
NOTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES
DU BUREAU DES LONGITUDES.

S 003

FORMULAIRE DE CALCUL D'UNE ÉPHÉMÉRIDE DE PETITE
PLANÈTE OU DE COMÈTE, À PARTIR DE SES ÉLÉMENTS
OSULATEURS.

COORDONNÉES RECTANGULAIRES DU SOLEIL DE 1950 À 2000.

Bruno MORANDO

Jean CHAPRONT

Service des Calculs et de Mécanique Céleste du Bureau des Longitudes.

ERA 808

77, avenue Denfert-Rochereau

75014 Paris.

Février 1984.

TABLE DES MATIÈRES.

Introduction.	p. 1
I. Données.	p. 3
II. Calcul de certaines quantités fixes.	p. 4
III. Calcul du rayon vecteur et de l'anomalie vraie pour un instant donné.	
1. Orbite elliptique.	p. 4
2. Orbite parabolique.	p. 6
IV. Calcul des coordonnées rectangulaires équatoriales héliocentriques.	p. 6
V. Calcul des coordonnées équatoriales géocentriques du Soleil.	p. 7
VI. Calcul des coordonnées géocentriques de la planète ou de la comète.	p. 10
VII. Correction pour le temps de lumière.	p. 10
VIII. Coordonnées topocentriques.	p. 12
IX. Magnitude.	p. 13
X. Exemple numérique.	p. 14
Bibliographie.	p. 18
 ANNEXE 1.	
TABLES DU SOLEIL.	p. 19
 ANNEXE 2.	
Détermination de la date julienne à partir de la date.	p. 39

INTRODUCTION.

De plus en plus nombreux sont les astronomes professionnels ou amateurs qui ont les moyens d'effectuer eux-mêmes les calculs menant à une éphéméride géocentrique d'une planète ou d'une comète, à partir des éléments osculateurs à un instant donné.

De tels éléments osculateurs sont publiés dans les Ephemerides of Minor Planets (Leningrad), dans les Minor Planets Circulars, les IAU circulars, le Handbook of the British Astronomical Association, etc... Les calculs sont parfaitement accessibles aux micro-ordinateurs et même à certaines calculatrices programmables.

Les éphémérides obtenues en traitant le problème des deux corps, donc en négligeant les perturbations planétaires, peuvent conserver une excellente précision (environ 5", par exemple) pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois, de part et d'autre de la date d'osculation, et donc rendre de grands services aux observateurs, qui sont ainsi assurés de pouvoir trouver un objet, même faible, dans le champ de leur télescope, ou dans le lobe de leur antenne.

Cependant, beaucoup d'utilisateurs sont arrêtés par leur ignorance des formules à appliquer, ignorance que la consultation de divers ouvrages sur la Mécanique Céleste ne suffit pas toujours à combler. C'est pourquoi nous donnons ici l'enchaînement complet des opérations à effectuer pour calculer les coordonnées géocentriques à une date quelconque, à partir des éléments osculateurs d'une certaine époque, dans le cas elliptique ou le cas parabolique. Aucune démonstration des formules n'est donnée; on en trouvera dans certains ouvrages cités en référence.

L'établissement d'une éphéméride géocentrique exige que l'on connaisse les coordonnées rectangulaires équatoriales géocentriques du Soleil, mais leur calcul, avec une précision suffisante, est la principale difficulté que l'on rencontre : ou bien on sacrifie la précision en utilisant des

formules simplifiées qui n'assurent que 20" environ, ou bien on a à rentrer dans la mémoire de l'ordinateur un volume assez considérable de données.

Ici, sont publiées pour la première fois, des séries très courtes qui permettent cependant, sur des intervalles de temps de 400 jours entre le 3/5/1949 à 12 h. et le 22/10/2000 à 12 h., d'obtenir les coordonnées du Soleil avec la même précision (0"02, environ) que celle que l'on obtient par les développements en polynômes de Tchebychev de la *Connaissance des Temps*, mais sous un volume presque 10 fois plus faible.

Les coordonnées que l'on construit après les calculs exposés ici sont les coordonnées moyennes d'une certaine époque, et l'on indique comment passer aux coordonnées astrographiques ou astrométriques, et comment obtenir les coordonnées topocentriques.

Depuis le 1er janvier 1984, on doit utiliser, pour suivre les directives de l'Union Astronomique Internationale, les coordonnées rapportées au système de référence J2000.0. Cependant, la Commission 20 de l'UAI (Petites Planètes, Comètes, Satellites) admet encore les coordonnées 1950. On donne ici le moyen d'obtenir les unes ou les autres.

Les coordonnées apparentes sont de moins en moins utilisées par les observateurs. En effet, les amateurs n'ont pas en général de monture permettant un affichage précis des coordonnées, et préfèrent comparer les positions de l'astre cherché à celles des étoiles d'une carte ou d'un atlas. Quant aux professionnels, leurs antennes radio et leurs télescopes pour observations visuelles transforment automatiquement, au moyen d'un ordinateur pilotant le guidage, les coordonnées astrographiques ou astrométriques en coordonnées apparentes.

Les utilisateurs qui souhaitent cependant calculer les coordonnées apparentes d'une planète ou d'une comète doivent faire les corrections de précession, nutation et aberration des fixes, qui se trouvent dans les ouvrages cités en référence.

Un exemple numérique d'application du formulaire de calcul d'une éphéméride de comète est donné au § X.

I. DONNÉES.

Le corps a soit une orbite elliptique (planètes, comètes périodiques), soit une orbite parabolique (comètes). Dans tous les cas on donne pour une époque T_0 :

- i , inclinaison de l'orbite osculatrice sur le plan de l'écliptique, qui sera soit l'écliptique 1950.0 soit l'écliptique J2000.0. L'inclinaison est comptée en degrés et fraction décimale de 0° à 90° , si le mouvement est direct, de 90° à 180° , si l'orbite est rétrograde.
- Ω , longitude du noeud ascendant de l'orbite comptée en degrés et fraction décimale de 0° à 360° . Cet angle est compté dans le plan de l'écliptique de référence (1950.0 ou J2000.0) à partir de l'équinoxe correspondant.
- ω , distance angulaire entre la direction du noeud ascendant et la direction du périhélie*. Cet angle est compté en degrés et fraction décimale de 0° à 360° .
- T , temps de passage au périhélie. On donne l'année, le mois, le jour et la fraction de jour. Quelque fois, pour les orbites elliptiques, on donne au lieu de T , l'anomalie moyenne M_0 à l'époque d'osculation T_0 .

Enfin, si l'orbite est parabolique, on donne la distance périhélie q , en unités astronomiques; si elle est elliptique, on donne le demi-grand axe a en unités astronomiques, et l'excentricité e comprise entre 0 et 1. On donne quelquefois, pour les orbites elliptiques, la distance q , comme pour les orbites paraboliques, au lieu du demi-grand axe. Il faut savoir, dans ce cas, que q est lié à a et e par :

$$q = a(1 - e)$$

Dans le cas elliptique, on calculera :

$$n = 0.985\ 607\ 668\ 6 / a^{3/2}$$

(n en degrés par jour), et dans le cas parabolique :

$$n = 0.036\ 491\ 162\ 4 / q^{3/2}$$

Dans les calculs qui suivent on exprimera T et l'instant t pour lequel on veut l'éphéméride en date julienne (Cf. annexe 2.)

* comptée dans le sens du mouvement

II. CALCUL DE CERTAINES QUANTITÉS FIXES.

Soit ϵ l'obliquité de l'écliptique,

$$\epsilon = 23^{\circ}445\,788\,888\,9 \quad \text{pour } 1950.0$$

$$\epsilon = 23^{\circ}439\,291\,111\,1 \quad \text{pour } J2000.0$$

on calculera,

$F = \cos \Omega$	$P = -\sin \Omega \cos i$
$G = \sin \Omega \cos \epsilon$	$Q = \cos \Omega \cos i \cos \epsilon - \sin i \sin \epsilon$
$H = \sin \Omega \sin \epsilon$	$R = \cos \Omega \cos i \sin \epsilon + \sin i \cos \epsilon$

puis, $\alpha, A, \beta, B, \gamma, C$ par les formules,

$\alpha \sin A = F$	$\alpha \cos A = P$
$\beta \sin B = G$	$\beta \cos B = Q$
$\gamma \sin C = H$	$\gamma \cos C = R.$

α, β, γ étant positifs,

$$\alpha = \sqrt{F^2 + P^2} \quad \text{etc...}$$

A, B, C sont dans le bon quadrant puisqu'on connaît leur sinus et leur cosinus.

III. CALCUL DU RAYON VECTEUR ET DE L'ANOMALIE VRAIE POUR UN INSTANT DONNÉ.

On désigne un instant donné par t . Si cet instant est donné par la date et l'heure, on transformera ces données en date julienne (Cf. annexe 2.).

1. ORBITE ELLIPTIQUE.

A. Calculer l'anomalie moyenne M :

- Si l'on a donné le temps de passage au périhélie T ,

$$M = n(t - T)$$

- Si l'on a donné l'anomalie moyenne M_0 de l'époque T_0 ,

$$M = M_0 + n(t - T_0)$$

B. Résoudre l'équation de Kepler en E (anomalie excentrique) :

$$E - e \sin E = M$$

Pour ce faire, on procédera par itération, en utilisant la formule :

$$E_n = E_{n-1} + \frac{M + \bar{e} \sin E_{n-1} - E_{n-1}}{1 - e \cos E_{n-1}}$$

\bar{e} est la valeur de e exprimé en degré, soit : $\bar{e} = e \cdot \frac{180}{\pi}$

On prendra d'abord : $E_{n-1} = E_0 = M$

d'où,

$$E_1 = E_0 + \frac{M + \bar{e} \sin E_0 - E_0}{1 - e \cos E_0}$$

puis $E_{n-1} = E_1$, etc... On s'arrêtera quand la fraction qu'on ajoute à E_{n-1} est plus petite qu'une quantité fixée à l'avance (10^{-6} , par exemple).

C. Calculer le rayon vecteur :

$$r = a(1 - e \cos E)$$

et l'anomalie vraie v par :

$$\operatorname{tg} \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{E}{2}$$

On peut aussi utiliser les formules :

$$r \cos v = a(\cos E - e)$$

$$r \sin v = a \sqrt{1 - e^2} \sin E$$

Les fonctions rectangulaires-polaires dont on dispose sur de nombreuses machines donnent v dans le bon quadrant.

2. ORBITE PARABOLIQUE.

A. Calculer : $w = n(t - T)$,
et, résoudre l'équation de Barker :

$$S^3 + 3S = w$$

Pour cela il suffit de poser :

$$Z = w/2 \quad \text{et,} \quad Y = \sqrt{Z^2 + 1}$$

on a alors,

$$S = (Y + Z)^{1/3} - (Y - Z)^{1/3}$$

$Y + Z$ et $Y - Z$ sont toujours positifs, si bien qu'il n'y a pas de difficulté pour calculer les racines cubiques.

Si l'on dispose sur sa machine des fonctions hyperboliques, le calcul est encore plus simple. On pose :

$$\phi = \text{Argsh } \frac{w}{2}$$

et,

$$S = 2 \text{sh } \frac{\phi}{3}$$

B. Calculer r , le rayon vecteur : $r = q(1 + S^2)$,

et l'angle v par $\text{tg } \frac{v}{2} = S$.

