

BUREAU DES LONGITUDES
Institut de Mécanique Céleste
et de Calcul des Éphémérides

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

CONNAISSANCE
DES TEMPS

2 0 0 7


EDP
SCIENCES

BUREAU DES LONGITUDES

**INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE
ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES**

OBSERVATOIRE DE PARIS

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES 2007

CONNAISSANCE DES TEMPS

AUTRES PUBLICATIONS DU MÊME AUTEUR

Publications éditées par EDP Sciences

Annuaire du Bureau des longitudes. Guide de données astronomiques 2007.

Agenda astronomique pour 2007.

Le Passage de Vénus, IMCCE et observatoire de Paris, 2004

Introduction aux éphémérides astronomiques. Supplément explicatif à la Connaissance des Temps (1997) (réédition en 1998).

Le Manuel des éclipses, édition en 2005.

Publication éditée par Edinautic, Paris

Éphémérides Nautiques 2007.

Publications éditées par l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides

Suppléments à la Connaissance des Temps.

Éphémérides des satellites faibles de Jupiter (VI, VII, VIII, IX) et de Saturne (IX) pour 2007.

Phénomènes et configurations des satellites galiléens de Jupiter pour 2007.

Configurations des huit premiers satellites de Saturne pour 2007.

Le Calendrier Républicain (réédition en 1994).

Notes scientifiques et techniques de l'Institut de Mécanique Céleste.

Encyclopédie scientifique de l'Univers.

La physique (1981).

La Terre, les eaux, l'atmosphère (réédition en 1984), épuisé.

Les étoiles, le système solaire (réédition en 1986).

La galaxie, l'univers extragalactique (réédition en 1988).

AVANT-PROPOS

La *Connaissance des Temps* est, de toutes les éphémérides publiées de nos jours, la plus ancienne puisque son premier volume concerne l'année 1679. Il s'agit alors comme l'indique son auteur dans la dédicace AU ROY, de publier cet ouvrage « après l'avoir épuré de toutes les choses ridicules dont ces sortes d'Ouvrages ont été remplis jusqu'à présent ». Il s'agit donc bien, et de décennie en décennie cela se confirmera, d'une éphéméride spécifiquement scientifique. L'évolution, au cours du temps, suivra les progrès de la science, fera place aux nouvelles découvertes, introduira des théories et des concepts nouveaux, fournira les éphémérides des corps célestes avec une précision toujours accrue.

La *Connaissance des Temps*, titre de ses débuts, éphéméride à parution annuelle, s'est trouvée placée sous des responsabilités diverses, puis pour une longue période sous l'autorité de l'Académie Royale des Sciences. Cette dernière désignait celui de ses membres qui devrait surveiller et réaliser la mise en œuvre. Quand, en 1795, le Bureau des longitudes est créé, la réalisation de la *Connaissance des Temps* lui est attribuée. L'éphéméride, qui a déjà été modifiée à plusieurs reprises, poursuit son évolution au XIX^e siècle. Il en sera de même au XX^e siècle où, par exemple, en 1979, sont introduits les développements en polynômes de Tchebychev.

Les calculateurs de la fin du XVII^e siècle et du siècle suivant sont organisés en Service des calculs au début du XIX^e siècle sous la responsabilité du Bureau des longitudes. Cette situation prévaudra pratiquement jusqu'en 1961 où un Service des calculs et de mécanique céleste voit le jour. L'ajout de « mécanique céleste » traduit le fait que, désormais, à côté des calculateurs, des astronomes en assureront l'encadrement et développeront des recherches propres à améliorer les éphémérides. Débute alors une tâche de rénovation fondée sur l'établissement de théories nouvelles. Elles remplaceront progressivement celles antérieurement employées pour les objets du système solaire. Ainsi la *Connaissance des Temps* s'est successivement fondée sur l'ensemble des travaux menés au Service des calculs des éphémérides et de mécanique céleste du Bureau des longitudes devenu, en 1998, l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides (IMCCE). Cet institut de l'observatoire de Paris mène des recherches sur lesquelles se fondent les calculs nécessaires à la formation des éphémérides qu'elle contient et en assure la parution sous la responsabilité scientifique du Bureau des longitudes.

L'IMCCE a entrepris une rénovation de la *Connaissance des Temps*, décrite dans les pages qui suivent, qui prend en compte les nouvelles résolutions de l'UAI, propose une forme tabulée et présente l'ouvrage accompagné d'éphémérides sur support électronique. Par ailleurs, depuis 2004, des chapitres descriptifs ont été insérés, fournissant aux utilisateurs des indications précieuses sur les éphémérides et des thèmes connexes. En ce sens a été largement développée l'idée présentée dans la dédicace du volume pour l'an 1680 qui indiquait « on l'a augmenté de plusieurs Traitez curieux qu'on a cru utiles au public. On y en adjoindra tous les ans de nouveaux ». La nouveauté n'est peut-être pas aussi facile à « adjoindre » tous les ans aussi bien à notre époque que du temps de la création de l'éphéméride. Gageons que les auteurs des différents chapitres porteront à la connaissance du public toutes les informations nouvelles provenant des travaux et des recherches qu'ils ont menés.

La *Connaissance des Temps* de notre époque, héritière d'une longue tradition au service des astronomes, des navigateurs, s'adresse à tous ceux qui ont besoin de la meilleure précision disponible en fonction des théories sur lesquelles elle se fonde.

F. Barlier

Président du Bureau des longitudes

PRÉFACE

La *Connaissance des Temps* est un ouvrage d'éphémérides de précision. Depuis 2004, elle présente à la fois :

- des données numériques qui permettent de calculer les positions de nombreux objets du système solaire ;
- des textes scientifiques qui donnent les bases d'astronomie fondamentale et de mécanique céleste nécessaires à la compréhension et l'utilisation des éphémérides.

La première partie de cet ouvrage comprend sept chapitres. Les cinq premiers donnent l'état actuel des connaissances sur les constantes astronomiques fondamentales, les échelles de temps, les systèmes de référence, la rotation de la Terre, les changements de coordonnées. Le sixième chapitre donne cette année une description des nouvelles éphémérides concernant le Soleil, les planètes et la Lune, introduites à partir de 2007. Le septième chapitre donne les explications nécessaires au calcul des éphémérides à partir des tables numériques fournies dans la deuxième partie et à l'usage du logiciel accompagnant l'ouvrage.

La deuxième partie de cet ouvrage contient sous forme d'éphémérides tabulées, le Temps sidéral, les nutations en longitude et en obliquité, les coordonnées du Soleil, de la Lune, des planètes principales, de Pluton, Cérès, Pallas, Junon et Vesta et les coordonnées différentielles aux heures les plus proches des élongations des satellites de Mars, des satellites galiléens de Jupiter, des huit premiers satellites de Saturne et des cinq principaux satellites d'Uranus. Dans cette partie figurent les variables se référant aux nouveaux concepts définis par l'Union Astronomique Internationale (UAI) : angle de rotation de la Terre, équation des origines, coordonnées du pôle céleste intermédiaire, angle s .

De nouvelles théories des mouvements des corps du système solaire sont en développement à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides. Elles sont introduites progressivement dans nos éphémérides.

Ainsi la présente édition, avec l'introduction des nouvelles éphémérides planétaires, INPOP06 (Fienga et al, 2006), représente une nouvelle étape importante de la rénovation de l'ouvrage que nous avons engagée afin de publier les données les plus précises et de prendre en compte les dernières recommandations des instances internationales. L'ensemble des nouvelles introductions faites dans ce volume est résumé dans la section Nouveautés de l'édition 2007.

Rappelons que dans ce but également, des changements ont ainsi été effectués à partir de la *Connaissance des Temps* 2006 :

- Les nouvelles résolutions de l'UAI adoptées en 2000 et impliquant l'utilisation de la nouvelle théorie de précession-nutation de la Terre, UAI2000, et l'utilisation de l'origine non-tournante sont appliquées. Les valeurs des variables liées aux nouveaux concepts sont données pour l'année en cours.
- La représentation des coordonnées en développements polynomiaux est maintenant abandonnée dans les pages de l'ouvrage au profit d'une représentation tabulée mais reste en usage sous forme de fichiers électroniques accessibles à l'utilisateur.

– Des éphémérides électroniques accompagnent l’ouvrage. Les tabulations permettent une interpolation précise, pour le Temps sidéral, les nutations, les variables se référant aux nouveaux concepts définis par l’UAI et les coordonnées du Soleil, des planètes et de la Lune. Leur but principal, cependant, est de permettre la vérification du bon usage du logiciel ou de connaître l’allure annuelle des variations. Il faut noter que l’usage de ce logiciel permet le calcul de séries de positions et de vitesses pour un certain nombre d’objets du système solaire, les calculs de coordonnées horizontales et celui de levers et de couchers.

Créée en 1679 par Joachim Dalancé, la *Connaissance des Temps* est publiée sous la responsabilité du Bureau des longitudes depuis 1795. Ce volume est le 328^e d’une éphéméride qui a paru sans interruption depuis sa création.

L’IMCCE publie aussi d’autres éphémérides : le *Guide de données astronomiques - Annuaire du Bureau des longitudes*, éphémérides plus particulièrement destinées au grand public et aux astronomes amateurs, les *Éphémérides Nautiques*, destinées aux marins, les *Éphémérides aéronautiques* destinées aux aviateurs. Il publie aussi des suppléments à la *Connaissance des Temps* donnant les configurations et les phénomènes des satellites galiléens et des huit premiers satellites de Saturne, ainsi que des éphémérides de certains petits satellites de Jupiter et de Saturne.

W. Thuillot

*Directeur de l’Institut de mécanique céleste
et de calcul des éphémérides*

A. Fienga, M. Birlan

Responsables de la publication

Comité de rédaction

A. Fienga (IMCCE/observatoire de Paris), M. Birlan (IMCCE/observatoire de Paris),
D. Gambis (SYRTE/observatoire de Paris), J.-L. Simon (IMCCE/observatoire de Paris),
W. Thuillot (IMCCE/observatoire de Paris).

Réalisation du CDROM : Le logiciel fourni sur le CDROM a été développé par J. Normand.

Collaboration technique : S. Lemaître-Pottier, J. Normand, V. Raoult, Ch. Ruatti.

Remerciements. Nous remercions vivement M. Chapront-Touzé qui nous a autorisé à reproduire de larges extraits du chapitre 4 qu’elle avait rédigé pour l’*Introduction aux éphémérides astronomiques*, P. Teyssandier qui nous a aidé dans la traduction de la section 3.2 et G. Francou pour ses conseils lors de l’élaboration des éphémérides.

NOUVEAUTÉS DE L'ÉDITION 2007

Introduction de la nouvelle éphéméride planétaire INPOP

Dans l'édition 2007 de la Connaissance des temps, les éphémérides utilisées pour le calcul des positions et des vitesses du Soleil, des planètes (de Mercure à Pluton inclus) et de la Lune sont extraites de la solution INPOP06 (Fienga et al. 2006). INPOP06 (Intégrateur Numérique Planétaire de l'Observatoire de Paris) est la nouvelle solution du mouvement planétaire et de la Lune ajustée aux observations et développée à l'IMCCE.

La présentation d'INPOP06 fait l'objet du chapitre 6.

LISTE DES ACRONYMES

AIG	Association Internationale de Géodésie (voir aussi IAG)
BCRS	Barycentric Celestial Reference System
BEP	Basic Earth Parameters
BIH	Bureau international de l'heure
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie
BRS	Barycentric Reference System
CCDS	Comité consultatif pour la définition de la seconde
CEO	Celestial Ephemeris Origin
CEP	Celestial Ephemeris Pole
CERGA	Centre d'études et de recherches géodynamiques et astronomiques
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIO	Celestial Intermediate Origin
CIP	Celestial Intermediate Pole
CIPM	Comité international des poids et mesures
CIRS	Celestial Intermediate Reference System
CNES	Centre national d'études spatiales
DGRS	Dynamical Geocentric Reference System
DORIS	Doppler Orbitography Radio-positioning Integrated by Satellite
EOP	Earth Orientation Parameters
ERA	Earth Rotation Angle
ET	Ephemeris Time (voir aussi TE)
FCN	Free Core Nutation
GAIA	Global Astrometric Interferometer for Astrophysics
GCRS	Geocentric Celestial Reference System
GMST	Greenwich Mean Sidereal Time
GPS	Global Positioning System
GRS	Geocentric Reference System
GRT	General Relativity Theory
GST	Greenwich Sidereal Time
IAG	International Association of Geodesy (voir aussi AIG)
IAU	International Astronomical Union (voir aussi UAI)
ICRF	International Celestial Reference Frame
ICRS	International Celestial Reference System
IERS	International Earth rotation and Reference systems Service
IGS	International GPS Service
IMCCE	Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides
IRM	International Reference Meridian

ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference System
JPL	Jet Propulsion Laboratory
KGRS	Kinematical Geocentric Reference System
LLR	Lunar Laser Ranging
LOD	Length of Day
MERIT	Monitoring of Earth Rotation and Inter-comparison of Techniques
NRO	Non Rotating Origin (origine non-tournante)
PFCN	Prograde Free Core Nutation
PPN	Paramètres post-newtoniens
PRT	Paramètres de rotation de la Terre
RRT	Repère de référence terrestre
SI	Système international d'unités
SIM	Space Interferometry Mission
SLR	Satellite Laser Ranging
SRT	Système de référence terrestre
TAI	Temps atomique international
TCB	Temps coordonnée barycentrique
TCG	Temps coordonnée géocentrique
TDB	Temps dynamique barycentrique
TDT	Temps dynamique terrestre
TE	Temps des éphémérides (voir aussi ET)
TEO	Terrestrial Ephemeris Origin
TIO	Terrestrial Intermediate Origin
TIRS	Terrestrial Intermediate Reference System
TT	Temps terrestre
TU	Temps universel (voir aussi UT)
UAI	Union Astronomique Internationale (voir aussi IAU)
UGGI	Union Géodésique et Géophysique Internationale
UT	Universal Time (voir aussi TU)
UTC	Universal Time Coordinated (Temps universel coordonné)
VLBA	Very Long Baseline Array
VLBI	Very Long Baseline Interferometry

NOTATIONS

Les notations sont précisées et expliquées dans chacun des chapitres où elles sont introduites. Nous nous sommes efforcés de garder des notations cohérentes sur l'ensemble de l'ouvrage.

Les symboles utilisés suivent en général les recommandations de l'Union Astronomique Internationale, toutefois l'origine des temps souvent notée J2000.0 est notée ici J2000.

Pour les unités nous avons utilisé les symboles définis dans la section 2.2 mais aussi les symboles suivants :

cpsd	cycle par jour sidéral
mas	milliseconde de degré ($10^{-3}''$)
ms	milliseconde (10^{-3} s)
μ as	microseconde de degré ($10^{-6}''$)
μ s	microseconde (10^{-6} s)
ns	nanoseconde (10^{-9} s)

D'un point de vue typographique, les vecteurs sont représentés par des caractères gras et les points par des caractères romains.

ERRATA

Connaissance des Temps 2006

– éphémérides électroniques sur CDROM, coordonnées rectangulaires du Soleil, *au lieu de* équinoxe et écliptique moyens J2000, *lire* équinoxe et équateur moyens J2000.

Connaissance des Temps 2005

– page I. 16, troisième ligne, *au lieu de* k ($e \sin \varpi$), *lire* h ($e \sin \varpi$) ;

– page I. 16, table 1.12, q de Pluton, *au lieu de* $-0.005\,170\,29$, *lire* $-0.051\,702\,90$;

– page I. 156, Deuxième méthode, *au lieu de* les quatre rotations $R_3(-\chi_A)$, $R_1(\omega_A)$, $R_3(\psi_A)$ et $R_1(\varepsilon_0)$, *lire* les quatre rotations $R_1(\varepsilon_0)$, $R_3(-\psi_A)$, $R_1(-\omega_A)$ et $R_3(\chi_A)$.

L'équation (5.17) s'écrit alors :

$$\begin{pmatrix} x_D^A \\ y_D^A \\ z_D^A \end{pmatrix} = R_3(\chi_A) R_1(-\omega_A) R_3(-\psi_A) R_1(\varepsilon_0) \begin{pmatrix} x_F^A \\ y_F^A \\ z_F^A \end{pmatrix}. \quad (5.17)$$

LES SERVEURS DE L'INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

Les serveurs sur Internet

<http://www.imcce.fr>

<http://www.imcce.eu>

L'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides diffuse de nombreuses informations, périodiquement remises à jour, grâce à son serveur sur le réseau *Internet*. On y trouve, outre des informations générales sur les activités de l'Institut de mécanique céleste, des données scientifiques concernant les objets du système solaire :

- éphémérides de planètes et de satellites, phénomènes ;
- données sur les objets du système solaire ;
- éléments orbitaux de comètes ;
- données sur les éclipses de Soleil ;
- images astronomiques ;
- bases de données astrométriques.

Ces serveurs sont accessibles aux adresses <http://www.imcce.fr> et <http://www.imcce.eu>.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	I. iii
Préface	I. v
Nouveautés de l'édition 2007	I. vii
Liste des acronymes	I. viii
Notations	I. x
Errata	I. x
Les serveurs de l'IMCCE	I. xi
Table des matières	I. xiii

PREMIÈRE PARTIE : INTRODUCTION AUX ÉPHÉMÉRIDES I. 1

1. Définitions et données astronomiques	I. 3
1.1. Introduction	I. 3
1.2. Systèmes d'unités	I. 4
1.3. Le système UAI de constantes astronomiques	I. 8
1.4. Données concernant les corps du système solaire	I. 16
1.5. Autres constantes et unités	I. 30
1.6 Bibliographie.	I. 33
2. Échelles de temps	I. 39
2.1. Introduction. Le temps et les astronomes	I. 39
2.2. Évolution des échelles de temps	I. 40
2.3. Le temps universel (TU ou UT, Universal Time)	I. 42
2.4. Le temps atomique international (TAI)	I. 43
2.5. Le temps universel coordonné (UTC, Universal Time Coordinated)	I. 45
2.6. Le temps des éphémérides (TE ou ET, Ephemeris Time)	I. 48
2.7. Les échelles de temps relativistes	I. 49
2.8. Bibliographie	I. 54
3. Systèmes de référence	I. 61
3.1. Introduction aux systèmes de référence	I. 61

3.2. Systèmes de référence relativistes	I. 63
3.3. Systèmes de référence dynamiques	I. 70
3.4. Le système de référence céleste international ICRS	I. 78
3.5. Le système international de référence terrestre ITRS	I. 84
3.6. Passage du système de référence céleste géocentrique au système de référence terrestre	I. 94
3.7. Bibliographie	I. 108
4. Rotation de la Terre	I. 115
4.1. Introduction des phénomènes physiques et observations	I. 115
4.2. La précession	I. 120
4.3. Modèles de nutation	I. 127
4.4. Détermination des paramètres d'orientation de la Terre	I. 136
4.5. Bibliographie	I. 145
5. Changements de coordonnées	I. 149
5.1. Notions préliminaires	I. 149
5.2. Coordonnées usuelles	I. 151
5.3. Formules de changements de coordonnées	I. 156
5.4. Application des résolutions de l'UAI 2001 aux changements de coordonnées	I. 164
5.5. Bibliographie	I. 168
6. Mouvement des planètes et de la Lune : la solution INPOP	I. 169
6.1. Introduction	I. 169
6.2. Le modèle dynamique	I. 170
6.3. L'ajustement aux observations	I. 171
6.4. Bibliographie	I. 174
7. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i>	I. 175
7.1. Présentation des éphémérides	I. 175
7.2. Sources des éphémérides	I. 179
7.3. Utilisation des éphémérides tabulées	I. 180
7.4. Utilisation des éphémérides électroniques	I. 182
7.5. Précision des éphémérides	I. 187
7.6. Bibliographie	I. 188

DEUXIÈME PARTIE : ÉPHÉMÉRIDES POUR 2007	II. 1
Temps sidéral, nutation	II. 3
Temps sidéral, nutation en longitude et obliquité	II. 4
Angle de rotation de la Terre	II. 9
Angle de rotation de la Terre, équation des origines	II. 10
Système céleste intermédiaire	II. 15
Coordonnées du CIP X et Y, Angle s	II. 16
Soleil	II. 21
Longitude, latitude, rayon vecteur	II. 22
Ascension droite, déclinaison, temps de passage	II. 26
Coordonnées rectangulaires (X, Y, Z)	II. 30
Lune	II. 35
Ascension droite, déclinaison, distance	II. 36
Planètes principales	II. 53
Coordonnées héliocentriques	II. 54
Mercure	II. 54
Vénus	II. 58
Mars	II. 60
Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune	II. 61
Coordonnées géocentriques	II. 62
Mercure	II. 62
Vénus	II. 66
Mars	II. 70
Jupiter	II. 74
Saturne	II. 78
Uranus	II. 82
Neptune	II. 86
Pluton et petites planètes	II. 91
Coordonnées géocentriques	II. 92
Pluton	II. 92
Cérès	II. 93
Pallas	II. 94
Junon	II. 95

Vesta	II. 96
Satellites de Mars	II. 97
Coordonnées différentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations est	II. 98
Phobos	II. 98
Déimos	II. 106
Satellites de Jupiter	II. 109
Coordonnées différentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations	II. 110
Io	II. 110
Europe	II. 113
Ganymède	II. 115
Callisto	II. 116
Satellites de Saturne	II. 117
Coordonnées différentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations	II. 118
Mimas	II. 118
Encelade	II. 124
Téthys	II. 128
Dioné	II. 131
Rhéa	II. 133
Titan	II. 134
Hypériorion	II. 135
Japet	II. 135
Satellites d'Uranus	II. 137
Coordonnées différentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations	II. 138
Miranda	II. 138
Ariel	II. 142
Umbriel	II. 145
Titania	II. 147
Obéron	II. 148
Calendrier	II. 149
Composition de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides	II. 153
Composition du Bureau des longitudes	II. 155

PREMIÈRE PARTIE

INTRODUCTION AUX ÉPHÉMÉRIDES

Chapitre 1. Définitions et données astronomiques	I. 3
Chapitre 2. Échelles de temps	I. 39
Chapitre 3. Systèmes de référence	I. 61
Chapitre 4. Rotation de la Terre	I. 115
Chapitre 5. Changements de coordonnées	I. 149
Chapitre 6. Mouvement des planètes et de la Lune : la solution INPOP	I. 169
Chapitre 7. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i> ...	I. 175

CHAPITRE 1

DÉFINITIONS ET DONNÉES ASTRONOMIQUES

A. BEC-BORSENBERGER AVEC LA COLLABORATION DE J.-L. SIMON ET D. HESTROFFER

1.1. INTRODUCTION

L'établissement des éphémérides, prévision des positions des corps célestes, dépend du système d'unités et de la valeur des constantes utilisées. En plus du système fondamental d'unités, commun à toutes les sciences, les astronomes utilisent, par commodité puisqu'il s'agit de représenter des mouvements à grande échelle, un autre système dit *système d'unités astronomiques*. C'est au cours de la Conférence internationale des étoiles fondamentales tenue à Paris du 18 au 21 mai 1896 que fut établi un système de constantes astronomiques sur lequel les astronomes étaient invités à fonder leurs calculs. Ce système de constantes, international dès l'origine, est entré en application immédiatement et est resté en vigueur jusqu'à l'adoption par la douzième assemblée générale de l'Union Astronomique Internationale (UAI), réunie à Hambourg en 1964, du système UAI 1964 (UAI, 1966). Ce dernier système fut effectivement introduit dans les éphémérides à partir de 1968. La seizième assemblée générale de l'UAI réunie à Grenoble en 1976, le modifia pour donner naissance au système UAI 1976 (UAI, 1977) qui fut introduit dans les éphémérides en 1984.

Dans ce chapitre nous allons présenter ce système ainsi que des données plus récentes et actuellement en usage. Nous noterons :

- IERS 2003, les données issues du système de référence standard défini par le Service International de Rotation de la Terre (IERS, International Earth rotation and Reference systems Service) ;
- Seidelmann et al. 2002, les données publiées par le *groupe de travail* commun à l'UAI et à l'Association Internationale de Géodésie (IAG, International Association of Geodesy) sur les coordonnées cartographiques et les éléments rotationnels des planètes et des satellites ;
- Fukushima 2000, les propositions du *groupe de travail* de l'UAI sur les constantes astronomiques.

1.2. SYSTÈMES D'UNITÉS

1.2.1. Système fondamental

Le système pratique d'unités de mesure est le Système International d'unités dont l'abréviation internationale est SI. On y distingue deux classes d'unités, les unités de base et les unités dérivées.

Le Système International est fondé sur sept unités de base (Table 1.1) considérées comme indépendantes du point de vue dimensionnel.

Table 1.1. Unités de base du Système International d'unités (SI).

Grandeur	Unité	Symbole
Longueur	mètre	m
Masse	kilogramme	kg
Temps	seconde	s
Intensité de courant électrique	ampère	A
Température thermodynamique	kelvin	K
Quantité de matière	mole	mol
Intensité lumineuse	candela	cd

Les définitions de ces unités ont changé au cours du temps.

Compte tenu de leur précision intrinsèque et des incertitudes de mise en œuvre, chacune de leurs définitions successives est compatible avec la précédente tout en permettant des réalisations plus exactes.

Les dernières définitions publiées par le Bureau international des poids et mesures (BIPM, 1998) pour les sept unités de base sont les suivantes, les sigles CGPM désignant la Conférence générale des poids et mesures et CIPM, le Comité international des poids et mesures.

Unité de longueur : le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de $1/299\,792\,458$ seconde (17^e CGPM, 1983).

Unité de masse : le kilogramme est l'unité de masse ; il est égal à la masse du prototype international du kilogramme (1^{er} CGPM, 1889 et 3^e CGPM, 1901). Ce prototype international en platine iridié est conservé au Bureau International.

Unité de temps : la seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133 (13^e CGPM, 1967).

Unité de courant électrique : l'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à 2×10^{-7} newton par mètre de longueur (CIPM, 1946 et 9^e CGPM, 1948).

Unité de température thermodynamique : le kelvin est la fraction 1/273.16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau (13^e CGPM, 1967).

Unité de quantité de matière : la mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0.012 kilogramme de carbone 12. Lorsqu'on emploie la mole, les entités élémentaires doivent être spécifiées et peuvent être des atomes, des molécules, des ions, des électrons, d'autres particules ou des groupements spécifiés de telles particules (14^e CGPM, 1971). Remarquons que, dans la définition de la mole, il est entendu que l'on se réfère à des atomes de carbone 12 non liés, au repos et dans leur état fondamental.

Unité d'intensité lumineuse : la candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est 1/683 watt par stéradian (16^e CGPM, 1979).

Les unités dérivées sont formées par combinaison des unités de base à l'aide de relations algébriques liant les grandeurs correspondantes (cf. Bureau des longitudes, 1981).

La classe des unités supplémentaires d'angle plan et d'angle solide, le radian et le stéradian, a été abrogée par la 11^e CGPM, (1995). Ces unités sont désormais interprétées comme unités dérivées sans dimension.

Le radian est l'angle plan compris entre deux rayons qui, sur la circonférence d'un cercle, interceptent un arc de longueur égale à celle du rayon. Il a pour symbole rad.

Le stéradian est l'angle solide qui, ayant son sommet au centre d'une sphère, découpe sur la surface de cette sphère une aire égale à celle d'un carré ayant pour côté le rayon de la sphère. Il a pour symbole sr.

Par ailleurs, le Comité international des poids et mesures a adopté en 1996 une nouvelle classification des unités en dehors du SI qui peuvent être utilisées avec le SI. Parmi celles-ci, on donne dans la table 1.2 les unités usuelles de temps et d'angle employées quotidiennement.

Table 1.2. Unités en dehors du SI, en usage avec le SI.

Nom	Symbole	Valeur en unité SI
minute	min	1 min = 60 s
heure	h	1 h = 60 min = 3600 s
jour	d	1 d = 24 h = 86400 s
degré	°	1° = ($\pi/180$) rad
minute	'	1' = (1/60)° = ($\pi/10\,800$) rad
seconde	"	1" = (1/60)' = ($\pi/648\,000$) rad

Il est recommandé que le degré soit subdivisé de manière décimale plutôt qu'en utilisant la minute et la seconde.

1.2.2. Système UAI d'unités astronomiques

Unités de base

Les trois unités de base du système d'unités astronomiques, complétant le SI, sont réunies dans la table 1.3.

Table 1.3. Unités de base du système UAI d'unités astronomiques.

Grandeur	Unité	Symbole
Longueur	unité astronomique	ua
Temps	jour	d
Masse	masse du Soleil	S

Définitions

L'unité de temps est le jour, égal à 86 400 secondes du Système International.

L'unité de masse est la masse du Soleil.

L'unité de longueur ou unité de distance est le demi-grand axe d'une orbite que décrirait autour du Soleil une planète de masse négligeable, non perturbée, dont le moyen mouvement est égal à k radians par jour, k étant la constante de Gauss, les unités de temps et de masse étant celles que l'on vient de définir. La valeur de k , donnée dans la table 1.6, est celle adoptée par l'UAI en 1938 (UAI, 1939).

Unités auxiliaires

On utilise comme unité auxiliaire de temps, l'année julienne définie comme étant égale à 365.25 jours, et le siècle julien égal à 100 années juliennes, soit 36 525 jours.

Les unités auxiliaires de longueur sont le parsec (pc) et l'année de lumière (al). Le parsec est la distance d'une étoile dont la parallaxe annuelle est égale à une seconde de degré, c'est-à-dire, la distance à laquelle une unité astronomique est vue sous un angle d'une seconde de degré. L'année de lumière est le trajet parcouru par la lumière pendant une année julienne dans un espace-temps vide de matière.

Unités en mécanique céleste relativiste

Dans le cadre de la mécanique relativiste (UAI, 2000) les unités sont celles du SI pour un système de référence barycentrique dont le temps-coordonnée est le TCB et pour un système de référence géocentrique dont le temps-coordonnée est le TCG (*cf.* 2.7.1). L'emploi du TDB comme temps-coordonnée d'un système barycentrique (Seidelmann et Fukushima, 1992) ou du TT comme temps-coordonnée d'un système géocentrique entraîne l'introduction de nouvelles unités de temps et de longueur afin de conserver constante la valeur de la vitesse de la lumière. En désignant par s_B et m_B les unités de temps et de longueur compatibles avec l'emploi du TDB et par s_G et m_G les unités de temps et de longueur compatibles avec l'emploi du TT, on a :

$$s_B = \frac{s}{1 - L_B} \quad m_B = \frac{m}{1 - L_B}$$

$$s_G = \frac{s}{1 - L_G} \quad m_G = \frac{m}{1 - L_G}$$

où s et m sont les unités de temps et de longueur du SI (*cf.* table 1.1).

On donne dans la table 1.6 les valeurs de L_B et L_G , cette dernière étant désormais classée par l'UAI comme constante de définition (UAI, 2000).

1.2.3. Tables de correspondance

Nous donnons, dans la table 1.4, la correspondance entre les valeurs des diverses unités de temps et, dans la table 1.5, la correspondance entre les valeurs des diverses unités de distance dans les systèmes UAI 1976 et IERS 2003.

Table 1.4. Correspondance entre les unités de temps.

	Seconde	Jour	Année julienne	Siècle julien
1 seconde	1	$1.157\,407\,407 \times 10^{-5}$	$3.168\,808\,781 \times 10^{-8}$	$3.168\,808\,781 \times 10^{-10}$
1 jour	86 400	1	$2.737\,850\,787 \times 10^{-3}$	$2.737\,850\,787 \times 10^{-5}$
1 année julienne	31 557 600	365.25	1	0.01
1 siècle julien	3 155 760 000	36 525	100	1

Table 1.5. Correspondance entre les unités de distance dans les systèmes UAI 1976 (76) et IERS 2003 (03).

	Mètre	Unités astronomiques	Année de lumière	Parsec
1 m (76)	1	$6.684\,587\,1535 \times 10^{-12}$	$1.057\,000\,834\,02 \times 10^{-16}$	$3.240\,779\,3046 \times 10^{-17}$
(03)	1	$6.684\,587\,1227 \times 10^{-12}$	$1.057\,000\,834\,02 \times 10^{-16}$	$3.240\,779\,2896 \times 10^{-17}$
1 ua (76)	149 597 870 000	1	$1.581\,250\,7336 \times 10^{-5}$	$4.848\,136\,8111 \times 10^{-6}$
(03)	149 597 870 691	1	$1.581\,250\,7409 \times 10^{-5}$	$4.848\,136\,8111 \times 10^{-6}$
1 al (76)	$9.460\,730\,472\,5808 \times 10^{15}$	63 241.077 38	1	0.306 601 395 22
(03)	$9.460\,730\,472\,5808 \times 10^{15}$	63 241.077 09	1	0.306 601 393 80
1 pc (76)	$3.085\,677\,5671 \times 10^{16}$	206 264.806 248	3.261 563 7619	1
(03)	$3.085\,677\,5813 \times 10^{16}$	206 264.806 248	3.261 563 7770	1

Vitesse de la lumière : 299 792 458 m/s.

1.3. LE SYSTÈME UAI DE CONSTANTES ASTRONOMIQUES

Le caractère des constantes astronomiques comme celui des constantes physiques fondamentales dépend des conventions adoptées pour fixer les unités et leur définition. On classe les constantes en trois catégories :

– les constantes de définition dont la valeur est fixée arbitrairement, utilisées dans les relations de définition des unités ; le choix des constantes de définition peut varier d'un système de constantes à un autre ;

- les constantes primaires, constantes nécessaires à la réduction des observations et dont les valeurs ne peuvent être déterminées qu'à partir des observations elles-mêmes ;
- les constantes dérivées déduites des constantes de définition et des constantes primaires selon des relations algébriques simples.

1.3.1. Origine des temps

Certaines constantes sont en fait des fonctions du temps. Il est donc nécessaire de choisir une origine des temps, ou *époque standard*.

L'époque standard a été définie pour l'UAI 1976, comme le premier janvier 2000 à 12 heures de l'échelle de temps utilisée (*cf.* chapitre 2). Elle correspond au début du jour julien 2 451 545.0, et est désignée par J2000.0 (UAI, 1977). Dans la suite de cet ouvrage, nous la noterons J2000. Par définition, le début d'une année julienne est séparé de l'époque standard par un nombre entier d'années juliennes. Ainsi, le début de l'année julienne 1995, désigné par 1995.0, correspond au jour julien :

$$2451\,545.0 - 5 \times 365.25 = 2\,449\,718.75, \text{ soit le 1 janvier 1995 à 6 heures.}$$

1.3.2. Valeurs des constantes astronomiques

La table 1.6 fournit les valeurs des constantes astronomiques dans le système UAI 1976, complété en ce qui concerne les constantes L_B , L_C et L_G , par les valeurs recommandées par la vingt-quatrième assemblée générale de l'UAI en 2000 (UAI, 2000). En parallèle, figurent dans la dernière colonne les valeurs de ces mêmes constantes adoptées dans le système IERS 2003 avec une estimation de leurs incertitudes.

Remarquons que la valeur de la vitesse de la lumière, qui était une constante primaire en 1976, est devenue une constante de définition depuis le changement de la définition du mètre en 1983.

1.3.3. Système des masses planétaires et données à utiliser pour le calcul des éphémérides

Masses des planètes et des principaux satellites

La table 1.7 donne les rapports de la masse du Soleil aux masses des planètes principales et de leurs satellites pour le système UAI 1976, le système IERS 1992 et les éphémérides DE405/LE405 (Standish, 1998). Notons que les masses IERS 1992 sont celles utilisées dans les théories planétaires VSOP200x (Moisson et Bretagnon, 2001 ; Bretagnon, 2002 ; Fienga et Simon, 2004).

La table 1.8 donne les rapports des masses des principaux satellites de Jupiter, Saturne et Neptune à la masse de la planète centrale pour le système UAI 1976 et pour des systèmes plus récents.

Masses des astéroïdes

Les masses des astéroïdes sont très mal déterminées. À titre indicatif les masses des trois plus gros astéroïdes données dans les éphémérides DE405/LE405 sont, exprimées en masse solaire, :

4.7×10^{-10} pour Cérés

1.0×10^{-10} pour Pallas

1.3×10^{-10} pour Vesta

Ce sont ces valeurs qui ont été utilisées pour la construction des solutions planétaires VSOP200x

Rayons équatoriaux des planètes, de la Lune et du Soleil

La table 1.9 donne les rayons équatoriaux R_e des planètes, de la Lune et du Soleil dans les systèmes UAI 1976 et Seidelmann et al. 2002.

Champ de gravitation des planètes et de la Lune

Pour évaluer le potentiel gravitationnel U créé par un corps du système solaire en un point extérieur à ce corps, on utilise des développements en harmoniques sphériques de coefficients C_{nk} et S_{nk} , sous la forme :

$$U = \frac{Gm}{r} \left[1 + \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{k=0}^n (C_{nk} \cos k\lambda + S_{nk} \sin k\lambda) P_{nk}(\sin \varphi) \right]$$

où G désigne la constante de la gravitation universelle, m la masse du corps et a son rayon équatorial ; λ , φ et r sont les coordonnées sphériques (respectivement, la longitude, la latitude et la distance à l'origine) du point courant dans un système de référence lié au corps et défini par son centre de masse, son équateur et son méridien origine. $P_{nk}(u)$ est une fonction de Legendre de seconde espèce égale à :

$$P_{nk}(u) = \frac{1}{2^n n!} (1 - u^2)^{k/2} \frac{d^{n+k}(u^2 - 1)^n}{du^{n+k}}.$$

On distingue les harmoniques zonaux ($k = 0$) des harmoniques tesséraux ($k \neq 0$). On pose $J_n = -C_{n0}$. Pour les corps à symétrie de révolution, les coefficients des harmoniques tesséraux sont nuls.

Table 1.6. Constantes de définition, constantes primaires et constantes dérivées dans les systèmes UAI 1976, UAI 2000 et IERS 2003.

