

Institut de Mécanique Céleste et de Calcul d'Éphémérides
Observatoire de Paris — Bureau des longitudes
UMR 8028 du CNRS

**CALCUL DES CIRCONSTANCES DE L'ÉCLIPSE TOTALE DE SOLEIL
DU 4 DÉCEMBRE 2021**

le : 24 septembre 2021

P. ROCHER

Email : rocher@imcce.fr

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
Données relatives à l'éclipse	
Éphémérides de la Lune et du Soleil le 4 décembre 2021	10
Éphémérides de la Lune et du Soleil le 5 décembre 2021	11
Paramètres physiques utilisés dans les calculs	12
Éléments de l'éclipse totale du 4 décembre 2021	12
Circonstances de l'éclipse générale	12
Éléments de Bessel sous forme polynomiale	13
Éléments de Bessel (notation française)	14
Éléments de Bessel (notation américaine)	15
Exemple de calcul	
Exemple de calcul avec les éléments de Bessel	16
Ligne de centralité	
Ligne de centralité	19
Circonstances locales sur la ligne de centralité	24
Circonstances locales	
Circonstances locales pour des lieux géographiques donnés	29
Bases de l'Antarctique	
Afrique du Sud	30
Allemagne	30
Argentine	30
Australie	32
Belgique	32
Chili	32
États-Unis	34
Chine	36
Finlande	36
France	36
Inde	36
Japon	38

TABLE DES MATIÈRES*(Suite et fin)*

Nouvelle Zélande	38
Norgège	38
Pakistan	40
Royaume-Uni	40
Russie	40
Suède	42
Ukraine	42
Italie	42
DESSINS ET CARTES	
Figures	46
Cartes générale et locale	48
Profil du limbe lunaire à l'instant du maximum de l'éclipse	50

AVERTISSEMENT

Information

La présente note contient les prédictions pour l'éclipse totale du 4 décembre 2021. Cette éclipse est la quinzième éclipse totale de Soleil du XXI^e siècle et la seconde éclipse de l'année 2021. C'est une éclipse polaire autour de l'Antarctique. La bande de totalité débute dans l'océan Atlantique sud, elle traverse l'Antarctique de la mer de Wedell à la mer de Ross et elle prend fin dans l'océan Pacifique sud. Elle sera très faiblement visible sous la forme d'une éclipse partielle uniquement au sud de l'Afrique, sur une faible partie du sud-est australien et à l'extrême sud de la Terre de Feu.

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*,
- l'**Institut de Mécanique Céleste** qui publie la *Connaissance des Temps* et les *Éphémérides Astronomiques*. À 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 longitudes, 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 ces organismes cités ci-dessus utilisent pour le calcul des éphémérides de la Lune et du Soleil les résultats de l'intégration numérique américaine du **Jet Propulsion Laboratory**. À l'institut, nous utilisons, pour la Lune et le Soleil les résultats de l'intégration numérique INPOP06 effectuée à l'Institut (A. Fienga et al, 2008). Cette intégration numérique 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 ($k = 0,2724880$) dans le cas général et une spécifique ($k = 0,272281$) 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 ($k = 0,2725076$) 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 ($k = 0,2725076$) et en étendant l'utilisation de la deuxième valeur de k ($k = 0,272281$) 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, les écarts sur les instants des contacts peuvent atteindre quelques secondes de temps.

Remarque sur les coordonnées des villes

Les coordonnées géographiques des villes des différents pays sont issues d'atlas géographiques ou de bases de données : GEOnet Names Server (GNS), Institut Géographique National (IGN). Ces bases de données et ces atlas géographiques ne sont pas exempts d'erreurs le nombre de villes dépassant plusieurs millions. Si vous devez vous rendre en un lieu précis pour observer une éclipse, il convient de vérifier les coordonnées du lieu afin d'être sûr que les valeurs fournies dans les circonstances locales de l'éclipse sont correctes.

De plus les cartes d'éclipses étant tracées plusieurs années en avance, elles peuvent présenter des erreurs d'ordre géopolitique, mauvais tracé d'une frontière ou ancien nom de ville ou de pays.

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'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'obscuration* 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 $+90^\circ$. 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'obscuration (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'obscuration (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. Dans ce document, on donne uniquement les circonstances locales pour les plus grandes villes des pays. Les circonstances locales pour toutes les villes comprises dans les bandes de centralité se trouvent dans des documents spécifiques, ces documents pouvant être très volumineux en fonction de la densité de l'urbanisation.

Remarque : l'utilisation du formulaire et des éléments de Bessel permettent 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 $\delta\lambda = -1,002738 \times \delta t$ (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 :

$$\begin{aligned} u_e &= z \cdot \tan f_e + k \cdot \sec f_e, \\ u_i &= z \cdot \tan f_i + k \cdot \sec f_i, \end{aligned}$$

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 :

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

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 exprimé en mètres et f l'aplatissement de l'ellipsoïde terrestre ($f = 1/298,257 = 0,003\,352\,81$).

Les variations horaires $\dot{\xi}, \dot{\eta}, \dot{\zeta}$ 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 des premier et quatrième contacts (contacts extérieurs) des valeurs approchées déduites de la carte de l'éclipse et l'on prend comme valeurs de départ des second et 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 :

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

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

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

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

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

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

et :

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

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 :

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

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 4 DÉCEMBRE 2021

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	16 42 10,2710	-22 13 58,2045	16 22 17,8672	-22 4 35,8948	- 0 19 52,4451
1	16 42 21,1382	-22 14 18,3544	16 24 57,6666	-22 14 14,3557	- 0 17 23,5130
2	16 42 32,0064	-22 14 38,4595	16 27 37,8601	-22 23 43,1381	- 0 14 54,1879
3	16 42 42,8756	-22 14 58,5196	16 30 18,4418	-22 33 2,1251	- 0 12 24,4754
4	16 42 53,7458	-22 15 18,5350	16 32 59,4059	-22 42 11,2017	- 0 9 54,3817
5	16 43 4,6171	-22 15 38,5054	16 35 40,7459	-22 51 10,2545	- 0 7 23,9130
6	16 43 15,4893	-22 15 58,4309	16 38 22,4552	-22 59 59,1721	- 0 4 53,0761
7	16 43 26,3626	-22 16 18,3115	16 41 4,5270	-23 8 37,8451	- 0 2 21,8776
8	16 43 37,2368	-22 16 38,1472	16 43 46,9542	-23 17 6,1659	+ 0 0 9,6753
9	16 43 48,1121	-22 16 57,9379	16 46 29,7294	-23 25 24,0292	+ 0 2 41,5751
10	16 43 58,9883	-22 17 17,6836	16 49 12,8449	-23 33 31,3317	+ 0 5 13,8143
11	16 44 9,8655	-22 17 37,3843	16 51 56,2929	-23 41 27,9725	+ 0 7 46,3849
12	16 44 20,7438	-22 17 57,0400	16 54 40,0651	-23 49 13,8528	+ 0 10 19,2788
13	16 44 31,6230	-22 18 16,6506	16 57 24,1532	-23 56 48,8763	+ 0 12 52,4876
14	16 44 42,5032	-22 18 36,2162	17 0 8,5484	-24 4 12,9491	+ 0 15 26,0026
15	16 44 53,3844	-22 18 55,7367	17 2 53,2420	-24 11 25,9797	+ 0 17 59,8149
16	16 45 4,2665	-22 19 15,2121	17 5 38,2246	-24 18 27,8795	+ 0 20 33,9153
17	16 45 15,1497	-22 19 34,6424	17 8 23,4870	-24 25 18,5621	+ 0 23 8,2945
18	16 45 26,0338	-22 19 54,0276	17 11 9,0195	-24 31 57,9441	+ 0 25 42,9428
19	16 45 36,9189	-22 20 13,3676	17 13 54,8123	-24 38 25,9447	+ 0 28 17,8503
20	16 45 47,8049	-22 20 32,6624	17 16 40,8552	-24 44 42,4861	+ 0 30 53,0071
21	16 45 58,6920	-22 20 51,9121	17 19 27,1380	-24 50 47,4933	+ 0 33 28,4028
22	16 46 9,5800	-22 21 11,1165	17 22 13,6502	-24 56 40,8941	+ 0 36 4,0270
23	16 46 20,4689	-22 21 30,2757	17 25 0,3811	-25 2 22,6196	+ 0 38 39,8688

ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 5 DÉCEMBRE 2021

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	16 46 31,3589	-22 21 49,3896	17 27 47,3197	-25 7 52,6036	+ 0 41 15,9175
1	16 46 42,2497	-22 22 8,4583	17 30 34,4550	-25 13 10,7834	+ 0 43 52,1618
2	16 46 53,1416	-22 22 27,4817	17 33 21,7757	-25 18 17,0991	+ 0 46 28,5906
3	16 47 4,0344	-22 22 46,4598	17 36 9,2704	-25 23 11,4942	+ 0 49 5,1925
4	16 47 14,9281	-22 23 5,3926	17 38 56,9274	-25 27 53,9154	+ 0 51 41,9557
5	16 47 25,8228	-22 23 24,2801	17 41 44,7349	-25 32 24,3126	+ 0 54 18,8685
6	16 47 36,7185	-22 23 43,1221	17 44 32,6811	-25 36 42,6391	+ 0 56 55,9190
7	16 47 47,6150	-22 24 1,9188	17 47 20,7539	-25 40 48,8516	+ 0 59 33,0952
8	16 47 58,5126	-22 24 20,6702	17 50 8,9411	-25 44 42,9101	+ 1 2 10,3848
9	16 48 9,4110	-22 24 39,3761	17 52 57,2304	-25 48 24,7781	+ 1 4 47,7756
10	16 48 20,3104	-22 24 58,0365	17 55 45,6093	-25 51 54,4223	+ 1 7 25,2551
11	16 48 31,2108	-22 25 16,6515	17 58 34,0653	-25 55 11,8132	+ 1 10 2,8108
12	16 48 42,1120	-22 25 35,2211	18 1 22,5859	-25 58 16,9245	+ 1 12 40,4301
13	16 48 53,0142	-22 25 53,7451	18 4 11,1583	-26 1 9,7337	+ 1 15 18,1003
14	16 49 3,9173	-22 26 12,2237	18 6 59,7698	-26 3 50,2215	+ 1 17 55,8087
15	16 49 14,8214	-22 26 30,6567	18 9 48,4075	-26 6 18,3722	+ 1 20 33,5423
16	16 49 25,7263	-22 26 49,0441	18 12 37,0586	-26 8 34,1738	+ 1 23 11,2885
17	16 49 36,6322	-22 27 7,3861	18 15 25,7102	-26 10 37,6177	+ 1 25 49,0341
18	16 49 47,5390	-22 27 25,6824	18 18 14,3492	-26 12 28,6987	+ 1 28 26,7664
19	16 49 58,4467	-22 27 43,9331	18 21 2,9629	-26 14 7,4153	+ 1 31 4,4723
20	16 50 9,3553	-22 28 2,1382	18 23 51,5381	-26 15 33,7695	+ 1 33 42,1390
21	16 50 20,2649	-22 28 20,2977	18 26 40,0621	-26 16 47,7667	+ 1 36 19,7534
22	16 50 31,1753	-22 28 38,4115	18 29 28,5217	-26 17 49,4159	+ 1 38 57,3027
23	16 50 42,0866	-22 28 56,4797	18 32 16,9042	-26 18 38,7295	+ 1 41 34,7738
24	16 50 52,9989	-22 29 14,5022	18 35 5,1966	-26 19 15,7234	+ 1 44 12,1541

PARAMÈTRES PHYSIQUES UTILISÉS DANS CES CALCULS

- la parallaxe horizontale du Soleil à une unité astronomique : $\pi_0 = 8,794\,143''$.
 - 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 : $r_0 = 6\,378\,136,60$ m
 - le carré de l'ellipticité de l'ellipsoïde terrestre : $e^2 = 0,006\,694\,40$.
 - la différence estimée entre le Temps terrestre (TT) et le Temps universel (UT) : $\Delta T_e = 69,184$ 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 entre 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 $-0,24''$ en latitude.

Les éphémérides utilisées pour le calcul des positions du Soleil et de la Terre sont les éphémérides INPOP06 (A. Fienga et al., 2008) élaborées à l'IMCCE. Pour ce calcul la valeur du TE – TU a été exceptionnellement forcée. Pour le calcul des positions apparentes nous avons utilisé les théories suivantes : La théorie de la précession UAI 2000, la théorie de la nutation 2000A (2003) et la formule du calcul du temps sidéral UAI 2000.

ÉLÉMENTS DE L'ÉCLIPSE TOTALE DU 4 DÉCEMBRE 2021

Instant de la conjonction géocentrique en ascension droite
le 4 décembre 2021 à 7h 56m 10,421s UT.

Ascension droite du Soleil : 16h 43m 36,540s.
 Déclinaison du Soleil : $-22^\circ 16' 36,88''$.
 Ascension droite de la Lune : 16h 43m 36,540s.
 Déclinaison de la Lune : $-23^\circ 16' 33,92''$.
 Parallaxe équatoriale du Soleil : $8,92''$.
 Parallaxe équatoriale de la Lune : $61' 27,35''$.
 Demi-diamètre vrai du Soleil : $16' 13,61''$.
 Demi-diamètre vrai de la Lune : $16' 44,72''$.

