
*NOTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES
DU BUREAU DES LONGITUDES*

S012

**TABLES DES POSITIONS DU SOLEIL, DES PLANETES ET DE LA LUNE
ENTRE 1950 ET 2020**

Jean Chapront

Gérard Francou

*Service des Calculs et de Mécanique Céleste du Bureau des Longitudes
UA 040707
77, avenue Denfert-Rochereau
75014 - Paris*

Décembre 1985

TABLE DES MATIERES.

1. OBJET.....	5
2. PRESENTATION DES TABLES.....	6
3. UTILISATION DES TABLES.....	8
A. Notations et principes d'utilisation.....	8
B. Coordonnées barycentriques du soleil et des planètes.....	9
C. Coordonnées héliocentriques des planètes.....	10
D. Coordonnées géocentriques du soleil et des planètes.....	10
E. Coordonnées géocentriques de la lune.....	11
4. ELABORATION DES EPHEMERIDES.....	12
A. Notations.....	12
B. Coordonnées équatoriales.....	13
C. Coordonnées moyennes.....	13
D. Coordonnées vraies.....	14
E. Coordonnées géocentriques apparentes.....	15
F. Coordonnées sphériques.....	16
5. PRECISION.....	17
6. AGENCEMENT DES TABLES.....	18
7. PROGRAMMES ET FICHIERS.....	18
8. REFERENCES.....	19
ANNEXE : Exemples d'application.....	20
TABLEAU A : Caractéristiques des tables.....	28
TABLEAUX B 1 ET B 2 : Termes de Mercure.....	29
TABLEAUX C 1 ET C 2 : Termes de la terre.....	30
TABLEAU D : Coefficients de la nutation.....	31
TABLEAU E : Précision des tables.....	32
TABLEAU F : Agencement des tables.....	33

1. OBJET.

Les tables présentées dans cette note sont destinées aux utilisateurs qui souhaitent disposer, sous une forme relativement réduite, d'éphémérides astronomiques s'étendant sur plusieurs années, tout en conservant une précision comparable à celle fournie par les publications annuelles telles que la *Connaissance des Temps* ou l'*Astronomical Almanac*.

On trouve dans ces tables un ensemble de coefficients permettant le calcul des coordonnées du soleil et des planètes rapportées au barycentre du système solaire et des coordonnées géocentriques de la lune.

Le passage à des positions héliocentriques ou géocentriques et les transformations concernant la nature des coordonnées et le choix du repère nécessitent quelques calculs qui sont facilement exécutables si l'utilisateur dispose d'un micro-ordinateur. Des schémas de calcul d'éphémérides à partir des tables sont proposés dans cette note, ainsi que des exemples d'application.

Les tables couvrent la période contemporaine, de 1950 à 2020. Toutes les demandes concernant une autre époque seront satisfaites dans la mesure où aucune autre éphéméride déjà existante ne pourrait se substituer à ce type de tables.

Adressez vos demandes à :

J. Chapront ou G. Francou
Bureau des Longitudes
77, avenue Denfert-Rochereau
75014 - Paris
FRANCE

2. PRÉSENTATION DES TABLES.

Les tables contiennent les éléments d'une représentation du mouvement des corps du système solaire sur des intervalles de temps dont la taille est de l'ordre d'une à quelques périodes de révolution de ces corps.

Cette représentation, de forme compacte, a été établie à l'aide de fonctions d'approximation dans lesquelles figurent des termes séculaires et des termes périodiques du temps (*Chapront et Yu, 1984*).

Les sources utilisées pour établir ces tables sont les éphémérides BDL82 (*Franco et al., 1983*) qui ont été calculées à partir des nouvelles théories du soleil, des planètes et de la lune élaborées au Bureau des Longitudes (*Bretagnon, 1982*), (*Chapront-Touzé et Chapront, 1983*), (*Simon, 1983*). Pour Pluton, on a utilisé les résultats de l'intégration numérique DE200 du Jet Propulsion Laboratory (*Standish et Williams, 1982*).

Les grandeurs représentées dans les tables sont les coordonnées rectangulaires moyennes des corps rapportées à l'équinoxe et à l'écliptique définis par le catalogue fondamental FK5 à l'époque J2000.0, DJ2451545,0 (*Fricke, 1981*).

L'échelle de temps utilisée est celle du temps dynamique (TDT). Ce temps est voisin de ce que l'on appelait autrefois le Temps des Ephémérides (ET); il peut être considéré égal au Temps Atomique International (TAI) plus 32,184 s. La différence entre TAI et le Temps Universel (UT) est publiée périodiquement par le Bureau International de l'Heure (BIH).

Les coordonnées du soleil et des planètes sont rapportées au barycentre du système solaire; celles de la lune sont géocentriques. Le passage à des coordonnées héliocentriques ou géocentriques est expliqué dans le chapitre 3.

Sur un intervalle de temps Δt donné, les coordonnées rectangulaires X, Y, Z se présentent sous la forme générale suivante :

$$\begin{aligned}
 X, Y, Z = & a_0 + \sum_{n=1, k} a_n \sin(n\phi t + b_n) \\
 & + a'_0 t + \left\{ \sum_{n=1, k'} a'_n t \sin(n\phi t + b'_n) \right\} \\
 & + \left\{ a''_0 t^2 + \sum_{n=1, k''} a''_n t^2 \sin(n\phi t + b''_n) \right\}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Dans la formule (1), les sommations figurant entre accolades { } peuvent être absentes; cette absence dépend du corps concerné.

Le temps t est compté en années juliennes à partir de J2000.0, soit :
 $t = (\text{date julienne} - 2451545)/365,25$.

Les unités des coefficients a_n , a'_n , a''_n sont respectivement :

- UA, UA/an, UA/an² pour le soleil et les planètes,
- km, km/an, km/an² pour la lune,

[La valeur de l'unité astronomique (UA), recommandée par l'UAI, est égale à :
 149 597 870 km].

La fréquence de base ϕ est exprimée en radian/an et **les phases b_n , b'_n , b''_n** en radian.

Les tables des positions du soleil, des planètes et de la lune contiennent, pour chaque corps et chaque intervalle de temps, dans la période 1950-2020 :

- les valeurs des **coefficients** a_n , a'_n , a''_n notés **A(N), AP(N), AS(N)**,
- la valeur de la **fréquence** de base ϕ notée **F**,
- les valeurs des **phases** b_n , b'_n , b''_n notées **B(N), BP(N), BS(N)**.

Le tableau A récapitule les principales caractéristiques des tables pour chaque corps :

- les paramètres k, k', k'' ,
- la fréquence de base ϕ ,
- la taille des intervalles de temps Δt .

3. UTILISATION DES TABLES

A. NOTATIONS ET PRINCIPES D'UTILISATION.

Dans la suite on désignera par :

G : le barycentre du système solaire,

S : le soleil,

T : la terre,

P : une planète quelconque,

B : le barycentre du système terre-lune.

Les composantes des différents vecteurs intervenant dans les calculs sont notées respectivement :

(X_S, Y_S, Z_S) coordonnées barycentriques du soleil, vecteur **GS**,

(X_T, Y_T, Z_T) " " de la terre, vecteur **GT**,

(X_P, Y_P, Z_P) " " d'une planète quelconque, vecteur **GP**,

(X_B, Y_B, Z_B) " " du barycentre du système terre-lune, vecteur **GB**.

