

ISSN 1243-4272  
ISBN 2-910015-28-9

*NOTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES  
DU BUREAU DES LONGITUDES*

S068

**CALCUL DES CIRCONSTANCES LOCALES DE  
L'ÉCLIPSE DE SOLEIL DU 21 JUIN 2001**

**P. Rocher**



---

*Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides  
EP 1825  
77, avenue Denfert-Rochereau  
F-75014 Paris*

Novembre 1999

## TABLE DES MATIÈRES

<b>Avertissement</b>	
Information . . . . .	3
Précision dans le calcul des prédictions d'éclipses . . . . .	3
Recommandation . . . . .	4
<b>Généralités et définitions</b>	
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
<b>Données relatives à l'éclipse</b>	
Éphémérides de la Lune et du Soleil le 21 juin 2001 . . . . .	11
Éphémérides de la Lune et du Soleil le 22 juin 2001 . . . . .	12
Paramètres physiques utilisés dans les calculs . . . . .	13
Éléments de l'éclipse totale du 21 juin 2001 . . . . .	13
Circonstances de l'éclipse générale . . . . .	13
Éléments de Bessel sous forme polynomiale . . . . .	14
Éléments de Bessel (notation française) . . . . .	15
Éléments de Bessel (notation américaine) . . . . .	16
<b>Exemple de calcul</b>	
<b>Ligne de centralité</b>	
Ligne de centralité . . . . .	21
Circonstances locales sur la ligne de centralité . . . . .	22
<b>Circonstances locales</b>	
Circonstances locales pour des lieux géographiques donnés . . . . .	24
<b>Afrique</b>	
Afrique du Sud . . . . .	26
Angola . . . . .	26
Botswana . . . . .	28
Congo . . . . .	28
Gabon . . . . .	30
Namibie . . . . .	30
Lesotho . . . . .	32
Malawi . . . . .	32
Madagascar . . . . .	34
Mozambique . . . . .	36
Swaziland . . . . .	36
Tanzanie . . . . .	38
République démocratique du Congo . . . . .	38
Zambie . . . . .	40
Zimbabwe . . . . .	40
<b>Hors-Textes</b>	
Figures . . . . .	42
Carte générale . . . . .	44
Cartes locales . . . . .	45
Le ciel à l'instant du maximum . . . . .	48



## AVERTISSEMENT

**Information**

La présente note contient les prédictions pour l'éclipse totale du 21 juin 2001.

**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 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 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 ELP2000-82B élaborée par M. Chapront-Touzé et J. Chapront, et pour le Soleil la théorie analytique VSOP87 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 ( $k = 0,2724880$ ) 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.

## 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  $-90^\circ$  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 =  $0^\circ$ , ouest =  $90^\circ$ , nord =  $180^\circ$ , est =  $270^\circ$ ).

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  $\Delta T_e$  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  $\Delta T_e$ . Les prévisions étant parfois faites de nombreuses années à l'avance, il arrive que la valeur réelle de cet écart  $\Delta T_r$  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  $\delta \lambda = -1,002738 \times \delta t$  ( $\lambda$  et  $\delta t$  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  $\lambda$  (positive à l'ouest et négative à l'est du méridien de Greenwich), sa latitude  $\varphi$  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 :

$$u_e = z \cdot \tan f_e + k \cdot \sec f_e,$$

$$u_i = z \cdot \tan f_i + k \cdot \sec f_i,$$



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

Les coordonnées  $\xi, \eta, \zeta$  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 exprimée en mètres et  $f$  l'aplatissement de l'ellipsoïde terrestre ( $f = 1/298,257 = 0,003\,352\,81$ ).

Les variations horaires  $\dot{\xi}, \dot{\eta}, \dot{\zeta}$  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  $\tau_m$  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 :

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

avec  $l = l_e$  ou  $l = l_i$  et  $\theta$  étant du signe de  $\beta$ .

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 :

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

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 :

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

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  $\Gamma$  l'angle parallactique défini d'une façon approchée par :

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

$\sin \Gamma$  étant du signe de  $\xi$ .



## ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 21 JUIN 2001

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	5 58 40,6221	+23 26 17,3014	5 29 48,3076	+22 1 58,9596	- 0 28 52,3145
1	5 58 51,0282	+23 26 17,6139	5 32 21,9209	+22 6 59,6356	- 0 26 29,1074
2	5 59 1,4343	+23 26 17,8832	5 34 55,8466	+22 11 51,5748	- 0 24 5,5877
3	5 59 11,8404	+23 26 18,1096	5 37 30,0790	+22 16 34,7036	- 0 21 41,7614
4	5 59 22,2465	+23 26 18,2928	5 40 4,6119	+22 21 8,9498	- 0 19 17,6345
5	5 59 32,6525	+23 26 18,4331	5 42 39,4392	+22 25 34,2425	- 0 16 53,2133
6	5 59 43,0584	+23 26 18,5302	5 45 14,5544	+22 29 50,5124	- 0 14 28,5040
7	5 59 53,4643	+23 26 18,5843	5 47 49,9510	+22 33 57,6919	- 0 12 3,5133
8	6 0 3,8702	+23 26 18,5954	5 50 25,6223	+22 37 55,7148	- 0 9 38,2479
9	6 0 14,2760	+23 26 18,5634	5 53 1,5614	+22 41 44,5165	- 0 7 12,7146
10	6 0 24,6818	+23 26 18,4884	5 55 37,7614	+22 45 24,0343	- 0 4 46,9204
11	6 0 35,0875	+23 26 18,3703	5 58 14,2150	+22 48 54,2070	- 0 2 20,8724
12	6 0 45,4931	+23 26 18,2091	6 0 50,9151	+22 52 14,9754	+ 0 0 5,4220
13	6 0 55,8987	+23 26 18,0049	6 3 27,8541	+22 55 26,2819	+ 0 2 31,9554
14	6 1 6,3042	+23 26 17,7577	6 6 5,0244	+22 58 28,0709	+ 0 4 58,7202
15	6 1 16,7097	+23 26 17,4674	6 8 42,4185	+23 1 20,2886	+ 0 7 25,7088
16	6 1 27,1151	+23 26 17,1341	6 11 20,0283	+23 4 2,8833	+ 0 9 52,9133
17	6 1 37,5204	+23 26 16,7577	6 13 57,8461	+23 6 35,8050	+ 0 12 20,3257
18	6 1 47,9257	+23 26 16,3382	6 16 35,8638	+23 8 59,0060	+ 0 14 47,9381
19	6 1 58,3308	+23 26 15,8757	6 19 14,0730	+23 11 12,4404	+ 0 17 15,7422
20	6 2 8,7359	+23 26 15,3702	6 21 52,4657	+23 13 16,0646	+ 0 19 43,7297
21	6 2 19,1410	+23 26 14,8216	6 24 31,0333	+23 15 9,8369	+ 0 22 11,8923
22	6 2 29,5459	+23 26 14,2300	6 27 9,7673	+23 16 53,7180	+ 0 24 40,2214
23	6 2 39,9508	+23 26 13,5953	6 29 48,6593	+23 18 27,6706	+ 0 27 8,7085

## ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 22 JUIN 2001

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 2 50,3556	+23 26	12,9176	6 32 27,7005	+23 19	51,6596	+ 0 29 37,3450
1	6 3 0,7602	+23 26	12,1969	6 35 6,8822	+23 21	5,6523	+ 0 32 6,1219
2	6 3 11,1648	+23 26	11,4331	6 37 46,1955	+23 22	9,6180	+ 0 34 35,0307
3	6 3 21,5694	+23 26	10,6262	6 40 25,6316	+23 23	3,5286	+ 0 37 4,0622
4	6 3 31,9738	+23 26	9,7763	6 43 5,1814	+23 23	47,3580	+ 0 39 33,2077
5	6 3 42,3781	+23 26	8,8834	6 45 44,8361	+23 24	21,0826	+ 0 42 2,4580
6	6 3 52,7823	+23 26	7,9475	6 48 24,5864	+23 24	44,6811	+ 0 44 31,8041
7	6 4 3,1864	+23 26	6,9685	6 51 4,4234	+23 24	58,1347	+ 0 47 1,2370
8	6 4 13,5904	+23 26	5,9464	6 53 44,3378	+23 25	1,4267	+ 0 49 30,7474
9	6 4 23,9944	+23 26	4,8813	6 56 24,3205	+23 24	54,5431	+ 0 52 0,3262
10	6 4 34,3982	+23 26	3,7732	6 59 4,3623	+23 24	37,4721	+ 0 54 29,9641
11	6 4 44,8018	+23 26	2,6221	7 1 44,4539	+23 24	10,2044	+ 0 56 59,6520
12	6 4 55,2054	+23 26	1,4279	7 4 24,5861	+23 23	32,7331	+ 0 59 29,3807
13	6 5 5,6089	+23 26	0,1907	7 7 4,7497	+23 22	45,0537	+ 1 1 59,1408
14	6 5 16,0122	+23 25	58,9104	7 9 44,9354	+23 21	47,1642	+ 1 4 28,9231
15	6 5 26,4155	+23 25	57,5871	7 12 25,1340	+23 20	39,0650	+ 1 6 58,7185
16	6 5 36,8186	+23 25	56,2208	7 15 5,3362	+23 19	20,7590	+ 1 9 28,5177
17	6 5 47,2215	+23 25	54,8115	7 17 45,5330	+23 17	52,2515	+ 1 11 58,3114
18	6 5 57,6244	+23 25	53,3591	7 20 25,7150	+23 16	13,5501	+ 1 14 28,0906
19	6 6 8,0271	+23 25	51,8637	7 23 5,8732	+23 14	24,6650	+ 1 16 57,8461
20	6 6 18,4297	+23 25	50,3253	7 25 45,9984	+23 12	25,6088	+ 1 19 27,5687
21	6 6 28,8322	+23 25	48,7438	7 28 26,0817	+23 10	16,3965	+ 1 21 57,2495
22	6 6 39,2345	+23 25	47,1193	7 31 6,1140	+23 7	57,0454	+ 1 24 26,8795
23	6 6 49,6367	+23 25	45,4518	7 33 46,0864	+23 5	27,5753	+ 1 26 56,4497
24	6 7 0,0387	+23 25	43,7413	7 36 25,9900	+23 2	48,0083	+ 1 29 25,9512

## 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 :  $k = 0,272\,5076$ .
- le rayon équatorial terrestre :  $r_0 = 6\,378\,140\text{ m}$
- 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) :  $\Delta T_e = 66,50\text{ s}$

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.

Les éphémérides utilisées pour le calcul des positions du Soleil et de la Terre sont les éphémérides SLP98 (G. Francou, 1998) élaborées au Bureau des longitudes. Pour le calcul des positions apparentes nous avons utilisé les théories suivantes : la théorie de la précession de Lieske, la théorie de la nutation de Wahr (1981) et la formule du calcul du temps sidéral d'Aoki (1992).

## ÉLÉMENTS DE L'ÉCLIPSE TOTALE DU 21 JUIN 2001

Instant de la conjonction géocentrique en ascension droite  
le 21 juin 2001 à 11h 57m 46,683s UT.

Ascension droite du Soleil .....	: 6h 0m 45,108s.
Déclinaison du Soleil .....	: $+23^\circ 26' 18,22''$ .
Ascension droite de la Lune .....	: 6h 0m 45,108s.
Déclinaison de la Lune .....	: $+22^\circ 52' 7,71''$ .
Parallaxe équatoriale du Soleil .....	: $8,65''$ .
Parallaxe équatoriale de la Lune .....	: $59' 47,80''$ .
Demi-diamètre vrai du Soleil .....	: $15' 44,27''$ .
Demi-diamètre vrai de la Lune .....	: $16' 17,60''$ .

## CIRCONSTANCES DE L'ÉCLIPSE GÉNÉRALE

magnitude : 1,0252

	UT	Longitude	Latitude
Commencement de l'éclipse générale .....	: le 21 à 9h 33,0m	+ $41^\circ 5,6'$	- $25^\circ 4,8'$
Commencement de l'éclipse totale .....	: le 21 à 10h 35,9m	+ $49^\circ 56,9'$	- $36^\circ 18,5'$
Commencement de l'éclipse centrale .....	: le 21 à 10h 37,0m	+ $50^\circ 1,3'$	- $36^\circ 37,5'$
Éclipse centrale à midi ou minuit vrai .....	: le 21 à 11h 57,8m	- $0^\circ 59,8'$	- $11^\circ 35,7'$
Maximum de l'éclipse .....	: le 21 à 12h 3,6m	- $2^\circ 45,7'$	- $11^\circ 15,6'$
Fin de l'éclipse centrale .....	: le 21 à 13h 30,3m	- $55^\circ 14,4'$	- $26^\circ 45,3'$
Fin de l'éclipse totale .....	: le 21 à 13h 31,5m	- $55^\circ 7,3'$	- $26^\circ 25,1'$
Fin de l'éclipse générale .....	: le 21 à 14h 34,3m	- $45^\circ 12,8'$	- $14^\circ 57,5'$

**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  $t = (T - 9h) + \delta T/3600$ ,  $T$  est exprimé en heures et fraction d'heure. Ces équations ne sont valides que sur l'intervalle  $9h < T < 15h$ , ne pas les utiliser pour des valeurs extérieures à cet intervalle.  $\delta T$  représente la différence entre  $\Delta T_r$  et  $\Delta T_e$ ,  $\Delta T_e$  représente la différence estimée de TT-UT et  $\Delta T_r$  la différence réelle de TT-UT.

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

$$\begin{aligned}
 x &= -1,674\,726\,67 + 0,564\,975\,88 \times t + 0,000\,108\,45 \times t^2 - 0,000\,008\,86 \times t^3 \\
 y &= -0,737\,423\,01 + 0,055\,898\,11 \times t - 0,000\,125\,14 \times t^2 - 0,000\,000\,98 \times t^3 \\
 \sin d &= 0,397\,792\,71 - 0,000\,002\,39 \times t - 0,000\,000\,09 \times t^2 \\
 \cos d &= 0,917\,475\,31 + 0,000\,001\,04 \times t + 0,000\,000\,04 \times t^2 \\
 H &= -45,438\,202\,81 + 14,999\,193\,18 \times t + 0,000\,000\,41 \times t^2 - 0,000\,000\,02 \times t^3 - 0,004\,178\,07 \delta T \\
 u_e &= 0,537\,165\,65 - 0,000\,022\,21 \times t - 0,000\,012\,09 \times t^2 \\
 u_i &= 0,009\,173\,87 + 0,000\,022\,09 \times t + 0,000\,012\,03 \times t^2
 \end{aligned}$$

## 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					°		
9 0	-1,674 727	-0,737 423	0,397 793	0,917 475	314,561 80	0,537 166	0,009 174
9 10	-1,580 561	-0,728 110	0,397 792	0,917 475	317,061 66	0,537 162	0,009 178
9 20	-1,486 390	-0,718 804	0,397 792	0,917 476	319,561 53	0,537 157	0,009 183
9 30	-1,392 213	-0,709 505	0,397 791	0,917 476	322,061 39	0,537 152	0,009 188
9 40	-1,298 030	-0,700 214	0,397 791	0,917 476	324,561 26	0,537 145	0,009 194
9 50	-1,203 843	-0,690 929	0,397 791	0,917 476	327,061 13	0,537 139	0,009 201
10 0	-1,109 651	-0,681 651	0,397 790	0,917 476	329,560 99	0,537 131	0,009 208
10 10	-1,015 455	-0,672 380	0,397 790	0,917 477	332,060 86	0,537 123	0,009 216
10 20	-0,921 254	-0,663 117	0,397 789	0,917 477	334,560 72	0,537 115	0,009 225
10 30	-0,827 049	-0,653 861	0,397 789	0,917 477	337,060 59	0,537 105	0,009 234
10 40	-0,732 840	-0,644 612	0,397 788	0,917 477	339,560 45	0,537 095	0,009 244
10 50	-0,638 628	-0,635 370	0,397 788	0,917 477	342,060 32	0,537 084	0,009 255
11 0	-0,544 412	-0,626 135	0,397 788	0,917 478	344,560 19	0,537 073	0,009 266
11 10	-0,450 193	-0,616 908	0,397 787	0,917 478	347,060 05	0,537 061	0,009 278
11 20	-0,355 972	-0,607 688	0,397 787	0,917 478	349,559 92	0,537 048	0,009 291
11 30	-0,261 748	-0,598 475	0,397 786	0,917 478	352,059 78	0,537 035	0,009 304
11 40	-0,167 521	-0,589 270	0,397 786	0,917 478	354,559 65	0,537 020	0,009 318
11 50	-0,073 293	-0,580 072	0,397 785	0,917 479	357,059 51	0,537 006	0,009 333
12 0	0,020 938	-0,570 881	0,397 785	0,917 479	359,559 38	0,536 990	0,009 348
12 10	0,115 170	-0,561 698	0,397 784	0,917 479	2,059 25	0,536 974	0,009 365
12 20	0,209 403	-0,552 523	0,397 784	0,917 479	4,559 11	0,536 957	0,009 381
12 30	0,303 637	-0,543 355	0,397 783	0,917 479	7,058 98	0,536 940	0,009 399
12 40	0,397 873	-0,534 194	0,397 783	0,917 480	9,558 84	0,536 922	0,009 417
12 50	0,492 109	-0,525 041	0,397 782	0,917 480	12,058 71	0,536 903	0,009 435
13 0	0,586 345	-0,515 896	0,397 782	0,917 480	14,558 57	0,536 883	0,009 455
13 10	0,680 581	-0,506 758	0,397 781	0,917 480	17,058 44	0,536 863	0,009 475
13 20	0,774 818	-0,497 628	0,397 781	0,917 481	19,558 31	0,536 842	0,009 496
13 30	0,869 053	-0,488 505	0,397 780	0,917 481	22,058 17	0,536 821	0,009 517
13 40	0,963 289	-0,479 390	0,397 780	0,917 481	24,558 04	0,536 798	0,009 539
13 50	1,057 523	-0,470 283	0,397 779	0,917 481	27,057 90	0,536 776	0,009 562
14 0	1,151 756	-0,461 184	0,397 778	0,917 481	29,557 77	0,536 752	0,009 585
14 10	1,245 988	-0,452 092	0,397 778	0,917 482	32,057 64	0,536 728	0,009 610
14 20	1,340 219	-0,443 008	0,397 777	0,917 482	34,557 50	0,536 703	0,009 634
14 30	1,434 447	-0,433 932	0,397 777	0,917 482	37,057 37	0,536 677	0,009 660
14 40	1,528 673	-0,424 864	0,397 776	0,917 482	39,557 23	0,536 651	0,009 686
14 50	1,622 897	-0,415 804	0,397 776	0,917 483	42,057 10	0,536 624	0,009 713
15 0	1,717 119	-0,406 751	0,397 775	0,917 483	44,556 97	0,536 597	0,009 740

