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 : $e^2 = 0,006\,694\,38$.
– la différence estimée entre le Temps terrestre (TT) et le Temps universel (UT) : $\Delta T_e = 65,50$ 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.
Pour tenir compte des écarts en le centre optique et le centre de masse de la Lune les positions de la Lune ont été corrigées de $0,50''$ en longitude et de $-0,25''$ en latitude.

ÉLÉMENTS DE L'ÉCLIPSE PARTIELLE DU 1 JUILLET 2000

Instant de la conjonction géocentrique en ascension droite
le 1 juillet 2000 à 19h 30m 2,665s UT.

Ascension droite du Soleil	: 6h 44m 33,853s.
Déclinaison du Soleil	: +23° 2′ 33,59″.
Ascension droite de la Lune	: 6h 44m 33,853s.
Déclinaison de la Lune	: +21° 44′ 3,30″.
Parallaxe équatoriale du Soleil	: 8,65″.
Parallaxe équatoriale de la Lune	: 1′ 21,44″.
Demi-diamètre vrai du Soleil	: 15′ 43,85″.
Demi-diamètre vrai de la Lune	: 16′ 43,11″.

CIRCONSTANCES DE L'ÉCLIPSE GÉNÉRALE

magnitude : 0,4768

	UT	Longitude	Latitude
Commencement de l'éclipse générale	: le 1 à 18h 7,1m	+148° 27,3′	−51° 29,5′
Maximum de l'éclipse	: le 1 à 19h 32,5m	+109° 27,9′	−66° 55,9′
Fin de l'éclipse générale	: le 1 à 20h 57,8m	+ 73° 44,7′	−49° 50,9′

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 $t = (T-18\text{h}) + \delta T/3600$, T est exprimé en heures et fraction d'heure. Ces équations ne sont valides que sur l'intervalle $18\text{h} < T < 21\text{h}$, 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.

$$x = -0,876\,174\,82 + 0,583\,777\,67 \times t + 0,000\,048\,74 \times t^2 - 0,000\,009\,95 \times t^3$$

$$y = -1,298\,700\,19 + 0,010\,973\,25 \times t - 0,000\,090\,55 \times t^2 - 0,000\,000\,29 \times t^3$$

$$\sin d = 0,391\,539\,91 - 0,000\,049\,17 \times t - 0,000\,000\,09 \times t^2$$

$$\cos d = 0,920\,161\,12 + 0,000\,020\,92 \times t + 0,000\,000\,04 \times t^2$$

$$H = 89,012\,264\,34 + 14,999\,529\,27 \times t + 0,000\,001\,13 \times t^2 - 0,000\,000\,03 \times t^3 - 0,004\,178\,07\,\delta T$$

$$u_e = 0,530\,062\,71 + 0,000\,032\,63 \times t - 0,000\,012\,81 \times t^2$$

$$u_i = 0,016\,241\,41 - 0,000\,032\,47 \times t + 0,000\,012\,75 \times t^2$$

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					°		
18 0	−0,876 175	−1,298 700	0,391 540	0,920 161	89,012 26	0,530 063	0,016 241
18 10	−0,778 877	−1,296 874	0,391 532	0,920 165	91,512 19	0,530 068	0,016 236
18 20	−0,681 577	−1,295 053	0,391 524	0,920 168	94,012 11	0,530 072	0,016 232
18 30	−0,584 275	−1,293 236	0,391 515	0,920 172	96,512 03	0,530 076	0,016 228
18 40	−0,486 971	−1,291 425	0,391 507	0,920 175	99,011 95	0,530 079	0,016 225
18 50	−0,389 665	−1,289 619	0,391 499	0,920 179	101,511 87	0,530 081	0,016 223
19 0	−0,292 358	−1,287 818	0,391 491	0,920 182	104,011 79	0,530 083	0,016 222
19 10	−0,195 050	−1,286 022	0,391 482	0,920 186	106,511 72	0,530 083	0,016 221
19 20	−0,097 742	−1,284 231	0,391 474	0,920 189	109,011 64	0,530 083	0,016 221
19 30	−0,000 432	−1,282 445	0,391 466	0,920 193	111,511 56	0,530 083	0,016 221
19 40	0,096 877	−1,280 664	0,391 458	0,920 196	114,011 48	0,530 082	0,016 223
19 50	0,194 187	−1,278 889	0,391 449	0,920 200	116,511 40	0,530 079	0,016 225
20 0	0,291 496	−1,277 118	0,391 441	0,920 203	119,011 33	0,530 077	0,016 227
20 10	0,388 804	−1,275 353	0,391 433	0,920 207	121,511 25	0,530 073	0,016 231
20 20	0,486 112	−1,273 593	0,391 425	0,920 210	124,011 17	0,530 069	0,016 235
20 30	0,583 419	−1,271 838	0,391 416	0,920 214	126,511 09	0,530 064	0,016 240
20 40	0,680 724	−1,270 088	0,391 408	0,920 217	129,011 02	0,530 059	0,016 245
20 50	0,778 027	−1,268 343	0,391 400	0,920 221	131,510 94	0,530 052	0,016 252
21 0	0,875 328	−1,266 603	0,391 392	0,920 224	134,010 86	0,530 045	0,016 259

$$\begin{aligned} \tan f_e &= +0,004\,598\,14 \\ \tan f_i &= -0,004\,575\,23 \\ H' &= +0,261\,791\,23\,\mathrm{rd/h} \\ d' &= -0,000\,053\,74\,\mathrm{rd/h} \end{aligned}$$