CIRCONSTANCES DE L'ÉCLIPSE GÉNÉRALE

magnitude : 1,0188

	UT	Longitude	Latitude
Commencement de l'éclipse générale	le 4 à 5h 29,3m	+ $4^\circ 56,6'$	$-23^\circ 19,4'$
Commencement de l'éclipse totale	le 4 à 7h 0,1m	+ $48^\circ 58,3'$	$-51^\circ 54,9'$
Commencement de l'éclipse centrale	le 4 à 7h 2,9m	+ $51^\circ 13,2'$	$-53^\circ 5,4'$
Maximum de l'éclipse	le 4 à 7h 33,5m	+ $46^\circ 18,5'$	$-76^\circ 47,4'$
Éclipse centrale à midi ou minuit vrai	le 4 à 7h 56,2m	+ $121^\circ 29,7'$	$-78^\circ 58,3'$
Fin de l'éclipse centrale	le 4 à 8h 3,8m	+ $134^\circ 9,0'$	$-67^\circ 22,0'$
Fin de l'éclipse totale	le 4 à 8h 6,6m	+ $138^\circ 39,5'$	$-67^\circ 3,7'$
Fin de l'éclipse générale	le 4 à 9h 37,5m	$-148^\circ 39,9'$	$-46^\circ 23,7'$

ÉLÉMENTS DE BESSEL SOUS FORME POLYNOMIALE
(notation française)

Les séries suivantes représentent un ajustement polynomial 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 $t = (T - 5\text{h}) + \delta T/3600$, T est exprimé en heures et fraction d'heure. Ces équations ne sont valides que sur l'intervalle $5\text{h} < T < 10\text{h}$, 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.

$$\begin{aligned}
 x &= -1,668\,064\,04 + 0,567\,812\,52 \times t + 0,000\,125\,43 \times t^2 - 0,000\,009\,65 \times t^3 \\
 y &= -0,589\,818\,33 - 0,132\,769\,49 \times t + 0,000\,199\,78 \times t^2 + 0,000\,002\,41 \times t^3 \\
 \sin d &= -0,378\,797\,75 - 0,000\,084\,19 \times t + 0,000\,000\,09 \times t^2 \\
 \cos d &= 0,925\,479\,47 - 0,000\,034\,46 \times t + 0,000\,000\,03 \times t^2 \\
 H &= 257,459\,504\,16 + 14,997\,291\,94 \times t - 0,000\,001\,68 \times t^2 - 0,000\,000\,02 \times t^3 - 0,004\,178\,07 \delta T \\
 u_e &= 0,537\,755\,90 + 0,000\,062\,23 \times t - 0,000\,013\,13 \times t^2 \\
 u_i &= 0,008\,586\,92 - 0,000\,061\,92 \times t + 0,000\,013\,06 \times t^2
 \end{aligned}$$

Dans ces expressions $\delta T, \Delta T_r$ et ΔT_e sont exprimées en secondes de temps.

ÉLÉMENTS DE BESSEL (notation française)

Instant UT	Coordonnées de l'axe dans le plan fondamental		Direction de l'axe du cône d'ombre			Rayons des ombres dans le plan fondamental	
	x	y	$\sin d$	$\cos d$	H	u_e	u_i
h m					°		
5 0	-1,668 064	-0,589 818	-0,378 798	0,925 479	257,459 50	0,537 756	0,008 587
5 10	-1,573 425	-0,611 941	-0,378 812	0,925 474	259,959 05	0,537 766	0,008 577
5 20	-1,478 780	-0,634 053	-0,378 826	0,925 468	262,458 60	0,537 775	0,008 568
5 30	-1,384 128	-0,656 153	-0,378 840	0,925 462	264,958 15	0,537 784	0,008 559
5 40	-1,289 469	-0,678 242	-0,378 854	0,925 457	267,457 70	0,537 792	0,008 551
5 50	-1,194 805	-0,700 319	-0,378 868	0,925 451	269,957 25	0,537 799	0,008 544
6 0	-1,100 136	-0,722 386	-0,378 882	0,925 445	272,456 79	0,537 805	0,008 538
6 10	-1,005 461	-0,744 440	-0,378 896	0,925 439	274,956 34	0,537 811	0,008 532
6 20	-0,910 781	-0,766 483	-0,378 910	0,925 434	277,455 89	0,537 816	0,008 528
6 30	-0,816 096	-0,788 515	-0,378 924	0,925 428	279,955 44	0,537 820	0,008 523
6 40	-0,721 406	-0,810 535	-0,378 938	0,925 422	282,454 99	0,537 823	0,008 520
6 50	-0,626 712	-0,832 543	-0,378 952	0,925 416	284,954 53	0,537 826	0,008 517
7 0	-0,532 015	-0,854 539	-0,378 966	0,925 411	287,454 08	0,537 828	0,008 515
7 10	-0,437 313	-0,876 523	-0,378 980	0,925 405	289,953 63	0,537 829	0,008 514
7 20	-0,342 608	-0,898 496	-0,378 994	0,925 399	292,453 18	0,537 830	0,008 514
7 30	-0,247 900	-0,920 456	-0,379 008	0,925 394	294,952 72	0,537 829	0,008 514
7 40	-0,153 188	-0,942 404	-0,379 022	0,925 388	297,452 27	0,537 828	0,008 515
7 50	-0,058 475	-0,964 340	-0,379 036	0,925 382	299,951 82	0,537 827	0,008 516
8 0	0,036 242	-0,986 264	-0,379 049	0,925 376	302,451 36	0,537 824	0,008 519
8 10	0,130 960	-1,008 175	-0,379 063	0,925 371	304,950 91	0,537 821	0,008 522
8 20	0,225 681	-1,030 074	-0,379 077	0,925 365	307,450 46	0,537 817	0,008 526
8 30	0,320 402	-1,051 961	-0,379 091	0,925 359	309,950 00	0,537 813	0,008 530
8 40	0,415 126	-1,073 835	-0,379 105	0,925 354	312,449 55	0,537 808	0,008 536
8 50	0,509 850	-1,095 697	-0,379 119	0,925 348	314,949 10	0,537 802	0,008 542
9 0	0,604 575	-1,117 546	-0,379 133	0,925 342	317,448 64	0,537 795	0,008 548
9 10	0,699 301	-1,139 382	-0,379 147	0,925 336	319,948 19	0,537 787	0,008 556
9 20	0,794 027	-1,161 206	-0,379 161	0,925 331	322,447 74	0,537 779	0,008 564
9 30	0,888 753	-1,183 016	-0,379 175	0,925 325	324,947 28	0,537 770	0,008 573
9 40	0,983 478	-1,204 814	-0,379 189	0,925 319	327,446 83	0,537 760	0,008 582
9 50	1,078 203	-1,226 599	-0,379 202	0,925 314	329,946 37	0,537 750	0,008 593
10 0	1,172 928	-1,248 371	-0,379 216	0,925 308	332,445 92	0,537 739	0,008 604

$$\tan f_e = +0,004 743 45$$

$$\tan f_i = -0,004 719 82$$

$$H' = +0,261 751 94 \text{ rd/h}$$

$$d' = -0,000 090 37 \text{ rd/h}$$

ÉLÉMENTS DE BESSEL (notation américaine)

Instant UT	Coordonnées de l'axe dans le plan fondamental		Direction de l'axe du cône d'ombre			Rayons des ombres dans le plan fondamental	
	x	y	$\sin d$	$\cos d$	μ	l_e	l_i
h m					°		
5 0	-1,668 064	-0,589 818	-0,378 798	0,925 479	257,459 50	0,537 756	-0,008 587
5 10	-1,573 425	-0,611 941	-0,378 812	0,925 474	259,959 05	0,537 766	-0,008 577
5 20	-1,478 780	-0,634 053	-0,378 826	0,925 468	262,458 60	0,537 775	-0,008 568
5 30	-1,384 128	-0,656 153	-0,378 840	0,925 462	264,958 15	0,537 784	-0,008 559
5 40	-1,289 469	-0,678 242	-0,378 854	0,925 457	267,457 70	0,537 792	-0,008 551
5 50	-1,194 805	-0,700 319	-0,378 868	0,925 451	269,957 25	0,537 799	-0,008 544
6 0	-1,100 136	-0,722 386	-0,378 882	0,925 445	272,456 79	0,537 805	-0,008 538
6 10	-1,005 461	-0,744 440	-0,378 896	0,925 439	274,956 34	0,537 811	-0,008 532
6 20	-0,910 781	-0,766 483	-0,378 910	0,925 434	277,455 89	0,537 816	-0,008 528
6 30	-0,816 096	-0,788 515	-0,378 924	0,925 428	279,955 44	0,537 820	-0,008 523
6 40	-0,721 406	-0,810 535	-0,378 938	0,925 422	282,454 99	0,537 823	-0,008 520
6 50	-0,626 712	-0,832 543	-0,378 952	0,925 416	284,954 53	0,537 826	-0,008 517
7 0	-0,532 015	-0,854 539	-0,378 966	0,925 411	287,454 08	0,537 828	-0,008 515
7 10	-0,437 313	-0,876 523	-0,378 980	0,925 405	289,953 63	0,537 829	-0,008 514
7 20	-0,342 608	-0,898 496	-0,378 994	0,925 399	292,453 18	0,537 830	-0,008 514
7 30	-0,247 900	-0,920 456	-0,379 008	0,925 394	294,952 72	0,537 829	-0,008 514
7 40	-0,153 188	-0,942 404	-0,379 022	0,925 388	297,452 27	0,537 828	-0,008 515
7 50	-0,058 475	-0,964 340	-0,379 036	0,925 382	299,951 82	0,537 827	-0,008 516
8 0	0,036 242	-0,986 264	-0,379 049	0,925 376	302,451 36	0,537 824	-0,008 519
8 10	0,130 960	-1,008 175	-0,379 063	0,925 371	304,950 91	0,537 821	-0,008 522
8 20	0,225 681	-1,030 074	-0,379 077	0,925 365	307,450 46	0,537 817	-0,008 526
8 30	0,320 402	-1,051 961	-0,379 091	0,925 359	309,950 00	0,537 813	-0,008 530
8 40	0,415 126	-1,073 835	-0,379 105	0,925 354	312,449 55	0,537 808	-0,008 536
8 50	0,509 850	-1,095 697	-0,379 119	0,925 348	314,949 10	0,537 802	-0,008 542
9 0	0,604 575	-1,117 546	-0,379 133	0,925 342	317,448 64	0,537 795	-0,008 548
9 10	0,699 301	-1,139 382	-0,379 147	0,925 336	319,948 19	0,537 787	-0,008 556
9 20	0,794 027	-1,161 206	-0,379 161	0,925 331	322,447 74	0,537 779	-0,008 564
9 30	0,888 753	-1,183 016	-0,379 175	0,925 325	324,947 28	0,537 770	-0,008 573
9 40	0,983 478	-1,204 814	-0,379 189	0,925 319	327,446 83	0,537 760	-0,008 582
9 50	1,078 203	-1,226 599	-0,379 202	0,925 314	329,946 37	0,537 750	-0,008 593
10 0	1,172 928	-1,248 371	-0,379 216	0,925 308	332,445 92	0,537 739	-0,008 604

$$\tan f_1 = +0,004 743 45$$

$$\tan f_2 = +0,004 719 82$$

$$\mu' = +0,261 751 94 \text{ rd/h}$$

$$d' = -0,000 090 37 \text{ rd/h}$$

Exemple de calcul avec les développements en séries des éléments de Bessel

Calculer à Dome C (Antarctique), les époques des contacts extérieurs et du maximum de l'éclipse.

Les coordonnées de Dome C sont les suivantes :

$$\varphi = 75^\circ \quad 6' \quad 36,5'' \text{ S} \quad \lambda = 8 \text{ h } 13 \text{ m } 23,0 \text{ s E} \quad h = 0,0 \text{ m},$$

ce qui donne $\rho \sin \varphi' = -0,96297$ et $\rho \cos \varphi' = 0,25777$.

Voici les résultats des deux premières approximations, les calculs intermédiaires sont fournis avec cinq chiffres décimaux. À la fin de la deuxième approximation on peut estimer que la précision est de l'ordre de quelques secondes de temps.