$$\tan f_e = +0,004\,600\,46$$

$$\tan f_i = -0,004\,577\,54$$

$$H' = +0,261\,785\,34 \text{ rd/h}$$

$$d' = -0,000\,003\,21 \text{ rd/h}$$



## 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	
	$x$	$y$	$\sin d$	$\cos d$	$\mu$	$l_e$	$l_i$
h m					°		
9 0	-1,674 727	-0,737 423	0,397 793	0,917 475	314,561 80	0,537 166	-0,009 174
9 10	-1,580 561	-0,728 110	0,397 792	0,917 475	317,061 66	0,537 162	-0,009 178
9 20	-1,486 390	-0,718 804	0,397 792	0,917 476	319,561 53	0,537 157	-0,009 183
9 30	-1,392 213	-0,709 505	0,397 791	0,917 476	322,061 39	0,537 152	-0,009 188
9 40	-1,298 030	-0,700 214	0,397 791	0,917 476	324,561 26	0,537 145	-0,009 194
9 50	-1,203 843	-0,690 929	0,397 791	0,917 476	327,061 13	0,537 139	-0,009 201
10 0	-1,109 651	-0,681 651	0,397 790	0,917 476	329,560 99	0,537 131	-0,009 208
10 10	-1,015 455	-0,672 380	0,397 790	0,917 477	332,060 86	0,537 123	-0,009 216
10 20	-0,921 254	-0,663 117	0,397 789	0,917 477	334,560 72	0,537 115	-0,009 225
10 30	-0,827 049	-0,653 861	0,397 789	0,917 477	337,060 59	0,537 105	-0,009 234
10 40	-0,732 840	-0,644 612	0,397 788	0,917 477	339,560 45	0,537 095	-0,009 244
10 50	-0,638 628	-0,635 370	0,397 788	0,917 477	342,060 32	0,537 084	-0,009 255
11 0	-0,544 412	-0,626 135	0,397 788	0,917 478	344,560 19	0,537 073	-0,009 266
11 10	-0,450 193	-0,616 908	0,397 787	0,917 478	347,060 05	0,537 061	-0,009 278
11 20	-0,355 972	-0,607 688	0,397 787	0,917 478	349,559 92	0,537 048	-0,009 291
11 30	-0,261 748	-0,598 475	0,397 786	0,917 478	352,059 78	0,537 035	-0,009 304
11 40	-0,167 521	-0,589 270	0,397 786	0,917 478	354,559 65	0,537 020	-0,009 318
11 50	-0,073 293	-0,580 072	0,397 785	0,917 479	357,059 51	0,537 006	-0,009 333
12 0	0,020 938	-0,570 881	0,397 785	0,917 479	359,559 38	0,536 990	-0,009 348
12 10	0,115 170	-0,561 698	0,397 784	0,917 479	2,059 25	0,536 974	-0,009 365
12 20	0,209 403	-0,552 523	0,397 784	0,917 479	4,559 11	0,536 957	-0,009 381
12 30	0,303 637	-0,543 355	0,397 783	0,917 479	7,058 98	0,536 940	-0,009 399
12 40	0,397 873	-0,534 194	0,397 783	0,917 480	9,558 84	0,536 922	-0,009 417
12 50	0,492 109	-0,525 041	0,397 782	0,917 480	12,058 71	0,536 903	-0,009 435
13 0	0,586 345	-0,515 896	0,397 782	0,917 480	14,558 57	0,536 883	-0,009 455
13 10	0,680 581	-0,506 758	0,397 781	0,917 480	17,058 44	0,536 863	-0,009 475
13 20	0,774 818	-0,497 628	0,397 781	0,917 481	19,558 31	0,536 842	-0,009 496
13 30	0,869 053	-0,488 505	0,397 780	0,917 481	22,058 17	0,536 821	-0,009 517
13 40	0,963 289	-0,479 390	0,397 780	0,917 481	24,558 04	0,536 798	-0,009 539
13 50	1,057 523	-0,470 283	0,397 779	0,917 481	27,057 90	0,536 776	-0,009 562
14 0	1,151 756	-0,461 184	0,397 778	0,917 481	29,557 77	0,536 752	-0,009 585
14 10	1,245 988	-0,452 092	0,397 778	0,917 482	32,057 64	0,536 728	-0,009 610
14 20	1,340 219	-0,443 008	0,397 777	0,917 482	34,557 50	0,536 703	-0,009 634
14 30	1,434 447	-0,433 932	0,397 777	0,917 482	37,057 37	0,536 677	-0,009 660
14 40	1,528 673	-0,424 864	0,397 776	0,917 482	39,557 23	0,536 651	-0,009 686
14 50	1,622 897	-0,415 804	0,397 776	0,917 483	42,057 10	0,536 624	-0,009 713
15 0	1,717 119	-0,406 751	0,397 775	0,917 483	44,556 97	0,536 597	-0,009 740

$$\tan f_1 = +0,004 600 46$$

$$\tan f_2 = +0,004 577 54$$

$$\mu' = +0,261 785 34 \text{ rd/h}$$

$$d' = -0,000 003 21 \text{ rd/h}$$

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

Calculer à Lichinga (Mozambique), les époques des contacts extérieurs et du maximum de l'éclipse.

Les coordonnées de Lichinga sont les suivantes :

$$\varphi = 13^{\circ} 40' 0,0'' \text{ S} \quad \lambda = 2 \text{ h } 20 \text{ m } 52,0 \text{ s E} \quad h = 0,0 \text{ m},$$

ce qui donne  $\rho \sin \varphi' = -0,23474$  et  $\rho \cos \varphi' = 0,97187$ .

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 <sup>er</sup> contact extérieur	Maximum	2 <sup>e</sup> contact extérieur
$t$ (UT.) .....	12 h 0 m	13 h30 m	14 h30 m
$H$ .....	-0,440 62°	22,058 17°	37,057 37°
$\sin d$ .....	0,397 78	0,397 78	0,397 78
$\cos d$ .....	0,917 48	0,917 48	0,917 48
$x$ .....	0,020 94	0,869 05	1,434 45
$\xi$ .....	0,554 32	0,817 61	0,925 73
$U = x - \xi$ .....	-0,533 39	0,051 45	0,508 72
$y$ .....	-0,570 88	-0,488 51	-0,433 93
$\eta$ .....	-0,532 91	-0,424 36	-0,333 07
$V = y - \eta$ .....	-0,037 97	-0,064 15	-0,100 86
$\dot{U} = \dot{x} - \dot{\xi}$ .....	0,356 41	0,427 87	0,487 90
$\dot{V} = \dot{y} - \dot{\eta}$ .....	-0,002 60	-0,030 43	-0,041 97
$l_e$ .....	0,534 05	0,535 03	0,535 86
$\beta$ .....	-1,495 70	0,130 24	1,052 66
$\gamma$ .....	0,005 78		-0,075 79
$\theta = \pm \sqrt{\beta^2 - \gamma}$ .....	-1,493 77		1,088 06
$\tau = -\beta + \theta$ .....	0,001 93 h		0,035 40 h
$\tau_m = -\beta$ .....		-0,130 24 h	
$t + \tau$ .....	12 h 0 m 7,0 s		14 h 32 m 7,4 s
$t + \tau_m$ .....		13 h 22 m 11,1 s	

## Deuxième approximation :

	1 <sup>er</sup> contact extérieur	Maximum	2 <sup>e</sup> contact extérieur
$t$ (UT.) .....	12 h 0 m 7,0 s	13 h 22 m 11,1 s	14 h 32 m 7,4 s
$H$ .....	-0,411 63°	20,104 67°	37,588 38°
$\sin d$ .....	0,397 78	0,397 78	0,397 78
$\cos d$ .....	0,917 48	0,917 48	0,917 48
$x$ .....	0,022 03	0,795 41	1,454 46
$\xi$ .....	0,554 73	0,799 22	0,928 43
$U = x - \xi$ .....	-0,532 70	-0,003 81	0,526 03
$y$ .....	-0,570 77	-0,495 63	-0,432 01
$\eta$ .....	-0,532 80	-0,435 32	-0,329 65
$V = y - \eta$ .....	-0,037 98	-0,060 31	-0,102 36
$\dot{U} = \dot{x} - \dot{\xi}$ .....	0,356 48	0,420 66	0,490 15
$\dot{V} = \dot{y} - \dot{\eta}$ .....	-0,002 65	-0,028 48	-0,042 26
$l_e$ .....	0,534 05	0,534 93	0,535 89
$\beta$ .....	-1,493 44	0,000 65	1,083 16
$\gamma$ .....	-0,000 01		0,000 04
$\theta = \pm \sqrt{\beta^2 - \gamma}$ .....	-1,493 45		1,083 14
$\tau = -\beta + \theta$ .....	-0,000 00 h		-0,000 02 h
$\tau_m = -\beta$ .....		-0,000 65 h	
$t + \tau$ .....	12 h 0 m 6,9 s		14 h 32 m 7,4 s
$t + \tau_m$ .....		13 h 22 m 8,8 s	
$g$ .....		0,906 3	
$P$ .....	265,9°		101,0°
$\Gamma$ .....	133,8°		109,5°
$Z = P - \Gamma$ .....	132,1°		351,5°

**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.
- $P$  : 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	<i>h</i>
h m	° /	° /	° /	° /	° /	° /	m s	°
Limites	-36 4,3	+ 50 17,2	-36 37,5	+ 50 1,3	-37 10,9	+ 49 45,2	2 9,2	...
10 38	-31 47,1	+ 41 31,7	-33 11,4	+ 42 52,0	-34 54,7	+ 44 54,9	2 24,9	7
10 40	-29 31,3	+ 37 13,3	-30 37,3	+ 37 51,9	-31 47,4	+ 38 39,6	2 38,0	12
10 45	-25 59,1	+ 30 48,1	-26 55,3	+ 31 2,1	-27 53,1	+ 31 19,3	2 59,3	20
10 50	-23 31,4	+ 26 28,3	-24 24,8	+ 26 33,7	-25 19,2	+ 26 41,1	3 15,6	26
10 55	-21 34,0	+ 23 3,8	-22 26,2	+ 23 4,6	-23 19,3	+ 23 6,9	3 29,6	30
11 0	-19 55,7	+ 20 11,6	-20 47,4	+ 20 9,5	-21 39,9	+ 20 8,5	3 42,2	34
11 5	-18 31,0	+ 17 40,8	-19 22,6	+ 17 36,7	-20 14,9	+ 17 33,6	3 53,6	37
11 10	-17 16,9	+ 15 25,2	-18 8,6	+ 15 19,7	-19 0,8	+ 15 15,0	4 4,0	40
11 15	-16 11,3	+ 13 20,9	-17 3,2	+ 13 14,4	-17 55,6	+ 13 8,6	4 13,5	43
11 20	-15 13,0	+ 11 25,3	-16 5,1	+ 11 17,9	-16 57,7	+ 11 11,3	4 22,3	45
11 25	-14 21,0	+ 9 36,3	-15 13,4	+ 9 28,4	-16 6,2	+ 9 21,2	4 30,1	47
11 30	-13 34,6	+ 7 52,5	-14 27,3	+ 7 44,3	-15 20,4	+ 7 36,7	4 37,2	49
11 35	-12 53,3	+ 6 12,8	-13 46,3	+ 6 4,5	-14 39,8	+ 5 56,5	4 43,4	51
11 40	-12 16,8	+ 4 36,3	-13 10,1	+ 4 27,9	-14 3,8	+ 4 19,8	4 48,8	52
11 45	-11 44,6	+ 3 2,3	-12 38,3	+ 2 53,8	-13 32,3	+ 2 45,7	4 53,3	53
11 50	-11 16,7	+ 1 29,9	-12 10,7	+ 1 21,5	-13 4,9	+ 1 13,4	4 56,8	54
11 55	-10 52,9	- 0 1,3	-11 47,1	- 0 9,5	-12 41,6	- 0 17,6	4 59,5	55
12 0	-10 33,1	- 1 31,8	-11 27,5	- 1 39,9	-12 22,2	- 1 47,8	5 1,1	55
12 5	-10 17,1	- 3 2,3	-11 11,7	- 3 10,1	-12 6,6	- 3 17,9	5 1,8	55
12 10	-10 5,1	- 4 33,1	-10 59,8	- 4 40,7	-11 54,8	- 4 48,3	5 1,5	55
12 15	- 9 57,0	- 6 4,7	-10 51,8	- 6 12,1	-11 46,9	- 6 19,5	5 0,3	54
12 20	- 9 52,8	- 7 37,8	-10 47,7	- 7 44,9	-11 42,9	- 7 52,2	4 58,0	54
12 25	- 9 52,8	- 9 12,7	-10 47,7	- 9 19,6	-11 42,8	- 9 26,8	4 54,7	53
12 30	- 9 57,0	- 10 50,2	-10 51,9	- 10 56,9	-11 47,0	- 11 4,0	4 50,5	51
12 35	-10 5,7	- 12 30,9	-11 0,5	- 12 37,5	-11 55,5	- 12 44,5	4 45,3	50
12 40	-10 19,2	- 14 15,6	-11 13,8	- 14 22,2	-12 8,8	- 14 29,2	4 39,1	48
12 45	-10 37,9	- 16 5,3	-11 32,4	- 16 11,9	-12 27,2	- 16 19,2	4 32,0	46
12 50	-11 2,2	- 18 1,2	-11 56,6	- 18 8,1	-12 51,3	- 18 15,7	4 24,0	44
12 55	-11 33,1	- 20 5,0	-12 27,3	- 20 12,3	-13 21,8	- 20 20,4	4 15,0	41
13 0	-12 11,3	- 22 18,7	-13 5,4	- 22 26,8	-13 59,9	- 22 35,8	4 5,0	39
13 5	-12 58,5	- 24 45,6	-13 52,5	- 24 54,8	-14 47,0	- 25 5,1	3 54,0	35
13 10	-13 56,8	- 27 30,1	-14 51,0	- 27 41,1	-15 45,6	- 27 53,6	3 41,9	32
13 15	-15 10,0	- 30 40,1	-16 4,6	- 30 54,2	-16 59,9	- 31 9,9	3 28,4	28
13 20	-16 45,0	- 34 30,4	-17 40,9	- 34 49,8	-18 37,7	- 35 11,7	3 12,9	23
13 25	-18 58,7	- 39 36,9	-19 58,6	- 40 8,7	-21 0,4	- 40 45,0	2 54,1	16
13 30	-23 17,1	- 49 6,3	-25 1,0	- 51 22,0	-27 16,9	- 55 1,3	2 22,0	4
Limites	-26 10,0	- 55 26,2	-26 45,3	- 55 14,4	-27 20,8	- 55 2,6	2 13,0	...

## CIRCONSTANCES LOCALES SUR LA LIGNE DE CENTRALITÉ

Instant		Maximum de l'éclipse					Ligne centrale		Premier contact					
UT		Durée	<i>L</i>	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>	Latitude	Longitude	UT	<i>P</i>	<i>Z</i>		
h	m	m	km	%		°	°	° /	° /	h	m	s	°	°
Limites		2 9,2	131	100,0	1,018	...	240	-36 37,5	+ 50 1,3	..	..	...	...	...
10	38	2 24,9	138	100,0	1,019	7	236	-33 11,4	+ 42 52,0	..	..	...	...	...
10	40	2 38,0	143	100,0	1,019	12	233	-30 37,3	+ 37 51,9	9	34	52,8	254	18
10	45	2 59,3	152	100,0	1,021	20	229	-26 55,3	+ 31 2,1	9	35	45,4	253	17
10	50	3 15,6	158	100,0	1,021	26	225	-24 24,8	+ 26 33,7	9	37	33,5	253	17
10	55	3 29,6	163	100,0	1,022	30	223	-22 26,2	+ 23 4,6	9	39	45,8	253	17
11	0	3 42,2	168	100,0	1,023	34	220	-20 47,4	+ 20 9,5	9	42	12,9	252	17
11	5	3 53,6	172	100,0	1,023	37	217	-19 22,6	+ 17 36,7	9	44	50,5	252	18
11	10	4 4,0	176	100,0	1,023	40	215	-18 8,6	+ 15 19,7	9	47	36,5	253	19
11	15	4 13,5	180	100,0	1,024	43	212	-17 3,2	+ 13 14,4	9	50	29,6	253	20
11	20	4 22,3	184	100,0	1,024	45	209	-16 5,1	+ 11 17,9	9	53	29,1	253	22
11	25	4 30,1	187	100,0	1,024	47	206	-15 13,4	+ 9 28,4	9	56	34,7	253	23
11	30	4 37,2	190	100,0	1,025	49	202	-14 27,3	+ 7 44,3	9	59	46,2	254	25
11	35	4 43,4	193	100,0	1,025	51	199	-13 46,3	+ 6 4,5	10	3	3,8	254	27
11	40	4 48,8	196	100,0	1,025	52	195	-13 10,1	+ 4 27,9	10	6	27,6	254	29
11	45	4 53,3	198	100,0	1,025	53	191	-12 38,3	+ 2 53,8	10	9	58,1	255	32
11	50	4 56,8	200	100,0	1,025	54	187	-12 10,7	+ 1 21,5	10	13	35,7	255	34
11	55	4 59,5	202	100,0	1,025	55	182	-11 47,1	- 0 9,5	10	17	21,0	256	37
12	0	5 1,1	203	100,0	1,025	55	178	-11 27,5	- 1 39,9	10	21	14,6	257	41
12	5	5 1,8	204	100,0	1,025	55	174	-11 11,7	- 3 10,1	10	25	17,3	257	44
12	10	5 1,5	204	100,0	1,025	55	169	-10 59,8	- 4 40,7	10	29	30,0	258	48
12	15	5 0,3	204	100,0	1,025	54	165	-10 51,8	- 6 12,1	10	33	53,6	259	53
12	20	4 58,0	203	100,0	1,025	54	161	-10 47,7	- 7 44,9	10	38	29,2	260	58
12	25	4 54,7	202	100,0	1,025	53	157	-10 47,7	- 9 19,6	10	43	17,8	261	63
12	30	4 50,5	201	100,0	1,025	51	153	-10 51,9	- 10 56,9	10	48	20,7	262	69
12	35	4 45,3	198	100,0	1,025	50	149	-11 0,5	- 12 37,5	10	53	39,2	263	75
12	40	4 39,1	196	100,0	1,025	48	146	-11 13,8	- 14 22,2	10	59	14,4	264	81
12	45	4 32,0	193	100,0	1,024	46	143	-11 32,4	- 16 11,9	11	5	7,7	265	88
12	50	4 24,0	190	100,0	1,024	44	140	-11 56,6	- 18 8,1	11	11	20,5	266	95
12	55	4 15,0	186	100,0	1,024	41	138	-12 27,3	- 20 12,3	11	17	54,2	267	102
13	0	4 5,0	182	100,0	1,024	39	135	-13 5,4	- 22 26,8	11	24	50,4	268	109
13	5	3 54,0	178	100,0	1,023	35	133	-13 52,5	- 24 54,8	11	32	10,8	269	115
13	10	3 41,9	173	100,0	1,023	32	130	-14 51,0	- 27 41,1	11	39	58,1	270	122
13	15	3 28,4	167	100,0	1,022	28	128	-16 4,6	- 30 54,2	11	48	16,4	271	128
13	20	3 12,9	161	100,0	1,022	23	126	-17 40,9	- 34 49,8	11	57	14,3	272	134
13	25	2 54,1	153	100,0	1,021	16	123	-19 58,6	- 40 8,7	12	7	15,0	273	139
13	30	2 22,0	139	100,0	1,019	4	118	-25 1,0	- 51 22,0	12	20	59,8	274	146
Limites		2 13,0	134	100,0	1,018	...	116	-26 45,3	- 55 14,4	12	23	45,0	274	147