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					°		
18 0	−0,876 175	−1,298 700	0,391 540	0,920 161	89,012 26	0,530 063	−0,016 241
18 10	−0,778 877	−1,296 874	0,391 532	0,920 165	91,512 19	0,530 068	−0,016 236
18 20	−0,681 577	−1,295 053	0,391 524	0,920 168	94,012 11	0,530 072	−0,016 232
18 30	−0,584 275	−1,293 236	0,391 515	0,920 172	96,512 03	0,530 076	−0,016 228
18 40	−0,486 971	−1,291 425	0,391 507	0,920 175	99,011 95	0,530 079	−0,016 225
18 50	−0,389 665	−1,289 619	0,391 499	0,920 179	101,511 87	0,530 081	−0,016 223
19 0	−0,292 358	−1,287 818	0,391 491	0,920 182	104,011 79	0,530 083	−0,016 222
19 10	−0,195 050	−1,286 022	0,391 482	0,920 186	106,511 72	0,530 083	−0,016 221
19 20	−0,097 742	−1,284 231	0,391 474	0,920 189	109,011 64	0,530 083	−0,016 221
19 30	−0,000 432	−1,282 445	0,391 466	0,920 193	111,511 56	0,530 083	−0,016 221
19 40	0,096 877	−1,280 664	0,391 458	0,920 196	114,011 48	0,530 082	−0,016 223
19 50	0,194 187	−1,278 889	0,391 449	0,920 200	116,511 40	0,530 079	−0,016 225
20 0	0,291 496	−1,277 118	0,391 441	0,920 203	119,011 33	0,530 077	−0,016 227
20 10	0,388 804	−1,275 353	0,391 433	0,920 207	121,511 25	0,530 073	−0,016 231
20 20	0,486 112	−1,273 593	0,391 425	0,920 210	124,011 17	0,530 069	−0,016 235
20 30	0,583 419	−1,271 838	0,391 416	0,920 214	126,511 09	0,530 064	−0,016 240
20 40	0,680 724	−1,270 088	0,391 408	0,920 217	129,011 02	0,530 059	−0,016 245
20 50	0,778 027	−1,268 343	0,391 400	0,920 221	131,510 94	0,530 052	−0,016 252
21 0	0,875 328	−1,266 603	0,391 392	0,920 224	134,010 86	0,530 045	−0,016 259

$$\tan f_1 = +0,004\,598\,14$$
$$\tan f_2 = +0,004\,575\,23$$
$$\mu' = +0,261\,791\,23\,\mathrm{rd/h}$$
$$d' = -0,000\,053\,74\,\mathrm{rd/h}$$

ÉCLIPSE PARTIELLE DU SOLEIL LE 31 JUILLET 2000

ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 30 JUILLET 2000

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	8 38 9,2708	+18 29 11,7259	7 33 3,6108	+21 25 47,0354	− 1 5 5,6600
1	8 38 19,0284	+18 28 35,3833	7 35 46,0797	+21 23 12,9053	− 1 2 32,9487
2	8 38 28,7850	+18 27 59,0093	7 38 28,4755	+21 20 28,9722	− 1 0 0,3095
3	8 38 38,5406	+18 27 22,6036	7 41 10,7895	+21 17 35,2638	− 0 57 27,7511
4	8 38 48,2951	+18 26 46,1665	7 43 53,0128	+21 14 31,8103	− 0 54 55,2823
5	8 38 58,0486	+18 26 9,6979	7 46 35,1366	+21 11 18,6445	− 0 52 22,9119
6	8 39 7,8010	+18 25 33,1978	7 49 17,1525	+21 7 55,8013	− 0 49 50,6485
7	8 39 17,5523	+18 24 56,6663	7 51 59,0517	+21 4 23,3181	− 0 47 18,5006
8	8 39 27,3026	+18 24 20,1033	7 54 40,8258	+21 0 41,2347	− 0 44 46,4768
9	8 39 37,0519	+18 23 43,5089	7 57 22,4665	+20 56 49,5931	− 0 42 14,5853
10	8 39 46,8001	+18 23 6,8831	8 0 3,9655	+20 52 48,4379	− 0 39 42,8346
11	8 39 56,5472	+18 22 30,2260	8 2 45,3145	+20 48 37,8155	− 0 37 11,2327
12	8 40 6,2933	+18 21 53,5376	8 5 26,5055	+20 44 17,7750	− 0 34 39,7877
13	8 40 16,0383	+18 21 16,8178	8 8 7,5306	+20 39 48,3674	− 0 32 8,5077
14	8 40 25,7823	+18 20 40,0667	8 10 48,3820	+20 35 9,6460	− 0 29 37,4003
15	8 40 35,5252	+18 20 3,2843	8 13 29,0518	+20 30 21,6663	− 0 27 6,4734
16	8 40 45,2671	+18 19 26,4707	8 16 9,5325	+20 25 24,4857	− 0 24 35,7346
17	8 40 55,0079	+18 18 49,6258	8 18 49,8167	+20 20 18,1640	− 0 22 5,1912
18	8 41 4,7476	+18 18 12,7498	8 21 29,8969	+20 15 2,7628	− 0 19 34,8507
19	8 41 14,4863	+18 17 35,8425	8 24 9,7661	+20 9 38,3457	− 0 17 4,7202
20	8 41 24,2239	+18 16 58,9041	8 26 49,4172	+20 4 4,9782	− 0 14 34,8067
21	8 41 33,9605	+18 16 21,9345	8 29 28,8432	+19 58 22,7280	− 0 12 5,1173
22	8 41 43,6960	+18 15 44,9338	8 32 8,0374	+19 52 31,6643	− 0 9 35,6586
23	8 41 53,4304	+18 15 7,9019	8 34 46,9933	+19 46 31,8583	− 0 7 6,4372

ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 31 JUILLET 2000

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	8 42 3,1638	+18 14 30,8390	8 37 25,7042	+19 40 23,3832	− 0 4 37,4596
1	8 42 12,8961	+18 13 53,7450	8 40 4,1641	+19 34 6,3134	− 0 2 8,7321
2	8 42 22,6274	+18 13 16,6200	8 42 42,3666	+19 27 40,7255	+ 0 0 19,7392
3	8 42 32,3576	+18 12 39,4640	8 45 20,3058	+19 21 6,6975	+ 0 2 47,9483
4	8 42 42,0867	+18 12 2,2769	8 47 57,9760	+19 14 24,3089	+ 0 5 15,8893
5	8 42 51,8148	+18 11 25,0589	8 50 35,3715	+19 7 33,6411	+ 0 7 43,5567
6	8 43 1,5418	+18 10 47,8099	8 53 12,4867	+19 0 34,7765	+ 0 10 10,9449
7	8 43 11,2677	+18 10 10,5300	8 55 49,3163	+18 53 27,7994	+ 0 12 38,0486
8	8 43 20,9926	+18 9 33,2191	8 58 25,8553	+18 46 12,7953	+ 0 15 4,8627
9	8 43 30,7164	+18 8 55,8774	9 1 2,0986	+18 38 49,8510	+ 0 17 31,3823
10	8 43 40,4391	+18 8 18,5048	9 3 38,0415	+18 31 19,0546	+ 0 19 57,6024
11	8 43 50,1608	+18 7 41,1013	9 6 13,6792	+18 23 40,4956	+ 0 22 23,5184
12	8 43 59,8814	+18 7 3,6670	9 8 49,0074	+18 15 54,2646	+ 0 24 49,1260
13	8 44 9,6009	+18 6 26,2019	9 11 24,0217	+18 8 0,4533	+ 0 27 14,4208
14	8 44 19,3194	+18 5 48,7060	9 13 58,7180	+17 59 59,1545	+ 0 29 39,3986
15	8 44 29,0368	+18 5 11,1793	9 16 33,0924	+17 51 50,4621	+ 0 32 4,0556
16	8 44 38,7531	+18 4 33,6219	9 19 7,1411	+17 43 34,4711	+ 0 34 28,3880
17	8 44 48,4684	+18 3 56,0338	9 21 40,8605	+17 35 11,2771	+ 0 36 52,3921
18	8 44 58,1826	+18 3 18,4149	9 24 14,2472	+17 26 40,9770	+ 0 39 16,0646
19	8 45 7,8957	+18 2 40,7654	9 26 47,2979	+17 18 3,6682	+ 0 41 39,4022
20	8 45 17,6077	+18 2 3,0852	9 29 20,0095	+17 9 19,4492	+ 0 44 2,4018
21	8 45 27,3187	+18 1 25,3744	9 31 52,3792	+17 0 28,4190	+ 0 46 25,0605
22	8 45 37,0286	+18 0 47,6329	9 34 24,4041	+16 51 30,6774	+ 0 48 47,3755
23	8 45 46,7375	+18 0 9,8608	9 36 56,0817	+16 42 26,3249	+ 0 51 9,3443
24	8 45 56,4452	+17 59 32,0582	9 39 27,4097	+16 33 15,4624	+ 0 53 30,9644

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 : $e^2 = 0,006\,694\,38$.
– la différence estimée entre le Temps terrestre (TT) et le Temps universel (UT) : $\Delta T_e = 65,60$ 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.
Pour tenir compte des écarts en le centre optique et le centre de masse de la Lune les positions de la Lune ont été corrigées de $0,50''$ en longitude et de $-0,25''$ en latitude.

ÉLÉMENTS DE L'ÉCLIPSE PARTIELLE DU 31 JUILLET 2000

Instant de la conjonction géocentrique en ascension droite
le 31 juillet 2000 à 1h 52m 1,018s UT.

Ascension droite du Soleil	: 8h 42m 21,333s.
Déclinaison du Soleil	: +18° 13′ 21,56″.
Ascension droite de la Lune	: 8h 42m 21,333s.
Déclinaison de la Lune	: +19° 28′ 32,52″.
Parallaxe équatoriale du Soleil	: 8,66″.
Parallaxe équatoriale de la Lune	: 1′ 5,71″.
Demi-diamètre vrai du Soleil	: 15′ 45,36″.
Demi-diamètre vrai de la Lune	: 16′ 38,82″.