Première approximation :

	1 ^{er} contact extérieur	Maximum	2 ^e contact extérieur
t (UT.)	7 h30 m	8 h 0 m	9 h 0 m
H	294,952 72°	302,451 36°	317,448 64°
$\sin d$	-0,379 01	-0,379 05	-0,379 13
$\cos d$	0,925 39	0,925 38	0,925 34
x	-0,247 90	0,036 24	0,604 58
ξ	0,219 31	0,235 11	0,254 45
$U = x - \xi$	-0,467 21	-0,198 87	0,350 13
y	-0,920 46	-0,986 26	-1,117 55
η	-0,839 78	-0,851 05	-0,875 44
$V = y - \eta$	-0,080 67	-0,135 21	-0,242 11
$\dot{U} = \dot{x} - \dot{\xi}$	0,532 80	0,540 64	0,557 56
$\dot{V} = \dot{y} - \dot{\eta}$	-0,109 97	-0,108 18	-0,105 80
l_e	0,535 50	0,535 63	0,535 88
β	-0,811 09	-0,305 56	0,685 67
γ	-0,209 39		-0,329 02
$\theta = \pm \sqrt{\beta^2 - \gamma}$	-0,931 26		0,893 96
$\tau = -\beta + \theta$	-0,120 17 h		0,208 29 h
$\tau_m = -\beta$		0,305 56 h	
$t + \tau$	7 h 22 m 47,4 s		9 h 12 m 29,8 s
$t + \tau_m$		8 h 18 m 20,0 s	

Deuxième approximation :

	1 ^{er} contact extérieur	Maximum	2 ^e contact extérieur
t (UT.)	7 h 22 m 47,4 s	8 h 18 m 20,0 s	9 h 12 m 29,8 s
H	293,150 43°	307,033 96°	320,572 40°
$\sin d$	-0,379 00	-0,379 08	-0,379 15
$\cos d$	0,925 40	0,925 37	0,925 34
x	-0,316 19	0,209 90	0,722 96
ξ	0,214 94	0,242 80	0,256 32
$U = x - \xi$	-0,531 13	-0,032 91	0,466 64
y	-0,904 62	-1,026 43	-1,144 83
η	-0,837 20	-0,858 29	-0,880 71
$V = y - \eta$	-0,067 42	-0,168 14	-0,264 12
$\dot{U} = \dot{x} - \dot{\xi}$	0,531 00	0,545 67	0,561 21
$\dot{V} = \dot{y} - \dot{\eta}$	-0,110 45	-0,107 28	-0,105 52
l_e	0,535 47	0,535 71	0,535 93
β	-0,933 44	0,000 27	0,888 57
γ	-0,000 30		0,000 88
$\theta = \pm \sqrt{\beta^2 - \gamma}$	-0,933 60		0,888 07
$\tau = -\beta + \theta$	-0,000 16 h		-0,000 49 h
$\tau_m = -\beta$		-0,000 27 h	
$t + \tau$	7 h 22 m 46,8 s		9 h 12 m 28,1 s
$t + \tau_m$		8 h 18 m 19,1 s	
g		0,693 9	
P	262,8°		119,5°
Γ	165,6°		163,8°
$Z = P - \Gamma$	97,2°		315,7°

LIGNE DE CENTRALITÉ

CIRCONSTANCES LOCALES SUR LA LIGNE DE CENTRALITÉ

Rappel des notations

- h : hauteur du Soleil au moment du maximum.
- L : largeur de l'ombre dans la direction perpendiculaire à son déplacement.
- Obs. : degré d'obscurité.
- g : grandeur de l'éclipse.
- a : azimut du soleil au moment du maximum.
- v : vitesse de l'ombre (ou de son prolongement) à la surface terrestre.
- P : angle au pôle.
- Z : angle au zénith.

LIGNE DE CENTRALITÉ

Instant UT	Limite nord		Ligne centrale		Limite sud		Ligne centrale	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Durée	h
h m	° /	° /	° /	° /	° /	° /	m s	°
Limites	-51 51,2	+ 48 55,2	-53 5,4	+ 51 13,2	-54 25,4	+ 53 51,7	1 30,2	...
7 3	-57 26,4	+ 39 57,4	-53 58,0	+ 49 31,7	-53 13,5	+ 51 25,7	1 32,1	1
7 4	-58 28,2	+ 38 47,6	-56 15,9	+ 45 52,2	-53 38,0	+ 52 14,6	1 36,8	5
7 5	-59 24,3	+ 37 50,1	-57 38,4	+ 44 6,2	-54 2,5	+ 53 4,4	1 39,3	6
7 6	-60 16,6	+ 37 1,4	-58 46,2	+ 42 50,9	-54 57,0	+ 52 54,0	1 41,2	7
7 7	-61 6,0	+ 36 19,4	-59 46,3	+ 41 52,3	-57 20,8	+ 49 15,6	1 42,9	9
7 8	-61 53,0	+ 35 42,9	-60 41,3	+ 41 4,8	-58 43,3	+ 47 39,5	1 44,3	9
7 9	-62 38,3	+ 35 11,0	-61 32,8	+ 40 25,5	-59 50,9	+ 46 33,6	1 45,5	10
7 10	-63 22,1	+ 34 43,1	-62 21,5	+ 39 52,7	-60 50,7	+ 45 44,2	1 46,7	11
7 11	-64 4,6	+ 34 18,7	-63 8,1	+ 39 25,3	-61 45,5	+ 45 6,0	1 47,7	12
7 12	-64 45,9	+ 33 57,5	-63 53,0	+ 39 2,6	-62 36,6	+ 44 36,1	1 48,7	12
7 13	-65 26,4	+ 33 39,3	-64 36,3	+ 38 44,1	-63 25,1	+ 44 13,0	1 49,5	13
7 14	-66 6,0	+ 33 23,9	-65 18,5	+ 38 29,4	-64 11,3	+ 43 55,7	1 50,3	13
7 15	-66 44,9	+ 33 11,2	-65 59,5	+ 38 18,2	-64 55,8	+ 43 43,4	1 51,1	14
7 16	-67 23,2	+ 33 1,1	-66 39,7	+ 38 10,5	-65 38,7	+ 43 35,8	1 51,8	14
7 17	-68 0,9	+ 32 53,5	-67 19,0	+ 38 6,0	-66 20,4	+ 43 32,5	1 52,4	14
7 18	-68 38,0	+ 32 48,5	-67 57,5	+ 38 4,7	-67 0,9	+ 43 33,4	1 53,0	15
7 19	-69 14,7	+ 32 46,1	-68 35,4	+ 38 6,7	-67 40,4	+ 43 38,3	1 53,5	15
7 20	-69 51,0	+ 32 46,2	-69 12,7	+ 38 11,9	-68 19,0	+ 43 47,2	1 54,0	15
7 21	-70 26,9	+ 32 49,1	-69 49,4	+ 38 20,5	-68 56,8	+ 44 0,1	1 54,5	16
7 22	-71 2,4	+ 32 54,7	-70 25,6	+ 38 32,5	-69 33,8	+ 44 17,2	1 54,9	16
7 23	-71 37,5	+ 33 3,3	-71 1,2	+ 38 48,0	-70 10,1	+ 44 38,4	1 55,2	16
7 24	-72 12,4	+ 33 14,9	-71 36,4	+ 39 7,3	-70 45,7	+ 45 4,1	1 55,6	16
7 25	-72 46,9	+ 33 29,8	-72 11,2	+ 39 30,6	-71 20,6	+ 45 34,3	1 55,9	16
7 26	-73 21,1	+ 33 48,2	-72 45,5	+ 39 58,1	-71 54,9	+ 46 9,3	1 56,1	17
7 27	-73 55,1	+ 34 10,4	-73 19,3	+ 40 30,1	-72 28,5	+ 46 49,5	1 56,4	17
7 28	-74 28,7	+ 34 36,8	-73 52,7	+ 41 7,0	-73 1,4	+ 47 35,1	1 56,6	17
7 29	-75 2,1	+ 35 7,6	-74 25,6	+ 41 49,2	-73 33,7	+ 48 26,5	1 56,7	17
7 30	-75 35,2	+ 35 43,4	-74 58,1	+ 42 37,2	-74 5,2	+ 49 24,2	1 56,9	17
7 31	-76 8,0	+ 36 24,7	-75 30,0	+ 43 31,5	-74 36,0	+ 50 28,7	1 57,0	17
7 32	-76 40,4	+ 37 12,0	-76 1,4	+ 44 32,7	-75 6,0	+ 51 40,4	1 57,0	17
7 33	-77 12,5	+ 38 6,2	-76 32,2	+ 45 41,5	-75 35,1	+ 52 60,0	1 57,1	17
7 34	-77 44,2	+ 39 7,9	-77 2,4	+ 46 58,7	-76 3,3	+ 54 28,0	1 57,1	17
7 35	-78 15,4	+ 40 18,1	-77 31,8	+ 48 25,1	-76 30,4	+ 56 5,2	1 57,0	17
7 36	-78 46,2	+ 41 38,1	-78 0,4	+ 50 1,7	-76 56,4	+ 57 52,2	1 57,0	17
7 37	-79 16,3	+ 43 8,9	-78 28,0	+ 51 49,5	-77 21,1	+ 59 49,7	1 56,9	17
7 38	-79 45,8	+ 44 52,1	-78 54,6	+ 53 49,7	-77 44,3	+ 61 58,3	1 56,7	17
7 39	-80 14,4	+ 46 49,3	-79 19,9	+ 56 3,4	-78 6,0	+ 64 18,6	1 56,6	17
7 40	-80 42,0	+ 49 2,3	-79 43,8	+ 58 31,6	-78 25,8	+ 66 51,1	1 56,4	17
7 41	-81 8,5	+ 51 33,3	-80 6,1	+ 61 15,6	-78 43,5	+ 69 35,9	1 56,1	17
7 42	-81 33,6	+ 54 24,2	-80 26,5	+ 64 16,1	-78 59,0	+ 72 33,2	1 55,9	16
7 43	-81 56,9	+ 57 37,3	-80 44,6	+ 67 33,7	-79 11,8	+ 75 42,5	1 55,6	16
7 44	-82 18,3	+ 61 14,3	-81 0,3	+ 71 8,6	-79 21,9	+ 79 3,0	1 55,2	16
7 45	-82 37,2	+ 65 16,8	-81 13,1	+ 75 0,1	-79 28,8	+ 82 33,5	1 54,9	16
7 46	-82 53,2	+ 69 45,2	-81 22,6	+ 79 6,9	-79 32,4	+ 86 12,1	1 54,4	16

LIGNE DE CENTRALITÉ*(Suite et fin)*

Instant UT	Limite nord		Ligne centrale		Limite sud		Ligne centrale	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Durée	<i>h</i>
h m	° /	° /	° /	° /	° /	° /	m s	°
7 47	-83 5,8	+ 74 38,5	-81 28,7	+ 83 26,5	-79 32,2	+ 89 56,7	1 54,0	15
7 48	-83 14,7	+ 79 53,9	-81 30,8	+ 87 55,6	-79 28,2	+ 93 44,5	1 53,5	15
7 49	-83 19,2	+ 85 26,2	-81 28,8	+ 92 30,2	-79 19,9	+ 97 32,6	1 52,9	15
7 50	-83 19,0	+ 91 8,6	-81 22,3	+ 97 5,4	-79 7,3	+101 18,1	1 52,3	14
7 51	-83 13,9	+ 96 52,6	-81 11,3	+101 36,4	-78 50,1	+104 58,1	1 51,7	14
7 52	-83 3,7	+102 29,5	-80 55,7	+105 58,9	-78 28,0	+108 29,9	1 51,0	13
7 53	-82 48,3	+107 51,4	-80 35,2	+110 8,7	-78 0,9	+111 51,3	1 50,2	13
7 54	-82 28,0	+112 52,2	-80 10,0	+114 3,0	-77 28,3	+115 0,4	1 49,4	13
7 55	-82 2,9	+117 27,9	-79 40,0	+117 39,6	-76 49,8	+117 56,0	1 48,5	12
7 56	-81 33,0	+121 36,3	-79 4,9	+120 57,3	-76 4,5	+120 36,9	1 47,5	11
7 57	-80 58,7	+125 17,1	-78 24,6	+123 55,6	-75 11,0	+123 2,3	1 46,5	11
7 58	-80 19,8	+128 31,1	-77 38,6	+126 34,4	-74 7,0	+125 11,3	1 45,3	10
7 59	-79 36,3	+131 19,7	-76 46,2	+128 53,8	-72 46,9	+127 2,1	1 44,0	9
8 0	-78 48,0	+133 44,5	-75 45,8	+130 54,0	-70 55,1	+128 30,0	1 42,5	8
8 1	-77 54,3	+135 47,1	-74 35,1	+132 34,4	-67 35,4	+129 19,4	1 40,8	7
8 2	-76 54,3	+137 28,7	-73 8,7	+133 53,3	-67 31,6	+130 57,8	1 38,6	6
8 3	-75 46,2	+138 50,0	-71 10,6	+134 43,5	-67 27,2	+132 35,2	1 35,8	4
Limites	-67 2,6	+138 49,6	-67 22,0	+134 9,0	-67 36,3	+128 54,1	1 30,2	...