**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**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	-26 12	- 28 18	Benoni .....	.. ..	13 4 16,5	68,1	0,739	25	136
2	-29 7	- 26 14	Bloemfontein ...	.. ..	12 57 59,0	57,8	0,656	25	139
3	-26 13	- 28 15	Boksburg .....	.. ..	13 4 10,3	67,9	0,738	25	136
4	-26 15	- 28 22	Brakpan .....	.. ..	13 4 21,2	68,0	0,739	25	135
5	-26 22	- 27 25	Carletonville ....	.. ..	13 2 32,3	66,6	0,728	25	137
6	-29 53	- 31 0	Durban .....	.. ..	13 5 36,1	60,6	0,679	20	134
7	-33 0	- 27 54	East London ....	.. ..	12 57 21,8	49,6	0,587	21	139
8	-26 15	- 28 10	Germiston .....	.. ..	13 3 59,8	67,8	0,737	25	136
9	-26 10	- 28 2	Johannesburg ...	.. ..	13 3 49,4	67,9	0,738	25	136
10	-28 45	- 24 46	Kimberley .....	.. ..	12 55 25,1	57,5	0,653	26	141
11	-27 40	- 27 15	Kroonstad .....	.. ..	13 1 9,2	62,8	0,697	25	137
12	-26 6	- 27 45	Krugersdorp ....	.. ..	13 3 21,8	67,8	0,737	25	136
13	-33 56	- 18 28	Le Cap .....	.. ..	12 37 0,9	41,1	0,513	27	152
14	-29 36	- 34 24	Pietermaritzburg	.. ..	13 10 52,5	65,3	0,717	17	131
15	-33 58	- 25 36	Port Elisabeth ..	.. ..	12 52 10,3	45,4	0,552	22	142
16	-26 42	- 27 6	Potchefstroom ..	.. ..	13 1 40,8	65,3	0,717	25	137
17	-25 45	- 28 12	Pretoria .....	.. ..	13 4 27,3	69,3	0,749	25	135
18	-26 10	- 27 53	Roodepoort .....	.. ..	13 3 33,1	67,7	0,736	25	136
19	-26 16	- 28 26	Springs .....	.. ..	13 4 27,5	68,0	0,739	25	135
20	-33 46	- 25 25	Uitenhage .....	.. ..	12 52 1,3	45,7	0,554	22	142
21	-26 41	- 27 50	Vanderbijlpark ..	.. ..	13 3 2,6	66,2	0,724	25	136
22	-26 41	- 27 56	Vereeniging .....	.. ..	13 3 13,4	66,3	0,725	25	136
23	-27 59	- 26 44	Welkom .....	.. ..	12 59 55,2	61,4	0,685	25	138

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Angola (Villes principales)**

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	-12 34	- 13 24	Benguela ...	.. ..	12 36 41,7	98,8	0,985	48	149
2	-12 25	- 16 58	Bie .....	2 34,2	12 46 45,8	100,0	1,004	45	142
3	- 5 34	- 12 12	Cabinda ...	.. ..	12 35 28,1	85,0	0,872	55	146
4	-12 47	- 15 44	Huambo ...	.. ..	12 43 16,1	99,2	0,988	46	145
5	-12 25	- 16 58	Kuito .....	2 34,2	12 46 45,8	100,0	1,004	45	142
6	-12 20	- 13 34	Lobito .....	.. ..	12 37 16,5	99,5	0,992	48	148
7	- 8 50	- 13 15	Luanda ....	.. ..	12 37 34,6	96,3	0,962	51	146
8	-14 55	- 13 30	Lubango ...	.. ..	12 36 0,6	91,3	0,922	46	150
9	- 9 36	- 16 21	Malanje .....	.. ..	12 46 1,7	97,2	0,970	47	141
10	-15 10	- 12 10	Mocamedes	.. ..	12 31 55,5	90,0	0,912	47	153
11	-12 47	- 15 44	Nova Lisboa	.. ..	12 43 16,1	99,2	0,988	46	145



**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Botswana**

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	-21 58	- 28 26	Bobonong ..	.. ..	13 7 36,6	81,2	0,843	27	133
2	-21 11	- 27 32	Francistown	.. ..	13 6 28,7	82,6	0,855	28	134
3	-24 45	- 25 55	Gaborone ..	.. ..	13 0 56,3	69,8	0,753	28	137
4	-24 59	- 25 19	Kanye.....	.. ..	12 59 34,3	68,5	0,743	28	138
5	-25 11	- 25 40	Lobatsi.....	.. ..	13 0 7,1	68,3	0,741	28	138
6	-23 5	- 26 51	Mahalapye .	.. ..	13 3 56,5	75,8	0,801	28	136
7	-20 0	- 23 25	Maun.....	.. ..	12 58 55,3	82,0	0,849	33	138
8	-24 28	- 26 5	Mochudi ...	.. ..	13 1 28,5	70,8	0,761	28	137
9	-24 25	- 25 30	Molepolole .	.. ..	13 0 21,6	70,4	0,758	28	138
10	-24 56	- 25 50	Ramotswa..	.. ..	13 0 38,2	69,2	0,748	28	138
11	-22 1	- 27 50	Selebi-Pikwe	.. ..	13 6 29,7	80,3	0,836	28	134
12	-22 25	- 26 44	Serowe.....	.. ..	13 4 10,5	77,8	0,817	28	135
13	-20 26	- 27 2	Tutume....	.. ..	13 6 0,3	84,5	0,869	29	134

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Congo**

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	- 4 14	- 15 14	Brazzaville .	.. ..	12 44 15,7	78,5	0,821	53	139
2	- 4 44	- 11 52	Loandjili ...	.. ..	12 34 42,9	82,0	0,849	56	146
3	- 4 9	- 12 47	Loubomo...	.. ..	12 37 29,5	79,5	0,829	55	143
4	- 2 55	- 12 48	Mossendjo..	.. ..	12 37 48,0	74,9	0,792	56	142
5	- 4 6	- 15 5	Ngamaba...	.. ..	12 43 52,9	78,1	0,818	53	139
6	- 4 7	- 13 17	N'Kayi.....	.. ..	12 38 54,8	79,2	0,826	55	142
7	- 4 46	- 11 53	Pointe-Noire	.. ..	12 34 45,3	82,2	0,850	56	146

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Botswana

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	40	39,9	280	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	22	23,4	83	322
2	11	38	23,5	279	126	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	22	10,6	84	323
3	11	34	12,2	284	126	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	16	19,8	77	311
4	11	32	39,9	284	125	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	15	15,2	76	310
5	11	33	35,9	285	126	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	15	27,3	76	310
6	11	36	32,8	282	126	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	19	27,0	80	317
7	11	27	0,8	278	117	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	18	17,6	83	320
8	11	34	36,8	284	126	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	16	53,7	78	312
9	11	33	5,1	284	125	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	16	12,6	77	312
10	11	34	0,2	284	126	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	15	59,5	77	311
11	11	39	7,3	280	127	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	21	41,7	83	321
12	11	36	14,4	281	126	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	20	2,2	81	318
13	11	37	7,0	278	125	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	22	18,9	84	324

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Congo

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	6	10,8	253	76	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	11	14,6	103	348
2	10	54	53,7	252	62	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	5	27,0	100	341
3	10	58	20,0	252	65	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	6	59,1	101	344
4	10	59	36,0	250	64	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	6	29,6	103	348
5	11	5	48,6	253	75	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	10	56,7	103	348
6	10	59	57,9	252	67	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	7	52,5	102	345
7	10	54	55,1	253	62	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	5	29,5	100	341

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS  
Gabon**

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	- 1 40	- 13 31	Franceville ..	.. ..	12 40 0,8	69,8	0,752	56	140
2	- 1 12	- 12 29	Koulamoutou ..	.. ..	12 37 13,8	68,5	0,742	58	141
3	- 0 41	- 10 13	Lambarene ..	.. ..	12 30 53,8	67,3	0,732	60	146
4	+ 0 30	- 9 25	Libreville....	.. ..	12 28 51,6	62,9	0,697	62	147
5	- 1 50	- 11 2	Mouila.....	.. ..	12 32 59,6	71,4	0,765	59	145
6	+ 1 34	- 11 31	Oyama.....	.. ..	12 34 59,3	58,4	0,660	61	140
7	+ 1 34	- 11 31	Oyem.....	.. ..	12 34 59,3	58,4	0,660	61	140
8	- 0 40	- 8 50	Port Gentil..	.. ..	12 26 52,3	67,4	0,733	62	150
9	- 2 49	- 11 0	Tchibanga...	.. ..	12 32 40,2	75,1	0,794	58	146

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS  
Namibie**

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	-26 36	- 18 8	Keetmanshoop	.. ..	12 42 2,4	58,3	0,660	33	149
2	-26 38	- 15 10	Luderitz.....	.. ..	12 34 13,0	56,8	0,647	35	154
3	-20 29	- 16 36	Otjiwarongo..	.. ..	12 41 59,1	75,0	0,794	39	148
4	-22 40	- 14 34	Swakopmund..	.. ..	12 35 4,2	67,4	0,734	39	153
5	-19 13	- 17 42	Tsumeb.....	.. ..	12 45 37,7	79,6	0,830	39	146
6	-22 59	- 14 31	Walvis Bay...	.. ..	12 34 44,4	66,5	0,726	39	153
7	-22 34	- 17 6	Windhoek....	.. ..	12 42 4,9	69,0	0,746	37	148





**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Lesotho**

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	-28	52	- 28	3	..	..	13	1	33,9	60,3	0,676	23	137
2	-29	49	- 27	14	..	..	12	59	13,7	56,9	0,649	23	138
3	-29	19	- 27	29	..	..	13	0	8,4	58,5	0,662	24	138
4	-30	9	- 27	29	..	..	12	59	22,7	56,3	0,644	23	138
5	-29	9	- 27	45	..	..	13	0	46,4	59,2	0,668	23	138

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Malawi**

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	-15	46	- 35	0	..	..	13	21	5,1	96,8	0,967	24	125
2	- 9	54	- 33	55	..	..	13	21	23,2	77,6	0,815	28	123
3	-13	58	- 33	49	..	..	13	20	9,9	92,4	0,931	26	125
4	-11	31	- 34	0	..	..	13	21	8,8	83,3	0,860	27	124
5	-12	55	- 34	19	..	..	13	21	11,4	87,9	0,896	26	124
6	-15	22	- 35	22	..	..	13	21	43,5	94,9	0,952	23	125

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Lesotho

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	39	46,6	289	133	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	13	19,0	73	304
2	11	37	59,3	290	132	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	10	48,8	71	301
3	11	38	30,6	290	132	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	11	55,1	72	302
4	11	38	36,1	291	133	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	10	36,5	70	300
5	11	39	6,6	289	132	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	12	30,8	72	303

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Malawi

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	58	29,8	269	133	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	31	34,2	97	346
2	11	59	17,3	261	129	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	31	22,4	106	359
3	11	56	33,6	267	131	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	31	22,4	99	349
4	11	58	25,3	263	130	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	31	37,2	104	355
5	11	58	22,0	265	131	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	31	45,7	102	352
6	11	59	33,0	268	133	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	31	52,3	98	347

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Madagascar (Villes principales)**

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	-17 49	- 48 28	Ambatondrazaka	.. ..	13 32 43,2	82,9	0,857	9	118
2	-21 21	- 43 31	Ambohilé.....	2 41,0	13 27 18,4	100,0	1,017	13	122
3	-22 17	- 44 30	Ankazoabo.....	2 19,5	13 27 31,2	100,0	1,010	11	121
4	-18 52	- 47 30	Antananarivo...	.. ..	13 31 37,2	88,2	0,899	10	119
5	-12 19	- 49 17	Antsiranan.....	.. ..	13 35 8,5	61,7	0,689	11	117
6	-23 16	- 46 1	Betroka.....	1 3,4	13 28 0,5	100,0	1,002	9	121
7	-12 19	- 49 17	Diego-Suare....	.. ..	13 35 8,5	61,7	0,689	11	117
8	-22 49	- 47 49	Farafangana....	1 23,9	13 29 31,9	100,0	1,003	8	120
9	-21 27	- 47 5	Fianarantsoa...	.. ..	13 29 55,0	97,7	0,975	9	120
10	-22 24	- 46 7	Ihosa.....	2 26,6	13 28 39,5	100,0	1,013	10	120
11	-15 40	- 46 20	Mahajanga.....	.. ..	13 32 16,2	78,6	0,824	12	119
12	-21 12	- 46 5	Mahasoa.....	.. ..	13 29 22,9	98,3	0,981	10	120
13	-15 40	- 46 20	Majunga.....	.. ..	13 32 16,2	78,6	0,824	12	119
14	-21 26	- 44 20	Manja.....	2 13,8	13 27 55,4	100,0	1,009	12	121
15	-22 9	- 48 0	Manakara.....	.. ..	13 30 4,5	98,5	0,983	8	119
16	-20 19	- 44 17	Morondava.....	.. ..	13 28 32,6	98,1	0,979	12	121
17	-18 10	- 49 23	Toamasina.....	.. ..	13 33 4,8	82,6	0,855	8	118
18	-23 20	- 43 41	Toliara.....	.. ..	13 26 9,4	97,3	0,972	12	122
19	-23 21	- 47 36	Vangaindrano...	2 31,5	13 29 2,2	100,0	1,018	8	120

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Madagascar (Villes Principales)**

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	12	22	38,6	265	142	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
2	12	12	27,2	273	142	13	25	57,7	84	324	13	28	38,7	284	164	..	..	..	..	..	..	..
3	12	13	29,1	274	143	13	26	21,3	124	3	13	28	40,8	245	124	..	..	..	..	..	..	..
4	12	20	23,4	267	142	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
5	12	28	47,1	256	139	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
6	12	15	10,6	274	144	13	27	28,7	160	39	13	28	32,1	208	88	..	..	..	..	..	..	..
7	12	28	47,1	256	139	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
8	12	18	2,4	273	144	13	28	49,8	38	279	13	30	13,7	331	212	..	..	..	..	..	..	..
9	12	17	55,7	271	143	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
10	12	15	52,8	273	143	13	27	26,0	74	315	13	29	52,6	294	175	..	..	..	..	..	..	..
11	12	21	1,9	263	140	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
12	12	16	36,6	271	143	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
13	12	21	1,9	263	140	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
14	12	13	44,0	273	142	13	26	48,3	60	301	13	29	2,1	308	189	..	..	..	..	..	..	..
15	12	18	45,1	272	144	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
16	12	14	20,6	271	142	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
17	12	23	41,4	265	142	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
18	12	11	35,4	276	143	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
19	12	17	23,0	274	144	13	27	46,3	97	337	13	30	17,8	271	152	..	..	..	..	..	..	..