Le passage des coordonnées barycentriques aux coordonnées héliocentriques est effectué à l'aide du vecteur **GS**. On écrit :

SP = (X_P^h, Y_P^h, Z_P^h) , le vecteur de position héliocentrique d'une planète **P**, avec :

$$\mathbf{SP} = \mathbf{GP} - \mathbf{GS} = (X_P^h = X_P - X_S, Y_P^h = Y_P - Y_S, Z_P^h = Z_P - Z_S). \quad (2)$$

Le passage des coordonnées barycentriques de **B** (barycentre du système terre-lune) aux coordonnées barycentriques de **T** (la terre) est effectué à l'aide du vecteur **BT**, avec :

BT = (ξ, η, ζ) , soit,

$$\mathbf{GT} = \mathbf{GB} + \mathbf{BT} = (X_T = X_B + \xi, Y_T = Y_B + \eta, Z_T = Z_B + \zeta). \quad (3)$$

Le passage des coordonnées barycentriques aux coordonnées géocentriques est effectué à l'aide du vecteur **GT** construit ci-dessus. On écrit:

TP = (X_P^g, Y_P^g, Z_P^g) , le vecteur de position géocentrique d'une planète **P**, avec :

$$\mathbf{TP} = \mathbf{GP} - \mathbf{GT} = (X_P^g = X_P - X_T, Y_P^g = Y_P - Y_T, Z_P^g = Z_P - Z_T). \quad (4)$$

B. COORDONNEES BARYCENTRIQUES DU SOLEIL ET DES PLANETES.

Les tables fournissent directement les coordonnées rectangulaires du soleil, des planètes et du barycentre du système terre-lune rapportées au barycentre du système solaire. Les valeurs des masses utilisées sont celles recommandées par l'Union Astronomique Internationale (1977).

Pour calculer les coordonnées rectangulaires barycentriques X, Y, Z d'un corps, il suffit de chercher l'intervalle de temps auquel appartient la date choisie et de substituer le temps dans les tables correspondantes en appliquant le calcul décrit par l'expression (1).

Cas de Mercure.

Alors que pour les autres corps les tables permettent d'obtenir directement les coordonnées rectangulaires barycentriques, dans le cas de Mercure, elles fournissent les écarts notés ΔX_{Me} , ΔY_{Me} , ΔZ_{Me} à une orbite intermédiaire dont les composantes sont notées : X^*_{Me} , Y^*_{Me} , Z^*_{Me} . Les coordonnées barycentriques de Mercure s'obtiennent avec :

$$\begin{aligned} X_{Me} &= \Delta X_{Me} (\text{tables}) + X^*_{Me} . \\ Y_{Me} &= \Delta Y_{Me} (\text{tables}) + Y^*_{Me} . \\ Z_{Me} &= \Delta Z_{Me} (\text{tables}) + Z^*_{Me} . \end{aligned} \tag{5}$$

Les quantités X^*_{Me} , Y^*_{Me} , Z^*_{Me} ont la forme générale suivante :

$$\begin{aligned} X^*_{Me}, Y^*_{Me}, Z^*_{Me} &= a^*_0 + \sum_{n=1, 12} a^*_n \sin(n\phi t + b^*_n) \\ &+ a'^*_0 t + \sum_{n=1, 8} a'^*_n t \sin(n\phi t + b'^*_n) \end{aligned} \tag{6}$$

Le temps t est compté en années juliennes à partir de J2000.0, soit :
 $t = (\text{date julienne} - 2451545)/365,25$.

La fréquence de base ϕ est égale à 26,087 903 142 radians par an.

Les valeurs des coefficients a^*_n et a'^*_n (UA et UA/an) et des phases b^*_n et b'^*_n (radian) sont données dans les **tableaux B1 et B2**. Elles sont valables sur tout l'intervalle de construction des tables (1950 à 2020).

Cas de la terre.

Les tables ne donnent pas directement les coordonnées barycentriques de la terre mais celles du barycentre terre-lune. Le calcul des coordonnées barycentriques de la terre est présenté dans (S 3-D).

C. COORDONNEES HELIOCENTRIQUES DES PLANETES.

Connaissant les coordonnées barycentriques du soleil (X_S, Y_S, Z_S) et celles d'une planète (X_P, Y_P, Z_P) grâce aux tables (S3-B), on détermine les **coordonnées héliocentriques X_P^h, Y_P^h, Z_P^h de la planète** avec :

$$\begin{aligned} X_P^h &= X_P - X_S, \\ Y_P^h &= Y_P - Y_S, \\ Z_P^h &= Z_P - Z_S. \end{aligned} \tag{7}$$

D. COORDONNEES GEOCENTRIQUES DU SOLEIL ET DES PLANETES.

Les **coordonnées barycentriques de la terre X_T, Y_T, Z_T** sont obtenues en calculant tout d'abord les coordonnées barycentriques du barycentre terre-lune X_B, Y_B, Z_B , puis en leur ajoutant les coordonnées ξ, η, ζ de la terre par rapport au barycentre terre-lune:

$$\begin{aligned} X_T &= X_B + \xi, \\ Y_T &= Y_B + \eta, \\ Z_T &= Z_B + \zeta. \end{aligned} \tag{8}$$

Les quantités ξ, η, ζ sont données par les expressions suivantes:

$$\begin{aligned} \xi &= \sum_{n=1, 22} \alpha_n \cos(\varphi_n t + \beta_n) \\ \eta &= \sum_{n=1, 22} \alpha_n \sin(\varphi_n t + \beta_n) \\ \zeta &= \sum_{n=1, 8} \gamma_n \sin(\psi_n t + \delta_n) \end{aligned} \tag{9}$$

Le temps t est compté en années juliennes à partir de J2000.0, soit :
 $t = (\text{date julienne} - 2451545) / 365,25$.

Les valeurs des coefficients α_n et γ_n ($10^{-10} \times \text{UA}$), des fréquences φ_n et ψ_n (radian/an) et des phases β_n et δ_n (radian) sont données dans les **tableaux C1 et C2**. Elles sont valables sur tout l'intervalle de construction des tables (1950 - 2020).

Connaissant les coordonnées barycentriques de la terre (X_T, Y_T, Z_T) et celles de la planète (X_P, Y_P, Z_P), on détermine les **coordonnées géocentriques X_P^G, Y_P^G, Z_P^G de la planète** avec :

$$\begin{aligned} X_P^G &= X_P - X_T, \\ Y_P^G &= Y_P - Y_T, \\ Z_P^G &= Z_P - Z_T. \end{aligned} \tag{10}$$

Il en est de même pour calculer les **coordonnées géocentriques du soleil X_S^G, Y_S^G, Z_S^G** :

$$\begin{aligned} X_S^G &= X_S - X_T, \\ Y_S^G &= Y_S - Y_T, \\ Z_S^G &= Z_S - Z_T. \end{aligned} \tag{11}$$

E. COORDONNEES GEOCENTRIQUES DE LA LUNE.

Les tables de la lune fournissent directement les **coordonnées rectangulaires géocentriques de la lune**. Il suffit donc de chercher l'intervalle de temps auquel appartient la date choisie et de substituer le temps dans les tables correspondantes en appliquant le calcul décrit dans l'expression (1).

4. ELABORATION DES EPHEMERIDES.

Les calculs décrits dans le chapitre 3 permettent de calculer des coordonnées rectangulaires moyennes (barycentriques, héliocentriques, géocentriques) d'un corps rapportées à l'équinoxe et à l'écliptique FK5 à l'époque J2000.0 (DJ2451545,0).

Pour élaborer les éphémérides les plus couramment utilisées, il faut encore effectuer quelques calculs supplémentaires concernant la nature des coordonnées, le plan de référence et le mouvement du repère.

Ce chapitre fait un bref rappel des principes élémentaires de ces calculs.