CIRCONSTANCES LOCALES SUR LA LIGNE DE CENTRALITÉ

Instant		Maximum de l'éclipse						Ligne centrale		Premier contact		
UT	Durée	L	Obs.	g	h	a	v	Latitude	Longitude	UT	P	Z
h m	m s	km	%	°	°		m/s	° ′	° ′	h m s	°	°
Limites	1 30,2	425	100,0	1,016	...	309	≥ 10000	-53 5,4	+ 51 13,2	...	...	...
7 3	1 32,1	434	100,0	1,016	1	308	≥ 10000	-53 58,0	+ 49 31,7	...	...	...
7 4	1 36,8	451	100,0	1,017	5	305	5770	-56 15,9	+ 45 52,2	...	...	...
7 5	1 39,3	458	100,0	1,017	6	303	3119	-57 38,4	+ 44 6,2	6 16 30,7	285	80
7 6	1 41,2	461	100,0	1,017	7	301	2434	-58 46,2	+ 42 50,9	6 17 8,0	286	81
7 7	1 42,9	463	100,0	1,017	9	300	2079	-59 46,3	+ 41 52,3	6 17 48,9	286	81
7 8	1 44,3	464	100,0	1,018	9	299	1855	-60 41,3	+ 41 4,8	6 18 32,0	286	81
7 9	1 45,5	464	100,0	1,018	10	298	1699	-61 32,8	+ 40 25,5	6 19 16,9	286	82
7 10	1 46,7	463	100,0	1,018	11	298	1584	-62 21,5	+ 39 52,7	6 20 3,2	286	82
7 11	1 47,7	462	100,0	1,018	12	297	1495	-63 8,1	+ 39 25,3	6 20 50,5	286	83
7 12	1 48,7	461	100,0	1,018	12	296	1424	-63 53,0	+ 39 2,6	6 21 38,8	286	83
7 13	1 49,5	460	100,0	1,018	13	296	1367	-64 36,3	+ 38 44,1	6 22 27,9	286	84
7 14	1 50,3	458	100,0	1,018	13	295	1320	-65 18,5	+ 38 29,4	6 23 17,8	286	84
7 15	1 51,1	457	100,0	1,018	14	294	1281	-65 59,5	+ 38 18,2	6 24 8,3	285	84
7 16	1 51,8	455	100,0	1,018	14	294	1247	-66 39,7	+ 38 10,5	6 24 59,4	285	85
7 17	1 52,4	453	100,0	1,018	14	294	1219	-67 19,0	+ 38 6,0	6 25 51,1	285	85
7 18	1 53,0	451	100,0	1,018	15	293	1195	-67 57,5	+ 38 4,7	6 26 43,3	285	86
7 19	1 53,5	450	100,0	1,018	15	293	1174	-68 35,4	+ 38 6,7	6 27 36,0	285	86
7 20	1 54,0	448	100,0	1,019	15	293	1157	-69 12,7	+ 38 11,9	6 28 29,2	285	87
7 21	1 54,5	446	100,0	1,019	16	292	1142	-69 49,4	+ 38 20,5	6 29 22,8	285	87
7 22	1 54,9	444	100,0	1,019	16	292	1129	-70 25,6	+ 38 32,5	6 30 16,9	285	88
7 23	1 55,2	443	100,0	1,019	16	292	1117	-71 1,2	+ 38 48,0	6 31 11,4	285	88
7 24	1 55,6	441	100,0	1,019	16	292	1108	-71 36,4	+ 39 7,3	6 32 6,2	285	88
7 25	1 55,9	439	100,0	1,019	16	292	1100	-72 11,2	+ 39 30,6	6 33 1,5	285	89
7 26	1 56,1	438	100,0	1,019	17	292	1094	-72 45,5	+ 39 58,1	6 33 57,2	285	89
7 27	1 56,4	436	100,0	1,019	17	292	1089	-73 19,3	+ 40 30,1	6 34 53,2	285	90
7 28	1 56,6	435	100,0	1,019	17	292	1085	-73 52,7	+ 41 7,0	6 35 49,6	285	90
7 29	1 56,7	434	100,0	1,019	17	292	1082	-74 25,6	+ 41 49,2	6 36 46,4	285	91
7 30	1 56,9	433	100,0	1,019	17	293	1080	-74 58,1	+ 42 37,2	6 37 43,5	285	91
7 31	1 57,0	431	100,0	1,019	17	293	1080	-75 30,0	+ 43 31,5	6 38 41,1	285	92
7 32	1 57,0	430	100,0	1,019	17	294	1080	-76 1,4	+ 44 32,7	6 39 38,9	284	92
7 33	1 57,1	429	100,0	1,019	17	294	1081	-76 32,2	+ 45 41,5	6 40 37,2	284	93
7 34	1 57,1	428	100,0	1,019	17	295	1083	-77 2,4	+ 46 58,7	6 41 35,8	284	93
7 35	1 57,0	427	100,0	1,019	17	296	1086	-77 31,8	+ 48 25,1	6 42 34,8	284	94
7 36	1 57,0	427	100,0	1,019	17	297	1090	-78 0,4	+ 50 1,7	6 43 34,1	284	94
7 37	1 56,9	426	100,0	1,019	17	299	1096	-78 28,0	+ 51 49,5	6 44 33,9	284	95
7 38	1 56,7	425	100,0	1,019	17	300	1102	-78 54,6	+ 53 49,7	6 45 34,0	284	95
7 39	1 56,6	425	100,0	1,019	17	302	1109	-79 19,9	+ 56 3,4	6 46 34,5	284	96
7 40	1 56,4	424	100,0	1,019	17	304	1117	-79 43,8	+ 58 31,6	6 47 35,4	284	96
7 41	1 56,1	424	100,0	1,019	17	306	1127	-80 6,1	+ 61 15,6	6 48 36,7	284	97
7 42	1 55,9	424	100,0	1,019	16	309	1137	-80 26,5	+ 64 16,1	6 49 38,4	284	97
7 43	1 55,6	423	100,0	1,019	16	312	1149	-80 44,6	+ 67 33,7	6 50 40,5	283	98
7 44	1 55,2	423	100,0	1,019	16	315	1163	-81 0,3	+ 71 8,6	6 51 43,1	283	98
7 45	1 54,9	423	100,0	1,019	16	318	1178	-81 13,1	+ 75 0,1	6 52 46,1	283	99
7 46	1 54,4	423	100,0	1,019	16	322	1195	-81 22,6	+ 79 6,9	6 53 49,6	283	99

CIRCONSTANCES LOCALES SUR LA LIGNE DE CENTRALITÉ

Instant maximum	Deuxième contact				Troisième contact				Quatrième contact						
	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>
h m	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°
Limites	7	2	9,2	106	255	7	3	39,4	286	75	7	51	19,7	106	252
7 3	7	2	14,0	106	255	7	3	46,1	286	75	7	51	49,4	106	252
7 4	7	3	11,7	106	256	7	4	48,4	286	76	7	53	46,5	106	253
7 5	7	4	10,4	106	257	7	5	49,7	286	77	7	55	17,2	107	254
7 6	7	5	9,4	106	257	7	6	50,7	286	77	7	56	40,6	107	255
7 7	7	6	8,6	106	258	7	7	51,5	286	78	7	58	0,0	107	256
7 8	7	7	7,9	106	258	7	8	52,2	286	78	7	59	16,7	107	256
7 9	7	8	7,3	106	259	7	9	52,8	286	79	8	0	31,4	107	257
7 10	7	9	6,7	106	260	7	10	53,4	286	79	8	1	44,5	106	258
7 11	7	10	6,2	106	260	7	11	53,9	286	80	8	2	56,3	106	258
7 12	7	11	5,7	106	261	7	12	54,4	286	81	8	4	7,0	106	259
7 13	7	12	5,3	106	261	7	13	54,8	286	81	8	5	16,7	106	260
7 14	7	13	4,9	106	262	7	14	55,2	286	82	8	6	25,5	106	260
7 15	7	14	4,5	106	262	7	15	55,6	286	82	8	7	33,6	106	261
7 16	7	15	4,2	106	263	7	16	55,9	286	83	8	8	40,9	106	261
7 17	7	16	3,9	106	263	7	17	56,2	286	83	8	9	47,5	106	262
7 18	7	17	3,6	106	264	7	18	56,5	286	84	8	10	53,6	106	263
7 19	7	18	3,3	106	264	7	19	56,8	286	84	8	11	59,0	106	263
7 20	7	19	3,0	106	265	7	20	57,1	286	85	8	13	3,9	106	264
7 21	7	20	2,8	106	265	7	21	57,3	286	85	8	14	8,2	106	264
7 22	7	21	2,6	105	266	7	22	57,5	285	86	8	15	12,0	106	265
7 23	7	22	2,4	105	266	7	23	57,7	285	86	8	16	15,4	106	265
7 24	7	23	2,3	105	267	7	24	57,8	285	87	8	17	18,2	106	266
7 25	7	24	2,1	105	267	7	25	58,0	285	87	8	18	20,6	106	266
7 26	7	25	2,0	105	268	7	26	58,1	285	88	8	19	22,6	105	267
7 27	7	26	1,9	105	268	7	27	58,2	285	88	8	20	24,1	105	267
7 28	7	27	1,8	105	269	7	28	58,3	285	89	8	21	25,2	105	268
7 29	7	28	1,7	105	269	7	29	58,4	285	89	8	22	25,9	105	268
7 30	7	29	1,6	105	270	7	30	58,5	285	90	8	23	26,1	105	269
7 31	7	30	1,6	105	270	7	31	58,5	285	90	8	24	26,0	105	269
7 32	7	31	1,5	105	271	7	32	58,5	285	91	8	25	25,4	105	270
7 33	7	32	1,5	105	271	7	33	58,6	285	91	8	26	24,4	105	270
7 34	7	33	1,5	105	272	7	34	58,6	285	92	8	27	23,1	105	271
7 35	7	34	1,5	104	272	7	35	58,5	284	92	8	28	21,3	105	271
7 36	7	35	1,5	104	273	7	36	58,5	284	93	8	29	19,2	105	272
7 37	7	36	1,6	104	273	7	37	58,5	284	93	8	30	16,6	104	272
7 38	7	37	1,7	104	274	7	38	58,4	284	94	8	31	13,6	104	273
7 39	7	38	1,7	104	274	7	39	58,3	284	94	8	32	10,2	104	273
7 40	7	39	1,8	104	275	7	40	58,2	284	95	8	33	6,4	104	274
7 41	7	40	1,9	104	275	7	41	58,1	284	95	8	34	2,2	104	274
7 42	7	41	2,1	104	276	7	42	58,0	284	96	8	34	57,6	104	275
7 43	7	42	2,2	104	276	7	43	57,8	284	96	8	35	52,6	104	275
7 44	7	43	2,4	103	277	7	44	57,6	284	97	8	36	47,1	104	275
7 45	7	44	2,6	103	277	7	45	57,4	283	97	8	37	41,1	104	276
7 46	7	45	2,8	103	278	7	46	57,2	283	97	8	38	34,7	103	276

CIRCONSTANCES LOCALES SUR LA LIGNE DE CENTRALITÉ
(*Suite et fin*)

Instant		Maximum de l'éclipse						Ligne centrale		Premier contact		
UT	Durée	L	Obs.	g	h	a	v	Latitude	Longitude	UT	P	Z
h m	m s	km	%		°	°	m/s	° ′	° ′	h m s	°	°
7 47	1 54,0	423	100,0	1,019	15	326	1215	-81 28,7	+ 83 26,5	6 54 53,6	283	100
7 48	1 53,5	423	100,0	1,018	15	330	1236	-81 30,8	+ 87 55,6	6 55 58,1	283	100
7 49	1 52,9	424	100,0	1,018	15	334	1261	-81 28,8	+ 92 30,2	6 57 3,2	283	101
7 50	1 52,3	424	100,0	1,018	14	338	1288	-81 22,3	+ 97 5,4	6 58 8,8	283	101
7 51	1 51,7	425	100,0	1,018	14	342	1319	-81 11,3	+101 36,4	6 59 15,1	283	102
7 52	1 51,0	425	100,0	1,018	13	346	1355	-80 55,7	+105 58,9	7 0 22,0	282	102
7 53	1 50,2	426	100,0	1,018	13	350	1396	-80 35,2	+110 8,7	7 1 29,6	282	103
7 54	1 49,4	427	100,0	1,018	13	353	1444	-80 10,0	+114 3,0	7 2 38,0	282	103
7 55	1 48,5	428	100,0	1,018	12	357	1501	-79 40,0	+117 39,6	7 3 47,3	282	104
7 56	1 47,5	429	100,0	1,018	11	360	1568	-79 4,9	+120 57,3	7 4 57,6	282	104
7 57	1 46,5	430	100,0	1,018	11	2	1651	-78 24,6	+123 55,6	7 6 9,0	282	105
7 58	1 45,3	431	100,0	1,018	10	4	1754	-77 38,6	+126 34,4	7 7 21,7	282	105
7 59	1 44,0	432	100,0	1,018	9	6	1888	-76 46,2	+128 53,8	7 8 36,2	281	106
8 0	1 42,5	433	100,0	1,017	8	8	2069	-75 45,8	+130 54,0	7 9 52,7	281	106
8 1	1 40,8	434	100,0	1,017	7	9	2333	-74 35,1	+132 34,4	7 11 12,2	281	107
8 2	1 38,6	435	100,0	1,017	6	10	2767	-73 8,7	+133 53,3	7 12 36,2	281	108
8 3	1 35,8	435	100,0	1,017	4	11	3691	-71 10,6	+134 43,5	7 14 9,5	281	108
Limites	1 30,2	429	100,0	1,016	...	10	9136	-67 22,0	+134 9,0	7 16 1,7	280	109

CIRCONSTANCES LOCALES SUR LA LIGNE DE CENTRALITÉ
(*Suite et fin*)