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Mozambique (Villes Principales)**

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	-19 49	- 34 52	Beira . . . . .	.. ..	13 18 55,2	96,5	0,965	22	127
2	-24 40	- 33 33	Chibuto . . . .	.. ..	13 13 52,7	79,0	0,826	21	130
3	-22 20	- 40 20	Europa (île)	.. ..	13 23 44,9	95,9	0,960	15	124
4	-23 51	- 35 29	Inhambane . .	.. ..	13 17 6,9	84,1	0,867	19	128
5	-13 40	- 35 13	Lichinga . . .	.. ..	13 22 8,8	89,2	0,906	24	124
6	-16 30	- 33 31	Mandie . . . .	2 1,5	13 18 44,8	100,0	1,005	25	126
7	-25 58	- 32 35	Maputo . . . .	.. ..	13 11 27,3	73,7	0,785	21	131
8	-13 20	- 34 59	Meponda . . .	.. ..	13 21 57,0	88,4	0,900	25	124
9	-14 30	- 40 37	Nacala . . . .	.. ..	13 27 58,7	83,7	0,864	18	121
10	-15 9	- 39 14	Nampula . . .	.. ..	13 26 20,2	88,2	0,899	19	122
11	-17 53	- 36 51	Quelimane . .	1 40,8	13 22 27,6	100,0	1,003	21	125
12	-16 10	- 33 35	Tete . . . . .	.. ..	13 18 59,2	99,7	0,995	25	126
13	-25 4	- 33 38	Xai Xai . . . .	.. ..	13 13 41,4	77,8	0,817	20	130

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Swaziland**

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	-26 48	- 31 56	Big-Bend . . .	.. ..	13 9 47,5	70,4	0,758	21	132
2	-27 6	- 31 12	Goedgegun . .	.. ..	13 8 24,0	68,7	0,744	22	133
3	-26 30	- 31 22	Manzini . . . .	.. ..	13 9 9,8	70,7	0,760	22	133
4	-26 20	- 31 8	Mbabane . . . .	.. ..	13 8 55,9	70,9	0,762	22	133
5	-26 2	- 31 50	Mhlume . . . .	.. ..	13 10 16,1	72,6	0,776	22	132
6	-27 6	- 31 12	Nhlangano . .	.. ..	13 8 24,0	68,7	0,744	22	133
7	-25 58	- 31 17	Pigg'S Peak	.. ..	13 9 28,0	72,1	0,772	22	132

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Mozambique (Villes Principales)

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> contact							
	UT			P		Z			UT			P		Z		UT			P		Z		
	h	m	s	°	'	°	'	°	h	m	s	°	'	°	'	°	h	m	s	°	'	°	'
1	11	56	29,6	275	135	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	29	32,3	91	335			
2	11	52	16,4	282	136	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	24	23,2	83	322			
3	12	6	25,9	276	141	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	30	36,1	91	336			
4	11	56	31,0	280	138	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	26	40,4	85	326			
5	12	0	6,9	266	132	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	32	7,4	101	351			
6	11	54	38,8	271	132	13	17	43,8	41	278	13	19	45,3	326	203	14	30	27,6	95	342			
7	11	49	58,5	284	136	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	22	4,8	80	317			
8	11	59	44,9	266	132	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	32	3,0	101	352			
9	12	11	27,2	265	137	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	33	50,1	104	356			
10	12	8	11,4	266	136	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	33	25,3	102	353			
11	12	1	38,1	271	136	13	21	37,0	37	275	13	23	17,7	331	210	14	31	41,6	95	343			
12	11	54	56,9	270	132	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	30	37,9	96	343			
13	11	52	22,1	283	137	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	24	1,2	82	321			

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Swaziland

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> contact							
	UT			P		Z			UT			P		Z		UT			P		Z		
	h	m	s	°	'	°	'	°	h	m	s	°	'	°	'	°	h	m	s	°	'	°	'
1	11	48	28,2	285	136	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	20	26,9	78	314			
2	11	46	51,0	286	135	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	19	20,3	77	313			
3	11	47	16,0	285	135	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	20	16,6	78	314			
4	11	46	46,0	285	135	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	20	15,3	78	314			
5	11	48	20,4	284	135	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	21	18,4	79	316			
6	11	46	51,0	286	135	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	19	20,3	77	313			
7	11	47	8,0	284	135	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	20	51,5	79	315			

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS  
Tanzanie**

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	- 3 23	- 36 40	Arusha .....	.. ..	13 25 18,8	49,8	0,589	28	119
2	- 6 51	- 39 18	Dar Es Salaam	.. ..	13 28 13,4	58,1	0,659	23	119
3	- 6 10	- 35 40	Dodoma .....	.. ..	13 24 6,8	61,3	0,684	28	121
4	- 7 49	- 35 39	Iringa .....	.. ..	13 23 58,1	67,3	0,733	27	121
5	- 4 52	- 29 36	Kigoma .....	.. ..	13 15 24,0	65,4	0,718	35	123
6	- 7 56	- 39 40	Kilindoni .....	.. ..	13 28 30,6	61,5	0,686	22	119
7	- 4 5	- 37 55	Kisiwani .....	.. ..	13 26 46,6	50,4	0,594	26	119
8	- 4 45	- 35 49	Kolo .....	.. ..	13 24 19,7	55,9	0,640	28	120
9	- 8 54	- 33 29	Mbeya .....	.. ..	13 20 57,4	74,6	0,791	29	123
10	-10 50	- 39 14	Mkoma .....	.. ..	13 27 36,5	72,7	0,776	21	121
11	- 6 49	- 37 40	Morogoro .....	.. ..	13 26 27,4	60,6	0,679	25	120
12	- 3 21	- 37 19	Moshi .....	.. ..	13 26 4,0	48,7	0,580	27	119
13	-10 17	- 40 11	Mtwara .....	.. ..	13 28 41,2	69,1	0,748	21	120
14	- 1 31	- 33 49	Musoma .....	.. ..	13 21 33,0	47,4	0,568	32	119
15	- 2 31	- 32 56	Mwanza .....	.. ..	13 20 25,4	52,2	0,609	33	120
16	- 5 1	- 32 48	Tabora .....	.. ..	13 20 18,6	61,4	0,685	31	121
17	- 5 7	- 39 5	Tanga .....	.. ..	13 28 3,1	52,3	0,610	24	119
18	- 5 3	- 39 41	Wete .....	.. ..	13 28 40,2	51,1	0,600	24	118
19	- 6 10	- 39 12	Zanzibar .....	.. ..	13 28 9,2	55,8	0,640	24	119

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS  
République Démocratique du Congo**

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	- 3 20	- 17 24	Bandundu .	.. ..	12 50 2,7	73,6	0,782	51	134
2	- 2 30	- 28 50	Bukavu ....	.. ..	13 14 5,3	57,8	0,655	38	122
3	+ 3 13	- 19 48	Gemena ....	.. ..	12 55 47,7	47,2	0,566	52	125
4	- 5 53	- 22 26	Kananga ...	.. ..	13 1 38,5	78,2	0,819	43	130
5	- 5 2	- 18 51	Kikwit .....	.. ..	12 53 26,6	78,7	0,823	48	134
6	- 4 18	- 15 18	Kinshasa ...	.. ..	12 44 25,8	78,7	0,823	52	139
7	+ 0 33	- 25 14	Kisangani ..	.. ..	13 7 21,8	51,2	0,601	44	123
8	-10 45	- 25 25	Kolwezi ....	.. ..	13 6 59,4	92,5	0,932	37	130
9	-10 58	- 26 47	Likasi .....	.. ..	13 9 35,0	91,5	0,924	35	129
10	-11 41	- 27 29	Lubumbashi	.. ..	13 10 41,6	93,2	0,937	34	129
11	- 5 50	- 13 32	Matadi .....	.. ..	12 39 13,7	85,4	0,876	53	143
12	+ 0 3	- 18 28	Mbandaka .	.. ..	12 52 51,8	60,0	0,673	52	130
13	- 6 10	- 23 39	Mbuji-Mayi	.. ..	13 4 12,8	77,9	0,817	42	129

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS  
Tanzanie

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	12	12	17,2	248	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	28	29,7	120	20
2	12	14	56,4	253	132	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	31	32,4	116	14
3	12	6	49,7	254	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	30	28,0	114	11
4	12	5	17,9	256	130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	31	20,6	111	7
5	11	51	26,6	254	120	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	5,8	112	7
6	12	14	43,3	254	133	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	32	12,3	114	12
7	12	14	35,9	249	130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	29	17,5	120	20
8	12	8	37,3	251	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	29	31,0	117	15
9	11	58	53,5	259	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	30	55,8	108	2
10	12	11	14,7	260	134	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	33	15,2	109	4
11	12	11	8,5	254	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	31	18,1	115	12
12	12	13	57,7	248	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	28	32,7	121	21
13	12	13	45,7	258	134	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	33	15,2	110	6
14	12	6	59,8	246	125	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	0,9	121	21
15	12	3	22,0	248	124	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	46,9	119	18
16	12	0	22,0	253	125	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	28	46,3	114	11
17	12	16	14,6	250	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	30	16,1	119	18
18	12	17	43,0	249	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	30	14,5	119	19
19	12	15	24,1	252	132	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	31	4,4	117	16

CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS  
République Démocratique du Congo

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	14	7,7	252	84	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	14	8,1	105	354
2	11	51	32,5	250	118	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	24	53,5	115	12
3	11	30	26,3	241	92	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	10	59,0	119	15
4	11	28	26,4	257	104	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	21	35,9	105	355
5	11	17	23,6	255	91	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	16	55,0	104	352
6	11	6	20,3	253	76	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	11	22,6	102	348
7	11	44	4,4	245	110	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	19	24,7	118	15
8	11	34	52,9	264	114	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	25	23,1	99	346
9	11	38	53,1	264	118	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	40,1	99	347
10	11	40	36,3	265	119	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	13,8	99	347
11	10	59	19,9	255	71	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	8	47,6	99	341
12	11	21	27,3	246	87	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	13	5,0	112	5
13	11	32	7,8	257	107	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	22	58,9	105	355



**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Zambie (Villes Principales)**

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	-12 20	- 27 52	Chilabombwe	.. ..	13 11 12,2	94,9	0,952	33	129
2	-12 31	- 27 53	Chingola ....	.. ..	13 11 10,7	95,5	0,957	33	129
3	-13 40	- 32 42	Chipata.....	.. ..	13 18 40,5	92,9	0,936	27	126
4	-14 29	- 28 25	Kabwe.....	2 20,8	13 11 27,6	100,0	1,005	31	130
5	-12 50	- 28 3	Kalulushi ...	.. ..	13 11 22,8	96,4	0,964	33	129
6	-13 40	- 32 42	Katolala ....	.. ..	13 18 40,5	92,9	0,936	27	126
7	-12 50	- 28 11	Kitwe-Nkana	.. ..	13 11 37,1	96,2	0,962	32	129
8	-17 50	- 25 53	Livingstone .	.. ..	13 5 13,3	91,7	0,926	32	134
9	-13 9	- 28 24	Luanshya ...	.. ..	13 11 54,1	97,0	0,969	32	129
10	-15 26	- 28 20	Lusaka.....	3 19,2	13 10 56,0	100,0	1,013	31	130
11	-17 50	- 25 53	Maramba ...	.. ..	13 5 13,3	91,7	0,926	32	134
12	-12 30	- 28 12	Mufulira ....	.. ..	13 11 45,1	95,1	0,953	33	129
13	-13 0	- 28 39	Ndola.....	.. ..	13 12 23,4	96,2	0,962	32	129

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Zimbabwe (Villes Principales)**

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	-20 10	- 28 43	Bulawayo ...	.. ..	13 9 14,1	87,3	0,892	28	132
2	-18 10	- 30 14	Chegututu ....	.. ..	13 12 55,5	95,8	0,959	27	130
3	-17 22	- 30 12	Chinhoyi ...	.. ..	13 13 16,1	98,3	0,980	28	129
4	-18 0	- 31 6	Chitungwiza	.. ..	13 14 24,6	97,4	0,972	27	129
5	-20 10	- 30 49	Fort Victoria	.. ..	13 12 46,3	90,0	0,912	26	130
6	-18 16	- 29 55	Gatooma ...	.. ..	13 12 20,9	95,1	0,953	28	130
7	-19 25	- 29 50	Gwelo.....	.. ..	13 11 35,2	91,2	0,922	27	131
8	-19 25	- 29 50	Gweru.....	.. ..	13 11 35,2	91,2	0,922	27	131
9	-17 43	- 31 5	Harare.....	.. ..	13 14 31,6	98,2	0,980	27	129
10	-18 10	- 30 14	Hartley.....	.. ..	13 12 55,5	95,8	0,959	27	130
11	-18 20	- 26 25	Hwange.....	.. ..	13 6 0,4	90,6	0,918	31	134
12	-18 16	- 29 55	Kadoma.....	.. ..	13 12 20,9	95,1	0,953	28	130
13	-20 20	- 28 30	Khami.....	.. ..	13 8 45,1	86,5	0,885	28	133
14	-20 10	- 30 49	Masvingo...	.. ..	13 12 46,3	90,0	0,912	26	130
15	-19 0	- 32 40	Mutare.....	.. ..	13 16 17,1	96,2	0,962	24	128
16	-18 55	- 29 51	Que Que....	.. ..	13 11 53,5	92,9	0,935	27	131
17	-20 20	- 30 5	Shabani....	.. ..	13 11 28,4	88,5	0,901	26	131
18	-18 20	- 26 25	Wankie.....	.. ..	13 6 0,4	90,6	0,918	31	134
19	-20 16	- 30 54	Zimbabwe ..	.. ..	13 12 50,7	89,7	0,911	26	130
20	-20 20	- 30 5	Zvishavane..	.. ..	13 11 28,4	88,5	0,901	26	131

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Zambie (Villes Principales)

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	41	25,4	266	121	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	28,5	98	345
2	11	41	23,5	267	121	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	27,5	98	345
3	11	53	55,1	267	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	30	47,1	99	348
4	11	42	8,4	269	123	13	10	16,9	43	277	13	12	37,7	323	197	14	27	24,3	95	341
5	11	41	44,1	267	121	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	32,5	97	344
6	11	53	55,1	267	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	30	47,1	99	348
7	11	42	6,9	267	122	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	39,4	97	345
8	11	34	12,2	275	121	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	23	6,4	88	329
9	11	42	35,9	267	122	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	46,4	97	344
10	11	41	35,9	271	123	13	9	16,1	117	350	13	12	35,3	248	122	14	26	57,5	93	338
11	11	34	12,2	275	121	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	23	6,4	88	329
12	11	42	18,3	266	121	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	44,0	98	345
13	11	43	21,9	267	122	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	28	1,0	97	345

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Zimbabwe (Villes Principales)

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	41	35,5	277	127	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	24	18,9	86	327
2	11	45	54,5	274	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	10,6	90	334
3	11	46	2,4	273	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	37,4	91	336
4	11	48	9,5	274	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	59,7	91	335
5	11	46	54,4	277	130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	16,2	88	329
6	11	45	4,1	274	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	50,4	90	333
7	11	44	35,8	276	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	25	58,1	88	330
8	11	44	35,8	276	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	25	58,1	88	330
9	11	48	12,0	273	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	28	8,8	92	336
10	11	45	54,5	274	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	10,6	90	334
11	11	35	38,3	275	122	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	23	20,5	87	328
12	11	45	4,1	274	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	50,4	90	333
13	11	41	0,4	278	127	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	23	57,4	86	326
14	11	46	54,4	277	130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	16,2	88	329
15	11	51	42,0	275	132	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	28	34,5	91	335
16	11	44	44,7	275	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	20,6	89	331
17	11	45	3,1	277	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	25	29,0	87	328
18	11	35	38,3	275	122	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	23	20,5	87	328
19	11	47	5,4	277	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	15,8	87	329
20	11	45	3,1	277	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	25	29,0	87	328

S068

**CALCUL DES CIRCONSTANCES LOCALES DE  
L'ÉCLIPSE DE SOLEIL DU 21 JUIN 2001**

**P. Rocher**



## TABLE DES MATIÈRES

<b>Avertissement</b>	
Information . . . . .	3
Précision dans le calcul des prédictions d'éclipses . . . . .	3
Recommandation . . . . .	4
<b>Généralités et définitions</b>	
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
<b>Données relatives à l'éclipse</b>	
Éphémérides de la Lune et du Soleil le 21 juin 2001 . . . . .	11
Éphémérides de la Lune et du Soleil le 22 juin 2001 . . . . .	12
Paramètres physiques utilisés dans les calculs . . . . .	13
Éléments de l'éclipse totale du 21 juin 2001 . . . . .	13
Circonstances de l'éclipse générale . . . . .	13
Éléments de Bessel sous forme polynomiale . . . . .	14
Éléments de Bessel (notation française) . . . . .	15
Éléments de Bessel (notation américaine) . . . . .	16
<b>Exemple de calcul</b>	
<b>Ligne de centralité</b>	
Ligne de centralité . . . . .	21
Circonstances locales sur la ligne de centralité . . . . .	22
<b>Circonstances locales</b>	
Circonstances locales pour des lieux géographiques donnés . . . . .	24
<b>Afrique</b>	
Afrique du Sud . . . . .	26
Angola . . . . .	26
Botswana . . . . .	28
Congo . . . . .	28
Gabon . . . . .	30
Namibie . . . . .	30
Lesotho . . . . .	32
Malawi . . . . .	32
Madagascar . . . . .	34
Mozambique . . . . .	36
Swaziland . . . . .	36
Tanzanie . . . . .	38
République démocratique du Congo . . . . .	38
Zambie . . . . .	40
Zimbabwe . . . . .	40
<b>Hors-Textes</b>	
Figures . . . . .	42
Carte générale . . . . .	44
Cartes locales . . . . .	45
Le ciel à l'instant du maximum . . . . .	48



## AVERTISSEMENT

**Information**

La présente note contient les prédictions pour l'éclipse totale du 21 juin 2001.

**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 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 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 ELP2000-82B élaborée par M. Chapront-Touzé et J. Chapront, et pour le Soleil la théorie analytique VSOP87 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  $-90^\circ$  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 =  $0^\circ$ , ouest =  $90^\circ$ , nord =  $180^\circ$ , est =  $270^\circ$ ).

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  $\Delta T_e$  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  $\Delta T_e$ . Les prévisions étant parfois faites de nombreuses années à l'avance, il arrive que la valeur réelle de cet écart  $\Delta T_r$  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  $\delta\lambda = -1,002738 \times \delta t$  ( $\lambda$  et  $\delta t$  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  $\lambda$  (positive à l'ouest et négative à l'est du méridien de Greenwich), sa latitude  $\varphi$  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  $\xi, \eta, \zeta$  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 exprimée en mètres et  $f$  l'aplatissement de l'ellipsoïde terrestre ( $f = 1/298,257 = 0,003\,352\,81$ ).

Les variations horaires  $\dot{\xi}, \dot{\eta}, \dot{\zeta}$  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  $\tau_m$  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 :

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

avec  $l = l_e$  ou  $l = l_i$  et  $\theta$  étant du signe de  $\beta$ .

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 :

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

et :

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

Comme pour le calcul du maximum on doit répéter 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  $\Gamma$  l'angle parallactique défini d'une façon approchée par :

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

$\sin \Gamma$  étant du signe de  $\xi$ .



## ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 21 JUIN 2001

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	5 58 40,6221	+23 26 17,3014	5 29 48,3076	+22 1 58,9596	- 0 28 52,3145
1	5 58 51,0282	+23 26 17,6139	5 32 21,9209	+22 6 59,6356	- 0 26 29,1074
2	5 59 1,4343	+23 26 17,8832	5 34 55,8466	+22 11 51,5748	- 0 24 5,5877
3	5 59 11,8404	+23 26 18,1096	5 37 30,0790	+22 16 34,7036	- 0 21 41,7614
4	5 59 22,2465	+23 26 18,2928	5 40 4,6119	+22 21 8,9498	- 0 19 17,6345
5	5 59 32,6525	+23 26 18,4331	5 42 39,4392	+22 25 34,2425	- 0 16 53,2133
6	5 59 43,0584	+23 26 18,5302	5 45 14,5544	+22 29 50,5124	- 0 14 28,5040
7	5 59 53,4643	+23 26 18,5843	5 47 49,9510	+22 33 57,6919	- 0 12 3,5133
8	6 0 3,8702	+23 26 18,5954	5 50 25,6223	+22 37 55,7148	- 0 9 38,2479
9	6 0 14,2760	+23 26 18,5634	5 53 1,5614	+22 41 44,5165	- 0 7 12,7146
10	6 0 24,6818	+23 26 18,4884	5 55 37,7614	+22 45 24,0343	- 0 4 46,9204
11	6 0 35,0875	+23 26 18,3703	5 58 14,2150	+22 48 54,2070	- 0 2 20,8724
12	6 0 45,4931	+23 26 18,2091	6 0 50,9151	+22 52 14,9754	+ 0 0 5,4220
13	6 0 55,8987	+23 26 18,0049	6 3 27,8541	+22 55 26,2819	+ 0 2 31,9554
14	6 1 6,3042	+23 26 17,7577	6 6 5,0244	+22 58 28,0709	+ 0 4 58,7202
15	6 1 16,7097	+23 26 17,4674	6 8 42,4185	+23 1 20,2886	+ 0 7 25,7088
16	6 1 27,1151	+23 26 17,1341	6 11 20,0283	+23 4 2,8833	+ 0 9 52,9133
17	6 1 37,5204	+23 26 16,7577	6 13 57,8461	+23 6 35,8050	+ 0 12 20,3257
18	6 1 47,9257	+23 26 16,3382	6 16 35,8638	+23 8 59,0060	+ 0 14 47,9381
19	6 1 58,3308	+23 26 15,8757	6 19 14,0730	+23 11 12,4404	+ 0 17 15,7422
20	6 2 8,7359	+23 26 15,3702	6 21 52,4657	+23 13 16,0646	+ 0 19 43,7297
21	6 2 19,1410	+23 26 14,8216	6 24 31,0333	+23 15 9,8369	+ 0 22 11,8923
22	6 2 29,5459	+23 26 14,2300	6 27 9,7673	+23 16 53,7180	+ 0 24 40,2214
23	6 2 39,9508	+23 26 13,5953	6 29 48,6593	+23 18 27,6706	+ 0 27 8,7085

## ÉPHÉMÉRIDES DE LA LUNE ET DU SOLEIL LE 22 JUIN 2001

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 2 50,3556	+23 26 12,9176		6 32 27,7005	+23 19 51,6596		+ 0 29 37,3450
1	6 3 0,7602	+23 26 12,1969		6 35 6,8822	+23 21 5,6523		+ 0 32 6,1219
2	6 3 11,1648	+23 26 11,4331		6 37 46,1955	+23 22 9,6180		+ 0 34 35,0307
3	6 3 21,5694	+23 26 10,6262		6 40 25,6316	+23 23 3,5286		+ 0 37 4,0622
4	6 3 31,9738	+23 26 9,7763		6 43 5,1814	+23 23 47,3580		+ 0 39 33,2077
5	6 3 42,3781	+23 26 8,8834		6 45 44,8361	+23 24 21,0826		+ 0 42 2,4580
6	6 3 52,7823	+23 26 7,9475		6 48 24,5864	+23 24 44,6811		+ 0 44 31,8041
7	6 4 3,1864	+23 26 6,9685		6 51 4,4234	+23 24 58,1347		+ 0 47 1,2370
8	6 4 13,5904	+23 26 5,9464		6 53 44,3378	+23 25 1,4267		+ 0 49 30,7474
9	6 4 23,9944	+23 26 4,8813		6 56 24,3205	+23 24 54,5431		+ 0 52 0,3262
10	6 4 34,3982	+23 26 3,7732		6 59 4,3623	+23 24 37,4721		+ 0 54 29,9641
11	6 4 44,8018	+23 26 2,6221		7 1 44,4539	+23 24 10,2044		+ 0 56 59,6520
12	6 4 55,2054	+23 26 1,4279		7 4 24,5861	+23 23 32,7331		+ 0 59 29,3807
13	6 5 5,6089	+23 26 0,1907		7 7 4,7497	+23 22 45,0537		+ 1 1 59,1408
14	6 5 16,0122	+23 25 58,9104		7 9 44,9354	+23 21 47,1642		+ 1 4 28,9231
15	6 5 26,4155	+23 25 57,5871		7 12 25,1340	+23 20 39,0650		+ 1 6 58,7185
16	6 5 36,8186	+23 25 56,2208		7 15 5,3362	+23 19 20,7590		+ 1 9 28,5177
17	6 5 47,2215	+23 25 54,8115		7 17 45,5330	+23 17 52,2515		+ 1 11 58,3114
18	6 5 57,6244	+23 25 53,3591		7 20 25,7150	+23 16 13,5501		+ 1 14 28,0906
19	6 6 8,0271	+23 25 51,8637		7 23 5,8732	+23 14 24,6650		+ 1 16 57,8461
20	6 6 18,4297	+23 25 50,3253		7 25 45,9984	+23 12 25,6088		+ 1 19 27,5687
21	6 6 28,8322	+23 25 48,7438		7 28 26,0817	+23 10 16,3965		+ 1 21 57,2495
22	6 6 39,2345	+23 25 47,1193		7 31 6,1140	+23 7 57,0454		+ 1 24 26,8795
23	6 6 49,6367	+23 25 45,4518		7 33 46,0864	+23 5 27,5753		+ 1 26 56,4497
24	6 7 0,0387	+23 25 43,7413		7 36 25,9900	+23 2 48,0083		+ 1 29 25,9512

## 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 :  $r_0 = 6\,378\,140\text{ m}$
  - 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) :  $\Delta T_e = 66,50\text{ s}$
- 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.

Les éphémérides utilisées pour le calcul des positions du Soleil et de la Terre sont les éphémérides SLP98 (G. Francou, 1998) élaborées au Bureau des longitudes. Pour le calcul des positions apparentes nous avons utilisé les théories suivantes : la théorie de la précession de Lieske, la théorie de la nutation de Wahr (1981) et la formule du calcul du temps sidéral d'Aoki (1992).

## ÉLÉMENTS DE L'ÉCLIPSE TOTALE DU 21 JUIN 2001

Instant de la conjonction géocentrique en ascension droite  
le 21 juin 2001 à 11h 57m 46,683s UT.

Ascension droite du Soleil .....	: 6h 0m 45,108s.
Déclinaison du Soleil .....	: $+23^\circ 26' 18,22''$ .
Ascension droite de la Lune .....	: 6h 0m 45,108s.
Déclinaison de la Lune .....	: $+22^\circ 52' 7,71''$ .
Parallaxe équatoriale du Soleil .....	: $8,65''$ .
Parallaxe équatoriale de la Lune .....	: $59' 47,80''$ .
Demi-diamètre vrai du Soleil .....	: $15' 44,27''$ .
Demi-diamètre vrai de la Lune .....	: $16' 17,60''$ .

## CIRCONSTANCES DE L'ÉCLIPSE GÉNÉRALE

magnitude : 1,0252

	UT	Longitude	Latitude
Commencement de l'éclipse générale .....	: le 21 à 9h 33,0m	$+ 41^\circ 5,6'$	$-25^\circ 4,8'$
Commencement de l'éclipse totale .....	: le 21 à 10h 35,9m	$+ 49^\circ 56,9'$	$-36^\circ 18,5'$
Commencement de l'éclipse centrale .....	: le 21 à 10h 37,0m	$+ 50^\circ 1,3'$	$-36^\circ 37,5'$
Éclipse centrale à midi ou minuit vrai .....	: le 21 à 11h 57,8m	$- 0^\circ 59,8'$	$-11^\circ 35,7'$
Maximum de l'éclipse .....	: le 21 à 12h 3,6m	$- 2^\circ 45,7'$	$-11^\circ 15,6'$
Fin de l'éclipse centrale .....	: le 21 à 13h 30,3m	$- 55^\circ 14,4'$	$-26^\circ 45,3'$
Fin de l'éclipse totale .....	: le 21 à 13h 31,5m	$- 55^\circ 7,3'$	$-26^\circ 25,1'$
Fin de l'éclipse générale .....	: le 21 à 14h 34,3m	$- 45^\circ 12,8'$	$-14^\circ 57,5'$



### 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  $t = (T - 9\text{h}) + \delta T/3600$ ,  $T$  est exprimé en heures et fraction d'heure. Ces équations ne sont valides que sur l'intervalle  $9\text{h} < T < 15\text{h}$ , ne pas les utiliser pour des valeurs extérieures à cet intervalle.  $\delta T$  représente la différence entre  $\Delta T_r$  et  $\Delta T_e$ ,  $\Delta T_e$  représente la différence estimée de TT-UT et  $\Delta T_r$  la différence réelle de TT-UT.

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

$$\begin{aligned}
 x &= -1,674\,726\,67 + 0,564\,975\,88 \times t + 0,000\,108\,45 \times t^2 - 0,000\,008\,86 \times t^3 \\
 y &= -0,737\,423\,01 + 0,055\,898\,11 \times t - 0,000\,125\,14 \times t^2 - 0,000\,000\,98 \times t^3 \\
 \sin d &= 0,397\,792\,71 - 0,000\,002\,39 \times t - 0,000\,000\,09 \times t^2 \\
 \cos d &= 0,917\,475\,31 + 0,000\,001\,04 \times t + 0,000\,000\,04 \times t^2 \\
 H &= -45,438\,202\,81 + 14,999\,193\,18 \times t + 0,000\,000\,41 \times t^2 - 0,000\,000\,02 \times t^3 - 0,004\,178\,07 \delta T \\
 u_e &= 0,537\,165\,65 - 0,000\,022\,21 \times t - 0,000\,012\,09 \times t^2 \\
 u_i &= 0,009\,173\,87 + 0,000\,022\,09 \times t + 0,000\,012\,03 \times t^2
 \end{aligned}$$

## 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					o		
9 0	-1,674 727	-0,737 423	0,397 793	0,917 475	314,561 80	0,537 166	0,009 174
9 10	-1,580 561	-0,728 110	0,397 792	0,917 475	317,061 66	0,537 162	0,009 178
9 20	-1,486 390	-0,718 804	0,397 792	0,917 476	319,561 53	0,537 157	0,009 183
9 30	-1,392 213	-0,709 505	0,397 791	0,917 476	322,061 39	0,537 152	0,009 188
9 40	-1,298 030	-0,700 214	0,397 791	0,917 476	324,561 26	0,537 145	0,009 194
9 50	-1,203 843	-0,690 929	0,397 791	0,917 476	327,061 13	0,537 139	0,009 201
10 0	-1,109 651	-0,681 651	0,397 790	0,917 476	329,560 99	0,537 131	0,009 208
10 10	-1,015 455	-0,672 380	0,397 790	0,917 477	332,060 86	0,537 123	0,009 216
10 20	-0,921 254	-0,663 117	0,397 789	0,917 477	334,560 72	0,537 115	0,009 225
10 30	-0,827 049	-0,653 861	0,397 789	0,917 477	337,060 59	0,537 105	0,009 234
10 40	-0,732 840	-0,644 612	0,397 788	0,917 477	339,560 45	0,537 095	0,009 244
10 50	-0,638 628	-0,635 370	0,397 788	0,917 477	342,060 32	0,537 084	0,009 255
11 0	-0,544 412	-0,626 135	0,397 788	0,917 478	344,560 19	0,537 073	0,009 266
11 10	-0,450 193	-0,616 908	0,397 787	0,917 478	347,060 05	0,537 061	0,009 278
11 20	-0,355 972	-0,607 688	0,397 787	0,917 478	349,559 92	0,537 048	0,009 291
11 30	-0,261 748	-0,598 475	0,397 786	0,917 478	352,059 78	0,537 035	0,009 304
11 40	-0,167 521	-0,589 270	0,397 786	0,917 478	354,559 65	0,537 020	0,009 318
11 50	-0,073 293	-0,580 072	0,397 785	0,917 479	357,059 51	0,537 006	0,009 333
12 0	0,020 938	-0,570 881	0,397 785	0,917 479	359,559 38	0,536 990	0,009 348
12 10	0,115 170	-0,561 698	0,397 784	0,917 479	2,059 25	0,536 974	0,009 365
12 20	0,209 403	-0,552 523	0,397 784	0,917 479	4,559 11	0,536 957	0,009 381
12 30	0,303 637	-0,543 355	0,397 783	0,917 479	7,058 98	0,536 940	0,009 399
12 40	0,397 873	-0,534 194	0,397 783	0,917 480	9,558 84	0,536 922	0,009 417
12 50	0,492 109	-0,525 041	0,397 782	0,917 480	12,058 71	0,536 903	0,009 435
13 0	0,586 345	-0,515 896	0,397 782	0,917 480	14,558 57	0,536 883	0,009 455
13 10	0,680 581	-0,506 758	0,397 781	0,917 480	17,058 44	0,536 863	0,009 475
13 20	0,774 818	-0,497 628	0,397 781	0,917 481	19,558 31	0,536 842	0,009 496
13 30	0,869 053	-0,488 505	0,397 780	0,917 481	22,058 17	0,536 821	0,009 517
13 40	0,963 289	-0,479 390	0,397 780	0,917 481	24,558 04	0,536 798	0,009 539
13 50	1,057 523	-0,470 283	0,397 779	0,917 481	27,057 90	0,536 776	0,009 562
14 0	1,151 756	-0,461 184	0,397 778	0,917 481	29,557 77	0,536 752	0,009 585
14 10	1,245 988	-0,452 092	0,397 778	0,917 482	32,057 64	0,536 728	0,009 610
14 20	1,340 219	-0,443 008	0,397 777	0,917 482	34,557 50	0,536 703	0,009 634
14 30	1,434 447	-0,433 932	0,397 777	0,917 482	37,057 37	0,536 677	0,009 660
14 40	1,528 673	-0,424 864	0,397 776	0,917 482	39,557 23	0,536 651	0,009 686
14 50	1,622 897	-0,415 804	0,397 776	0,917 483	42,057 10	0,536 624	0,009 713
15 0	1,717 119	-0,406 751	0,397 775	0,917 483	44,556 97	0,536 597	0,009 740

$$\tan f_e = +0,004\,600\,46$$

$$\tan f_i = -0,004\,577\,54$$

$$H' = +0,261\,785\,34 \text{ rd/h}$$

$$d' = -0,000\,003\,21 \text{ rd/h}$$

## 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	
	$x$	$y$	$\sin d$	$\cos d$	$\mu$	$l_e$	$l_i$
h m					°		
9 0	-1,674 727	-0,737 423	0,397 793	0,917 475	314,561 80	0,537 166	-0,009 174
9 10	-1,580 561	-0,728 110	0,397 792	0,917 475	317,061 66	0,537 162	-0,009 178
9 20	-1,486 390	-0,718 804	0,397 792	0,917 476	319,561 53	0,537 157	-0,009 183
9 30	-1,392 213	-0,709 505	0,397 791	0,917 476	322,061 39	0,537 152	-0,009 188
9 40	-1,298 030	-0,700 214	0,397 791	0,917 476	324,561 26	0,537 145	-0,009 194
9 50	-1,203 843	-0,690 929	0,397 791	0,917 476	327,061 13	0,537 139	-0,009 201
10 0	-1,109 651	-0,681 651	0,397 790	0,917 476	329,560 99	0,537 131	-0,009 208
10 10	-1,015 455	-0,672 380	0,397 790	0,917 477	332,060 86	0,537 123	-0,009 216
10 20	-0,921 254	-0,663 117	0,397 789	0,917 477	334,560 72	0,537 115	-0,009 225
10 30	-0,827 049	-0,653 861	0,397 789	0,917 477	337,060 59	0,537 105	-0,009 234
10 40	-0,732 840	-0,644 612	0,397 788	0,917 477	339,560 45	0,537 095	-0,009 244
10 50	-0,638 628	-0,635 370	0,397 788	0,917 477	342,060 32	0,537 084	-0,009 255
11 0	-0,544 412	-0,626 135	0,397 788	0,917 478	344,560 19	0,537 073	-0,009 266
11 10	-0,450 193	-0,616 908	0,397 787	0,917 478	347,060 05	0,537 061	-0,009 278
11 20	-0,355 972	-0,607 688	0,397 787	0,917 478	349,559 92	0,537 048	-0,009 291
11 30	-0,261 748	-0,598 475	0,397 786	0,917 478	352,059 78	0,537 035	-0,009 304
11 40	-0,167 521	-0,589 270	0,397 786	0,917 478	354,559 65	0,537 020	-0,009 318
11 50	-0,073 293	-0,580 072	0,397 785	0,917 479	357,059 51	0,537 006	-0,009 333
12 0	0,020 938	-0,570 881	0,397 785	0,917 479	359,559 38	0,536 990	-0,009 348
12 10	0,115 170	-0,561 698	0,397 784	0,917 479	2,059 25	0,536 974	-0,009 365
12 20	0,209 403	-0,552 523	0,397 784	0,917 479	4,559 11	0,536 957	-0,009 381
12 30	0,303 637	-0,543 355	0,397 783	0,917 479	7,058 98	0,536 940	-0,009 399
12 40	0,397 873	-0,534 194	0,397 783	0,917 480	9,558 84	0,536 922	-0,009 417
12 50	0,492 109	-0,525 041	0,397 782	0,917 480	12,058 71	0,536 903	-0,009 435
13 0	0,586 345	-0,515 896	0,397 782	0,917 480	14,558 57	0,536 883	-0,009 455
13 10	0,680 581	-0,506 758	0,397 781	0,917 480	17,058 44	0,536 863	-0,009 475
13 20	0,774 818	-0,497 628	0,397 781	0,917 481	19,558 31	0,536 842	-0,009 496
13 30	0,869 053	-0,488 505	0,397 780	0,917 481	22,058 17	0,536 821	-0,009 517
13 40	0,963 289	-0,479 390	0,397 780	0,917 481	24,558 04	0,536 798	-0,009 539
13 50	1,057 523	-0,470 283	0,397 779	0,917 481	27,057 90	0,536 776	-0,009 562
14 0	1,151 756	-0,461 184	0,397 778	0,917 481	29,557 77	0,536 752	-0,009 585
14 10	1,245 988	-0,452 092	0,397 778	0,917 482	32,057 64	0,536 728	-0,009 610
14 20	1,340 219	-0,443 008	0,397 777	0,917 482	34,557 50	0,536 703	-0,009 634
14 30	1,434 447	-0,433 932	0,397 777	0,917 482	37,057 37	0,536 677	-0,009 660
14 40	1,528 673	-0,424 864	0,397 776	0,917 482	39,557 23	0,536 651	-0,009 686
14 50	1,622 897	-0,415 804	0,397 776	0,917 483	42,057 10	0,536 624	-0,009 713
15 0	1,717 119	-0,406 751	0,397 775	0,917 483	44,556 97	0,536 597	-0,009 740

$$\tan f_1 = +0,004 600 46$$

$$\tan f_2 = +0,004 577 54$$

$$\mu' = +0,261 785 34 \text{ rd/h}$$

$$d' = -0,000 003 21 \text{ rd/h}$$

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

Calculer à Lichinga (Mozambique), les époques des contacts extérieurs et du maximum de l'éclipse.