IV. CALCUL DES COORDONNÉES RECTANGULAIRES ÉQUATORIALES HÉLIOCENTRIQUES.

Que l'orbite soit elliptique ou parabolique, on a :

$$\begin{aligned} x &= r\alpha \sin (A + \omega + v) \\ -y &= r\beta \sin (B + \omega + v) \\ z &= r\gamma \sin (C + \omega + v) \end{aligned}$$

Si Ω et i ont été donnés dans le système 1950.0, on obtient ainsi les coordonnées rectangulaires équatoriales héliocentriques 1950.0. Si l'on veut les coordonnées dans le système J2000.0, il faut effectuer la rotation ROT12 :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{2000} = \begin{pmatrix} 0.999\,925\,708\,0 & -0.011\,178\,938\,1 & -0.004\,859\,003\,8 \\ 0.011\,178\,938\,1 & 0.999\,937\,513\,3 & -0.000\,027\,162\,6 \\ 0.004\,859\,003\,8 & -0.000\,027\,157\,9 & 0.999\,988\,194\,6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{1950}$$

Si, au contraire Ω et i ont été donnés dans le système J2000.0, les formules ci-dessus donnent les coordonnées équatoriales héliocentriques J2000.0, et si l'on veut les coordonnées dans le système 1950.0, il faut effectuer la rotation ROT21 (matrice transposée de la précédente) :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{1950} = \begin{pmatrix} 0.999\,925\,708\,0 & 0.011\,178\,938\,1 & 0.004\,859\,003\,8 \\ -0.011\,178\,938\,1 & 0.999\,937\,513\,3 & -0.000\,027\,157\,9 \\ -0.004\,859\,003\,8 & -0.000\,027\,162\,6 & 0.999\,988\,194\,6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{2000}$$

Bien entendu, il n'y a aucune rotation à faire si les éléments Ω et i sont rapportés au système de référence dans lequel on veut l'éphéméride.

Pour avoir les coordonnées équatoriales géocentriques, il faut maintenant calculer les coordonnées équatoriales géocentriques du Soleil, ce qui fait l'objet du paragraphe suivant.

V. CALCUL DES COORDONNÉES ÉQUATORIALES GÉOCENTRIQUES DU SOLEIL.

On trouvera dans certains ouvrages cités en référence des formules approchées qui donneront les coordonnées rectangulaires du Soleil à environ 10^{-4} unité astronomique près, soit environ 20".

En utilisant les coefficients des développements en polynômes de Tchebychev publiés dans la *Connaissance des Temps*, on obtiendra la position du Soleil avec une précision de 0".02 environ, mais il faut rentrer 360 coefficients pour avoir la position du Soleil pendant le cours d'une année.

Nous donnons ici une méthode beaucoup plus économique, qui consiste à utiliser les développements de l'annexe 1. de la façon suivante.

On calcule les coordonnées X, Y, Z du Soleil par rapport au barycentre du système Terre-Lune. L'une quelconque des trois coordonnées, X par exemple, est représentée par la formule :

$$\begin{aligned}
X = & a_0 + a'_0 t \\
& + a_1 \sin(Nt + \phi_1) + a'_1 t \sin(Nt + \phi'_1) \\
& + a_2 \sin(2Nt + \phi_2) + a'_2 t \sin(2Nt + \phi'_2) \\
& + a_3 \sin(3Nt + \phi_3) \\
& + a_4 \sin(4Nt + \phi_4).
\end{aligned}$$

Les coefficients a_0, a_1, \dots , sont en unités astronomiques, a'_0, a'_1, a'_2 en unités astronomiques par an; les phases ϕ_1, ϕ_2, \dots , sont en radian, et N est égal à $2 \times \pi$.

Les formules sont données dans l'annexe 1. On tiendra compte des remarques suivantes :

- Il faut choisir l'ensemble des formules correspondant à l'intervalle de 400 jours dans lequel se trouve la date t , pour laquelle on veut l'éphéméride. L'ensemble des intervalles de 400 jours donnés ici, couvre la période allant du 3 mai 1949 à 12h au 22 octobre 2000 à 12h. On donne les dates du début et de la fin de chaque période de 400 jours, en jour, mois, année, et en date julienne.
- t est exprimé en années et fraction d'année écoulées depuis l'époque J2000.0, c'est à dire la date julienne 2451545.0

Le calcul des X, Y, Z étant fait, il faut pour passer aux coordonnées géocentriques du Soleil X_S, Y_S, Z_S , ajouter les coordonnées géocentriques du barycentre du système Terre-Lune : X_G, Y_G, Z_G .

$$X_S = X + X_G$$

$$Y_S = Y + Y_G$$

$$Z_S = Z + Z_G$$

On évalue X_G, Y_G, Z_G de la façon suivante :

$$X_G = G \cos \beta \cos V$$

$$Y_G = G \cos \beta \sin V \cos \epsilon - G \sin \beta \sin \epsilon$$

$$Z_G = G \cos \beta \sin V \sin \epsilon + G \sin \beta \cos \epsilon$$

Dans ces formules ϵ est l'obliquité de l'écliptique pour 1950.0 ou J2000.0 suivant les cas, et,

$$G = 10^{-9} (31\,270 - 1\,698 \cos \lambda - 300 \cos (2D - \lambda) - 240 \cos 2D - 46 \cos 2\lambda)$$

$$\beta = 10^{-5} (8\,950 \sin F + 490 \sin (\lambda + F) + 485 \sin (\lambda - F) + 302 \sin (2D - F))$$

$$V = 3.810\,34 + 83.996\,847 t + 10^{-5} (10\,976 \sin \lambda + 2\,224 \sin (2D - \lambda) + 1\,149 \sin 2D + 373 \sin 2\lambda - 323 \sin \lambda' - 200 \sin 2F)$$

avec,

$$D = 5.198\,47 + 77.713\,771 t$$

$$F = 1.627\,91 + 84.334\,662 t$$

$$\lambda = 2.355\,56 + 83.286\,914 t$$

$$\lambda' = 6.240\,06 + 6.283\,020 t.$$

Dans ces formules G est en unités astronomiques; les autres variables sont en radians, et t est exprimé en années et fraction d'année depuis J2000.0 (2451 545.0).

Si l'on se contente d'une précision inférieure à 7", on pourra supposer nuls X_G , Y_G , Z_G , et négliger les derniers termes dans le calcul des X , Y , Z .

Les coordonnées du Soleil obtenues sont rapportées au système de référence J2000.0.

Si l'on veut les coordonnées de la planète ou de la comète dans le système 1950.0, il faut, avant de passer à la suite, faire subir aux coordonnées du Soleil la rotation ROT21 dont les éléments sont indiqués plus haut.

VI. CALCUL DES COORDONNÉES GÉOCENTRIQUES DE LA PLANÈTE OU DE LA COMÈTE.

On obtient finalement les coordonnées rectangulaires équatoriales géocentriques de la planète ou de la comète ξ, η, ζ par les formules suivantes :

$$\begin{aligned}\xi &= x + X_S \\ \eta &= y + Y_S \\ \zeta &= z + Z_S\end{aligned}$$

où x, y, z sont les coordonnées héliocentriques calculées plus haut.

On calcule ensuite :

- La distance géocentrique Δ par

$$\Delta = \sqrt{\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2}$$

- L'ascension droite α et la déclinaison δ par les formules :

$$\begin{aligned}\Delta \cos \delta \cos \alpha &= \xi \\ \Delta \cos \delta \sin \alpha &= \eta \\ \Delta \sin \delta &= \zeta\end{aligned}$$

La déclinaison étant comprise entre -90° et $+90^\circ$, la dernière des formules ci-dessus donne δ dans le bon quadrant. L'ascension droite α est située dans le bon quadrant par les deux premières formules, qui donnent le sinus et le cosinus. On divisera l'ascension droite obtenue en degré, par 15, pour l'avoir en heure.

La distance héliocentrique est égale à r calculée plus haut.

VII. CORRECTION POUR LE TEMPS DE LUMIÈRE.

La position géocentrique apparente du corps diffère de la position calculée ci-dessus du fait que la lumière met un certain temps τ pour parcourir la distance Δ de la planète ou de la comète à la Terre.

On a, exprimé en jours :

$$\tau = 0.0057755 \Delta$$

Δ est mesuré en unités astronomiques.

Pour obtenir les coordonnées du corps tel qu'il apparaît à l'instant t , on recommencera tous les calculs des coordonnées héliocentriques x, y, z de la planète pour l'instant $t - \tau$, et, en conservant les coordonnées du Soleil X_S, Y_S, Z_S pour l'instant t , on aura

$$\begin{aligned}\xi &= x + X_S \\ \eta &= y + Y_S \\ \zeta &= z + Z_S.\end{aligned}$$

Comme plus haut, on déduira des ξ, η, ζ la distance à la Terre, l'ascension droite et la déclinaison du corps. Il est en général inutile de faire une autre itération.

Les coordonnées obtenues sont les coordonnées astrographiques du corps considéré à l'instant t .

Avant de les comparer aux coordonnées des étoiles du champ, telles qu'elles figurent dans un catalogue ou un atlas, l'observateur devra faire une correction de parallaxe pour passer aux coordonnées topocentriques du corps relativement au lieu de l'observation. Cette correction fera l'objet du paragraphe suivant, mais, tout d'abord, il y a deux cas à distinguer relativement à la partie constante de l'aberration des fixes.

1. Si l'éphéméride a été calculée dans un système J2000.0, elle est directement comparable, aux effets de parallaxe près, aux cartes et catalogues qui font usage de ce même système J2000.0

2. Si l'éphéméride a été calculée dans le système 1950.0, on ne pourra la comparer aux cartes et catalogues dans ce système qu'après avoir ajouté à l'ascension droite α et à la déclinaison δ du corps les corrections $\Delta\alpha$, et $\Delta\delta$ suivantes :

$$\Delta\alpha = - \frac{0''.341}{\cos \delta} \sin (\alpha + 168.975)$$

$$\Delta\delta = - 0''.341 \cos (\alpha + 168.975) \sin \delta + 0''.029 \cos \delta$$

(Ne pas oublier de transformer $\Delta\alpha$ en seconde d'heure si α a été mis en heures, minutes et secondes).

Les coordonnées obtenues après cette correction sont les coordonnées astrométriques du corps.

Etant donnée la petitesse des coefficients $\Delta\alpha$ et $\Delta\delta$ on peut souvent négliger cette correction.

VIII. COORDONNÉES TOPOCENTRIQUES.

L'observateur n'étant pas au centre de la Terre, il convient de corriger les coordonnées astrographiques ou astrométriques afin de tenir compte d'un effet de parallaxe qui déplace la planète ou la comète par rapport aux étoiles du champ quand la distance géocentrique est faible. (A une unité astronomique, la parallaxe peut atteindre $8''$).

Soient L et ϕ la longitude et la latitude du lieu d'observation supposées exprimées en degré. L est compté négativement vers l'est et ϕ positivement vers le nord. Soit enfin h l'altitude du lieu mesurée en mètres.

On calculera d'abord :

$$\rho \cos \phi' = \cos u + \frac{h}{6\,378\,140} \cos \phi$$

$$\rho \sin \phi' = 0.996\,647\,19 \sin u + \frac{h}{6\,378\,140} \sin \phi$$

avec,

$$\operatorname{tg} u = 0.996\,647\,19 \operatorname{tg} \phi$$

Δ étant la distance géocentrique à l'instant de l'observation et Θ le temps sidéral local à cet instant, l'angle horaire géocentrique est :

$$H = \Theta - \alpha$$

et, le sinus de la parallaxe est :

$$\sin \lambda_0 = \frac{0.000\,042\,635}{\Delta}$$

Δ est en unités astronomiques.

Soient alors α' , δ' , H' l'ascension droite, la déclinaison et l'angle horaire topocentriques, à l'instant de l'observation, on a :

$$\begin{aligned} Q \cos \delta' \cos H' &= \cos \delta \cos H - (\rho \cos \phi') \sin \ell_0 \\ Q \cos \delta' \sin H' &= \cos \delta \sin H \\ Q \sin \delta' &= \sin \delta - (\rho \sin \phi') \sin \ell_0 \end{aligned}$$

Ces formules donnent δ' et H' , d'où l'on déduit :

$$\alpha' = \theta - H'$$

Q est le rapport de la distance topocentrique à la distance géocentrique Δ . Il est inutile de le calculer.

IX. MAGNITUDE.

1. COMETE.

La magnitude est donnée par la formule :

$$m = m_0 + 5 \log \Delta + 2.5 \log r^n$$

\log désigne le logarithme à base 10. On doit connaître n et m_0 qui varient suivant les comètes, et suivant leur distance au Soleil. Ces éléments sont en général donnés avec les éléments osculateurs.