	UAI 1976, UAI 2000	IERS 2003
Constantes de définition		
Constante de Gauss, k	0.017 202 098 95 ⁽¹⁾	
Vitesse de la lumière, c		299 792 458 m s ⁻¹
1-d(TT)/d(TCG), L_G	6.969 290 134×10 ⁻¹⁰ ⁽²⁾	6.969 290 134×10 ⁻¹⁰
Constantes primaires		
Vitesse de la lumière, c	299 792 458 m s ⁻¹	
Temps de lumière pour l'unité de distance, τ_A	499.004 782 s	499.004 783 8061 s ± 0.000 000 02 s
Rayon équatorial de la Terre, R	6 378 140 m	6 378 136.6 ± 0.1 m
Facteur d'ellipticité géopotentiel de la Terre, J_2	0.001 082 63	0.001 082 6359 ± 1.0 × 10 ⁻¹⁰
Constante géocentrique de la gravitation, GM	3.986 005×10 ¹⁴ m ³ s ⁻²	3.986 004 418×10 ¹⁴ m ³ s ⁻² ± 8 × 10 ⁵ m ³ s ⁻²
Constante de la gravitation, G	6.672×10 ⁻¹¹ m ³ kg ⁻¹ s ⁻²	6.673×10 ⁻¹¹ m ³ kg ⁻¹ s ⁻² ± 1 × 10 ⁻¹³ m ³ kg ⁻¹ s ⁻²
Rapport de la masse de la Lune à la masse de la Terre, μ	0.012 300 02	0.012 300 0383 ± 5 × 10 ⁻¹⁰
Constante de la précession par siècle julien pour J2000, p	5 029''.0966	
Obliquité de l'écliptique pour J2000, ε_0	23° 26' 21''.448	23° 26' 21''.4059 ± 0.0003''
Potentiel de gravité à la surface du géoïde, W		62 636 856.0 m ² s ⁻² ⁽³⁾ ± 0.5 m ² s ⁻²
Vitesse angulaire moyenne de rotation de la Terre, ω		7.292 115×10 ⁻⁵ rad s ⁻¹ (variable)
Constantes dérivées et relations		
Constante de la nutation pour J2000, N_0	9''.2025 ⁽⁴⁾	
Unité de distance (unité astronomique), $A = c\tau_A$	1.495 978 70×10 ¹¹ m	1.495 978 706 91×10 ¹¹ m ± 6 m
Parallaxe solaire, $\pi_0 = \arcsin(R/A)$	8''.794 148	
Constante de l'aberration pour J2000, κ	20''.495 52	

Table 1.6. (fin).

	UAI 1976, UAI 2000	IERS 2003
Aplatissement de la Terre, f	0.003 352 81 = 1/298.257	1/298.256 42 ± 1/0.00001
Constante héliocentrique de la gravitation, $GS = A^3 k^2 d^{-2}$	1.327 124 38 × 10 ²⁰ m ³ s ⁻²	1.327 124 420 76 × 10 ²⁰ m ³ s ⁻² ± 5 × 10 ¹⁰ m ³ s ⁻²
Rapport de la masse du Soleil à la masse de la Terre $GS/GM = S/M$	332 946.0	
Rapport de la masse du Soleil à la somme des masses de la Terre et de la Lune, $(S/M)/(1 + \mu)$	328 900.5	
Masse du Soleil, $GS/G = S$	1.9891 × 10 ³⁰ kg	
Valeur moyenne de 1-d(TT)/d(TCB), L_B	1.550 519 767 72 × 10 ⁻⁸ ± 2 × 10 ⁻¹⁷	1.550 519 767 72 × 10 ⁻⁸ ± 2 × 10 ⁻¹⁷
Valeur moyenne de 1-d(TCG)/d(TCB), L_C	1.480 826 867 41 × 10 ⁻⁸ ± 2 × 10 ⁻¹⁷	1.480 826 867 41 × 10 ⁻⁸ ± 2 × 10 ⁻¹⁷

(¹) $k = 0.985\,607\,668\,601\,425$ degré/jour.

(²) Système UAI 2000 seulement.

(³) Bursa, 1992.

(⁴) Système UAI 1976 seulement.

Table 1.7. Rapport de la masse du Soleil aux masses des planètes principales dans les systèmes UAI 1976, IERS1992 et DE405/LE405.

	UAI 1976	IERS 1992	DE405/LE405
Mercure	6 023 600	6 023 600	6 023 600
Vénus	408 523.5	408 523.71	408 523.71
Terre + Lune	328 900.5	328 900.56	328 900.561 400
Mars	3 098 710	3 098 708	3 098 708
Jupiter + satellites galiléens	1 047.355	1 047.3486	1 047.3486
Saturne + satellites	3 498.5	3 497.90	3 497.898
Uranus + satellites	22 869	22 902.94	22 902.98
Neptune + satellites	19 314	19 412.24 (¹)	19 412.24 (¹)
Pluton + Charon	130 000 000 (²)	135 000 000	135 200 000

(¹) Neptune + Triton

(²) La valeur donnée pour Pluton (Harrington et Christy, 1980) est différente de celle du système UAI 1976 qui était 3 000 000. Elle a été révisée à la suite de la découverte de Charon, satellite de Pluton.

Table 1.8. Rapports des masses des principaux satellites de Jupiter, Saturne et Neptune à la masse de la planète centrale dans le système UAI 1976 et d'après des déterminations plus récentes.

		UAI 1976	Campbell et Synnot 1985 (a) Campbell et Anderson 1989 (b) Owen et al. 1991 (c)
Jupiter	Io	4.70×10^{-5}	4.705×10^{-5} (a)
	Europe	2.56×10^{-5}	2.527×10^{-5} (a)
	Ganymède	7.84×10^{-5}	7.804×10^{-5} (a)
	Callisto	5.6×10^{-5}	5.668×10^{-5} (a)
Saturne	Titan	2.41×10^{-4}	2.367×10^{-4} (b)
Neptune	Triton	2×10^{-3}	2.09×10^{-4} (c)

Table 1.9. Rayons équatoriaux des planètes, de la Lune et du Soleil, en kilomètres, dans les systèmes UAI 1976 et Seidelmann et al. 2002.

	UAI 1976	Seidelmann et al. 2002
Mercur	2 439	$2\,439.7 \pm 1.0$
Vénus	6 052	$6\,051.8 \pm 1.0$
Terre	6 378.140	$6\,378.14 \pm 0.01$
Mars	3 397.2	$3\,396.19 \pm 0.1$
Jupiter	71 398	$71\,492 \pm 4$ ⁽¹⁾
Saturne	60 000	$60\,268 \pm 4$ ⁽¹⁾
Uranus	25 400	$25\,559 \pm 4$ ⁽¹⁾
Neptune	24 300	$24\,764 \pm 15$ ⁽¹⁾
Pluton	2 500	$1\,195 \pm 5$
Lune	1 738	$1\,737.4 \pm 1$
Soleil	696 000	

⁽¹⁾ Le rayon à une surface de pression 10^5 Pa.

La table 1.10 donne les coefficients des développements en harmoniques sphériques des potentiels des planètes dans le système UAI 1976 et d'après des déterminations plus récentes.

Table 1.10. Champ de gravitation des planètes : coefficients des harmoniques dans le système UAI 1976 et d'après des déterminations plus récentes.

UAI 1976		Fukushima 1990 (a) ; IERS 1992 (b) ; Campbell et Synnot 1985 (c) ; Campbell et Anderson 1989 (d) ; Owen et al. 1991 (e) ;	
Vénus			
J_2		+ 0.000 006	(a)
Terre			
J_2	+ 0.001 082 63	+ 0.001 082 6362	(b)
J_3	- 0.000 002 54	- 0.000 002 533	(b)
J_4	- 0.000 001 61	- 0.000 001 619	(b)
Mars			
J_2	+ 0.001 964	+ 0.001 960	(a)
J_3	+ 0.000 036	+ 0.000 036	(a)
J_4		- 0.000 032	(a)
C_{22}	- 0.000 055	- 0.000 055	(a)
S_{22}	+ 0.000 031	+ 0.000 031	(a)
S_{31}	+ 0.000 026	+ 0.000 026	(a)
Jupiter			
J_2	+ 0.014 75	+ 0.014 736	(c)
J_3		+ 0.000 001	(c)
J_4	- 0.000 58	- 0.000 587	(c)
J_6		+ 0.000 031	(c)
Saturne			
J_2	+ 0.016 45	+ 0.016 298	(d)
J_4	- 0.001 0	- 0.000 915	(d)
J_6		+ 0.000 103	(d)
Uranus			
J_2	+ 0.012	+ 0.003 339	(a)
J_4		- 0.000 032	(a)
Neptune			
J_2	+ 0.004	+ 0.003 41	(e)
J_4		- 0.000 03	(e)

La table 1.11 donne ces mêmes coefficients pour la Lune, dans les systèmes UAI 1976, IERS 1992 et DE405/LE405 ; elle contient également les paramètres de gravitation de la Lune liés aux moments d'inertie, C (moment d'inertie polaire), A (moment d'inertie autour de l'axe dirigé vers la Terre) et B (moment d'inertie autour du troisième axe) ainsi que l'inclinaison moyenne I de l'équateur lunaire sur l'écliptique. M et R_e désignent respectivement la masse et le rayon équatorial de la Lune.

Table 1.11. Champ de gravitation de la Lune : coefficients des harmoniques dans les systèmes UAI 1976, IERS 1992 et DE405/LE405.

	UAI 1976	IERS 1992	DE405/LE405
C_{20}	- 0.000 2027	- 0.000 202 151	- 0.000 204 538 620
C_{22}	+ 0.000 0223	+ 0.000 022 302	+ 0.000 022 518 019
C_{30}	- 0.000 006	- 0.000 008 626	- 0.000 008 785 470
C_{31}	+ 0.000 029	+ 0.000 030 71	+ 0.000 030 803 810
S_{31}	+ 0.000 004	+ 0.000 005 6107	+ 0.000 004 259 329
C_{32}	+ 0.000 0048	+ 0.000 004 8348	+ 0.000 004 879 807
S_{32}	+ 0.000 0017	+ 0.000 001 684	+ 0.000 001 695 516
C_{33}	+ 0.000 0018	+ 0.000 001 436	+ 0.000 001 770 176
S_{33}	- 0.000 001	- 0.000 000 334 35	- 0.000 000 270 970
C_{40}		+ 0.000 000 15	+ 0.000 000 145 383
C_{41}		- 0.000 007 18	- 0.000 007 177 801
S_{41}		+ 0.000 002 95	+ 0.000 002 947 434
C_{42}		- 0.000 001 440	- 0.000 001 439 518
S_{42}		- 0.000 002 884	- 0.000 002 884 372
C_{43}		- 0.000 000 085	- 0.000 000 085 479
S_{43}		- 0.000 000 789	- 0.000 000 788 967
C_{44}		- 0.000 000 1549	- 0.000 000 154 904
S_{44}		+ 0.000 000 0564	+ 0.000 000 056 404
$\gamma = (B - A)/C$	0.000 2278	0.000 228 0043	0.000 227 8583
$\beta = (C - A)/B$	0.000 6313	0.000 631 6769	0.000 631 6121
C/MR_e^2	0.392	0.390 53	
I	5 552''.7 = 1° 32' 32''.7	5 553''.5 = 1° 32' 33''.5	

1.4. DONNÉES CONCERNANT LES CORPS DU SYSTÈME SOLAIRE

1.4.1. Éléments orbitaux des planètes et des satellites découverts avant 1990

Nous donnons dans la table 1.12 les éléments orbitaux des planètes principales et de Pluton pour les variables a (demi-grand axe de l'orbite), λ (longitude moyenne), k ($e \cos \varpi$, où e est l'excentricité de l'orbite et ϖ , la longitude du périhélie), h ($e \sin \varpi$), q ($\sin \frac{I}{2} \cos \Omega$, où I est l'inclinaison de l'orbite sur l'écliptique et Ω la longitude du nœud de l'orbite sur l'écliptique) et p ($\sin \frac{I}{2} \sin \Omega$). Ces éléments sont rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe dynamiques inertiels (*cf.* 3.3.2) J2000. Ce sont les parties constantes des éléments moyens donnés par Simon et al. (1994) pour les planètes principales et par Simon (2004) pour Pluton ; on peut les considérer comme des valeurs moyennes sur l'intervalle de temps [J2000–6000, J2000+6000] pour les planètes principales et sur [J2000–1000, J2000+1000] pour Pluton.

Table 1.12. Éléments orbitaux des planètes rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe dynamiques J2000.

Planète	a (ua)	λ (degrés)	k	h	q	p
Mercure	0.387 098 31	252.250 905 52	0.044 660 60	0.200 723 31	0.040 615 63	0.045 635 50
Vénus	0.723 329 82	181.979 800 85	−0.004 492 82	0.005 066 85	0.006 824 10	0.028 822 86
Terre	1.000 001 02	100.466 456 83	−0.003 740 82	0.016 284 48	0	0
Mars	1.523 679 34	355.432 999 58	0.085 365 60	−0.037 899 73	0.010 470 43	0.012 284 49
Jupiter	5.202 603 21	34.351 518 74	0.046 985 75	0.012 003 88	−0.002 065 60	0.011 183 75
Saturne	9.554 909 19	50.077 444 30	−0.002 959 99	0.055 429 61	−0.008 717 47	0.019 891 48
Uranus	19.218 446 06	314.055 005 11	−0.045 951 32	0.005 637 91	0.001 859 15	0.006 486 17
Neptune	30.110 386 87	304.348 665 48	0.005 999 78	0.006 692 42	−0.010 291 48	0.011 516 84
Pluton	39.544 705 89	238.702 479 79	−0.178 724 68	−0.173 415 54	−0.051 702 90	0.139 779 69

Dans la table 1.13 figurent les périodes de révolution sidérale P des planètes ainsi que leurs périodes de rotation T . Ces dernières sont calculées d'après les expressions définissant la position du méridien origine sur chaque planète (Seidelmann et al., 2002).

Dans la table 1.14, on donne les paramètres moyens des orbites des satellites des planètes découverts avant 1990 : a (demi-grand axe de l'orbite), e (excentricité de l'orbite), P (période de révolution sidérale) ; I désigne l'inclinaison de l'orbite du corps soit par rapport à l'écliptique J2000 (E), soit par rapport à l'équateur de la planète (e). Dans cette table figurent en outre, les noms des découvreurs des satellites et des anneaux ainsi que la date de leur découverte : en particulier les découvertes par Voyager 1 des anneaux de Jupiter (Johnson et al., 1979) et de

l'anneau D de Saturne (Smith et al., 1981), et celles par Pioneer 11 des anneaux F et G (Gehrels et al., 1980).

Table 1.13. Périodes de révolution sidérale P et de rotation T des planètes.

Planètes	P (jours)	T	
Mercure	87.969	58.646 225	(¹)
Vénus	224.701	243.018 484	(¹) (²)
Terre	365.256	23.934 471	(³)
Mars	686.980	24.622 962	(³)
Jupiter	4 332.59	9.924 912	(³) (⁴) (⁵)
Saturne	10 759.2	10.656 222	(³) (⁴)
Uranus	30 688.5	17.240 000	(²) (³) (⁴)
Neptune	60 182.3	16.110 000	(³) (⁴)
Pluton	90 469.7	153.293 904	(²) (³)

(¹) en jours ; (²) rotation rétrograde ; (³) en heures ; (⁴) rotation du champ magnétique (système III) ; (⁵) on a également $T = 9.841\,668$ heures, rotation de l'atmosphère à l'équateur (système I) et $T = 9.927\,953$ heures, rotation de l'atmosphère aux latitudes élevées (système II).

Les éléments moyens de la Lune sont issus de Simon et al. (1994).

Les éléments moyens des satellites de Mars sont déduits de la théorie de leur mouvement (Chapront-Touzé, 1988 et 1990).

Pour Jupiter, les éléments publiés pour les anneaux et pour les nouveaux satellites JXVI et JXV sont donnés par Nicholson et Matthews (1991) et ceux de JXIV par Synnott (1984). Les éléments des quatre satellites galiléens sont dus à Lieske (1980, 1987) et à Thuillot et Vu (1986), ceux de JXIII sont dus à Aksnes (1978). Les éléments de JV, JX, JXI et JXII sont extraits de l'*Encyclopédie scientifique de l'univers* (Bureau des longitudes, 1986), le demi-grand axe de JV étant toutefois calculé à partir de la valeur de la période. Les éléments de JVI, JVII, JVIII et JIX proviennent d'intégrations numériques effectuées par Rocher (1996) dont les résultats sont publiés dans le *Supplément à la Connaissance des Temps* pour les satellites faibles (Bureau des longitudes, 1997).

Pour Saturne, les éléments publiés sont tirés de Esposito et al. (1984) pour les anneaux sauf l'anneau F dont les éléments sont tirés de Synnott et al. (1983). Ils sont tirés de Showalter et al. (1986) et Showalter (1990) pour SXVIII, de Synnott et al. (1981) pour SX, SXI, SXII, SXV, SXVI et SXVII, du *Supplément à la Connaissance des Temps* pour les satellites de Mars, Jupiter, Saturne et Uranus (Bureau des longitudes, 1995) pour SXIII et SXIV, de Dourneau (1993) pour les huit principaux satellites. Ils proviennent d'une intégration numérique effectuée par Arlot et al. (2003) pour SIX (Phœbé).

Pour Uranus, les éléments des anneaux sont tirés de French et al. (1988), ceux des cinq principaux satellites de Laskar et Jacobson (1987) et ceux des dix petits satellites de Owen et Synnott (1987).

Pour Neptune, les éléments des anneaux sont tirés de Nicholson et al. (1990), ceux des deux principaux satellites de Jacobson et al. (1991) et ceux des six petits satellites de Owen et al. (1991).

Enfin, pour Pluton les éléments de Charon donnés avec, entre parenthèses, l'incertitude en unités de la dernière décimale, sont dus à Tholen et Buie (1997).

Table 1.14. Éléments orbitaux des satellites découverts avant 1990.

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	P (jours)	Découverte	
Terre							
Lune		383.398	0.055 546	5.156 69 (E)	27.3217		
Mars							
Phobos		9.38	0.0151	1.1 (e)	0.3189	Hall	1877
Déimos		23.46	0.0002	0.9/2.7 (e)	1.2624	Hall	1877
Jupiter							
Anneaux		125.6/126.6				Voyager 1	1979
Métis	XVI	127.979	≤ 0.005	≤ 0.1 (e)	0.294 779	Voyager 1/2	1979–1980
Adrastéia	XV	128.980	≤ 0.005	≤ 0.3 (e)	0.298 260	Voyager 1	1979–1980
Amalthée	V	181.2	0.003	0.4 (e)	0.498 179	Barnard	1892
Thébé	XIV	221.895	0.015	0.8 (e)	0.6745	Voyager 1	1979–1980
Io	I	422	0.004	0.02/0.04 (e)	1.769 138	Galilée	1610
Europe	II	671	0.009	0.42/0.51 (e)	3.551 181	Galilée	1610
Ganymède	III	1 070	0.002	0.06/0.30 (e)	7.154 553	Galilée	1610
Callisto	IV	1 883	0.007	0.15/0.74 (e)	16.689 018	Galilée	1610
Léda ⁽⁹⁾	XIII	11 150	0.116/0.210	1.5/50.6 ⁽³⁾	240.5	Kowal	1974
Himalia ⁽⁹⁾	VI	11 443	0.112/0.207	4.5/51.9 ⁽³⁾	250.1	Perrine	1904–1905
Lysithéa ⁽⁹⁾	X	11 700	0.081/0.155	23.2/51.4 ⁽³⁾	258.5	Nicholson	1938
Elara ⁽⁹⁾	VII	11 716	0.155/0.272	1.4/46.7 ⁽³⁾	259.1	Perrine	1904–1905
Ananké ⁽⁹⁾	XII	21 048	0.083/0.452	122.2/172.9 ⁽³⁾	624.1	Nicholson	1951
Carmé ⁽⁹⁾	XI	23 280	0.132/0.414	140.6/172.4 ⁽³⁾	726.3	Nicholson	1938
Pasiphaé ⁽⁹⁾	VIII	23 658	0.184/0.668	119.1/174.2 ⁽³⁾	744.2	Melotte	1908
Sinopé ⁽⁹⁾	IX	23 848	0.108/0.425	132.3/179.4 ⁽³⁾	753.2	Nicholson	1914
Saturne							
Anneau D		67			0.2	Voyager 1	1981
Anneau C		74.5 /92.06 ⁽¹⁾	0	0 (e)	0.24/0.33	Bond	1851
Anneau B		92.06/117.50 ⁽¹⁾	0.0006		0.33/0.48	Galilée	1610
Anneau A		122.20/136.77 ⁽¹⁾			0.50/0.60	Galilée	1610
Anneau F		140.2	0.003		0.618	Pioneer 11	1980
Anneau G		169				Pioneer 11	1980
Anneau E		180/480 ⁽¹⁾				Feibelman	1967
Pan	XVIII	133.6			0.575	Showalter ⁽²⁾	1990

Table 1.14. (suite).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	P (jours)	Découverte		
Saturne								
Atlas ⁽⁴⁾	XV	137.67	0.002	0.3	(e) 0.6019	Voyager 2	1980	
Prométhée ⁽⁴⁾	XVI	139.35	0.002	0.0	(e) 0.612 99	Voyager 2	1978	
Pandore ⁽⁴⁾	XVII	141.70	0.004	0.0	(e) 0.6285	Voyager 2	1980	
Épiméthée ⁽⁴⁾	XI	151.42	0.009	0.34	(e) 0.694 32	Fountain/Larson	1978	
Janus ⁽⁴⁾	X	151.47	0.007	0.14	(e) 0.694 66	Dollfus	1966	
Mimas	I	185.54	0.019 05	1.56	(e) 0.942 422	Herschel	1789	
Encelade	II	238.20	0.0049	0.03	(e) 1.370 218	Herschel	1789	
Téthys	III	294.992	0.0	1.10	(e) 1.887 803	Cassini	1684	
Télésto	XIII	294.66			1.8878	Voyager 2	1980	
Calypso	XIV	294.66			1.8878	Voyager 2	1980	
Dioné	IV	377.654	0.0022	0.01	(e) 2.736 916	Cassini	1684	
Hélène ⁽⁴⁾	XII	378.06	0.005	0.15	(e) 2.7391	Lecacheux/Laques	1980	
Rhée	V	527.367	0.0003	0.35	(e) 4.517 503	Cassini	1672	
Titan	VI	1 221.803	0.0291	0.30	(e) 15.945 446	Huygens	1655	
Hypérior	VII	1 481.1	0.1035	0.64	(e) 21.276 673	Bond/Lassel	1848	
Japet	VIII	3 561.85	0.0283	18.5	(e) 79.330 954	Cassini	1671	
Phœbé	IX	12 905.95	0.175 18	173.70	(e) 547.4	Pickering	1898	
Uranus								
Anneaux		42/51	0.0001/0.0008	0.06/0.0002	(e)	Elliot et al.	1977	
Cordélia	VI	49.752	0.000 47	0.14	(e) 0.335 03	Voyager 2	1986	
Ophélie	VII	53.764	0.0101	0.09	(e) 0.376 40	Voyager 2	1986	
Bianca	VIII	59.165	0.000 88	0.16	(e) 0.434 58	Voyager 2	1986	
Cressida	IX	61.767	0.000 23	0.04	(e) 0.463 57	Voyager 2	1986	
Desdémone	X	62.659	0.000 23	0.16	(e) 0.473 65	Voyager 2	1986	
Juliette	XI	64.358	0.000 59	0.06	(e) 0.493 07	Voyager 2	1986	
Portia	XII	66.097	0.000 17	0.09	(e) 0.513 20	Voyager 2	1986	
Rosalinde	XIII	69.927	0.000 09	0.28	(e) 0.558 46	Voyager 2	1986	
Belinda	XIV	75.255	0.000 11	0.03	(e) 0.623 52	Voyager 2	1986	
Puck	XV	86.004	0.000 05	0.31	(e) 0.761 83	Voyager 2	1985	
Miranda	V	129.872	0.0013 (γ)	4.34	(e) 1.413 479	Kuiper	1948	
Ariel	I	190.945	0.0012 (γ)	0.04	(γ) (e) 2.520 379	Lassell	1851	
Umbriel	II	265.998	0.0040 (γ)	0.13	(γ) (e) 4.144 176	Lassell	1851	
Titania	III	436.298	0.0014 (γ)	0.08	(γ) (e) 8.705 867	Herschel	1787	
Obéron	IV	583.519	0.0016 (γ)	0.07	(γ) (e) 13.463 234	Herschel	1787	
Neptune								
Anneaux		55.1/62.9				Hubbard et al.	1986	
Naïade	III	48.227	0.000 33	4.74	(δ) 0.294 40	Voyager 2	1989	
Thalassa	IV	50.075	0.000 16	0.21	(δ) 0.311 48	Voyager 2	1989	
Despina	V	52.526	0.000 139	0.07	(δ) 0.334 66	Voyager 2	1989	
Galatée	VI	61.953	0.000 12	0.05	(δ) 0.428 75	Voyager 2	1989	
Larissa	VII	73.548	0.001 39	0.20	(δ) 0.554 65	Voyager 2	1989	
Protée	VIII	117.647	0.000 44	0.04	(δ) 1.122 32	Voyager 2	1981–1989	

Table 1.14. (fin).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	P (jours)	Découverte	
Neptune							
Triton	I	354.759	0.000 02	156.3	(e) 5.876 85	Lassell	1846
Néréide	II	5 513.41	0.751	6.68	(e) 360.135	Kuiper	1949
Pluton							
Charon	I	19.636(8)	0.0076(5)	96.163(32)	(e) 6.387 223(17)	Christy/Harrington	1978

⁽¹⁾ La première valeur se rapporte au bord intérieur de l’anneau, la seconde au bord extérieur.

⁽²⁾ Analyse d’observations de 1981 de Voyager 2.

⁽³⁾ Équateur céleste J2000.

⁽⁴⁾ Éléments osculateurs pour l’époque 1 octobre 1980 à 0 h.

⁽⁵⁾ Écliptique J2000. Éléments osculateurs pour l’époque 14 janvier 1970 à 0 h.

⁽⁶⁾ Équateur céleste J2000. Éléments osculateurs pour l’époque 13 janvier 1993 à 13 h.

⁽⁷⁾ Valeur médiane sur l’intervalle de temps [1955, 2005].

⁽⁸⁾ Plan de Laplace du satellite.

⁽⁹⁾ Valeurs médianes (a , P) ou extremums (e , I) sur l’intervalle [1900, 2050].

1.4.2. Éléments osculateurs des satellites découverts après 1990

On donne dans la table 1.15 les éléments osculateurs des satellites des grosses planètes découverts depuis 1990.

a désigne le demi-grand axe de l’orbite, e l’excentricité, I l’inclinaison de l’orbite du satellite par rapport à l’écliptique J2000, ϖ la longitude du périhélie, Ω la longitude du nœud de l’orbite sur l’écliptique J2000 et P la période de révolution sidérale.

La colonne “Année” donne l’année de la découverte du satellite, la colonne “Date” donne la date (à 0h TT) pour laquelle ont été calculés les éléments. Enfin la colonne “Référence” donne le numéro de la *circulaire UAI* (notée IAUC) ou de la *Minor Planet Electronic Circular* (notée M) dont sont extraits ces éléments.

Table 1.15. Éléments orbitaux osculateurs des satellites découverts depuis 1990.

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	ϖ (degrés)	Ω (degrés)	P (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Jupiter										
Thémisto	XVIII	7 398	0.206	45.38	238.86	202.12	130.00	2000	1/04/01	M2000-Y16
Carpo	XLVI	17 056	0.295	55.15	83.28	45.26	455.07	2003	10/06/03	M2003-G67
Euporia	XXXIV	19 456	0.128	145.70	87.45	67.56	554.43	2001	22/11/02	M2003-C53
Jocaste	XXIV	20 424	0.389	150.37	80.01	271.32	596.29	2000	18/10/01	M2001-W07
Thyoné	XXIX	20 770	0.283	148.29	86.28	244.59	611.52	2001	22/11/02	M2002-V06
Mnémé	XL	20 823	0.223	148.51	62.18	19.66	613.88	2003	27/12/03	M2004-B42
Harpalycé	XXII	20 836	0.165	147.31	129.87	39.97	614.45	2000	18/10/01	M2001-U21
Hélicé	XLV	20 923	0.157	156.12	285.54	100.93	618.28	2003	10/06/03	M2003-E29
Euanthé	XXXIII	20 983	0.143	146.03	314.60	268.85	620.96	2001	22/11/02	M2003-A23
Hermippé	XXX	21 048	0.248	149.78	304.58	347.22	623.84	2001	22/11/02	M2002-V06
Orthosia	XXXV	21 263	0.240	141.95	223.56	222.85	633.44	2001	10/06/03	M2003-D36
Praxidicé	XXVII	21 342	0.096	146.76	209.67	285.15	636.96	2000	18/10/01	M2002-A27
Thelxinoé	XLII	21 317	0.238	150.96	318.61	192.31	635.82	2003	27/12/03	M2004-B82
Aetna	XXXI	22 274	0.311	164.34	129.90	21.51	679.15	2001	22/11/02	M2002-V18
Calé	XXXVII	22 301	0.325	164.79	37.55	65.33	680.35	2001	10/06/03	M2003-E14
Callichoré	XLIV	22 335	0.223	163.87	17.05	40.65	681.94	2003	10/06/03	M2003-E29
Taygète	XX	22 350	0.184	164.21	241.11	313.31	682.59	2000	18/10/01	M2001-T59
Chaldéné	XXI	22 452	0.266	166.59	282.54	148.71	687.29	2000	18/10/01	M2001-T59
Calycé	XXIII	22 623	0.377	165.14	216.58	38.72	695.16	2000	18/10/01	M2001-U21
Mégaclyté	XIX	23 464	0.601	151.81	302.27	304.61	734.26	2000	18/10/01	M2001-T59
Callirrhé	XVII	23 498	0.206	143.49	56.96	282.84	767.94	1999	1/04/01	M2001-Y16
Cylléné	XLVIII	23 545	0.412	141.01	208.38	258.94	738.07	2003	10/06/03	M2003-G09
Arché	XLIII	23 712	0.149	164.59	190.35	353.53	745.94	2002	14/07/04	M2004-D43
Pasithée	XXXVIII	23 780	0.280	165.57	266.26	339.05	749.17	2001	10/06/03	M2003-F59
Isoné	XXVI	23 795	0.296	165.88	145.64	149.81	749.88	2000	18/10/01	M2002-A12
Eurydomé	XXXII	23 831	0.326	150.43	254.92	306.71	751.57	2001	22/11/02	M2003-A21
Aoidé	XLI	24 010	0.519	160.66	104.71	200.60	760.08	2003	27/12/03	M2004-B43
Erinomé	XXV	24 062	0.192	162.95	355.99	321.69	762.55	2000	18/10/01	M2001-W33
Spondé	XXXVI	24 356	0.483	155.09	81.02	128.13	776.52	2001	10/06/03	M2003-E05
Autonoé	XXVIII	24 413	0.459	152.06	57.62	273.23	779.27	2001	22/11/02	M2002-V03
Hégémoné	XXXIX	24 448	0.264	152.62	235.38	327.61	780.96	2003	10/06/03	M2003-E24
Eukéladé	XLVII	24 491	0.345	163.38	344.76	218.73	783.03	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2000 J 11		12 623	0.215	28.55	178.02	290.87	289.73	2000	1/04/01	M2001-A29
S/2003 J 2		28 494	0.380	151.83	167.11	4.73	982.61	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 3		18 291	0.241	143.73	98.23	240.36	505.36	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 4		23 196	0.204	144.86	193.98	190.71	721.71	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 5		24 020	0.210	165.01	122.05	198.68	760.51	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 9		22 382	0.269	164.46	327.85	61.47	684.05	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 10		24 185	0.214	164.09	185.20	173.41	768.36	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 12		18 952	0.376	145.76	23.36	62.94	532.99	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 14		24 974	0.222	140.89	124.42	339.81	806.29	2003	10/06/03	M2003-G10
S/2003 J 15		22 012	0.113	140.85	41.58	243.05	667.17	2003	10/06/03	M2003-G17
S/2003 J 16		20 434	0.269	148.62	82.43	23.62	596.76	2003	10/06/03	M2003-G18

Table 1.15. (suite).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	ϖ (degrés)	Ω (degrés)	P (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Jupiter										
S/2003 J 17		22 511	0.187	163.74	333.48	306.80	689.98	2003	10/06/03	M2003-G19
S/2003 J 18		20 683	0.119	146.47	100.28	180.79	607.68	2003	10/06/03	M2003-G20
S/2003 J 19		22 746	0.334	162.90	180.53	38.84	700.83	2003	10/06/03	M2003-G64
S/2003 J 23		23 991	0.309	149.22	268.73	54.07	759.15	2003	27/12/03	M2004-B81
Saturne										
Méthonné	XXXII	194					1.01	2004		IAUC 8389
Palléné	XXXIII	211					1.14	2004		IAUC 8389
Kiviuq	XXIV	11 319	0.166	48.39	91.26	351.82	449.60	2000	18/10/01	M2001-T07
Ijiraq	XXII	11 359	0.359	49.18	70.73	150.97	452.00	2000	18/10/01	M2001-T06
Paaliaq	XX	14 985	0.462	45.86	241.98	350.03	684.86	2000	18/10/01	M2001-T06
Skathi	XXVII	15 472	0.212	148.71	207.65	285.51	718.51	2000	18/10/01	M2001-T23
Albiorix	XXVI	16 496	0.452	37.40	59.55	109.01	791.01	2000	18/10/01	M2001-T07
Erriapo	XXVIII	17 808	0.609	34.47	290.51	138.09	887.21	2000	18/10/01	M2001-T23
Tarvos	XXI	17 977	0.613	34.90	285.66	93.79	899.91	2000	18/10/01	M2001-T06
Siarnaq	XXIX	18 201	0.380	48.50	65.94	63.72	916.80	2000	18/10/01	M2001-U42
Mundilfari	XXV	18 413	0.212	169.80	299.99	79.92	932.80	2000	18/10/01	M2001-T07
Suttungr	XXIII	19 186	0.145	174.65	73.01	252.94	992.16	2000	18/10/01	M2001-T06
Narvi	XXXI	19 244	0.313	136.39	175.00	184.35	996.71	2003	14/07/04	M2004-D41
Thrymr	XXX	19 958	0.565	174.91	86.56	246.25	1 052.63	2000	18/10/01	M2001-X20
Ymir	XIX	23 306	0.375	172.75	42.43	207.07	1 328.35	2000	18/10/01	M2001-T06
Polydeuces	XXXIV							2004		IAUC 8432
S/2004 S 3		140.58					0.621	2004		IAUC 8432
S/2004 S 4								2004		IAUC 8401
S/2004 S 7		20 577	0.554	165.60	100.47	346.26	1 101.99	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 8		23 609	0.186	168.05	359.96	270.40	1 354.34	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 9		20 291	0.209	157.79	336.17	145.59	1 079.10	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 10		19 618	0.237	167.05	281.09	196.48	1 025.91	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 11		16 898	0.333	40.75	9.71	193.15	820.13	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 12		19 906	0.396	164.04	96.53	313.62	1 048.54	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 13		18 056	0.261	167.38	6.32	221.46	905.85	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 14		20 303	0.291	162.76	25.04	322.95	1 080.10	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 15		19 372	0.152	157.46	144.64	215.26	1 006.66	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 16		22 611	0.131	163.13	133.49	239.04	1 269.36	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 17		19 099	0.226	166.88	175.79	19.99	985.45	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 18		19 959	0.772	147.48	84.48	289.60	1 052.72	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2005 S 1		136.5					0.594	2005		IAUC 8524
Uranus										
Cupidon	XXVII	74.8					0.618	2003		IAUC 8209
Perdita	XXV	76.4					0.638	1999		IAUC 7171
Mab	XXVI	97.7					0.923	2003		IAUC 8209
Francisco	XXII	4 270	0.143	147.61	123.19	103.06	266.57	2001	27/12/03	M2003-T29
Caliban	XVI	7 169	0.082	139.68	339.46	174.99	579.44	1997	6/07/98	IAUC 6870

Table 1.15. (fin).

Nom	N°	a (10 ³ km)	e	I (degrés)	ϖ (degrés)	Ω (degrés)	P (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Uranus										
Stéphano	XX	7 942	0.146	141.54	29.84	189.50	675.71	1999	13/09/00	IAUC 7473
Trinculo	XXI	8 571	0.208	166.33	160.60	199.06	758.06	2001	22/11/02	M2002-S64
Sycorax	XVII	12 214	0.509	152.67	18.01	255.81	1 288.55	1997	6/07/98	IAUC 6869
Marguerite	XXIII	14 649	0.783	50.65	77.97	18.01	1 693.88	2003	27/12/03	M2003-T58
Prospero	XVIII	16 113	0.327	146.34	173.57	320.15	1 952.61	1999	13/09/00	IAUC 7447
Sétébos	XIX	18 205	0.494	148.83	2.19	249.85	2 344.89	1999	13/09/00	IAUC 7450
Ferdinand	XXIV	20 598	0.426	167.28	164.88	225.13	2 824.28	2001	27/12/03	M2003-S105
Neptune										
S/2002 N 1		16 560	0.260	111.77	156.94	217.40	1 874.35	2002	10/06/03	M2003-R18
S/2002 N 2		22 277	0.137	52.74	63.92	61.84	2 924.44	2002	27/12/03	M2003-S67
S/2002 N 3		22 553	0.416	39.56	138.05	53.57	2 978.81	2002	27/12/03	M2003-S106
S/2002 N 4		47 153	0.605	139.31	89.77	52.17	9 005.57	2002	27/12/03	M2003-S107
S/2003 N 1		49 281	0.268	124.23	126.76	319.63	9 622.07	2003	10/06/03	M2003-R19
Pluton										
S/2005 P 1		64.7					38.2	2005		IAUC 8625
S/2005 P 2		49.4					25.3	2005		IAUC 8625

1.4.3. Paramètres physiques

On donne dans la table 1.16, les masses au repos m du Soleil, des planètes et des systèmes formés par les planètes et leurs principaux satellites, ainsi que les quantités Gm , produits de la constante héliocentrique de la gravitation GS , par le rapport des masses des planètes ou des systèmes planète-satellites à la masse du Soleil m/S . Le système de Jupiter est composé de Jupiter et des quatre satellites galiléens ; celui de Saturne, de Saturne et de ses huit principaux satellites ; celui d'Uranus, d'Uranus et de ces cinq premiers satellites. Les masses des planètes sont évaluées en enlevant à la masse du système planète-satellites, la somme des masses connues des satellites du système (Table 1.18). Les masses sont données dans deux systèmes d'unités : le système astronomique (unité = masse solaire) et le système SI (unité = kg). Ces quantités sont calculées à partir des données des paragraphes 1.3.2 et 1.3.3 et de la table 1.18.

On donne également, pour le Soleil et les planètes principales, une estimation de la masse volumique ρ et, pour les planètes principales, la température superficielle moyenne T , l'albédo de Bond B , et l'albédo géométrique G issues de l'*Encyclopédie scientifique de l'univers* (Bureau des longitudes, 1986). La masse volumique est obtenue à partir de la masse et du rayon équatorial donné dans la table 1.10 (données issues de Seidelmann et al., 2002), en supposant le corps sphérique.

L'albédo de Bond est le rapport du flux total réfléchi par le corps au flux total incident.