Les coordonnées de Lichinga sont les suivantes :

$$\varphi = 13^\circ 40' 0,0'' \text{ S} \quad \lambda = 2 \text{ h } 20 \text{ m } 52,0 \text{ s E} \quad h = 0,0 \text{ m},$$

ce qui donne  $\rho \sin \varphi' = -0,23474$  et  $\rho \cos \varphi' = 0,97187$ .

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 <sup>er</sup> contact extérieur	Maximum	2 <sup>e</sup> contact extérieur
$t$ (UT.) .....	12 h 0 m	13 h30 m	14 h30 m
$H$ .....	-0,440 62°	22,058 17°	37,057 37°
$\sin d$ .....	0,397 78	0,397 78	0,397 78
$\cos d$ .....	0,917 48	0,917 48	0,917 48
$x$ .....	0,020 94	0,869 05	1,434 45
$\xi$ .....	0,554 32	0,817 61	0,925 73
$U = x - \xi$ .....	-0,533 39	0,051 45	0,508 72
$y$ .....	-0,570 88	-0,488 51	-0,433 93
$\eta$ .....	-0,532 91	-0,424 36	-0,333 07
$V = y - \eta$ .....	-0,037 97	-0,064 15	-0,100 86
$\dot{U} = \dot{x} - \dot{\xi}$ .....	0,356 41	0,427 87	0,487 90
$\dot{V} = \dot{y} - \dot{\eta}$ .....	-0,002 60	-0,030 43	-0,041 97
$l_e$ .....	0,534 05	0,535 03	0,535 86
$\beta$ .....	-1,495 70	0,130 24	1,052 66
$\gamma$ .....	0,005 78		-0,075 79
$\theta = \pm \sqrt{\beta^2 - \gamma}$ .....	-1,493 77		1,088 06
$\tau = -\beta + \theta$ .....	0,001 93 h		0,035 40 h
$\tau_m = -\beta$ .....		-0,130 24 h	
$t + \tau$ .....	12 h 0 m 7,0 s		14 h 32 m 7,4 s
$t + \tau_m$ .....		13 h 22 m 11,1 s	

## Deuxième approximation :

	1 <sup>er</sup> contact extérieur	Maximum	2 <sup>e</sup> contact extérieur
$t$ (UT.) .....	12 h 0 m 7,0 s	13 h 22 m 11,1 s	14 h 32 m 7,4 s
$H$ .....	-0,411 63°	20,104 67°	37,588 38°
$\sin d$ .....	0,397 78	0,397 78	0,397 78
$\cos d$ .....	0,917 48	0,917 48	0,917 48
$x$ .....	0,022 03	0,795 41	1,454 46
$\xi$ .....	0,554 73	0,799 22	0,928 43
$U = x - \xi$ .....	-0,532 70	-0,003 81	0,526 03
$y$ .....	-0,570 77	-0,495 63	-0,432 01
$\eta$ .....	-0,532 80	-0,435 32	-0,329 65
$V = y - \eta$ .....	-0,037 98	-0,060 31	-0,102 36
$\dot{U} = \dot{x} - \dot{\xi}$ .....	0,356 48	0,420 66	0,490 15
$\dot{V} = \dot{y} - \dot{\eta}$ .....	-0,002 65	-0,028 48	-0,042 26
$l_e$ .....	0,534 05	0,534 93	0,535 89
$\beta$ .....	-1,493 44	0,000 65	1,083 16
$\gamma$ .....	-0,000 01		0,000 04
$\theta = \pm \sqrt{\beta^2 - \gamma}$ .....	-1,493 45		1,083 14
$\tau = -\beta + \theta$ .....	-0,000 00 h		-0,000 02 h
$\tau_m = -\beta$ .....		-0,000 65 h	
$t + \tau$ .....	12 h 0 m 6,9 s		14 h 32 m 7,4 s
$t + \tau_m$ .....		13 h 22 m 8,8 s	
$g$ .....		0,906 3	
$P$ .....	265,9°		101,0°
$\Gamma$ .....	133,8°		109,5°
$Z = P - \Gamma$ .....	132,1°		351,5°

**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.
- $P$  : 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	<i>h</i>
h m	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	m s	°
Limites	-36 4,3	+ 50 17,2	-36 37,5	+ 50 1,3	-37 10,9	+ 49 45,2	2 9,2	...
10 38	-31 47,1	+ 41 31,7	-33 11,4	+ 42 52,0	-34 54,7	+ 44 54,9	2 24,9	7
10 40	-29 31,3	+ 37 13,3	-30 37,3	+ 37 51,9	-31 47,4	+ 38 39,6	2 38,0	12
10 45	-25 59,1	+ 30 48,1	-26 55,3	+ 31 2,1	-27 53,1	+ 31 19,3	2 59,3	20
10 50	-23 31,4	+ 26 28,3	-24 24,8	+ 26 33,7	-25 19,2	+ 26 41,1	3 15,6	26
10 55	-21 34,0	+ 23 3,8	-22 26,2	+ 23 4,6	-23 19,3	+ 23 6,9	3 29,6	30
11 0	-19 55,7	+ 20 11,6	-20 47,4	+ 20 9,5	-21 39,9	+ 20 8,5	3 42,2	34
11 5	-18 31,0	+ 17 40,8	-19 22,6	+ 17 36,7	-20 14,9	+ 17 33,6	3 53,6	37
11 10	-17 16,9	+ 15 25,2	-18 8,6	+ 15 19,7	-19 0,8	+ 15 15,0	4 4,0	40
11 15	-16 11,3	+ 13 20,9	-17 3,2	+ 13 14,4	-17 55,6	+ 13 8,6	4 13,5	43
11 20	-15 13,0	+ 11 25,3	-16 5,1	+ 11 17,9	-16 57,7	+ 11 11,3	4 22,3	45
11 25	-14 21,0	+ 9 36,3	-15 13,4	+ 9 28,4	-16 6,2	+ 9 21,2	4 30,1	47
11 30	-13 34,6	+ 7 52,5	-14 27,3	+ 7 44,3	-15 20,4	+ 7 36,7	4 37,2	49
11 35	-12 53,3	+ 6 12,8	-13 46,3	+ 6 4,5	-14 39,8	+ 5 56,5	4 43,4	51
11 40	-12 16,8	+ 4 36,3	-13 10,1	+ 4 27,9	-14 3,8	+ 4 19,8	4 48,8	52
11 45	-11 44,6	+ 3 2,3	-12 38,3	+ 2 53,8	-13 32,3	+ 2 45,7	4 53,3	53
11 50	-11 16,7	+ 1 29,9	-12 10,7	+ 1 21,5	-13 4,9	+ 1 13,4	4 56,8	54
11 55	-10 52,9	- 0 1,3	-11 47,1	- 0 9,5	-12 41,6	- 0 17,6	4 59,5	55
12 0	-10 33,1	- 1 31,8	-11 27,5	- 1 39,9	-12 22,2	- 1 47,8	5 1,1	55
12 5	-10 17,1	- 3 2,3	-11 11,7	- 3 10,1	-12 6,6	- 3 17,9	5 1,8	55
12 10	-10 5,1	- 4 33,1	-10 59,8	- 4 40,7	-11 54,8	- 4 48,3	5 1,5	55
12 15	- 9 57,0	- 6 4,7	-10 51,8	- 6 12,1	-11 46,9	- 6 19,5	5 0,3	54
12 20	- 9 52,8	- 7 37,8	-10 47,7	- 7 44,9	-11 42,9	- 7 52,2	4 58,0	54
12 25	- 9 52,8	- 9 12,7	-10 47,7	- 9 19,6	-11 42,8	- 9 26,8	4 54,7	53
12 30	- 9 57,0	- 10 50,2	-10 51,9	- 10 56,9	-11 47,0	- 11 4,0	4 50,5	51
12 35	-10 5,7	- 12 30,9	-11 0,5	- 12 37,5	-11 55,5	- 12 44,5	4 45,3	50
12 40	-10 19,2	- 14 15,6	-11 13,8	- 14 22,2	-12 8,8	- 14 29,2	4 39,1	48
12 45	-10 37,9	- 16 5,3	-11 32,4	- 16 11,9	-12 27,2	- 16 19,2	4 32,0	46
12 50	-11 2,2	- 18 1,2	-11 56,6	- 18 8,1	-12 51,3	- 18 15,7	4 24,0	44
12 55	-11 33,1	- 20 5,0	-12 27,3	- 20 12,3	-13 21,8	- 20 20,4	4 15,0	41
13 0	-12 11,3	- 22 18,7	-13 5,4	- 22 26,8	-13 59,9	- 22 35,8	4 5,0	39
13 5	-12 58,5	- 24 45,6	-13 52,5	- 24 54,8	-14 47,0	- 25 5,1	3 54,0	35
13 10	-13 56,8	- 27 30,1	-14 51,0	- 27 41,1	-15 45,6	- 27 53,6	3 41,9	32
13 15	-15 10,0	- 30 40,1	-16 4,6	- 30 54,2	-16 59,9	- 31 9,9	3 28,4	28
13 20	-16 45,0	- 34 30,4	-17 40,9	- 34 49,8	-18 37,7	- 35 11,7	3 12,9	23
13 25	-18 58,7	- 39 36,9	-19 58,6	- 40 8,7	-21 0,4	- 40 45,0	2 54,1	16
13 30	-23 17,1	- 49 6,3	-25 1,0	- 51 22,0	-27 16,9	- 55 1,3	2 22,0	4
Limites	-26 10,0	- 55 26,2	-26 45,3	- 55 14,4	-27 20,8	- 55 2,6	2 13,0	...



## CIRCONSTANCES LOCALES SUR LA LIGNE DE CENTRALITÉ

Instant		Maximum de l'éclipse					Ligne centrale				Premier contact					
UT		Durée	<i>L</i>	Obs.	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>	Latitude		Longitude		UT			<i>P</i>	<i>Z</i>
h	m	m	s	km	%	°	°	°	'	°	'	h	m	s	°	°
Limites		2	9,2	131	100,0	1,018	...	240	-36 37,5	+ 50	1,3	...	...	...	...	...
10	38	2	24,9	138	100,0	1,019	7	236	-33 11,4	+ 42	52,0	...	...	...	...	...
10	40	2	38,0	143	100,0	1,019	12	233	-30 37,3	+ 37	51,9	9	34	52,8	254	18
10	45	2	59,3	152	100,0	1,021	20	229	-26 55,3	+ 31	2,1	9	35	45,4	253	17
10	50	3	15,6	158	100,0	1,021	26	225	-24 24,8	+ 26	33,7	9	37	33,5	253	17
10	55	3	29,6	163	100,0	1,022	30	223	-22 26,2	+ 23	4,6	9	39	45,8	253	17
11	0	3	42,2	168	100,0	1,023	34	220	-20 47,4	+ 20	9,5	9	42	12,9	252	17
11	5	3	53,6	172	100,0	1,023	37	217	-19 22,6	+ 17	36,7	9	44	50,5	252	18
11	10	4	4,0	176	100,0	1,023	40	215	-18 8,6	+ 15	19,7	9	47	36,5	253	19
11	15	4	13,5	180	100,0	1,024	43	212	-17 3,2	+ 13	14,4	9	50	29,6	253	20
11	20	4	22,3	184	100,0	1,024	45	209	-16 5,1	+ 11	17,9	9	53	29,1	253	22
11	25	4	30,1	187	100,0	1,024	47	206	-15 13,4	+ 9	28,4	9	56	34,7	253	23
11	30	4	37,2	190	100,0	1,025	49	202	-14 27,3	+ 7	44,3	9	59	46,2	254	25
11	35	4	43,4	193	100,0	1,025	51	199	-13 46,3	+ 6	4,5	10	3	3,8	254	27
11	40	4	48,8	196	100,0	1,025	52	195	-13 10,1	+ 4	27,9	10	6	27,6	254	29
11	45	4	53,3	198	100,0	1,025	53	191	-12 38,3	+ 2	53,8	10	9	58,1	255	32
11	50	4	56,8	200	100,0	1,025	54	187	-12 10,7	+ 1	21,5	10	13	53,7	255	34
11	55	4	59,5	202	100,0	1,025	55	182	-11 47,1	- 0	9,5	10	17	21,0	256	37
12	0	5	1,1	203	100,0	1,025	55	178	-11 27,5	- 1	39,9	10	21	14,6	257	41
12	5	5	1,8	204	100,0	1,025	55	174	-11 11,7	- 3	10,1	10	25	17,3	257	44
12	10	5	1,5	204	100,0	1,025	55	169	-10 59,8	- 4	40,7	10	29	30,0	258	48
12	15	5	0,3	204	100,0	1,025	54	165	-10 51,8	- 6	12,1	10	33	53,6	259	53
12	20	4	58,0	203	100,0	1,025	54	161	-10 47,7	- 7	44,9	10	38	29,2	260	58
12	25	4	54,7	202	100,0	1,025	53	157	-10 47,7	- 9	19,6	10	43	17,8	261	63
12	30	4	50,5	201	100,0	1,025	51	153	-10 51,9	- 10	56,9	10	48	20,7	262	69
12	35	4	45,3	198	100,0	1,025	50	149	-11 0,5	- 12	37,5	10	53	39,2	263	75
12	40	4	39,1	196	100,0	1,025	48	146	-11 13,8	- 14	22,2	10	59	14,4	264	81
12	45	4	32,0	193	100,0	1,024	46	143	-11 32,4	- 16	11,9	11	5	7,7	265	88
12	50	4	24,0	190	100,0	1,024	44	140	-11 56,6	- 18	8,1	11	11	20,5	266	95
12	55	4	15,0	186	100,0	1,024	41	138	-12 27,3	- 20	12,3	11	17	54,2	267	102
13	0	4	5,0	182	100,0	1,024	39	135	-13 5,4	- 22	26,8	11	24	50,4	268	109
13	5	3	54,0	178	100,0	1,023	35	133	-13 52,5	- 24	54,8	11	32	10,8	269	115
13	10	3	41,9	173	100,0	1,023	32	130	-14 51,0	- 27	41,1	11	39	58,1	270	122
13	15	3	28,4	167	100,0	1,022	28	128	-16 4,6	- 30	54,2	11	48	16,4	271	128
13	20	3	12,9	161	100,0	1,022	23	126	-17 40,9	- 34	49,8	11	57	14,3	272	134
13	25	2	54,1	153	100,0	1,021	16	123	-19 58,6	- 40	8,7	12	7	15,0	273	139
13	30	2	22,0	139	100,0	1,019	4	118	-25 1,0	- 51	22,0	12	20	59,8	274	146
Limites		2	13,0	134	100,0	1,018	...	116	-26 45,3	- 55	14,4	12	23	45,0	274	147

## CIRCONSTANCES LOCALES SUR LA LIGNE DE CENTRALITÉ

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	°	°
Limites	... ..	...	...	10 38 7,7	255	25	11 43 1,9	75	213
10 38	10 36 47,8	74	205	10 39 12,7	254	25	11 48 9,9	74	214
10 40	10 38 41,2	74	205	10 41 19,2	254	25	11 53 38,7	74	216
10 45	10 43 30,6	73	206	10 46 29,9	253	26	12 4 13,4	73	221
10 50	10 48 22,5	73	207	10 51 38,1	253	28	12 13 22,9	74	226
10 55	10 53 15,5	73	209	10 56 45,2	253	30	12 21 49,9	74	232
11 0	10 58 9,3	73	212	11 1 51,5	253	32	12 29 46,9	75	237
11 5	11 3 3,6	73	214	11 6 57,2	253	35	12 37 19,3	75	243
11 10	11 7 58,4	74	217	11 12 2,4	254	38	12 44 29,8	76	249
11 15	11 12 53,6	74	220	11 17 7,2	254	41	12 51 20,0	77	255
11 20	11 17 49,3	74	223	11 22 11,5	254	45	12 57 51,0	77	261
11 25	11 22 45,3	75	227	11 27 15,4	255	49	13 4 3,7	78	268
11 30	11 27 41,7	76	231	11 32 18,9	256	53	13 9 58,9	79	274
11 35	11 32 38,6	76	235	11 37 22,0	256	57	13 15 37,4	80	279
11 40	11 37 35,9	77	240	11 42 24,7	257	62	13 21 0,0	81	285
11 45	11 42 33,6	78	245	11 47 26,8	258	67	13 26 7,6	82	290
11 50	11 47 31,8	78	250	11 52 28,6	259	72	13 31 0,9	83	295
11 55	11 52 30,4	79	256	11 57 29,8	259	78	13 35 40,9	84	299
12 0	11 57 29,5	80	261	12 2 30,6	260	84	13 40 8,4	84	304
12 5	12 2 29,1	81	267	12 7 30,9	261	89	13 44 24,3	85	308
12 10	12 7 29,2	82	273	12 12 30,7	262	95	13 48 29,3	86	311
12 15	12 12 29,8	83	278	12 17 30,0	263	100	13 52 24,2	87	315
12 20	12 17 30,8	84	284	12 22 28,8	264	106	13 56 9,8	88	318
12 25	12 22 32,4	85	289	12 27 27,1	265	111	13 59 46,7	89	321
12 30	12 27 34,5	86	294	12 32 25,0	266	116	14 3 15,4	89	324
12 35	12 32 37,0	87	299	12 37 22,3	267	121	14 6 36,3	90	326
12 40	12 37 40,1	88	304	12 42 19,2	268	125	14 9 50,0	91	328
12 45	12 42 43,6	88	308	12 47 15,6	269	129	14 12 56,5	91	331
12 50	12 47 47,6	89	312	12 52 11,6	269	133	14 15 56,1	92	333
12 55	12 52 52,1	90	316	12 57 7,1	270	137	14 18 48,5	92	334
13 0	12 57 57,1	91	319	13 2 2,1	271	140	14 21 33,4	93	336
13 5	13 3 2,6	92	322	13 6 56,6	272	143	14 24 9,8	93	337
13 10	13 8 8,7	92	325	13 11 50,6	272	146	14 26 36,2	94	339
13 15	13 13 15,5	93	328	13 16 43,8	273	149	14 28 49,6	94	340
13 20	13 18 23,2	94	331	13 21 36,1	274	151	14 30 43,5	94	341
13 25	13 23 32,7	94	333	13 26 26,7	274	153	14 32 1,4	94	341
13 30	13 28 48,8	94	335	13 31 10,8	274	155	... ..	...	...
Limites	13 29 11,7	94	335	... ..	...	...	... ..	...	...