Instant maximum UT	Deuxième contact				Troisième contact				Quatrième contact						
	UT		<i>P</i>	<i>Z</i>	UT		<i>P</i>	<i>Z</i>	UT		<i>P</i>	<i>Z</i>			
h m	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°
7 47	7	46	3,0	103	278	7	47	57,0	283	98	8	39	27,8	103	277
7 48	7	47	3,3	103	278	7	48	56,7	283	98	8	40	20,4	103	277
7 49	7	48	3,5	103	279	7	49	56,5	283	99	8	41	12,4	103	277
7 50	7	49	3,8	103	279	7	50	56,2	283	99	8	42	3,9	103	278
7 51	7	50	4,2	103	280	7	51	55,8	283	100	8	42	54,8	103	278
7 52	7	51	4,5	103	280	7	52	55,5	283	100	8	43	45,1	103	278
7 53	7	52	4,9	102	281	7	53	55,1	282	101	8	44	34,7	103	279
7 54	7	53	5,3	102	281	7	54	54,7	282	101	8	45	23,5	102	279
7 55	7	54	5,7	102	282	7	55	54,3	282	101	8	46	11,5	102	279
7 56	7	55	6,2	102	282	7	56	53,8	282	102	8	46	58,5	102	280
7 57	7	56	6,8	102	282	7	57	53,2	282	102	8	47	44,5	102	280
7 58	7	57	7,3	102	283	7	58	52,6	282	103	8	48	29,2	102	280
7 59	7	58	8,0	102	283	7	59	52,0	282	103	8	49	12,2	102	280
8 0	7	59	8,7	101	284	8	0	51,2	281	103	8	49	53,3	102	281
8 1	8	0	9,6	101	284	8	1	50,4	281	104	8	50	31,5	101	281
8 2	8	1	10,7	101	284	8	2	49,3	281	104	8	51	5,2	101	281
8 3	8	2	12,1	101	285	8	3	47,9	281	105	8	51	30,0	101	281
Limites	8	3	1,5	101	285	8	4	31,7	281	105	8	51	10,0	101	280

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
Antarctique (Afrique du Sud)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse						
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>		
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°		
1	-73	0	+ 4	0	Borga Camp	.. ..	7 25 0,1	87,2	0,891	27	258
2	-70	18	+ 2	22	Sanae.....	.. ..	7 20 15,0	84,6	0,871	28	259
3	-71	0	+ 2	0	Sanae 4.....	.. ..	7 21 35,4	84,8	0,873	28	258
4	-72	1	+ 2	47	Sarie Marais	.. ..	7 23 21,0	85,9	0,881	27	258
5	-71	40	+ 2	49	Vesle Skarvet	.. ..	7 22 42,2	85,7	0,880	27	258

Antarctique (Allemagne)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse						
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>		
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°		
1	-72	52	+ 19	9	Drescher.....	.. ..	7 24 0,9	94,7	0,951	22	273
2	-77	6	+ 50	24	Filchner Station....	1 50,1	7 34 41,9	100,0	1,013	17	298
3	-70	39	+ 8	15	Georg von Neumayen	.. ..	7 20 15,8	88,4	0,900	26	264
4	-70	37	+ 8	22	Georg von Neumayer	.. ..	7 20 11,6	88,4	0,901	26	264
5	-74	37	-164	13	Gondwan station....	.. ..	8 20 17,4	77,7	0,817	16	63
6	-71	12	-164	3	Lilie Marleen Hut...	.. ..	8 25 26,7	73,6	0,784	14	62

Antarctique (Argentine)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse						
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>		
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°		
1	-81	0	+ 40	0	A. de Navajo Sobral....	.. ..	7 39 32,2	98,8	0,985	20	286
2	-64	52	+ 62	53	Almirante Brown.....	.. ..	7 22 32,3	94,6	0,951	5	314
3	-77	45	+ 41	0	Ellsworth Station.....	1 11,5	7 34 15,0	100,0	1,004	19	289
4	-63	24	+ 56	58	Esperanza.....	.. ..	7 18 6,1	96,2	0,963	6	310
5	-77	52	+ 34	38	General Belgrano.....	.. ..	7 33 45,1	99,2	0,990	20	283
6	-78	0	+ 45	0	General Belgrano III....	1 45,2	7 35 11,9	100,0	1,010	18	293
7	-68	7	+ 67	4	General San Martin....	.. ..	7 28 3,2	94,3	0,949	7	317
8	-63	28	+ 56	17	Petrel Air Station.....	.. ..	7 17 52,7	96,4	0,965	6	310
9	-64	9	+ 60	57	Primavera.....	.. ..	7 20 49,0	95,1	0,955	5	313
10	-65	10	+ 64	10	Refugeo Naval Groussac	.. ..	7 23 28,4	94,4	0,949	5	315
11	-64	58	+ 60	4	Temiente Matienzo....	.. ..	7 21 22,4	95,3	0,956	6	312
12	-64	16	+ 56	45	Vicecomodoro Marambio	.. ..	7 19 4,1	96,2	0,964	7	310

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
Antarctique (Afrique du Sud)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact				
	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>
	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°
1	6	29	27,4	279	80	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	22	15,1	114	277
2	6	24	40,9	278	77	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	17	48,1	115	276
3	6	25	56,6	278	78	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	19	9,0	115	277
4	6	27	43,8	279	79	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	20	46,7	114	277
5	6	27	6,2	279	79	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	20	8,8	115	277

Antarctique (Allemagne)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact				
	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>
	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°
1	6	29	57,6	282	84	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	19	40,9	110	272
2	6	42	30,1	284	94	7	33	46,9	123	290	7	35	37,0	266	74	8	27	49,8	104	271
3	6	25	17,2	280	79	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	17	9,0	114	274
4	6	25	13,9	280	79	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	17	4,0	114	274
5	7	27	21,0	269	105	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	11	58,5	112	305
6	7	33	17,0	266	106	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	16	9,6	113	308

Antarctique (Argentine)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact				
	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>
	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°
1	6	45	56,0	282	94	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	33	54,9	106	277
2	6	34	18,4	288	92	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	11	54,7	101	259
3	6	41	18,1	284	92	7	33	39,3	51	219	7	34	50,8	338	145	8	28	12,2	106	272
4	6	29	43,1	287	90	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	7	48,2	102	257
5	6	40	20,8	283	91	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	28	12,8	107	273
6	6	42	27,6	284	93	7	34	19,3	77	245	7	36	4,5	312	120	8	28	52,9	105	272
7	6	39	18,2	288	95	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	17	47,0	101	261
8	6	29	25,0	287	89	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	7	40,3	102	257
9	6	32	36,1	288	91	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	10	14,1	101	258
10	6	35	16,1	288	93	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	12	47,1	101	259
11	6	32	53,5	288	91	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	11	3,8	102	258
12	6	30	27,9	287	90	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	8	58,5	102	258

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
Antarctique (Australie)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse					
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>	
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°	
1	-70	0	- 71 0	Amery .....	.. ..	7 57 39,7	44,7	0,545	42	164
2	-66	16	-110 31	Casey .....	.. ..	8 27 28,7	37,2	0,479	32	109
3	-66	58	-142 38	Commonwealth Bay ..	.. ..	8 34 4,1	54,4	0,628	19	78
4	-68	34	- 77 56	Davis .....	.. ..	8 3 15,3	39,7	0,501	42	153
5	-70	13	- 65 52	Dovers .....	.. ..	7 53 52,1	46,6	0,561	42	172
6	-66	15	-100 34	Edgeworth David .....	.. ..	8 21 49,6	34,4	0,453	36	121
7	-65	50	-100 28	Edgeworth David .....	.. ..	8 22 15,6	33,3	0,442	37	120
8	-66	25	-110 23	Ionospherical Research	.. ..	8 27 11,9	37,5	0,482	32	109
9	-69	24	- 76 22	Larsemann Hills .....	.. ..	8 1 47,6	42,1	0,523	41	156
10	-69	22	- 76 22	Law .....	.. ..	8 1 48,1	42,1	0,522	41	156
11	-67	0	-112 0	Law Dome .....	.. ..	8 27 7,3	39,5	0,500	32	108
12	-67	33	- 62 53	Mawson .....	.. ..	7 50 44,1	40,6	0,509	45	176
13	-70	0	- 65 0	Moore Pyramid .....	.. ..	7 53 10,7	46,2	0,558	42	173
14	-67	34	- 66 28	Scullin Monolithe .....	.. ..	7 53 48,8	39,4	0,498	44	170

Antarctique (Belgique)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse					
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>	
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°	
1	-70	25	- 24 19	Roi Baudouin	7 28 9,2	67,5	0,735	36	229

Antarctique (Chili)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse					
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>	
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°	
1	-64	49	+ 62 52	Gabriel Gonzales Videla ..	.. ..	7 22 28,4	94,6	0,951	5	314
2	-63	19	+ 57 54	General Bemado O'Higgins	.. ..	7 18 25,5	95,9	0,961	5	311
3	-63	22	+ 57 34	Los Jemelos .....	.. ..	7 18 20,0	96,0	0,962	6	311
4	-64	18	+ 61 3	Spring Inach .....	.. ..	7 21 2,2	95,1	0,954	5	313
5	-67	44	+ 68 54	Teniente Luis Carvajal ....	.. ..	7 28 26,5	93,9	0,945	6	318

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
Antarctique (Australie)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact								
	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>				
	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°
1	7	0	10,7	257	76	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	54	51,7	132	323
2	7	34	22,4	249	91	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	18	41,2	132	338
3	7	41	58,0	257	102	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	24	14,3	122	325
4	7	6	43,9	254	77	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	59	6,5	134	330
5	6	56	3,3	259	75	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	51	39,9	131	320
6	7	28	14,5	248	86	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	13	44,4	135	340
7	7	28	58,0	248	86	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	13	52,0	135	341
8	7	33	59,5	249	91	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	18	31,1	132	338
9	7	4	50,0	255	78	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	58	11,0	133	327
10	7	4	51,2	255	78	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	58	10,8	133	327
11	7	33	38,3	250	92	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	18	43,3	131	336
12	6	53	32,3	256	70	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	48	7,0	135	324
13	6	55	22,3	259	74	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	51	1,0	131	320
14	6	56	51,9	255	71	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	50	43,5	135	326

Antarctique (Belgique)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact								
	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>				
	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°
1	6	30	21,1	271	72	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	27	42,4	123	292	

Antarctique (Chili)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact								
	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>				
	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°	°	h	m	s	°
1	6	34	15,2	288	92	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	11	50,3	101	258
2	6	30	8,6	287	90	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	8	0,1	102	257
3	6	30	0,6	287	90	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	7	57,5	102	257
4	6	32	47,7	288	91	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	10	28,6	101	258
5	6	39	54,8	288	95	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	17	55,3	100	261

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
Antarctique (États-Unis)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse									
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>					
	°	'	°	'	m	s	h	m	s	%		°	°	
1	-83	46	-174	19	Breadmore I et II	..	..	8	4	58,7	88,4	0,901	19	60
2	-84	3	-164	15	Breadmore South Camp	..	..	8	5	6,2	86,6	0,887	20	70
3	-84	0	-179	49	Brockton	..	..	8	4	10,4	89,5	0,910	19	55
4	-80	0	+120	0	Byrd Station	1	44,7	7	55	40,5	100,0	1,013	12	359
5	-80	1	+119	30	Byrd Surface Camp	1	45,5	7	55	31,9	100,0	1,013	12	358
6	-79	54	+120	30	Byrd VLF Substation	1	44,8	7	55	49,3	100,0	1,013	12	359
7	-79	0	+165	0	Camp Michigan	..	..	8	8	22,3	92,4	0,933	14	38
8	-74	0	+ 94	0	Camp Minnesota	..	..	7	44	41,8	95,9	0,961	8	337
9	-85	0	+112	0	Camp Ohoi	..	..	7	54	12,3	97,7	0,976	17	351
10	-79	20	+162	0	Camp Wisconsin	..	..	8	7	19,4	93,3	0,940	14	36
11	-67	0	-143	0	Cap Deninson	..	..	8	34	1,0	54,6	0,630	19	77
12	-72	18	-170	11	Cap Hallett	..	..	8	22	39,0	78,1	0,820	13	57
13	-83	0	+118	0	Central Western Camp	..	..	7	55	7,3	99,4	0,991	15	357
14	-82	49	+118	0	Concerts Station	..	..	7	55	7,4	99,5	0,993	15	357
15	-83	45	+166	8	Crary Ice Rice	..	..	8	3	0,6	92,1	0,930	18	41
16	-84	0	+115	50	Down Stream Bravo	..	..	7	54	43,8	98,6	0,984	16	355
17	-68	14	+ 66	55	East Base	..	..	7	28	7,1	94,4	0,949	7	317
18	-75	10	+ 77	10	Eights Station	..	..	7	39	19,8	96,9	0,969	11	323
19	-67	22	+ 68	35	Fuchs Sound Camp	..	..	7	27	54,5	93,9	0,945	6	318
20	-78	53	+161	35	Little America	..	..	8	7	41,7	93,4	0,941	13	35
21	-81	49	-169	10	Little Jeana	..	..	8	8	28,2	86,1	0,883	19	63
22	-79	0	+148	0	Little Rockford	..	..	8	4	3,4	97,2	0,972	12	23
23	-78	10	+162	10	Little America V	..	..	8	8	34,8	93,2	0,939	13	35
24	-77	25	-163	39	Marble point	..	..	8	15	59,5	80,5	0,839	17	66
25	-77	51	-166	37	Mc Murdo	..	..	8	14	59,1	82,1	0,851	17	63
26	-78	31	+ 86	1	Mount Vinson Base	..	..	7	45	6,9	99,4	0,991	12	329
27	-73	12	-163	50	North Victoria Land	..	..	8	22	30,0	75,9	0,803	15	63
28	-64	46	+ 64	4	Palmer	..	..	7	22	58,8	94,4	0,949	5	315
29	-80	12	+ 80	5	Patriot Hills Camp	1	28,9	7	45	3,7	100,0	1,007	15	323
30	-79	15	- 40	30	Plateau Station	..	..	7	46	0,1	74,7	0,792	32	203
31	-75	55	+ 83	55	Siple	..	..	7	42	18,1	97,2	0,972	10	328
32	-81	40	+149	0	Siple Dome Station	..	..	8	2	15,6	96,0	0,962	15	25
33	-83	26	+139	38	Upstream B	..	..	7	59	11,2	96,6	0,967	16	17
34	-83	26	+137	46	Upstream C	..	..	7	58	50,9	96,9	0,969	16	15
35	-82	10	+111	20	UWS Camp 67	1	8,5	7	53	36,6	100,0	1,004	15	351
36	-74	42	-164	5	UWS Camp F 191	..	..	8	20	10,8	77,8	0,818	16	64
37	-77	52	-167	7	Williams Field	..	..	8	14	54,0	82,3	0,853	17	63