CIRCONSTANCES DE L'ÉCLIPSE GÉNÉRALE

magnitude : 0,6038

	UT	Longitude	Latitude
Commencement de l'éclipse générale	: le 31 à 0h 37,4m	− 51° 25,5′	+57° 15,6′
Maximum de l'éclipse	: le 31 à 2h 13,0m	+ 59° 41,9′	+69° 33,2′
Fin de l'éclipse générale	: le 31 à 3h 48,8m	+129° 13,3′	+40° 39,1′

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 $t = (T-$ 24h$) + \delta T/3600$, T est exprimé en heures et fraction d'heure. Ces équations ne sont valides que sur l'intervalle 24h $< T <$ 28h, 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.

$$x = -1,071\,268\,23 + 0,573\,791\,91 \times t + 0,000\,026\,02 \times t^2 - 0,000\,009\,67 \times t^3$$
$$y = 1,411\,851\,80 - 0,095\,184\,48 \times t - 0,000\,199\,17 \times t^2 + 0,000\,001\,54 \times t^3$$
$$\sin d = 0,312\,973\,22 - 0,000\,166\,93 \times t - 0,000\,000\,07 \times t^2$$
$$\cos d = 0,949\,761\,95 + 0,000\,055\,01 \times t + 0,000\,000\,01 \times t^2$$
$$H = 178,405\,459\,29 + 15,001\,969\,85 \times t + 0,000\,002\,23 \times t^2 - 0,000\,000\,03 \times t^3 - 0,004\,178\,07\,\delta T$$
$$u_e = 0,531\,465\,47 + 0,000\,101\,00 \times t - 0,000\,012\,71 \times t^2$$
$$u_i = 0,014\,845\,66 - 0,000\,100\,50 \times t + 0,000\,012\,65 \times t^2$$

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					°		
0 0	−1,071 268	1,411 852	0,312 973	0,949 762	178,405 46	0,531 465	0,014 846
0 10	−0,975 636	1,395 982	0,312 945	0,949 771	180,905 79	0,531 482	0,014 829
0 20	−0,880 002	1,380 102	0,312 918	0,949 780	183,406 12	0,531 498	0,014 814
0 30	−0,784 367	1,364 210	0,312 890	0,949 789	185,906 44	0,531 513	0,014 799
0 40	−0,688 732	1,348 307	0,312 862	0,949 799	188,406 77	0,531 527	0,014 784
0 50	−0,593 096	1,332 394	0,312 834	0,949 808	190,907 10	0,531 541	0,014 771
1 0	−0,497 460	1,316 470	0,312 806	0,949 817	193,407 43	0,531 554	0,014 758
1 10	−0,401 824	1,300 535	0,312 778	0,949 826	195,907 76	0,531 566	0,014 746
1 20	−0,306 189	1,284 589	0,312 751	0,949 835	198,408 09	0,531 578	0,014 734
1 30	−0,210 554	1,268 632	0,312 723	0,949 844	200,908 42	0,531 588	0,014 723
1 40	−0,114 921	1,252 665	0,312 695	0,949 854	203,408 75	0,531 598	0,014 713
1 50	−0,019 289	1,236 687	0,312 667	0,949 863	205,909 08	0,531 608	0,014 704
2 0	0,076 342	1,220 699	0,312 639	0,949 872	208,409 41	0,531 617	0,014 695
2 10	0,171 971	1,204 699	0,312 611	0,949 881	210,909 74	0,531 625	0,014 687
2 20	0,267 598	1,188 690	0,312 583	0,949 890	213,410 07	0,531 632	0,014 680
2 30	0,363 223	1,172 670	0,312 555	0,949 900	215,910 40	0,531 639	0,014 673
2 40	0,458 845	1,156 639	0,312 528	0,949 909	218,410 73	0,531 644	0,014 668
2 50	0,554 464	1,140 599	0,312 500	0,949 918	220,911 06	0,531 650	0,014 662
3 0	0,650 081	1,124 547	0,312 472	0,949 927	223,411 39	0,531 654	0,014 658
3 10	0,745 693	1,108 486	0,312 444	0,949 936	225,911 72	0,531 658	0,014 654
3 20	0,841 302	1,092 414	0,312 416	0,949 945	228,412 05	0,531 661	0,014 651
3 30	0,936 908	1,076 332	0,312 388	0,949 955	230,912 38	0,531 663	0,014 649
3 40	1,032 509	1,060 240	0,312 360	0,949 964	233,412 71	0,531 665	0,014 647
3 50	1,128 105	1,044 138	0,312 332	0,949 973	235,913 04	0,531 666	0,014 646
4 0	1,223 697	1,028 026	0,312 304	0,949 982	238,413 37	0,531 666	0,014 646

$$
\begin{aligned}
\tan f_e &= +0,004\,605\,54 \\
\tan f_i &= -0,004\,582\,59 \\
H' &= +0,261\,833\,92\,\mathrm{rd/h} \\
d' &= -0,000\,176\,03\,\mathrm{rd/h}
\end{aligned}
$$