L'albédo géométrique est le rapport de l'éclat du corps, pour un angle de phase nul, à l'éclat d'un disque parfaitement diffusant ayant la même position et le même diamètre apparent que le corps.

Table 1.16. Masses des corps célestes et constantes gravitationnelles correspondantes.

Planètes, Systèmes planétaires et petites planètes	m		Gm ($\text{m}^3 \text{s}^{-2}$)	ρ (10^3 kg/m^3)	T (K)	Albédo	
	(masse solaire)	(10^{24} kg)				B	G
Soleil	1	1 988 900	$1.327\,124\,42 \times 10^{20}$	1.4			
Mercure	$1.660\,1368 \times 10^{-7}$	0.330 18	$2.203\,208 \times 10^{13}$	5.4	620	0.056	0.11
Vénus	$2.447\,8383 \times 10^{-6}$	4.8685	$3.248\,5860 \times 10^{14}$	5.2	750	0.72	0.65
Syst. Terre-Lune	$3.040\,4326 \times 10^{-6}$	6.0471	$4.035\,0324 \times 10^{14}$				
Terre	$3.003\,4896 \times 10^{-6}$	5.9736	$3.986\,0044 \times 10^{14}$	5.5	295	0.39	0.367
Mars	$3.227\,1514 \times 10^{-7}$	0.641 85	$4.282\,8315 \times 10^{13}$	3.9	250	0.16	0.15
Syst. de Jupiter	$9.547\,9194 \times 10^{-4}$	1 899.0	$1.267\,1277 \times 10^{17}$				
Jupiter	$9.545\,9429 \times 10^{-4}$	1 898.6	$1.266\,8654 \times 10^{17}$	1.3	170	0.70	0.52
Syst. de Saturne	$2.858\,8598 \times 10^{-4}$	568.60	$3.794\,0627 \times 10^{16}$				
Saturne	$2.858\,154 \times 10^{-4}$	568.46	$3.793\,126 \times 10^{16}$	0.7	135	0.75	0.47
Syst. d'Uranus	$4.366\,244 \times 10^{-5}$	86.840	$5.794\,549 \times 10^{15}$				
Uranus	$4.365\,785 \times 10^{-5}$	86.831	$5.793\,940 \times 10^{15}$	1.3	80	0.90	0.51
Syst. Neptune-Triton	$5.151\,389 \times 10^{-5}$	102.46	$6.836\,534 \times 10^{15}$				
Neptune	$5.150\,313 \times 10^{-5}$	102.43	$6.835\,106 \times 10^{15}$	1.6	50	0.82	0.41
Syst. Pluton-Charon	7.3964×10^{-9}	0.014 71	9.816×10^{11}			0.145	0.3
Pluton	6.663×10^{-9}	0.013 25	8.843×10^{11}	1.9			

Nous donnons dans la table 1.17, les valeurs des paramètres de diverses figures géométriques à symétrie équatoriale (sphéroïde, ellipsoïde triaxial, sphère) représentant au mieux la forme des planètes principales et de la Lune. Pour le sphéroïde, on donne le rayon polaire R_p (Seidelmann et al., 2002) le rayon équatorial R_e étant donné dans la table 1.10. Pour Mars, on donne le rayon polaire moyen R_p^M , le rayon polaire nord R_p^N et le rayon polaire sud R_p^S . Pour l'ellipsoïde, on donne le demi-grand axe équatorial a_1 , le facteur d'aplatissement polaire f_p , le facteur d'aplatissement équatorial f_e , et la longitude du grand axe équatorial L_e (comptée positivement vers l'est), rapportée au méridien origine du corps (Fukushima, 1990). Pour la sphère on donne le rayon moyen a_s (Seidelmann et al., 2002). Figurent également dans la table 1.17, pour les planètes et la Lune, le *rayon relativiste* $a_r = (GM/c^2)$ et pour le Soleil, la Lune et les planètes, sauf Mercure, le *facteur gravitationnel* f_g . Pour la Lune et les planètes telluriques (objets non gazeux), f_g est donné par $f_g = (W/c^2)$ où W est le potentiel de gravité à la surface du corps (W est une quantité mesurée). Pour les autres corps, on prend $f_g = Gm/R_e c^2$ où m est la masse du corps considéré et R_e son rayon équatorial. G est la constante de la gravitation universelle et c la vitesse de la lumière (Fukushima, 1990).

Les masses des satellites et les anneaux des planètes sont données dans les tables 1.18 et 1.19. La table 1.18 donne la masse au repos m en masse solaire, le rapport de m à la masse de la planète centrale et le produit Gm dans le système d'unités astronomiques. La table 1.19 donne m dans le SI. Ces masses sont déduites des valeurs données par :

Table 1.17. Figures géométriques représentant le Soleil, les planètes et la Lune.

Nom	R_p (km)	a_1 (km)	f_p (10^{-3})	f_e (10^{-3})	L_e (degrés)	a_s (km)	a_r (m)	f_g ($\times 10^{-10}$)
Soleil								21 210
Mercure	2 439.7					2 439.7		
Vénus	6 051.8	6 051.476	1/113.8	1/253.2	- 6.2	6 051.8	0.003 614 54	5.973 06
Lune	1 737.4	1 735.554	1/2.67	1/7.49	0.03	1 737.4	$5.455\ 098 \times 10^{-5}$	0.313 958
Terre	6 356.75	6 378.171		1/920	-14.9	6 371.00	0.004 435 03	6.969 290
Mars	R_p^M 3 376.20 R_p^N 3 373.19 R_p^S 3 379.21	3 396.510	1/0.184	1/2.63	75.0	3 390	0.000 476 529	1.407 87
Jupiter ⁽¹⁾	66 854					69 911	1.409 577	197.166
Saturne ⁽¹⁾	54 364					58 232	0.422 04	70.027
Uranus ⁽¹⁾	24 973					25 362	0.064 4663	25.223
Neptune ⁽¹⁾	24 341					24 622	0.076 05	30.71
Pluton	1 195					1 195		

⁽¹⁾ Le rayon à une surface de pression 10^5 Pa.

- DE405 pour la Lune ;
- Duxbury et Callahan (1989) pour Phobos et Déimos ;
- Campbell et Synnott (1985) pour les satellites galiléens ;
- Fukushima 1990 pour les autres satellites de Jupiter, les anneaux de Saturne, Hypérion, Phobé et Néréide ;
- Campbell et Anderson (1989) pour Titan ;
- Tyler et al. (1982) pour Mimas, Encelade, Téthys, Dioné, Rhéa et Japet ;
- Thomas et al. (1989) pour les petits satellites d'Uranus Cordélia et Ophélie ;
- Jacobson et al. (1992) pour les anciens satellites d'Uranus (Miranda, Ariel, Umbriel, Titania, Obéron) ;
- Banfield et Murray (1992) pour les six petits satellites de Neptune ;
- Owen et al. (1991) pour Triton ;
- Tholen et Buie (1997) pour Charon.

La table 1.19 donne également, pour les satellites, le rayon a_s de la sphère et, éventuellement, les demi-axes équatoriaux (a_1 , a_2) et polaire (a_3) de l'ellipsoïde triaxial représentant au mieux la surface du satellite. Pour tous les satellites ces valeurs sont données par Seidelmann et al. (2002). Comme pour les planètes, l'estimation de la masse volumique a été obtenue à partir de la masse et du rayon moyen par Bec-Borsenberger (2004).

On donne enfin, dans les deux dernières colonnes de la table 1.19, la magnitude visuelle m_v et l'albédo géométrique. La plus grande partie de ces quantités est tirée de l'*Encyclopédie scientifique de l'univers* (Bureau des longitudes, 1986) ou du *Supplément à la Connaissance des Temps* pour les satellites de Mars, Jupiter, Saturne et Uranus (Bureau des longitudes, 1995). Les autres sources utilisées sont :

- Pascu et al. (1992) pour Thébé ;
- *Encyclopédie scientifique de l'univers* (Bureau des longitudes, 1986) pour la plupart des satellites de Saturne, Uranus et Neptune ;
- Showalter (1990) pour l'albédo et le rayon de Pan ;
- Buratti et Veverka (1984) pour Mimas, Encelade, Téthys, Dioné et Rhéa ;
- Tholen et Zellner (1983) pour les albédos de Hypérion et du côté sombre de Japet ;
- Stone et Miner (1982) pour les albédos des nouveaux satellites de Saturne ;
- Thomas et al. (1989) pour la magnitude et l'albédo de Titania.

Table 1.18. Masses des principaux satellites.

Nom	N°	m		Gm ($m^3 s^{-2}$)
		(masse solaire)	(masse planète)	
Terre				
Lune		$3.694\ 3037 \times 10^{-8}$	$1.230\ 0038 \times 10^{-2}$	$4.902\ 8006 \times 10^{12}$
Mars				
Phobos		6.39×10^{-15}	1.98×10^{-8}	8.47×10^5
Déimos		9.1×10^{-16}	2.8×10^{-9}	1.20×10^5
Jupiter				
Métis	XVI	4.8×10^{-14}	5×10^{-11}	6.3×10^6
Adrastéia	XV	9.5×10^{-15}	1×10^{-11}	1.3×10^6
Amalthée	V	3.6×10^{-12}	3.8×10^{-9}	4.8×10^8
Thébé	XIV	3.8×10^{-13}	4×10^{-10}	5.1×10^7
Io	I	4.49×10^{-8}	4.705×10^{-5}	5.96×10^{12}
Europe	II	2.41×10^{-8}	2.527×10^{-5}	3.20×10^{12}
Ganymède	III	7.45×10^{-8}	7.804×10^{-5}	9.89×10^{12}
Callisto	IV	5.41×10^{-8}	5.668×10^{-5}	7.18×10^{12}
Léda	XIII	2.9×10^{-15}	3×10^{-12}	3.8×10^5
Himalia	VI	4.8×10^{-12}	5.0×10^{-9}	6.3×10^8
Lysithéa	X	3.8×10^{-14}	4×10^{-11}	5.1×10^6
Elara	VII	3.8×10^{-13}	4×10^{-10}	5.1×10^7
Ananké	XII	1.9×10^{-14}	2×10^{-11}	2.5×10^6

Table 1.18. (suite).

Nom	N°	m		Gm ($m^3 s^{-2}$)
		(masse solaire)	(masse planète)	
Jupiter				
Carmé	XI	4.8×10^{-14}	5×10^{-11}	6.3×10^6
Pasiphaé	VIII	9.5×10^{-14}	1×10^{-10}	1.3×10^7
Sinopé	IX	3.8×10^{-14}	4×10^{-11}	5.1×10^6
Saturne				
Anneaux C		4.9×10^{-13}	1.7×10^{-9}	6.4×10^7
Anneaux B		1.2×10^{-11}	4.2×10^{-8}	1.6×10^9
Anneaux A		3.1×10^{-12}	1.1×10^{-8}	4.2×10^8
Mimas	I	2.29×10^{-11}	8.00×10^{-8}	3.04×10^9
Encelade	II	3.7×10^{-11}	1.3×10^{-7}	4.9×10^9
Téthys	III	3.4×10^{-10}	1.2×10^{-6}	4.5×10^{10}
Dioné	IV	5.29×10^{-10}	1.85×10^{-6}	7.0×10^{10}
Rhée	V	1.16×10^{-9}	4.06×10^{-6}	1.54×10^{11}
Titan	VI	6.7652×10^{-8}	2.3670×10^{-4}	8.9782×10^{12}
Hypériorion	VII	8.6×10^{-12}	3×10^{-8}	1.1×10^9
Japet	VIII	7.99×10^{-10}	2.79×10^{-6}	1.06×10^{11}
Phœbé	IX	2×10^{-13}	7×10^{-10}	2.7×10^7
Uranus				
Cordélia	VI	7.0×10^{-15}	1.6×10^{-10}	9.3×10^5
Ophélie	VII	1.3×10^{-14}	2.9×10^{-10}	1.7×10^6
Miranda	V	0.33×10^{-10}	0.76×10^{-6}	4.4×10^9
Ariel	I	6.80×10^{-10}	1.56×10^{-5}	90.3×10^9
Umbriel	II	5.89×10^{-10}	1.35×10^{-5}	78.2×10^9
Titania	III	17.73×10^{-10}	4.061×10^{-5}	235.3×10^9
Obéron	IV	15.15×10^{-10}	3.471×10^{-5}	201.1×10^9
Neptune				
Naiade	III	5.0×10^{-14}	9.7×10^{-10}	6.6×10^6
Thalassa	IV	1.6×10^{-13}	3.1×10^{-9}	2.1×10^7
Despina	V	1.1×10^{-12}	2.1×10^{-8}	1.4×10^8
Galatée	VI	1.9×10^{-12}	3.6×10^{-8}	2.5×10^8
Larissa	VII	2.2×10^{-12}	4.2×10^{-8}	2.9×10^8
Protée	VIII	2.0×10^{-11}	3.9×10^{-7}	2.7×10^9

Table 1.18. (fin).

Nom	N°	m		Gm ($m^3 s^{-2}$)
		(masse solaire)	(masse planète)	
Neptune				
Triton	I	1.08×10^{-8}	2.09×10^{-4}	1.428×10^{12}
Néréide	II	1×10^{-11}	2×10^{-7}	1.4×10^9
Pluton				
Charon	I	0.733×10^{-9}	0.110	9.73×10^{10}

Table 1.19. Demi-diamètres a_s, a_1, a_2, a_3 ; masse; masse volumique, ρ ; magnitude visuelle à l'opposition, m_v ; albédo géométrique.

Nom	N°	a_s (km)	a_1 a_2 a_3 (km)	Masse (10^{21} kg)	ρ (10^3 kg/m ³)	m_v	Albédo géométrique
Terre							
Lune		1737.4 ± 1	1737.4 - 1737.4 - 1737.4	73.476	3.34	-12.7	0.12
Mars							
Phobos	I	11.1 ± 0.15	13.4 - 11.2 - 9.2	1.27×10^{-5}	2.22	11.6	0.06
Déimos	II	6.2 ± 0.18	7.5 - 6.1 - 5.2	1.8×10^{-6}	1.8	12.7	0.06
Jupiter							
Métis	XVI	21.5 ± 4	30 - - 20	9.5×10^{-5}	2.3	17.5	0.05
Adrastéia	XV	8.2 ± 4	10 - 8 - 7	1.9×10^{-5}	8.2	18.9	0.05
Amalthée	V	83.5 ± 3	125 - 73 - 64	7.2×10^{-3}	3.0	14.1	0.05
Thébé	XIV	49.3 ± 4	58 - 49 - 42	7.6×10^{-4}	1.5	15.7	0.04
Io	I	1821.46	1829.4 - 1819.3 - 1815.7	89.3	3.53	5.02	0.61
Europe	II	1562.09	1564.13 - 1561.23 - 1560.93	48.0	3.00	5.29	0.64
Ganymède	III	2632.345	2632.4 - 2632.29 - 2632.35	148.2	1.94	4.61	0.42
Callisto	IV	2409.3	2409.4 - 2409.2 - 2409.3	107.6	1.84	5.65	0.20
Léda	XIII	5		5.7×10^{-6}	11	20	
Himalia	VI	85 ± 10		9.5×10^{-3}	3.7	14.8	0.03
Lysithéa	X	12		7.6×10^{-5}	10.5	18.4	
Elara	VII	40 ± 10		7.6×10^{-4}	2.8	16.8	0.03
Ananké	XII	10		3.8×10^{-5}	9.1	18.9	
Carmé	XI	15		9.5×10^{-5}	6.7	18.0	
Pasiphaé	VIII	18		1.9×10^{-4}	7.8	17.0	
Sinopé	IX	14		7.6×10^{-5}	6.6	18.3	

Table 1.19. (suite).

Nom	N°	a_s (km)	a_1 a_2 a_3 (km)	Masse (10^{21} kg)	ρ (10^3 kg/m ³)	m_v	Albédo géométrique
Saturne							
Anneau C				9.7×10^{-4}			
Anneau B				2.4×10^{-2}			
Anneau A				6.3×10^{-3}			
Pan	XVIII	10±3					0.4-0.7
Atlas	XV	16±4	18.5 - 17.2 - 13.5			18	0.4
Prométhée	XVI	50.1±3	74.0 - 50.0 - 34.0			15	0.6
Pandore	XVII	41.9±2	69.0 - 44.0 - 31.0			15.5	0.6
Épiméthée	XI	59.5±3	55.0 - 55.0 - 55.0			15	0.4
Janus	X	88.8±4	97.0 - 95.0 - 77.0			14	0.4
Mimas	I	198.6±0.6	209.1 - 196.2 - 191.4	0.0455	1.4	12.9	0.77
Encelade	II	249.4±0.3	256.3 - 247.3 - 244.6	0.074	1.1	11.7	1.04
Téthys	III	529.8±1.5	535.6 - 528.2 - 525.8	0.674	1.1	10.3	0.8
Télésto	XIII	11±4	15 - 12.5 - 7.5			18	0.6
Calypso	XIV	9.5±4	15.0 - 8.0 - 8.0			18.5	0.8
Dioné	IV	560±5	560 - 560 - 560	1.052	1.4	10.4	0.55
Hélène	XII	16	17.5 - - -			17	0.5
Rhée	V	764±4	764 - 764 - 764	2.31	1.2	9.7	0.65
Titan	VI	2575±2	2575 - 2575 - 2575	134.55	1.9	8.3	0.21
Hypérion	VII	133±8	164 - 130 - 107	0.017	1.7	14.19	0.19/0.25
Japet	VIII	718±8	718 - 718 - 718	1.59	1.3	10.2/11.9	0.5 ⁽¹⁾
Phébé	IX	110±10	115 - 110 - 105	0.0004	0.07	16.5	0.06
Uranus							
Cordélia	VI	13±2		1.4×10^{-5}	1.5	24.2 ⁽²⁾	
Ophélie	VII	15±2		2.5×10^{-5}	1.5	23.9 ⁽²⁾	
Bianca	VIII	21±3				23.1 ⁽²⁾	
Cressida	IX	31±4				22.3 ⁽²⁾	
Desdémone	X	27±3				22.5 ⁽²⁾	
Juliette	XI	42±5				21.7 ⁽²⁾	
Portia	XII	54±6				21.1 ⁽²⁾	
Rosalinde	XIII	27±4				22.5	
Belinda	XIV	33±4				22.1	
Puck	XV	77±5				20.4	0.07
Miranda	V	235.8±0.7	240.4 - 234.2 - 232.9	0.066	1.2	16.5	0.34
Ariel	I	578.9±0.6	581.1 - 577.9 - 577.7	1.35	1.7	14.4	0.40
Umbriel	II	584.7±2.8	584.7 - 584.7 - 584.7	1.17	1.4	15.3	0.19
Titania	III	788.9±1.8	788.9 - 788.9 - 788.9	3.526	1.7	13.9	0.28
Obéron	IV	761.4±2.6	761.4 - 761.4 - 761.4	3.014	1.6	14.2	0.24
Neptune							
Naïade	III	29±6		0.99×10^{-4}	1.0	24.7	
Thalassa	IV	40±8		3.2×10^{-4}	1.2	23.8	
Despina	V	74±10		2.1×10^{-3}	1.2	22.6	0.06

Table 1.19. (fin).

Nom	N°	a_s (km)	a_1 a_2 a_3 (km)	Masse (10^{21} kg)	ρ (10^3 kg/m ³)	m_v	Albédo géométrique
Neptune							
Galatée	VI	79±12		3.7×10^{-3}	1.8	22.3	0.06
Larissa	VII	96±7	104 - - 89	4.3×10^{-3}	1.2	22.0	0.06
Protée	VIII	208±8	218 - 208 - 201	4.0×10^{-2}	1.1	20.3	0.06
Triton	I	1352.6±2.4		21.4	2.1	13.7	0.7
Néréide	II	170±25		0.02	1.0	18.7	0.4
Pluton							
Charon	I	593±13		1.46	1.7	16.8	0.4

⁽¹⁾ Côté brillant 0.5 ; côté non brillant 0.07.

⁽²⁾ Calculée en supposant que le satellite a le même albédo que Puck.

1.5. AUTRES CONSTANTES ET UNITÉS

1.5.1. Système de référence galactique

Les axes de coordonnées du système de référence galactique, par rapport à un système de référence, sont déterminés par les coordonnées dans ce système du pôle galactique et du centre galactique définis à la suite de l'Assemblée générale de l'UAI de 1958 (Blaauw et al., 1960).

Dans le système de référence FK5 (J2000), les coordonnées équatoriales héliocentriques du pôle galactique Z sont (Murray, 1989) :

$$\begin{aligned}\alpha_Z &= 12 \text{ h } 51 \text{ min } 26.2755 \text{ s,} \\ \delta_Z &= 27^\circ 7' 41''.704.\end{aligned}$$

Les coordonnées équatoriales héliocentriques du centre galactique sont :

$$\begin{aligned}\alpha_X &= 17 \text{ h } 45 \text{ min } 37.1991 \text{ s,} \\ \delta_X &= -28^\circ 56' 10''.221;\end{aligned}$$

et la longitude galactique du pôle céleste nord est :

$$\theta = 122^\circ 55' 54''.907.$$

1.5.2. Situation du Soleil dans la galaxie

Après avoir passé en revue diverses déterminations des constantes galactiques, Kerr et Lynden-Bell (1986), ont publié l'ensemble de valeurs suivant, relatif aux quatre principales constantes galactiques, distance du Soleil au centre galactique (R_0), vitesse circulaire du Soleil autour du centre galactique (θ_0) et constantes de Oort (A, B) :

$$\begin{aligned} R_0 &= 8.5 \pm 1.1 \text{ kpc}, \\ \theta_0 &= 222 \pm 20 \text{ km s}^{-1}, \\ A &= 14.4 \pm 1.2 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}, \\ B &= -12.0 \pm 2.8 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}, \\ A - B &= 26.4 \pm 1.9 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}. \end{aligned}$$

Compte tenu des incertitudes sur la détermination des valeurs de ces paramètres, l'assemblée générale de l'UAI (1985) a recommandé l'utilisation des valeurs suivantes pour les constantes (R_0) et (θ_0),

$$\begin{aligned} R_0 &= 8.5 \text{ kpc}, \\ \theta_0 &= 220 \text{ km s}^{-1}. \end{aligned}$$

Par contre, il n'y a pas de valeurs recommandées pour les constantes de Oort, A et B , mais seulement une remarque concernant la différence $A - B$ qui, avec les valeurs de R_0 et θ_0 adoptées vaut :

$$A - B = 25.9 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}.$$

1.5.3. Système de référence extragalactique

Les sources extragalactiques observées par interférométrie à très longue base (VLBI, Very Long Baseline Interferometry) permettent de constituer un système de référence extragalactique. On définit l'origine des ascensions droites en fixant l'ascension droite (J2000) du quasar 3C 273 B (1226+023) à la valeur de Hazard et al. (1971) (*cf.* 3.4.3) :

$$\begin{aligned} \alpha &= 12 \text{ h } 29 \text{ min } 6.6997 \text{ s}, \\ \delta &= 2^\circ 3' 8''.5988. \end{aligned}$$

1.5.4. Valeurs estimées de quantités dynamiques

Paramètres post-newtoniens (PPN) :

$$\begin{aligned} \alpha &= 0.0000 \pm 0.0002, \\ \gamma &= 1.000 \pm 0.002, \\ \frac{2 + 2\gamma - \beta}{3} &= 1.00 \pm 0.02. \end{aligned}$$

Bien que le paramètre α n'apparaisse pas formellement dans les paramètres PPN, il apparaît comme un facteur clé en astrométrie pour exprimer la dilatation du temps et le *décalage vers le rouge* ($3/2 + \alpha$). Les paramètres β et γ caractérisent la plupart des effets relativistes en astrométrie ; $1 + \gamma$ caractérise le *retard* et la déflexion de la lumière, $2 + 2\gamma - \beta$ caractérise le *décalage du péricentre*.

Pour la relativité générale d'Einstein, on a :

$$\begin{cases} \alpha = 0 \\ \beta = \gamma = 1 \end{cases}$$

1.5.5. Autres unités

On donne dans ce dernier paragraphe les définitions de quelques unités ne faisant pas partie du Système International mais rencontrées dans la littérature et encore tolérées (Cohen et Taylor, 1986 ; Bureau des longitudes, 1981, 1986).

L'électronvolt

L'électronvolt (eV) est une unité en usage avec le Système International (en physique atomique) ; sa valeur en unité SI est obtenue expérimentalement. Un électronvolt est l'énergie cinétique acquise par un électron en subissant une différence de potentiel de 1 V dans le vide :

$$1 \text{ eV} = 1.602\,177\,33 \times 10^{-19} \text{ J approximativement.}$$

L'angström

L'angström (Å) est encore utilisé en spectroscopie et en microscopie. On a :

$$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-4} \mu\text{m} = 0.1 \text{ nm.}$$

Le gauss

Le gauss (Gs ou G) est le nom donné à l'unité CGS électromagnétique. On a :

$$1 \text{ Gs} = 10^{-4} \text{ T.}$$

Le gamma

Le gamma (γ), est une unité utilisée pour exprimer l'intensité du champ magnétique. On a :

$$1 \gamma = 10^{-9} \text{ T} = 1 \text{ nT.}$$

L'atmosphère

L'atmosphère, unité employée pour la pression, vaut 101 325 Pa. L'usage de cette unité est fortement déconseillé ; elle n'est donnée ici qu'à titre d'information.

L'inch

L'inch (pouce) unité anglo-saxonne de longueur, est utilisé pour donner les diamètres des objectifs de certains instruments astronomiques. On a :

$$1 \text{ inch} = 2.54 \text{ cm.}$$

Le pouce utilisé en France, ou *zoll* en Allemagne, n'avait pas tout à fait la même valeur : 2.707 cm.

Le jansky

On peut mesurer l'intensité des radio-sources par la densité de flux $S(\nu)$ qui est l'énergie reçue de l'ensemble d'une source de dimension finie, par unité de surface réceptrice placée sur terre perpendiculairement à la direction de la source, par seconde et par hertz de bande. Étant donnée la faible intensité des radio-sources on exprime $S(\nu)$ en jansky.

$$1 \text{ jansky} = 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}.$$

1.6. BIBLIOGRAPHIE

- Arlot, J.-E., Bec-Borsenberger, A., et al. : 2003, Improvement of the ephemerides of Phoebe, 9th satellite of Saturn, from new observations made from 1995 to 2000, *Astron. Astrophys.* **411**, 309.
- Aksnes, K. : 1978, The motion of Jupiter XIII (Leda), 1974-2000, *Astron. J.* **83**, 1249.
- Banfield, D., Murray, N. : 1992, A dynamical history of the inner Neptunian satellites, *Icarus* **99**, 390.
- Bec-Borsenberger, A. : 2004, Communication privée.
- BIPM : 1998, *Le Système International d'unités (SI)*, Pavillon de Breteuil, Sèvres.
- Blaauw, A., Gum, C.S., et al : 1960, The new IAU system of galactic coordinates (1958 revision), *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **121**, 123.
- Bond, W.C. : 1851, On the new ring of Saturn, *Astron. J.* **2**, 5.
- Bretagnon, P. : 2002, Communication privée.
- Buratti, B., Veverka, J. : 1984, Voyager photometry of Rhea, Dione, Tethys, Enceladus and Mimas, *Icarus* **58**, 254.

- Bureau des longitudes : 1981, La physique, *Encyclopédie scientifique de l'univers IV*, Gauthier-Villars, Paris.
- Bureau des longitudes : 1986, Les étoiles, le système solaire, *Encyclopédie scientifique de l'univers II*, Gauthier-Villars, Paris.
- Bureau des longitudes : à partir de 1995, Éphémérides des satellites de Mars, Jupiter, Saturne et Uranus, *Supplément à la Connaissance des Temps*, Bureau des longitudes, Paris.
- Bureau des longitudes : à partir de 1996, Éphémérides des satellites faibles de Jupiter et de Saturne, *Supplément à la Connaissance des Temps*, Bureau des longitudes, Paris.
- Bursa, M. : 1992, Parameters of common relevance of astronomy, geodesy and geodynamics, *Bull. Géod.* **66**, 193.
- Campbell, J.K., Anderson, J.D. : 1989, Gravity field of the Saturnian system from Pioneer and Voyager tracking data, *Astron. J.* **97**, 1485.
- Campbell, J.K., Synnot, S.P. : 1985, Gravity field of the Jovian system from Pioneer and Voyager tracking data, *Astron. J.* **90**, 364.
- Chapront-Touzé, M. : 1988, ESAPHO : a semi-analytical theory for the orbital motion of Phobos, *Astron. Astrophys.* **200**, 255.
- Chapront-Touzé, M. : 1990, Orbits of the Martian satellites from ESAPHO and ESADE theories, *Astron. Astrophys.* **240**, 159.
- Christy, J.W., Harrington, R.S. : 1978, The satellite of Pluto, *Astron. J.* **83**, 1005.
- Cohen, E.R., Taylor, B.N. : 1986, The 1986 adjustment of the fundamental physical constants, *Codata Bulletin* **63**.
- Dickey, J.O. : 1989, Intercomparisons between kinematic and dynamical systems, in *Reference frames in astronomy and geophysics*, J. Kovalevsky, I.I. Mueller and B. Kolaczek eds., Kluwer, Dordrecht, 305.
- Dourneau, G. : 1993, Orbital elements of the eight major satellites of Saturn determined from a fit of their theories of motion to observations from 1886 to 1985, *Astron. Astrophys.* **267**, 292.
- Duxbury, T.C., Callahan, J.D. : 1989, Phobos and Deimos control networks, *Icarus* **77**, 275.
- Elliot, J.L., Dunham, E., Millis, R.L. : 1977, Discovering the rings of Uranus, *Sky and Telescope* **53**, 412.
- Esposito, L.W., Dille, J.P., Fountain, J.W. : 1980, Photometry and polarimetry of Saturn's rings from Pioneer Saturn, *J. Geophys. Res.* **85**, 5948.
- Esposito, L.W., Cuzzi, J.N., et al. : 1984, Saturn's rings, in *Saturn*, T. Gehrels and M.S. Matthews eds., 473.
- Fairhead, L., Bretagnon, P. : 1990, An analytical formula for the time transformation TB-TT, *Astron. Astrophys.* **229**, 240.
- Feibelman, W.A. : 1967, Concerning the "D" ring of Saturn, *Nature* **214**, 793.
- Fienga, A., Simon, J.-L. : 2004, Les solutions planétaires de l'IMCCE, bilan et perspectives. *Notes scientifiques et techniques de l'Institut de mécanique céleste* S81.
- Fountain, J.W., Larson, S.M. : 1978, Saturn's ring and nearby faint satellites, *Icarus* **36**, 92.
- French, R.G., Elliot, J.L., et al. : 1988, Uranian ring orbits from Earth-based and Voyager, occultation observations, *Icarus* **73**, 349.

- Fukushima, T. : 1990, System of astronomical units and constants, *IAU-WGRS/SGAC Circ.* **13**.
- Fukushima, T. : 2000, Report on astronomical constants, *Proc. IAU Coll.* **180**, 417.
- Gehrels, T., Baker, L.R., et al. : 1980, Imaging photopolarimeter on Pioneer Saturn, *Science* **207**, 434.
- Harrington, R.S., Christy, J.W. : 1980, The satellite of Pluto, II, *Astron. J.* **85**, 442.
- Hazard, C., Sutton, J., Argue, A.N., et al., 1971, Accurate Radio and Optical Positions of 3C273B, *Nature* **233**, 89.
- Harrington, R.S., Christy, J.W. : 1981, The satellite of Pluto, III, *Astron. J.* **86**, 442.
- Hubbard, W., Brahic, A., et al. : 1986, Occultation detection of a Neptunian ring-like arc, *Nature* **319**, 636.
- IERS : 1992, IERS Standards (1992), *IERS Technical note* **13**, D.D. McCarthy ed., observatoire de Paris.
- IERS : 2003, IERS Conventions (2003), *IERS Technical note* **32**, D.D. McCarthy ed., U. S. naval observatory, G. Petit ed., BIPM.
- Jacobson, R.A. : 1990, The orbits of the satellites of Neptune, *Astron. Astrophys.* **231**, 241.
- Jacobson, R.A., Campbell, J.K., et al. : 1992, The masses of Uranus and its major satellites from Voyager tracking data and Earth-based Uranian satellite data, *Astron. J.* **103**, 2068.
- Jacobson, R.A., Riedel, J.E., Taylor, A.H. : 1991, The orbits of Triton and Nereid from spacecraft and Earth-based observations, *Astron. Astrophys.* **247**, 565.
- Johnson, T., Becklin, E.E., et al. : 1979, Jupiter, *Circ. UAI* **3338**.
- Kerr, F.J., Lynden-Bell, D. : 1986, Review of galactic constants, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **221**, 1023.
- Laskar, J., Jacobson, R.A. : 1987, GUST86. An analytical ephemeris of the Uranian satellites, *Astron. Astrophys.* **188**, 212.
- Lieske, J.H. : 1980, Improved ephemerides of the Galilean satellites, *Astron. Astrophys.* **82**, 340.
- Lieske, J.H. : 1987, Galilean satellites evolution : observational evidence for secular changes in mean motions, *Astron. Astrophys.* **176**, 146.
- Melbourne, W., Anderle, R., et al. : 1983, Project MERIT standards, *U.S. Naval Observatory, Circ.* **167**.
- Moisson, X., Bretagnon, P. : 2001, Analytical planetary solution VSOP2000, *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, **80**, 205.
- Murray, C.A. : 1989, The transformation of coordinates between the systems of B1950.0 and J2000.0 and the principal galactic axes referred to J2000.0, *Astron. Astrophys.* **218**, 325.
- Nicholson, P.D., Cooke, M.L., et al. : 1990, Five stellar occultations by Neptune : further observations of ring arcs, *Icarus* **87**, 1.
- Nicholson, P.D., Matthews, K. : 1991, Near-infrared observations of the Jovian ring and small satellites, *Icarus* **93**, 331.
- Null, G.W., Owen, W.M., Synnott, S.P. : 1993, Masses and densities of Pluto and Charon, *Astron. J.* **105**, 2319.
- Owen, W.M., Synnott, S.P. : 1987, Orbits of the ten small satellites of Uranus, *Astron. J.* **93**, 1268.

- Owen, W.M., Vaughan, R.M., Synnott, S.P. : 1991, Orbits of the six new satellites of Neptune, *Astron. J.* **101**, 1511.
- Pascu, D., Panossian, S.P., et al. : 1992, B, V photometry of Thebe (JXIV), *Icarus* **98**, 38.
- Rocher, P. : 1996, Communication privée.
- Seidelmann, P.K., Fukushima, T. : 1992, Why new time scales ?, *Astron. Astrophys.* **265**, 833.
- Seidelmann, P.K., Abalakin, V.K., et al. : Report of the IAU/IAG working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 2002, *Celest. Mech.* **82**, 83.
- Showalter, M.R., Cuzzi, J.N., et al. : 1986, Satellite “wakes” and the orbit of the Encke gap moonlet, *Icarus* **66**, 297.
- Showalter, M.R. : 1990, Saturn, *Circ. UAI* **5052**.
- Simon, J.-L. : 2004, Communication privée.
- Simon, J.-L., Bretagnon, P., et al. : 1994, Numerical expressions for precession formulae and mean elements for the Moon and the planets, *Astron. Astrophys.* **282**, 663.
- Smith, B.A., Soderblom, L., et al. : 1981, A new look at the Saturn system : the Voyager 2 images, *Science* **212**, 163.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides DE405/LE405, *JPL IOM* **312.F**, 98.
- Stone, E.C., Miner, E.D. : 1982, Voyager 2 encounter with the Saturnian system, *Science* **215**, 499.
- Synnott, S.P. : 1984, Orbits of the small inner satellites of Jupiter, *Icarus* **58**, 178.
- Synnott, S.P., Peters, et al. : 1981, Orbits of the small satellites of Saturn, *Science* **212**, 191.
- Synnott, S.P., Terrile, R.J., et al. : 1983, Orbits of Saturn’s F ring and its shepherding satellites, *Icarus* **53**, 156.
- Tholen, D.J., Buie, M.W. : 1990, Further analysis of Pluto-Charon mutual event observations - 1990, *BAAS* **22**, 1129.
- Tholen, D.J., Buie, M.W. : 1997, The orbit of Charon.I. New Hubble Space telescope observations, *Icarus* **125**, 245.
- Tholen, D.J., Zellner, B. : 1983, Eight-color photometry of Hyperion, Iapetus and Phoebe, *Icarus* **53**, 341.
- Thomas, P., Weitz, C., Veverka, J. : 1989, Small satellites of Uranus : disk integrated photometry and estimated radii, *Icarus* **81**, 92.
- Thuillot, W., Vu, D.T. : 1986, Excentricités et inclinaisons moyennes des orbites des satellites galiléens de Jupiter, *Notes scientifiques et techniques du Bureau des longitudes* **S009**.
- Tyler, G.L., Eshleman, V.R., et al. : 1982, Radio science with Voyager 2 at Saturn : atmosphere and ionosphere and the masses of Mimas, Tethys and Iapetus, *Science* **215**, 553.
- UAI : 1966, Proceedings of the XIIth general assembly, Hambourg 1964, *Trans. IAU XII B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 1977, Proceedings of the XVIth general assembly, Grenoble 1976, *Trans. IAU XVI B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 1982, Proceedings of the XVIIIth general assembly, Patras 1982, *Trans. IAU XVIII B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 1985, Proceedings of the XIXth general assembly, Delhi 1985, *Trans. IAU XIX B*, Reidel,

Dordrecht.

UAI : 1992, Proceedings of the XXIst general assembly, Buenos Aires 1991, *Trans. IAU XXI B*, Reidel, Dordrecht.

UAI : 2000, Proceedings of the XXIVst general assembly, Manchester 2000, *Trans. IAU XXIV B*, Reidel, Dordrecht.

Young, L.A., Olkin, C.B., et al. : 1994, The Charon-Pluto mass ratio from MKO astrometry, *Icarus* **108**, 186.

CHAPITRE 2

ÉCHELLES DE TEMPS

F. MIGNARD

2.1. INTRODUCTION. LE TEMPS ET LES ASTRONOMES

Depuis 1967, la définition de la seconde est entre les mains des physiciens, et non plus entre celles des astronomes comme ce fut le cas pendant de nombreux siècles. Cependant les éphémérides astronomiques publiées sous les auspices du Bureau des longitudes continuent de porter le même nom depuis leur fondation, *La Connaissance des Temps*. Cela suffit à rappeler que si les astronomes ne sont plus les gardiens de l'unité de temps, ils portent toujours un grand intérêt à la définition et aux réalisations de cette grandeur. À cela, il y a au moins deux raisons :

– Dans toutes les étapes de son développement la mécanique céleste a utilisé pour argument de ses théories le temps uniforme idéal introduit par Newton. Les développements les plus récents prennent pour base la théorie relativiste de la gravitation et le choix du système de coordonnées impose celui de la variable indépendante décrivant le déroulement du temps. On retrouve ce même argument sous forme quantitative dans la colonne d'entrée des éphémérides. Ces dernières étant destinées soit à comparer des observations à des calculs, soit à préparer des observations, il convient donc de définir le plus correctement possible cet argument et de déterminer les relations qu'il entretient avec les échelles de temps usuelles.