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
Antarctique (États-Unis)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e 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	7	10	55,9	275	102	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	58	29,8	109	293
2	7	10	41,8	275	101	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	58	57,9	109	295
3	7	10	15,5	276	102	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	57	36,4	108	292
4	7	4	19,6	282	104	7	54	48,1	86	266	7	56	32,9	298	118	8	46	58,4	103	280
5	7	4	11,0	282	104	7	54	39,2	87	267	7	56	24,7	297	116	8	46	50,3	103	280
6	7	4	30,3	282	104	7	54	56,9	86	266	7	56	41,7	298	118	8	47	5,0	103	280
7	7	16	6,5	276	105	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	59	59,7	106	291
8	6	55	19,2	286	102	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	34	26,8	100	270
9	7	1	6,8	280	101	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	47	19,4	105	283
10	7	15	5,9	277	105	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	58	57,4	106	290
11	7	41	55,2	257	102	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	24	11,2	121	324
12	7	30	36,4	269	107	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	13	23,5	111	305
13	7	2	43,9	281	102	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	47	29,5	104	282
14	7	2	47,9	281	102	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	47	25,6	104	282
15	7	9	32,9	277	102	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	56	3,6	107	290
16	7	1	59,5	280	101	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	47	28,1	105	283
17	6	39	19,7	288	95	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	17	53,4	101	261
18	6	49	5,2	286	99	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	30	11,9	101	269
19	6	39	27,4	288	95	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	17	19,6	100	261
20	7	15	36,3	277	106	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	59	10,9	106	290
21	7	14	31,7	274	103	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	1	42,4	109	296
22	7	12	26,3	279	106	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	55	15,1	104	286
23	7	16	39,1	277	106	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	59	52,2	106	291
24	7	22	28,9	271	104	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	8	25,8	111	302
25	7	21	33,8	271	104	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	7	23,5	110	300
26	6	54	3,9	284	100	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	36	34,6	102	273
27	7	29	50,8	268	105	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	13	48,7	112	306
28	6	34	51,8	288	93	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	12	12,7	101	259
29	6	53	17,9	284	99	7	44	19,2	141	315	7	45	48,1	245	59	8	37	15,6	103	275
30	6	48	21,4	272	85	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	44	12,2	118	296
31	6	52	3,3	285	100	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	33	3,1	101	270
32	7	9	49,3	278	104	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	54	20,4	105	287
33	7	6	24,5	279	103	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	51	45,0	105	286
34	7	6	6,1	279	103	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	51	24,0	105	285
35	7	1	32,3	282	102	7	53	2,3	50	229	7	54	10,8	335	154	8	45	43,8	103	280
36	7	27	12,9	269	105	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	11	53,7	112	305
37	7	21	30,2	271	104	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	7	17,3	110	300

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
Antarctique (Chine)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse				
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°
1	-69 22	- 76 25	Zhongshan .	· · ·	8 1 50,4	42,1	0,522	41	156

Antarctique (Finlande)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse				
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°
1	-73 2	+ 13 25	Aboa	· · ·	7 24 21,4	92,0	0,929	24	267

Antarctique (France)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse				
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°
1	-75 7	-123 21	Base Dome C . . .	· · ·	8 18 19,1	62,4	0,694	27	103
2	-69 22	-139 1	Charcot	· · ·	8 30 2,6	57,0	0,650	21	83
3	-66 40	-140 1	Dumont d'Urville	· · ·	8 34 29,2	52,2	0,610	20	80
4	-66 49	-141 22	Port Martin	· · ·	8 34 17,4	53,3	0,619	19	79

Antarctique (Inde)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse				
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°
1	-70 44	- 11 43	Dakshin Gangotri	· · ·	7 24 4,9	76,0	0,803	32	243
2	-70 4	- 12 0	Dakshin Gangotri	· · ·	7 22 59,2	75,1	0,795	33	244
3	-69 55	- 11 53	Indian Bay Camp	· · ·	7 22 41,1	75,0	0,795	33	244

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
Antarctique (Chine)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact									
	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>					
	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′
1	7	4	53,7	255	78	8	58	12,7	133	327					

Antarctique (Finlande)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact									
	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>					
	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′
1	6	29	43,1	281	83	8	20	38,6	111	274					

Antarctique (France)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact									
	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>					
	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′
1	7	22	46,8	263	97	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	12	28,1	120	316				
2	7	36	52,8	259	101	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	21	22,6	121	322				
3	7	42	23,1	256	101	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	24	37,2	123	326				
4	7	42	11,2	256	102	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	24	26,4	122	325				

Antarctique (Inde)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact									
	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>					
	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′
1	6	27	10,1	275	74	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	22	54,4	119	284				
2	6	26	3,9	274	73	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	21	53,5	120	284				
3	6	25	46,7	274	73	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	21	35,7	120	284				

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
Antarctique (Japon)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse				
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°
1	-71 31	- 24 7	Asuka Camp	.. ..	7 29 48,4	69,3	0,749	36	228
2	-77 19	- 39 43	Dome Fuji..	.. ..	7 43 49,3	71,5	0,767	34	205
3	-70 41	- 44 19	Mizuho.....	.. ..	7 39 14,3	56,3	0,644	40	203
4	-69 0	- 39 34	Syowa.....	.. ..	7 34 18,1	55,4	0,636	41	210

Antarctique (Nouvelle Zélande)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse				
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°
1	-77 13	-166 28	Cape Bird.....	.. ..	8 15 59,3	81,4	0,846	17	63
2	-77 31	-161 46	Lake Vanda....	.. ..	8 16 0,9	80,0	0,835	18	67
3	-77 50	-166 46	Scott Base.....	.. ..	8 14 59,6	82,1	0,852	17	63
4	-77 37	-166 25	Worldpark Base	.. ..	8 15 22,3	81,8	0,849	17	63

Antarctique (Norvège)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse				
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°
1	-77 30	+ 34 10	Blue Fields Camp ..	.. ..	7 33 4,9	99,3	0,990	20	283
2	-80 0	+ 82 0	Ellsworth Mountains	1 15,3	7 45 19,9	100,0	1,005	14	325
3	-73 45	+ 14 45	Maud Lang.....	.. ..	7 25 37,7	92,8	0,936	24	268
4	-71 0	+ 11 0	Maudheim.....	.. ..	7 20 44,0	90,1	0,914	25	267
5	-80 0	+ 80 0	Norway 1.....	1 19,0	7 44 50,9	100,0	1,005	14	323
6	-72 14	+ 0 10	Norway 5.....	.. ..	7 24 7,6	84,6	0,870	28	255
7	-75 30	+ 10 0	Norway 6.....	.. ..	7 29 2,3	91,0	0,922	25	262
8	-70 30	+ 2 30	Norway Station....	.. ..	7 20 36,0	84,8	0,872	28	259
9	-71 52	- 5 9	Svarthammaren ....	.. ..	7 24 26,8	81,2	0,844	30	249
10	-75 0	-164 0	Terra Nova Bay ....	.. ..	8 19 43,8	78,1	0,820	16	64
11	-71 55	- 51 0	Tor.....	.. ..	7 44 32,0	56,0	0,641	40	193
12	-72 1	- 2 31	Troll.....	.. ..	7 24 11,6	82,9	0,857	29	252

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
Antarctique (Japon)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact				
	UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>	
	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′
1	6	32	1,1	271	73	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	29	14,0	122	292
2	6	45	52,3	271	82	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	42	28,9	119	297
3	6	40	49,5	265	72	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	38	41,9	128	306
4	6	36	2,5	265	68	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	33	57,0	129	304

Antarctique (Nouvelle Zélande)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact				
	UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>	
	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′
1	7	22	40,3	271	104	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	8	14,6	110	301
2	7	22	22,8	270	104	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	8	34,0	111	302
3	7	21	35,0	271	104	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	7	23,3	110	300
4	7	21	58,9	271	104	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	7	43,8	110	301

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
Antarctique (Norvège)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact				
	UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>	
	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′
1	6	39	42,1	283	91	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	27	33,0	107	273
2	6	53	41,1	284	100	7	44	42,3	151	325	7	45	57,6	235	49	8	37	23,9	103	275
3	6	31	3,5	281	84	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	21	46,2	111	274
4	6	26	1,2	280	80	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	17	18,1	113	273
5	6	53	9,0	284	99	7	44	11,5	149	322	7	45	30,4	238	51	8	36	59,5	103	275
6	6	28	14,9	278	79	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	21	47,8	115	278
7	6	33	55,7	280	84	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	25	35,0	111	277
8	6	25	1,9	278	77	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	18	7,8	115	276
9	6	28	5,1	277	77	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	22	37,9	117	281
10	7	26	41,9	269	105	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	11	31,8	111	304
11	6	46	4,9	264	74	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	43	39,4	127	309
12	6	28	4,1	277	78	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8	22	7,8	116	280

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
Antarctique (Pakistan)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse				
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°
1	-70 24	- 25 44	Muhamad Ali Jinnah	· · ·	7 28 45,5	66,6	0,727	37	227

Antarctique (Royaume-Uni)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse				
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°
1	-66 52	+ 66 48	Detaille Island	· · ·	7 26 33,8	94,1	0,947	6	317
2	-71 19	+ 68 16	Fossil Bluff ...	· · ·	7 32 5,5	95,4	0,957	9	317
3	-75 34	+ 26 43	Halley	· · ·	7 29 8,6	97,7	0,975	21	278
4	-64 49	+ 63 31	Port Lockroy .	· · ·	7 22 46,6	94,5	0,950	5	315
5	-66 0	+ 65 0	Prospect Point	· · ·	7 24 47,3	94,3	0,948	6	316
6	-67 34	+ 68 7	Rothera	· · ·	7 27 54,8	94,0	0,946	6	318
7	-78 0	+ 37 0	Shackleton....	· · ·	7 34 12,4	99,7	0,994	20	285
8	-67 52	+ 67 0	Snowdome....	· · ·	7 27 44,9	94,3	0,948	7	317
9	-82 4	+ 30 0	South Ice	· · ·	7 40 47,7	96,2	0,963	22	276
10	-68 10	+ 67 0	Stonington ...	· · ·	7 28 4,8	94,4	0,949	7	317
11	-63 31	+ 57 24	View Point ...	· · ·	7 18 26,4	96,0	0,962	6	311

Antarctique (Russie)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse				
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°
1	-69 38	- 73 58	Drozhanaya IV	· · ·	7 59 55,5	43,2	0,532	42	160
2	-71 6	+ 10 49	Druzhnaya I	· · ·	7 20 55,5	90,0	0,914	25	266
3	-74 30	+ 62 0	Druzhnaya II	· · ·	7 33 49,3	98,2	0,980	13	310
4	-71 6	+ 10 48	Druzhnaya III	· · ·	7 20 55,6	90,0	0,913	25	266
5	-74 0	- 79 49	Komsomolskaya	· · ·	8 2 23,1	54,1	0,625	37	153
6	-70 1	- 12 56	Lazarev	· · ·	7 23 11,2	74,4	0,790	33	243
7	-69 30	-159 22	Leningradskaya	· · ·	8 28 45,8	68,6	0,745	14	65
8	-66 32	- 93 1	Mirnyy	· · ·	8 16 16,4	34,0	0,449	39	131
9	-67 40	- 45 50	Molodezhnaha	· · ·	7 37 3,1	48,9	0,581	43	202
10	-70 46	- 11 49	Novolazarevskaya	· · ·	7 24 10,2	76,0	0,803	32	243
11	-69 49	- 95 46	Pionerskaya	· · ·	8 14 50,8	43,1	0,531	36	130
12	-82 0	- 54 0	Polyus Nedostopnosti	· · ·	7 51 53,7	76,7	0,809	30	186
13	-69 0	- 76 0	Progress Station	· · ·	8 1 36,9	41,1	0,514	42	156
14	-78 30	- 88 19	Sovetskaya	· · ·	8 3 28,3	65,4	0,718	32	145
15	-70 34	- 68 46	Soyuz	· · ·	7 56 1,7	46,7	0,563	41	167
16	-78 27	-106 50	Vostok	· · ·	8 9 21,7	66,5	0,727	29	124
17	-72 0	- 96 19	Vostok I	· · ·	8 12 53,0	49,0	0,582	35	131