**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**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>
	° /	° /			h m s	%	°	°	
1	-26 12	- 28 18	Benoni .....	.. ..	13 4 16,5	68,1	0,739	25	136
2	-29 7	- 26 14	Bloemfontein ...	.. ..	12 57 59,0	57,8	0,656	25	139
3	-26 13	- 28 15	Boksburg .....	.. ..	13 4 10,3	67,9	0,738	25	136
4	-26 15	- 28 22	Brakpan .....	.. ..	13 4 21,2	68,0	0,739	25	135
5	-26 22	- 27 25	Carletonville....	.. ..	13 2 32,3	66,6	0,728	25	137
6	-29 53	- 31 0	Durban .....	.. ..	13 5 36,1	60,6	0,679	20	134
7	-33 0	- 27 54	East London....	.. ..	12 57 21,8	49,6	0,587	21	139
8	-26 15	- 28 10	Germiston .....	.. ..	13 3 59,8	67,8	0,737	25	136
9	-26 10	- 28 2	Johannesburg ...	.. ..	13 3 49,4	67,9	0,738	25	136
10	-28 45	- 24 46	Kimberley .....	.. ..	12 55 25,1	57,5	0,653	26	141
11	-27 40	- 27 15	Kroonstad .....	.. ..	13 1 9,2	62,8	0,697	25	137
12	-26 6	- 27 45	Krugersdorp ....	.. ..	13 3 21,8	67,8	0,737	25	136
13	-33 56	- 18 28	Le Cap .....	.. ..	12 37 0,9	41,1	0,513	27	152
14	-29 36	- 34 24	Pietermaritzburg	.. ..	13 10 52,5	65,3	0,717	17	131
15	-33 58	- 25 36	Port Elisabeth ..	.. ..	12 52 10,3	45,4	0,552	22	142
16	-26 42	- 27 6	Potchefstroom ..	.. ..	13 1 40,8	65,3	0,717	25	137
17	-25 45	- 28 12	Pretoria .....	.. ..	13 4 27,3	69,3	0,749	25	135
18	-26 10	- 27 53	Roodepoort .....	.. ..	13 3 33,1	67,7	0,736	25	136
19	-26 16	- 28 26	Springs .....	.. ..	13 4 27,5	68,0	0,739	25	135
20	-33 46	- 25 25	Uitenhage .....	.. ..	12 52 1,3	45,7	0,554	22	142
21	-26 41	- 27 50	Vanderbijlpark ..	.. ..	13 3 2,6	66,2	0,724	25	136
22	-26 41	- 27 56	Vereeniging .....	.. ..	13 3 13,4	66,3	0,725	25	136
23	-27 59	- 26 44	Welkom .....	.. ..	12 59 55,2	61,4	0,685	25	138

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Angola (Villes principales)**

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>
	° /	° /			h m s	%	°	°	
1	-12 34	- 13 24	Benguela ...	.. ..	12 36 41,7	98,8	0,985	48	149
2	-12 25	- 16 58	Bie .....	2 34,2	12 46 45,8	100,0	1,004	45	142
3	- 5 34	- 12 12	Cabinda ...	.. ..	12 35 28,1	85,0	0,872	55	146
4	-12 47	- 15 44	Huambo ...	.. ..	12 43 16,1	99,2	0,988	46	145
5	-12 25	- 16 58	Kuito .....	2 34,2	12 46 45,8	100,0	1,004	45	142
6	-12 20	- 13 34	Lobito .....	.. ..	12 37 16,5	99,5	0,992	48	148
7	- 8 50	- 13 15	Luanda ....	.. ..	12 37 34,6	96,3	0,962	51	146
8	-14 55	- 13 30	Lubango ...	.. ..	12 36 0,6	91,3	0,922	46	150
9	- 9 36	- 16 21	Malanje .....	.. ..	12 46 1,7	97,2	0,970	47	141
10	-15 10	- 12 10	Mocamedes	.. ..	12 31 55,5	90,0	0,912	47	153
11	-12 47	- 15 44	Nova Lisboa	.. ..	12 43 16,1	99,2	0,988	46	145

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Afrique du Sud**

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	40	13,8	285	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	17	22,4	77	311
2	11	35	32,4	289	130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	10	35,2	71	301
3	11	40	6,6	286	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	17	17,6	77	311
4	11	40	23,4	286	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	17	23,1	77	311
5	11	38	6,0	286	130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	16	6,1	76	309
6	11	46	16,2	289	137	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	15	12,1	73	305
7	11	39	51,3	294	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	6	21,1	67	294
8	11	39	54,7	286	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	17	9,1	76	311
9	11	39	35,3	285	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	17	6,3	77	311
10	11	31	53,4	289	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	9	7,2	71	300
11	11	37	47,8	288	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	14	5,2	74	306
12	11	38	53,9	285	130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	16	51,4	76	311
13	11	17	57,1	295	123	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	13	49	34,6	60	278
14	11	53	4,9	288	140	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	18	57,8	76	310
15	11	35	1,4	295	133	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	1	23,4	64	288
16	11	37	21,0	286	130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	15	15,5	75	308
17	11	39	58,8	285	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	17	50,4	77	312
18	11	39	13,5	286	130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	16	55,7	76	311
19	11	40	33,0	286	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	17	26,4	77	311
20	11	34	34,2	295	133	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	1	29,5	64	288
21	11	39	7,7	286	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	16	10,7	76	309
22	11	39	22,1	286	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	16	17,8	76	309
23	11	36	35,3	288	130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	12	57,9	73	304

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Angola (Villes principales)**

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	10	55	45,9	265	80	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	7	27,0	88	323
2	11	7	24,7	266	92	12	45	28,4	144	4	12	48	2,7	214	75	14	13	53,5	90	330
3	10	55	15,5	254	65	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	6	16,7	99	340
4	11	3	18,7	266	88	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	11	38,2	89	327
5	11	7	24,7	266	92	12	45	28,4	144	4	12	48	2,7	214	75	14	13	53,5	90	330
6	10	56	21,1	265	80	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	7	53,0	88	324
7	10	56	32,7	260	74	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	8	20,5	94	333
8	10	55	50,6	269	84	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	6	14,2	84	318
9	11	6	19,2	262	86	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	13	40,4	94	336
10	10	51	33,9	269	80	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	3	22,1	83	315
11	11	3	18,7	266	88	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	11	38,2	89	327

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Botswana**

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	-21 58	- 28 26	Bobonong ..	.. ..	13 7 36,6	81,2	0,843	27	133
2	-21 11	- 27 32	Francistown	.. ..	13 6 28,7	82,6	0,855	28	134
3	-24 45	- 25 55	Gaborone ..	.. ..	13 0 56,3	69,8	0,753	28	137
4	-24 59	- 25 19	Kanye.....	.. ..	12 59 34,3	68,5	0,743	28	138
5	-25 11	- 25 40	Lobatsi.....	.. ..	13 0 7,1	68,3	0,741	28	138
6	-23 5	- 26 51	Mahalapye .	.. ..	13 3 56,5	75,8	0,801	28	136
7	-20 0	- 23 25	Maun.....	.. ..	12 58 55,3	82,0	0,849	33	138
8	-24 28	- 26 5	Mochudi...	.. ..	13 1 28,5	70,8	0,761	28	137
9	-24 25	- 25 30	Molepolole .	.. ..	13 0 21,6	70,4	0,758	28	138
10	-24 56	- 25 50	Ramotswa..	.. ..	13 0 38,2	69,2	0,748	28	138
11	-22 1	- 27 50	Selebi-Pikwe	.. ..	13 6 29,7	80,3	0,836	28	134
12	-22 25	- 26 44	Serowe.....	.. ..	13 4 10,5	77,8	0,817	28	135
13	-20 26	- 27 2	Tutume....	.. ..	13 6 0,3	84,5	0,869	29	134

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Congo**

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	- 4 14	- 15 14	Brazzaville .	.. ..	12 44 15,7	78,5	0,821	53	139
2	- 4 44	- 11 52	Loandjili ...	.. ..	12 34 42,9	82,0	0,849	56	146
3	- 4 9	- 12 47	Loubomo...	.. ..	12 37 29,5	79,5	0,829	55	143
4	- 2 55	- 12 48	Mossendjo..	.. ..	12 37 48,0	74,9	0,792	56	142
5	- 4 6	- 15 5	Ngamaba...	.. ..	12 43 52,9	78,1	0,818	53	139
6	- 4 7	- 13 17	N'Kayi.....	.. ..	12 38 54,8	79,2	0,826	55	142
7	- 4 46	- 11 53	Pointe-Noire	.. ..	12 34 45,3	82,2	0,850	56	146

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Botswana

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	40	39,9	280	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	22	23,4	83	322
2	11	38	23,5	279	126	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	22	10,6	84	323
3	11	34	12,2	284	126	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	16	19,8	77	311
4	11	32	39,9	284	125	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	15	15,2	76	310
5	11	33	35,9	285	126	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	15	27,3	76	310
6	11	36	32,8	282	126	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	19	27,0	80	317
7	11	27	0,8	278	117	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	18	17,6	83	320
8	11	34	36,8	284	126	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	16	53,7	78	312
9	11	33	5,1	284	125	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	16	12,6	77	312
10	11	34	0,2	284	126	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	15	59,5	77	311
11	11	39	7,3	280	127	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	21	41,7	83	321
12	11	36	14,4	281	126	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	20	2,2	81	318
13	11	37	7,0	278	125	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	22	18,9	84	324

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Congo

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	6	10,8	253	76	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	11	14,6	103	348
2	10	54	53,7	252	62	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	5	27,0	100	341
3	10	58	20,0	252	65	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	6	59,1	101	344
4	10	59	36,0	250	64	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	6	29,6	103	348
5	11	5	48,6	253	75	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	10	56,7	103	348
6	10	59	57,9	252	67	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	7	52,5	102	345
7	10	54	55,1	253	62	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	5	29,5	100	341



**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS  
Gabon**

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	- 1 40	- 13 31	Franceville ..	.. ..	12 40 0,8	69,8	0,752	56	140
2	- 1 12	- 12 29	Koulamoutou	.. ..	12 37 13,8	68,5	0,742	58	141
3	- 0 41	- 10 13	Lambarene ..	.. ..	12 30 53,8	67,3	0,732	60	146
4	+ 0 30	- 9 25	Libreville....	.. ..	12 28 51,6	62,9	0,697	62	147
5	- 1 50	- 11 2	Mouila .....	.. ..	12 32 59,6	71,4	0,765	59	145
6	+ 1 34	- 11 31	Oyama .....	.. ..	12 34 59,3	58,4	0,660	61	140
7	+ 1 34	- 11 31	Oyem .....	.. ..	12 34 59,3	58,4	0,660	61	140
8	- 0 40	- 8 50	Port Gentil..	.. ..	12 26 52,3	67,4	0,733	62	150
9	- 2 49	- 11 0	Tchibanga...	.. ..	12 32 40,2	75,1	0,794	58	146

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS  
Namibie**

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	-26 36	- 18 8	Keetmanshoop	.. ..	12 42 2,4	58,3	0,660	33	149
2	-26 38	- 15 10	Luderitz .....	.. ..	12 34 13,0	56,8	0,647	35	154
3	-20 29	- 16 36	Otjiwarongo ..	.. ..	12 41 59,1	75,0	0,794	39	148
4	-22 40	- 14 34	Swakopmund .	.. ..	12 35 4,2	67,4	0,734	39	153
5	-19 13	- 17 42	Tsumeb .....	.. ..	12 45 37,7	79,6	0,830	39	146
6	-22 59	- 14 31	Walvis Bay ...	.. ..	12 34 44,4	66,5	0,726	39	153
7	-22 34	- 17 6	Windhoek .....	.. ..	12 42 4,9	69,0	0,746	37	148

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Gabon

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	3	16,1	248	65	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	7	2,6	106	352
2	11	0	33,0	247	60	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	4	54,6	106	352
3	10	54	12,4	245	49	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	0	14,9	106	349
4	10	53	27,8	243	43	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	13	57	42,6	107	351
5	10	55	15,9	247	54	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	2	36,1	104	348
6	11	1	23,5	242	52	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	0	47,9	110	358
7	11	1	23,5	242	52	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	0	47,9	110	358
8	10	50	6,2	244	43	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	13	57	23,7	105	347
9	10	54	3,1	249	56	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	3	3,5	102	345

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Namibie

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	13	16,1	286	113	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	1	41,3	70	296
2	11	4	36,8	285	107	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	13	55	58,1	68	291
3	11	6	26,9	278	101	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	7	1,1	78	308
4	11	0	52,0	280	99	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	0	28,4	73	300
5	11	9	37,2	276	103	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	10	18,5	80	313
6	11	0	50,8	280	100	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	13	59	57,4	73	299
7	11	8	36,6	281	106	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	5	27,1	75	304

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Lesotho

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	-28 52	- 28 3	Leribe . . . . .	.. ..	13 1 33,9	60,3	0,676	23	137
2	-29 49	- 27 14	Mafeteng . . . .	.. ..	12 59 13,7	56,9	0,649	23	138
3	-29 19	- 27 29	Maseru . . . . .	.. ..	13 0 8,4	58,5	0,662	24	138
4	-30 9	- 27 29	Mohales Hoek	.. ..	12 59 22,7	56,3	0,644	23	138
5	-29 9	- 27 45	Teyateyaneng	.. ..	13 0 46,4	59,2	0,668	23	138

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Malawi

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	-15 46	- 35 0	Blantyre . . .	.. ..	13 21 5,1	96,8	0,967	24	125
2	- 9 54	- 33 55	Karonga . . .	.. ..	13 21 23,2	77,6	0,815	28	123
3	-13 58	- 33 49	Lilongwe . . .	.. ..	13 20 9,9	92,4	0,931	26	125
4	-11 31	- 34 0	Mzuzu . . . . .	.. ..	13 21 8,8	83,3	0,860	27	124
5	-12 55	- 34 19	Nkhotakota	.. ..	13 21 11,4	87,9	0,896	26	124
6	-15 22	- 35 22	Zomba . . . . .	.. ..	13 21 43,5	94,9	0,952	23	125

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Lesotho

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	39	46,6	289	133	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	13	19,0	73	304
2	11	37	59,3	290	132	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	10	48,8	71	301
3	11	38	30,6	290	132	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	11	55,1	72	302
4	11	38	36,1	291	133	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	10	36,5	70	300
5	11	39	6,6	289	132	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	12	30,8	72	303

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Malawi

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	58	29,8	269	133	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	31	34,2	97	346
2	11	59	17,3	261	129	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	31	22,4	106	359
3	11	56	33,6	267	131	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	31	22,4	99	349
4	11	58	25,3	263	130	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	31	37,2	104	355
5	11	58	22,0	265	131	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	31	45,7	102	352
6	11	59	33,0	268	133	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	14	31	52,3	98	347

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Madagascar (Villes principales)**

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	-17 49	- 48 28	Ambatondrazaka	.. ..	13 32 43,2	82,9	0,857	9	118
2	-21 21	- 43 31	Ambohilé.....	2 41,0	13 27 18,4	100,0	1,017	13	122
3	-22 17	- 44 30	Ankazoabo.....	2 19,5	13 27 31,2	100,0	1,010	11	121
4	-18 52	- 47 30	Antananarivo...	.. ..	13 31 37,2	88,2	0,899	10	119
5	-12 19	- 49 17	Antsiranan.....	.. ..	13 35 8,5	61,7	0,689	11	117
6	-23 16	- 46 1	Betroka.....	1 3,4	13 28 0,5	100,0	1,002	9	121
7	-12 19	- 49 17	Diego-Suare....	.. ..	13 35 8,5	61,7	0,689	11	117
8	-22 49	- 47 49	Farafangana....	1 23,9	13 29 31,9	100,0	1,003	8	120
9	-21 27	- 47 5	Fianarantsoa...	.. ..	13 29 55,0	97,7	0,975	9	120
10	-22 24	- 46 7	Ihosalotra.....	2 26,6	13 28 39,5	100,0	1,013	10	120
11	-15 40	- 46 20	Mahajanga.....	.. ..	13 32 16,2	78,6	0,824	12	119
12	-21 12	- 46 5	Mahasoa.....	.. ..	13 29 22,9	98,3	0,981	10	120
13	-15 40	- 46 20	Majunga.....	.. ..	13 32 16,2	78,6	0,824	12	119
14	-21 26	- 44 20	Manja.....	2 13,8	13 27 55,4	100,0	1,009	12	121
15	-22 9	- 48 0	Manakara.....	.. ..	13 30 4,5	98,5	0,983	8	119
16	-20 19	- 44 17	Morondava.....	.. ..	13 28 32,6	98,1	0,979	12	121
17	-18 10	- 49 23	Toamasina.....	.. ..	13 33 4,8	82,6	0,855	8	118
18	-23 20	- 43 41	Toliara.....	.. ..	13 26 9,4	97,3	0,972	12	122
19	-23 21	- 47 36	Vangaindrano...	2 31,5	13 29 2,2	100,0	1,018	8	120

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Madagascar (Villes Principales)**

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	12	22	38,6	265	142	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
2	12	12	27,2	273	142	13	25	57,7	84	324	13	28	38,7	284	164	..	..	..	..	..	..
3	12	13	29,1	274	143	13	26	21,3	124	3	13	28	40,8	245	124	..	..	..	..	..	..
4	12	20	23,4	267	142	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
5	12	28	47,1	256	139	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
6	12	15	10,6	274	144	13	27	28,7	160	39	13	28	32,1	208	88	..	..	..	..	..	..
7	12	28	47,1	256	139	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
8	12	18	2,4	273	144	13	28	49,8	38	279	13	30	13,7	331	212	..	..	..	..	..	..
9	12	17	55,7	271	143	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
10	12	15	52,8	273	143	13	27	26,0	74	315	13	29	52,6	294	175	..	..	..	..	..	..
11	12	21	1,9	263	140	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
12	12	16	36,6	271	143	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
13	12	21	1,9	263	140	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
14	12	13	44,0	273	142	13	26	48,3	60	301	13	29	2,1	308	189	..	..	..	..	..	..
15	12	18	45,1	272	144	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
16	12	14	20,6	271	142	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
17	12	23	41,4	265	142	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
18	12	11	35,4	276	143	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
19	12	17	23,0	274	144	13	27	46,3	97	337	13	30	17,8	271	152	..	..	..	..	..	..