A. NOTATIONS.

La position d'un corps est représentée par un vecteur \mathbf{V} dans un repère cartésien, l'axe OX étant orienté vers l'équinoxe et l'axe OZ vers le pôle Nord. Les rotations du repère d'un angle θ autour des axes OX, OY, OZ sont respectivement représentées par les matrices suivantes :

$$\mathbf{R}_X(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & +\cos \theta & +\sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & +\cos \theta \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\mathbf{R}_Y(\theta) = \begin{bmatrix} +\cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ +\sin \theta & 0 & +\cos \theta \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\mathbf{R}_Z(\theta) = \begin{bmatrix} +\cos \theta & +\sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & +\cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

B. COORDONNEES EQUATORIALES.

Pour calculer les coordonnées rectangulaires équatoriales d'un corps à partir de ses coordonnées rectangulaires écliptiques, on applique la rotation suivante:

$$\mathbf{V}_{\text{Equat}} = \mathbf{R}_X(-\varepsilon) \mathbf{V}_{\text{Eclip.}} \quad (15)$$

La valeur de l'obliquité moyenne ε recommandée par l'UAI est :

$$\varepsilon = 23^\circ 26' 21'' 448 - 468'' 150 \tau - 0'' 059 \tau^2 + 1'' 813 \tau^3 \quad (16)$$

Le temps τ est compté en milliers d'années juliennes à partir de J2000.0, soit :
 $\tau = (\text{date julienne} - 2451545)/365250$.

En J2000.0, l'obliquité moyenne est donc égale à $23^\circ 26' 21'' 448$.

C. COORDONNEES MOYENNES.

Pour passer des coordonnées rectangulaires moyennes J2000.0 aux coordonnées rectangulaires moyennes d'une autre époque, on doit tenir compte des déplacements précessionnels de l'équinoxe et des plans de référence.

Si le plan de référence est l'écliptique, on applique les rotations suivantes :

$$\mathbf{V}_{\text{Époq.}} = \mathbf{R}_2(-\rho_A - \Pi_A) \mathbf{R}_X(\pi_A) \mathbf{R}_2(\Pi_A) \mathbf{V}_{2000} \quad (17)$$

avec,

$$\rho_A = 50290'' 966 \tau + 111'' 113 \tau^2,$$

$$\pi_A = 470'' 029 \tau - 3'' 302 \tau^2, \quad (18)$$

$$\Pi_A = 174^\circ 52' 34'' 982 - 8698'' 089 \tau + 3'' 536 \tau^2.$$

Le temps τ est compté en milliers d'années juliennes à partir de J2000.0, soit :
 $\tau = (\text{date julienne} - 2451545)/365250$.

Si le plan de référence est l'équateur, on applique les rotations suivantes :

$$\mathbf{V}_{\text{Époq.}} = \mathbf{R}_2(-z_A - 90^\circ) \mathbf{R}_x(\theta_A) \mathbf{R}_2(90^\circ - \zeta_A) \mathbf{V}_{2000}. \quad (19)$$

avec,

$$\begin{aligned} \theta_A &= 20043''109 \tau - 42''665 \tau^2 - 41''833 \tau^3, \\ \zeta_A &= 23062''181 \tau + 30''188 \tau^2 + 17''998 \tau^3, \\ z_A &= 23062''181 \tau + 109''468 \tau^2 + 18''203 \tau^3. \end{aligned} \quad (20)$$

Le temps τ est compté en milliers d'années juliennes à partir de J2000.0, soit :
 $\tau = (\text{date julienne} - 2451545)/365250.$

D. COORDONNÉES VRAIES.

Pour passer des coordonnées rectangulaires moyennes aux coordonnées vraies de la même époque, on doit tenir compte de l'effet de la nutation sur l'équinoxe et sur le plan de l'équateur.

Si le plan de référence est l'écliptique, on applique la rotation suivante :

$$\mathbf{V}_{\text{vrai}} = \mathbf{R}_2(-\Delta\psi) \mathbf{V}_{\text{moyen}}. \quad (21)$$

Si le plan de référence est l'équateur, on applique les rotations suivantes :

$$\mathbf{V}_{\text{vrai}} = \mathbf{R}_x(-\varepsilon - \Delta\varepsilon) \mathbf{R}_2(-\Delta\psi) \mathbf{R}_x(\varepsilon) \mathbf{V}_{\text{moyen}}. \quad (22)$$

L'obliquité moyenne ε est donnée par l'expression (16).

La nutation en longitude $\Delta\psi$ et la nutation en obliquité $\Delta\varepsilon$ sont de la forme suivante :

$$\Delta\psi = \sum_{n=1, 29} a_n \sin(k_1 l + k_2 l' + k_3 F + k_4 D + k_5 \Omega) \quad (23)$$

$$\Delta\varepsilon = \sum_{n=1, 29} b_n \cos(k_1 l + k_2 l' + k_3 F + k_4 D + k_5 \Omega) \quad (24)$$

Les arguments l, l', F, D, Ω sont donnés par les expressions suivantes :

$$\begin{aligned}
 l &= 134^{\circ}57'48''28096 + 1\,717\,915\,923''4728 T + 32''3772 T^2, \\
 l' &= 357^{\circ}31'44''79306 + 129\,596\,581''0474 T - 0''5616 T^2, \\
 F &= 93^{\circ}16'19''55755 + 1\,739\,527\,263''0983 T - 12''2632 T^2, \\
 D &= 297^{\circ}51'0''73512 + 1\,602\,961\,601''4603 T - 5''8805 T^2, \\
 \Omega &= 125^{\circ}2'40''39816 - 6\,962\,890''2656 T + 7''4759 T^2.
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

Le temps T est compté en siècles juliens à partir de J2000.0, soit :
 $T = (\text{date julienne} - 2451545)/36525$.

Les coefficients a_n et b_n , et les entiers k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 qui figurent dans les expressions (23) et (24) sont données dans le **tableau D** en dixièmes de millièmes de seconde de degré, (0"0001).

E. COORDONNEES GEOCENTRIQUES APPARENTES.

Les calculs décrits précédemment dans ce chapitre correspondent à des transformations purement géométriques des coordonnées. **Pour calculer des positions géocentriques apparentes**, il faut tenir compte du phénomène d'aberration dû au mouvement de la terre sur son orbite et au fait que la lumière a une vitesse finie.

Un traitement rigoureux de ce phénomène doit inclure les effets de la relativité. Nous nous limitons ici à présenter une méthode plus simple, mais suffisante compte tenu de la précision des tables.

Avant d'effectuer les calculs liés à la précession (S 4-C) et à la nutation (S 4-D), on applique l'algorithme suivant :

1. Pour une date d exprimée en jours juliens, calculer les coordonnées rectangulaires géocentriques J2000.0, X_1, Y_1, Z_1 du corps à la date d .

2. Calculer la distance à la terre Δ , en unités astronomiques pour le soleil ou les planètes, ou en kilomètres pour la lune :

$$\Delta = (X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2)^{1/2}.$$

3. Calculer le temps de lumière correspondant τ , en jour :

$$\tau = \Delta \times 0.577552 \times 10^{-2} \text{ pour le soleil ou les planètes;}$$

$$\tau = \Delta \times 0.386070 \times 10^{-10} \text{ pour la lune.}$$

4. Calculer les coordonnées rectangulaires géocentriques J2000.0, X_2, Y_2, Z_2 du corps à la date $d - \tau$.

Les coordonnées X_2, Y_2, Z_2 ainsi obtenues sont les coordonnées rectangulaires géocentriques J2000.0 du corps à la date d , corrigées du phénomène d'aberration.

Pour avoir les coordonnées rectangulaires géocentriques apparentes, il suffit de les corriger de la précession (S 4-C) et de la nutation (S 4-D) pour la date d . Si le plan de référence est l'équateur, il faut faire préalablement la rotation définie en (S 4-B).