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
Antarctique (Pakistan)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact				
	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>
	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′
1	6	30	52,8	270	71	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	28	21,4	124	293

Antarctique (Royaume-Uni)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact				
	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>
	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′
1	6	38	7,3	288	95	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	16	1,1	101	260
2	6	42	33,0	287	96	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	22	31,0	101	264
3	6	35	27,7	283	88	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	24	8,3	108	272
4	6	34	36,4	288	93	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	12	4,5	101	259
5	6	36	26,3	288	94	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	14	12,6	101	260
6	6	39	22,7	288	95	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	17	25,2	100	261
7	6	40	56,5	283	92	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	28	29,8	106	273
8	6	39	3,7	288	95	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	17	25,5	101	261
9	6	46	32,7	281	93	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	35	47,2	108	279
10	6	39	18,8	288	95	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	17	49,7	101	261
11	6	30	4,0	287	90	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	8	6,9	102	257

Antarctique (Russie)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact				
	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>	UT			<i>P</i>	<i>Z</i>
	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′
1	7	2	43,9	256	77	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	56	40,7	132	326
2	6	26	11,1	280	80	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	17	30,9	113	273
3	6	43	1,0	286	96	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	25	30,9	102	267
4	6	26	11,0	280	80	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	17	31,0	113	273
5	7	4	38,7	261	84	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	59	33,6	126	318
6	6	26	11,3	274	73	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	22	9,9	120	284
7	7	36	45,6	264	106	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	19	9,9	115	313
8	7	22	1,1	249	83	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	9	6,8	136	339
9	6	39	1,1	262	66	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	36	16,6	132	311
10	6	27	14,8	275	74	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	22	59,9	119	284
11	7	19	0,9	254	86	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	9	19,9	130	330
12	6	54	39,8	272	89	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	49	18,1	116	297
13	7	4	46,7	255	77	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	57	53,6	133	328
14	7	6	4,1	266	90	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	0	17,6	120	310
15	6	58	17,1	258	77	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	53	36,4	131	321
16	7	12	42,0	266	94	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	5	6,6	119	310
17	7	16	22,1	257	88	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	8	10,7	127	325

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
Antarctique (Suède)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse				
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°
1	-74 4	+ 6 16	Kirvanveggen	.. ..	7 26 42,8	88,8	0,904	26	259
2	-74 34	+ 11 13	Svea .....	.. ..	7 27 15,5	91,4	0,924	25	264

Antarctique (Ukraine)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse				
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°
1	-65 14	+ 64 16	Academician Vernadskiy	.. ..	7 23 35,7	94,4	0,949	5	315

Antarctique (Italie)

n°	Position		Nom du lieu	Durée de la phase centrale	Maximum de l'éclipse				
	Latitude	Longitude			UT	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>
	° /	° /		m s	h m s	%		°	°
1	-74 40	-164 7	Terra Nova Bay	.. ..	8 20 13,6	77,8	0,817	16	63

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS
Antarctique (Suède)

n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact				
	UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>	
	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′
1	6	31	20,1	279	82	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	23	40,9	113	277
2	6	32	18,2	280	84	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	23	43,9	111	276

Antarctique (Ukraine)

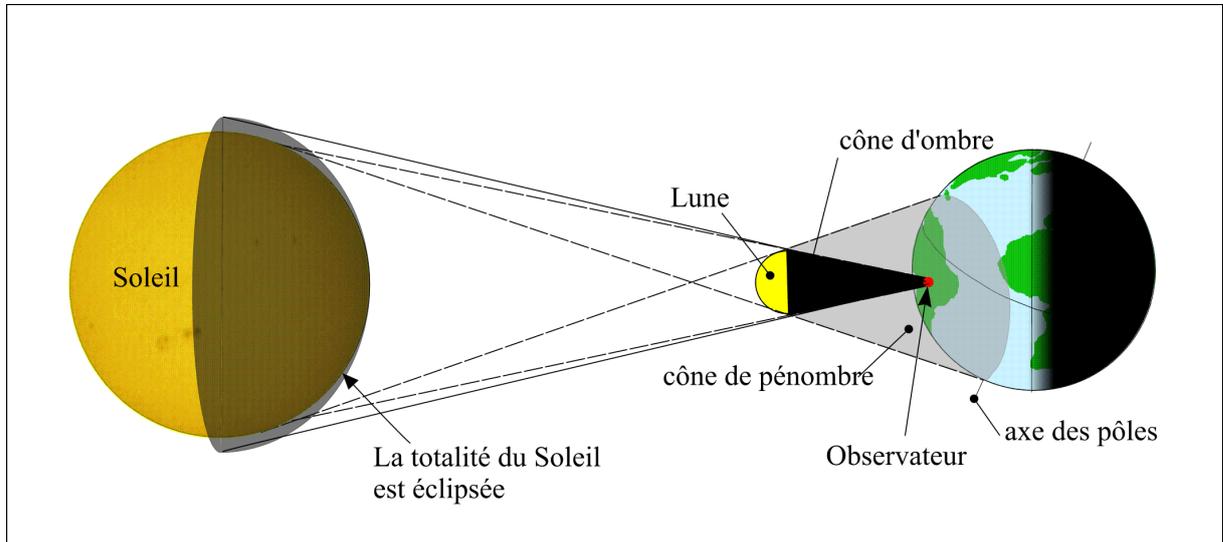
n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact				
	UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>	
	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′
1	6	35	22,8	288	93	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	12	54,7	101	259

Antarctique (Italie)

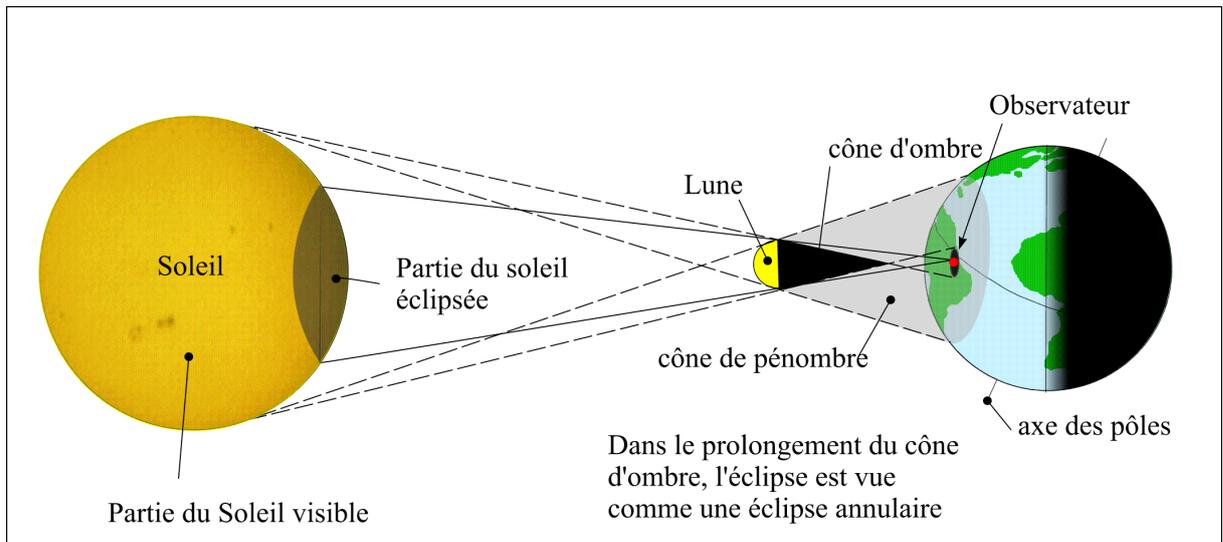
n°	1 ^{er} contact					2 ^e contact					3 ^e contact					4 ^e contact				
	UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>		UT		<i>P</i>	<i>Z</i>	
	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′	h	m	s	°	′
1	7	27	16,3	269	105	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	11	55,9	112	305

DESSINS ET CARTES

Les éclipses de Soleil



a : cas d'une éclipse totale.



b : cas d'une éclipse annulaire

Fig. 1. Les éclipses centrales de Soleil (les distances ne sont pas respectées).

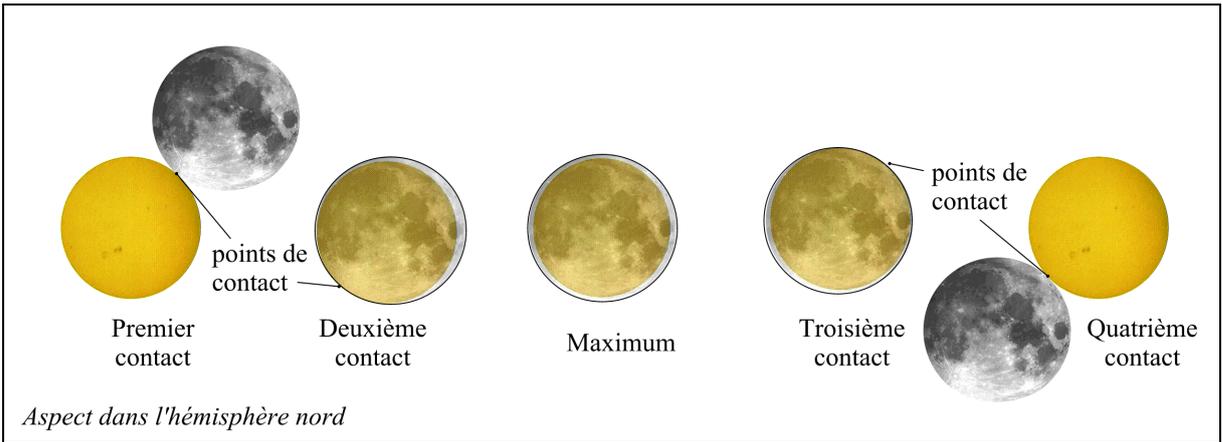


Fig.2. Phases locales d'une éclipse totale.

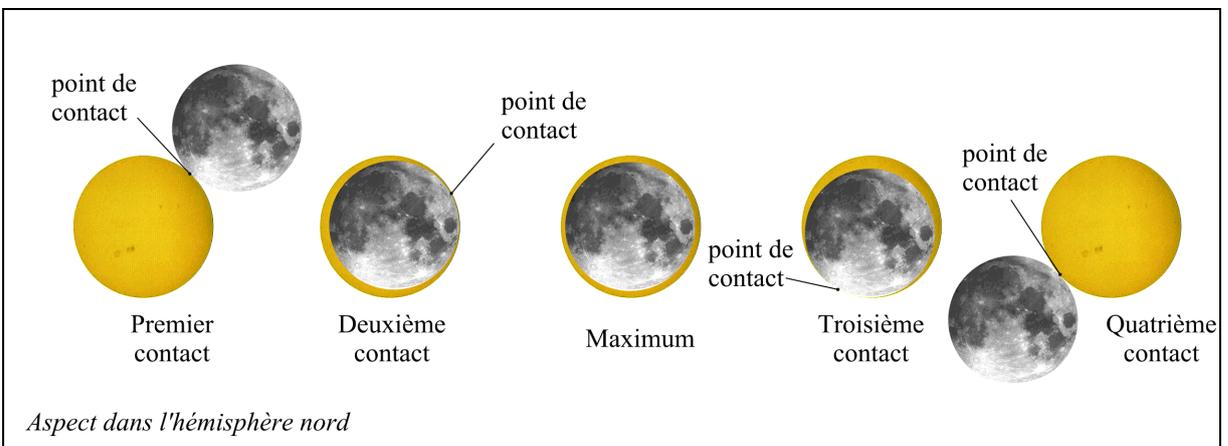


Fig.3. Phases locales d'une éclipse annulaire.

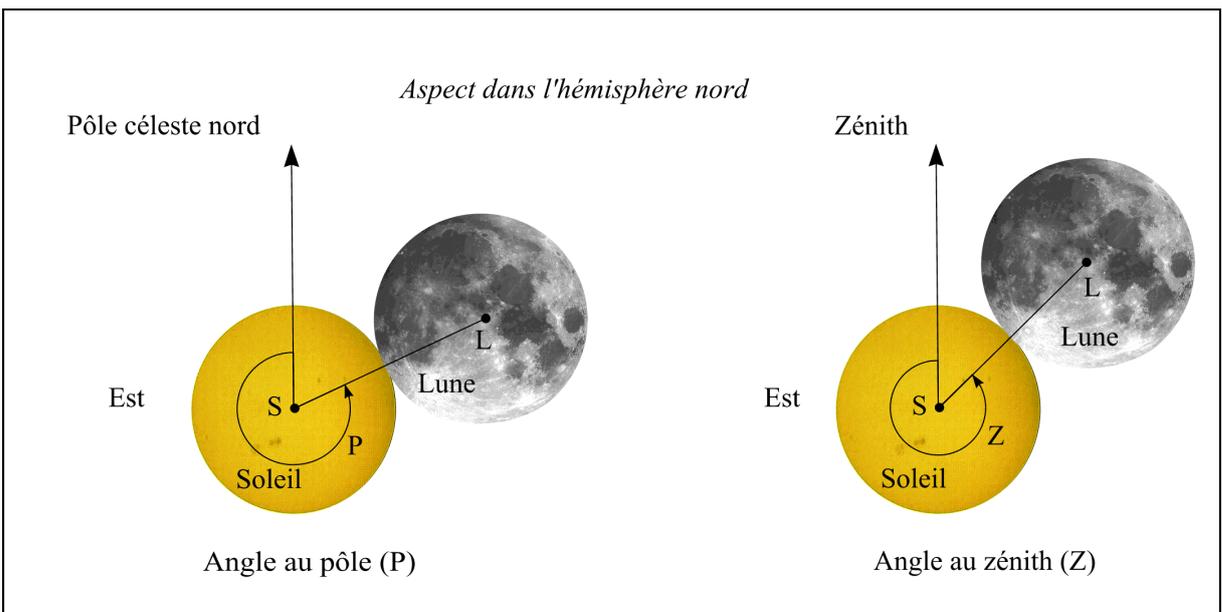


Fig.4 et Fig.5. Angle au pôle et angle au zénith.