2. PETITE PLANETE.

On a,

$$m = m_0 + 5 \log \Delta + 5 \log r + k\lambda$$

où λ est l'angle de phase exprimé en degré, et k un coefficient numérique. En général :

$$k = 0.023$$

L'angle de phase λ est donné par,

$$\cos \lambda = \frac{r^2 + \Delta^2 - R^2}{r\Delta}$$

où R est la distance Soleil-Terre, soit : $\sqrt{X_S^2 + Y_S^2 + Z_S^2}$

X. EXEMPLE NUMÉRIQUE.

On donne pour le 1^{er} mars 1984 à 0^h Temps des Ephémérides les éléments osculateurs suivants, pour la comète Crommelin :

$$\begin{aligned}
 T &= 1984 \text{ Février } 20.1679 & e &= 0.919195 \\
 \omega &= 195^{\circ}8527 & q &= 0.734522 \\
 \Omega &= 250^{\circ}1926 & & (\text{IAU Circular n}^{\circ} 3886) \\
 i &= 29^{\circ}1030 & &
 \end{aligned}$$

Ω et i sont donnés pour l'équinoxe et l'écliptique 1950.0.

Calculer l'éphéméride de la comète de 10 jours en 10 jours du 12 décembre 1983 à 0^h au 21 janvier 1984 à 0^h, puis de 5 jours en 5 jours à partir de cette date jusqu'au 10 avril 1984.

On trouvera les résultats suivants :

1983/84 ET	α_{1950}	δ_{1950}	Δ	r
Dec. 12	20 ^h 45 ^m 84	+ 7°18.2	1.639	1.437
22	21 07.93	+ 6 40.5		
Jan. 1	21 33.90	+ 6 13.0	1.495	1.172
11	22 04.29	+ 5 50.2		
21	22 39.68	+ 5 22.1	1.301	0.928
26	22 59.45	+ 5 01.1		
31	23 20.68	+ 4 32.1	1.190	0.829
Feb. 5	23 43.38	+ 3 51.8		
10	0 07.52	+ 2 57.3	1.076	0.760
15	0 33.02	+ 1 45.7		
20	0 59.76	+ 0 15.5	0.968	0.735
25	1 27.63	- 1 32.8		
Mar. 1	1 56.54	- 3 36.9	0.878	0.758
6	2 26.44	- 5 52.2		
11	2 57.29	- 8 12.8	0.815	0.826
16	3 28.99	-10 32.0		
21	4 01.35	-12 42.8	0.788	0.924
26	4 34.10	-14 39.1		
31	5 06.79	-16 16.5	0.799	1.041
Apr. 5	5 38.95	-17 32.7		
10	6 10.07	-18 27.7	0.850	1.167

Nous donnons quelques résultats intermédiaires pour le calcul correspondant à la date du 11 Mars à 0^h.

Tout d'abord de

$$a = q / (1 - e)$$

on déduit :

$$a = 9.090056$$

$$n = 0^{\circ}985\ 607\ 668 / a^{3/2} = 0^{\circ}035\ 962\ 8 \text{ par jour.}$$

L'obliquité est celle qui correspond à 1950. On trouvera alors pour les quantités fixes du § II :

$$\begin{array}{ll} F = -0.338\ 859 & P = 0.822\ 053 \\ G = -0.863\ 159 & Q = -0.465\ 154 \\ H = -0.374\ 341 & R = 0.328\ 420 \\ \alpha = 0.889\ 155 & A = -22^{\circ}401\ 997 \\ \beta = 0.980\ 516 & B = -118^{\circ}320\ 125 \\ \gamma = 0.497\ 987 & C = -48^{\circ}738\ 593 \end{array}$$

On trouve ensuite, en date julienne, pour T et pour t (le 11 mars à 0^h) :

$$\begin{array}{l} T = 2\ 445\ 750.667\ 9 \\ t = 2\ 445\ 770.5 \end{array}$$

D'où

$$M = 0^{\circ}713\ 219$$

et, après résolution de l'équation de Kepler :

$$\begin{array}{l} E = 8^{\circ}475\ 225 \\ v = 39^{\circ}709\ 677 \\ r = 0.825\ 767 \text{ UA.} \end{array}$$

Les coordonnées rectangulaires équatoriales héliocentriques de la comète sont alors (cf. § IV) :

$$\begin{array}{l} x = -0.401\ 615 \text{ UA} \\ y = 0.719\ 867 \text{ UA} \\ z = -0.048\ 860 \text{ UA.} \end{array}$$

Comme les éléments ont été donnés dans le système 1950, il n'y a pas de rotation à faire.

Pour calculer les coordonnées équatoriales du Soleil, on suit les instructions du § IV. Il faut prendre les données du tableau correspondant aux dates situées entre le 15 avril 1983 et le 19 mai 1984. Le temps t est ici le temps écoulé depuis l'époque J2000.0, exprimé en années juliennes, ce qui donne :

$$t = -15.809\ 719 \text{ années juliennes.}$$

Il faut alors calculer X, Y, Z , puis les X_G, Y_G, Z_G et enfin les X_S, Y_S, Z_S .

Comme on veut les coordonnées du Soleil rapportées à 1950, il faut enfin effectuer la rotation R21. On obtient finalement :

$$X_S = 0.978818$$

$$Y_S = -0.156079$$

$$Z_S = -0.067683.$$

On déduit (§ VI) les coordonnées géocentriques de la comète :

$$\xi = 0.577203$$

$$\eta = 0.563788$$

$$\zeta = -0.116543.$$

On évalue la distance géocentrique :

$$\Delta = 0.815232 \text{ UA.}$$

Par conséquent on peut calculer le temps de lumière τ (§ VII), temps nécessaire à la lumière pour parcourir la distance Δ .

$$\tau = 0.004708 \text{ jour.}$$

A l'instant t on voit la comète là où elle était à l'instant

$$t - \tau = 2445770.49529$$

On refait donc les calculs des coordonnées x, y, z héliocentriques de la comète. Les quantités fixes F, P, \dots, γ, C ne changent pas. On a successivement :

$$M = 0^{\circ}713050$$

$$E = 8^{\circ}473360$$

$$v = 39^{\circ}701593$$

$$r = 0.825727 \text{ UA.}$$

Puis,

$$x = -0.401509 \text{ UA}$$

$$y = 0.719885 \text{ UA}$$

$$z = -0.048800 \text{ UA.}$$

Les coordonnées du Soleil restent celles que l'on a calculées plus haut.
On a alors,

$$\xi = 0.577\ 309\ UA$$

$$\eta = 0.563\ 806\ UA$$

$$\zeta = -0.116\ 483\ UA.$$

On en déduit par les formules du §VI les coordonnées α_{1950} , δ_{1950} , Δ ,
et r du tableau de résultats donné plus haut.

En calculant la magnitude par la formule du § IX-1, avec :

$$m_0 = 10.7\ \text{et}\ n = 2$$

on trouve :

$$m = 9.8$$

En fait, les propriétés physiques de cette comète se prêtent mal à une
représentation par la formule donnée, si bien que la comète est en
réalité beaucoup plus faible.

.....

BIBLIOGRAPHIE.

DANJON A. Astronomie générale, réédité par A. Blanchard,
9, rue de Médicis, Paris (1980).

CONNAISSANCE DES TEMPS, 1984. Bureau des Longitudes. SHOM, Brest.

MEEUS J. Astronomical Formulae for Calculators,
Willmann-Bell, Inc. P.O. Box 3125, Richmond, Virginia,
USA (1982).

ALMANACH FOR COMPUTERS, 1978. US Naval Observatory.
Washington DC, 20390, USA.

EPHEMERIDES ASTRONOMIQUES, 1985. (Annuaire du Bureau des Longitudes).
Gauthier-Villars. A paraître en 1984.

EPHEMERIDI MALIKH PLANET. Institute for Theoretical Astronomy
10, Kutuzov Quay. Leningrad 192187, URSS.

IAU CIRCULARS & MINOR PLANETS CIRCULARS. Central Bureau for Astronomical
Telegrams. SAO, Cambridge Ma., 02138, USA.

THE HANDBOOK OF THE BRITISH ASTRONOMICAL ASSOCIATION, 1984.
Burlington House, Piccadilly, London W1V 0NL, U.K.

ANNEXE 1.

TABLES DU SOLEIL

SOLEIL

DU 3/ 5/1949 A 12H AU 7/ 6/1950 A 12H
 2433040.0 2433440.0 DELTAT = 400.

X = -0.01407966 -0.0001700721*T
 +1.00336986*SIN(N*T+0.17648979) +0.0002432326*T*SIN(N*T+5.188028)
 +0.01011364*SIN(2*N*T+6.24334319) +0.0000496791*T*SIN(2*N*T+5.535227)
 +0.00010535*SIN(3*N*T+0.124292)
 +0.00000180*SIN(4*N*T+0.0425)

Y = +0.01944245 -0.0000605215*T
 +0.91896910*SIN(N*T+4.89608672) +0.0000872032*T*SIN(N*T+3.711264)
 +0.00758645*SIN(2*N*T+4.74239656) +0.0000188123*T*SIN(2*N*T+3.130828)
 +0.00009658*SIN(3*N*T+4.822546)
 +0.00000133*SIN(4*N*T+4.7807)

Z = +0.00867386 -0.0000214173*T
 +0.39818354*SIN(N*T+4.89502838) +0.0000442053*T*SIN(N*T+3.483169)
 +0.00335047*SIN(2*N*T+4.71362637) +0.0000101219*T*SIN(2*N*T+3.253844)
 +0.00004194*SIN(3*N*T+4.826915)
 +0.00000062*SIN(4*N*T+4.7797)

DU 7/ 6/1950 A 12H AU 12/ 7/1951 A 12H
 2433440.0 2433840.0 DELTAT = 400.

X = -0.00546584 +0.0000026114*T
 +0.99995880*SIN(N*T+0.18320099) +0.0000983286*T*SIN(N*T+4.927716)
 +0.00853351*SIN(2*N*T+0.13320781) +0.0000047225*T*SIN(2*N*T+5.713626)
 +0.00010368*SIN(3*N*T+0.101776)
 +0.00000172*SIN(4*N*T+0.0692)

Y = +0.02078774 -0.0000336157*T
 +0.91980146*SIN(N*T+4.89292056) +0.0001486874*T*SIN(N*T+3.668995)
 +0.00835279*SIN(2*N*T+4.81736067) +0.0000158799*T*SIN(2*N*T+4.340220)
 +0.00009524*SIN(3*N*T+4.816236)
 +0.00000157*SIN(4*N*T+4.7699)

Z = +0.00901788 -0.0000145267*T
 +0.39879874*SIN(N*T+4.89289446) +0.0000641585*T*SIN(N*T+3.634925)
 +0.00362045*SIN(2*N*T+4.81959953) +0.0000067776*T*SIN(2*N*T+4.359035)
 +0.00004130*SIN(3*N*T+4.816292)
 +0.00000069*SIN(4*N*T+4.7598)

DU 12/ 7/1951 A 12H AU 15/ 8/1952 A 12H
 2433840.0 2434240.0 DELTAT = 400.