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					°		
0 0	−1,071 268	1,411 852	0,312 973	0,949 762	178,405 46	0,531 465	−0,014 846
0 10	−0,975 636	1,395 982	0,312 945	0,949 771	180,905 79	0,531 482	−0,014 829
0 20	−0,880 002	1,380 102	0,312 918	0,949 780	183,406 12	0,531 498	−0,014 814
0 30	−0,784 367	1,364 210	0,312 890	0,949 789	185,906 44	0,531 513	−0,014 799
0 40	−0,688 732	1,348 307	0,312 862	0,949 799	188,406 77	0,531 527	−0,014 784
0 50	−0,593 096	1,332 394	0,312 834	0,949 808	190,907 10	0,531 541	−0,014 771
1 0	−0,497 460	1,316 470	0,312 806	0,949 817	193,407 43	0,531 554	−0,014 758
1 10	−0,401 824	1,300 535	0,312 778	0,949 826	195,907 76	0,531 566	−0,014 746
1 20	−0,306 189	1,284 589	0,312 751	0,949 835	198,408 09	0,531 578	−0,014 734
1 30	−0,210 554	1,268 632	0,312 723	0,949 844	200,908 42	0,531 588	−0,014 723
1 40	−0,114 921	1,252 665	0,312 695	0,949 854	203,408 75	0,531 598	−0,014 713
1 50	−0,019 289	1,236 687	0,312 667	0,949 863	205,909 08	0,531 608	−0,014 704
2 0	0,076 342	1,220 699	0,312 639	0,949 872	208,409 41	0,531 617	−0,014 695
2 10	0,171 971	1,204 699	0,312 611	0,949 881	210,909 74	0,531 625	−0,014 687
2 20	0,267 598	1,188 690	0,312 583	0,949 890	213,410 07	0,531 632	−0,014 680
2 30	0,363 223	1,172 670	0,312 555	0,949 900	215,910 40	0,531 639	−0,014 673
2 40	0,458 845	1,156 639	0,312 528	0,949 909	218,410 73	0,531 644	−0,014 668
2 50	0,554 464	1,140 599	0,312 500	0,949 918	220,911 06	0,531 650	−0,014 662
3 0	0,650 081	1,124 547	0,312 472	0,949 927	223,411 39	0,531 654	−0,014 658
3 10	0,745 693	1,108 486	0,312 444	0,949 936	225,911 72	0,531 658	−0,014 654
3 20	0,841 302	1,092 414	0,312 416	0,949 945	228,412 05	0,531 661	−0,014 651
3 30	0,936 908	1,076 332	0,312 388	0,949 955	230,912 38	0,531 663	−0,014 649
3 40	1,032 509	1,060 240	0,312 360	0,949 964	233,412 71	0,531 665	−0,014 647
3 50	1,128 105	1,044 138	0,312 332	0,949 973	235,913 04	0,531 666	−0,014 646
4 0	1,223 697	1,028 026	0,312 304	0,949 982	238,413 37	0,531 666	−0,014 646

$$\tan f_1 = +0,004\,605\,54$$
$$\tan f_2 = +0,004\,582\,59$$
$$\mu' = +0,261\,833\,92\,\mathrm{rd/h}$$
$$d' = -0,000\,176\,03\,\mathrm{rd/h}$$

ÉCLIPSE PARTIELLE DU SOLEIL LE 25 DÉCEMBRE 2000

ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 25 DÉCEMBRE 2000

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	18 15 14,6956	−23 23 31,0501	17 40 47,9184	−21 33 26,9745	− 0 34 26,7772
1	18 15 25,7969	−23 23 26,9885	17 42 57,2950	−21 37 1,3432	− 0 32 28,5018
2	18 15 36,8979	−23 23 22,8779	17 45 6,7202	−21 40 29,3704	− 0 30 30,1778
3	18 15 47,9989	−23 23 18,7184	17 47 16,1913	−21 43 51,0415	− 0 28 31,8076
4	18 15 59,0997	−23 23 14,5099	17 49 25,7060	−21 47 6,3423	− 0 26 33,3937
5	18 16 10,2003	−23 23 10,2525	17 51 35,2616	−21 50 15,2594	− 0 24 34,9387
6	18 16 21,3008	−23 23 5,9461	17 53 44,8556	−21 53 17,7801	− 0 22 36,4452
7	18 16 32,4012	−23 23 1,5908	17 55 54,4853	−21 56 13,8921	− 0 20 37,9158
8	18 16 43,5014	−23 22 57,1865	17 58 4,1481	−21 59 3,5841	− 0 18 39,3533
9	18 16 54,6014	−23 22 52,7334	18 0 13,8412	−22 1 46,8451	− 0 16 40,7602
10	18 17 5,7012	−23 22 48,2312	18 2 23,5620	−22 4 23,6650	− 0 14 42,1393
11	18 17 16,8009	−23 22 43,6802	18 4 33,3076	−22 6 54,0342	− 0 12 43,4933
12	18 17 27,9005	−23 22 39,0802	18 6 43,0754	−22 9 17,9438	− 0 10 44,8251
13	18 17 38,9998	−23 22 34,4313	18 8 52,8625	−22 11 35,3857	− 0 8 46,1373
14	18 17 50,0990	−23 22 29,7335	18 11 2,6660	−22 13 46,3523	− 0 6 47,4329
15	18 18 1,1980	−23 22 24,9867	18 13 12,4833	−22 15 50,8367	− 0 4 48,7147
16	18 18 12,2968	−23 22 20,1911	18 15 22,3113	−22 17 48,8327	− 0 2 49,9855
17	18 18 23,3954	−23 22 15,3465	18 17 32,1473	−22 19 40,3349	− 0 0 51,2481
18	18 18 34,4939	−23 22 10,4531	18 19 41,9883	−22 21 25,3382	+ 0 1 7,4945
19	18 18 45,5921	−23 22 5,5107	18 21 51,8315	−22 23 3,8386	+ 0 3 6,2393
20	18 18 56,6902	−23 22 0,5194	18 24 1,6738	−22 24 35,8324	+ 0 5 4,9836
21	18 19 7,7881	−23 21 55,4793	18 26 11,5125	−22 26 1,3170	+ 0 7 3,7244
22	18 19 18,8858	−23 21 50,3902	18 28 21,3444	−22 27 20,2900	+ 0 9 2,4587
23	18 19 29,9832	−23 21 45,2522	18 30 31,1668	−22 28 32,7501	+ 0 11 1,1835

ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 26 DÉCEMBRE 2000

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	18 19 41,0805	−23 21 40,0654	18 32 40,9766	−22 29 38,6964	+ 0 12 59,8960
1	18 19 52,1776	−23 21 34,8297	18 34 50,7708	−22 30 38,1287	+ 0 14 58,5932
2	18 20 3,2744	−23 21 29,5451	18 37 0,5465	−22 31 31,0475	+ 0 16 57,2721
3	18 20 14,3711	−23 21 24,2116	18 39 10,3008	−22 32 17,4542	+ 0 18 55,9297
4	18 20 25,4675	−23 21 18,8293	18 41 20,0306	−22 32 57,3505	+ 0 20 54,5631
5	18 20 36,5637	−23 21 13,3981	18 43 29,7331	−22 33 30,7390	+ 0 22 53,1693
6	18 20 47,6597	−23 21 7,9180	18 45 39,4051	−22 33 57,6228	+ 0 24 51,7454
7	18 20 58,7555	−23 21 2,3891	18 47 49,0438	−22 34 18,0059	+ 0 26 50,2883
8	18 21 9,8511	−23 20 56,8113	18 49 58,6462	−22 34 31,8928	+ 0 28 48,7951
9	18 21 20,9464	−23 20 51,1847	18 52 8,2094	−22 34 39,2887	+ 0 30 47,2630
10	18 21 32,0415	−23 20 45,5092	18 54 17,7304	−22 34 40,1994	+ 0 32 45,6889
11	18 21 43,1364	−23 20 39,7849	18 56 27,2063	−22 34 34,6314	+ 0 34 44,0699
12	18 21 54,2310	−23 20 34,0117	18 58 36,6342	−22 34 22,5918	+ 0 36 42,4032
13	18 22 5,3254	−23 20 28,1897	19 0 46,0111	−22 34 4,0886	+ 0 38 40,6857
14	18 22 16,4195	−23 20 22,3189	19 2 55,3342	−22 33 39,1300	+ 0 40 38,9147
15	18 22 27,5134	−23 20 16,3992	19 5 4,6007	−22 33 7,7251	+ 0 42 37,0873
16	18 22 38,6070	−23 20 10,4307	19 7 13,8076	−22 32 29,8837	+ 0 44 35,2005
17	18 22 49,7004	−23 20 4,4134	19 9 22,9521	−22 31 45,6161	+ 0 46 33,2517
18	18 23 0,7936	−23 19 58,3473	19 11 32,0314	−22 30 54,9333	+ 0 48 31,2378
19	18 23 11,8865	−23 19 52,2324	19 13 41,0428	−22 29 57,8467	+ 0 50 29,1563
20	18 23 22,9791	−23 19 46,0687	19 15 49,9834	−22 28 54,3687	+ 0 52 27,0043
21	18 23 34,0715	−23 19 39,8562	19 17 58,8505	−22 27 44,5119	+ 0 54 24,7790
22	18 23 45,1636	−23 19 33,5949	19 20 7,6414	−22 26 28,2899	+ 0 56 22,4778
23	18 23 56,2554	−23 19 27,2848	19 22 16,3534	−22 25 5,7165	+ 0 58 20,0980
24	18 24 7,3470	−23 19 20,9259	19 24 24,9839	−22 23 36,8063	+ 1 0 17,6369

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 : $e^2 = 0,006\,694\,38$.
– la différence estimée entre le Temps terrestre (TT) et le Temps universel (UT) : $\Delta T_e = 66,00$ 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.

Pour tenir compte des écarts en le centre optique et le centre de masse de la Lune les positions de la Lune ont été corrigées de $0,50''$ en longitude et de $-0,25''$ en latitude.

ÉLÉMENTS DE L'ÉCLIPSE PARTIELLE DU 25 DÉCEMBRE 2000

Instant de la conjonction géocentrique en ascension droite
le 25 décembre 2000 à 17h 25m 53,739s UT.