Remarque importante : **La distance géométrique** à la terre, à la date d , est Δ .

F. COORDONNEES SPHERIQUES.

Pour passer des coordonnées rectangulaires à des coordonnées sphériques, on applique les transformations suivantes :

- A partir des coordonnées rectangulaires **écliptiques**, on détermine :

$$\begin{aligned} \text{la longitude,} & \quad \lambda = \tan^{-1}(Y/X), \\ \text{la latitude,} & \quad \beta = \tan^{-1}\{Z/(X^2 + Y^2)^{1/2}\}, \\ \text{le rayon vecteur,} & \quad r = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2}. \end{aligned} \tag{26}$$

- A partir des coordonnées rectangulaires **équatoriales**, on détermine :

$$\begin{aligned} \text{l'ascension droite,} & \quad \alpha = \tan^{-1}(Y/X), \\ \text{la déclinaison,} & \quad \delta = \tan^{-1}\{Z/(X^2 + Y^2)^{1/2}\}, \\ \text{la distance,} & \quad \Delta = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2}. \end{aligned} \tag{27}$$

5. PRECISION.

Les tables ont été calculées pour assurer une précision, par rapport à la source, de l'ordre d'un à quelques centièmes de seconde de degré sur les positions barycentriques du soleil et des planètes et sur les positions géocentriques de la lune.

Cette précision interne, que l'on peut qualifier de précision de représentation, correspond aux plus grands écarts observés entre les éphémérides issues directement des tables et les éphémérides BDL82 qui en sont la source. Ces écarts sont présentés dans la colonne (1) du **tableau E**.

La précision des éphémérides **BDL82** peut être elle-même estimée en comparant les éphémérides BDL82 avec un modèle externe, l'intégration numérique du Jet Propulsion Laboratory **DE200** (DE200 est une intégration numérique ajustée sur les observations). Les plus grands écarts observés sur les positions héliocentriques entre 1900 et 2000 sont présentés dans la colonne (2) du tableau E. Ils sont très sensibles pour les grosses planètes car les masses d'Uranus et de Saturne utilisées dans DE200 sont différentes de celles de BDL82 (système de masses UAI).

Les colonnes (3) et (4) contiennent respectivement les plus grandes différences enregistrées sur les positions héliocentriques et géocentriques des corps entre les éphémérides issues des tables et celles de DE200 prises comme modèle d'observation.

On peut constater que la nature de ces différences varie selon les corps.

Pour les planètes telluriques, Mercure, Vénus et Mars, la précision des positions héliocentriques et géocentriques dépend essentiellement de la précision de représentation des tables, avec une dégradation très nette sur les positions géocentriques de Vénus et de Mars due à un effet géométrique attendu lorsque ces deux planètes passent près de la terre.

Pour les grosses planètes, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, la précision des positions héliocentriques et géocentriques issues des tables est par contre comparable à celle de la source BDL82 (différence liées aux systèmes de masses utilisés par DE200 et BDL82).

Pour Pluton, seule la précision de représentation des tables est à considérer puisque la source utilisée est DE200.

Pour le soleil, le barycentre terre-lune et la lune, la précision de la source BDL82 est bien conservée par les tables.

L'utilisateur est donc invité à consulter le tableau E pour apprécier la précision des éphémérides calculées à partir des tables.

6. AGENCEMENT DES TABLES.

Les tables des positions du soleil, des planètes et de la lune entre 1950 et 2020 sont publiées sous la forme de 26 petites notes séparées, dont 14 pour la lune.

Cet agencement a été choisi pour des raisons de commodité d'emploi :

- d'une part, les tailles des domaines de validité des tables sont trop différentes d'un corps à l'autre pour tout réunir en un seul document.
- d'autre part, l'élaboration d'une éphéméride nécessite rarement l'utilisation simultanée de toutes les tables.

Rappelons cependant que les tables du soleil et du barycentre terre-lune sont indispensables pour calculer des positions héliocentriques et géocentriques.

Pour les planètes Neptune et Pluton, l'intervalle de temps couvert par une seule table est largement supérieur à la période 1950-2020 (respectivement 52 000 et 83 200 jours). Les tables permettent donc de calculer les positions barycentriques de ces corps pour des dates antérieures à 1950.

L'agencement des 26 notes contenant l'ensemble des tables est donné par le tableau F.

7. PROGRAMMES ET FICHIERS.

Les tables décrites dans cette note ont été calculées sur l'ordinateur NAS9080 du Centre de Calcul du CNRS (CIRCE-Orsay) et sont stockées sur bande magnétique.

L'exploitation de ces tables dans le Service des Calculs du Bureau des Longitudes se fait avec des sous-routines FORTRAN qui, pour des raisons de commodité, utilisent des fichiers séquentiels sur volume à accès sélectif.

Ces programmes et fichiers sont disponibles sur demande.

Cependant, compte tenu des différences parfois très importantes qui existent entre les matériels informatiques dont disposent les astronomes professionnels et amateurs, il est conseillé aux utilisateurs de constituer eux-mêmes les programmes et les fichiers adaptés à leur propre équipement.

8. REFERENCES

- Bretagnon, P. : 1982, *Astron. Astrophys.*, **114**, 278.
- Chapront-Touzé, M., Chapront, J. : 1983, *Astron. Astrophys.*, **124**, 50.
- Chapront, J., Yu, D.T. : 1984, *Astron. Astrophys.* **141**, 131
- Francou, G., Bergeal, L., Chapront, J., Morando, B. : 1983, *Astron. Astrophys.*, **128**, 124.
- Fricke, W. : 1981, *Reference Coordinate Systems of Earth Dynamics*, Eds. E.M. Gaposchkin, B. Kolaczek, **86**, Reidel, Dordrecht, p. 331.
- Simon, J.L. : 1983, *Astron. Astrophys.*, **120**, 197.
- Standish, E.M., Williams, J.G. : 1982, *Development Ephemerides DE200-LE200*, bande magnétique.
- U A I : 1977, *Transactions of the International Astronomical Union*, Grenoble, 1976, Vol. XVIB, Reidel, Dordrecht.

ANNEXE : Exemples d'application.

On présente ici quelques exemples permettant de vérifier l'application des calculs discutés dans cette note. Ces exemples ont été exécutés sur un ordinateur qui assure une grande précision de calcul; les mêmes essais sur un matériel plus modeste peuvent entraîner quelques différences sur les dernières décimales des résultats.

Pour tous les exemples, nous avons choisi une même date d :
le 31 janvier 1986 à 0h (DJ 2 446 461,5),
et les tables nécessaires aux calculs sont reproduites à la fin de cette annexe.

EXEMPLE 1 : Calcul des coordonnées rectangulaires barycentriques moyennes du soleil rapportées à l'équinoxe et à l'écliptique J2000.0.

On cherche dans les tables du soleil l'intervalle correspondant à la date d et on applique le calcul décrit dans l'expression (1). On obtient les résultats suivants :

$$\begin{aligned} X_S &= -0,002\,717\,353\text{ UA}, \\ Y_S &= +0,007\,454\,118\text{ UA}, \\ Z_S &= -0,000\,043\,683\text{ UA}. \end{aligned}$$

EXEMPLE 2 : Calcul des coordonnées rectangulaires héliocentriques moyennes de Mercure rapportées à l'équinoxe et à l'écliptique J2000.0.