X = -0.00639205 -0.0000170968*T
 +0.99897001*SIN(N*T+0.18008719) +0.0001641565*T*SIN(N*T+4.787064)
 +0.00836886*SIN(2*N*T+0.11087939) +0.0000071526*T*SIN(2*N*T+4.851426)
 +0.00010395*SIN(3*N*T+0.115764)
 +0.00000160*SIN(4*N*T+0.1532)

Y = +0.02712716 +0.0000974864*T
 +0.91312198*SIN(N*T+4.89672384) +0.0001107230*T*SIN(N*T+2.409420)
 +0.00729218*SIN(2*N*T+5.00060547) +0.0000227069*T*SIN(2*N*T+0.572068)
 +0.00009425*SIN(3*N*T+4.832635)
 +0.00000151*SIN(4*N*T+4.7575)

Z = +0.01154433 +0.0000376820*T
 +0.39609010*SIN(N*T+4.89672499) +0.0000467172*T*SIN(N*T+2.435684)
 +0.00328298*SIN(2*N*T+4.99404925) +0.0000089964*T*SIN(2*N*T+0.315431)
 +0.00004099*SIN(3*N*T+4.834533)
 +0.00000064*SIN(4*N*T+4.7763)

SOLEIL

DU 15/ 8/1952 A 12H AU 19/ 9/1953 A 12H DELTAT = 400.
 2434240.0 2434640.0

X = -0.00476220 +0.0000168566*T
 +0.99977835*SIN(N*T+0.18143333) +0.0001353009*T*SIN(N*T+4.887740)
 +0.00696805*SIN(2*N*T+0.14680286) +0.0000296690*T*SIN(2*N*T+3.317285)
 +0.00010480*SIN(3*N*T+0.130219)
 +0.00000160*SIN(4*N*T+0.1611)

Y = +0.02051248 -0.0000411351*T
 +0.91717102*SIN(N*T+4.89565017) +0.0000874419*T*SIN(N*T+3.287324)
 +0.00678325*SIN(2*N*T+4.87440038) +0.0000189615*T*SIN(2*N*T+1.645450)
 +0.00009669*SIN(3*N*T+4.842009)
 +0.00000125*SIN(4*N*T+4.8694)

Z = +0.00903204 -0.0000149144*T
 +0.39764457*SIN(N*T+4.89642695) +0.0000317216*T*SIN(N*T+3.204805)
 +0.00302359*SIN(2*N*T+4.87444646) +0.0000064864*T*SIN(2*N*T+1.623280)
 +0.00004198*SIN(3*N*T+4.840639)
 +0.00000051*SIN(4*N*T+4.9422)

DU 19/ 9/1953 A 12H AU 24/10/1954 A 12H DELTAT = 400.
 2434640.0 2435040.0

X = -0.00698287 -0.0000316750*T
 +0.99858521*SIN(N*T+0.18113349) +0.0001447650*T*SIN(N*T+4.706019)
 +0.00816946*SIN(2*N*T+0.15786892) +0.0000039815*T*SIN(2*N*T+3.057334)
 +0.00010599*SIN(3*N*T+0.127019)
 +0.00000151*SIN(4*N*T+0.1849)

Y = +0.02302341 +0.0000132772*T
 +0.91738960*SIN(N*T+4.89565117) +0.0000872288*T*SIN(N*T+3.342245)
 +0.00773709*SIN(2*N*T+4.84769404) +0.0000034166*T*SIN(2*N*T+3.813572)
 +0.00009727*SIN(3*N*T+4.837497)
 +0.00000141*SIN(4*N*T+4.8912)

Z = +0.01002975 +0.0000067386*T
 +0.39777787*SIN(N*T+4.89583942) +0.0000364332*T*SIN(N*T+3.300409)
 +0.00336792*SIN(2*N*T+4.85373476) +0.0000013267*T*SIN(2*N*T+4.167721)
 +0.00004219*SIN(3*N*T+4.838088)
 +0.00000060*SIN(4*N*T+4.9034)

DU 24/10/1954 A 12H AU 28/11/1955 A 12H DELTAT = 400.
 2435040.0 2435440.0

X = -0.00486128 +0.0000159540*T
 +1.00052717*SIN(N*T+0.18110152) +0.0001452996*T*SIN(N*T+5.004181)
 +0.00789437*SIN(2*N*T+0.16013004) +0.0000106481*T*SIN(2*N*T+3.133827)
 +0.00010554*SIN(3*N*T+0.110398)
 +0.00000153*SIN(4*N*T+0.0188)

Y = +0.02008753 -0.0000528917*T
 +0.91442626*SIN(N*T+4.89246218) +0.0001661963*T*SIN(N*T+2.920373)
 +0.00796543*SIN(2*N*T+4.93780028) +0.0000145778*T*SIN(2*N*T+5.996294)
 +0.00009717*SIN(3*N*T+4.821715)
 +0.00000143*SIN(4*N*T+4.7346)

Z = +0.00840090 -0.0000299008*T
 +0.39613863*SIN(N*T+4.89210643) +0.0000792475*T*SIN(N*T+2.826573)
 +0.00352374*SIN(2*N*T+4.95575217) +0.0000083366*T*SIN(2*N*T+5.916225)
 +0.00004218*SIN(3*N*T+4.821265)
 +0.00000062*SIN(4*N*T+4.7307)

SOLEIL

DU 28/11/1955 A 12H AU 1/ 1/1957 A 12H
2435440.0 2435840.0

DELTAT = 400.

X = -0.00101468 +0.0001041268*T
+0.99996668*SIN(N*T+0.17957988) +0.0001800998*T*SIN(N*T+4.913491)
+0.00791013*SIN(2*N*T+0.35677845) +0.0000395914*T*SIN(2*N*T+2.084221)
+0.00010451*SIN(3*N*T+0.107038)
+0.00000165*SIN(4*N*T+0.0620)

Y = +0.02419487 +0.0000399668*T
+0.92011908*SIN(N*T+4.89464193) +0.0001259534*T*SIN(N*T+3.855080)
+0.00680834*SIN(2*N*T+4.94509885) +0.0000239954*T*SIN(2*N*T+1.162356)
+0.00009560*SIN(3*N*T+4.820089)
+0.00000129*SIN(4*N*T+4.6715)

Z = +0.01002150 +0.0000065100*T
+0.39829934*SIN(N*T+4.89438801) +0.0000507880*T*SIN(N*T+3.540365)
+0.00311181*SIN(2*N*T+4.96071066) +0.0000086843*T*SIN(2*N*T+0.802482)
+0.00004149*SIN(3*N*T+4.818736)
+0.00000059*SIN(4*N*T+4.6261)

DU 1/ 1/1957 A 12H AU 5/ 2/1958 A 12H
2435840.0 2436240.0

DELTAT = 400.

X = -0.00574356 -0.0000052322*T
+0.99941777*SIN(N*T+0.18253915) +0.0001123720*T*SIN(N*T+4.813226)
+0.00852082*SIN(2*N*T+0.14792193) +0.0000038791*T*SIN(2*N*T+6.166922)
+0.00010374*SIN(3*N*T+0.113406)
+0.00000152*SIN(4*N*T+0.0649)

Y = +0.02385571 +0.0000330101*T
+0.91947781*SIN(N*T+4.89353532) +0.0001414584*T*SIN(N*T+3.686698)
+0.00715077*SIN(2*N*T+4.86698110) +0.0000122476*T*SIN(2*N*T+1.690951)
+0.00009509*SIN(3*N*T+4.829687)
+0.00000138*SIN(4*N*T+4.8164)

Z = +0.00998115 +0.0000057463*T
+0.39820274*SIN(N*T+4.89374068) +0.0000563126*T*SIN(N*T+3.483316)
+0.00321113*SIN(2*N*T+4.86402751) +0.0000027243*T*SIN(2*N*T+1.748685)
+0.00004125*SIN(3*N*T+4.828029)
+0.00000060*SIN(4*N*T+4.7919)

DU 5/ 2/1958 A 12H AU 12/ 3/1959 A 12H
2436240.0 2436640.0

DELTAT = 400.

X = -0.00458355 +0.0000236097*T
+0.99854699*SIN(N*T+0.18137943) +0.0001443664*T*SIN(N*T+4.680100)
+0.00893219*SIN(2*N*T+0.13344198) +0.0000143868*T*SIN(2*N*T+6.165428)
+0.00010381*SIN(3*N*T+0.121414)
+0.00000158*SIN(4*N*T+0.1564)

Y = +0.02374094 +0.0000316616*T
+0.91809307*SIN(N*T+4.89366250) +0.0001321074*T*SIN(N*T+3.462394)
+0.00788205*SIN(2*N*T+4.91529624) +0.0000111464*T*SIN(2*N*T+5.964400)
+0.00009565*SIN(3*N*T+4.832303)
+0.00000146*SIN(4*N*T+4.8311)

Z = +0.01057675 +0.0000205391*T
+0.39816041*SIN(N*T+4.89291681) +0.0000646643*T*SIN(N*T+3.452107)
+0.00347334*SIN(2*N*T+4.92788404) +0.0000064382*T*SIN(2*N*T+5.864766)
+0.00004147*SIN(3*N*T+4.831454)
+0.00000064*SIN(4*N*T+4.8308)

SOLEIL

DU 12/ 3/1959 A 12H AU 15/ 4/1960 A 12H
2436640.0 2437040.0

DELTAT = 400.

X = -0.00579979 -0.0000059171*T
+1.00107616*SIN(N*T+0.18244555) +0.0001198324*T*SIN(N*T+5.156533)
+0.00924918*SIN(2*N*T+0.22674853) +0.0000274919*T*SIN(2*N*T+0.832746)
+0.00010568*SIN(3*N*T+0.125429)
+0.00000163*SIN(4*N*T+0.1664)

Y = +0.02202660 -0.0000108983*T
+0.91801782*SIN(N*T+4.89900747) +0.0000198257*T*SIN(N*T+4.375858)
+0.00766174*SIN(2*N*T+4.94271825) +0.0000152181*T*SIN(2*N*T+0.212244)
+0.00009756*SIN(3*N*T+4.841267)
+0.00000139*SIN(4*N*T+4.7070)

Z = +0.01025860 +0.0000128085*T
+0.39789486*SIN(N*T+4.89664332) +0.0000279274*T*SIN(N*T+3.401040)
+0.00355953*SIN(2*N*T+4.94144071) +0.0000088074*T*SIN(2*N*T+5.762970)
+0.00004221*SIN(3*N*T+4.839996)
+0.00000058*SIN(4*N*T+4.8211)

DU 15/ 4/1960 A 12H AU 20/ 5/1961 A 12H
2437040.0 2437440.0

DELTAT = 400.

X = -0.00416757 +0.0000357346*T
+0.99846855*SIN(N*T+0.18298090) +0.0001071069*T*SIN(N*T+4.564759)
+0.00760871*SIN(2*N*T+0.09863273) +0.0000222129*T*SIN(2*N*T+3.754544)
+0.00010747*SIN(3*N*T+0.119289)
+0.00000154*SIN(4*N*T+6.2637)

Y = +0.02138444 -0.0000280346*T
+0.91762640*SIN(N*T+4.89513764) +0.0000981353*T*SIN(N*T+3.402305)
+0.00749945*SIN(2*N*T+4.86154404) +0.0000047392*T*SIN(2*N*T+1.766630)
+0.00009803*SIN(3*N*T+4.828227)
+0.00000137*SIN(4*N*T+4.7345)

Z = +0.00962594 -0.0000031600*T
+0.39764692*SIN(N*T+4.89397741) +0.0000545475*T*SIN(N*T+3.248689)
+0.00338490*SIN(2*N*T+4.83659888) +0.0000026111*T*SIN(2*N*T+3.804337)
+0.00004240*SIN(3*N*T+4.829516)
+0.00000059*SIN(4*N*T+4.7711)

DU 20/ 5/1961 A 12H AU 24/ 6/1962 A 12H
2437440.0 2437840.0

DELTAT = 400.

X = -0.00817043 -0.0000683619*T
+1.00038510*SIN(N*T+0.17950807) +0.0001929297*T*SIN(N*T+4.970104)
+0.00889441*SIN(2*N*T+0.06478376) +0.0000238900*T*SIN(2*N*T+5.444502)
+0.00010554*SIN(3*N*T+0.105031)
+0.00000154*SIN(4*N*T+0.0156)

Y = +0.02009261 -0.0000615986*T
+0.91990641*SIN(N*T+4.89411986) +0.0001401552*T*SIN(N*T+3.826071)
+0.00813633*SIN(2*N*T+4.84510630) +0.0000128600*T*SIN(2*N*T+4.567273)
+0.00009654*SIN(3*N*T+4.816319)
+0.00000144*SIN(4*N*T+4.7470)

Z = +0.00885443 -0.0000230036*T
+0.39869846*SIN(N*T+4.89396156) +0.0000598809*T*SIN(N*T+3.724650)
+0.00349362*SIN(2*N*T+4.83560487) +0.0000050442*T*SIN(2*N*T+4.349940)
+0.00004190*SIN(3*N*T+4.815888)
+0.00000061*SIN(4*N*T+4.7448)

SOLEIL

DU 24/ 6/1962 A 12H AU 29/ 7/1963 A 12H
2437840.0 2438240.0

DELTA T = 400.