– La seconde SI et l'échelle de Temps atomique international n'ont été introduites qu'en 1972. Les premières horloges à césium datent des années cinquante. Pour les années antérieures on ne peut dater des événements dans ces nouvelles échelles et le recours aux temps astronomiques s'impose. Les observations les plus anciennes sont exprimées en temps solaire, d'où la nécessité de conserver la trace de cette échelle et de sa liaison avec le Temps des éphémérides qui est, selon toute vraisemblance, une bonne extrapolation du Temps atomique international dans le passé.

2.2. ÉVOLUTION DES ÉCHELLES DE TEMPS

La complexité de la notion de temps, l'amélioration rapide depuis cinquante ans de la précision avec laquelle on le mesure et les progrès technologiques dans la construction des horloges ont amené les astronomes et les physiciens à définir plusieurs échelles utilisées simultanément. Cette complication sera justifiée dans la suite. Pour le moment donnons un bref aperçu chronologique de l'évolution de la question (Table 2.1).

- La rotation diurne de la Terre autour de son axe a semblé suffisamment uniforme pour que l'on en dérive l'unique échelle de temps alors disponible, d'abord le temps solaire vrai ou moyen pendant plusieurs siècles, puis sa forme la plus élaborée appelé *Temps universel*, abrégé en TU ou UT (Universal Time). Une autre échelle associée à la rotation de la Terre, le *temps sidéral*, n'est pas étudiée ici ; on se reportera, à ce sujet, au paragraphe 3.6.6. L'adoption de nouveaux concepts liés à la rotation de la Terre a été recommandée par l'UAI (*cf.* paragraphe 3.6).
- La mise en évidence de diverses irrégularités dans la rotation de la Terre amena ensuite les astronomes à introduire, pour le calcul des éphémérides des corps du système solaire, une nouvelle échelle basée sur la révolution de la Terre autour du Soleil appelée *Temps des éphémérides*, abrégé en TE ou ET (Ephemeris Time).
- En 1955, les horloges à césium ont permis aux physiciens de construire une échelle appelée *Temps atomique international*, abrégé en TAI. Cette échelle, proche du TE, en diffère de 32.184 secondes, résultat d'un manque de coordination à l'époque entre astronomes et physiciens (la nouvelle échelle a été ajustée sur la valeur du TU en 1958 au lieu de l'être sur celle du TE). Nous retrouverons constamment dans la suite ce décalage intempestif qui n'a aucune justification scientifique et dont il faut bien s'accommoder.
- En 1976, l'augmentation de la précision des observations dans le système solaire, due en particulier à la précision des mesures de distances par radar, ainsi que l'amélioration des théories de mécanique céleste, grâce aux intégrations numériques rapides par ordinateur, ont conduit l'Union Astronomique Internationale (UAI) à définir des échelles de temps tenant compte d'effets relativistes. L'une d'elles est le *Temps dynamique barycentrique* (TDB), échelle de temps-coordonnée destinée à calculer les éphémérides des corps du système solaire dans un système d'axes ayant pour origine le barycentre du système solaire. L'autre est le *Temps dynamique terrestre* (TDT), très voisin du TE et destinée à l'établissement des éphémérides géocentriques apparentes des corps du système solaire. Le TDB et le TDT diffèrent par des termes périodiques et de Poisson de faible amplitude. Ces deux échelles ont été introduites dans le système UAI 1976, adopté à l'assemblée générale de l'UAI à Grenoble en 1976, et utilisées dans les éphémérides nationales à partir de 1984.
- Depuis son assemblée générale de Buenos-Aires en 1991, l'UAI a précisé à plusieurs reprises les définitions des échelles de temps dans un cadre relativiste :
 - À tout système de masses dans l'univers peut être associé un système de coordonnées spatio-temporelles centré au barycentre des masses considérées et ne présentant pas de rotation globale par rapport aux galaxies lointaines. La coordonnée temporelle de ce système est le temps-coordonnée correspondant (TC–), où le tiret figure à la place d'une lettre caractérisant le système

Table 2.1. Évolution des échelles de temps.

Époque	Phénomène physique	Définition de la seconde	Échelle de temps	Exactitude relative maximale
< 1960	Rotation de la Terre	1/86 400 du jour solaire moyen	Temps universel (TU ou UT)	10^{-7}
1960-1967	Mouvement orbital de la Terre	1/31 556 925.9747 de l'année tropique 1900.0	Temps des éphémérides (TE ou ET)	10^{-8}
> 1967	Transition entre deux niveaux d'un atome	9 192 631 770 périodes d'une transition du césium 133	Temps atomique international (TAI)	10^{-14}

considéré. Ainsi pour étudier le mouvement des satellites de Jupiter on pourrait utiliser le *Temps coordonnée jovicentrique* (TCJ), pour le mouvement des satellites de Saturne le *Temps coordonnée saturnocentrique* (TCS) etc.

Les principales nouvelles échelles de temps ont été désignées par l'UAI. Ce sont le *Temps coordonnée barycentrique* (TCB), lié au barycentre du système solaire et le *Temps coordonnée géocentrique* (TCG), lié au centre de masse de la Terre. Le TCB et le TCG diffèrent par des termes séculaires et par des termes périodiques dont la liste est donnée dans la suite (*cf.* 2.7.3). Cette différence dépend également de la position de l'observateur par rapport au géocentre.

– Le TDT est remplacé par le *Temps terrestre* (TT) qui lui est très proche. Il est donc de même très proche du TE. Le TT est utilisé pour l'établissement des éphémérides géocentriques apparentes des corps du système solaire. Si l'on compare le système UAI 1976 et le nouveau système, le TDB est remplacé par le TCB mais à la place du TDT on a deux échelles le TCG et le TT. Nous reviendrons plus loin sur ce point.

• Plusieurs échelles de temps sont simultanément en usage à l'heure actuelle :

– Le TU pour connaître la position d'un méridien lié à la Terre (celui de Greenwich par exemple) par rapport à la sphère céleste. Le TU subsiste aussi sous la forme UTC (*cf.* 2.5) comme temps en usage dans la vie civile et pour dater les observations.

– Le TE sert lors de l'utilisation d'observations de positions d'astres antérieures à l'établissement du TAI.

– Le TDB peut être encore utilisé quand on ne souhaite pas rompre la continuité avec des travaux antérieurs.

– Le TAI est la base des mesures précises de temps et des comparaisons d'horloges. Il sert en pratique à matérialiser le TT. En revanche le TDT disparaît.

– On voit apparaître le TCB et le TCG ainsi, éventuellement, que les temps-coordonnée liés à d'autres systèmes de masses.

2.3. LE TEMPS UNIVERSEL (TU OU UT, UNIVERSAL TIME)

À un instant donné, en un lieu donné l'angle horaire T_v du centre du Soleil est, par définition, le *temps solaire vrai* en ce lieu à cet instant. T_v peut se mettre sous la forme suivante en fonction du temps t d'une échelle de temps uniforme :

$$T_v = A + Bt - E + \tau,$$

où A et B sont des constantes. E , appelé *équation du temps*, est la somme de l'*équation du centre* de période un an due à l'excentricité de l'orbite terrestre, de la *réduction à l'équateur* de période six mois due à l'obliquité de l'écliptique sur l'équateur et des inégalités du temps sidéral (angle horaire du point vernal γ) dues à la précession et à la nutation (cf. 5.2.1.4). L'amplitude de l'équation du temps peut atteindre 16 minutes. Le terme τ représente des inégalités de la rotation de la Terre autour de son axe qu'il est difficile de modéliser.

On appelle *temps solaire moyen* la grandeur T_m définie par :

$$T_m = T_v + E = A + Bt + \tau.$$

Si, enfin, le lieu est sur le méridien de Greenwich (ou *méridien international*), on appelle *Temps universel* (TU ou UT) la quantité :

$$\text{TU} = T_m + 12 \text{ h} = A + Bt + \tau + 12 \text{ h}.$$

On trouvera une définition plus rigoureuse du Temps universel, à partir du temps sidéral, dans le chapitre 6 de l'ouvrage *Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997).

Le Temps universel est donc un temps uniforme dans la mesure où l'on néglige τ . Or τ contient quatre sortes de termes :

- des termes périodiques saisonniers d'amplitudes maximales de l'ordre de 30 millisecondes ;
- des fluctuations irrégulières de caractère aléatoire pouvant provoquer des écarts de l'ordre de la milliseconde ;
- un ralentissement séculaire de la rotation de la Terre responsable d'un accroissement de la durée du jour d'environ 0.002 s par siècle ;
- des fluctuations décennales dues aux interactions noyau-manteau et pouvant atteindre plusieurs millisecondes.

Ces inégalités ont fait abandonner le TU au profit d'échelles de temps plus uniformes. Cependant il est calculé en permanence par l'*International Earth rotation and Reference system Service* (IERS) qui le publie a posteriori sous le nom de UT1. Ce sigle signifie que le pôle qui intervient dans la définition des angles horaires est le pôle céleste vrai de la Terre, mobile à la surface de celle-ci du fait du mouvement du pôle.

UT1 sert à définir l'échelle UTC étudiée plus loin.

On appelle *temps civil* d'un lieu le temps moyen de ce lieu augmenté de douze heures de telle sorte que le temps civil soit égal à 0 h au milieu de la nuit. Ainsi le Temps universel est le temps civil de Greenwich.

Par ailleurs le *temps légal* est le temps utilisé sur tout le territoire d'un pays donné. Il est décidé par les autorités administratives qui choisissent, en général, d'adopter UTC décalé d'un nombre entier d'heures.

2.4. LE TEMPS ATOMIQUE INTERNATIONAL (TAI)

2.4.1. Étalons de fréquence. La seconde SI

Durant la seconde guerre mondiale le développement des radars a considérablement amélioré la technologie des circuits à micro-ondes et des cavités à haute fréquence. Ces cavités pouvaient être réglées de façon suffisamment précise pour correspondre aux fréquences de transition atomiques et moléculaires dans le domaine centimétrique. En 1948 le U.S. Bureau of Standards était en mesure d'utiliser une cavité ajustée sur une fréquence de transition de l'ammoniac.

Les mêmes principes furent appliqués à des atomes, en particulier au césium 133. En juin 1955 L. Essen et J. V. L. Parry du National Physical Laboratory en Grande Bretagne réalisèrent le premier étalon de fréquence au césium digne de ce nom et portèrent cette précision à quelques 10^{-10} . De 1955 à 1958 fut menée une expérience commune entre le National Physical Laboratory et l'U.S. Naval Observatory de Washington afin de déterminer la relation entre la fréquence de transition du césium et la seconde du Temps des éphémérides (*cf.* 2.6) ; la valeur trouvée, de $9\,192\,631\,770 \pm 20$ Hz (en secondes des éphémérides), avait une précision limitée par la qualité de la réalisation du Temps des éphémérides et non par la capacité de lecture de la fréquence.

La treizième conférence générale des poids et mesures adopta une nouvelle définition de la seconde qui devint l'unité du Système International en 1967 :

La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.

Des laboratoires spécialisés construisent des étalons de fréquence à césium afin de réaliser au mieux, c'est-à-dire avec la plus grande exactitude, la définition de la seconde. Ces étalons, qualifiés d'étalons primaires, ont une exactitude meilleure que 1×10^{-14} , atteignant même avec les horloges à fontaine à atomes froids (Allemagne, États-Unis, France) des valeurs de 1×10^{-15} . Ces nouvelles horloges font maintenant partie du réseau mondial d'horloges et contribuent à l'exactitude du Temps atomique international.

2.4.2. Réalisation du Temps atomique international

L'étalon de fréquence permet par accumulation des secondes SI de construire une échelle de temps continue, pour autant que l'horloge ou les horloges qui servent à construire cette échelle aient un fonctionnement continu. Une définition a été proposée en 1970 par le Comité consultatif pour la

définition de la seconde (CCDS), approuvée la même année par le Comité international des poids et mesures. Finalement la quatorzième conférence générale des poids et mesures, en octobre 1971, a défini la référence temporelle, le Temps atomique international (TAI) :

Le Temps atomique international est la coordonnée de repérage temporel établie par le Bureau international de l'heure sur la base des indications d'horloges atomiques fonctionnant dans divers établissements conformément à la définition de la seconde, unité de temps du Système International d'unités.

Le Bureau international de l'heure (BIH) a appliqué cette définition et construit une échelle de temps fondée sur l'accumulation des secondes SI. Le TAI est donc une échelle de temps intégrée, contrairement aux échelles dynamiques basées sur un découpage arbitraire d'une échelle d'écoulement.

Il y avait au moins deux choix possibles pour réaliser l'échelle TAI :

- soit privilégier une horloge particulière, une horloge étalon à césium, en fonctionnement permanent dont la lecture serait par définition la réalisation du TAI ;
- soit établir l'échelle TAI sur un réseau suffisamment large d'horloges disséminées dans plusieurs laboratoires fournissant leur propre lecture à un centre de coordination. Un algorithme permet alors de calculer le TAI à partir de ces données. À l'heure actuelle la fabrication du TAI est assurée par le Bureau international des poids et mesures (BIPM) après le transfert en 1985 de la section temps du BIH de l'observatoire de Paris vers le BIPM.

La première solution, qui aurait eu le mérite de la simplicité (TAI attaché à une horloge, en un seul lieu), présentait un danger évident de discontinuité en cas de mauvais fonctionnement, voire de défaillance totale, de l'horloge étalon qui ne présente pas la même garantie d'inaltérabilité que les mouvements célestes. La seconde solution est quasiment exempte de ce risque et permet de plus de bénéficier d'une amélioration statistique en raison de la multiplicité des mesures. Le principe de l'algorithme est fondé sur une moyenne pondérée des différentes lectures des horloges participantes. À l'heure actuelle environ 200 horloges dans une cinquantaine de laboratoires contribuent au TAI. L'origine du TAI a été choisie arbitrairement en coïncidence avec UT1 le 1 janvier 1958 à 0h UT1.

2.4.3. Uniformité du TAI

Dire qu'une échelle est uniforme suppose l'existence d'une échelle de temps idéale, dont la réalisation satisferait l'idée que chacun se fait de l'uniformité. Cette notion même ne peut être rendue claire sans recours à des concepts plus simples. Un élément sur lequel il est aisé de s'entendre est le suivant : deux échelles de temps T_1 et T_2 ont la même uniformité si elles ne diffèrent que par une dérive linéaire en fonction du temps exprimé par l'une d'entre elles, soit mathématiquement $T_1 = aT_2 + b$. Les échelles liées par ce type de relation sont dites équivalentes. En restreignant la question de l'uniformité du TAI à cet aspect on peut fournir une réponse basée sur l'observation. Les comparaisons du TAI et du Temps des éphémérides effectuées depuis près de quarante ans indiquent que l'écart entre les deux échelles est demeuré constant

$$TE = TAI + 32.184 \text{ s} = TAI + 0.000\,3725 \text{ jour}$$

et donc que les deux échelles sont équivalentes, à l'incertitude des observations près.

Rien ne dit que la cohérence observée sur quarante ans entre le TAI et le TE persistera encore pendant des siècles. Admettons cependant qu'il en aille ainsi. Le Temps des éphémérides est une réalisation du temps newtonien, c'est-à-dire du paramètre t qui figure dans les équations de la mécanique newtonienne. En ce sens, il est proche de la réalisation d'une échelle idéale définie à partir de concepts théoriques et satisfait la notion d'uniformité qui y est attachée. L'expérience indique qu'il semble en aller de même pour le TAI puisqu'il ne présente pas de dérive par rapport au Temps des éphémérides. Il sera dès lors possible de prendre pour argument des éphémérides des corps du système solaire le TAI, ou une échelle voisine qui lui est rattachée et qui est corrigée des effets locaux prévus par la théorie de la relativité.

On ne doit pas être totalement surpris de l'accord observé entre le Temps des éphémérides et le Temps atomique. Le Temps des éphémérides est une réalisation du temps défini par le principe d'inertie, base de la loi fondamentale de la dynamique. De ce fait tout objet mobile dont le mouvement peut être calculé à l'avance dans le cadre de la mécanique newtonienne et dont la position est observable avec une grande précision pourrait théoriquement convenir pour réaliser le Temps des éphémérides. En pratique on se limite au Soleil et à la Lune. Le point important est de posséder une théorie paramétrable dans le cadre de la mécanique newtonienne.

Ce n'est pas le cas du comportement des atomes de césium, dont la théorie relève de la mécanique quantique. Les fréquences de transition font apparaître un temps qui n'est pas directement rattaché au temps de la mécanique. En principe il pourrait être différent, même si pour le moment l'expérience en a décidé autrement. En faveur de cette coïncidence on peut invoquer le principe de correspondance et les équations de Ehrenfest qui régissent l'évolution du centre du paquet d'ondes associé à une particule. Pour les grands nombres quantiques ces équations se confondent avec les équations classiques de Hamilton-Jacobi, donc avec la mécanique newtonienne. La discussion n'est cependant pas complète car en toute rigueur le mouvement du centre du paquet d'ondes quantiques n'obéit pas aux lois de la mécanique classique et le temps qui apparaît dans les équations pourrait au niveau microscopique ne pas être identique au temps de la dynamique.

Finalement la réalisation du Temps atomique à partir des étalons au césium repose sur l'hypothèse, non démentie par l'expérience, de l'invariabilité dans l'espace et dans le temps de la fréquence associée à la transition entre deux niveaux déterminés d'un atome de césium 133 non perturbé.

2.5. LE TEMPS UNIVERSEL COORDONNÉ (UTC, UNIVERSAL TIME COORDINATED)

2.5.1. Définition et propriétés

L'échelle de Temps atomique constituée comme il est indiqué dans les sections précédentes présentait dès l'origine deux défauts pour les utilisateurs.

En premier lieu son origine arbitraire impliquait que la datation d'un événement bien identifié dans cette échelle ne coïncidait pas avec la datation donnée dans une autre échelle, temps solaire

ou Temps des éphémérides. Ce n'est pas un défaut bien gênant et il était toujours possible d'y remédier par un choix adapté de l'origine.

En second lieu, l'échelle du Temps atomique étant totalement dissociée des mouvements célestes il s'ensuivait que la durée du jour solaire moyen ne comptait plus exactement 86 400 secondes de TAI. Même en ajustant au mieux la durée de la seconde dans la définition, cet accord à un instant particulier ne pouvait se maintenir en raison des irrégularités de la rotation de la Terre et de son ralentissement séculaire. C'est d'ailleurs ce phénomène, et surtout le fait qu'on ne puisse le prévoir avec suffisamment d'exactitude, qui a conduit à abandonner le mouvement de la Terre comme source du temps uniforme.

Cependant lors du passage du temps astronomique au Temps atomique on a cru bon de ne pas perdre totalement la correspondance entre le temps et l'orientation de la Terre dans l'espace. Pour cela on a créé une échelle de temps, dite du *Temps universel coordonné* (dénomination officielle : UTC, Universal Time Coordinate), hybride en ce sens qu'elle possède les qualités d'uniformité du Temps atomique par morceaux, mais qui grâce à des sauts de seconde appropriés permet de maintenir en phase la rotation de la Terre et les horloges des laboratoires. En somme le UTC est une approximation du Temps universel lue sur un garde-temps meilleur que la rotation de la Terre (Fig. 2.1). La rotation de la Terre étant représentée par UT1, on a depuis le 1 janvier 1972 :

$$\text{TAI} - \text{UTC} = n \text{ secondes (n est un entier),}$$

$$|\text{UT1} - \text{UTC}| \leq 0.9 \text{ seconde.}$$

Selon le degré d'urgence, le saut de seconde est placé en priorité à la fin de décembre ou de juin, l'annonce étant faite au moins six mois à l'avance. La relation exacte entre UT1 et UTC ne peut être connue qu'avec retard lorsque les mesures de la rotation de la Terre sont publiées. Ceci n'est plus lié à la métrologie du temps, mais bien à l'étude de l'orientation de la Terre dans l'espace, dont la connaissance est tout à fait essentielle à la préparation et au traitement des observations. La table 2.2 donne la différence TAI – UTC selon l'IERS.

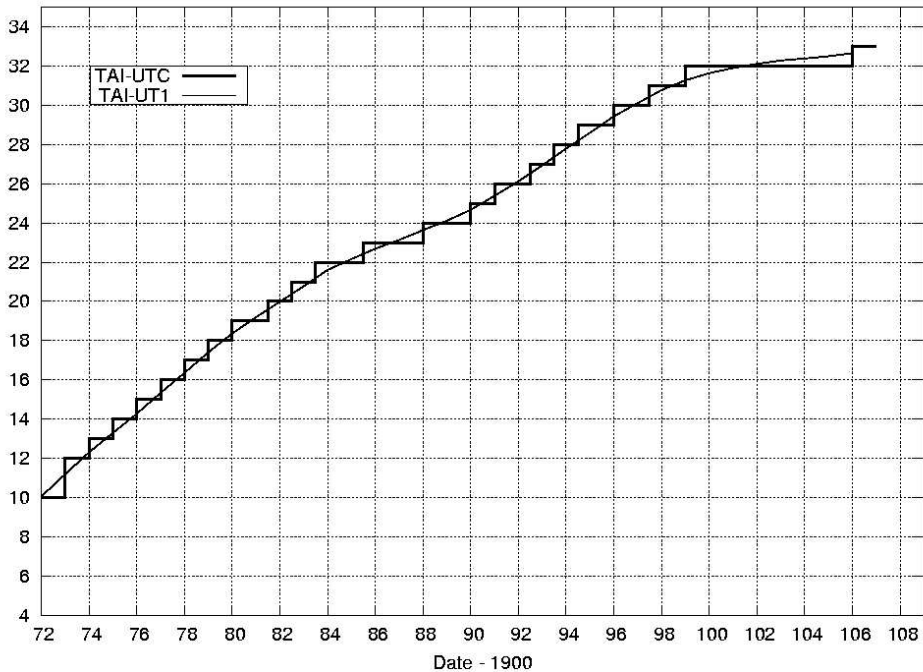
2.5.2. Le futur de l'UTC

L'avenir de UTC comme échelle largement diffusée et accessible pour les besoins civils est en discussion au sein des instances internationales incluant les communautés astronomique, géodésique et géophysique ainsi que les organismes de télécommunications et de navigation. Le reproche principal que l'on peut faire à cette échelle est son absence de continuité matérialisée par des sauts de seconde, imposant des mises à jour de tables dans des programmes informatiques. De plus certains systèmes automatiques ne sont pas en mesure d'intégrer ces sauts. Différentes solutions sont examinées au sein de groupes de travail, incluant :

- le statu-quo (avec une augmentation du nombre de sauts de seconde dans le futur en raison de l'allongement de la durée du jour),
- la suppression des sauts de seconde ce qui laisserait dériver l'échelle UTC par rapport à TAI,

Table 2.2. Différence TAI – UTC du 1 janvier 1972 au 1 janvier 2007 (selon l’IERS).

Date début	Date fin	TAI – UTC	Date début	Date fin	TAI – UTC
1/01/1972	1/07/1972	10 s	1/07/1983	1/07/1985	22 s
1/07/1972	1/01/1973	11 s	1/07/1985	1/01/1988	23 s
1/01/1973	1/01/1974	12 s	1/01/1988	1/01/1990	24 s
1/01/1974	1/01/1975	13 s	1/01/1990	1/01/1991	25 s
1/01/1975	1/01/1976	14 s	1/01/1991	1/07/1992	26 s
1/01/1976	1/01/1977	15 s	1/07/1992	1/07/1993	27 s
1/01/1977	1/01/1978	16 s	1/07/1993	1/07/1994	28 s
1/01/1978	1/01/1979	17 s	1/07/1994	1/01/1996	29 s
1/01/1979	1/01/1980	18 s	1/01/1996	1/07/1997	30 s
1/01/1980	1/07/1981	19 s	1/07/1997	1/01/1999	31 s
1/07/1981	1/07/1982	20 s	1/01/1999	1/01/2006	32 s
1/07/1982	1/07/1983	21 s	1/01/2006		33 s

**Fig. 2.1.** Différence TAI – UTC et différence observée TAI – UT1, en secondes, de 1972 à 2007.

- un élargissement de la tolérance conduisant à des sauts plus importants mais rares, combinés ou non à des sauts réguliers décidés à l'avance,
- le passage à une autre échelle qui pourrait être le TAI ou bien une échelle liée au GPS ou à Galileo,
- la possibilité la plus spectaculaire envisagée dans ces discussions (mais qui n'a aucune chance d'aboutir) étant de modifier la définition de la seconde pour maintenir l'accord approximatif de 86400 secondes par jour solaire moyen.

2.6. LE TEMPS DES ÉPHÉMÉRIDES (TE OU ET, EPHEMERIS TIME)

La loi de Newton et le principe d'inertie supposent l'existence d'un temps absolu, uniforme, préexistant à la matière. Un mouvement n'étant uniforme que vis-à-vis d'une échelle de temps particulière, il est clair que l'on ne peut définir le mouvement uniforme sans être en possession au préalable d'une échelle de temps définie sans relation avec le mouvement. Une solution consiste à reconnaître un mouvement uniforme a priori (absence de forces agissant sur le mobile, par exemple) et à mesurer le temps uniforme en découpant le mouvement par des longueurs égales, en mettant en œuvre l'hypothèse fondamentale pour la mesure du temps de la reproduction à l'identique des phénomènes soumis aux mêmes causes. C'est au travers de ce principe qu'ont été introduits les temps dynamiques : on admet la loi temporelle du mouvement calculée à partir d'un modèle de force et de la loi de la dynamique de Newton.

Le Temps des éphémérides est alors un temps dynamique particulier de la mécanique newtonienne. La théorie mise en œuvre est celle du mouvement orbital de la Terre autour du Soleil avec le modèle de force le plus complet et le plus exact possible. L'observation donne la position angulaire du Soleil dans un système de référence inertiel et permet ainsi la lecture du temps associé à un événement particulier : le Soleil en coïncidence avec une marque de longitude. L'équation de définition est l'expression numérique de la longitude géométrique moyenne du Soleil résultant des travaux de Newcomb. En 1952, l'Union Astronomique Internationale a adopté l'expression numérique, exacte par définition :

$$L_0 = 279^\circ 41' 48''.04 + 129\,602\,768''.13 T + 1''.089 T^2,$$

où T désigne l'échelle du Temps des éphémérides mesurée en siècles juliens de 36 525 jours des éphémérides depuis l'instant (proche de 1900.0) correspondant à l'événement :

$$T = 0 \text{ soit } L_0 = 279^\circ 41' 48''.04 = 279^\circ.696\,677\,77.$$

La date des éphémérides associée à $T = 0$ est :

$$\text{TE} = 0.5 \text{ janvier } 1900 = 2\,415\,020.0 \text{ jour julien des éphémérides.}$$

Cette définition contient celle de la seconde en raison de la présence d'un moyen mouvement. La onzième conférence des poids et mesures décida en 1960 que :

La seconde est la fraction $1/31\,556\,925.9747$ de l'année tropique pour le 0 janvier 1900 à 12h du Temps des éphémérides.

Cette définition, difficile à réaliser en pratique à une date éloignée de l'origine et fort délicate à comprendre hors du cercle des astronomes spécialisés, disparut en 1967 en temps qu'unité du Système International d'unités au profit de la définition fondée sur le césium 133.

Idéalement, pour réaliser le Temps des éphémérides il faut observer la longitude du Soleil, effectuer toutes les corrections permettant d'en déterminer la longitude géométrique moyenne, puis résoudre l'équation de définition pour l'inconnue T . Mathématiquement il y a de nombreuses solutions, mais un encadrement préalable au moyen d'un garde-temps permet d'aboutir à une solution unique. Avec une précision typique de $0''.5$ sur la détermination de la longitude du Soleil, on obtiendrait une incertitude de 12s sur la lecture de l'horloge céleste. Heureusement on n'avait recours au Soleil (et à la Lune dont le mouvement est treize fois plus rapide) que pour des mesures d'intervalles longs.

Puisqu'on est amené à rejeter l'échelle TU, insuffisamment uniforme, le TE est la seule échelle de temps uniforme disponible pour l'analyse des observations des corps du système solaire faites avant l'introduction du TAI. Les définitions des nouvelles échelles assurent la continuité du TDT, puis du TT, avec le TE pour les époques antérieures à 1955, compte tenu de la précision des observations des planètes et des satellites. Elles assurent également la continuité du TE avec le TDB puisque, comme nous le verrons, TDB et TDT diffèrent de termes périodiques d'amplitudes inférieures à 1.7 millième de seconde. En revanche comme TCB et TCG ont des variations séculaires par rapport à TT, il y a une discontinuité entre TE et ces deux échelles que nous retrouverons dans les tables données plus loin.

2.7. LES ÉCHELLES DE TEMPS RELATIVISTES

2.7.1. Les échelles TCB et TCG

Depuis 1991, les systèmes de référence d'espace et de temps adoptés par l'UAI sont construits dans le cadre de la théorie de la relativité générale. La théorie est la forme standard obtenue en donnant aux paramètres post-newtoniens leur valeur nominale, $\gamma = 1$ et $\beta = 1$ pour les deux plus importants. Ce cadre général est présenté dans le paragraphe 3.2 consacrée aux systèmes de référence. Dans ce chapitre nous considérons uniquement les conséquences sur les échelles de temps avec l'introduction des deux échelles de temps-coordonnée TCB et TCG, qui seront ensuite reliées à des réalisations, dont le TAI. La théorie de la relativité et la précision atteinte aujourd'hui dans les observations amènent à distinguer les échelles de temps dynamiques selon qu'elles sont considérées comme échelles de temps-coordonnée ou comme échelles de temps propre. On présente ici les calculs qui établissent la relation la plus importante entre ces échelles.

Soit le système de coordonnées barycentriques (BCRS) dans lequel la métrique de l'espace-temps dans le système solaire, en utilisant la convention de sommation d'Einstein (voir 3.1.1), prend la forme :

$$ds^2 = g_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta,$$

où l'on peut écrire les différentes composantes du tenseur métrique $g_{\alpha\beta}$ en fonction des coordonnées barycentriques (t : TCB, \mathbf{x}). En considérant les planètes comme des masses ponctuelles, les solutions des équations d'Einstein s'écrivent, à l'ordre $1/c^4$ (UAI, 2001),

$$\begin{aligned} g_{00} &= - \left(1 - \frac{2U}{c^2} + \frac{2U^2}{c^4} + \frac{\Delta(t, \mathbf{x})}{c^4} \right), \\ g_{0i} &= - \frac{4U^i}{c^3}, \\ g_{kl} &= \left(1 + \frac{2U}{c^2} \right) \delta_{kl}, \end{aligned}$$

où δ_{ki} est le symbole de Kronecker, égal à 0 si $k \neq i$ et à 1 si $k = i$. Dans les expressions ci-dessus U est le potentiel newtonien produit au point $M(\mathbf{x})$ par les planètes, de masses m_p et de vecteurs positions \mathbf{x}_p :

$$U = \sum_p \frac{G m_p}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}_p|}.$$

c est la vitesse de la lumière ($c = 299\,792\,458 \text{ ms}^{-1}$). A l'approximation considérée pour obtenir la relation entre les échelles barycentriques et géocentriques, le potentiel vecteur U^i est donné par,

$$U^i = \sum_p \frac{G m_p v_p^i}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}_p|}.$$

où \mathbf{v}_p est la vitesse-coordonnée barycentrique de la planète p . (Une vitesse-coordonnée est définie comme la dérivée des coordonnées spatiales du vecteur \mathbf{x} par rapport au temps-coordonnée, x^0 .) Enfin

$$\Delta(t, \mathbf{x}) = \sum_p \frac{G m_p}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}_p|} \left(-2v_p^2 + \sum_{q \neq p} \frac{G m_q}{|\mathbf{x}_q - \mathbf{x}_p|} + \frac{((\mathbf{x} - \mathbf{x}_p) \cdot \mathbf{v}_p)^2}{2 |\mathbf{x} - \mathbf{x}_p|^2} + \frac{(\mathbf{x} - \mathbf{x}_p) \cdot \mathbf{a}_p}{2} \right) \quad (2.1)$$

où \mathbf{a}_p est l'accélération-coordonnée barycentrique de la planète p . Des définitions similaires ont été introduites par les résolutions de l'UAI pour le système géocentrique (GCRS) avec les coordonnées (T : TCG, \mathbf{X}), dont l'usage est limité à la zone proche de la Terre. Ces systèmes sont sur le plan théorique équivalents, et des relations bi-univoques permettent de passer d'un système à l'autre (voir les équations 3.2.9, 3.2.10 et les équations 3.2.13, 3.2.14). Sur le plan pratique, les calculs seront fortement compliqués par l'usage du système géocentrique pour étudier les mouvements dans le système solaire.

Rappelons que l'on ne doit pas attacher de signification particulière aux coordonnées x^α ; il ne s'agit au départ que de quatre quantités permettant d'étiqueter un point de l'espace-temps et il y a une grande liberté dans leur choix. Cependant, au travers de l'interprétation des mesures et de la comparaison aux modèles paramétrés par ces coordonnées, on finit par leur donner une signification

plus physique en terme de distance, instant d'arrivée d'un signal, etc. Par exemple la coordonnée x^0 , divisée par la vitesse de la lumière c , est le temps t qui serait indiqué par une horloge au repos par rapport au barycentre du système solaire et infiniment éloignée des planètes. Ce temps, appelé temps-coordonnée, diffère de celui lu sur une horloge atomique dans un laboratoire, laquelle fournit le temps propre τ de l'horloge sur sa ligne d'Univers. Le TAI d'un autre côté est construit pour être une coordonnée de repérage temporel mais ne coïncide pas avec le x^0/c de la métrique ci-dessus. Le raccordement entre les échelles TCB, TCG et le TAI est examiné dans la section suivante.

Considérons à ce stade le TCG comme étant voisin du temps propre d'une horloge idéale placée au géocentre et soustraite à l'influence gravitationnelle de la Terre. A partir de la métrique du BCRS limitée aux termes en $1/c^2$, on a :

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2U}{c^2}\right) c^2 dt^2 + \left(1 + \frac{2U}{c^2}\right) \left[(dx^1)^2 + (dx^2)^2 + (dx^3)^2 \right]. \quad (2.2)$$

On obtient l'intervalle de temps propre $d\tau$ entre deux événements de l'espace-temps séparés par dt et dx^i par :

$$d\tau^2 = -\frac{ds^2}{c^2} = \left(1 - \frac{2U}{c^2}\right) dt^2 - \left(1 + \frac{2U}{c^2}\right) \frac{v^2}{c^2} dt^2,$$

où

$$v^2 = \sum_{i=1}^3 (\dot{x}^i)^2.$$

v est la vitesse-coordonnée de l'horloge attachée à ces deux événements. À l'ordre $O(c^{-2})$ on obtient sans difficulté :

$$dt = \frac{d\tau}{\left[1 - \frac{U}{c^2} - \frac{v^2}{2c^2}\right]}$$

qui conduit par intégration à l'équation suivante :

$$t - \tau = \int_0^t \left[\frac{U}{c^2} + \frac{v^2}{2c^2} \right] dt. \quad (2.3)$$

Plus généralement en prenant en compte les développements jusqu'en $1/c^4$ (et en négligeant les termes provenant de $\Delta(t, \mathbf{x})$),

$$t - \tau = \frac{1}{c^2} \int_0^t \left[U + \frac{v^2}{2} \right] dt + \frac{1}{c^4} \int_0^t \left[\frac{v^4}{8} + \frac{3v^2 U}{2} - \frac{U^2}{2} - 4v^i U^i \right] dt. \quad (2.4)$$

Pour intégrer cette équation il faut tout d'abord particulariser le mouvement de l'horloge par une trajectoire paramétrée au moyen des coordonnées t et x^i , puis exprimer le potentiel $U(\mathbf{x})$ provenant des planètes et de la Lune en chaque point. Sans entrer dans le détail, on voit déjà que pour une horloge placée au géocentre, le terme principal sera une dérive séculaire entre les deux échelles puisque la valeur moyenne de la fonction à intégrer n'est pas nulle. En prenant pour la Terre une orbite circulaire de rayon $a = 1$ UA on obtient pour l'action du Soleil, $U/c^2 \sim GM_{\odot}/a c^2 \sim 9.872 \times 10^{-9}$ et $v^2/2c^2 \sim 4.935 \times 10^{-9}$, soit $\langle d\tau/dt \rangle \sim 1 - 1.4807 \times 10^{-8}$.

La valeur exacte de cette constante dépend de l'éphéméride utilisée pour l'intégration, du temps d'intégration et de la procédure de calcul pour obtenir cette moyenne. Il reste donc une certaine ambiguïté dans sa définition et sa valeur. Selon la durée de l'intervalle un terme à longue période peut devenir un terme séculaire et donc contribuer à la valeur moyenne. Ceci est particulièrement évident dans le cas où l'on effectue des intégrations numériques des mouvements car ôter les termes séculaires ne peut se faire qu'en effectuant des moyennes sur des intervalles de temps dont la longueur est arbitrairement choisie. L'estimation la plus récente (Irwin et Fukushima, 1999) donne,

$$\left\langle \frac{dT_{CG}}{dT_{CB}} \right\rangle = 1 - L_C,$$

avec

$$L_C = 1.480\,826\,867\,41 \times 10^{-8} \pm 2 \times 10^{-17}.$$

L'intégration complète de l'équation aboutit à une éphéméride du TCG en fonction du TCB qui peut être représentée par des séries de polynômes de Tchebychev, ou bien par un développement analytique en série de Poisson, si les théories planétaires sous-jacentes sont analytiques. C'est le cas de la solution de la table 2.3 qui donne les principaux termes de la série calculée par Fairhead et Bretagnon (1990) à partir de la théorie VSOP87. Cette série a la forme :

$$P = \sum_{\alpha} TDB^{\alpha} \left[\sum_i A_i^{\alpha} \sin(\nu_i^{\alpha} TDB + \psi_i^{\alpha}) \right] \quad (2.5)$$

où TDB est le Temps dynamique barycentrique exprimé en siècles juliens de 36 525 jours écoulés depuis l'époque J2000. Les coefficients A_i^{α} sont exprimés en microsecondes (μs) (en toute rigueur μs pour $\alpha = 0$, $\mu s/siècle$ pour $\alpha = 1$, etc.). La table 3.3 contient tous les termes dont l'amplitude est supérieure à 0.1 nanoseconde (ns) sur une durée d'un siècle. Elle assure une précision de 1 ns sur la transformation $TCB \Leftrightarrow TCG$. Elle contient 474 termes périodiques ($\alpha=0$), 81 termes en $t \sin t$ ($\alpha=1$), 6 termes en $t^2 \sin t$ ($\alpha=2$) et un terme en $t^3 \sin t$ ($\alpha=3$). Notons que le deuxième terme de la série en $t^2 \sin t$ a une fréquence nulle et est donc, en réalité, un terme en t^2 .