On cherche dans les tables de Mercure l'intervalle correspondant à la date d , et on applique le calcul décrit dans l'expression (1). On obtient les résultats :

$$\begin{aligned} \Delta X_{Me} &= -0,002\,707\,483\text{ UA}, \\ \Delta Y_{Me} &= +0,007\,463\,288\text{ UA}, \\ \Delta Z_{Me} &= -0,000\,043\,293\text{ UA}. \end{aligned}$$

On effectue les calculs présentés en (6) :

$$\begin{aligned} X^*_{Me} &= +0,263\,337\,926\text{ UA}, \\ Y^*_{Me} &= -0,330\,370\,277\text{ UA}, \\ Z^*_{Me} &= -0,051\,161\,787\text{ UA}, \end{aligned}$$

et, on en déduit selon (5) les coordonnées rectangulaires barycentriques moyennes de Mercure rapportées à l'équinoxe et à l'écliptique J2000.0 :

$$\begin{aligned} X_{Me} &= \Delta X_{Me} + X^*_{Me} = +0,260\ 630\ 443\ \text{UA}, \\ Y_{Me} &= \Delta Y_{Me} + Y^*_{Me} = -0,322\ 906\ 989\ \text{UA}, \\ Z_{Me} &= \Delta Z_{Me} + Z^*_{Me} = -0,051\ 205\ 080\ \text{UA}. \end{aligned}$$

Pour passer aux coordonnées héliocentriques de Mercure, on effectue le calcul défini en (7), avec les coordonnées du soleil calculées dans l'exemple 1 :

$$\begin{aligned} X^h_{Me} &= X_{Me} - X_S = +0,263\ 347\ 796\ \text{UA}, \\ Y^h_{Me} &= Y_{Me} - Y_S = -0,330\ 361\ 107\ \text{UA}, \\ Z^h_{Me} &= Z_{Me} - Z_S = -0,051\ 161\ 397\ \text{UA}. \end{aligned}$$

EXEMPLE 3 : Calcul des coordonnées sphériques géocentriques moyennes de Saturne rapportées à l'équinoxe et à l'écliptique J1950.0.

On cherche dans les tables de Saturne l'intervalle correspondant à la date d , et on applique le calcul décrit dans l'expression (1). On obtient les résultats suivants :

$$\begin{aligned} X_{Sa} &= -4,524\ 522\ 44\ \text{UA}, \\ Y_{Sa} &= -8,878\ 481\ 66\ \text{UA}, \\ Z_{Sa} &= +0,334\ 656\ 53\ \text{UA}. \end{aligned}$$

On cherche dans les tables du barycentre terre-lune l'intervalle correspondant à la date d , et on applique le calcul décrit dans l'expression (1). On obtient les résultats suivants :

$$\begin{aligned} X_B &= -0,649\ 215\ 585\ \text{UA}, \\ Y_B &= +0,750\ 848\ 746\ \text{UA}, \\ Z_B &= -0,000\ 022\ 027\ \text{UA}. \end{aligned}$$

On effectue les calculs présentés en (9) :

$$\begin{aligned} \xi &= +0,000\ 029\ 678\ \text{UA}, \\ \eta &= +0,000\ 006\ 671\ \text{UA}, \\ \zeta &= -0,000\ 000\ 964\ \text{UA}, \end{aligned}$$

et, on en déduit selon (8), les coordonnées rectangulaires barycentriques moyennes de la terre rapportées à l'équinoxe et à l'écliptique J2000.0 :

$$\begin{aligned} X_T &= X_B + \xi = -0,649\ 185\ 907\ \text{UA}, \\ Y_T &= Y_B + \eta = +0,750\ 855\ 418\ \text{UA}, \\ Z_T &= Z_B + \zeta = -0,000\ 022\ 991\ \text{UA}. \end{aligned}$$

(10) : Pour passer aux coordonnées géocentriques de Saturne, on effectue le calcul défini en

$$X_{Sa}^g = X_{Sa} - X_T = -3,875\,336\,54 \text{ UA},$$

$$Y_{Sa}^g = Y_{Sa} - Y_T = -9,629\,337\,08 \text{ UA},$$

$$Z_{Sa}^g = Z_{Sa} - Z_T = +0,334\,679\,52 \text{ UA}.$$

Le déplacement précessionnel de l'écliptique entre l'époque J2000.0 et l'époque J1950.0 (DJ 2 433 282,5) est défini par les formules (18); on calcule les quantités :

$$\rho_A = -2514''271,$$

$$\pi_A = -23''510,$$

$$\Pi_A = 174^\circ59'49''895.$$

En appliquant les rotations (17), on obtient les coordonnées rectangulaires géocentriques moyennes de Saturne rapportées à l'équinoxe et à l'écliptique J1950.0 :

$$X = -3,992\,419\,00 \text{ UA},$$

$$Y = -9,581\,346\,33 \text{ UA},$$

$$Z = +0,335\,811\,39 \text{ UA}.$$

Pour passer aux coordonnées sphériques correspondantes, on utilise les transformations (26).

$$\lambda = 247^\circ22'44''98$$

$$\beta = +1^\circ51'10''79$$

$$r = 10,385\,296\,15 \text{ UA}.$$

EXEMPLE 4 . Calcul des coordonnées sphériques géocentriques équatoriales apparentes de la lune.

On cherche dans les tables de la lune l'intervalle correspondant à la date d et on effectue les corrections dues au phénomène d'aberration présenté au (S 4-E).

– Calcul des coordonnées rectangulaires géocentriques J2000.0 à la date d :

$$X_1 = -365\,442,592 \text{ km},$$

$$Y_1 = -82\,206,487 \text{ km},$$

$$Z_1 = +11\,915,394 \text{ km},$$

$$\Delta = 374\,764,154 \text{ km},$$

$$\tau = 0,000\,014\,47 \text{ jour}.$$

- Calcul des coordonnées rectangulaires géocentriques J2000.0 à la date $d - \tau$:

$$\begin{aligned} X_2 &= -365\,442,906 \text{ km,} \\ Y_2 &= -82\,205,221 \text{ km,} \\ Z_2 &= +11\,915,502 \text{ km,} \end{aligned}$$

Partant des coordonnées écliptiques X_2, Y_2, Z_2 , on applique le changement de plan présenté en (15) à l'époque J2000.0, et l'on obtient les coordonnées rectangulaires géocentriques J2000.0 corrigées de l'aberration et rapportées à l'équateur :

$$\begin{aligned} X_3 &= -365\,442,906 \text{ km,} \\ Y_3 &= -80\,161,530 \text{ km,} \\ Z_3 &= -21\,767,099 \text{ km.} \end{aligned}$$

Le déplacement précessionnel de l'équateur entre l'époque J2000.0 et l'époque d (DJ 2 446 461.5) est défini par les formules (20); on calcule les quantités :

$$\begin{aligned} \theta_A &= -278''965, \\ \zeta_A &= -320''971, \\ z_A &= -320'',955. \end{aligned}$$

En appliquant les rotations (19) on obtient les coordonnées rectangulaires géocentriques moyennes à l'époque d corrigées de l'aberration et rapportées à l'équateur :

$$\begin{aligned} X_4 &= -365\,719,714 \text{ km,} \\ Y_4 &= -79\,023,788 \text{ km,} \\ Z_4 &= -21\,272,664 \text{ km.} \end{aligned}$$

Avec les expressions (23), (24) et (25) on calcule les nutations en longitude et en obliquité pour la date d :

$$\begin{aligned} \Delta\psi &= -8''234, \\ \Delta\varepsilon &= +7''606. \end{aligned}$$

En appliquant les rotations (22), on obtient les coordonnées rectangulaires géocentriques équatoriales apparentes à la date d :

$$\begin{aligned} X_5 &= -365\,722,947 \text{ km,} \\ Y_5 &= -79\,009,608 \text{ km,} \\ Z_5 &= -21\,269,770 \text{ km.} \end{aligned}$$