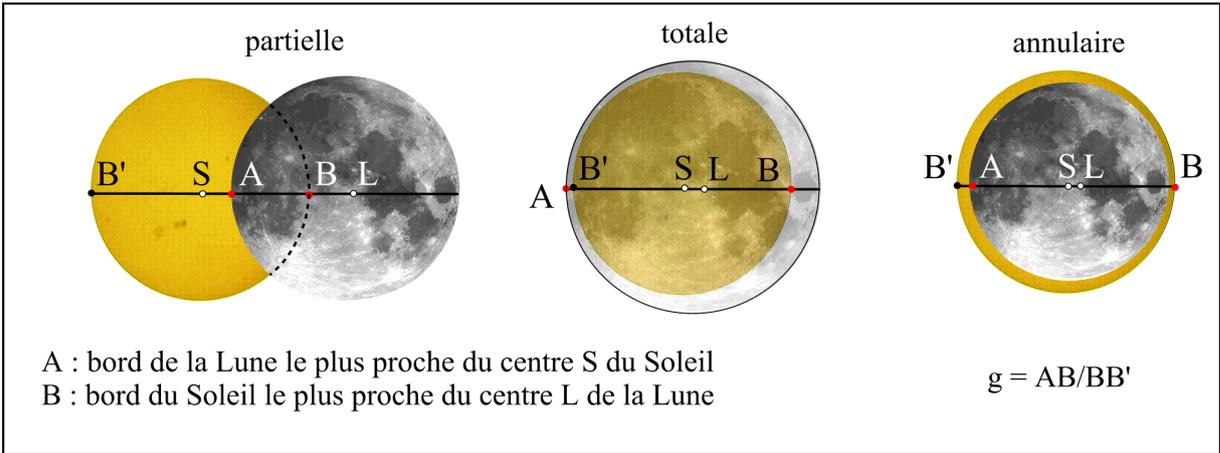


Fig. 6. Grandeur ou magnitude d'une éclipse de Soleil.

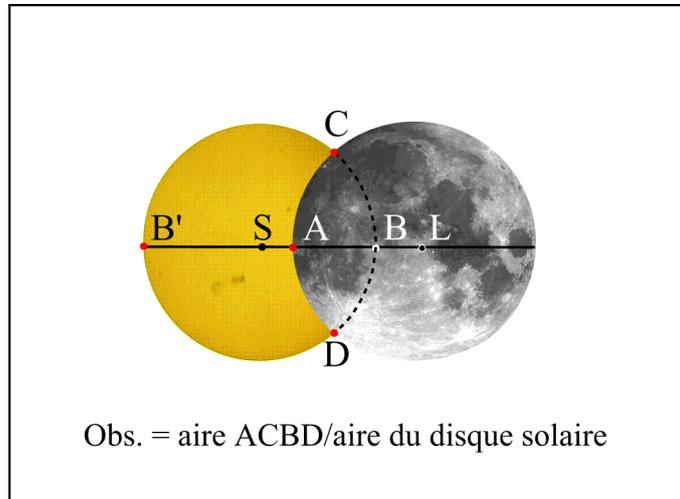
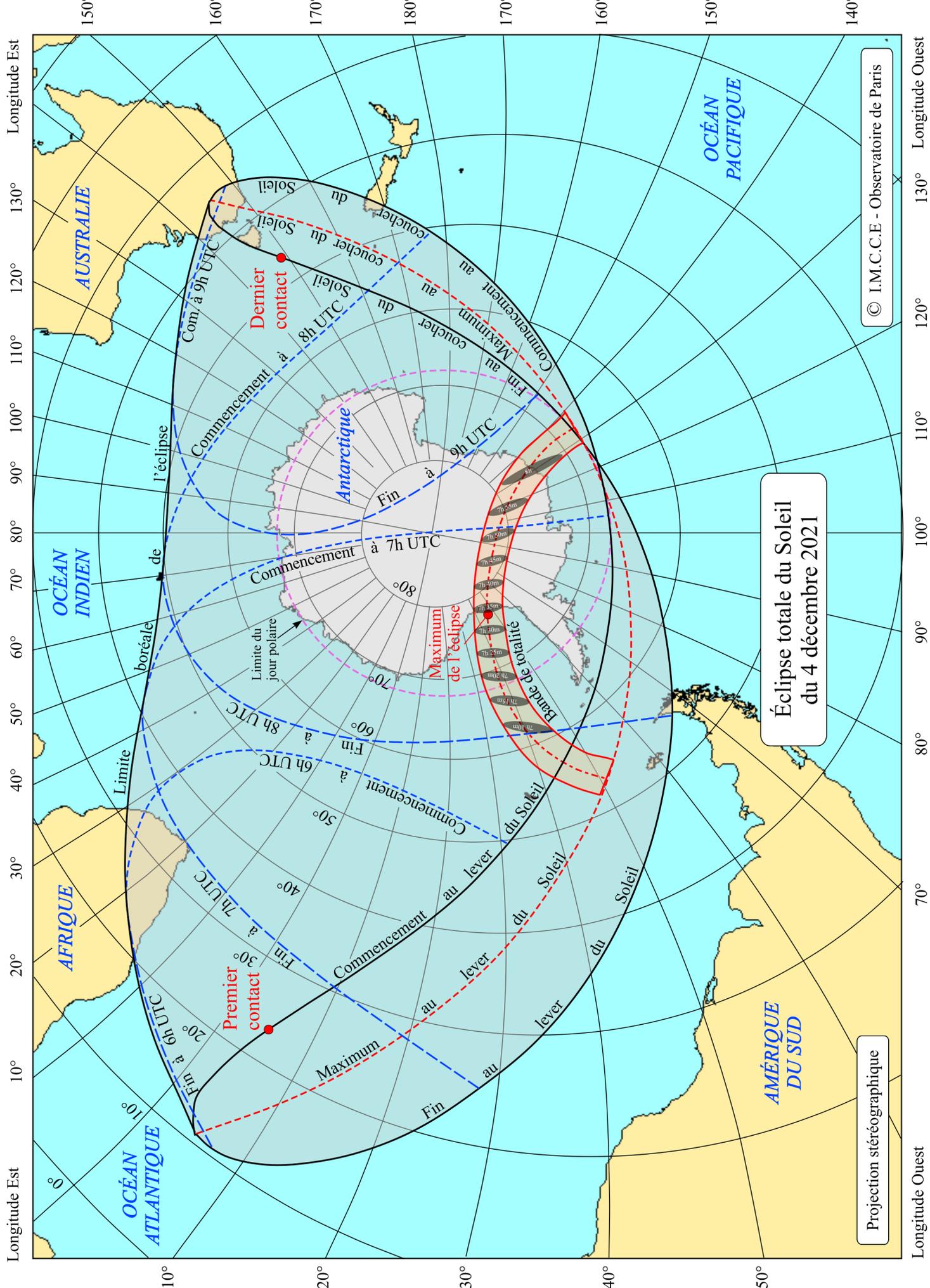


Fig.7. Degré d'obscurité d'une éclipse de Soleil.



**Éclipse totale du Soleil
du 4 décembre 2021**

Projection stéréographique

© I.M.C.C.E. - Observatoire de Paris

Éclipse totale du Soleil le 4 décembre 2021



Éclipse totale du Soleil du 4 décembre 2021

Limbe lunaire topocentrique issu de l'altimétrie Kaguya au maximum de l'éclipse

Résultats tenant compte du profil lunaire

Maximum : 7h 33m 29,94s, longitude : 46° 18,5' ouest, latitude : 76° 47,4' sud

Caractéristiques du profil utilisé :

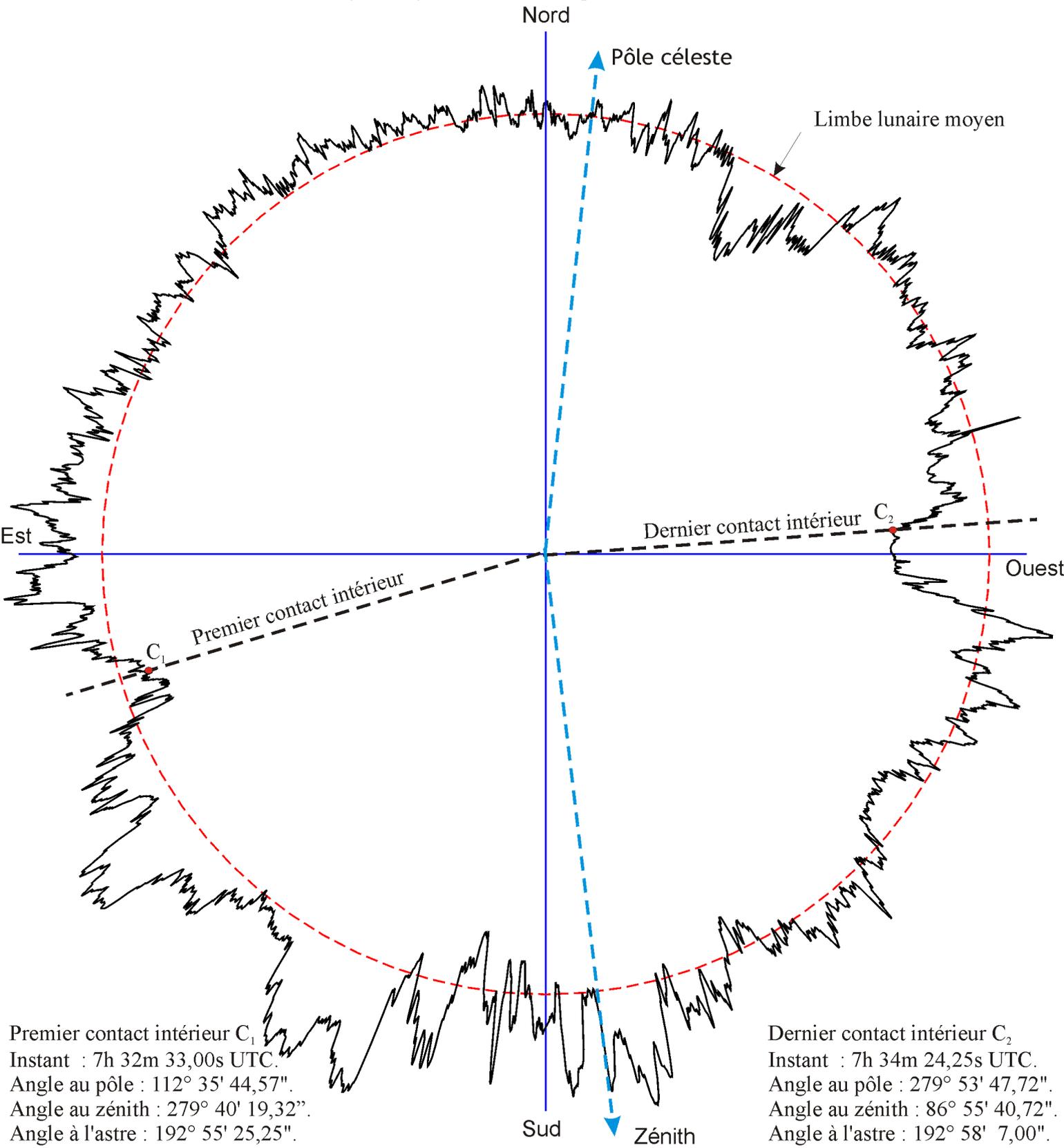
Libration topocentrique de la Lune en longitude : - 0° 7'10.388"

Libration topocentrique de la Lune en latitude : + 0°19' 2.689"

Angle du terminateur : + 89°43'10.182"

Nombre de points du profil utilisé : 5737

Rayon moyen de la Lune du profil : 1737,400km



Premier contact intérieur C_1
Instant : 7h 32m 33,00s UTC.
Angle au pôle : 112° 35' 44,57".
Angle au zénith : 279° 40' 19,32".
Angle à l'astre : 192° 55' 25,25".
Hauteur Lune : 17° 6' 26,87".
Azimut Lune : 295° 4' 58,15".
Rayon lunaire : 16' 49,80".
Rayon solaire : 16' 13,61".

Durée de la phase totale : 1m 51,253s.

Dernier contact intérieur C_2
Instant : 7h 34m 24,25s UTC.
Angle au pôle : 279° 53' 47,72".
Angle au zénith : 86° 55' 40,72".
Angle à l'astre : 192° 58' 7,00".
Hauteur Lune : 17° 12' 15,30".
Azimut Lune : 294° 39' 56,45".
Rayon lunaire : 16' 49,83".
Rayon solaire : 16' 13,61".