2.7.2. Les échelles TT et TDB

L'échelle de *Temps terrestre* (TT) est l'échelle de temps utilisée pour les éphémérides géocentriques apparentes. Le TCG est une échelle de temps-coordonnée rattachée au géocentre, sans lien ni théorique ni pratique avec le TAI. Pour pallier ce défaut, on a souhaité définir une échelle idéale très proche du temps propre sur le géoïde et donc réalisable par des horloges locales. Son unité devait être la seconde SI sur le géoïde et l'échelle devait être en continuité avec le TE. À la date du 1 janvier 1977 à 0 h TAI, TT a pour valeur 1 janvier 1977, 0 h 0 min 32.184 s. L'échelle TT est une échelle de temps idéale dont la réalisation pratique est liée au TAI. On peut donc écrire :

$$TT = TE = TAI + 32.184 \text{ s.}$$

Entre 1976 et 1991, l'échelle TT avait été introduite sous le nom de *Temps dynamique terrestre* (TDT). Le mot *dynamique* n'était pas heureux, car cette échelle, tout en étant idéalement identique

au Temps des éphémérides, n'est en aucun cas associée à la théorie du mouvement d'un corps du système solaire. Ce n'est donc pas un temps dynamique. Par ailleurs on avait tendance à confondre le TDT avec le temps propre au centre de masse de la Terre, alors qu'il est beaucoup plus proche d'un temps propre à la surface de la Terre. En revanche le temps-coordonnée TCG, peut être considéré comme étant le temps propre d'une horloge idéale placée au centre de masse de la Terre.

La différence entre les deux échelles est pour l'essentiel due au potentiel terrestre à sa surface (potentiel pris nul au centre de masse de la Terre). On peut écrire,

$$\frac{dT_T}{dT_{CG}} = 1 - L_G \approx 1 - \frac{W_0}{c^2}$$

où W_0 est le potentiel gravitationnel de la Terre à sa surface. Avec $L_G \sim W_0/c^2 \sim GM_\oplus/R_\oplus c^2 = 6.95 \times 10^{-10}$. Pour exprimer la relation complète entre TT et TCG il faut prendre également en compte le potentiel du géoïde tournant, ainsi que les potentiels de marées des autres corps du système solaire. La valeur du potentiel terrestre à sa surface est une quantité qui dépend des modèles de géoïde et est sujette à révision. Pour éviter des changements possibles provenant de nouvelles réalisations du géoïde, l'UAI a introduit en 2000 (UAI, 2001),

$$L_G = 6.969\,290\,134 \times 10^{-10}$$

comme nouvelle constante de définition. L'échelle TT ainsi définie n'a pas de dérive par rapport au TAI qui en est une réalisation pratique.

Comme on l'a vu dans le paragraphe 2.7.1, le TCB varie par rapport au TCG, et également par rapport au TT puisque les constantes L_C et L_G ne se compensent pas. On définit alors l'échelle TDB, proche du TCB, qui ne diffère du TT que par des termes périodiques, ces termes étant précisément ceux trouvés dans la relation TCB-TCG. C'est l'échelle de temps employée à l'heure actuelle pour les éphémérides du système solaire de l'IMCCE/Bureau des Longitudes (Moisson et Bretagnon, 2001 ; Fienga et Simon, 2004). Pour les éphémérides numériques du JPL, on se reportera à Standish (1998). Vis à vis de TCB cette échelle se comporte en moyenne comme TT. On a,

$$dTDB/dTCB = 1 - L_B$$

avec

$$L_B = L_C + L_G = 1.550\,519\,767\,72 \times 10^{-8} \pm 2 \times 10^{-17}$$

et

$$TDB = TT + P$$

où P représente l'ensemble des termes périodiques obtenus à partir de l'intégrale (2.4) dépouillée de ses termes séculaires.

2.7.3. Relations entre les échelles de temps

Les différentes échelles de temps étudiées ci-dessus sont finalement liées par des relations simples rassemblées dans cette section. Dans la suite P désigne toujours l'ensemble des termes de moyenne nulle de l'intégrale (2.4). Les deux échelles de temps-coordonnée sont TCB pour le temps

barycentrique et TCG pour le système géocentrique.

$$\text{TCB} - \text{TCG} = L_C \times (JD - 2443144.5) \times 86400 + P + \mathbf{v}_E \cdot \mathbf{r}/c^2, \quad L_C = 1.480\,826\,867\,41 \times 10^{-8}$$

où \mathbf{v}_E est la vitesse barycentrique de la Terre et \mathbf{r} la position géocentrique de l'observateur. JD est la date julienne de l'époque considérée. On calcule facilement qu'à la surface de la Terre le terme correctif correspondant dans l'expression de $\text{TCB} - \text{TCG}$ est de l'ordre de 2×10^{-6} secondes.

$$\text{TCB} - \text{TDB} = L_B \times (JD - 2443144.5) \times 86400, \quad L_B = 1.550\,519\,767\,72 \times 10^{-8}$$

$$\text{TCG} - \text{TT} = L_G \times (JD - 2443144.5) \times 86400, \quad L_G = 6.969\,290\,134 \times 10^{-10}$$

$$\text{TT(TAI)} = \text{TAI} + 32.184\text{ s}$$

$$\text{TDB} = \text{TT} + P$$

2.8. BIBLIOGRAPHIE

- Brumberg, V.A. : 1991, *Essential relativistic celestial mechanics*, Adam Hilger, Bristol, Philadelphia and New-York.
- Danjon, A. : 1953, *Astronomie générale*, Sennac éd., Paris, réédité en 1980, Blanchard éd.
- Fairhead, L., Bretagnon, P. : 1990, An analytical formula for the time transformation TB-TT, *Astron. Astrophys.* **229**, 240.
- Fienga, A., Simon, J.-L. : 2004, Analytical and numerical studies of asteroid perturbations on solar system planet dynamics, *Astron. Astrophys.* **429**, 361.
- Guinot, B. : 1989, General principles of the measure of time : astronomical time, in *Reference frames in astronomy and geophysics*, J. Kovalevsky, I.I. Mueller and B. Kolaczek eds., Kluwer, Dordrecht.
- IAUWG : 1977, Joint report of the working group of IAU commission 4 on precession, planetary ephemerides, units and time scales, *Trans. IAU*, **XVI B**, Reidel, Dordrecht, 56.
- IAUWG : 1992, Recommendations from the working group on reference systems. Resolution A4, *Trans. IAU*, **XXI B**, Reidel, Dordrecht.
- Irwin, A., Fukushima, T. : 1999 A numerical time ephemeris for the Earth, *Astron. Astrophys.* **348**, 642.
- Moisson, X., Bretagnon, P. : 2001, Analytical planetary solution VSOP2000, *Celest. Mech.* **80**, 205.
- Seidelmann, P.K., Fukushima, T. : 1992, Why new time scales?, *Astron. Astrophys.* **265**, 833.
- Soffel, M.H. : 1989, Relativity in astrometry, *Celestial mechanics and geodesy*, Springer-Verlag.
- Standish, E. M. : 1998, Time scales in the JPL and CfA ephemerides, *Astron. Astrophys.* **336**, 381.
- UAI : 2001, Resolutions of the twenty-fourth General Assembly, *IAU Information Bull.* **88**, 28-40 (Errata : *ibid.* **89**, 4, 2001).
- USNO : 1992, *Explanatory supplement to the Astronomical Almanac*, P.K. Seidelmann ed., University science books, Mill Valley, California.

Table 2.3. Différence $P = \text{TDB} - \text{TT}$ sous la forme (2.5), d'après Fairhead et Bretagnon (1990). Dans (2.5), TDB est compté en siècles juliens à partir de J2000.

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
1	0	1656.674564	628.3075850	6.2400542	1.00	49	0	0.040184	-0.7113547	3.5659756	883.27
2	0	22.417471	575.3384885	4.2969774	1.09	50	0	0.036955	315.4687085	5.0718014	1.99
3	0	13.839792	1256.6151700	6.1969044	0.50	51	0	0.036564	508.8628840	3.3246790	1.23
4	0	4.770086	52.9690965	0.4444016	11.86	52	0	0.036507	80.1820931	6.2488660	7.84
5	0	4.676740	606.9776755	4.0211951	1.04	53	0	0.034867	52.2577418	5.2100641	12.02
6	0	2.256707	21.3299095	5.5431133	29.46	54	0	0.033529	943.7762935	2.4047142	0.67
7	0	1.694205	-0.3523118	5.0251327	1783.42	55	0	0.033477	606.2663208	4.1449873	1.04
8	0	1.554905	7771.3771468	5.1984666	0.08	56	0	0.032438	607.6890302	0.7493174	1.03
9	0	1.276839	786.0419392	5.9888223	0.80	57	0	0.032423	882.7390270	5.5414736	0.71
10	0	1.193379	522.3693920	3.6498237	1.20	58	0	0.030215	708.4896781	3.3896103	0.89
11	0	1.115322	393.0209696	1.4227451	1.60	59	0	0.029862	1213.9553509	1.7701810	0.52
12	0	0.794185	1150.6769770	2.3223131	0.55	60	0	0.029247	-7143.0695618	4.1831792	0.09
13	0	0.600309	157.7343542	2.6782719	3.98	61	0	0.028244	-628.6598968	5.0696635	1.00
14	0	0.496817	620.8294251	5.6967018	1.01	62	0	0.027567	627.9552732	5.0408460	1.00
15	0	0.486306	588.4926847	0.5200072	1.07	63	0	0.025196	174.8016413	2.9018833	3.59
16	0	0.468597	624.4942814	5.8663988	1.01	64	0	0.024816	-119.4447010	1.0871369	5.26
17	0	0.447061	2.6298320	3.6157965	238.92	65	0	0.022567	613.3512653	3.3079848	1.02
18	0	0.435206	-39.8149003	4.3493383	15.78	66	0	0.022509	1044.7387840	1.4607262	0.60
19	0	0.432392	7.4781599	2.4358983	84.02	67	0	0.021691	1414.3495242	5.9526580	0.44
20	0	0.375510	550.7553239	4.1034768	1.14	68	0	0.020937	842.9241266	0.6523034	0.75
21	0	0.243085	-77.5522611	3.6518379	8.10	69	0	0.020322	41.9484644	3.7354306	14.98
22	0	0.230685	585.6477659	4.7738526	1.07	70	0	0.017806	7.3297126	3.4759751	85.72
23	0	0.203747	1203.6460735	4.3339878	0.52	71	0	0.017673	681.2766815	3.1861298	0.92
24	0	0.173435	1884.9227550	6.1537435	0.33	72	0	0.016155	1021.3285546	1.3311032	0.62
25	0	0.159080	1097.7078805	1.8900752	0.57	73	0	0.015974	-235.2866154	6.1453094	2.67
26	0	0.143935	-79.6298007	5.9575178	7.89	74	0	0.015949	-22.0412642	4.0052983	28.51
27	0	0.137927	1179.0629089	1.1359347	0.53	75	0	0.015078	1965.1048481	3.9694808	0.32
28	0	0.119979	3.8133036	4.5515858	164.77	76	0	0.014751	134.9867410	4.3089333	4.65
29	0	0.118971	548.6777843	1.9145472	1.15	77	0	0.014318	1673.0463690	3.0160581	0.38
30	0	0.116120	105.9381930	0.8735041	5.93	78	0	0.014223	1778.9845620	2.1045513	0.35
31	0	0.101868	-557.3142802	5.9845034	1.13	79	0	0.013671	-53.6804512	5.9716726	11.70
32	0	0.098358	254.4314420	0.0927939	2.47	80	0	0.012462	10.3092774	1.7374388	60.95
33	0	0.080164	20.6185548	2.0953777	30.47	81	0	0.012420	469.0479836	4.7340904	1.34
34	0	0.079645	469.4002955	2.9492336	1.34	82	0	0.011942	803.1092263	2.0534147	0.78
35	0	0.075019	294.2463423	4.9809318	2.14	83	0	0.011847	564.3178564	5.4890054	1.11
36	0	0.064397	574.6271338	1.2803087	1.09	84	0	0.011707	-470.5732308	2.6541256	1.34
37	0	0.063814	576.0498432	4.1679017	1.09	85	0	0.011622	512.0601146	4.8639319	1.23
38	0	0.062617	2.0775395	2.6543948	302.43	86	0	0.010962	0.3590429	2.1965677	1749.98
39	0	0.058844	42.6598191	4.8396501	14.73	87	0	0.010825	55.3569403	0.8427150	11.35
40	0	0.054139	1726.0154655	3.4110911	0.36	88	0	0.010453	586.3591206	1.9137046	1.07
41	0	0.048373	15.5420399	2.2515737	40.43	89	0	0.010396	95.1718406	5.7177996	6.60
42	0	0.048042	214.6165416	1.4958460	2.93	90	0	0.010099	28.3859319	1.9421770	22.13
43	0	0.046551	-0.0980321	0.9215735	6409.31	91	0	0.009963	14.9563197	4.8706906	42.01
44	0	0.042732	63.2783739	5.7206222	9.93	92	0	0.009858	630.9374170	1.0618164	1.00
45	0	0.042560	16100.0685737	1.2708372	0.04	93	0	0.009370	14985.4400134	0.6738790	0.04
46	0	0.042411	627.5962303	2.8695670	1.00	94	0	0.008666	-13.5065080	3.2934065	46.52
47	0	0.040759	1235.2852605	3.9814970	0.51	95	0	0.008610	334.0612427	3.6616989	1.88
48	0	0.040480	1572.0838785	2.5466101	0.40	96	0	0.008323	1176.9853693	1.2293920	0.53

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
97	0	0.008107	1336.7972631	3.7932353	0.47	145	0	0.002954	-628.3008540	4.5334712	1.00
98	0	0.007959	31.6391870	2.4650426	19.86	146	0	0.002954	628.3143160	4.4472038	1.00
99	0	0.007857	1216.8002697	0.5257335	0.52	147	0	0.002881	73.5876514	0.3492503	8.54
100	0	0.007505	523.0807467	4.9209370	1.20	148	0	0.002872	2.8449187	1.1586930	220.86
101	0	0.007490	-625.6777530	3.6584447	1.00	149	0	0.002863	1729.8182327	5.2409638	0.36
102	0	0.007332	3.6648563	0.1148587	171.44	150	0	0.002775	991.7696875	1.0300263	0.63
103	0	0.007147	-24.2728604	3.6614870	25.89	151	0	0.002740	1831.9536585	4.3205195	0.34
104	0	0.007117	3.8027673	5.2942495	165.23	152	0	0.002646	1097.3555686	3.9182592	0.57
105	0	0.007019	620.6809779	0.8376888	1.01	153	0	0.002575	2513.2303400	6.1096590	0.25
106	0	0.006919	668.1224853	6.0185015	0.94	154	0	0.002493	638.6168624	0.6450265	0.98
107	0	0.006858	521.6580373	0.6420633	1.20	155	0	0.002464	20.2253395	4.6982031	31.07
108	0	0.006826	763.2943260	3.4586541	0.82	156	0	0.002409	0.2542797	5.3250093	2470.97
109	0	0.006731	565.0292111	5.6399066	1.11	157	0	0.002401	1620.0772725	2.6055471	0.39
110	0	0.006603	2358.1258177	5.3931369	0.27	158	0	0.002397	624.3458342	3.8092900	1.01
111	0	0.006366	416.4311990	2.2620818	1.51	159	0	0.002381	6.3735898	0.7591882	98.58
112	0	0.006304	1192.6254414	2.5129292	0.53	160	0	0.002366	0.3932153	6.2158854	1597.90
113	0	0.006056	95.5599742	4.1945351	6.58	161	0	0.002353	63.9897286	3.7345481	9.82
114	0	0.005680	2301.3539540	4.5578148	0.27	162	0	0.002353	624.6427287	4.7817198	1.01
115	0	0.005582	596.6683980	2.2461743	1.05	163	0	0.002303	1807.3704939	1.0891004	0.35
116	0	0.005488	-0.3455808	0.0906754	1818.15	164	0	0.002303	8399.6847318	2.0136864	0.07
117	0	0.005308	-159.2596014	2.5003824	3.95	165	0	0.002296	649.6374945	5.0618107	0.97
118	0	0.005123	-0.1484473	2.9996410	4232.60	166	0	0.002229	49.1557929	1.5710071	12.78
119	0	0.005119	643.8496249	1.4865392	0.98	167	0	0.002199	-24.5831646	5.9561523	25.56
120	0	0.005096	1137.1704690	2.5471078	0.55	168	0	0.002186	45.4909367	1.4021015	13.81
121	0	0.004892	543.6993015	1.4754156	1.16	169	0	0.002183	116.2474704	6.1796117	5.41
122	0	0.004841	533.3900241	0.4370781	1.18	170	0	0.002169	1101.5106477	4.8452977	0.57
123	0	0.004648	158.9072895	1.2758471	3.95	171	0	0.002103	-707.9373857	5.7566416	0.89
124	0	0.004553	1149.9656223	5.5549983	0.55	172	0	0.002085	3.5164090	1.4051585	178.68
125	0	0.004521	429.2330833	6.1406358	1.46	173	0	0.002024	1471.2317116	2.7520359	0.43
126	0	0.004349	1151.3883317	2.1817454	0.55	174	0	0.001897	2248.3848574	4.1679325	0.28
127	0	0.004193	723.4794256	4.8690914	0.87	175	0	0.001896	-312.8388765	4.9142316	2.01
128	0	0.004164	1249.1370101	5.6509319	0.50	176	0	0.001894	105.2268383	5.8171674	5.97
129	0	0.004148	-11.0206321	3.0161734	57.01	177	0	0.001847	1087.3986030	2.9034779	0.58
130	0	0.004080	-705.8598461	3.6903601	0.89	178	0	0.001825	-373.8761430	0.5458288	1.68
131	0	0.004044	473.2030627	1.3987848	1.33	179	0	0.001810	-8886.0057071	0.4873548	0.07
132	0	0.003919	1252.8018664	5.8233197	0.50	180	0	0.001745	24428.7600007	3.6263952	0.03
133	0	0.003742	723.8675592	4.6919762	0.87	181	0	0.001737	629.0189397	5.2808201	1.00
134	0	0.003625	620.9778724	1.4737606	1.01	182	0	0.001729	389.4181830	1.2649766	1.61
135	0	0.003500	26.3083923	1.8921007	23.88	183	0	0.001649	3144.1677570	1.9520493	0.20
136	0	0.003354	-9095.5551695	1.9426562	0.07	184	0	0.001602	1431.4168113	4.2036648	0.44
137	0	0.003279	584.9364112	4.8933844	1.07	185	0	0.001472	459.0910180	4.1649133	1.37
138	0	0.003270	7.6266071	1.5171899	82.39	186	0	0.001421	2.0355319	2.4198866	308.68
139	0	0.003202	2751.1467874	0.5316731	0.23	187	0	0.001416	922.5539273	4.9964084	0.68
140	0	0.003129	683.6645253	0.0038441	0.92	188	0	0.001408	1098.4192352	2.7320848	0.57
141	0	0.003074	94.9175609	5.1858787	6.62	189	0	0.001391	-863.5942004	0.5938915	0.73
142	0	0.003053	23314.1314403	3.0290293	0.03	190	0	0.001388	-0.7046237	1.1661459	891.71
143	0	0.003024	8328.6914270	2.3555561	0.08	191	0	0.001376	1096.9965258	5.1529143	0.57
144	0	0.003002	617.2869529	2.7978228	1.02	192	0	0.001335	-26.6607042	3.9957640	23.57

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
193	0	0.001321	1820.9330264	2.6248664	0.35	241	0	0.000674	1494.5316174	6.2705105	0.42
194	0	0.001297	2122.8392024	0.3826035	0.30	242	0	0.000673	106.6495477	3.8765124	5.89
195	0	0.001297	2354.3230505	3.0638052	0.27	243	0	0.000662	2515.8601720	1.7940584	0.25
196	0	0.001288	-199.0745017	3.9130229	3.16	244	0	0.000660	62.5670192	5.8640919	10.04
197	0	0.001284	1057.5406683	5.3065382	0.59	245	0	0.000647	1185.6218652	3.3971331	0.53
198	0	0.001278	7.1812653	4.7134865	87.49	246	0	0.000646	1140.3676996	3.8529595	0.55
199	0	0.001238	480.4209276	5.5033797	1.31	247	0	0.000641	8346.7156353	3.2107273	0.08
200	0	0.001176	27.7034994	3.3355190	22.68	248	0	0.000631	576.7611979	4.0265323	1.09
201	0	0.001169	604.0347246	5.8417190	1.04	249	0	0.000630	3.6027867	0.1563685	174.40
202	0	0.001155	-1.4227094	3.0427008	441.64	250	0	0.000618	2200.3914635	2.4664270	0.29
203	0	0.001145	605.8731054	1.1694839	1.04	251	0	0.000611	-14357.1324284	2.4249797	0.04
204	0	0.001077	17.5166060	1.8449131	35.87	252	0	0.000609	1017.7257680	0.4371223	0.62
205	0	0.001070	-15471.7609887	1.8276245	0.04	253	0	0.000607	-3.9617508	2.8390216	158.60
206	0	0.001039	554.0085789	2.7697535	1.13	254	0	0.000603	-6514.7619768	4.1400836	0.10
207	0	0.001004	-17.0672871	0.7550081	36.81	255	0	0.000601	41.2371097	3.9842254	15.24
208	0	0.000991	470.1116502	4.3870018	1.34	256	0	0.000576	1108.7285126	4.7602931	0.57
209	0	0.000987	-626.2300454	2.6564870	1.00	257	0	0.000575	1204.3574282	4.2164924	0.52
210	0	0.000979	554.7199336	5.4483760	1.13	258	0	0.000574	7214.0628666	1.7581909	0.09
211	0	0.000954	628.2095529	0.8822135	1.00	259	0	0.000567	363.4621025	1.6492647	1.73
212	0	0.000954	-628.4056171	0.9684809	1.00	260	0	0.000559	1119.0377900	5.7832364	0.56
213	0	0.000940	603.7244204	6.1974281	1.04	261	0	0.000553	1241.6588503	4.7721580	0.51
214	0	0.000908	13.1541962	2.5212575	47.77	262	0	0.000550	490.7302050	0.8640243	1.28
215	0	0.000907	3537.1887266	3.3701960	0.18	263	0	0.000531	648.9261398	1.6818888	0.97
216	0	0.000890	1391.6019110	5.6014983	0.45	264	0	0.000520	3930.2096962	4.7880029	0.16
217	0	0.000885	1171.2955318	3.2804149	0.54	265	0	0.000520	1034.4295065	2.4455978	0.61
218	0	0.000884	-155.1045223	1.0888317	4.05	266	0	0.000515	1863.5928455	3.9453459	0.34
219	0	0.000876	501.7508371	3.9699026	1.25	267	0	0.000509	84.6082835	3.0538746	7.43
220	0	0.000852	19.9072001	2.1896050	31.56	268	0	0.000495	734.2457780	3.8172858	0.86
221	0	0.000845	-43.3711738	4.7492452	14.49	269	0	0.000494	962.3688277	3.0226451	0.65
222	0	0.000819	866.2240324	5.9912478	0.73	270	0	0.000493	1842.2629359	1.6769393	0.34
223	0	0.000814	1765.4780540	4.6271226	0.36	271	0	0.000491	22.4344796	0.8783728	28.01
224	0	0.000806	1511.0466120	5.1428767	0.42	272	0	0.000486	-32.3505417	4.0616739	19.42
225	0	0.000806	30.9278323	6.0540644	20.32	273	0	0.000485	670.2560494	0.2105809	0.94
226	0	0.000798	14.8078724	5.9092251	42.43	274	0	0.000484	1726.7268202	3.2905891	0.36
227	0	0.000798	51.5463871	5.1519625	12.19	275	0	0.000481	574.9452732	4.3095920	1.09
228	0	0.000773	-413.6910434	0.0220678	1.52	276	0	0.000480	595.9570433	5.0313510	1.05
229	0	0.000764	-612.7655451	2.2363463	1.03	277	0	0.000480	575.7317038	1.1423486	1.09
230	0	0.000738	613.4997126	2.2426689	1.02	278	0	0.000478	126.5567479	5.4873146	4.96
231	0	0.000737	532.6786694	4.9238316	1.18	279	0	0.000472	-1256.9674818	5.1121333	0.50
232	0	0.000732	237.9164474	2.5018134	2.64	280	0	0.000472	-1.8159247	1.9997076	346.00
233	0	0.000726	542.9879468	6.0396069	1.16	281	0	0.000470	1202.9347188	1.4056112	0.52
234	0	0.000723	1725.6631536	6.0687196	0.36	282	0	0.000466	1256.2628582	4.9595816	0.50
235	0	0.000710	2876.6924424	5.6726177	0.22	283	0	0.000465	1725.3041108	0.3534963	0.36
236	0	0.000706	1255.9038153	2.8248489	0.50	284	0	0.000463	573.9157791	1.4112230	1.09
237	0	0.000704	1352.1751442	2.3009913	0.46	285	0	0.000461	617.9983076	0.5136693	1.02
238	0	0.000694	349.6032826	2.6683091	1.80	286	0	0.000458	1213.2439962	1.8801038	0.52
239	0	0.000689	468.6889408	6.2242711	1.34	287	0	0.000449	1160.9862544	4.1799896	0.54
240	0	0.000678	-548.1254919	6.2496667	1.15	288	0	0.000432	1685.8482533	1.1792564	0.37

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
289	0	0.000432	2042.6571092	6.0038292	0.31	337	0	0.000268	-22685.8238553	0.0694338	0.03
290	0	0.000430	1351.7870106	0.6858275	0.46	338	0	0.000268	614.8010770	5.1526663	1.02
291	0	0.000426	605.5549661	4.2744765	1.04	339	0	0.000267	1044.0274293	4.7301085	0.60
292	0	0.000416	-747.7522860	1.0823563	0.84	340	0	0.000265	16728.3761587	4.3693024	0.04
293	0	0.000399	1.4977854	2.0944419	419.50	341	0	0.000264	6656.7485864	4.6011012	0.09
294	0	0.000389	1.7252277	1.3957532	364.19	342	0	0.000264	1887.5525870	1.4172634	0.33
295	0	0.000387	1045.4501387	2.5411826	0.60	343	0	0.000262	83.8969288	1.3277203	7.49
296	0	0.000384	1193.3367961	5.8277815	0.53	344	0	0.000260	81.3550284	2.3894389	7.72
297	0	0.000383	2195.4157609	3.7473764	0.29	345	0	0.000256	-364.6350377	0.5063648	1.72
298	0	0.000374	1799.6031168	3.3887165	0.35	346	0	0.000250	1649.6361396	0.8987698	0.38
299	0	0.000368	-575.6908003	0.7313743	1.09	347	0	0.000240	1248.9885629	5.6845490	0.50
300	0	0.000363	-64.0877607	5.0718210	9.80	348	0	0.000236	211.8763860	1.7335788	2.97
301	0	0.000362	2908.8811416	3.2159770	0.22	349	0	0.000234	586.7523359	5.5752091	1.07
302	0	0.000362	-453.5059437	1.5838496	1.39	350	0	0.000234	511.3487599	1.7160907	1.23
303	0	0.000352	574.9861767	3.0002980	1.09	351	0	0.000228	3301.9021112	4.6569855	0.19
304	0	0.000342	613.2028180	4.3222386	1.02	352	0	0.000227	628.7008003	2.9118916	1.00
305	0	0.000341	1214.6667056	4.7006580	0.52	353	0	0.000225	1646.0333530	2.5964518	0.38
306	0	0.000338	606.5844601	0.8777761	1.04	354	0	0.000223	1980.0945956	3.0693274	0.32
307	0	0.000336	-238.8894020	5.3537960	2.63	355	0	0.000222	590.5702242	3.7319903	1.06
308	0	0.000332	2019.9094960	1.6529014	0.31	356	0	0.000222	1182.3161639	1.9423866	0.53
309	0	0.000331	1805.2929543	0.5667906	0.35	357	0	0.000220	-13.5625325	1.7654303	46.33
310	0	0.000331	607.3708908	4.0078812	1.03	358	0	0.000216	630.3851245	3.8629423	1.00
311	0	0.000330	1055.7594161	3.7100437	0.60	359	0	0.000211	575.6566279	3.7893928	1.09
312	0	0.000329	626.8848756	3.0338277	1.00	360	0	0.000209	-1098.8808158	2.6361401	0.57
313	0	0.000325	1567.1081759	2.1788505	0.40	361	0	0.000209	575.0203491	1.6619435	1.09
314	0	0.000325	2059.7243963	0.1800444	0.31	362	0	0.000208	-22.7526189	4.1278838	27.62
315	0	0.000323	1259.2450020	1.0722628	0.50	363	0	0.000206	7.0328180	5.9340761	89.34
316	0	0.000318	70.9933048	5.9412071	8.85	364	0	0.000205	-627.9485421	1.8293627	1.00
317	0	0.000318	13.8517497	2.2532530	45.36	365	0	0.000205	628.6666279	1.7428823	1.00
318	0	0.000311	691.5859589	1.6935742	0.91	366	0	0.000204	22.7476133	5.6361927	27.62
319	0	0.000305	938.8005909	0.5783402	0.67	367	0	0.000203	158.1959348	5.5498536	3.97
320	0	0.000304	-182.3175189	3.4090352	3.45	368	0	0.000200	564.2198243	1.0161158	1.11
321	0	0.000301	10.9945689	0.5109221	57.15	369	0	0.000200	680.5653268	0.8682210	0.92
322	0	0.000301	4323.2306658	6.2053112	0.15	370	0	0.000198	2593.4124331	3.8327031	0.24
323	0	0.000301	608.0822455	2.1353962	1.03	371	0	0.000197	-7.0849445	4.6907025	88.68
324	0	0.000299	31642.8228673	5.3845937	0.02	372	0	0.000197	53.3623118	1.0489829	11.77
325	0	0.000297	2407.2921470	1.9972494	0.26	373	0	0.000195	406.1219215	3.3084634	1.55
326	0	0.000294	-37.7373608	3.7087842	16.65	374	0	0.000191	1066.0686935	5.4055160	0.59
327	0	0.000292	74.2990061	2.7143336	8.46	375	0	0.000191	41.5552491	4.4011656	15.12
328	0	0.000292	1234.5739058	4.0960941	0.51	376	0	0.000191	614.4558353	5.0203934	1.02
329	0	0.000290	977.9108676	1.8123204	0.64	377	0	0.000190	2929.6615390	4.1756585	0.21
330	0	0.000290	309.7883823	4.0752916	2.03	378	0	0.000189	523.7921014	5.2453130	1.20
331	0	0.000285	-53.3214083	4.6873132	11.78	379	0	0.000189	15.3778810	4.8123726	40.86
332	0	0.000284	563.6065017	5.6553858	1.11	380	0	0.000188	1311.9721103	2.0321958	0.48
333	0	0.000280	1235.9966152	0.7108725	0.51	381	0	0.000188	147.8866574	5.6868658	4.25
334	0	0.000280	2823.7233459	5.3048291	0.22	382	0	0.000187	4716.2516355	1.3543719	0.13
335	0	0.000276	2.4298514	0.7702994	258.58	383	0	0.000187	1191.9140867	2.6294566	0.53
336	0	0.000271	1309.5842665	3.2089122	0.48	384	0	0.000185	-20.9366942	4.6947566	30.01

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
385	0	0.000184	-493.3208440	3.3274769	1.27	430	0	0.000131	621.1263197	0.0850770	1.01
386	0	0.000181	1077.0893256	1.9994821	0.58	431	0	0.000130	-588.8449965	4.5276811	1.07
387	0	0.000180	608.4003849	0.6021822	1.03	432	0	0.000130	1129.3470674	0.9390394	0.56
388	0	0.000180	-34.8924420	2.4909021	18.01	433	0	0.000129	169.2165670	0.3514073	3.71
389	0	0.000175	512.7714693	4.7284433	1.23	434	0	0.000129	-8.5827299	2.5406351	73.21
390	0	0.000171	654.6159773	1.1828080	0.96	435	0	0.000128	938.0959673	3.2238443	0.67
391	0	0.000169	2099.5392966	2.1690806	0.30	436	0	0.000128	-652.5804454	3.8034200	0.96
392	0	0.000168	1672.3350143	0.0278606	0.38	437	0	0.000126	565.7405658	5.1465923	1.11
393	0	0.000167	14.6594252	0.7599691	42.86	438	0	0.000126	588.1403728	5.5775025	1.07
394	0	0.000166	2314.1558383	3.4541327	0.27	439	0	0.000126	1130.0584221	3.4852807	0.56
395	0	0.000165	-766.8637425	4.2982121	0.82	440	0	0.000123	1940.2796953	4.5380744	0.32
396	0	0.000163	1778.2732073	4.9605931	0.35	441	0	0.000123	210.7034508	1.7286273	2.98
397	0	0.000162	968.3594581	5.7200924	0.65	442	0	0.000123	606.6595361	4.5170995	1.04
398	0	0.000162	625.4626663	1.4351321	1.00	443	0	0.000121	3694.9230808	6.0723321	0.17
399	0	0.000161	12.7471797	2.8625747	49.29	444	0	0.000121	13.7033024	4.5391082	45.85
400	0	0.000159	1673.7577237	3.6006915	0.38	445	0	0.000121	-54.3918059	6.1094295	11.55
401	0	0.000158	16309.6180361	2.9571285	0.04	446	0	0.000120	5.2596640	0.9485163	119.46
402	0	0.000157	619.7248551	1.2843759	1.01	447	0	0.000119	1002.7903196	3.2174312	0.63
403	0	0.000154	9.5979227	3.3668906	65.46	448	0	0.000119	632.1208886	2.5474963	0.99
404	0	0.000152	-572.9506447	0.7341175	1.10	449	0	0.000119	2280.5735566	2.8690406	0.28
405	0	0.000151	427.4518311	4.4043591	1.47	450	0	0.000118	2274.3409380	4.8811231	0.28
406	0	0.000151	1662.7370915	3.9857021	0.38	451	0	0.000117	607.2958148	0.3663246	1.03
407	0	0.000149	1172.0068865	0.6597219	0.54	452	0	0.000117	-624.5048177	5.3795190	1.01
408	0	0.000148	-641.8140930	3.3841050	0.98	453	0	0.000115	-52.5758812	5.8952222	11.95
409	0	0.000148	15.1047670	3.7991096	41.60	454	0	0.000115	6.5220371	3.5049148	96.34
410	0	0.000146	-417.6041342	4.6600085	1.50	455	0	0.000114	72.8762967	0.5207918	8.62
411	0	0.000146	1108.0171579	3.3696954	0.57	456	0	0.000113	5109.2726051	2.7914831	0.12
412	0	0.000146	-7.7750544	3.1215766	80.81	457	0	0.000113	-787.5671864	2.7257711	0.80
413	0	0.000146	579.2741761	0.7084266	1.08	458	0	0.000113	733.0728427	0.6563721	0.86
414	0	0.000146	448.7817406	4.8152970	1.40	459	0	0.000113	-627.7552926	2.7889041	1.00
415	0	0.000144	-66.4756045	5.3813669	9.45	460	0	0.000112	1609.7679950	3.5890263	0.39
416	0	0.000143	670.9674041	4.3176256	0.94	461	0	0.000109	417.1425537	4.0333381	1.51
417	0	0.000142	8378.3548222	2.9363147	0.07	462	0	0.000109	136.8660253	0.0147305	4.59
418	0	0.000141	621.9339952	0.6790687	1.01	463	0	0.000108	-1253.9853380	3.7161338	0.50
419	0	0.000140	1845.1078547	0.6420491	0.34	464	0	0.000107	1606.2184526	4.0665200	0.39
420	0	0.000139	2353.9707386	2.0281954	0.27	465	0	0.000107	534.1013788	0.2882319	1.18
421	0	0.000138	21.0117702	2.5642161	29.90	466	0	0.000106	562.1842923	1.8153233	1.12
422	0	0.000138	601.6468808	6.0961890	1.04	467	0	0.000104	-56.8821874	2.2057345	11.05
423	0	0.000138	628.1591377	2.7974503	1.00	468	0	0.000104	981.4604100	1.9599672	0.64
424	0	0.000138	197.5492546	2.3146085	3.18	469	0	0.000103	632.1103523	2.4404211	0.99
425	0	0.000135	620.5325306	1.6380540	1.01	470	0	0.000103	90.9818733	2.8127454	6.91
426	0	0.000134	1234.1806904	2.5985768	0.51	471	0	0.000101	624.7911760	3.4413470	1.01
427	0	0.000133	6447.1991241	6.0564041	0.10	472	0	0.000101	179.0642638	1.9657460	3.51
428	0	0.000133	-533.1357444	5.4097019	1.18	473	0	0.000101	269.9734819	5.4816032	2.33
429	0	0.000131	1361.3804277	4.0057329	0.46	474	0	0.000101	11.1430161	5.7110337	56.39

Table 2.3. (fin).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
1	1	10.215672	628.3075850	4.2490320	1.00	46	1	0.000305	564.3178564	1.3626344	1.11
2	1	0.170681	1256.6151700	4.2059042	0.50	47	1	0.000303	41.9484644	5.2864738	14.98
3	1	0.026967	21.3299095	3.4002905	29.46	48	1	0.000299	469.0479836	6.2358721	1.34
4	1	0.026592	52.9690965	5.8360474	11.86	49	1	0.000297	681.2766815	1.5830127	0.92
5	1	0.021057	-0.3523118	6.2627383	1783.42	50	1	0.000293	521.6580373	2.3199513	1.20
6	1	0.007800	522.3693920	4.6703442	1.20	51	1	0.000289	586.3591206	0.0951976	1.07
7	1	0.005915	2.6298320	1.0830447	238.92	52	1	0.000266	315.4687085	2.4874479	1.99
8	1	0.005476	157.7343542	4.5348002	3.98	53	1	0.000259	1235.2852605	1.9919358	0.51
9	1	0.003442	-39.8149003	5.9800774	15.78	54	1	0.000257	80.1820931	3.4256115	7.84
10	1	0.003359	550.7553239	5.9801623	1.14	55	1	0.000250	643.8496249	2.9947798	0.98
11	1	0.003209	1884.9227550	4.1629135	0.33	56	1	0.000244	1044.7387840	2.3471392	0.60
12	1	0.002920	585.6477659	0.6238119	1.07	57	1	0.000243	523.0807467	3.0847528	1.20
13	1	0.002776	15.5420399	3.7453181	40.43	58	1	0.000205	708.4896781	0.5263239	0.89
14	1	0.002519	574.6271338	2.9803305	1.09	59	1	0.000189	803.1092263	3.5690037	0.78
15	1	0.002498	576.0498432	2.4679137	1.09	60	1	0.000180	-7143.0695618	2.1922960	0.09
16	1	0.002300	-79.6298007	1.1744118	7.89	61	1	0.000178	0.3932153	5.1804337	1597.90
17	1	0.002177	20.6185548	3.8547875	30.47	62	1	0.000174	627.9552732	0.0874840	1.00
18	1	0.001792	-77.5522611	1.0920660	8.10	63	1	0.000174	584.9364112	0.4175584	1.07
19	1	0.001379	42.6598191	2.6998320	14.73	64	1	0.000170	-159.2596014	3.9970977	3.95
20	1	0.001328	606.2663208	5.8458019	1.04	65	1	0.000169	-470.5732308	4.6417792	1.34
21	1	0.001287	607.6890302	5.3334257	1.03	66	1	0.000168	3.8133036	4.1645294	164.77
22	1	0.001215	105.9381930	6.2228745	5.93	67	1	0.000164	842.9241266	2.1806196	0.75
23	1	0.001177	1203.6460735	2.2928321	0.52	68	1	0.000163	763.2943260	4.9684457	0.82
24	1	0.001108	-0.7113547	5.1547250	883.27	69	1	0.000146	429.2330833	1.3560981	1.46
25	1	0.001014	469.4002955	4.0440138	1.34	70	1	0.000144	1149.9656223	0.9743879	0.55
26	1	0.001008	52.2577418	0.7493203	12.02	71	1	0.000144	2.0355319	3.8954394	308.68
27	1	0.000936	548.6777843	3.4160814	1.15	72	1	0.000137	1414.3495242	3.9875766	0.44
28	1	0.000863	627.5962303	4.5620602	1.00	73	1	0.000136	1151.3883317	0.4955723	0.55
29	1	0.000859	1097.7078805	2.7771526	0.57	74	1	0.000134	723.4794256	0.0904543	0.87
30	1	0.000816	-22.0412642	5.8068915	28.51	75	1	0.000126	683.6645253	1.5090694	0.92
31	1	0.000775	254.4314420	1.6031971	2.47	76	1	0.000117	10.3092774	2.8384968	60.95
32	1	0.000767	214.6165416	3.0002004	2.93	77	1	0.000116	416.4311990	3.4083878	1.51
33	1	0.000710	7.4781599	0.4437258	84.02	78	1	0.000109	606.9776755	3.6179427	1.04
34	1	0.000618	-53.6804512	1.3026428	11.70	79	1	0.000101	-625.6777530	0.6618265	1.00
35	1	0.000609	174.8016413	4.4037652	3.59	80	1	0.000101	1778.9845620	0.2863502	0.35
36	1	0.000598	-119.4447010	2.5834726	5.26	81	1	0.000101	63.9897286	1.6107621	9.82
37	1	0.000582	508.8628840	4.8277235	1.23						
38	1	0.000526	55.3569403	2.3361073	11.35						
39	1	0.000494	-628.6598968	0.2683052	1.00						
40	1	0.000477	134.9867410	5.8086367	4.65						
41	1	0.000469	-24.2728604	5.1548906	25.89						
42	1	0.000423	95.1718406	0.9311722	6.60						
43	1	0.000340	-235.2866154	2.5521899	2.67						
44	1	0.000321	-0.7046237	1.8637965	891.71						
45	1	0.000306	943.7762935	4.2264206	0.67						
						1	3	0.000143	628.3075850	1.1314536	1.00
						2	2	0.004065	0.0000000	4.7123890	
						3	2	0.001226	1256.6151700	2.4381406	0.50
						4	2	0.000195	21.3299095	1.6421870	29.46
						5	2	0.000169	52.9690965	4.5109593	11.86
						6	2	0.000134	-0.3523118	1.5022103	1783.42

CHAPITRE 3

SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

A. FIENGA (3.1 & 3.3), V.A. BRUMBERG (3.2), F. ARIAS (3.4), Z. ALTAMIMI (3.5), N. CAPITAINE (3.6)

3.1. INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

L'étude des mouvements et des positions des astres nécessite la définition et la construction de systèmes de coordonnées spatiales et temporelles. Or le mouvement et la position ne sont pas des concepts absolus et ils ne peuvent être décrits que par rapport à une référence. Mathématiquement, on peut définir un système d'axes et de coordonnées devant respecter telles ou telles propriétés. Ce système d'axes défini par un concept mathématique est nommé *système de référence*. Physiquement, au cours d'une observation, il est beaucoup plus difficile de construire un système permettant l'estimation d'une position car les coordonnées des objets observés doivent être quantifiables aisément. Des objets physiques de référence (anciennement des étoiles brillantes, de nos jours des objets extragalactiques), observables dans les mêmes conditions que l'objet étudié, sont choisis pour matérialiser des directions et des axes de coordonnées. Une mesure de position revient alors à une mesure relative de distance entre l'objet étudié et les objets de référence. L'ensemble de ces objets de référence, les directions axiales définies par leur intermédiaire ainsi que leur origine constituent *un repère de référence*. Le critère de sélection des objets de référence donne ses caractéristiques au repère (rotationnel avec des étoiles brillantes, inertiel avec des objets extragalactiques). Nous verrons dans ce chapitre, comment il est possible de mettre en place des outils permettant d'établir des liens entre un système d'axes défini conceptuellement et des objets physiques observés par différentes techniques.