Pour obtenir l'ascension droite et la déclinaison apparentes de la lune, on utilise les transformations (27) appliquées aux coordonnées X_5 , Y_5 , Z_5 :

$$\begin{aligned}\alpha &= 12^{\text{h}}48^{\text{m}}45^{\text{s}}755, \\ \delta &= -3^{\circ}15'12",87.\end{aligned}$$

Le calcul de la distance géométrique terre-lune, à la date d , se fait à partir des coordonnées géocentriques calculées initialement X_1 , Y_1 , Z_1 , soit:

$$\Delta = 374\,764,154 \text{ km.}$$

BARYCENTRE TERRE-LUNE

COORDONNEES RECTANGULAIRES BARYCENTRIQUES (X,Y,Z) - EQUINOXE ET ECLIPTIQUE FK5 J2000.0 - UNITE : UA
 DU 17/ 1/ 1985 A OH TDT (DJ2446082.5) AU 21/ 2/ 1986 A OH TDT (DJ2446482.5)

X	N	A	B	AP	BP
0		-0.030480035		-0.00239647583	
1		+0.998130144	+3.327247122	+0.00015295694	+5.741975298
2		+0.008057924	+3.201134508	+0.00005226682	+1.240885108
3		+0.000105145	+3.237628637		
4		+0.000001609	+3.254950078		
5		+0.000000058	+3.120681965		

Y	N	A	B	AP	BP
0		-0.037562526		-0.00148372502	
1		+1.002527262	+1.756468614	+0.00021139486	+2.237447735
2		+0.007594428	+1.671252834	+0.00005801463	+5.234284337
3		+0.000106502	+1.666720894		
4		+0.000001640	+1.544266885		
5		+0.000000010	+0.139295864		

Z	N	A	B	AP	BP
0		+0.000808209		+0.00006131926	
1		+0.000058558	+1.113878352	+0.00000287727	+0.545458965
2		+0.000017778	+3.299674362	+0.00000123917	+3.308412772
3		+0.000000124	+0.424522492		
4		+0.000000035	+5.193886302		
5		+0.000000010	+3.736224233		

LUNE

COORDONNEES RECTANGULAIRES GEOCENTRIQUES (X,Y,Z) - EQUINOXE ET ECLIPTIQUE FK5 J2000.0 - UNITE : KM
 DU 27/12/ 1985 A OH TDT (DJ2446426.5) AU 5/ 2/ 1986 A OH TDT (DJ2446466.5)

X	N	A	B	AP	BP
0		-239657.417		-18023.15284	
1		+3690968.720	+3.314495390	+265832.94867	+3.418462587
2		+387432.502	+0.064578027	+28287.38629	+0.080089224
3		+94822.404	+2.586540215	+6824.62262	+2.581999408
4		+6666.641	+4.279550264	+480.58857	+4.274928953
5		+86.169	+6.093018640	+6.36688	+6.070661000
6		+148.116	+2.359637326	+10.61493	+2.356416942
7		+21.615	+2.790025139	+1.55064	+2.787861588

Y	N	A	B	AP	BP
0		-794768.104		-58833.08176	
1		+4263463.571	+1.550280047	+300882.97860	+1.639065959
2		+362855.851	+5.006017998	+26615.24711	+5.017747542
3		+119863.445	+0.910193430	+8621.09008	+0.906811605
4		+8108.799	+1.511445960	+583.57896	+1.514059204
5		+1958.196	+0.842780880	+140.05101	+0.841520149
6		+467.572	+0.975815884	+33.49770	+0.973522669
7		+44.094	+1.248807272	+3.16098	+1.246230020

Z	N	A	B	AP	BP
0		-48969.202		-3597.94473	
1		+708208.380	+1.158024047	+50865.36041	+1.204899104
2		+28337.823	+3.967045066	+2068.38131	+3.989770799
3		+11070.968	+0.564469307	+795.53462	+0.560225773
4		+1451.546	+1.459224107	+104.29730	+1.458437033
5		+245.486	+1.275169457	+17.57833	+1.274885482
6		+46.508	+1.153383289	+3.33092	+1.151261294
7		+4.126	+1.250749761	+0.29578	+1.247607816

SATURNE

COORDONNEES RECTANGULAIRES BARYCENTRIQUES (X,Y,Z) - EQUINOXE ET ECLIPTIQUE FK5 J2000.0 - UNITE : UA
 DU 11/ 3/ 1975 A OH TDT (DJ2442482.5) AU 18/ 5/ 2000 A OH TDT (DJ2451682.5)

X	N	A	B	AP
	0	+0.012309756		-0.00198812844
	1	+9.525791604	+2.442777110	
	2	+0.253350875	+1.688731594	
	3	+0.009723588	+0.863268202	
	4	+0.000462804	+6.208152101	
	5	+0.000096416	+5.035985694	
	6	+0.000058245	+3.051479145	
	7	+0.000042439	+1.428039817	
	8	+0.000016588	+0.420831913	
	9	+0.000008974	+0.815069148	
	10	+0.000010358	+0.151189610	
	11	+0.000005729	+5.523532546	
	12	+0.000001898	+5.147480441	
	13	+0.000001436	+5.106698944	
	14	+0.000000972	+4.196640706	
	15	+0.000000288	+2.946149725	

Y	N	A	B	AP
	0	-0.748495479		+0.00068270188
	1	+9.526220505	+0.871343131	
	2	+0.250634501	+0.125088710	
	3	+0.008901921	+5.484395931	
	4	+0.001176668	+3.029759537	
	5	+0.000726595	+2.034131781	
	6	+0.000385922	+1.539638106	
	7	+0.000244481	+1.108593204	
	8	+0.000153501	+0.540542538	
	9	+0.000085281	+6.273465213	
	10	+0.000047896	+5.816676551	
	11	+0.000028348	+5.304014606	
	12	+0.000014978	+4.714203143	
	13	+0.000006760	+4.192216634	
	14	+0.000002963	+3.767224948	
	15	+0.000001148	+3.230672950	

Z	N	A	B	AP
	0	+0.012749264		+0.00009219399
	1	+0.413579052	+5.170844936	
	2	+0.010980077	+4.419553144	
	3	+0.000367383	+3.636931401	
	4	+0.000025588	+5.187494089	
	5	+0.000014455	+5.001160967	
	6	+0.000013694	+5.012251042	
	7	+0.000011009	+4.282200783	
	8	+0.000005504	+3.626213211	
	9	+0.000002859	+3.417036558	
	10	+0.000002119	+2.969525815	
	11	+0.000001167	+2.266003330	
	12	+0.000000471	+1.786513589	
	13	+0.000000242	+1.602934540	
	14	+0.000000125	+0.961282277	
	15	+0.000000042	+0.119782832	

SOLEIL

COORDONNEES RECTANGULAIRES BARYCENTRIQUES (X,Y,Z) - EQUINOXE ET ECLIPTIQUE FK5 J2000.0 - UNITE : UA
DU 17/ 1/ 1985 A OH TDT (DJ2446082.5) AU 21/ 2/ 1986 A OH TDT (DJ2446482.5)

X	N	A	B	AP	BP
0		-0.036756056		-0.00244326897	
1		+0.002741194	+5.613219718	+0.00018986962	+5.591285775
2		+0.000347999	+2.012930709	+0.00002414509	+1.982765208
3		+0.000000456	+6.160071131		
4		+0.000000051	+0.756138496		
5		+0.000000014	+4.777166537		

Y	N	A	B	AP	BP
0		-0.013918824		-0.00153984544	
1		+0.003537562	+2.582809924	+0.00024602876	+2.561752641
2		+0.000417868	+5.105026838	+0.00002904454	+5.076695026
3		+0.000000599	+2.799094183		
4		+0.000000071	+1.140246348		
5		+0.000000018	+1.777702977		