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Mozambique (Villes Principales)

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>		
	°	'	°	'			h	m	s	%	°	°	
1	-19	49	-34	52	Beira . . . . .	..	..	..	13 18 55,2	96,5	0,965	22	127
2	-24	40	-33	33	Chibuto . . . .	..	..	..	13 13 52,7	79,0	0,826	21	130
3	-22	20	-40	20	Europa (île)	..	..	..	13 23 44,9	95,9	0,960	15	124
4	-23	51	-35	29	Inhambane . .	..	..	..	13 17 6,9	84,1	0,867	19	128
5	-13	40	-35	13	Lichinga . . .	..	..	..	13 22 8,8	89,2	0,906	24	124
6	-16	30	-33	31	Mandie . . . .	2	1,5		13 18 44,8	100,0	1,005	25	126
7	-25	58	-32	35	Maputo . . . .	..	..	..	13 11 27,3	73,7	0,785	21	131
8	-13	20	-34	59	Meponda . . .	..	..	..	13 21 57,0	88,4	0,900	25	124
9	-14	30	-40	37	Nacala . . . .	..	..	..	13 27 58,7	83,7	0,864	18	121
10	-15	9	-39	14	Nampula . . .	..	..	..	13 26 20,2	88,2	0,899	19	122
11	-17	53	-36	51	Quelimane . .	1	40,8		13 22 27,6	100,0	1,003	21	125
12	-16	10	-33	35	Tete . . . . .	..	..	..	13 18 59,2	99,7	0,995	25	126
13	-25	4	-33	38	Xai Xai . . . .	..	..	..	13 13 41,4	77,8	0,817	20	130

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Swaziland

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>		
	°	'	°	'			h	m	s	%	°	°	
1	-26	48	-31	56	Big-Bend . . .	..	..	..	13 9 47,5	70,4	0,758	21	132
2	-27	6	-31	12	Goedgegun . .	..	..	..	13 8 24,0	68,7	0,744	22	133
3	-26	30	-31	22	Manzini . . . .	..	..	..	13 9 9,8	70,7	0,760	22	133
4	-26	20	-31	8	Mbabane . . . .	..	..	..	13 8 55,9	70,9	0,762	22	133
5	-26	2	-31	50	Mhlume . . . .	..	..	..	13 10 16,1	72,6	0,776	22	132
6	-27	6	-31	12	Nhlangano . .	..	..	..	13 8 24,0	68,7	0,744	22	133
7	-25	58	-31	17	Pigg'S Peak	..	..	..	13 9 28,0	72,1	0,772	22	132

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Mozambique (Villes Principales)

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	56	29,6	275	135	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	29	32,3	91	335
2	11	52	16,4	282	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	24	23,2	83	322
3	12	6	25,9	276	141	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	30	36,1	91	336
4	11	56	31,0	280	138	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	40,4	85	326
5	12	0	6,9	266	132	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	32	7,4	101	351
6	11	54	38,8	271	132	13	17	43,8	41	278	13	19	45,3	326	203	14	30	27,6	95	342
7	11	49	58,5	284	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	22	4,8	80	317
8	11	59	44,9	266	132	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	32	3,0	101	352
9	12	11	27,2	265	137	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	33	50,1	104	356
10	12	8	11,4	266	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	33	25,3	102	353
11	12	1	38,1	271	136	13	21	37,0	37	275	13	23	17,7	331	210	14	31	41,6	95	343
12	11	54	56,9	270	132	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	30	37,9	96	343
13	11	52	22,1	283	137	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	24	1,2	82	321

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Swaziland

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	48	28,2	285	136	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	20	26,9	78	314
2	11	46	51,0	286	135	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	19	20,3	77	313
3	11	47	16,0	285	135	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	20	16,6	78	314
4	11	46	46,0	285	135	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	20	15,3	78	314
5	11	48	20,4	284	135	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	21	18,4	79	316
6	11	46	51,0	286	135	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	19	20,3	77	313
7	11	47	8,0	284	135	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	20	51,5	79	315



**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS  
Tanzanie**

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	- 3	23	- 36	40	Arusha . . . . .	..	..	13	25	18,8	49,8	0,589	28	119
2	- 6	51	- 39	18	Dar Es Salaam . . . . .	..	..	13	28	13,4	58,1	0,659	23	119
3	- 6	10	- 35	40	Dodoma . . . . .	..	..	13	24	6,8	61,3	0,684	28	121
4	- 7	49	- 35	39	Iringa . . . . .	..	..	13	23	58,1	67,3	0,733	27	121
5	- 4	52	- 29	36	Kigoma . . . . .	..	..	13	15	24,0	65,4	0,718	35	123
6	- 7	56	- 39	40	Kilindoni . . . . .	..	..	13	28	30,6	61,5	0,686	22	119
7	- 4	5	- 37	55	Kisiwani . . . . .	..	..	13	26	46,6	50,4	0,594	26	119
8	- 4	45	- 35	49	Kolo . . . . .	..	..	13	24	19,7	55,9	0,640	28	120
9	- 8	54	- 33	29	Mbeya . . . . .	..	..	13	20	57,4	74,6	0,791	29	123
10	-10	50	- 39	14	Mkoma . . . . .	..	..	13	27	36,5	72,7	0,776	21	121
11	- 6	49	- 37	40	Morogoro . . . . .	..	..	13	26	27,4	60,6	0,679	25	120
12	- 3	21	- 37	19	Moshi . . . . .	..	..	13	26	4,0	48,7	0,580	27	119
13	-10	17	- 40	11	Mtwara . . . . .	..	..	13	28	41,2	69,1	0,748	21	120
14	- 1	31	- 33	49	Musoma . . . . .	..	..	13	21	33,0	47,4	0,568	32	119
15	- 2	31	- 32	56	Mwanza . . . . .	..	..	13	20	25,4	52,2	0,609	33	120
16	- 5	1	- 32	48	Tabora . . . . .	..	..	13	20	18,6	61,4	0,685	31	121
17	- 5	7	- 39	5	Tanga . . . . .	..	..	13	28	3,1	52,3	0,610	24	119
18	- 5	3	- 39	41	Wete . . . . .	..	..	13	28	40,2	51,1	0,600	24	118
19	- 6	10	- 39	12	Zanzibar . . . . .	..	..	13	28	9,2	55,8	0,640	24	119

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS  
République Démocratique du Congo**

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	- 3	20	- 17	24	Bandundu . . . . .	..	..	12	50	2,7	73,6	0,782	51	134
2	- 2	30	- 28	50	Bukavu . . . . .	..	..	13	14	5,3	57,8	0,655	38	122
3	+ 3	13	- 19	48	Gemena . . . . .	..	..	12	55	47,7	47,2	0,566	52	125
4	- 5	53	- 22	26	Kananga . . . . .	..	..	13	1	38,5	78,2	0,819	43	130
5	- 5	2	- 18	51	Kikwit . . . . .	..	..	12	53	26,6	78,7	0,823	48	134
6	- 4	18	- 15	18	Kinshasa . . . . .	..	..	12	44	25,8	78,7	0,823	52	139
7	+ 0	33	- 25	14	Kisangani . . . . .	..	..	13	7	21,8	51,2	0,601	44	123
8	-10	45	- 25	25	Kolwezi . . . . .	..	..	13	6	59,4	92,5	0,932	37	130
9	-10	58	- 26	47	Likasi . . . . .	..	..	13	9	35,0	91,5	0,924	35	129
10	-11	41	- 27	29	Lubumbashi . . . . .	..	..	13	10	41,6	93,2	0,937	34	129
11	- 5	50	- 13	32	Matadi . . . . .	..	..	12	39	13,7	85,4	0,876	53	143
12	+ 0	3	- 18	28	Mbandaka . . . . .	..	..	12	52	51,8	60,0	0,673	52	130
13	- 6	10	- 23	39	Mbuji-Mayi . . . . .	..	..	13	4	12,8	77,9	0,817	42	129

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Tanzanie

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> contact				
	UT			P	Z	UT			P	Z	UT			P	Z	UT			P	Z
	h	m	s	o	o	h	m	s	o	o	h	m	s	o	o	h	m	s	o	o
1	12	12	17,2	248	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	28	29,7	120	20
2	12	14	56,4	253	132	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	31	32,4	116	14
3	12	6	49,7	254	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	30	28,0	114	11
4	12	5	17,9	256	130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	31	20,6	111	7
5	11	51	26,6	254	120	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	5,8	112	7
6	12	14	43,3	254	133	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	32	12,3	114	12
7	12	14	35,9	249	130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	29	17,5	120	20
8	12	8	37,3	251	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	29	31,0	117	15
9	11	58	53,5	259	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	30	55,8	108	2
10	12	11	14,7	260	134	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	33	15,2	109	4
11	12	11	8,5	254	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	31	18,1	115	12
12	12	13	57,7	248	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	28	32,7	121	21
13	12	13	45,7	258	134	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	33	15,2	110	6
14	12	6	59,8	246	125	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	0,9	121	21
15	12	3	22,0	248	124	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	46,9	119	18
16	12	0	22,0	253	125	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	28	46,3	114	11
17	12	16	14,6	250	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	30	16,1	119	18
18	12	17	43,0	249	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	30	14,5	119	19
19	12	15	24,1	252	132	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	31	4,4	117	16

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
République Démocratique du Congo

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> contact				
	UT			P	Z	UT			P	Z	UT			P	Z	UT			P	Z
	h	m	s	o	o	h	m	s	o	o	h	m	s	o	o	h	m	s	o	o
1	11	14	7,7	252	84	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	14	8,1	105	354
2	11	51	32,5	250	118	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	24	53,5	115	12
3	11	30	26,3	241	92	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	10	59,0	119	15
4	11	28	26,4	257	104	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	21	35,9	105	355
5	11	17	23,6	255	91	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	16	55,0	104	352
6	11	6	20,3	253	76	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	11	22,6	102	348
7	11	44	4,4	245	110	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	19	24,7	118	15
8	11	34	52,9	264	114	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	25	23,1	99	346
9	11	38	53,1	264	118	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	40,1	99	347
10	11	40	36,3	265	119	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	13,8	99	347
11	10	59	19,9	255	71	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	8	47,6	99	341
12	11	21	27,3	246	87	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	13	5,0	112	5
13	11	32	7,8	257	107	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	22	58,9	105	355

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Zambie (Villes Principales)**

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	-12 20	- 27 52	Chilabombwe	.. ..	13 11 12,2	94,9	0,952	33	129
2	-12 31	- 27 53	Chingola....	.. ..	13 11 10,7	95,5	0,957	33	129
3	-13 40	- 32 42	Chipata.....	.. ..	13 18 40,5	92,9	0,936	27	126
4	-14 29	- 28 25	Kabwe.....	2 20,8	13 11 27,6	100,0	1,005	31	130
5	-12 50	- 28 3	Kalulushi...	.. ..	13 11 22,8	96,4	0,964	33	129
6	-13 40	- 32 42	Katolala....	.. ..	13 18 40,5	92,9	0,936	27	126
7	-12 50	- 28 11	Kitwe-Nkana	.. ..	13 11 37,1	96,2	0,962	32	129
8	-17 50	- 25 53	Livingstone.	.. ..	13 5 13,3	91,7	0,926	32	134
9	-13 9	- 28 24	Luanshya...	.. ..	13 11 54,1	97,0	0,969	32	129
10	-15 26	- 28 20	Lusaka.....	3 19,2	13 10 56,0	100,0	1,013	31	130
11	-17 50	- 25 53	Maramba...	.. ..	13 5 13,3	91,7	0,926	32	134
12	-12 30	- 28 12	Mufulira....	.. ..	13 11 45,1	95,1	0,953	33	129
13	-13 0	- 28 39	Ndola.....	.. ..	13 12 23,4	96,2	0,962	32	129

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
**Zimbabwe (Villes Principales)**

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	-20 10	- 28 43	Bulawayo...	.. ..	13 9 14,1	87,3	0,892	28	132
2	-18 10	- 30 14	Chegutu....	.. ..	13 12 55,5	95,8	0,959	27	130
3	-17 22	- 30 12	Chinhoyi...	.. ..	13 13 16,1	98,3	0,980	28	129
4	-18 0	- 31 6	Chitungwiza	.. ..	13 14 24,6	97,4	0,972	27	129
5	-20 10	- 30 49	Fort Victoria	.. ..	13 12 46,3	90,0	0,912	26	130
6	-18 16	- 29 55	Gatooma...	.. ..	13 12 20,9	95,1	0,953	28	130
7	-19 25	- 29 50	Gwelo.....	.. ..	13 11 35,2	91,2	0,922	27	131
8	-19 25	- 29 50	Gweru.....	.. ..	13 11 35,2	91,2	0,922	27	131
9	-17 43	- 31 5	Harare.....	.. ..	13 14 31,6	98,2	0,980	27	129
10	-18 10	- 30 14	Hartley....	.. ..	13 12 55,5	95,8	0,959	27	130
11	-18 20	- 26 25	Hwange....	.. ..	13 6 0,4	90,6	0,918	31	134
12	-18 16	- 29 55	Kadoma....	.. ..	13 12 20,9	95,1	0,953	28	130
13	-20 20	- 28 30	Khami.....	.. ..	13 8 45,1	86,5	0,885	28	133
14	-20 10	- 30 49	Masvingo...	.. ..	13 12 46,3	90,0	0,912	26	130
15	-19 0	- 32 40	Mutare....	.. ..	13 16 17,1	96,2	0,962	24	128
16	-18 55	- 29 51	Que Que....	.. ..	13 11 53,5	92,9	0,935	27	131
17	-20 20	- 30 5	Shabani....	.. ..	13 11 28,4	88,5	0,901	26	131
18	-18 20	- 26 25	Wankie.....	.. ..	13 6 0,4	90,6	0,918	31	134
19	-20 16	- 30 54	Zimbabwe..	.. ..	13 12 50,7	89,7	0,911	26	130
20	-20 20	- 30 5	Zvishavane..	.. ..	13 11 28,4	88,5	0,901	26	131

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Zambie (Villes Principales)

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	41	25,4	266	121	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	28,5	98	345	
2	11	41	23,5	267	121	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	27,5	98	345	
3	11	53	55,1	267	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	30	47,1	99	348	
4	11	42	8,4	269	123	13	10	16,9	43	277	13	12	37,7	323	197	14	27	24,3	95	341
5	11	41	44,1	267	121	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	32,5	97	344	
6	11	53	55,1	267	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	30	47,1	99	348	
7	11	42	6,9	267	122	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	39,4	97	345	
8	11	34	12,2	275	121	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	23	6,4	88	329	
9	11	42	35,9	267	122	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	46,4	97	344	
10	11	41	35,9	271	123	13	9	16,1	117	350	13	12	35,3	248	122	14	26	57,5	93	338
11	11	34	12,2	275	121	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	23	6,4	88	329	
12	11	42	18,3	266	121	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	44,0	98	345	
13	11	43	21,9	267	122	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	28	1,0	97	345	

**CIRCONSTANCES LOCALES POUR DES LIEUX GÉOGRAPHIQUES DONNÉS**  
Zimbabwe (Villes Principales)

n°	1 <sup>er</sup> contact					2 <sup>e</sup> contact					3 <sup>e</sup> contact					4 <sup>e</sup> 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	11	41	35,5	277	127	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	24	18,9	86	327	
2	11	45	54,5	274	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	10,6	90	334	
3	11	46	2,4	273	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	37,4	91	336	
4	11	48	9,5	274	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	59,7	91	335	
5	11	46	54,4	277	130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	16,2	88	329	
6	11	45	4,1	274	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	50,4	90	333	
7	11	44	35,8	276	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	25	58,1	88	330	
8	11	44	35,8	276	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	25	58,1	88	330	
9	11	48	12,0	273	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	28	8,8	92	336	
10	11	45	54,5	274	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	27	10,6	90	334	
11	11	35	38,3	275	122	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	23	20,5	87	328	
12	11	45	4,1	274	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	50,4	90	333	
13	11	41	0,4	278	127	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	23	57,4	86	326	
14	11	46	54,4	277	130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	16,2	88	329	
15	11	51	42,0	275	132	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	28	34,5	91	335	
16	11	44	44,7	275	128	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	20,6	89	331	
17	11	45	3,1	277	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	25	29,0	87	328	
18	11	35	38,3	275	122	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	23	20,5	87	328	
19	11	47	5,4	277	131	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	26	15,8	87	329	
20	11	45	3,1	277	129	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14	25	29,0	87	328	