En mécanique newtonienne, le concept idéal permettant de décrire au mieux le mouvement est celui de *système de référence inertiel* pour les coordonnées spatiales et d'*échelle de temps uniforme* pour la coordonnée temporelle. Dans un système inertiel et pour une échelle de temps uniforme, l'accélération d'un point matériel est proportionnelle à la somme des forces newtoniennes exercées sur lui. Deux systèmes inertiels se déduisent l'un de l'autre par un mouvement de translation de vitesse constante et deux variables de temps uniforme se déduisent l'une de l'autre par une translation affine. Cependant, face aux améliorations permanentes des techniques d'observation, il n'est plus possible actuellement de développer des théories dynamiques purement newtoniennes. Il faut adopter une théorie relativiste de la gravitation et mettre en place de nouvelles solutions dynamiques dans un tel cadre, ou bien, en se plaçant dans la configuration des vitesses faibles et de champs faible, introduire des corrections relativistes. Or, dans le cadre de la relativité générale, il n'y a plus de véritable séparation entre les coordonnées spatiales et temporelle. Il devient alors nécessaire de définir de nouveaux concepts de systèmes de référence et d'échelles de temps. Dans le paragraphe 3.2, de tels systèmes et échelles de temps sont présentés et des relations entre les différents systèmes de référence sont établies.

Dans la pratique, l'observateur ou l'utilisateur d'éphémérides est essentiellement concerné par les repères de référence, matérialisations physiques des systèmes de références (voir paragraphe 3.3). Comme toute matérialisation physique, ces repères présentent des imperfections et les progrès des techniques d'observation et des théories de mécanique céleste nécessitent l'établissement de nouveaux repères de référence. Ainsi au paragraphe 3.3, sont présentés les divers repères et systèmes de référence conventionnels déduits des solutions analytiques et numériques du mouvement de la Terre, des planètes de notre système solaire et de la Lune. Au paragraphe 3.4, on présente le système de référence céleste international, l'ICRS et ses matérialisations physiques, notamment l'ICRF mis en place à partir d'observations VLBI d'objets très lointains (quasars) et ne présentant pas de mouvements propres à la précision des observations actuelles. L'ICRS est le premier système de référence ayant une matérialisation, l'ICRF, quasi inertielle. Dans le cas d'observations géodésiques ou géophysiques, on cherchera à modéliser des mouvements de points à la surface de la Terre ou dans son environnement immédiat. Un système de référence terrestre devra alors représenter au mieux la surface de la Terre et sera tel que la croûte terrestre ne doit avoir ni rotation ni translation d'ensemble. Le paragraphe 3.5 explique comment a été construit un tel système international, l'ITRS, et comment une matérialisation physique satisfaisante, l'ITRF, a été mise en place.

Enfin, lors d'observations d'objets célestes ou artificiels réalisées depuis le sol, il est nécessaire d'établir des liens entre le lieu d'observation et les coordonnées observées localement dans le système de référence terrestre et les coordonnées du même objet dans le système de référence céleste choisi pour décrire son mouvement. Le paragraphe 3.6 indique quelles sont les deux procédures existantes permettant le lien entre l'ICRS et l'ITRS.

3.2. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE RELATIVISTES

3.2.1. Historique des résolutions de l'Union Astronomique Internationale (UAI)

Les recommandations de l'UAI portant sur les systèmes de référence définis à partir de la *théorie de la relativité générale* (GRT) ont été formulées, pour la première fois, au cours d'intenses discussions lors du colloque 127 de l'UAI en 1990 (UAI, 1991). Un an plus tard, ces recommandations ont été approuvées par la vingt et unième assemblée générale de l'UAI, en 1991, sous la forme de la résolution A4 (UAI, 1992) ainsi que par l'Union Internationale de Géodésie et Géophysique par l'intermédiaire de sa recommandation 2 (IERS, 1992). Sur la base de ces deux résolutions, deux systèmes de référence, l'ICRS (International Celestial Reference System) et l'ITRS (International Terrestrial Reference System) peuvent être considérés comme des systèmes de référence relativistes à quatre dimensions reliés entre eux par une transformation relativiste à quatre dimensions (transformation de Lorentz généralisée) avec une rotation triaxiale complémentaire des axes de coordonnées spatiales. Les échelles de temps associées à l'ICRS et à l'ITRS sont le TCB (Temps coordonnée barycentrique) et le TCG (Temps coordonnée géocentrique), respectivement (*cf.* chapitre 2). Ces systèmes de référence sont réalisés physiquement par les repères de référence ICRF (International Celestial Reference Frame) et ITRF (International Terrestrial Reference Frame), respectivement. Ces repères sont maintenus par l'IERS (International Earth rotation and Reference systems Service). L'ICRF est matérialisé par un ensemble de quasars de référence, de coordonnées angulaires constantes par rapport au TCB. On peut considérer ce système comme déterminé expérimentalement par les observations VLBI (Very Long Baseline Interferometry) des quasars de référence sans faire intervenir aucun concept d'astronomie fondamentale (pour des raisons pratiques, on a choisi pour plan de l'ICRF un plan voisin de celui de l'équateur moyen de J2000). L'ITRF est matérialisé par un ensemble de stations terrestres de référence de coordonnées constantes par rapport au TCG (à l'exception des mouvements tectoniques). On a choisi le plan principal de ce repère comme plan de l'équateur de la date déterminé à partir des données expérimentales extraites des EOP (Earth Orientation Parameters).

L'ICRS représente mathématiquement un système de coordonnées global BCRS (Barycentric Celestial Reference System) dont l'origine est au barycentre du système solaire (défini dans le cadre de la GRT). Ce système englobe un espace dans lequel il est raisonnable de considérer le système solaire comme un système de masses isolé (en négligeant l'influence du potentiel galactique) dont l'émission de radiation gravitationnelle est négligeable. Dans ce cadre, l'ICRF est équivalent au système inertiel de l'astrométrie newtonienne. L'ITRS représente un système de coordonnées local tournant avec la Terre. Il englobe une région de l'espace dans le voisinage de la Terre et son origine est au géocentre (défini dans le cadre de la GRT).

Il est à noter que la résolution A4 (UAI, 1992) n'a jamais été utilisée dans la pratique sous sa forme complète. L'ICRS et l'ITRS sont en fait utilisés comme des systèmes de coordonnées triaxiaux newtoniens. Le TCB et le TCG sont remplacés en pratique par le TDB (Temps dynamique barycentrique) ou son équivalent le T_{eph} défini par Standish (1998a) et le TT (Temps terrestre),

respectivement. Cependant les transformations relativistes reliant le TDB au TT d'une part, et les coordonnées spatiales barycentriques aux coordonnées géocentriques d'autre part, sont utilisées dans des observations de haute précision (VLBI, LLR (Lunar Laser Ranging), etc). Dans la dernière décennie du vingtième siècle, les résolutions de l'UAI adoptées en 1991 furent complétées à chaque assemblée générale de l'UAI. La résolution C7 (UAI, 1994), définissant l'époque J2000 et la durée du siècle julien en TT, recommandait aussi le développement de nouvelles éphémérides en TCB et TCG. La résolution B6 (UAI, 1997) recommandait encore une fois l'usage de systèmes de référence barycentrique et géocentrique en accord avec la résolution A4 (UAI, 1992), c'est-à-dire sans introduire les facteurs d'échelle de longueur et de masse qu'entraîne l'utilisation du TDB et du TT à la place du TCB et du TCG, respectivement. Enfin, la vingt-quatrième assemblée générale adopta la résolution B1 (UAI, 2001) qui impliquait des utilisations plus importantes de certains aspects de la GRT dans la théorie des systèmes de référence astronomiques (Petit, 2000). On peut voir à ce sujet les commentaires de Brumberg et Groten (2001), l'explication détaillée de Soffel et al. (2003) et la discussion sur les applications pratiques de cette résolution dans (IERS, 2002).

3.2.2. Relation entre les systèmes de référence BCRS et ITRS

Pour relier le BCRS et l'ITRS, il est nécessaire d'avoir un système géocentrique local supplémentaire avec la même échelle de temps, le TCG, que celle utilisée dans l'ITRS et les mêmes directions des axes spatiaux que le BCRS. Un tel système, noté GCRS (Geocentric Celestial Reference System), est introduit par la résolution B1.3 (UAI, 2001). Les écritures mathématiques des relations entre ces systèmes sont données en 3.2.3. Afin de respecter la hiérarchie des systèmes de référence dans le cadre de la GRT, deux points doivent être soulignés :

- Premièrement, le GCRS représente un système cinématiquement non-tournant par rapport au BCRS (conservation des directions des axes spatiaux). Mais ce système tourne dynamiquement par rapport au BCRS (présence de termes centrifuges et de Coriolis dans les équations du mouvement dans le GCRS). L'amplitude de la vitesse angulaire de cette rotation est d'ordre relativiste et est induite par le déplacement du géocentre autour du barycentre du système solaire. En fait, la transformation à quatre dimensions entre le barycentre et le géocentre peut s'appliquer à tout système barycentrique BRS soit vers un DGRS (Dynamical Geocentric Reference System), un système géocentrique dynamiquement non-tournant par rapport au BRS, soit vers un KGRS (Kinematical Geocentric Reference System), un système géocentrique cinématiquement non-tournant par rapport au BRS. Le GCRS représente un tel KGRS, plus particulièrement adapté à l'astrométrie. Les systèmes du type DGRS sont préférables pour la mécanique céleste puisqu'ils permettent d'avoir des équations géocentriques du mouvement sans termes induits par la rotation du système.
- Deuxièmement, les concepts classiques de l'astronomie fondamentale et du système de constantes astronomiques sont basés sur la mécanique newtonienne avec son temps et son espace absolus. Dans l'astronomie newtonienne, de tels concepts sont invariants lors de transformations du barycentre

au géocentre et inversement. De telles invariances n'ont plus cours en astronomie relativiste. Afin d'éviter des confusions, on doit aller plus loin que le cadre des systèmes ICRS et ITRS.

Une des possibilités envisageables est de considérer plusieurs systèmes de référence barycentriques et géocentriques, comme il avait été suggéré pour la première fois par Brumberg et al. (1996). Au niveau barycentrique, on peut considérer un système écliptique BRSC et un système équatorial BRSQ couplés à l'ICRS (BCRS, que l'on nommera dans la suite BRS). Leurs plans principaux coïncident avec les plans de l'écliptique et de l'équateur fixes à J2000. L'échelle de temps-coordonnée des trois systèmes quadridimensionnels est $t = \text{TCB}$. Leurs coordonnées dans l'espace peuvent être désignées par $\mathbf{x} = (x^i)$, $\mathbf{x}_C = (x_C^i)$ et $\mathbf{x}_Q = (x_Q^i)$, respectivement ($i = 1, 2, 3$). Au niveau géocentrique, chacun de ces trois systèmes introduit deux systèmes géocentriques, l'un dynamiquement (D) non-tournant par rapport au système barycentrique correspondant et l'autre cinématiquement non-tournant (K) par rapport à ce même système barycentrique. Il en résulte que l'on a au niveau géocentrique six systèmes géocentriques DGRS, KGRS, DGRSC, KGRSC, DGRSQ et KGRSQ. Ils ont tous comme échelle de temps-coordonnée $u = \text{TCG}$ (dans le cadre de l'approximation post-newtonienne). Leurs coordonnées spatiales sont désignées par $\mathbf{w} = (w^i)$, $\mathbf{w}_C = (w_C^i)$ et $\mathbf{w}_Q = (w_Q^i)$, respectivement. Si cela est nécessaire, les coordonnées spatiales des systèmes dynamiquement (D) non-tournant et cinématiquement (K) non-tournant peuvent être distinguées explicitement en précisant w^i avec $q = 1$ pour le système D et $q = 0$ pour le système K. Le GCRS tel qu'il est défini par la résolution B1.3 (UAI, 2001) correspond avec ces notations à KGRS. Les théories planétaires VSOP sont construites dans le BRSC (Bretagnon et Francou, 1988). La théorie de la rotation de la Terre SMART est considérée comme étant dans le DGRSC (Bretagnon et al., 1997, 1998). Le système le plus adéquat pour la représentation du mouvement d'un satellite proche de la Terre est évidemment le DGRSQ. Puisque l'écliptique ne peut être défini raisonnablement qu'au niveau barycentrique, le GRSC (quelle que soit sa version dynamiquement ou cinématiquement non-tournant) doit être considéré uniquement comme un autre système intermédiaire entre l'ICRS et l'ITRS. De la même façon, puisque l'équateur ne peut être défini raisonnablement qu'au niveau géocentrique, le BRSQ doit être considéré comme un intermédiaire supplémentaire entre l'ICRS et l'ITRS.

3.2.3. Description mathématique

La description mathématique des relations entre les systèmes de cette hiérarchie de systèmes de référence relativistes est donnée ici sous l'approximation post-newtonienne d'ordre c^{-2} .

Les systèmes au niveau barycentrique sont reliés par une rotation triaxiale constante

$$\mathbf{x}_C = P_C \mathbf{x}, \quad \mathbf{x}_Q = P_Q \mathbf{x}, \tag{3.2.1}$$

où P_C et P_Q sont des matrices de rotation constante. Cette rotation constante est aussi présente au niveau géocentrique dans les transformations entre systèmes du même type (D ou K). En comparant

les solutions planétaires VSOP construites dans le BRSC et les éphémérides numériques DE403 dans l'ICRS on a

$$P_C = R_1(\varepsilon)R_3(\chi), \quad P_Q = R_3(\chi), \quad (3.2.2)$$

où $\varepsilon = 23^\circ 26' 21.40928''$, $\chi = -0.05294''$. $R_i(\chi)$ représentent ici les matrices de rotation élémentaires (cf. 5.1.2). Des valeurs légèrement différentes de ε et χ ont été proposées par Bretagnon et al. (2003) pour la construction de futures éphémérides planétaires analytiques. Le problème de cohérence entre la hiérarchie des systèmes de référence relativistes d'une part et les théories planétaires et lunaires actuelles (numériques et analytiques) ainsi que la théorie de la rotation de la Terre d'autre part, n'est pas encore complètement résolu. En complément de (3.2.1), au niveau géocentrique, on a :

$$\mathbf{y} = \hat{P}_q(u) \mathbf{w}_q = \hat{P}_q(u) P_C \mathbf{w}_q = \hat{P}_q(u) P_C P_Q^T \mathbf{w}_Q, \quad \text{pour } q = 0 \text{ et } q = 1. \quad (3.2.3)$$

$\hat{P}(u)$ représente la matrice de rotation de la Terre donnant l'orientation des axes spatiaux $\mathbf{y} = (y^i)$ de l'ITRS par rapport aux axes spatiaux du DGRSC (pour $q = 1$) ou du KGRSC (pour $q = 0$), et l'indice T note la matrice transposée (correspondant pour la matrice de rotation à sa matrice inverse). Les relations entre les systèmes dynamiquement et cinématiquement non-tournants font intervenir une matrice symétrique de rotation géodésique de la forme :

$$\mathbf{w}_0 = (E - c^{-2}F) \mathbf{w}_1, \quad \mathbf{w}_C = (E - c^{-2}F_C) \mathbf{w}_1, \quad \mathbf{w}_Q = (E - c^{-2}F_Q) \mathbf{w}_1 \quad (3.2.4)$$

et

$$\hat{P}_1(u) = \hat{P}_0(u)(E - c^{-2}F_C), \quad (3.2.5)$$

E étant la matrice unité et $F_C = P_C F P_C^T$, $F_Q = P_Q F P_Q^T$. À la place de la matrice $F = (F^{ij})$, on utilise souvent la représentation sous forme vectorielle avec

$$F^{ij} = \varepsilon_{ijk} F^k, \quad F^i = \frac{1}{2} \varepsilon_{ijk} F^{jk}, \quad \varepsilon_{ijk} = \frac{1}{2} (i - j)(j - k)(k - i). \quad (3.2.6)$$

Nous appliquons ici, et partout dans la suite où se trouve un indice latin répété deux fois, la convention d'Einstein¹. Le vecteur de rotation géodésique F^i comprend la précession géodésique, la nutation géodésique et les termes planétaires luni-solaires (avec une modélisation de masse ponctuelle non-tournante). Il est déduit de l'intégration de l'expression :

$$\dot{F}^i = \sum_{A \neq E} \frac{GM_A}{r_{EA}^3} [(-\frac{3}{2} \mathbf{v}_E + 2 \mathbf{v}_A) \times \mathbf{r}_{EA}]^i. \quad (3.2.7)$$

¹ Selon la convention d'Einstein, toutes les fois que dans un monôme figure deux fois le même indice on doit sommer les monômes obtenus en donnant à cet indice toutes les valeurs possibles, ici de 1 à 3.

Exemple : $a^i y_i = a^1 y_1 + a^2 y_2 + a^3 y_3$.

Ici et dans la suite, nous utilisons les notations suivantes pour les coordonnées et les vitesses BRS des objets célestes :

$$\mathbf{x}_E = \mathbf{x}_E(t), \quad \mathbf{r}_E = \mathbf{x} - \mathbf{x}_E, \quad \mathbf{v}_E = \dot{\mathbf{x}}_E(t), \quad \mathbf{r}_{EA} = \mathbf{x}_E - \mathbf{x}_A. \quad (3.2.8)$$

Dans (3.2.7), la sommation est effectuée sur tous les corps A du système solaire (le Soleil, la Lune et les planètes principales), à l'exception de la Terre notée E . Bretagnon et Brumberg (2003) donnent une expression détaillée de \dot{F}^i et F^i ; Brumberg et Simon (2003) donnent les séries pour F_C^i . Puisque la théorie SMART de rotation de la Terre (Bretagnon et al., 1997, 1998) est supposée construite dans le DGRSC, les trois angles d'Euler de la matrice $\hat{P}_1(u)$ peuvent être considérés comme des EOP dynamiques. Les angles d'Euler analogues de la matrice $\hat{P}_0(u)$ liés au KGRSC et à l'ITRS peuvent être considérés comme des EOP cinématiques (quantités observables). Les différences entre ces angles d'Euler dynamiques et cinématiques, fonctions de F_C , sont aussi données par Brumberg et Simon (2003).

D'un point de vue théorique, on utilisera les descriptions mathématiques (tenseurs métriques) du BRS et GRS données par la résolution B1 (UAI, 2001) et les références contenues dans cette résolution. La plupart des applications pratiques requièrent uniquement les transformations entre BRS et GRS décrites dans la suite.

La transformation directe faisant passer des coordonnées BRS x^i à l'instant t aux coordonnées GRS w^i à l'instant u s'écrit :

$$u = t - c^{-2}[A(t) + \mathbf{v}_E \mathbf{r}_E] + \dots, \quad (3.2.9)$$

$$w^i = r_E^i + c^{-2}[\frac{1}{2}\mathbf{v}_E \mathbf{r}_E v_E^i - q\varepsilon_{ijk}F^j r_E^k + \bar{U}_E(t, \mathbf{x}_E)r_E^i + \mathbf{a}_E \mathbf{r}_E r_E^i - \frac{1}{2}\mathbf{r}_E^2 a_E^i] + \dots \quad (3.2.10)$$

où r_E^i représente les coordonnées du vecteur \mathbf{r}_E . La fonction $A(t)$ est définie par l'équation différentielle

$$\dot{A}(t) = \frac{1}{2}\mathbf{v}_E^2 + \bar{U}_E(t, \mathbf{x}_E), \quad (3.2.11)$$

\mathbf{a}_E est le terme principal de l'accélération BRS de la Terre et $\bar{U}_E(t, \mathbf{x}_E)$ représente le potentiel newtonien de tous les objets du système solaire (sauf la Terre), évalué au géocentre. Dans l'approximation de masse ponctuelle, suffisante pour le calcul pratique des termes relativistes on a :

$$\mathbf{a}_E = - \sum_{A \neq E} \frac{GM_A}{r_{EA}^3} \mathbf{r}_{EA}, \quad \bar{U}_E(t, \mathbf{x}_E) = \sum_{A \neq E} \frac{GM_A}{r_{EA}}. \quad (3.2.12)$$

On note que l'équation (3.2.11) est donnée dans la résolution B1 (UAI, 2001) à l'approximation d'ordre c^{-4} (UAI, 2001 ; Soffel et al., 2003). Afin d'éviter des complications purement techniques, l'exposé est ici limité au modèle des masses ponctuelles non-tournantes et l'approximation d'ordre c^{-2} est, dans la pratique, suffisante pour les applications actuelles. La relation (3.2.10) est valide aussi bien pour les transformations du BRS vers un système cinématiquement non-tournant KGRS pour $q = 0$ (ce qui correspond à la transformation BCRS→GCRS selon la terminologie de la résolution B1), que pour les transformations du BRS vers un système dynamiquement non-tournant DGRS pour $q = 1$. Toutefois, pour simplifier l'écriture, nous n'écrivons pas l'indice inférieur q pour les coordonnées géocentriques w^i .

La transformation inverse faisant passer des coordonnées GRS w^i à l'instant u aux coordonnées BRS x^i à l'instant t s'écrit

$$t = u + c^{-2}[A(u) + \mathbf{v}_E \mathbf{w}] + \dots, \quad (3.2.13)$$

$$x^i = w^i + z_E^i(u) + c^{-2}[\frac{1}{2}\mathbf{v}_E \mathbf{w} v_E^i + q\varepsilon_{ijk}F^j w^k - \bar{U}_E(t, \mathbf{x}_E)w^i - \mathbf{a}_E \mathbf{w} w^i + \frac{1}{2}\mathbf{w}^2 a_E^i] + \dots \quad (3.2.14)$$

avec l'équation du temps relativiste

$$u = t^* - c^{-2}A(t^*) + \dots, \quad (3.2.15)$$

et la représentation du mouvement de la Terre en TCG

$$z_E^i(u) = x_E^i(t^*). \quad (3.2.16)$$

Pour effectuer la transformation directe via les équations (3.2.9) et (3.2.10), on doit connaître la fonction $A = A(t)$ en intégrant numériquement ou analytiquement (3.2.11). Pour la transformation inverse via (3.2.13) et (3.2.14), on obtient les deuxièmes membres de ces équations en fonction de u par inversion analytique ou numérique de l'équation (3.2.15) et obtention de la relation $t^* = t^*(u)$. L'équation (3.2.15) est déduite de la transformation (3.2.9) appliquée au géocentre.

La fonction temporelle $A(t)$ et le vecteur de rotation géodésique $F^i(t)$ sont uniquement définis à partir de leurs dérivées en fonction du temps (3.2.11) et (3.2.7), respectivement. Il faut donc déterminer des constantes additionnelles arbitraires par des considérations complémentaires. Pour $A(t)$, il est raisonnable de définir la constante de telle façon que $t = u$ le 1er janvier 1977 à 0h 0m 0s TAI (JD=2443144.5 TAI) au géocentre (origine 1977) comme cela a été suggéré par Guinot (2000), en accord avec la résolution A4 (UAI, 1992). Pour les constantes de $F^i(t)$, Bretagnon et Brumberg (2003) et Brumberg et Simon (2004) ont imposé la condition $F^i = 0$ à J2000 (l'époque est définie au géocentre au 1.5 janvier 2000 TT, soit JD = 2451545.0 TT). Cela n'affecte pas la relation entre BCRS et GCRS mais cela est important pour la définition des DGRS, c'est-à-dire les systèmes géocentriques dynamiquement non-tournants.

La fonction $A(t)$ satisfaisant (3.2.11) est habituellement représentée sous la forme donnée par Fairhead et Bretagnon (1990), comme il est indiqué au paragraphe 2.7.1,

$$A(t) = c^2 L_C t + A_p(t), \quad (3.2.17)$$

où la constante L_C dépend des théories planétaires ($L_C = 1.480\,826\,855\,667 \times 10^{-8}$ pour les solutions VSOP) et où $A_p(t)$ est déterminé numériquement ou analytiquement sous la forme

$$A_p(t) = \sum_{\alpha} t^{\alpha} \left[\sum_k A_k^{\alpha} \cos(\psi_k^{\alpha} + \nu_k^{\alpha} t) \right]. \quad (3.2.18)$$

À la différence de la plupart des solutions précédentes, Bretagnon et Brumberg (2003) donnent cette fonction $A_p(t)$, en introduisant une constante additionnelle, comme discuté précédemment. À partir de (3.2.17), on peut transformer (3.2.15) en

$$u = (1 - L_C)t^* - c^{-2}A_p(t^*) + \dots \quad (3.2.19)$$

Dans ce cas, l'inversion de (3.2.15) peut s'écrire

$$t^* = (1 + L_C)u + c^{-2}A_p(u) + \dots, \quad (3.2.20)$$

d'où l'on déduit

$$z_E^i(u) = x_E^i[(1 + L_C)u] + c^{-2}A_p(u)v_E^i(u) + \dots \quad (3.2.21)$$

(dans le cadre de la précision post-newtonienne, on peut négliger les différences relativistes dans les arguments des termes relativistes).

Des séries pour tous les coefficients nécessaires pour exprimer les transformations directe et inverse BRS→GRS sont calculées avec les éphémérides VSOP par Bretagnon et Brumberg (2003). Si l'on considère que TCB et TCG sont souvent remplacés par TDB (ou T_{eph}) et TT, respectivement, toutes les formules de base (3.2.9), (3.2.10), (3.2.13), (3.2.14), (3.2.20) et (3.2.21) sont données dans la suite pour les quatre combinaisons possibles d'échelles de temps.

En relation avec la transformation BRS↔GRS, notons que la fonction $z_E^i(u)$ déterminée par (3.2.21) ainsi que la fonction similaire $z_A^i(u) = x_A^i(t^*)$ déterminée de la même façon pour tout corps A sont importantes pour le calcul des vecteurs position géocentriques $\mathbf{w}_A(u)$ des objets célestes en fonction de leurs coordonnées BRS $\mathbf{x}_A(t)$. En notant $\mathbf{r}_{AE} = \mathbf{x}_A - \mathbf{x}_E$ et en utilisant les fonctions $z_E^i(u)$, $z_A^i(u)$, on obtient

$$\begin{aligned} w_A^i(u) = & z_A^i(u) - z_E^i(u) + c^{-2}[\mathbf{v}_E \mathbf{r}_{AE} (v_A^i - \frac{1}{2}v_E^i) - q\varepsilon_{ijk} F^j r_{AE}^k + \bar{U}_E(t, \mathbf{x}_E) r_{AE}^i + \\ & + \mathbf{a}_E \mathbf{r}_{AE} r_{AE}^i - \frac{1}{2} \mathbf{r}_{AE}^2 a_E^i] + \dots \end{aligned} \quad (3.2.22)$$

Cette transformation a été utilisée par Brumberg et Simon (2003) pour exprimer les arguments des théories lunaires et planétaires du BRS vers le GRS et pour obtenir les termes relativistes principaux dus à la Lune et au Soleil, dans la théorie SMART de la rotation de la Terre. Comme le montre l'équation (3.2.3), la transformation courante ITRS↔GCRS est une rotation triaxiale newtonienne des axes spatiaux de ces systèmes (y^i et w_0^i respectivement). Si $\hat{P}_0(u)$ est la matrice de rotation de la Terre liant l'ITRS et le KGRSC (le système de référence écliptique géocentrique cinématiquement non-tournant) et \mathbf{y} , le triplet des coordonnées spatiales de l'ITRS, alors la transformation ITRS↔GCRS a la forme

$$\mathbf{y} = T \mathbf{w}_0, \quad T = \hat{P}_0(u) P_C. \quad (3.2.23)$$

Différentes formes de la matrice de rotation T ont été considérées par Bretagnon et Brumberg (2003). L'extension relativiste de la théorie SMART développée par Brumberg et Simon (2003) permet d'avoir des valeurs relativistes des trois angles d'Euler définissant la matrice $\hat{P}_0(u)$ et d'évaluer les contributions relativistes dans la transformation de formalisme newtonien (3.2.23).

3.3. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE DYNAMIQUES

3.3.1. Introduction

Un *système de référence idéal* est défini par l'énoncé d'un principe général que devra vérifier un système d'axes de coordonnées. Un *système de référence conventionnel* qui associe au principe de base du système de référence idéal des constantes fondamentales et des modèles nécessaires à sa réalisation, permet la description quantitative des positions et mouvements de la Terre (système terrestre), ou de corps célestes (incluant la Terre) dans l'espace. La construction d'un tel système conventionnel implique le choix de structures dans lesquelles les mouvements peuvent être décrits par le biais de théories physiques. La définition d'un *repère* (ensemble de points, d'objets ou de coordonnées reliés entre eux et permettant de repérer un point ou un objet dans l'espace) mais aussi les théories utilisées et les échelles de temps associées (*cf.* 3.2) pour la définition de ce système de coordonnées (précession, nutation, éphémérides planétaires, etc.) composent la structure d'un système de référence conventionnel. Les choix pour les définitions d'un système de référence idéal et des systèmes conventionnels associés ne sont pas uniques. Cependant, on peut demander à un système de référence qu'il permette l'écriture sans ambiguïté des équations du mouvement des corps dont les coordonnées sont décrites dans le repère associé. Ce qui implique, dans le cadre de la mécanique newtonienne, que la description des positions et du mouvement d'un objet dans le système de référence n'introduise pas de termes additionnels dans les équations du mouvement. Répondant à ces critères, il existe deux définitions possibles de systèmes de référence :

- Les systèmes de référence cinématiques sont basés sur l'étude statistique des mouvements de corps lointains, galaxies lointaines et quasars, du seul point de vue cinématique. On suppose dans cette définition que l'Univers est non-tournant et que les objets très lointains tels que les quasars n'ont pas de vitesse de groupe. Un tel système, aussi appelé système de référence idéalement *non-tournant* (Kovalevsky et Mueller, 1989), est essentiellement basé sur la cinématique supposée aléatoire de ces objets lointains. L'ICRS répond à cette définition de système de référence cinématique. Il est d'ailleurs le premier système de référence pouvant remplir ce critère. L'ICRF sera appelé réalisation primaire de l'ICRS, puisque c'est lui qui a matérialisé initialement l'ICRS et puisque c'est à lui que seront liés tous les autres repères cinématiques ou dynamiques. Le catalogue Hipparcos lié à l'ICRF par l'observation par le satellite Hipparcos de sources extragalactiques sera une des réalisations secondaires de l'ICRS dans le domaine visible (Kovalevsky et al., 1997). À l'ICRS, seront associés un ensemble de constantes fondamentales et de modèles, permettant de définir un système de référence conventionnel associé ou confondu dans sa dénomination à l'ICRS.

- Les systèmes de référence dynamiques sont basés sur l'étude dynamique des corps célestes, c'est-à-dire sur la résolution des équations différentielles de leur mouvement, soit dans le cadre newtonien, soit dans le cadre relativiste. Ainsi, en supposant un certain nombre de corps, leur mouvement peut être décrit dans le cadre de la mécanique newtonienne par la résolution d'un système d'équations différentielles écrites dans un repère triaxial fixe. À partir de ces équations, certains points et directions invariants sont définis. Il est alors possible d'utiliser ces invariants (par exemple le barycentre du système solaire d'accélération nulle ou l'axe invariant du moment

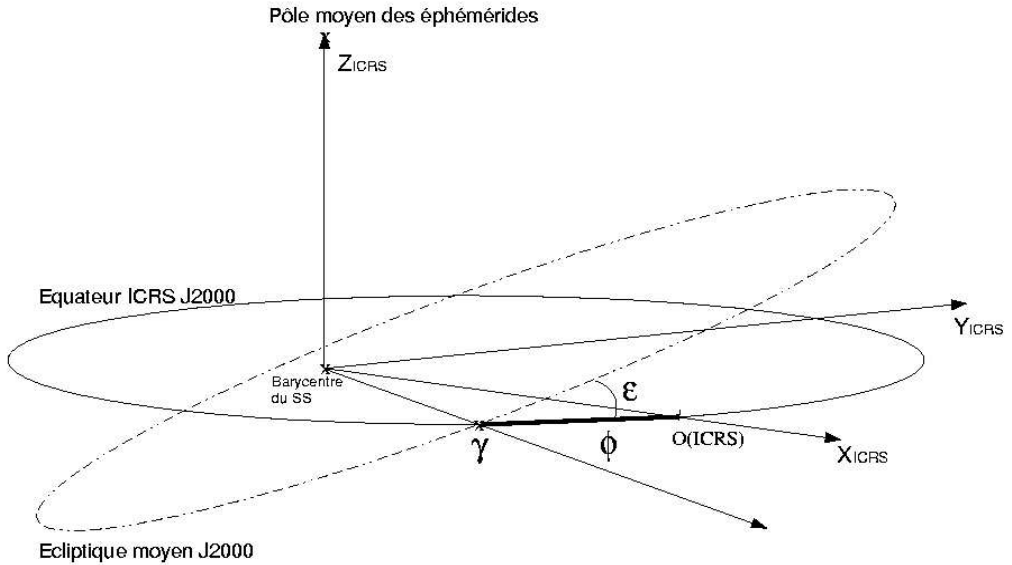


Fig. 3.3.1. Définition des axes et raccordement des systèmes de référence dynamiques à l'ICRS

d'inertie) pour construire un système de coordonnées. Une éphéméride planétaire ou lunaire couvrant une période suffisante peut ainsi réaliser un repère de référence appelé repère de référence dynamique. Un système de référence ayant une telle matérialisation dynamique sera appelé système de référence inertiel ou quasi-inertiel dans le cadre relativiste. On définira aussi un système de référence dynamique conventionnel comme l'association du repère de référence dynamique à une série de constantes fondamentales (masses planétaires, valeur de l'unité astronomique...) et de modèles (précession-nutation, échelle de temps...) ayant permis la mise en place de ce repère. De plus, à un système de référence cinématique (ici l'ICRS) on peut associer un repère de référence dynamique (représenté par des éphémérides planétaires ou lunaires) lié au repère cinématique.