Z	N	A	B	AP	BP
0		+0.000843645		+0.00006375994	
1		+0.000042499	+2.021686953	+0.00000295936	+2.000338643
2		+0.000005204	+4.570377128	+0.00000036447	+4.538771827
3		+0.000000007	+1.514011272		
4		+0.000000008	+5.640891219		
5		+0.000000001	+1.354022552		

MERCURE

COORDONNEES RECTANGULAIRES BARYCENTRIQUES (X,Y,Z) - EQUINOXE ET ECLIPTIQUE FK5 J2000.0 - UNITE : UA
DU 14/12/ 1985 A OH TDT (DJ2446413.5) AU 2/ 7/ 1986 A OH TDT (DJ2446613.5)

X	N	A	B	AP	BP	AS	BS
0		+0.093532631		+0.01579885833		+0.0006382856105	
1		+0.003280503	+0.445383945	+0.00048645810	+0.473242246	+0.0000180615672	+0.500694410
2		+0.003429722	+3.647198716	+0.00049954051	+3.645020275	+0.0000181849519	+3.643216775
3		+0.000006034	+4.535160348	+0.00000045157	+4.608163331		
4		+0.000002298	+2.472464517	+0.00000017722	+2.476321048		
5		+0.000000849	+4.812127108	+0.00000006362	+4.847319354		

Y	N	A	B	AP	BP	AS	BS
0		-0.098447565		-0.01315119990		-0.0003981917520	
1		+0.012173279	+0.237982579	+0.00178740368	+0.230527797	+0.0000656210054	+0.222903867
2		+0.001770208	+2.692717686	+0.00025941658	+2.691158186	+0.0000095039162	+2.690387181
3		+0.000007274	+3.373066702	+0.00000055378	+3.419881748		
4		+0.000002041	+0.535782678	+0.00000015765	+0.564764286		
5		+0.000000533	+3.075361781	+0.00000004034	+3.133898200		

Z	N	A	B	AP	BP	AS	BS
0		-0.002092010		-0.00035235729		-0.0000147425360	
1		+0.000421758	+0.156604284	+0.00006258926	+0.129887382	+0.0000023247443	+0.102728092
2		+0.000212647	+0.812679099	+0.00003087437	+0.817835522	+0.0000011198104	+0.823710545
3		+0.000000804	+2.800987461	+0.00000006273	+2.839027828		
4		+0.000000329	+6.098858656	+0.00000002524	+6.116028139		
5		+0.000000083	+1.741599041	+0.00000000612	+1.800971192		

TABLEAU A

Caractéristiques des tables.

k, k', k'' et ϕ correspondent aux paramètres de l'expression suivante :

$$\begin{aligned}
 X, Y, Z = & a_0 + \sum_{n=1, k} a_n \sin(n\phi t + b_n) \\
 & + a'_0 t + \left\{ \sum_{n=1, k'} a'_n t \sin(n\phi t + b'_n) \right\} \\
 & + \left\{ a''_0 t^2 + \sum_{n=1, k''} a''_n t^2 \sin(n\phi t + b''_n) \right\}.
 \end{aligned}$$

Dans le cas où k' et/ou k'' sont nuls dans le tableau, les sommations correspondantes, figurant entre accolades dans l'expression précédente, sont absentes.

Δt représente la taille des intervalles de temps (domaines de validité).

corps	paramètres			fréquence ϕ (rad/an)	intervalle Δt (jour)
	k	k'	k''		
Mercure	5	5	2	26,087903142	200
Vénus	4	4	2	10,213285546	500
Barycentre Terre/lune	5	2	0	6,283185307	400
Mars	7	7	3	3,340612431	1600
Jupiter	6	3	0	0,529690965	5200
Saturne	15	0	0	0,213299095	9200
Uranus	20	0	0	0,074781599	28000
Neptune	18	0	0	0,038133036	52000
Pluton	24	0	0	0,025333300	83200
Lune	7	7	0	83,286914270	40
Soleil	5	2	0	6,283185307	400

TABLEAU B1

Termes de Mercure $X^*_{Me} \cdot Y^*_{Me} \cdot Z^*_{Me}$ (termes périodiques).

$$a^*_0 + \sum_{n=1,12} a^*_n \sin(n\phi t + b^*_n)$$

avec $t = (\text{date julienne} - 2451545)/365,25$, $\phi = 26,087\ 903\ 142 \text{ rad/an}$;

les coefficients a^*_n sont exprimés en unités astronomiques;

les phases b^*_n sont exprimées en radians.

n	X^*_{Me}		Y^*_{Me}		Z^*_{Me}	
	a^*_n	b^*_n	a^*_n	b^*_n	a^*_n	b^*_n
0	-0,026256103		-0,116261087		-0,007087354	
1	+0,375462696	+5,967311387	+0,379536193	4,408602507	+0,046076646	+3,563747250
2	+0,038257343	+2,735652260	+0,038546556	+1,175417010	+0,004691707	+0,329768700
3	+0,005842585	+5,786790000	+0,005877084	+4,225785100	+0,000716261	+3,379739000
4	+0,001057160	+2,554586200	+0,001062348	+0,993116800	+0,000129574	+0,146831000
5	+0,000210116	+5,605489000	+0,000211007	+4,043709000	+0,000025750	+3,197260000
6	+0,000044333	+2,373160000	+0,000044500	+0,811160000	+0,000005433	+6,247800000
7	+0,000009750	+5,424000000	+0,000009783	+3,861800000	+0,000001195	+3,015200000
8	+0,000002210	+2,191600000	+0,000002217	+0,629300000	+0,000000271	+6,066000000
9	+0,000000513	+5,242000000	+0,000000514	+3,680000000	+0,000000063	+2,830000000
10	+0,000000121	+2,010000000	+0,000000122	+0,448000000	+0,000000015	+5,880000000
11	+0,000000029	+5,060000000	+0,000000029	+3,500000000	+0,000000004	+2,700000000
12	+0,000000007	+1,800000000	+0,000000007	+0,300000000	---	---

TABLEAU B2.

Termes de Mercure $X^*_{Me} \cdot Y^*_{Me} \cdot Z^*_{Me}$ (termes mixtes en t).

$$a'^*_0 t + \sum_{n=1,8} a'^*_n t \sin(n\phi t + b'^*_n)$$

avec $t = (\text{date julienne} - 2451545)/365,25$, $\phi = 26,087\ 903\ 142 \text{ rad/an}$;

les coefficients a'^*_n sont exprimés en unités astronomiques/an;

les phases b'^*_n sont exprimées en radians.

n	X^*_{Me}		Y^*_{Me}		Z^*_{Me}	
	a'^*_n	b'^*_n	a'^*_n	b'^*_n	a'^*_n	b'^*_n
0	+0,0000031882		-0,0000008074		-0,0000005785	
1	+0,0000001199	+1,1038000	+0,0000001190	+2,7925000	+0,0000010872	+5,46195000
2	+0,0000010529	+1,2039000	+0,0000010780	+5,9207400	+0,0000000430	+4,13500000
3	+0,0000003232	+4,2538000	+0,0000003271	+2,6890000	+0,0000000244	+1,62200000
4	+0,0000000878	+1,0210000	+0,0000000886	+5,7400000	+0,0000000080	+4,77000000
5	+0,0000000233	+4,0720000	+0,0000000234	+2,5080000	+0,0000000023	+1,58000000
6	+0,0000000061	+0,8400000	+0,0000000062	+5,5600000	+0,0000000006	+4,60000000
7	+0,0000000016	+3,8900000	+0,0000000016	+2,3300000	----	----
8	+0,0000000004	+0,6600000	+0,0000000004	+5,4000000	----	----