X = -0.00774646 -0.0000580764*T
+0.99912157*SIN(N*T+0.18287905) +0.0001054017*T*SIN(N*T+4.717517)
+0.00872256*SIN(2*N*T+0.06073581) +0.0000223999*T*SIN(2*N*T+5.260862)
+0.00010420*SIN(3*N*T+0.090324)
+0.00000174*SIN(4*N*T+0.0712)

Y = +0.02264641 +0.0000056567*T
+0.91856156*SIN(N*T+4.89488995) +0.0001092676*T*SIN(N*T+3.627685)
+0.00852369*SIN(2*N*T+4.79510431) +0.0000271801*T*SIN(2*N*T+4.264419)
+0.00009507*SIN(3*N*T+4.807687)
+0.00000153*SIN(4*N*T+4.6397)

Z = +0.00946521 -0.0000071605*T
+0.39866456*SIN(N*T+4.89475119) +0.0000523100*T*SIN(N*T+3.779859)
+0.00981600*SIN(2*N*T+4.79280518) +0.0000147816*T*SIN(2*N*T+4.359658)
+0.00004116*SIN(3*N*T+4.810368)
+0.00000065*SIN(4*N*T+4.5521)

DU 29/ 7/1963 A 12H AU 1/ 9/1964 A 12H
2438240.0 2438640.0

DELTA T = 400.

X = -0.00573177 -0.0000037273*T
+0.99827568*SIN(N*T+0.18104289) +0.0001601803*T*SIN(N*T+4.623233)
+0.00762548*SIN(2*N*T+0.20702050) +0.0000243353*T*SIN(2*N*T+2.739908)
+0.00010256*SIN(3*N*T+0.107916)
+0.00000175*SIN(4*N*T+0.0606)

Y = +0.01904484 -0.0000945008*T
+0.91982466*SIN(N*T+4.89031782) +0.0002310634*T*SIN(N*T+3.623875)
+0.00737893*SIN(2*N*T+4.74809924) +0.0000249096*T*SIN(2*N*T+2.892600)
+0.00009540*SIN(3*N*T+4.817739)
+0.00000142*SIN(4*N*T+4.8221)

Z = +0.00863223 -0.0000305707*T
+0.39852383*SIN(N*T+4.89142326) +0.0000859053*T*SIN(N*T+3.555750)
+0.00322632*SIN(2*N*T+4.78965333) +0.0000070365*T*SIN(2*N*T+2.838231)
+0.00004127*SIN(3*N*T+4.821142)
+0.00000063*SIN(4*N*T+4.7638)

DU 1/ 9/1964 A 12H AU 6/10/1965 A 12H
2438640.0 2439040.0

DELTA T = 400.

X = -0.00360590 +0.0000558819*T
+1.00207418*SIN(N*T+0.18050148) +0.0001831021*T*SIN(N*T+5.254545)
+0.00815108*SIN(2*N*T+0.07996006) +0.0000176096*T*SIN(2*N*T+4.481572)
+0.00010499*SIN(3*N*T+0.122853)
+0.00000159*SIN(4*N*T+0.1991)

Y = +0.02181884 -0.0000175542*T
+0.91733425*SIN(N*T+4.89356159) +0.0001378700*T*SIN(N*T+3.322313)
+0.00741093*SIN(2*N*T+4.84262396) +0.0000084951*T*SIN(2*N*T+2.231560)
+0.00009632*SIN(3*N*T+4.837679)
+0.00000143*SIN(4*N*T+4.9075)

Z = +0.00946655 -0.0000074727*T
+0.39776555*SIN(N*T+4.89370028) +0.0000584643*T*SIN(N*T+3.305953)
+0.00322159*SIN(2*N*T+4.84064748) +0.0000035717*T*SIN(2*N*T+2.308768)
+0.00004178*SIN(3*N*T+4.837586)
+0.00000063*SIN(4*N*T+4.9098)

SOLEIL

DU 6/10/1965 A 12H AU 10/11/1966 A 12H DELTAT = 400.
 2439040.0 2439440.0

X = -0.00903747 -0.0001028239*T
 +0.99693741*SIN(N*T+0.18440274) +0.0001029032*T*SIN(N*T+3.911208)
 +0.00837290*SIN(2*N*T+0.15731471) +0.0000022692*T*SIN(2*N*T+1.364697)
 +0.00010625*SIN(3*N*T+0.125642)
 +0.00000165*SIN(4*N*T+0.3220)

Y = +0.02155248 -0.0000253922*T
 +0.91758364*SIN(N*T+4.89613942) +0.0000695644*T*SIN(N*T+3.430272)
 +0.00722328*SIN(2*N*T+4.78204544) +0.0000216399*T*SIN(2*N*T+2.604700)
 +0.00009650*SIN(3*N*T+4.827829)
 +0.00000139*SIN(4*N*T+4.8444)

Z = +0.00880754 -0.0000269941*T
 +0.39735450*SIN(N*T+4.89463423) +0.0000497467*T*SIN(N*T+3.055352)
 +0.00304978*SIN(2*N*T+4.83654445) +0.0000083542*T*SIN(2*N*T+1.977284)
 +0.00004190*SIN(3*N*T+4.834363)
 +0.00000061*SIN(4*N*T+4.9359)

DU 10/11/1966 A 12H AU 15/12/1967 A 12H DELTAT = 400.
 2439440.0 2439840.0

X = -0.00457633 +0.0000305635*T
 +0.99985686*SIN(N*T+0.18273776) +0.0001064587*T*SIN(N*T+4.903922)
 +0.00862811*SIN(2*N*T+0.20336343) +0.0000167366*T*SIN(2*N*T+1.204748)
 +0.00010558*SIN(3*N*T+0.104697)
 +0.00000154*SIN(4*N*T+0.0907)

Y = +0.02440834 +0.0000612156*T
 +0.91869511*SIN(N*T+4.89550890) +0.0000958180*T*SIN(N*T+3.772481)
 +0.00767077*SIN(2*N*T+4.88880687) +0.0000066655*T*SIN(2*N*T+0.120095)
 +0.00009630*SIN(3*N*T+4.823811)
 +0.00000126*SIN(4*N*T+4.7079)

Z = +0.00995406 +0.0000071883*T
 +0.39749070*SIN(N*T+4.89452295) +0.0000504828*T*SIN(N*T+3.135507)
 +0.00344372*SIN(2*N*T+4.94067621) +0.0000091095*T*SIN(2*N*T+6.043396)
 +0.00004206*SIN(3*N*T+4.824202)
 +0.00000055*SIN(4*N*T+4.8179)

DU 15/12/1967 A 12H AU 18/ 1/1969 A 12H DELTAT = 400.
 2439840.0 2440240.0

X = -0.00533756 +0.0000067044*T
 +0.99997390*SIN(N*T+0.18240831) +0.0001168957*T*SIN(N*T+4.938247)
 +0.00824039*SIN(2*N*T+0.15370441) +0.0000040916*T*SIN(2*N*T+2.994935)
 +0.00010416*SIN(3*N*T+0.102956)
 +0.00000140*SIN(4*N*T+6.2733)

Y = +0.02273928 +0.0000091457*T
 +0.91774927*SIN(N*T+4.89357302) +0.0001427308*T*SIN(N*T+3.411115)
 +0.00754352*SIN(2*N*T+4.88675328) +0.0000073481*T*SIN(2*N*T+0.751724)
 +0.00009575*SIN(3*N*T+4.814872)
 +0.00000131*SIN(4*N*T+4.6945)

Z = +0.00987062 +0.0000042851*T
 +0.39793321*SIN(N*T+4.89354173) +0.0000623624*T*SIN(N*T+3.391139)
 +0.00326635*SIN(2*N*T+4.88640502) +0.0000032443*T*SIN(2*N*T+0.797386)
 +0.00004152*SIN(3*N*T+4.814943)
 +0.00000056*SIN(4*N*T+4.6914)

SOLEIL

DU 18/ 1/1969 A 12H AU 22/ 2/1970 A 12H
2440240.0 2440640.0

DELTAT = 400.

X = -0.00401088 +0.0000501191*T
+0.99836385*SIN(N*T+0.18255522) +0.0001221596*T*SIN(N*T+4.491952)
+0.00845193*SIN(2*N*T+0.15394219) +0.0000034990*T*SIN(2*N*T+0.496918)
+0.00010350*SIN(3*N*T+0.108197)
+0.00000147*SIN(4*N*T+0.0449)

Y = +0.02349190 +0.0000349382*T
+0.91920435*SIN(N*T+4.89383777) +0.0001488525*T*SIN(N*T+3.743311)
+0.00714153*SIN(2*N*T+4.94742443) +0.0000269673*T*SIN(2*N*T+0.871252)
+0.00009608*SIN(3*N*T+4.820002)
+0.00000140*SIN(4*N*T+4.6518)

Z = +0.01075312 +0.0000337975*T
+0.39896224*SIN(N*T+4.89248668) +0.0000858907*T*SIN(N*T+3.784443)
+0.00310364*SIN(2*N*T+5.00965996) +0.0000171848*T*SIN(2*N*T+0.645794)
+0.00004182*SIN(3*N*T+4.815208)
+0.00000059*SIN(4*N*T+4.5854)

DU 22/ 2/1970 A 12H AU 29/ 3/1971 A 12H
2440640.0 2441040.0

DELTAT = 400.

X = -0.00797591 -0.0000827343*T
+1.00157298*SIN(N*T+0.18427300) +0.0000812935*T*SIN(N*T+5.722296)
+0.00866345*SIN(2*N*T+0.15086190) +0.0000104027*T*SIN(2*N*T+0.211448)
+0.00010504*SIN(3*N*T+0.114663)
+0.00000179*SIN(4*N*T+0.0930)

Y = +0.02556200 +0.0001063414*T
+0.91816717*SIN(N*T+4.89351946) +0.0001500514*T*SIN(N*T+3.508261)
+0.00866347*SIN(2*N*T+4.89430412) +0.0000351998*T*SIN(2*N*T+5.135007)
+0.00009543*SIN(3*N*T+4.820367)
+0.00000142*SIN(4*N*T+4.7282)

Z = +0.01158886 +0.0000633096*T
+0.39822236*SIN(N*T+4.89201276) +0.0000858933*T*SIN(N*T+3.492650)
+0.00388426*SIN(2*N*T+4.92070544) +0.0000204350*T*SIN(2*N*T+5.248064)
+0.00004124*SIN(3*N*T+4.815896)
+0.00000058*SIN(4*N*T+4.6613)

DU 29/ 3/1971 A 12H AU 2/ 5/1972 A 12H
2441040.0 2441440.0

DELTAT = 400.