Ascension droite du Soleil	: 18h 18m 28,185s.
Déclinaison du Soleil	: −23° 22′ 13,24″.
Ascension droite de la Lune	: 18h 18m 28,185s.
Déclinaison de la Lune	: −22° 20′ 26,45″.
Parallaxe équatoriale du Soleil	: 8,94″.
Parallaxe équatoriale de la Lune	: 54′ 22,93″.
Demi-diamètre vrai du Soleil	: 16′ 15,74″.
Demi-diamètre vrai de la Lune	: 14′ 49,08″.

CIRCONSTANCES DE L'ÉCLIPSE GÉNÉRALE

magnitude : 0,7232

	UT	Longitude	Latitude
Commencement de l'éclipse générale	: le 25 à 15h 26,6m	+116° 0,5′	+44° 57,0′
Maximum de l'éclipse	: le 25 à 17h 34,8m	+ 74° 9,8′	+66° 20,4′
Fin de l'éclipse générale	: le 25 à 19h 43,2m	+ 45° 47,6′	+38° 29,9′

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 $t = (T - 15\text{h}) + \delta T/3600$, T est exprimé en heures et fraction d'heure. Ces équations ne sont valides que sur l'intervalle $15\text{h} < T < 20\text{h}$, 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.

$$
\begin{aligned}
x &= -1,231\,068\,25 + 0,506\,209\,68 \times t + 0,000\,043\,05 \times t^2 - 0,000\,005\,75 \times t^3 \\
y &= 1,221\,689\,00 - 0,034\,213\,13 \times t + 0,000\,107\,59 \times t^2 + 0,000\,000\,49 \times t^3 \\
\sin d &= -0,396\,773\,71 + 0,000\,022\,59 \times t + 0,000\,000\,10 \times t^2 \\
\cos d &= 0,917\,916\,45 + 0,000\,009\,77 \times t + 0,000\,000\,04 \times t^2 \\
H &= 44,918\,714\,31 + 14,996\,194\,21 \times t + 0,000\,000\,48 \times t^2 - 0,000\,000\,01 \times t^3 - 0,004\,178\,07\,\delta T \\
u_e &= 0,572\,869\,25 + 0,000\,111\,29 \times t - 0,000\,010\,06 \times t^2 \\
u_i &= -0,026\,351\,45 - 0,000\,110\,73 \times t + 0,000\,010\,01 \times t^2
\end{aligned}
$$

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					°		
15	0	−1,231 068	1,221 689	−0,396 774	0,917 916	44,918 71	0,572 869	−0,026 351
15	10	−1,146 699	1,215 990	−0,396 770	0,917 918	47,418 08	0,572 888	−0,026 370
15	20	−1,062 327	1,210 297	−0,396 766	0,917 920	49,917 45	0,572 905	−0,026 387
15	30	−0,977 953	1,204 609	−0,396 762	0,917 921	52,416 81	0,572 922	−0,026 404
15	40	−0,893 578	1,198 928	−0,396 759	0,917 923	54,916 18	0,572 939	−0,026 421
15	50	−0,809 200	1,193 253	−0,396 755	0,917 925	57,415 54	0,572 955	−0,026 437
16	0	−0,724 821	1,187 584	−0,396 751	0,917 926	59,914 91	0,572 970	−0,026 452
16	10	−0,640 441	1,181 921	−0,396 747	0,917 928	62,414 27	0,572 985	−0,026 467
16	20	−0,556 059	1,176 264	−0,396 743	0,917 930	64,913 64	0,573 000	−0,026 481
16	30	−0,471 676	1,170 613	−0,396 740	0,917 931	67,413 01	0,573 014	−0,026 495
16	40	−0,387 293	1,164 968	−0,396 736	0,917 933	69,912 37	0,573 027	−0,026 508
16	50	−0,302 908	1,159 330	−0,396 732	0,917 935	72,411 74	0,573 039	−0,026 521
17	0	−0,218 523	1,153 697	−0,396 728	0,917 936	74,911 10	0,573 052	−0,026 533
17	10	−0,134 137	1,148 071	−0,396 724	0,917 938	77,410 47	0,573 063	−0,026 544
17	20	−0,049 751	1,142 450	−0,396 720	0,917 939	79,909 84	0,573 074	−0,026 555
17	30	0,034 635	1,136 836	−0,396 717	0,917 941	82,409 20	0,573 085	−0,026 566
17	40	0,119 021	1,131 228	−0,396 713	0,917 943	84,908 57	0,573 095	−0,026 576
17	50	0,203 407	1,125 627	−0,396 709	0,917 944	87,407 93	0,573 104	−0,026 585
18	0	0,287 793	1,120 031	−0,396 705	0,917 946	89,907 30	0,573 113	−0,026 594
18	10	0,372 178	1,114 442	−0,396 701	0,917 948	92,406 67	0,573 121	−0,026 602
18	20	0,456 563	1,108 859	−0,396 697	0,917 950	94,906 03	0,573 128	−0,026 609
18	30	0,540 946	1,103 282	−0,396 693	0,917 951	97,405 40	0,573 136	−0,026 616
18	40	0,625 329	1,097 711	−0,396 689	0,917 953	99,904 77	0,573 142	−0,026 623
18	50	0,709 711	1,092 147	−0,396 686	0,917 955	102,404 13	0,573 148	−0,026 629
19	0	0,794 091	1,086 589	−0,396 682	0,917 956	104,903 50	0,573 154	−0,026 634
19	10	0,878 470	1,081 038	−0,396 678	0,917 958	107,402 86	0,573 158	−0,026 639
19	20	0,962 847	1,075 492	−0,396 674	0,917 960	109,902 23	0,573 163	−0,026 643
19	30	1,047 223	1,069 953	−0,396 670	0,917 961	112,401 60	0,573 166	−0,026 647
19	40	1,131 596	1,064 421	−0,396 666	0,917 963	114,900 96	0,573 170	−0,026 650
19	50	1,215 968	1,058 894	−0,396 662	0,917 965	117,400 33	0,573 172	−0,026 653
20	0	1,300 337	1,053 374	−0,396 658	0,917 966	119,899 70	0,573 174	−0,026 655