TABLEAU C1

Termes de la terre ξ et η .

$$\xi = \sum_{n=1, 22} \alpha_n \cos(\varphi_n t + \beta_n)$$

$$\eta = \sum_{n=1, 22} \alpha_n \sin(\varphi_n t + \beta_n)$$

n	α_n	φ_n	β_n
1	311081	83,9968473	0,66875
2	25615	0,7099330	1,45470
3	8590	167,2837620	3,02430
4	5067	11,8562200	2,05200
5	2614	-71,4307000	5,97900
6	1892	156,1374800	2,42700
7	622	-84,6724800	3,69600
8	615	239,4243900	4,78300
9	501	77,7137700	0,73100
10	488	90,2799200	3,76700
11	354	250,5706800	5,38000
12	214	18,1393000	2,00900
13	241	95,1431300	4,40800
14	187	-65,1476200	5,93600
15	127	6,9930100	1,41200
16	140	6,2830800	1,75400
17	120	-82,5769800	2,24200
18	94	149,8544000	2,47000
19	74	161,0006900	3,06800
20	60	-5,5731400	4,80600
21	53	173,5668400	6,12300
22	60	322,7113100	0,85500

TABLEAU C2

Termes de la terre ζ .

$$\zeta = \sum_{n=1, 8} \gamma_n \sin(\psi_n t + \delta_n)$$

n	γ_n	ψ_n	δ_n
1	27962	84,334662	4,7695
2	2273	1,047750	5,5560
3	1036	71,092880	5,6270
4	769	167,621580	0,8420
5	368	-12,194030	3,2720
6	167	156,475290	0,2450
7	53	-64,809810	3,7540
8	53	239,762200	2,6000

Unités : $t = (\text{date julienne} - 2451545)/365,25$.

Les coefficients α_n et γ_n sont exprimés en $10^{-10} \times \text{UA}$, où UA est l'unité astronomique.

Les fréquences φ_n et ψ_n sont exprimées en radians par an.

Les phases β_n et δ_n sont exprimées en radians.

Précision : les valeurs données dans ces tableaux sont valables sur tout l'intervalle de construction des tables (1950-2020)

TABLEAU D

Coefficients de la nutation en longitudes $\Delta\psi$ et en obliquité $\Delta\varepsilon$.

$$\Delta\psi = \sum_{n=1,29} a_n \sin(k_1 l + k_2 l' + k_3 F + k_4 D + k_5 \Omega)$$

$$\Delta\varepsilon = \sum_{n=1,29} b_n \cos(k_1 l + k_2 l' + k_3 F + k_4 D + k_5 \Omega).$$

n	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	a _n	b _n
1	0	0	0	0	1	-171996	-174 T
2	0	0	0	0	2	2062	-895
3	-2	0	2	0	1	46	-24
4	0	0	2	-2	2	-13187	5736
5	0	1	0	0	0	1426	54
6	0	1	2	-2	2	-517	224
7	0	-1	2	-2	2	217	-95
8	0	0	2	-2	1	129	-70
9	2	0	0	-2	0	48	1
10	0	0	2	-2	0	-22	0
11	0	2	0	0	0	17	0
12	0	2	2	-2	2	-16	7
13	0	0	2	0	2	-2274	977
14	1	0	0	0	0	712	-7
15	0	0	2	0	1	-386	200
16	1	0	2	0	2	-301	129
17	1	0	0	-2	0	-158	-1
18	-1	0	2	0	2	123	-53
19	0	0	0	2	0	63	-2
20	1	0	0	0	1	63	-33
21	-1	0	0	0	1	-58	32
22	-1	0	2	2	2	-59	26
23	1	0	2	0	1	-51	27
24	0	0	2	2	2	-38	16
25	2	0	0	0	0	29	-1
26	1	0	2	-2	2	29	-12
27	2	0	2	0	2	-31	13
28	0	0	2	0	0	26	-1
29	-1	0	2	0	1	21	-10

Unités : T = (date julienne - 2451545)/36525.

Les coefficients a_n et b_n sont exprimés en 1/10000".

Les arguments l, l', F, D, Ω sont donnés par les expressions (25).

Précision : les valeurs données dans ces tableaux sont valables sur tout l'intervalle de construction des tables (1950-2020)

TABLEAU E

Précision des tables.

Ce tableau contient les plus grands écarts obtenus par comparaison entre :

- *Colonne 1* : les éphémérides barycentriques (soleil et planètes) et géocentriques (lune) calculées à partir des tables et celles issues de la source BDL82, sur l'intervalle 1950-2020.
- *Colonne 2* : les éphémérides héliocentriques BDL82 et celles issues de l'intégration numérique DE200, sur l'intervalle 1900-2000.
- *Colonne 3* : les éphémérides héliocentriques calculées à partir des tables et celles issues de l'intégration numérique DE200, sur l'intervalle 1950-2020.
- *Colonne 4* : les éphémérides géocentriques calculées à partir des tables et celles issues de l'intégration numérique DE200, sur l'intervalle 1950-2020.

corps	1	2	3	4
	"	"	"	"
Mercure	0,042	0,002	0,054	0,035
Vénus	0,017	0,007	0,017	0,050
Barycentre terre-lune	0,008	0,009	0,011	-----
Mars	0,056	0,028	0,052	0,121
Jupiter	0,006	0,071	0,055	0,064
Saturne	0,023	0,212	0,212	0,253
Uranus	0,016	0,019	0,020	0,019
Neptune	0,032	0,097	0,103	0,109
Pluton	0,017	-----	0,020	0,020
Lune	0,013	0,017	-----	0,018
Soleil	$18 \times 10^{-9} \text{UA}$	-----	-----	0,015

TABLEAU F

Agencement des tables des positions du soleil, des planètes et de la lune entre 1950 et 2020.

Notes N°	Corps	Périodes couvertes		Nombre de tables	Intervalle Δt (jour)
		Début	Fin		
01	Mercure	01-01-1950	11-03-1975	46	200
02	Mercure	01-01-1975	10-03-2000	46	200
03	Mercure	01-01-2000	10-03-2025	46	200
04	Vénus	01-01-1950	09-03-2021	52	500
05	Barycentre T-L	01-01-1950	03-02-2020	64	400
06	Mars	01-01-1950	03-02-2020	16	1600
07	Jupiter	01-01-1950	09-03-2021	5	5200
08	Saturne	01-01-1950	26-07-2025	3	9200
09	Uranus	01-01-1950	30-08-2026	1	28000
10	Neptune	01-01-1880	16-05-2022	1	52000
11	Pluton	01-01-1810	17-10-2037	1	83200
12	Lune	01-01-1950	15-01-1955	46	40
13	Lune	01-01-1955	15-01-1960	46	40
14	Lune	01-01-1960	14-01-1965	46	40
15	Lune	01-01-1965	15-01-1970	46	40
16	Lune	01-01-1970	15-01-1975	46	40
17	Lune	01-01-1975	15-01-1980	46	40
18	Lune	01-01-1980	14-01-1985	46	40
19	Lune	01-01-1985	15-01-1990	46	40
20	Lune	01-01-1990	15-01-1995	46	40
21	Lune	01-01-1995	15-01-2000	46	40
22	Lune	01-01-2000	14-01-2005	46	40
23	Lune	01-01-2005	15-01-2010	46	40
24	Lune	01-01-2010	15-01-2015	46	40
25	Lune	01-01-2015	15-01-2020	46	40
26	Soleil	01-01-1950	03-02-2020	64	400

Δt représente la taille des intervalles de temps (domaines de validité des tables).