X = -0.00569955 -0.0000036884*T
+0.99984936*SIN(N*T+0.18146563) +0.0001523743*T*SIN(N*T+4.898503)
+0.00851331*SIN(2*N*T+0.13935641) +0.0000053747*T*SIN(2*N*T+5.994446)
+0.00010587*SIN(3*N*T+0.119012)
+0.00000168*SIN(4*N*T+0.0720)

Y = +0.02272846 +0.0000089078*T
+0.91741609*SIN(N*T+4.89437481) +0.0001215321*T*SIN(N*T+3.344275)
+0.00780943*SIN(2*N*T+4.85661342) +0.0000044994*T*SIN(2*N*T+4.694224)
+0.00009717*SIN(3*N*T+4.830337)
+0.00000152*SIN(4*N*T+4.7893)

Z = +0.00983830 +0.0000032497*T
+0.39779228*SIN(N*T+4.89449424) +0.0000512833*T*SIN(N*T+3.327773)
+0.00337707*SIN(2*N*T+4.85693950) +0.0000016212*T*SIN(2*N*T+4.687880)
+0.00004215*SIN(3*N*T+4.830618)
+0.00000067*SIN(4*N*T+4.7885)

SOLEIL

DU 2/ 5/1972 A 12H AU 6/ 6/1973 A 12H DELTAT = 400.
2441440.0 2441840.0

X = -0.00508958 +0.0000180283*T
+0.99984051*SIN(N*T+0.18265248) +0.0001100667*T*SIN(N*T+4.898366)
+0.00827104*SIN(2*N*T+0.17147965) +0.0000082436*T*SIN(2*N*T+2.187019)
+0.00010618*SIN(3*N*T+0.106879)
+0.00000155*SIN(4*N*T+0.1285)

Y = +0.02182976 -0.0000237124*T
+0.91797985*SIN(N*T+4.89536105) +0.0000922436*T*SIN(N*T+3.576833)
+0.00784287*SIN(2*N*T+4.89279630) +0.0000112076*T*SIN(2*N*T+5.873183)
+0.00009719*SIN(3*N*T+4.824958)
+0.00000146*SIN(4*N*T+4.7830)

Z = +0.00921172 -0.0000196561*T
+0.39831794*SIN(N*T+4.89586681) +0.0000372379*T*SIN(N*T+3.880278)
+0.00341596*SIN(2*N*T+4.92162243) +0.0000083189*T*SIN(2*N*T+6.062762)
+0.00004201*SIN(3*N*T+4.822862)
+0.00000065*SIN(4*N*T+4.8198)

DU 6/ 6/1973 A 12H AU 11/ 7/1974 A 12H DELTAT = 400.
2441840.0 2442240.0

X = -0.00488397 +0.0000279176*T
+0.99997309*SIN(N*T+0.18587227) +0.0000155012*T*SIN(N*T+1.340433)
+0.00814335*SIN(2*N*T+0.15305045) +0.0000086360*T*SIN(2*N*T+3.006832)
+0.00010414*SIN(3*N*T+0.097111)
+0.00000166*SIN(4*N*T+0.2004)

Y = +0.02012504 -0.0000890070*T
+0.91912353*SIN(N*T+4.89519310) +0.0001165344*T*SIN(N*T+3.945807)
+0.00785092*SIN(2*N*T+4.78798747) +0.0000219613*T*SIN(2*N*T+3.560676)
+0.00009621*SIN(3*N*T+4.810721)
+0.00000127*SIN(4*N*T+4.7338)

Z = +0.00878074 -0.0000364889*T
+0.39839843*SIN(N*T+4.89523588) +0.0000468985*T*SIN(N*T+3.846773)
+0.00337029*SIN(2*N*T+4.79728728) +0.0000079917*T*SIN(2*N*T+3.459356)
+0.00004167*SIN(3*N*T+4.811580)
+0.00000058*SIN(4*N*T+4.8235)

DU 11/ 7/1974 A 12H AU 15/ 8/1975 A 12H DELTAT = 400.
2442240.0 2442640.0

X = -0.00573543 -0.0000039256*T
+0.99978700*SIN(N*T+0.18255239) +0.0001138494*T*SIN(N*T+4.885613)
+0.00834358*SIN(2*N*T+0.12897743) +0.0000049284*T*SIN(2*N*T+4.786137)
+0.00010333*SIN(3*N*T+0.092863)
+0.00000160*SIN(4*N*T+0.0046)

Y = +0.02197426 -0.0000172498*T
+0.91791478*SIN(N*T+4.89376353) +0.0001484204*T*SIN(N*T+3.471696)
+0.00781902*SIN(2*N*T+4.82343649) +0.0000119596*T*SIN(2*N*T+3.815299)
+0.00009495*SIN(3*N*T+4.805996)
+0.00000145*SIN(4*N*T+4.7077)

Z = +0.00959082 -0.0000049874*T
+0.39789617*SIN(N*T+4.89381550) +0.0000631228*T*SIN(N*T+3.390833)
+0.00337216*SIN(2*N*T+4.82549915) +0.0000045791*T*SIN(2*N*T+3.714413)
+0.00004117*SIN(3*N*T+4.805541)
+0.00000062*SIN(4*N*T+4.7099)

SOLEIL

DU 15/ 8/1975 A 12H AU 18/ 9/1976 A 12H
2442640.0 2443040.0

DELTA T = 400.

X = -0.00547554 +0.0000053558*T
+0.99955297*SIN(N*T+0.18169033) +0.0001510435*T*SIN(N*T+4.818689)
+0.00836968*SIN(2*N*T+0.15561662) +0.0000037156*T*SIN(2*N*T+1.549356)
+0.00010386*SIN(3*N*T+0.113313)
+0.00000152*SIN(4*N*T+0.0253)

Y = +0.02125146 -0.0000491779*T
+0.91799804*SIN(N*T+4.89226195) +0.0002081662*T*SIN(N*T+3.450003)
+0.00740526*SIN(2*N*T+4.80184501) +0.0000207913*T*SIN(2*N*T+2.687498)
+0.00009512*SIN(3*N*T+4.819793)
+0.00000146*SIN(4*N*T+4.7443)

Z = +0.00917195 -0.0000231554*T
+0.39792527*SIN(N*T+4.89222123) +0.0000905521*T*SIN(N*T+3.387305)
+0.00319700*SIN(2*N*T+4.81330484) +0.0000080959*T*SIN(2*N*T+2.526366)
+0.00004122*SIN(3*N*T+4.821163)
+0.00000062*SIN(4*N*T+4.7217)

DU 18/ 9/1976 A 12H AU 23/10/1977 A 12H
2443040.0 2443440.0

DELTA T = 400.

X = -0.00437302 +0.0000528857*T
+1.00079978*SIN(N*T+0.18234962) +0.0001297215*T*SIN(N*T+5.226477)
+0.00784626*SIN(2*N*T+0.11988706) +0.0000237961*T*SIN(2*N*T+3.661403)
+0.00010533*SIN(3*N*T+0.117622)
+0.00000171*SIN(4*N*T+0.1679)

Y = +0.02076500 -0.0000718401*T
+0.91712780*SIN(N*T+4.89438968) +0.0001250641*T*SIN(N*T+3.244537)
+0.00696726*SIN(2*N*T+4.86724997) +0.0000304485*T*SIN(2*N*T+1.614016)
+0.00009667*SIN(3*N*T+4.831090)
+0.00000143*SIN(4*N*T+4.7586)

Z = +0.00882375 -0.0000390675*T
+0.39749694*SIN(N*T+4.89393363) +0.0000634287*T*SIN(N*T+3.128099)
+0.00297252*SIN(2*N*T+4.88127191) +0.0000156184*T*SIN(2*N*T+1.510548)
+0.00004186*SIN(3*N*T+4.830892)
+0.00000058*SIN(4*N*T+4.7349)

DU 23/10/1977 A 12H AU 27/11/1978 A 12H
2443440.0 2443840.0

DELTA T = 400.

X = -0.00423952 +0.0000610114*T
+1.00125444*SIN(N*T+0.18102645) +0.0001952752*T*SIN(N*T+5.234114)
+0.00797741*SIN(2*N*T+0.11307284) +0.0000206865*T*SIN(2*N*T+3.895993)
+0.00010552*SIN(3*N*T+0.107720)
+0.00000169*SIN(4*N*T+0.1404)

Y = +0.02192530 -0.0000210844*T
+0.91677463*SIN(N*T+4.89447190) +0.0001255618*T*SIN(N*T+3.109403)
+0.00761145*SIN(2*N*T+4.88607881) +0.0000098873*T*SIN(2*N*T+0.318310)
+0.00009720*SIN(3*N*T+4.824035)
+0.00000152*SIN(4*N*T+4.8893)

Z = +0.00931689 -0.0000179419*T
+0.39727751*SIN(N*T+4.89405704) +0.0000651944*T*SIN(N*T+2.963535)
+0.00329407*SIN(2*N*T+4.91043968) +0.0000079944*T*SIN(2*N*T+0.286623)
+0.00004218*SIN(3*N*T+4.826535)
+0.00000066*SIN(4*N*T+4.9017)

SOLEIL

DU 27/11/1978 A 12H AU 1/ 1/1980 A 12H DELTAT = 400.
 2443840.0 2444240.0

X = -0.00505723 +0.0000257993*T
 +1.00011301*SIN(N*T+0.18154681) +0.0001638047*T*SIN(N*T+4.978952)
 +0.00816520*SIN(2*N*T+0.15880280) +0.0000107725*T*SIN(2*N*T+2.733145)
 +0.00010513*SIN(3*N*T+0.098119)
 +0.00000151*SIN(4*N*T+0.0764)

Y = +0.02356777 +0.0000559161*T
 +0.91861620*SIN(N*T+4.89433182) +0.0001452046*T*SIN(N*T+3.757001)
 +0.00742319*SIN(2*N*T+4.84756986) +0.0000123274*T*SIN(2*N*T+1.989703)
 +0.00009624*SIN(3*N*T+4.811006)
 +0.00000136*SIN(4*N*T+4.7832)

Z = +0.01018266 +0.0000224750*T
 +0.39824824*SIN(N*T+4.89426762) +0.0000629871*T*SIN(N*T+3.697037)
 +0.00322771*SIN(2*N*T+4.85113978) +0.0000047804*T*SIN(2*N*T+1.904577)
 +0.00004175*SIN(3*N*T+4.810868)
 +0.00000060*SIN(4*N*T+4.7973)

DU 1/ 1/1980 A 12H AU 4/ 2/1981 A 12H DELTAT = 400.
 2444240.0 2444640.0

X = -0.00553017 +0.0000011895*T
 +1.00042944*SIN(N*T+0.18388564) +0.0000555921*T*SIN(N*T+5.506957)
 +0.00801212*SIN(2*N*T+0.16612825) +0.0000196198*T*SIN(2*N*T+2.843859)
 +0.00010326*SIN(3*N*T+0.098569)
 +0.00000138*SIN(4*N*T+0.1627)

Y = +0.02212937 -0.0000154326*T
 +0.91701376*SIN(N*T+4.89491725) +0.0001060151*T*SIN(N*T+3.148644)
 +0.00766525*SIN(2*N*T+4.89878262) +0.0000158222*T*SIN(2*N*T+0.157796)
 +0.00009517*SIN(3*N*T+4.806851)
 +0.00000120*SIN(4*N*T+4.6604)

Z = +0.00982372 +0.0000050433*T
 +0.39784649*SIN(N*T+4.89454045) +0.0000534127*T*SIN(N*T+3.388480)
 +0.00327284*SIN(2*N*T+4.91489712) +0.0000099088*T*SIN(2*N*T+0.430875)
 +0.00004132*SIN(3*N*T+4.809200)
 +0.00000056*SIN(4*N*T+4.6804)

DU 4/ 2/1981 A 12H AU 11/ 3/1982 A 12H DELTAT = 400.
 2444640.0 2445040.0

X = -0.00752541 -0.0001082935*T
 +1.00152408*SIN(N*T+0.18388018) +0.0001024993*T*SIN(N*T+6.042379)
 +0.00792233*SIN(2*N*T+0.14510257) +0.0000235964*T*SIN(2*N*T+3.301734)
 +0.00010394*SIN(3*N*T+0.111733)
 +0.00000150*SIN(4*N*T+0.0550)

Y = +0.02240198 -0.0000018736*T
 +0.91740140*SIN(N*T+4.89486557) +0.0001061879*T*SIN(N*T+3.337716)
 +0.00769374*SIN(2*N*T+4.82859166) +0.0000127932*T*SIN(2*N*T+3.377660)
 +0.00009433*SIN(3*N*T+4.819364)
 +0.00000121*SIN(4*N*T+4.7608)

Z = +0.00997808 +0.0000135916*T
 +0.39797268*SIN(N*T+4.89410030) +0.0000637930*T*SIN(N*T+3.490157)
 +0.00332749*SIN(2*N*T+4.86016085) +0.0000002860*T*SIN(2*N*T+5.601454)
 +0.00004106*SIN(3*N*T+4.818061)
 +0.00000053*SIN(4*N*T+4.7424)

SOLEIL

DU 11/ 3/1982 A 12H AU 15/ 4/1983 A 12H
2445040.0 2445440.0

DELTAT = 400.