3.3.2. Définitions

Un repère de référence dynamique est défini à partir de points et de directions invariants par résolution des équations différentielles du mouvement du système dynamique étudié. Ainsi à partir des équations du mouvement des planètes principales du système solaire autour du Soleil, écrites et résolues dans un système de coordonnées non-tournant ou inertiel, on peut définir les plans de référence et les origines suivants.

Le plan de *l'écliptique moyen inertiel de la date* est le plan perpendiculaire au moment cinétique moyen du barycentre Terre-Lune lorsque sa vitesse est calculée dans un système de coordonnées non-tournant. C'est le plan naturel des équations du mouvement des planètes (Standish, 1981).

Afin de relier le repère dynamique représenté par le plan de l'écliptique moyen inertiel de la date à un repère matérialisant un système de référence, on associe au plan de l'écliptique moyen inertiel de la date, *l'équinoxe dynamique moyen inertiel de la date* qui sera le nœud ascendant, noté γ sur la figure 3.3.1, du plan de l'écliptique inertiel moyen de la date sur le plan fixe de *l'équateur moyen de la date*, plan défini à partir de la direction du pôle céleste et les théories de précession-nutation associées au système de référence que l'on cherche à raccorder. De façon plus générale, lorsque l'on choisit le plan de l'écliptique inertiel moyen d'une date de référence comme plan de référence d'un système, on est amené à compléter ce choix par celui d'un axe fixe du plan, passant par le centre du système de référence et coupant la sphère céleste en un point dit origine ou origine des ascensions droites. On prend souvent pour origine l'équinoxe dynamique inertiel. Pour la définition de l'ICRS, il a été choisi comme origine des ascensions droites l'ascension droite moyenne de vingt-trois radio-sources (cf. 3.4). Ce point est très proche de l'équinoxe dynamique inertiel moyen à J2000 (Arias et al., 1988) et est représenté par $o(\text{ICRS})$ sur la figure 3.3.1. Sur cette figure est aussi indiqué l'angle ε d'inclinaison entre le plan écliptique moyen J2000 et le plan équatorial de l'ICRS.

Notons qu'à l'époque où les moyens d'observations ne permettaient pas la mise en place d'un repère de référence inertiel avec une précision suffisante, il était très difficile de définir observationnellement un système de coordonnées non-tournant. Le moment cinétique moyen du barycentre Terre-Lune était estimé dans un système de coordonnées tournant, appelé *système de coordonnées rotationnel*, défini à partir d'observations méridiennes du Soleil et des planètes. Le plan perpendiculaire à un tel moment cinétique est appelé *plan de l'écliptique rotationnel moyen de la date* et peut être décrit théoriquement à partir du plan de l'écliptique inertiel moyen de la date et de l'équinoxe dynamique inertiel moyen de la date (Standish, 1981 ; Kinoshita et Aoki, 1983). Au plan de l'écliptique dynamique rotationnel moyen de la date est associée une origine, *l'équinoxe rotationnel moyen de la date*, définie comme le nœud ascendant du plan de l'écliptique moyen rotationnel de la date sur l'équateur moyen de la date.

Enfin, il est aussi possible de définir un système de référence inertiel à partir des axes instantanés de rotation du pôle céleste des éphémérides et de l'équinoxe vrai de la date. Cette définition diffère de celle de l'ICRS par le choix des théories de précession et de nutation utilisées pour construire le système d'axes équatorial. On appelle un tel système, système du pôle céleste moyen des éphémérides (Chapront et al., 1999).

Rappelons que l'on définit un système de référence conventionnel par l'association d'un repère de référence et d'un système de constantes fondamentales auquel appartient l'obliquité de l'écliptique à une date de référence, et d'une théorie de précession et de nutation.

3.3.3 Systèmes de référence et éphémérides

Il est possible d'associer à une quelconque solution du mouvement du barycentre Terre-Lune un système de référence dynamique. Il peut donc exister une multitude de systèmes dynamiques conventionnels, vérifiant la même propriété générale de définition d'un système de référence dynamique mais faisant appel à des valeurs de constantes fondamentales ou des modèles dynamiques différents. Nous choisissons ici de présenter trois d'entre eux. Le premier système de référence conventionnel

Table 3.3.1. Observations utilisées dans DE405 pour effectuer le lien avec l'ICRF. La deuxième colonne indique la période moyenne des observations, alors que la quatrième donne le type d'observables : α, δ pour des quantités angulaires et ρ pour des distances.

Observations	Dates	Planète	Observables	Précision	Nombres
Phobos VLBI	1989	Mars	α, δ	10-100 mas	2
Ulysses VLBI	1992	Jupiter	α, δ	3-6 mas	2
Magellan VLBI	1990-1994	Vénus	α, δ	3-10 mas	18
Galileo VLBI	1995	Jupiter	α, δ	50-200 mas	2
LLR	1969-1996	Lune	ρ	2-30 cm	11218

présenté est basé sur les solutions numériques du mouvement des planètes et de la Lune développées au JPL et ajustées aux observations les plus modernes (suivi de sondes spatiales, VLBI, LLR). Le système de référence défini à partir de la solution DE405 (Standish, 1998b) a été choisi comme système dynamique de référence associé à l'ICRS (IERS, 2003), c'est-à-dire comme matérialisation dynamique de l'ICRS.

La seconde famille de systèmes de référence conventionnels présentée a été construite à partir des solutions semi-analytiques du mouvement de la Lune développées par Chapront et Chapront-Touzé (1997), Chapront et al. (1999), Chapront et al. (2002), Chapront et Francou (2003) et ajustées aux observations de la distance Terre-Lune par télémétrie laser (LLR). Cette famille présente la particularité de définir un système dynamique associé au repère du pôle céleste moyen des éphémérides tel que recommandé par l'IERS (IERS, 2003).

Enfin, le troisième système que nous allons présenter a été construit à partir des théories analytiques du mouvement des planètes, VSOP. Cette famille de système donne une autre réalisation possible d'un système dynamique inertiel.

Rappelons que dans ces trois cas de figure les systèmes sont dynamiques inertiels.

3.3.3.1. *Éphémérides numériques du JPL*

Par le passé, les systèmes de référence des éphémérides planétaires du JPL étaient le FK4 à l'époque de référence B1950.0 (par exemple avec la solution DE118 de Newhall et al., 1983) et plus tard l'équateur moyen et l'équinoxe dynamique du FK5 à J2000 (par exemple avec la solution DE200 de Standish, 1982). Depuis la solution DE403 (Standish et al., 1995), les solutions numériques du mouvement des planètes du JPL sont reliées à l'ICRF. Ce lien a été établi par l'intermédiaire de l'ajustement des solutions planétaires à des observations donnant la position des planètes dans l'ICRF. Comme il est décrit par Standish (1998b) et Folkner et al. (1994) le raccordement s'effectue en quatre étapes :

- L'ICRF est relié aux positions des radio-télescopes via les observations VLBI. Il est donc possible d'avoir les coordonnées des radio-télescopes directement dans l'ICRF.

- Les radio-télescopes sont reliés aux stations LLR via l'ITRF. On a donc les coordonnées des stations de tirs laser liées à l'ICRF.
- Les centres LLR sont reliés au mouvement de la Lune via les observations LLR. Ainsi le barycentre Terre-Lune est directement connecté à l'ICRF.
- Les planètes intérieures sont directement liées au barycentre Terre-Lune via les théories dynamiques et les observations radar et de suivi des sondes. Les planètes extérieures sont liées directement à l'ICRF via des observations VLBI de suivi de sonde. Les observations VLBI du suivi des sondes au voisinage des planètes extérieures étant rares et réparties sur un intervalle de temps court (voir table 3.3.1), il est aussi nécessaire d'inclure dans l'ajustement des observations optiques de ces planètes effectuées au cours des siècles précédents. Pour les plus modernes d'entre elles, il est possible de raccorder à l'ICRF les positions observées soit directement (rencontre proche avec une étoile Hipparcos par exemple) soit indirectement (raccordement du FK5 à l'ICRF, Morrison, 1992), corrections d'erreurs systématiques dans le FK4 et le FK5 (Schwan, 1983 ; Fricke, 1982).

Cette succession de liens permet de raccorder le repère de référence dynamique déterminé à partir du mouvement de la Lune et des planètes au repère de référence cinématique de l'ICRS. Il est possible de déterminer un vecteur représentant de petites rotations entre le repère dynamique de l'éphéméride et l'ICRF autour des axes du repère dynamique équatorial (Folkner et al., 1994 ; Standish et al., 1995). Standish (1998c) donne pour vecteur de rotation entre le repère dynamique de DE403 et l'ICRF

$$(-1 \pm 2, +2 \pm 3, +1 \pm 3) \text{ mas}$$

Avec DE405, le lien à l'ICRF reste très stable, puisque sur six siècles, les coordonnées héliocentriques du barycentre Terre-Lune de DE405 ne s'écartent des axes de DE403 que de

$$(+0.3 - 0.2T, -0.3 + 0.1T, +3.2 - 0.9T) \text{ mas}$$

où T est le temps compté en siècles à partir de J2000.

Grâce aux observations par rapport à l'ICRF, les systèmes de référence dynamiques déduits des intégrations numériques du JPL ajustées aux observations spatiales et LLR, peuvent être raccordés à l'ICRF avec une précision de quelques millisecondes de degré (mas). Le système de référence conventionnel associé aux intégrations numériques du JPL est constitué du repère de référence dynamique défini plus haut et de l'ensemble des constantes fondamentales et des modèles utilisés pour obtenir les solutions planétaires.

3.3.3.2. *Éphémérides semi-analytiques de la Lune*

Des solutions analytiques et semi-analytiques du mouvement orbital et de la libration de la Lune ont été développées et ajustées aux observations LLR (Chapront et Chapront-Touzé, 1997 ; Chapront et al., 1999 ; Chapront et al., 2002). Afin d'augmenter la précision de la modélisation, des compléments numériques déterminés par comparaisons à la solution numérique du JPL DE245, furent ajoutés à la solution en séries du mouvement de la Lune ELP 2000-82B (Chapront et Chapront-Touzé,

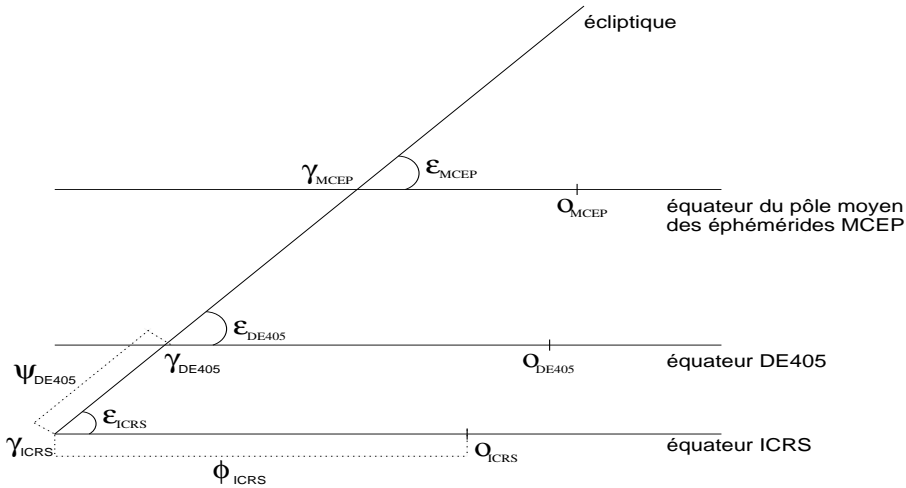


Fig. 3.3.2. Angles utilisés pour les raccordements entre systèmes de référence (d’après Chapront et al., 2002).

1997). La solution obtenue, associée à une nouvelle modélisation de la libration (Moons, 1984), a été ajustée aux observations LLR sur un intervalle allant de janvier 1992 à mars 1998 (Chapront et al., 2002). Cette nouvelle solution est notée S2001.

À partir de S2001, il est possible de définir un nouveau système de référence dynamique lié à l’ICRF. Le lien à l’ICRF s’effectue par l’intermédiaire des observations exprimées dans ce système de référence. Il est cependant possible d’exprimer ces observations dans d’autres systèmes de référence, comme le système lié au pôle céleste moyen des éphémérides. Dans le cas des données de distance laser-Lune, le lien entre le système de référence dynamique inertiel de la solution semi-analytique du mouvement orbital de la Lune à l’ICRF s’effectue via les positions des stations d’observations. En effet, les stations laser-Lune sont liées aux stations VLBI et donc à l’ICRF via le réseau géodésique international ITRF. Afin de pouvoir relier les coordonnées des stations dans le repère terrestre que constitue l’ITRF au repère céleste dynamique dans lequel sont exprimées les coordonnées géocentriques de la Lune, il faut considérer une transformation composée de rotations élémentaires et faisant intervenir les rotations permettant d’orienter les axes de l’ITRS vers les axes célestes instantanés pointant vers le pôle céleste des éphémérides et l’équinoxe vrai de la date (mouvement du pôle et UT1-UTC), et les rotations permettant de passer des axes célestes instantanés à un système d’axes équatorial fixe à J2000 (précession et nutation). Selon que l’on choisisse différentes rotations pour faire cette transformation de repère terrestre en repère céleste, on reliera le système dynamique déduit de la solution lunaire à différents systèmes de référence. Ainsi, si l’on choisit comme matrices de précession-nutation des matrices calculées à partir des

Table 3.3.2. Liens établis entre les différents repères de référence équatoriaux et l'écliptique moyen inertiel de la solution semi-analytique du mouvement de la Lune S2001 ajustée aux observations LLR pour les valeurs publiées par (Chapront et al., 2002). Les valeurs publiées par Moisson (1999) et Bretagnon et al. (2003) sont déduites des liens établis entre le repère de référence équatorial précisé dans la première colonne et le repère écliptique inertiel des solutions VSOP ajustées à DE403 (*cf.* 3.3.3.3).

Repères de référence	Auteurs	$\epsilon - 84381''$ ($''$)	ϕ ($''$)	ψ ($''$)
ICRF	Chapront et al., 2002	0.41100 ± 0.00005	-0.05542 ± 0.00011	
MCEP	Chapront et al., 2002	0.40564 ± 0.00009	-0.01460 ± 0.00015	0.0445 ± 0.0003
DE403	Chapront et al., 2002	0.40928 ± 0.00000	-0.05294 ± 0.00001	0.0048 ± 0.0004
DE405	Chapront et al., 2002	0.40960 ± 0.00001	-0.05028 ± 0.00001	0.0064 ± 0.0003
DE403	Moisson, 1999	0.40872	-0.05340	
DE405	Moisson, 1999	0.40893	-0.05101	
DE403	Bretagnon et al., 2003	0.408800	-0.053727	

théories recommandées par l'ICRS (modèle de précession de l'IAU 1976, Lieske et al., 1977 et modèle de nutation de l'IAU 1980, Seidelmann, 1982), on aura effectué le lien avec l'ICRF. Si par contre, on utilise des théories plus développées de précession et de nutation, comme, par exemple, Chapront et al. (2002) qui ont choisi, pour la précession le développement analytique de Williams (1994) et, pour la nutation, la théorie présentée dans les conventions IERS 1996 (IERS, 1996), on aura effectué le lien entre le système dynamique de S2001 et le système lié au pôle céleste moyen des éphémérides. Enfin, il est possible d'ajuster directement le repère de référence de S2001 aux solutions numériques du JPL. On peut ainsi vérifier le raccordement des solutions du JPL à l'ICRF par l'intermédiaire de S2001.

En suivant la méthode indiquée et en utilisant les dénominations suivantes illustrées sur la figure 3.3.2 : ϵ est l'inclinaison de l'écliptique moyen inertiel sur l'équateur d'un repère de référence équatorial (ICRF, DE405 ou du pôle moyen des éphémérides), ϕ est l'arc entre le nœud ascendant de l'écliptique moyen inertiel à J2000 sur l'équateur du repère de référence et l'origine des ascensions droites du repère équatorial de référence, et enfin ψ l'arc entre le nœud ascendant de l'ICRS et celui de l'écliptique moyen inertiel à J2000 de S2001 sur l'équateur du repère de référence autre que l'ICRS. Chapront et al. (2002) ont déterminé des liens entre les différents systèmes de références dynamiques définis à partir de DE405 et du pôle moyen des éphémérides et l'ICRF par l'intermédiaire du repère moyen écliptique de S2001 ajusté aux observations LLR. On trouvera dans la table 3.3.2 les valeurs publiées dans Chapront et al. (2002). Notons que par cette comparaison l'alignement de DE405 dans l'ICRF est confirmé avec une coïncidence des origines des ascensions droites de DE405 et de l'ICRF à mieux que 1 mas (0.7 mas à l'époque moyenne du raccordement de DE405 à l'ICRF).

3.3.3.3. *Éphémérides planétaires analytiques VSOP*

Les solutions VSOP sont des solutions du mouvement des planètes principales de Mercure à Neptune. Elles donnent des éphémérides de grande précision sur des intervalles de temps de l'ordre de plusieurs milliers d'années pour les planètes telluriques, de l'ordre de 1000 ans pour les grosses planètes. Les perturbations ont la forme classique de séries de Poisson des longitudes moyennes moyennes $\bar{\lambda}$ définies par $\bar{\lambda} = \lambda^0 + Nt$ où N est le moyen mouvement moyen. Les principales versions des solutions VSOP sont :

- VSOP82 (Bretagnon, 1982) ajustées à l'intégration numérique du JPL, DE200 (Standish, 1982) et exprimées en variables elliptiques.
- VSOP87 (Bretagnon et Francou, 1988), construites à partir de VSOP82, en variables rectangulaires et sphériques et exprimées dans divers systèmes de référence.
- Plus récemment les solutions VSOP200x (Moisson, 1999, Moisson et Bretagnon, 2001). Ces solutions ont été construites dans un cadre relativiste et prennent en compte les perturbations dues à Cérès, Pallas, Vesta, Iris et Bamberga. Les solutions VSOP200x ont été ajustées à DE403 (Standish et al., 1995), sur l'intervalle de temps [1890, 2000]. Enfin, ces solutions sont de très grande précision, au moins dix fois meilleures que les solutions VSOP82/87 sur un intervalle de temps de l'ordre de quelques dizaines d'années.

Or, même si les solutions VSOP200x sont ajustées à DE403, le repère de référence de VSOP ne correspond pas à celui de DE403. D'une part, la modélisation du problème dynamique n'est pas identique entre les deux éphémérides et d'autre part la réalisation du lien entre l'ICRS et le repère dynamique diffère de celle de DE403. Alors que le lien entre DE403 et l'ICRS est un lien établi via des données observationnelles exprimées dans l'ICRF (ce qui donne le caractère inertiel au raccordement), la définition de l'écliptique de VSOP est purement inertielle. En effet, le repère écliptique de VSOP est tel que les variables en inclinaison du barycentre Terre-Lune soient nulles à une date de référence. On choisira les valeurs d'obliquité et d'équinoxe dynamique à la date de référence à cet effet. Ainsi, le repère dynamique de VSOP2000 (Moisson, 1999 ; Bretagnon et al., 2003) est défini en utilisant les mêmes angles ϵ et ϕ que sur les figures 3.3.1 et 3.3.2. On trouvera les valeurs ainsi déterminées dans la table 3.3.2.

3.3.4. Conclusion

Les théories planétaires et lunaire permettent de définir un repère dans lequel évoluent les corps du système solaire à partir de la détermination de l'orbite héliocentrique du barycentre Terre-Lune. À cette orbite sont associées des théories de précession-nutation et des constantes fondamentales. Cet ensemble est appelé système de référence dynamique. Le repère de référence dynamique se caractérise par un équinoxe et un écliptique moyens à une époque de référence.

Il est possible de définir un nombre varié de systèmes de référence dynamiques. Les différences entre ces systèmes peuvent provenir des théories physiques utilisées (théories de précession et de nutation par exemple), mais aussi de la réalisation même du système. Ainsi VSOP donne une réalisation théorique du système alors que DE405 en donne une réalisation observationnelle.

3.4. LE SYSTÈME DE RÉFÉRENCE CÉLESTE INTERNATIONAL ICRS (International Celestial Reference System)

3.4.1. Une nouvelle conception : le système de référence cinématique

Au cours des quinze dernières années s'est produit une révision dans la définition et la réalisation des systèmes de référence, conséquence de l'application des techniques spatiales d'observation à l'astrométrie de haute précision et à la géodésie. Ces techniques étaient déjà utilisées vers la fin des années quatre-vingt pour réaliser les systèmes de référence utilisés dans les études de la rotation de la Terre. Parmi elles, l'interférométrie radio à très longue ligne de base (VLBI), permettait de réaliser au mieux un ensemble de directions fixes dans l'univers, et de donner accès à une meilleure réalisation d'un système de référence inertiel.

Un système de référence est une triade de directions devant vérifier une propriété générale donnée et qui sert à décrire position et mouvement. Un système d'axes de coordonnées est une notion abstraite car les axes ne sont pas accessibles directement ; il est donc nécessaire de matérialiser le système par un ensemble de points de référence dont les coordonnées (et éventuellement les mouvements) sont connues dans le système. Les concepts de système de référence et de repère de référence ont été formalisés par Kovalevsky et Mueller (1981). Le repère *primaire* de référence est constitué d'objets dont les coordonnées et les mouvements ont été déterminés par rapport aux axes du système de référence ; ainsi, il matérialise le système de référence et le rend accessible. Parfois, le nombre d'objets du repère primaire n'est pas suffisant pour certaines applications ; dans d'autres cas, la magnitude des objets du repère est trop faible pour qu'ils puissent être observés. Il faut donc disposer d'extensions de ce repère.

La propriété qui est à la base de la définition d'un système de référence dans l'espace est le caractère inertiel du système d'axes (*cf.* 3.3). Nous pouvons distinguer deux types de systèmes de référence selon qu'ils sont construits à partir d'une définition dynamique ou cinématique. Les systèmes de référence définis à partir des mouvements planétaires correspondent à la définition dynamique. Dans le cadre de la mécanique newtonienne les équations différentielles qui représentent les mouvements planétaires sont écrites dans un système pour lequel il n'y a pas de termes d'accélération de rotation. Dans le cadre de la relativité générale, le système de coordonnées est défini par la métrique qui décrit les propriétés de l'espace-temps ; par rapport à ce système, les équations décrivant les mouvements planétaires diffèrent des équations classiques d'un ordre relatif de 10^{-8} (*cf.* 3.2). Ces effets sont mis en évidence par les techniques d'observation les plus précises et doivent être considérés dans les éphémérides modernes. La faible précision des techniques classiques d'observation conduit à supposer qu'au delà du système solaire les coordonnées sont représentées dans un système de référence euclidien selon la physique newtonienne. En réalité, le système de directions qui s'étend au delà de notre système planétaire est dominé par la courbure provoquée par le champ de gravité de la Galaxie, et encore plus loin, par la distribution des masses et de l'énergie dans l'univers. Les observations avec la technique VLBI ont mis en évidence ces effets. Ces observations ont servi à réaliser des systèmes de référence basés sur une définition cinématique. Cette définition est, tant du point de vue conceptuel que du point de vue pratique,

plus simple que la définition dynamique : un ensemble de points de référence sans mouvement propre n'est affecté d'aucune rotation globale. La distance aux quasars et aux noyaux des galaxies lointaines permet de supposer que leurs mouvements propres seraient inférieures à $10^{-5}''/\text{an}$, même si les vitesses transversales étaient égales à leurs vitesses radiales d'éloignement (rappelons que les mouvements propres des étoiles sont de l'ordre de quelques $10^{-2}''/\text{an}$). Les observations VLBI ont confirmé que les objets extragalactiques représentent un excellent modèle de directions fixes dans l'univers, et par conséquent elles permettent de réaliser au mieux (à la précision actuelle des observations) un système de référence inertiel. Dans la définition dynamique la matérialisation du système est assurée par une théorie numérique ou analytique des éphémérides planétaires, et plus particulièrement de la Terre. Les éphémérides sont une des matérialisations du système dynamique ; les catalogues fondamentaux d'étoiles sont aussi des matérialisations de ce type de système ; tel est le cas des catalogues de la série FK. Dans la conception cinématique, les catalogues de coordonnées des radiosources extragalactiques observées avec la technique VLBI matérialisent le système de référence cinématique.

Les repères de référence déterminés par VLBI ont des caractéristiques métrologiques dérivées de la technique d'observation, des objets observés et des méthodes d'analyse et de réduction des observations. L'interférométrie à longue base présente des avantages par rapport aux techniques optiques d'observation puisque les données obtenues par VLBI sont peu sensibles aux conditions météorologiques. On peut donc organiser des sessions VLBI de 24h en ascension droite, sans avoir besoin de combiner des observations réalisées dans des sites différents avec des instruments différents ; on minimise ainsi les erreurs zonales. L'analyse de longues séries d'observations réalisées avec un réseau de stations VLBI distribuées à la surface de la Terre permet de construire une sphère rigide à partir des directions aux objets extragalactiques fixes. De nouvelles analyses sont menées lors de l'acquisition d'observations ou à l'occasion de progrès dans la modélisation, l'instrumentation ou dans les méthodes de réduction.

C'est grâce à la technique VLBI que des incohérences dans les modèles conventionnels de la précession et de la nutation de l'UAI ont été mises en évidence. Des corrections aux modèles ont été obtenues à partir des observations VLBI qui ont servi à réaliser le repère de référence extragalactique.

Dans la conception cinématique des systèmes de référence, les axes du système restent fixes, orientés selon les directions initiales. Le repère est susceptible d'être modifié, mais à condition que les axes implicitement définis par les objets de référence soient orientés selon les directions initiales. Nous trouvons ici une différence fondamentale par rapport aux systèmes de référence stellaires de nature dynamique : chaque catalogue de la série de FK matérialisait un système de référence dont les axes n'étaient pas alignés à ceux du précédent et il fallait donc connaître les paramètres de transformation entre les systèmes FK.

3.4.2. Les recommandations de l'UAI

En 1991, l'UAI a recommandé (vingt et unième assemblée générale, Buenos Aires) l'adoption d'un système de référence céleste conventionnel dont l'origine est le barycentre du système solaire et qui

soit matérialisé par les coordonnées des radiosources extragalactiques lointaines observées avec la technique VLBI. Par souci de cohérence, il a été aussi recommandé que les coordonnées temporelles soient obtenues en utilisant une échelle de temps atomique réalisée par des horloges atomiques sur la Terre, les unités de base étant la seconde du *Système International d'unités* (SI) pour le temps propre et le mètre du SI pour la longueur propre.

Le plan principal du nouveau système conventionnel devait être aussi proche que possible de l'équateur moyen J2000, l'origine sur le plan fondamental devant être cohérente avec l'équinoxe dynamique J2000. L'UAI a aussi recommandé la comparaison des repères de référence de tous types, et particulièrement entre le FK5, le repère dynamique planétaire et le repère de référence extragalactique.

Les vingt-deuxième et vingt-troisième assemblées générales de l'UAI (UAI, 1994 et UAI, 1997) ont recommandé l'adoption du système de référence céleste de l'IERS comme système de référence céleste international, sous l'acronyme ICRS (International Celestial Reference System), et sa matérialisation par la première réalisation du repère de référence céleste international, sous l'acronyme ICRF (International Celestial Reference Frame, Ma et al., 1997 et 1998).

3.4.3. Définition de l'ICRS

L'adoption d'un système de référence basé sur une définition cinématique implique un changement philosophique dans la conception des systèmes de référence célestes. Dans les définitions précédentes, les axes étaient donnés par la dynamique des mouvements de la Terre dans l'espace et ils étaient associés à l'équateur moyen et à l'équinoxe dynamique d'une époque de référence (B1950, J2000). Dans la définition actuelle, les axes du système restent fixes par rapport à des sources lointaines dans l'univers, et de plus, ils sont dissociés des plans de l'équateur et de l'écliptique. Pour assurer la continuité, les directions des axes du système dynamique en J2000 ont été choisies pour la nouvelle définition. Par conséquent, les axes de l'ICRS sont confondus avec ceux du FK5 (Fricke et al. 1988), au niveau des incertitudes de ce dernier.

L'origine des axes de l'ICRS est au barycentre du système solaire. Cette condition est assurée par la modélisation des observations VLBI dans le cadre de la relativité générale.

Le plan principal de l'ICRS a été défini par le plan de l'équateur donné par les modèles conventionnels UAI (1976) et UAI (1980) de la précession et de la nutation (Lieske et al., 1977; Seidelmann, 1982). Des analyses (Souchay et al., 1995; Charlot et al., 1995) ont montré que le pôle de l'ICRS est déplacé par rapport au pôle moyen en J2000 de moins de 20 mas. Ceci indique que l'équateur moyen en J2000 et le plan principal de l'ICRS sont en accord. Afin de suivre les recommandations de l'UAI, la direction du pôle céleste de l'ICRS doit être aussi proche que possible de celle du système FK5. On estime que l'incertitude de la direction du pôle moyen J2000 du FK5 est de ± 50 mas (Fricke, 1982; Schwann, 1988; Fricke et al., 1988). Ceci prouve que le pôle céleste de l'ICRS est confondu avec celui du système FK5 au niveau de l'incertitude de ce dernier.

L'UAI a recommandé que l'origine des ascensions droites de l'ICRS soit proche de l'équinoxe dynamique J2000. Dans l'analyse VLBI, il n'est pas possible de séparer l'origine des ascensions droites, de la longitude de la ligne de base de l'interféromètre car l'origine des ascensions droites

n'est pas fixée. L'axe Ox du système ICRS a été fixé implicitement dans sa première réalisation par l'adoption des ascensions droites des vingt-trois radiosources extragalactiques primaires (Arias et al., 1988). Ces coordonnées ont été dérivées d'un ensemble de catalogues VLBI compilés en adoptant pour l'ascension droite du quasar 3C273B la valeur de Hazard et al. (1971) dans le système FK5 (12h 29m 06.6997s en J2000).

La position de l'équinoxe dynamique dans le système ICRS a été déterminée par Folkner et al. (1994). Ils ont établi le rattachement entre l'ICRS et le système dynamique du Jet Propulsion Laboratory par comparaison des repères terrestres et des paramètres d'orientation de la Terre obtenus avec VLBI et LLR. Ils ont obtenu un écart de 78 ± 10 mas entre l'axe Ox de l'ICRS et l'équinoxe moyen de l'époque J2000. Tenant compte de l'incertitude de l'origine des ascensions droites (voir, par exemple, Morrison et al., 1990), on peut affirmer que l'origine des ascensions droites de l'ICRS est confondue avec celle du FK5 dans la limite de l'incertitude de ce dernier.

3.4.4. Maintenance de l'ICRS

La maintenance d'un système de référence peut se concevoir de deux manières :

- soit les coordonnées des objets dans le repère sont considérées comme pérennes, et leurs valeurs numériques restent fixes pendant quelques années (c'est la philosophie de la conception du système FK5),
- soit les axes du système restent fixes dans leurs directions initiales, mais les coordonnées des objets du repère de référence sont recalculées et modifiées si nécessaire, par exemple lors de l'introduction de nouveaux objets (c'est le principe qui est à la base de l'ICRS).

Le repère de référence qui matérialise l'ICRS peut être modifié si l'on dispose des meilleures positions des sources radio extragalactiques, à condition d'appliquer une contrainte de non-rotation globale par rapport à la réalisation précédente. Cette procédure assure que les axes sont toujours dans leurs directions initiales, et permet que le repère soit densifié ou qu'il devienne plus précis.

3.4.5. Accessibilité à l'ICRS

L'accès direct le plus précis à l'ICRS est donné par les observations VLBI. Cette technique est limitée à des utilisateurs dans le domaine des fréquences radio. Le VLBI est utilisé pour la maintenance du système. L'accès de l'ICRS à tous types d'utilisateurs doit être assuré grâce au rattachement de l'ICRF aux repères de référence majeurs, tels que le FK5, le repère de référence du satellite Hipparcos, les éphémérides planétaires, le repère de référence terrestre conventionnel.

Tel qu'il a été recommandé par l'UAI, le repère de référence Hipparcos est la matérialisation de l'ICRS dans les fréquences optiques (Kovalevsky et al., 1997). Le rattachement entre le repère de référence VLBI et le repère Hipparcos a fait partie du programme Hipparcos.

Les éphémérides planétaires et lunaires sont orientées sur l'ICRS. Des études réalisées par Folkner et al. (1994) montrent que le raccordement entre l'ICRF et le repère dynamique défini à partir des éphémérides planétaires du JPL est connu à mieux que ± 3 mas.

Les paramètres d'orientation de la Terre calculés par l'IERS permettent d'établir le rattachement entre l'ICRF et le système de référence terrestre international ITRS (International Terrestrial Reference System). On se reportera au paragraphe 4.4 pour plus de détails.

3.4.6. Le repère de référence céleste international ICRF

La première réalisation du repère de référence céleste international fut adoptée par l'UAI à sa vingt-troisième assemblée générale (1997), sous l'acronyme ICRF. Il s'agit d'un catalogue fondamental qui a, par rapport à ses prédécesseurs, la caractéristique de ne pas être lié aux plans de l'équateur et de l'écliptique.

Des sources radio extragalactiques de différentes qualités astrométriques constituent l'ICRF. Les directions des axes sont définies par un groupe de sources appelées *sources de définition*; d'autres sources, de moindre qualité, sont incluses pour densifier le repère et pour permettre son rattachement à d'autres repères de référence, notamment celui du catalogue Hipparcos.

L'ICRF (Ma et al. 1997 et 1998) est le résultat de l'analyse de toutes les observations VLBI disponibles sur la période 1979-1995. Les analyses VLBI qui ont servi à l'établissement de l'ICRF ont été effectuées afin de trouver un bon compromis entre des objectifs parfois divergents : le plus grand nombre de données et l'erreur systématique la plus faible possible, les meilleurs modèles et l'utilisation pratique la plus simple, le plus grand nombre de paramètres estimés et le temps de calcul. Les vitesses de retard sont introduites dans l'analyse. Les observations en dessous de 6° de hauteur sont rejetées. Le modèle linéaire de troposphère est complété par l'estimation de gradients. En ce qui concerne la position du pôle céleste, des corrections aux modèles UAI 1976 de la précession et UAI 1980 de la nutation ont été apportées dans l'analyse.

Des études préliminaires ont permis de détecter les sources les plus adaptées pour définir l'orientation des axes du repère. Dans un cas idéal, avec un grand nombre de données, ces sources ne doivent pas présenter de changement de position. Pour classer les sources radio de l'ICRF, des critères ont été définis en fonction de la qualité des données, l'historique des observations, la cohérence entre les coordonnées dérivées des différents sous-ensembles de données et les effets de structure radio des sources.

Une source radio doit satisfaire les quatre critères pour servir à la définition (et maintenance) des axes du système.

- 1) Concernant l'historique des observations, on demande un minimum de vingt observations sur un intervalle supérieur à deux ans.
- 2) Les incertitudes en ascension droite et en déclinaison doivent être inférieures à 1 mas.
- 3) D'autres solutions VLBI ont été calculées avec des données acquises par des réseaux de stations différents et analysées avec des logiciels différents. Ces solutions indépendantes ont été comparées à la solution qui a servi de base à l'ICRF après avoir enlevé leurs orientations relatives. Les objets

dont les différences de coordonnées étaient supérieures à 0.5 mas, ou pour lesquels la différence avec la solution de base dépassait 3σ (σ étant l'incertitude de la solution pour l'ICRF) n'ont pas été retenus comme sources de définition.

4) En ce qui concerne la structure, plusieurs tests ont été utilisés. D'une part, une variation temporelle dans la structure de la source se manifeste comme un déplacement de son centre d'émission ; on peut donc la détecter en calculant les variations de ses coordonnées avec le temps que l'on peut interpréter comme un mouvement propre apparent. D'autre part, il a été montré que la correction de structure calculée à partir de cartes ne doit pas dépasser 10 picosecondes. Fey et Charlot (1997) ont développé des méthodes de détermination des effets de structure et ont établi des indices pour quantifier ces effets.

Le nombre total de sources radio extragalactiques dans la première réalisation de l'ICRF est 608. Deux cent douze sources ont satisfait tous les critères de sélection pour être dans la catégorie *sources de définition*. Deux cent quatre-vingt-quatorze sources n'ayant pas satisfait à un ou plusieurs critères sont des *sources candidates*. Elles pourraient devenir des sources de définition dans le futur. Cent deux sources ont montré d'importants changements dans leurs positions. Elles ont été néanmoins conservées dans le repère comme *autres sources*, quelques unes étant nécessaires pour rattacher l'ICRS avec d'autres systèmes de référence. La plupart des sources de définition de l'ICRF ont des incertitudes inférieures à 0.5 mas. L'analyse VLBI appliquée au calcul des coordonnées des sources de l'ICRF a donné des positions dans un système très proche de l'ICRS. La partie finale de l'établissement du repère conventionnel est son alignement à l'ICRS. Pour effectuer cet alignement on a utilisé un modèle basé sur celui qui a été développé à l'IERS pour la comparaison de catalogues VLBI (Arias et al., 1988). L'analyse de l'orientation du système quand on considère des ensembles différents de sources radio indique que les axes de l'ICRS sont stables au niveau de 0.020 mas.

3.4.7. Extensions de l'ICRF

Le processus de maintenance de l'ICRS prévoit des améliorations du repère chaque fois qu'elles sont justifiées par un progrès dans la précision des coordonnées, de même que par une augmentation du nombre de sources dans le repère. Deux extensions de l'ICRF existent déjà. Elles ont été élaborées par le même groupe d'experts qui a calculé la première réalisation du repère de référence céleste international.

Les deux extensions de l'ICRF ont eu pour objectif de densifier l'ICRF avec l'apport de coordonnées de nouvelles sources au repère. Les sources de définition, de même que leurs coordonnées, restent celles de l'ICRF. La première extension de l'ICRF, ICRF-Ext.1 a été élaborée en 1998 et elle ajoute les coordonnées de cinquante neuf nouvelles sources au repère (IERS, 1999). La deuxième extension, ICRF-Ext.2 (Fey et al., 2004) est une révision du repère qui le densifie avec les positions de cent neuf sources radio.