$$\tan f_e = +0,004\,755\,32$$
$$\tan f_i = -0,004\,731\,63$$
$$H' = +0,261\,733\,00\ \mathrm{rd/h}$$
$$d' = +0,000\,025\,19\ \mathrm{rd/h}$$

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					°		
15 0	−1,231 068	1,221 689	−0,396 774	0,917 916	44,918 71	0,572 869	0,026 351
15 10	−1,146 699	1,215 990	−0,396 770	0,917 918	47,418 08	0,572 888	0,026 370
15 20	−1,062 327	1,210 297	−0,396 766	0,917 920	49,917 45	0,572 905	0,026 387
15 30	−0,977 953	1,204 609	−0,396 762	0,917 921	52,416 81	0,572 922	0,026 404
15 40	−0,893 578	1,198 928	−0,396 759	0,917 923	54,916 18	0,572 939	0,026 421
15 50	−0,809 200	1,193 253	−0,396 755	0,917 925	57,415 54	0,572 955	0,026 437
16 0	−0,724 821	1,187 584	−0,396 751	0,917 926	59,914 91	0,572 970	0,026 452
16 10	−0,640 441	1,181 921	−0,396 747	0,917 928	62,414 27	0,572 985	0,026 467
16 20	−0,556 059	1,176 264	−0,396 743	0,917 930	64,913 64	0,573 000	0,026 481
16 30	−0,471 676	1,170 613	−0,396 740	0,917 931	67,413 01	0,573 014	0,026 495
16 40	−0,387 293	1,164 968	−0,396 736	0,917 933	69,912 37	0,573 027	0,026 508
16 50	−0,302 908	1,159 330	−0,396 732	0,917 935	72,411 74	0,573 039	0,026 521
17 0	−0,218 523	1,153 697	−0,396 728	0,917 936	74,911 10	0,573 052	0,026 533
17 10	−0,134 137	1,148 071	−0,396 724	0,917 938	77,410 47	0,573 063	0,026 544
17 20	−0,049 751	1,142 450	−0,396 720	0,917 939	79,909 84	0,573 074	0,026 555
17 30	0,034 635	1,136 836	−0,396 717	0,917 941	82,409 20	0,573 085	0,026 566
17 40	0,119 021	1,131 228	−0,396 713	0,917 943	84,908 57	0,573 095	0,026 576
17 50	0,203 407	1,125 627	−0,396 709	0,917 944	87,407 93	0,573 104	0,026 585
18 0	0,287 793	1,120 031	−0,396 705	0,917 946	89,907 30	0,573 113	0,026 594
18 10	0,372 178	1,114 442	−0,396 701	0,917 948	92,406 67	0,573 121	0,026 602
18 20	0,456 563	1,108 859	−0,396 697	0,917 950	94,906 03	0,573 128	0,026 609
18 30	0,540 946	1,103 282	−0,396 693	0,917 951	97,405 40	0,573 136	0,026 616
18 40	0,625 329	1,097 711	−0,396 689	0,917 953	99,904 77	0,573 142	0,026 623
18 50	0,709 711	1,092 147	−0,396 686	0,917 955	102,404 13	0,573 148	0,026 629
19 0	0,794 091	1,086 589	−0,396 682	0,917 956	104,903 50	0,573 154	0,026 634
19 10	0,878 470	1,081 038	−0,396 678	0,917 958	107,402 86	0,573 158	0,026 639
19 20	0,962 847	1,075 492	−0,396 674	0,917 960	109,902 23	0,573 163	0,026 643
19 30	1,047 223	1,069 953	−0,396 670	0,917 961	112,401 60	0,573 166	0,026 647
19 40	1,131 596	1,064 421	−0,396 666	0,917 963	114,900 96	0,573 170	0,026 650
19 50	1,215 968	1,058 894	−0,396 662	0,917 965	117,400 33	0,573 172	0,026 653
20 0	1,300 337	1,053 374	−0,396 658	0,917 966	119,899 70	0,573 174	0,026 655

$$\tan f_1 = +0,004\,755\,32$$
$$\tan f_2 = +0,004\,731\,63$$
$$\mu' = +0,261\,733\,00\,\mathrm{rd/h}$$
$$d' = +0,000\,025\,19\,\mathrm{rd/h}$$