X = -0.00645071 -0.0000502381*T
+1.00073685*SIN(N*T+0.18253551) +0.0001286690*T*SIN(N*T+5.316230)
+0.00839145*SIN(2*N*T+0.16186990) +0.0000087712*T*SIN(2*N*T+1.461849)
+0.00010450*SIN(3*N*T+0.111853)
+0.00000161*SIN(4*N*T+0.0189)

Y = +0.02213676 -0.0000167570*T
+0.91752651*SIN(N*T+4.89577571) +0.0000603271*T*SIN(N*T+3.485654)
+0.00756156*SIN(2*N*T+4.86249786) +0.0000065526*T*SIN(2*N*T+1.295444)
+0.00009611*SIN(3*N*T+4.826167)
+0.00000150*SIN(4*N*T+4.7148)

Z = +0.00960519 -0.0000068698*T
+0.39781112*SIN(N*T+4.89581174) +0.0000253203*T*SIN(N*T+3.426843)
+0.00327726*SIN(2*N*T+4.86239892) +0.0000029068*T*SIN(2*N*T+1.312915)
+0.00004168*SIN(3*N*T+4.826221)
+0.00000065*SIN(4*N*T+4.7017)

DU 15/ 4/1983 A 12H AU 19/ 5/1984 A 12H
2445440.0 2445840.0

DELTAT = 400.

X = -0.00529813 +0.0000178050*T
+0.99993369*SIN(N*T+0.18282103) +0.0001002534*T*SIN(N*T+4.954022)
+0.00858497*SIN(2*N*T+0.17119712) +0.0000193791*T*SIN(2*N*T+0.951405)
+0.00010616*SIN(3*N*T+0.115855)
+0.00000165*SIN(4*N*T+0.0781)

Y = +0.02425155 +0.0001107221*T
+0.91635718*SIN(N*T+4.89411115) +0.0001634432*T*SIN(N*T+2.932509)
+0.00805487*SIN(2*N*T+4.83324829) +0.0000258052*T*SIN(2*N*T+4.365418)
+0.00009720*SIN(3*N*T+4.839657)
+0.00000164*SIN(4*N*T+4.6517)

Z = +0.01032871 +0.0000364490*T
+0.39740822*SIN(N*T+4.89463468) +0.0000573299*T*SIN(N*T+2.929215)
+0.00345105*SIN(2*N*T+4.84718970) +0.0000077364*T*SIN(2*N*T+4.570597)
+0.00004228*SIN(3*N*T+4.836877)
+0.00000067*SIN(4*N*T+4.6662)

DU 19/ 5/1984 A 12H AU 23/ 6/1985 A 12H
2445840.0 2446240.0

DELTAT = 400.

X = -0.00671562 -0.0000739866*T
+1.00053015*SIN(N*T+0.18139183) +0.0001974827*T*SIN(N*T+5.125065)
+0.00853888*SIN(2*N*T+0.11983198) +0.0000174461*T*SIN(2*N*T+5.509072)
+0.00010653*SIN(3*N*T+0.110838)
+0.00000172*SIN(4*N*T+0.0568)

Y = +0.02142497 -0.0000691497*T
+0.91794957*SIN(N*T+4.89569039) +0.0000711055*T*SIN(N*T+3.912571)
+0.00754166*SIN(2*N*T+4.86660939) +0.0000106230*T*SIN(2*N*T+1.192552)
+0.00009797*SIN(3*N*T+4.813644)
+0.00000145*SIN(4*N*T+4.7554)

Z = +0.00912280 -0.0000409965*T
+0.39816693*SIN(N*T+4.89597481) +0.0000327399*T*SIN(N*T+4.296426)
+0.00329138*SIN(2*N*T+4.88460251) +0.0000067230*T*SIN(2*N*T+0.539668)
+0.00004235*SIN(3*N*T+4.810423)
+0.00000062*SIN(4*N*T+4.7895)

SOLEIL

DU 23/ 6/1985 A 12H AU 28/ 7/1986 A 12H
2446240.0 2446640.0

DELTA T = 400.

X = -0.00557751 +0.0000019875*T
+0.99990444*SIN(N*T+0.18292948) +0.0000893857*T*SIN(N*T+4.962283)
+0.00840917*SIN(2*N*T+0.13993406) +0.0000043969*T*SIN(2*N*T+5.988486)
+0.00010459*SIN(3*N*T+0.089358)
+0.00000161*SIN(4*N*T+0.1139)

Y = +0.02216462 -0.0000182462*T
+0.91754306*SIN(N*T+4.89477928) +0.0001170064*T*SIN(N*T+3.427857)
+0.00767255*SIN(2*N*T+4.84523143) +0.0000054977*T*SIN(2*N*T+3.372675)
+0.00009612*SIN(3*N*T+4.800845)
+0.00000146*SIN(4*N*T+4.8359)

Z = +0.00962186 -0.0000070924*T
+0.39780357*SIN(N*T+4.89476452) +0.0000511484*T*SIN(N*T+3.378825)
+0.0032368*SIN(2*N*T+4.84510332) +0.0000024018*T*SIN(2*N*T+3.280217)
+0.00004167*SIN(3*N*T+4.800630)
+0.00000064*SIN(4*N*T+4.8508)

DU 28/ 7/1986 A 12H AU 1/ 9/1987 A 12H
2446640.0 2447040.0

DELTA T = 400.

X = -0.00533922 +0.0000234918*T
+1.00065200*SIN(N*T+0.18366871) +0.0000728962*T*SIN(N*T+6.013584)
+0.00880114*SIN(2*N*T+0.11298605) +0.0000390491*T*SIN(2*N*T+5.888254)
+0.00010446*SIN(3*N*T+0.091227)
+0.00000147*SIN(4*N*T+0.0923)

Y = +0.02217967 -0.0000192535*T
+0.91783982*SIN(N*T+4.89443841) +0.0001469230*T*SIN(N*T+3.565759)
+0.00784301*SIN(2*N*T+4.80762594) +0.0000307330*T*SIN(2*N*T+3.690590)
+0.00009512*SIN(3*N*T+4.794343)
+0.00000148*SIN(4*N*T+4.7071)

Z = +0.00969055 -0.0000026750*T
+0.39781984*SIN(N*T+4.89463127) +0.0000562049*T*SIN(N*T+3.399403)
+0.00338162*SIN(2*N*T+4.81551053) +0.0000108352*T*SIN(2*N*T+3.657875)
+0.00004108*SIN(3*N*T+4.793540)
+0.00000065*SIN(4*N*T+4.6586)

DU 1/ 9/1987 A 12H AU 5/10/1988 A 12H
2447040.0 2447440.0

DELTA T = 400.

X = -0.00410958 +0.0001289086*T
+1.00128585*SIN(N*T+0.18272987) +0.0001625997*T*SIN(N*T+5.763767)
+0.00838251*SIN(2*N*T+0.11798550) +0.0000168699*T*SIN(2*N*T+4.936505)
+0.00010390*SIN(3*N*T+0.097091)
+0.00000156*SIN(4*N*T+0.1273)

Y = +0.02280257 +0.0000323535*T
+0.91736589*SIN(N*T+4.89569579) +0.0000463757*T*SIN(N*T+3.315889)
+0.00774877*SIN(2*N*T+4.87055590) +0.0000128833*T*SIN(2*N*T+5.847434)
+0.00009557*SIN(3*N*T+4.823029)
+0.00000124*SIN(4*N*T+4.7080)

Z = +0.00980296 +0.0000068897*T
+0.39771622*SIN(N*T+4.89543827) +0.0000293075*T*SIN(N*T+3.204249)
+0.00333237*SIN(2*N*T+4.87092106) +0.0000048667*T*SIN(2*N*T+6.276014)
+0.00004131*SIN(3*N*T+4.823578)
+0.00000055*SIN(4*N*T+4.6733)

SOLEIL

DU 5/10/1988 A 12H AU 9/11/1989 A 12H
2447440.0 2447840.0

DELTA T = 400.

X = -0.00533835 +0.0000229698*T
+1.00004401*SIN(N*T+0.18197151) +0.0001730931*T*SIN(N*T+5.004037)
+0.00821710*SIN(2*N*T+0.13486605) +0.0000137117*T*SIN(2*N*T+3.737148)
+0.00010515*SIN(3*N*T+0.114258)
+0.00000156*SIN(4*N*T+0.1037)

Y = +0.02208947 -0.0000294280*T
+0.91732154*SIN(N*T+4.89450004) +0.0001420060*T*SIN(N*T+3.293482)
+0.00753049*SIN(2*N*T+4.85229388) +0.0000121248*T*SIN(2*N*T+1.868372)
+0.00009650*SIN(3*N*T+4.826724)
+0.00000144*SIN(4*N*T+4.8142)

Z = +0.00958026 -0.0000125143*T
+0.39772996*SIN(N*T+4.89454395) +0.0000603637*T*SIN(N*T+3.287658)
+0.00326664*SIN(2*N*T+4.85143624) +0.0000051781*T*SIN(2*N*T+1.924500)
+0.00004184*SIN(3*N*T+4.826633)
+0.00000062*SIN(4*N*T+4.8016)

DU 9/11/1989 A 12H AU 14/12/1990 A 12H
2447840.0 2448240.0

DELTA T = 400.

X = -0.00522677 +0.0000403390*T
+1.00041654*SIN(N*T+0.18211978) +0.0001757281*T*SIN(N*T+5.240249)
+0.00799041*SIN(2*N*T+0.12062814) +0.0000404150*T*SIN(2*N*T+3.690009)
+0.00010481*SIN(3*N*T+0.109660)
+0.00000159*SIN(4*N*T+0.1642)

Y = +0.02188913 -0.0000517086*T
+0.91704637*SIN(N*T+4.89528119) +0.0000813766*T*SIN(N*T+2.902239)
+0.00762637*SIN(2*N*T+4.84380140) +0.0000082296*T*SIN(2*N*T+2.909021)
+0.00009701*SIN(3*N*T+4.811042)
+0.00000159*SIN(4*N*T+4.7746)

Z = +0.00969671 -0.0000008768*T
+0.39785414*SIN(N*T+4.89548421) +0.0000267280*T*SIN(N*T+3.744049)
+0.00326400*SIN(2*N*T+4.82608650) +0.0000109910*T*SIN(2*N*T+2.699937)
+0.00004181*SIN(3*N*T+4.813651)
+0.00000067*SIN(4*N*T+4.7845)

DU 14/12/1990 A 12H AU 18/ 1/1992 A 12H
2448240.0 2448640.0

DELTA T = 400.

X = -0.00533789 +0.0000313125*T
+0.99991816*SIN(N*T+0.18271880) +0.0001019021*T*SIN(N*T+4.998076)
+0.00835763*SIN(2*N*T+0.15713106) +0.0000155520*T*SIN(2*N*T+1.600116)
+0.00010520*SIN(3*N*T+0.094558)
+0.00000156*SIN(4*N*T+0.1220)

Y = +0.02257131 +0.0000206160*T
+0.91730450*SIN(N*T+4.89521006) +0.0000799580*T*SIN(N*T+3.221951)
+0.00775995*SIN(2*N*T+4.86185187) +0.0000138882*T*SIN(2*N*T+5.375173)
+0.00009595*SIN(3*N*T+4.805188)
+0.00000141*SIN(4*N*T+4.6650)

Z = +0.00993416 +0.0000262536*T
+0.39788637*SIN(N*T+4.89509521) +0.0000432830*T*SIN(N*T+3.694962)
+0.00331617*SIN(2*N*T+4.86275772) +0.0000035772*T*SIN(2*N*T+0.262256)
+0.00004170*SIN(3*N*T+4.810129)
+0.00000059*SIN(4*N*T+4.7472)

SOLEIL

DU 18/ 1/1992 A 12H AU 21/ 2/1993 A 12H
2448640.0 2449040.0

DELTAT = 400.

X = -0.00526847 +0.0000416360*T
+0.99971704*SIN(N*T+0.18232982) +0.0001522201*T*SIN(N*T+4.798727)
+0.00837353*SIN(2*N*T+0.14926488) +0.0000077623*T*SIN(2*N*T+1.364232)
+0.00010388*SIN(3*N*T+0.092335)
+0.00000140*SIN(4*N*T+0.0782)

Y = +0.02246152 +0.0000050481*T
+0.91743590*SIN(N*T+4.89468977) +0.0001400006*T*SIN(N*T+3.372392)
+0.00763499*SIN(2*N*T+4.86098168) +0.0000075010*T*SIN(2*N*T+0.716907)
+0.00009539*SIN(3*N*T+4.806007)
+0.00000130*SIN(4*N*T+4.7980)

Z = +0.00973690 +0.0000019487*T
+0.39776284*SIN(N*T+4.89468487) +0.0000608847*T*SIN(N*T+3.343168)
+0.00330969*SIN(2*N*T+4.86072944) +0.0000032178*T*SIN(2*N*T+0.759907)
+0.00004136*SIN(3*N*T+4.806197)
+0.00000057*SIN(4*N*T+4.8127)

DU 21/ 2/1993 A 12H AU 28/ 3/1994 A 12H
2449040.0 2449440.0

DELTAT = 400.

X = -0.00595690 -0.0000622682*T
+1.00038264*SIN(N*T+0.18294722) +0.0001111385*T*SIN(N*T+5.826980)
+0.00819931*SIN(2*N*T+0.15824627) +0.0000305298*T*SIN(2*N*T+2.510305)
+0.00010407*SIN(3*N*T+0.097089)
+0.00000138*SIN(4*N*T+0.0390)

Y = +0.02218263 -0.0000338946*T
+0.91738689*SIN(N*T+4.89524479) +0.0000673108*T*SIN(N*T+3.342377)
+0.00755140*SIN(2*N*T+4.85233823) +0.0000166091*T*SIN(2*N*T+1.869298)
+0.00009537*SIN(3*N*T+4.816959)
+0.00000135*SIN(4*N*T+4.7544)

Z = +0.00952468 -0.0000294094*T
+0.39771126*SIN(N*T+4.89558656) +0.0000091889*T*SIN(N*T+2.716735)
+0.00324051*SIN(2*N*T+4.84713099) +0.0000130914*T*SIN(2*N*T+1.985608)
+0.00004151*SIN(3*N*T+4.818765)
+0.00000059*SIN(4*N*T+4.7376)

DU 28/ 3/1994 A 12H AU 2/ 5/1995 A 12H
2449440.0 2449840.0

DELTAT = 400.

X = -0.00583768 -0.0000487442*T
+0.99995336*SIN(N*T+0.18282135) +0.0000853528*T*SIN(N*T+5.174839)
+0.00846442*SIN(2*N*T+0.14102058) +0.0000210768*T*SIN(2*N*T+0.041203)
+0.00010488*SIN(3*N*T+0.105451)
+0.00000161*SIN(4*N*T+0.0861)

Y = +0.02233409 -0.0000165423*T
+0.91751316*SIN(N*T+4.89566977) +0.0000308099*T*SIN(N*T+5.283854)
+0.00766087*SIN(2*N*T+4.85685364) +0.0000042153*T*SIN(2*N*T+0.191094)
+0.00009660*SIN(3*N*T+4.812835)
+0.00000147*SIN(4*N*T+4.6062)

Z = +0.00960054 -0.0000230769*T
+0.39782144*SIN(N*T+4.89595711) +0.0000312977*T*SIN(N*T+5.908408)
+0.00329505*SIN(2*N*T+4.86018550) +0.0000065085*T*SIN(2*N*T+1.012663)
+0.00004195*SIN(3*N*T+4.809657)
+0.00000062*SIN(4*N*T+4.5131)

SOLEIL

DU 2/ 5/1995 A 12H AU 5/ 6/1996 A 12H
 2449840.0 2450240.0 DELTAT = 400.

X = -0.00580012 -0.0000448936*T
 +1.00001191*SIN(N*T+0.18229139) +0.0002053358*T*SIN(N*T+5.090554)
 +0.00844941*SIN(2*N*T+0.14203198) +0.0000196176*T*SIN(2*N*T+0.220292)
 +0.00010576*SIN(3*N*T+0.108412)
 +0.00000167*SIN(4*N*T+6.2557)

Y = +0.02242358 -0.0000077430*T
 +0.91745600*SIN(N*T+4.89501731) +0.0001041584*T*SIN(N*T+3.524053)
 +0.00768991*SIN(2*N*T+4.85631397) +0.0000069065*T*SIN(2*N*T+5.945058)
 +0.00009726*SIN(3*N*T+4.816817)
 +0.00000149*SIN(4*N*T+4.6883)

Z = +0.00973604 +0.0000000864*T
 +0.39775460*SIN(N*T+4.89500596) +0.0000460054*T*SIN(N*T+3.407917)
 +0.00333203*SIN(2*N*T+4.85468520) +0.0000016094*T*SIN(2*N*T+5.896447)
 +0.00004221*SIN(3*N*T+4.817446)
 +0.00000064*SIN(4*N*T+4.6646)

DU 5/ 6/1996 A 12H AU 10/ 7/1997 A 12H
 2450240.0 2450640.0 DELTAT = 400.

X = -0.00547623 +0.0000396817*T
 +0.99986119*SIN(N*T+0.18270643) +0.0000914189*T*SIN(N*T+5.011844)
 +0.00836507*SIN(2*N*T+0.14612227) +0.0000133425*T*SIN(2*N*T+1.566819)
 +0.00010549*SIN(3*N*T+0.093973)
 +0.00000168*SIN(4*N*T+0.0651)

Y = +0.02236703 -0.0000256662*T
 +0.91744569*SIN(N*T+4.89503636) +0.0000991917*T*SIN(N*T+3.552725)
 +0.00767827*SIN(2*N*T+4.85821349) +0.0000118742*T*SIN(2*N*T+6.209912)
 +0.00009671*SIN(3*N*T+4.807918)
 +0.00000155*SIN(4*N*T+4.7619)

Z = +0.00970139 -0.0000098697*T
 +0.39776107*SIN(N*T+4.89503578) +0.0000431510*T*SIN(N*T+3.482903)
 +0.00332719*SIN(2*N*T+4.85807730) +0.0000049451*T*SIN(2*N*T+0.050527)
 +0.00004192*SIN(3*N*T+4.807422)
 +0.00000068*SIN(4*N*T+4.7546)

DU 10/ 7/1997 A 12H AU 14/ 8/1998 A 12H
 2450640.0 2451040.0 DELTAT = 400.

X = -0.00584570 -0.0001092986*T
 +0.99972986*SIN(N*T+0.18258097) +0.0001455552*T*SIN(N*T+4.545773)
 +0.00832403*SIN(2*N*T+0.13069802) +0.0000390303*T*SIN(2*N*T+4.279758)
 +0.00010397*SIN(3*N*T+0.079978)
 +0.00000165*SIN(4*N*T+0.2463)

Y = +0.02241638 -0.0000002251*T
 +0.91733946*SIN(N*T+4.89511433) +0.0000532111*T*SIN(N*T+2.865493)
 +0.00765400*SIN(2*N*T+4.84934151) +0.0000094867*T*SIN(2*N*T+2.468051)
 +0.00009502*SIN(3*N*T+4.794488)
 +0.00000152*SIN(4*N*T+4.7401)

Z = +0.00971398 -0.0000025944*T
 +0.39771743*SIN(N*T+4.89508420) +0.0000299858*T*SIN(N*T+2.891831)
 +0.00331669*SIN(2*N*T+4.84847040) +0.0000059267*T*SIN(2*N*T+2.522638)
 +0.00004122*SIN(3*N*T+4.794834)
 +0.00000067*SIN(4*N*T+4.8185)

SOLEIL

DU 14/ 8/1998 A 12H AU 18/ 9/1999 A 12H
 2451040.0 2451440.0 DELTAT = 400.

X = -0.00560610 +0.0000603162*T
 +0.99987142*SIN(N*T+0.18267882) +0.0001071686*T*SIN(N*T+5.602303)
 +0.00836353*SIN(2*N*T+0.13701750) +0.0000190372*T*SIN(2*N*T+5.832897)
 +0.00010331*SIN(3*N*T+0.088433)
 +0.00000154*SIN(4*N*T+0.0817)

Y = +0.02237000 -0.0000227316*T
 +0.91743270*SIN(N*T+4.89494586) +0.0001589873*T*SIN(N*T+3.563756)
 +0.00767465*SIN(2*N*T+4.84878317) +0.0000187148*T*SIN(2*N*T+4.046634)
 +0.00009472*SIN(3*N*T+4.802412)
 +0.00000140*SIN(4*N*T+4.7516)

Z = +0.00969101 -0.0000194277*T
 +0.39776105*SIN(N*T+4.89491525) +0.0000828304*T*SIN(N*T+3.536755)
 +0.00332620*SIN(2*N*T+4.84762347) +0.0000098891*T*SIN(2*N*T+3.599925)
 +0.00004111*SIN(3*N*T+4.798858)
 +0.00000062*SIN(4*N*T+4.7961)

DU 18/ 9/1999 A 12H AU 22/10/2000 A 12H
 2451440.0 2451840.0 DELTAT = 400.

X = -0.00562894 +0.0000288101*T
 +0.99982789*SIN(N*T+0.18266171) +0.0001460733*T*SIN(N*T+5.045817)
 +0.00835427*SIN(2*N*T+0.13929562) +0.0000050731*T*SIN(2*N*T+5.730802)
 +0.00010422*SIN(3*N*T+0.107461)
 +0.00000139*SIN(4*N*T+0.1031)

Y = +0.02240506 +0.0000385419*T
 +0.91737533*SIN(N*T+4.89498434) +0.0000855967*T*SIN(N*T+3.479473)
 +0.00766547*SIN(2*N*T+4.85215734) +0.0000130038*T*SIN(2*N*T+4.232535)
 +0.00009585*SIN(3*N*T+4.819053)
 +0.00000129*SIN(4*N*T+4.8395)

Z = +0.00971431 +0.0000152308*T
 +0.39772997*SIN(N*T+4.89498120) +0.0000367912*T*SIN(N*T+3.403158)
 +0.00332330*SIN(2*N*T+4.85210706) +0.0000053623*T*SIN(2*N*T+4.290937)
 +0.00004156*SIN(3*N*T+4.819529)
 +0.00000055*SIN(4*N*T+4.8544)

ANNEXE 2.

DÉTERMINATION DE LA DATE JULIENNE À PARTIR DE LA DATE.

Exprimée en jours et fraction de jour, la date julienne est le temps écoulé depuis le 1er janvier 4713 avant J.-C., à 12 heures (soit le 1er janvier - 4712 à 12 heures).

Pour calculer cette date julienne J , on part de l'année $YYYY$, du mois MM (de 00 à 12), du jour DD (de 0 à 31), et de l'heure que l'on convertit en fraction de jour, ce qui donne $DD.dd$.

Si $MM > 2$ il faut prendre $y = YYYY$ et $m = MM$

Si $MM = 1$ ou 2 il faut prendre $y = YYYY - 1$ et $m = MM + 12$

Jusqu'au 4 octobre 1582 inclus le calendrier julien était en usage, et l'on a :

$$J = IP(365.25y) + IP(30.6001(m + 1)) + DD.dd + 1720\,994.5$$

Après le 15 octobre 1582, il faut ajouter à la quantité J calculée comme ci-dessus, la quantité B où :

$$B = 2 - A + IP(A/4)$$

avec,

$$A = IP(y/100)$$

NOTA. Dans les formules ci-dessus $IP(x)$ désigne la partie entière de x , c'est à dire le nombre entier, avec son signe, qui précède le point décimal.