3.4.8. Futur de l'ICRS

Suivant les recommandations de l'UAI, les programmes astrométriques et géodésiques d'observation VLBI incluent des sources radio dans la maintenance de l'ICRF. Des observations de VLBA (Very Long Baseline Array) peuvent être utilisées afin de mieux connaître la structure des sources radio et la densification du repère. Par ailleurs, il y a eu un progrès significatif dans la connaissance des changements des positions des radiosources. Des analyses menées par Feissel-Vernier (2002) ont conclu qu'il est possible de raffiner la sélection des sources radio stables pour conserver l'orientation des axes du système, si aux critères appliqués pour le choix des sources de définition de l'ICRF on ajoute des analyses statistiques sur les séries temporelles des coordonnées des sources radio. Sur la base de cette sélection, Arias et Bouquillon (2004) ont montré qu'avec l'ensemble de sources de Feissel-Vernier les axes de l'ICRS deviennent plus stables. Tenant compte de ces améliorations, il est fort probable qu'une nouvelle version de l'ICRF soit élaborée dans un futur proche.

L'extension de l'ICRF à d'autres fréquences est un besoin permanent. Elle ne pourra se faire qu'avec l'ajout d'observations réalisées dans des fréquences autres qu'optiques et radio, dans des programmes astrométriques de routine. Le catalogue stellaire Hipparcos réalise l'ICRS dans les fréquences optiques. En raison des incertitudes dans les mouvements propres stellaires, il est nécessaire aussi de réaliser des opérations de maintenance sur le rattachement optique-radio. Des grands projets d'astrométrie spatiale vont sans doute y contribuer. SIM (Space Interferometry Mission) a pour objectif d'étendre les mesures de distance à des objets plus lointains et de faibles magnitudes. Ce projet, qui devrait durer cinq ans, compte mesurer 10^5 objets jusqu'à la magnitude 20 avec une exactitude de 4 micro-secondes de degré pour les parallaxes et 1-2 micro-secondes de degré pour les mouvements propres annuels. GAIA (Global Astrometry Interferometer for Astrophysics) peut être considérée comme une extension de la mission Hipparcos, les deux ont les mêmes caractéristiques en ce qui concerne le concept d'astrométrie globale. Le projet prévoit l'observation de 10^9 étoiles, et ses objectifs concernent des applications astrométriques et astrophysiques. La prochaine décennie nous permettra d'utiliser ces nouvelles observations.

3.5. LE SYSTÈME INTERNATIONAL DE RÉFÉRENCE TERRESTRE ITRS

3.5.1. Introduction

La géodésie, science de la forme de la Terre et de ses déformations, repose sur le positionnement de points à la surface de la Terre ou dans son environnement immédiat. La détermination des positions nécessite en premier lieu des mesures (ou observations) utilisant des techniques classiques (terrestres) ou spatiales et faisant appel à des objets célestes, artificiels ou naturels. En second lieu, les mesures sont traitées par des modèles mathématiques et physiques, permettant ainsi la détermination des coordonnées des points. Les coordonnées ainsi obtenues sont donc des quantités ni observables, ni absolues et doivent par conséquent être rapportées à une référence. C'est ainsi qu'on appelle *Système de Référence Terrestre* (SRT), un objet mathématique, satisfaisant

une définition idéale et, dans lequel les coordonnées des points seront exprimées. Pour réaliser ce système, c'est-à-dire le rendre accessible aux utilisateurs, on définit un *Repère de Référence Terrestre* (RRT) comme matérialisation physique du SRT. La distinction entre "système de référence" et "repère de référence" est donc subtile, le premier étant plutôt invariable et inaccessible, le deuxième étant accessible et perfectible.

L'utilisation des techniques spatiales depuis une vingtaine d'années a bouleversé les techniques de positionnement à la surface de la Terre. Les incertitudes initialement de l'ordre du décimètre sont maintenant de l'ordre du centimètre, voire de quelques millimètres. Toutefois, chaque technique et chaque stratégie d'analyse définit et réalise son propre système. Ainsi, assiste-t-on à des réalisations diverses de systèmes de référence, présentant des biais et systématismes les uns par rapport aux autres. Ce constat a conduit les instances internationales et en particulier l'UAI, l'UGGI et l'Association Internationale de Géodésie (AIG) à adopter, en 1991, l'ITRS (International Terrestrial Reference System) comme système de référence terrestre unique, pour toutes les applications relatives aux sciences de la Terre.

La réalisation de l'ITRS, appelée ITRF (International Terrestrial Reference Frame), par les techniques modernes de géodésie spatiale a été confiée à l'IERS, créé en 1988. L'IERS est en charge de trois références globales : l'ITRS, l'ICRS et la rotation de la Terre qui relie les deux systèmes.

Le principe de l'ITRF est de combiner les positions de stations (et leurs vitesses), calculées par différents centres d'analyse en utilisant les observations des techniques spatiales telle que l'interférométrie à très longues lignes de base (VLBI), la télémétrie laser de la Lune (LLR) et de satellites (SLR, Satellite Laser Ranging), le Global Positioning System (GPS) et le Doppler Orbitography Radio-positioning Integrated by Satellite (DORIS).

3.5.2. Concepts et définitions des systèmes de référence terrestres

Un SRT est un système de référence spatial tournant avec la Terre dans son mouvement diurne dans l'espace. Dans ce système, les points localisés sur la surface de la Terre solide possèdent des coordonnées sujettes à des variations temporelles, dues à des effets géophysiques (en particulier tectoniques ou de marées terrestres et océaniques). Le SRT n'étant théoriquement pas accessible, on lui associe une réalisation physique, appelée RRT, défini par un ensemble de points physiques ayant des coordonnées estimées (cartésiennes, géographiques ou cartographiques) et exprimées dans le SRT.

Afin de suivre la terminologie adoptée depuis une vingtaine par les communautés géodésique et astronomique (Kovalevsky et Mueller, 1989; Boucher, 2001) on distingue trois types de systèmes de référence terrestres : le système de référence idéal, le système de référence conventionnel et le repère de référence conventionnel.

Un *système de référence conventionnel* est défini par l'ensemble de conventions, paramètres constants et algorithmes qui influence la détermination des coordonnées des points.

Un *repère de référence conventionnel* est défini par un ensemble de points physiques avec leur coordonnées et qui constitue une réalisation physique d'un système de référence idéal.

Un *système de référence idéal* est modélisé par un repère affine (O, E) dans un espace euclidien orthogonal où, O , l'origine, est un point quelconque de l'espace et E est une base orthogonale vérifiant :

$$\lambda = \|\mathbf{E}_i\|_{i=1,2,3} \quad (3.5.1)$$

avec $\mathbf{E}_i \cdot \mathbf{E}_j = \lambda^2 \delta_{ij}$.

λ est l'unité de longueur des vecteurs origine de la base exprimée en mètres (SI) et δ_{ij} est le symbole de Kronecker.

Dans le cadre des activités géodésiques internationales et en particulier à l'IERS, on considère un système géocentrique où l'origine est le centre des masses de la Terre et où l'orientation est équatoriale (l'axe Oz est orienté selon la direction des pôles).

La transformation générale des coordonnées cartésiennes permettant de passer d'un SRT 1 à un SRT 2 est donnée par une similitude tridimensionnelle telle que :

$$X_2 = T + \lambda \mathcal{R} X_1 \quad (3.5.2)$$

où T est le vecteur translation, λ l'échelle et \mathcal{R} une rotation se décomposant en trois rotations selon les axes Ox , Oy , Oz :

$$\mathcal{R}_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos R1 & \sin R1 \\ 0 & -\sin R1 & \cos R1 \end{pmatrix}$$

$$\mathcal{R}_y = \begin{pmatrix} \cos R2 & 0 & -\sin R2 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin R2 & 0 & \cos R2 \end{pmatrix}$$

$$\mathcal{R}_z = \begin{pmatrix} \cos R3 & \sin R3 & 0 \\ -\sin R3 & \cos R3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

L'équation (3.5.2) permet la linéarisation de la relation standard de transformation entre deux systèmes de référence ainsi que sa dérivée par rapport au temps. C'est une similitude euclidienne à sept paramètres : trois translations, un facteur d'échelle et trois rotations, notés respectivement $T1, T2, T3, D, R1, R2, R3$ et leur dérivées : $\dot{T}1, \dot{T}2, \dot{T}3, \dot{D}, \dot{R}1, \dot{R}2, \dot{R}3$. La transformation d'un vecteur coordonnées X_1 exprimé dans un système de référence 1 en un vecteur X_2 exprimé dans le système de référence 2 est donnée par la formule (3.5.3), supposée linéaire pour des jeux de coordonnées issus des techniques de géodésie spatiale (les différences d'origine sont de quelques centaines de mètres, et celles d'échelle et d'orientation sont inférieures à 10^{-5} ⁽¹⁾) :

$$X_2 = X_1 + T + DX_1 + RX_1 \quad (3.5.3)$$

⁽¹⁾ les termes du 2ème ordre, négligés dans ce modèle, sont, au maximum, de l'ordre de 10^{-10} , soit 0.6 mm.

avec :

$$T = \begin{pmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{pmatrix}, \quad \lambda = 1 + D, \quad \mathcal{R} = (I + R) \quad \text{et} \quad R = \begin{pmatrix} 0 & -R3 & R2 \\ R3 & 0 & -R1 \\ -R2 & R1 & 0 \end{pmatrix}$$

où I est la matrice unité.

En général, X_1 , X_2 , T , D et R sont fonction du temps. En différenciant la relation (3.5.3) par rapport au temps, nous avons donc :

$$\dot{X}_2 = \dot{X}_1 + \dot{T} + \dot{D}X_1 + D\dot{X}_1 + \dot{R}X_1 + R\dot{X}_1 \quad (3.5.4)$$

D et R étant de l'ordre de 10^{-5} et \dot{X} de l'ordre de 10 cm par an, on négligera les termes $D\dot{X}_1$ et $R\dot{X}_1$ qui sont de l'ordre de 0.1 mm sur 100 ans. L'équation (3.5.4) peut donc s'écrire :

$$\dot{X}_2 = \dot{X}_1 + \dot{T} + \dot{D}X_1 + \dot{R}X_1 \quad (3.5.5)$$

3.5.3. Réalisation d'un système de référence terrestre

On distingue essentiellement deux grands types de réalisation de systèmes de référence :

- réalisation à partir des mesures d'une seule ou de plusieurs techniques de géodésie spatiale
- réalisation par combinaison de repères de référence terrestres fournis par les techniques spatiales

3.5.3.1. Réalisation à partir des mesures des techniques de géodésie spatiale

D'une manière générale, sept paramètres sont nécessaires pour définir un RRT à une époque donnée. On ajoute leurs dérivées par rapport au temps pour définir l'évolution temporelle du RRT. La sélection de ces quatorze paramètres permet de définir le RRT en termes d'origine, échelle, orientation et évolution temporelle.

Les techniques de géodésie spatiale ne sont pas toutes sensibles à tous les paramètres de définition du RRT. L'origine étant le centre des masses (point autour duquel le satellite gravite) est théoriquement accessible par les techniques dynamiques (LLR, SLR, GPS, DORIS). L'échelle dépend de certains paramètres physiques (tels que la constante gravitationnelle GM et la vitesse de la lumière c) et des effets relativistes. Une variation temporelle de l'échelle n'a en principe pas de sens physique, on constate cependant numériquement des variations en comparant certains RRT entre eux. L'orientation et sa variation temporelle, non observables, sont arbitrairement ou conventionnellement définies. Il est cependant recommandé de définir l'évolution temporelle de l'orientation par une condition de non-rotation globale par rapport aux mouvement horizontaux sur la surface de la Terre.

Les observations des techniques de géodésie spatiale ne contenant pas tous les paramètres nécessaires pour établir un RRT, des informations externes supplémentaires sont donc nécessaires

pour compléter la définition du RRT. Cette situation est reflétée par le fait que la matrice normale, N , construite à partir des observations, est singulière, puisqu'elle a un défaut de rang correspondant au nombre de paramètres du repère non réduits par les observations.

Afin de pallier ce défaut de rang, les centres d'analyse cumulent des contraintes appliquées sur une partie ou sur l'ensemble des stations du réseau traité :

1. *Contraintes d'égalité.* Ce sont des solutions pour lesquelles les positions et vitesses des stations sont contraintes à des valeurs externes à une incertitude (σ) près. L'équation d'observation correspondante peut s'écrire sous la forme suivante :

$$X - X_0 = 0 \quad (\sigma) \quad (3.5.6)$$

où X est le vecteur des paramètres estimés (positions et/ou vitesses) et X_0 est celui des paramètres a priori. Il y a cependant 3 types de contraintes d'égalité :

- contraintes détachables où les incertitudes (σ) sont de l'ordre de 10^{-5} m pour les positions (respectivement m/an pour les vitesses). Elles portent ce nom car elles peuvent être numériquement dissociées de la solution (si la matrice de contraintes est connue) et être remplacées par des contraintes minimales (voir ci-dessous)
- contraintes lâches où les incertitudes sont $\sigma \geq 1$ m pour les positions et ≥ 10 cm/an pour les vitesses.
- contraintes fortes ($\sigma \leq 10^{-10}$ m) qui sont numériquement difficiles à enlever et qui altèrent probablement la qualité des paramètres estimés.

2. *Contraintes minimales.* Elles servent uniquement à définir le RRT avec un minimum d'information. Ce sont des contraintes appliquées non pas sur les paramètres estimés mais sur les paramètres définissant le RRT (origine, échelle, orientation). Pour plus de détails sur les concepts et l'utilisation des contraintes minimales, voir par exemple, (Sillard et Boucher, 2001) et (Altamimi et al., 2001, 2003b).

L'équation de contraintes minimales de base a la forme :

$$B(X - X_0) = 0 \quad (3.5.7)$$

où $B = (A^T A)^{-1} A^T$ et A est la matrice modèle des dérivées partielles, construite sur les valeurs a priori (X_0). Elle est donnée par :

$$A = \begin{pmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & 0 & 0 & x_0^i & 0 & z_0^i & -y_0^i \\ 0 & 1 & 0 & y_0^i & -z_0^i & 0 & x_0^i \\ 0 & 0 & 1 & z_0^i & y_0^i & -x_0^i & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix} \quad (3.5.8)$$

dans le cas où seulement les positions des stations sont estimées, ou :

$$A = \begin{pmatrix}
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 1 & 0 & 0 & x_i^0 & 0 & z_i^0 & -y_i^0 & & & & & & & & \\
 0 & 1 & 0 & y_i^0 & -z_i^0 & 0 & x_i^0 & & & \approx 0 & & & & & \\
 0 & 0 & 1 & z_i^0 & y_i^0 & -x_i^0 & 0 & & & & & & & & \\
 & & & \approx 0 & & & & & & & & & & & \\
 & & & & & & & & 1 & 0 & 0 & x_i^0 & 0 & z_i^0 & -y_i^0 \\
 & & & & & & & & 0 & 1 & 0 & y_i^0 & -z_i^0 & 0 & x_i^0 \\
 & & & & & & & & 0 & 0 & 1 & z_i^0 & y_i^0 & -x_i^0 & 0 \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot
 \end{pmatrix} \quad (3.5.9)$$

dans le cas où les positions et les vitesses sont estimées simultanément.

La distinction fondamentale entre les deux approches est que dans l'équation (3.5.6), l'inconnue X est contrainte à être égale à X_0 , alors que dans l'équation (3.5.7), X est exprimée dans le même RRT X_0 , en utilisant le projecteur B qui contient toute l'information nécessaire à définir le RRT sous-jacent. Notons cependant que les deux approches sont sensibles à la configuration et à la qualité des stations (X_0) utilisées dans ces contraintes. En terme d'équation normale, l'équation (3.5.7) peut s'écrire sous la forme :

$$(B^T \Sigma_\theta^{-1} B)X = (B^T \Sigma_\theta^{-1} B)X_0 \quad (3.5.10)$$

où Σ_θ est une matrice diagonale contenant des variances assez petites (de l'ordre du mm) pour chacun des paramètres de transformation. Le cumul de l'équation (3.5.8) à la matrice normale, N , permet donc son inversion et, dans le même temps, exprime la solution estimée dans le même RRF que la solution a priori X_0 . Il faut cependant souligner que les sept colonnes de la matrice A correspondent aux sept paramètres de fixation du RRF (trois translations, un facteur d'échelle et trois rotations). A doit être réduite aux seuls paramètres manquants non réduits par les observations (i.e. trois rotations dans toutes les techniques et trois translations dans le cas de la technique VLBI).

3.5.3.2. Réalisation par combinaison de repères de référence individuels

La combinaison de repères de référence terrestres issus de traitement des observations des techniques de géodésie spatiale est basée sur la relation fondamentale de transformation entre deux RRT des équations (3.5.3) et (3.5.5).

On suppose que pour chaque solution individuelle s , et chaque point i , nous avons la position X_s^i à une époque t_s^i et la vitesse \dot{X}_s^i , exprimées dans un RRT k .

La combinaison consiste en l'estimation :

- des positions X_c^i à une époque donnée t_0 et des vitesses \dot{X}_c^i exprimées dans le RRT combiné c .
- des paramètres de transformation T_k à une époque t_k et leurs dérivées par rapport au temps \dot{T}_k , du RRT combiné vers chaque RRT individuel.

Un modèle général de combinaison de positions et vitesses de stations peut s'écrire sous la forme :

$$\begin{aligned}
X_s^i &= X_c^i + (t_s^i - t_0)\dot{X}_c^i + T_k + D_k X_c^i + R_k X_c^i \\
&\quad + (t_s^i - t_k) \left[\dot{T}_k + \dot{D}_k X_c^i + \dot{R}_k X_c^i \right] \\
\dot{X}_s^i &= \dot{X}_c^i + \dot{T}_k + \dot{D}_k X_c^i + \dot{R}_k X_c^i
\end{aligned} \tag{3.5.11}$$

Le modèle de combinaison ci-dessus peut être étendu pour inclure les paramètres de rotation de la Terre (PRT). L'introduction des PRT dans le modèle de combinaison est gouvernée par les équations suivantes, faisant intervenir les coordonnées du pôle x_s^p , y_s^p et le Temps universel UT_s ainsi que leurs variations journalières \dot{x}_s^p , \dot{y}_s^p et LOD_s :

$$\begin{aligned}
x_s^p &= x^p + R2_k \\
y_s^p &= y^p + R1_k \\
UT_s &= UT - \frac{1}{f} R3_k \\
\dot{x}_s^p &= \dot{x}^p + \dot{R}2_k \\
\dot{y}_s^p &= \dot{y}^p + \dot{R}1_k \\
LOD_s &= LOD + \frac{\Lambda_0}{f} \dot{R}3_k
\end{aligned} \tag{3.5.12}$$

où $f = 1.002737909350795$ est le facteur de conversion de temps universel en temps sidéral. Considérant $LOD = -\Lambda_0 \frac{dUT}{dt}$, Λ_0 est homogène à dt ($\Lambda_0 = 1$ jour en unité temps).

Il faut noter que le lien entre les PRT et le RRT est assuré par les trois angles de rotation $R1$, $R2$, $R3$, et leurs variations par rapport au temps $\dot{R}1$, $\dot{R}2$, $\dot{R}3$. Par conséquent les PRT sont gouvernés par le repère combiné, de sorte que s'il y a un biais dans la définition ou l'établissement du RRT combiné il se répercutera sur les PRT eux-mêmes. Il est de ce fait nécessaire d'assurer la stabilité de l'orientation du RRT dans le temps.

3.5.4. Le Système International de Référence Terrestre ITRS

3.5.4.1. Historique

L'historique de l'ITRS remonte à 1984, quand pour la première fois un RRT combiné, appelé BTS84 a été obtenu en utilisant des coordonnées de stations issues des observations VLBI, LLR, SLR et Doppler/ TRANSIT (le prédécesseur de GPS), (Boucher et Altamimi, 1985). Le BTS84 a été réalisé dans le cadre des activités du Bureau International de l'Heure jouant le rôle de centre de coordination pour la campagne internationale MERIT (Monitoring of Earth Rotation and Inter-comparison of Techniques). Trois autres réalisations du BTS ont été successivement établies, la dernière étant le BTS87, avant la création, en 1988, de l'IERS.

Depuis, dix versions de l'ITRF ont été publiées, la première étant l'ITRF88 et la dernière, l'ITRF2000, chaque nouvelle version améliorant la précédente.

3.5.4.2. Définition de l'ITRF

De l'ITRF88 à l'ITRF93, la définition du RRT est résumée comme suit :

- L'origine et l'échelle sont définies par une moyenne de certaines solutions SLR.
- L'orientation est définie par des alignements successifs, depuis le BTS87 dont l'orientation a été alignée aux séries des paramètres d'orientation de la Terre (EOP) du BIH. Il est à noter cependant que l'orientation du BTS87 ainsi que son évolution temporelle ont à nouveau été alignées sur les EOP de l'IERS.
- L'évolution temporelle en orientation : pour l'ITRF88 et l'ITRF89, il n'y avait pas de champ de vitesses estimé, le modèle de mouvement des plaques tectoniques AM0-2 (Minster et Jordan, 1978) a été utilisé comme référence. À partir de l'ITRF91 jusqu'à l'ITRF93, des champs de vitesses combinés ont été estimés. L'évolution temporelle en orientation de l'ITRF91 a été alignée au modèle NNR-NUVEL-1 (Argus et al., 1991), celle de l'ITRF92 au modèle NNR-NUVEL-1A, alors que celle de l'ITRF93 a été alignée aux séries EOP de l'IERS.

Depuis l'ITRF94, les matrices de variance complètes des solutions individuelles introduites dans les combinaisons ITRF ont été utilisées. La fixation du RRT ITRF94 a été réalisée de la manière suivante :

- L'origine est une moyenne pondérée de certaines solutions SLR et GPS.
- l'échelle est une moyenne pondérée de certaines solutions VLBI, SLR et GPS. Elle a été ensuite corrigée par un facteur d'échelle $(1 + 0.7 \times 10^{-9})$ afin d'être en accord avec les résolutions de l'UGGI et de l'UAI, adoptant l'échelle de temps TCG, au lieu de l'échelle de temps TT utilisée par les centres d'analyse (*cf.* chapitre 2).
- L'orientation est alignée à l'ITRF92.
- L'évolution temporelle est définie en alignant le champ de vitesses de l'ITRF94 au modèle NNR-NUVEL-1A, sur les sept dérivées des paramètres de transformation.

L'ITRF96 a ensuite été aligné à l'ITRF94, et l'ITRF97 à l'ITRF96, sur les quatorze paramètres de transformation.

Le réseau ITRF a progressivement augmenté en nombre de sites et en particulier ceux en colocalisations. La figure 3.5.1 montre le réseau ITRF88 ayant une centaine de sites et vingt-deux colocalisations (VLBI/SLR/LLR), et l'ITRF2000 contenant près de cinq cents sites et une centaine de colocalisations.

La précision des positions de stations ITRF et de leurs vitesses est devenue meilleure, grâce aux améliorations apportées par les centres d'analyses et la réalisation par combinaison de l'ITRF. La figure 3.5.2. représente les erreurs sphériques formelles en positions et en vitesses, comparant ITRF94, 96, 97, et ITRF2000.

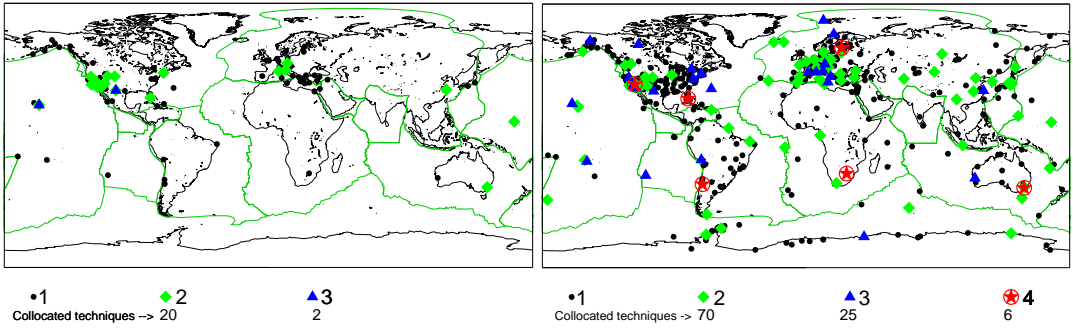


Fig. 3.5.1. Les sites et colocalisations ITRF88 (gauche) et ITRF2000 (droite).

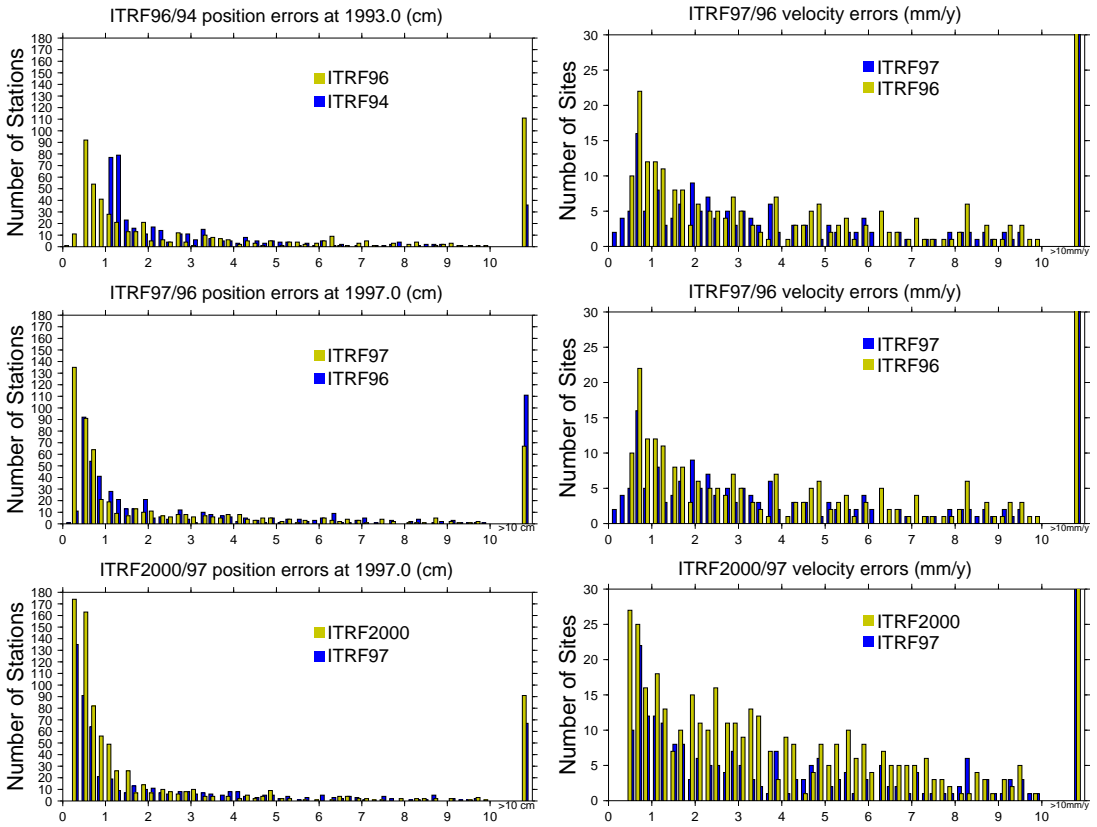


Fig. 3.5.2. Évolution des erreurs formelles selon les versions ITRF en positions (gauche) et en vitesses (droite)

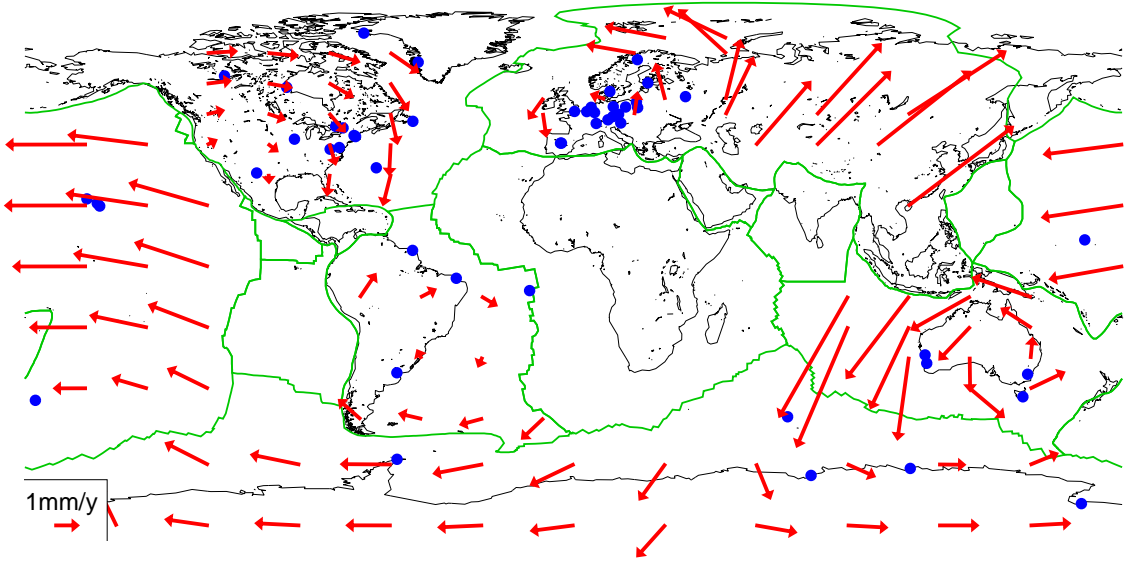


Fig. 3.5.3. Différences des vitesses entre l'ITRF2000 et le modèle NNR-NUVEL-1A

3.5.5. L'ITRF2000

Actuellement, l'ITRF2000 représente la version courante de l'ITRF.

L'ITRF2000 est une solution étendue et améliorée dans le but de servir de référence à la fois pour le positionnement et les applications aux sciences de la Terre. En plus des sites primaires, VLBI, SLR, GPS et DORIS, l'ITRF2000 comprend une densification par des réseaux GPS régionaux en Alaska, Antarctique, Asie, Europe, Amérique et dans le Pacifique.

Les solutions individuelles utilisées dans la combinaison ITRF2000 sont libres de toute contrainte externe. Les contraintes de définition de repère de référence sont détachables, lâches ou minimales.

En terme de définition du repère, l'ITRF2000 se caractérise par les propriétés suivantes :

- L'origine est obtenue en fixant à zéro les translations et leurs dérivées entre l'ITRF2000 et une moyenne pondérée de cinq solutions SLR.
- L'échelle est obtenue par une moyenne pondérée des cinq solutions SLR et de trois solutions VLBI. Contrairement à l'échelle de l'ITRF97 compatible avec le TCG, l'ITRF2000 est compatible avec le TT.
- L'orientation est obtenue en alignant les angles de rotation à ceux de l'ITRF97 à l'époque 1997.0 et leurs dérivées à celles du modèle NNR-NUVEL-1A (Argus et al., 1991, DeMets et al., 1990, 1994).

Les résultats de l'ITRF2000 ont montré un désaccord significatif avec le modèle NUVEL-1A en terme de mouvements relatifs entre plaques tectoniques (Altamimi et al., 2002). Cependant l'alignement de l'orientation différentielle de l'ITRF2000 au modèle NNR-NUVEL-1A est assurée

à 1 mm/an (Altamimi et al., 2003). Par conséquent, bien que l'ITRF2000 soit globalement aligné sur le modèle NNR-NUVEL-1A, des différences de vitesses au niveau régional peuvent atteindre 3mm/an comme le montre la figure 3.5.3.

3.6. PASSAGE DU SYSTÈME DE RÉFÉRENCE CÉLESTE GÉOCENTRIQUE AU SYSTÈME DE RÉFÉRENCE TERRESTRE

3.6.1. Introduction

La réduction de toute observation d'un objet céleste effectuée depuis la Terre, exige une transformation qui fait passer des coordonnées de l'objet dans le système de référence céleste aux coordonnées de ce même objet dans le système de référence terrestre où l'on connaît les coordonnées de la station d'observation.

Cette transformation de coordonnées s'effectue en deux étapes. La première étape, qui correspond au passage d'un système de référence centré au barycentre du système solaire à un système de référence centré au centre de masse de la Terre, a été décrite en 3.2. dans le cadre de la forme générale de la transformation entre les systèmes de référence relativistes notés BCRS et GCRS. Cette transformation prend en compte les effets de parallaxe annuelle et d'aberration annuelle à la date d'observation, ainsi que l'effet de déflexion de la lumière dans le champ gravitationnel des corps du système solaire (excepté la Terre). Cela permet de passer des coordonnées d'un objet céleste données par un catalogue ou par une éphéméride à ses coordonnées dans le système de référence céleste géocentrique GCRS, appelés couramment coordonnées *apparentes* (cf. 3.3). La deuxième étape, qui correspond au passage des coordonnées dans le système de référence céleste géocentrique GCRS aux coordonnées dans le système de référence terrestre ITRS, prend en compte l'orientation de la Terre dans le système de référence céleste à la date d'observation.

Le but de ce chapitre est de donner l'expression de la transformation de coordonnées entre le GCRS et l'ITRS à utiliser dans les réductions d'observations en fonction de quantités qui permettent de décrire l'orientation de la Terre dans le système de référence céleste suivant les conventions qui ont été adoptées par l'UAI en 2000.

3.6.2. Expression générale de la transformation

Les directions d'étoiles ou de quasars observés depuis la Terre à une certaine date se rapportent directement à un axe intermédiaire très proche de l'axe instantané de rotation. On est ainsi amené à introduire, dans le passage entre les systèmes de référence ITRS et GCRS, un système de référence céleste instantané dit *intermédiaire*, défini de façon conventionnelle de façon à exprimer au mieux les quantités observées au cours des réductions d'observations. Ainsi, pour effectuer le passage

du GCRS à l'ITRS, on passe d'abord des axes du système de référence céleste géocentrique dans lequel les coordonnées des directions des objets célestes sont calculées aux axes du système de référence intermédiaire instantané. Ce passage inclut (i) une rotation indépendante du temps entre le GCRS et le système de référence équatorial moyen à l'époque de référence t_o et (ii) une rotation pour passer du système de référence équatorial moyen de l'époque t_o au système de référence intermédiaire animé du mouvement de précession et de nutation. L'axe Ox de ce système de référence intermédiaire est arbitraire, les ascensions droites d'étoiles ou de quasars étant déterminées de façon relative. Pour exprimer les coordonnées angulaires d'un astre dans le système de référence terrestre il faut ensuite tenir compte de l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste autour de l'axe du pôle intermédiaire à partir de l'origine choisie ainsi que du déplacement de ce pôle par rapport à la Terre.

Si l'on désigne par $[CRS]$ et $[TRS]$ les matrices-colonnes des coordonnées rectangulaires d'un vecteur dans les systèmes de référence céleste et terrestre, respectivement, on peut ainsi écrire, les deux systèmes de référence étant supposés directs :

$$[TRS] = W(t) R(t) C(t) [CRS], \tag{3.6.1}$$

expression dans laquelle les matrices de transformation W , R , C tiennent compte des effets suivants :

- le mouvement du pôle, ou déplacement du pôle intermédiaire par rapport au système de référence terrestre, dans $W(t)$;
- l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste autour de l'axe du pôle, c'est-à-dire le long de l'équateur de la date, dans $R(t)$;
- le déplacement céleste du pôle intermédiaire, c'est-à-dire la précession-nutation, ainsi que l'écart entre le système de référence équatorial moyen de l'époque de référence et le système de référence céleste, dans $C(t)$.

Les dates d'observation étant exprimées en jour, soit dans l'échelle TAI, soit dans l'échelle TDB, on a :

$$t = (\text{TAI} - 2\,451\,545)/36\,525 \approx (\text{TDB} - 2\,451\,545)/36\,525. \tag{3.6.2}$$

Il existe deux options équivalentes pour la transformation (3.6.1) suivant l'origine utilisée pour compter l'angle de rotation de la Terre, soit l'équinoxe pour l'expression classique du temps sidéral, soit l'*origine non-tournante* (NRO, Non Rotating Origin), définie par Guinot en 1979 (*cf.* 3.6.4.4). Le choix de l'équinoxe vrai de la date comme origine sur l'équateur instantané avait des raisons historiques. Une origine des coordonnées célestes définie à partir de mesures de positions d'étoiles dérive dans le temps du fait de la mauvaise connaissance des mouvements propres. C'est pourquoi on a préféré, dans le passé, déterminer cette origine à partir des mouvements des corps du système solaire dont la théorie fait tout naturellement intervenir l'écliptique et l'équinoxe. L'usage de l'équinoxe dans la réduction d'observations n'a par contre aucun intérêt particulier lorsque ces observations ne sont pas directement sensibles à la position de l'écliptique (observations d'étoiles, de quasars, de satellites artificiels, etc.) et l'axe Ox du système de référence intermédiaire de la date peut alors être choisi indépendamment de l'équinoxe. Le choix d'un axe dirigé vers l'origine non-tournante permet alors de clarifier les concepts intervenant dans la transformation (3.6.1) et

d'améliorer l'exactitude de ses différentes composantes. L'utilisation de la NRO a été recommandée par la résolution B1.8 de l'UAI adoptée en 2000.

3.6.3. Les résolutions 2000 de l'UAI relatives à la transformation entre les systèmes de référence terrestre et céleste

Plusieurs résolutions concernant la transformation entre les systèmes de référence céleste et terrestre ont été adoptées par la vingt-quatrième assemblée générale de l'UAI (UAI, 2001) ; elles ont été mises en pratique par les conventions et les procédures de l'IERS qui sont entrées en vigueur le 1 janvier 2003 (*cf.* IERS, 2002 et IERS, 2003).

Résolution B1.7 : Définition du pôle céleste intermédiaire

Cette résolution recommande l'utilisation, à partir du 1 janvier 2003, du *pôle céleste intermédiaire* (CIP, Celestial Intermediate Pole) comme pôle céleste de la date, à la place du *pôle céleste des éphémérides* (CEP, Celestial Ephemeris Pole) qui avait été défini par le précédent modèle de nutation (UAI 1980). Ce pôle est défini par une convention relative à son mouvement dans le GCRS et l'ITRS qui étend la précédente définition du CEP dans le domaine des fréquences plus élevées (Capitaine, 2000a et 2000b). La nouvelle convention est telle que les nutations forcées ayant des périodes inférieures à deux jours sont incluses dans le modèle du mouvement du CIP dans l'ITRS.

La résolution B1.7 précise que le mouvement du CIP dans le GCRS est obtenu par le modèle de précession-nutation UAI 2000 pour des périodes supérieures à deux jours, corrigées des corrections additionnelles dépendant du temps et fournies par l'IERS à partir d'observations astro-géodésiques. De même, le mouvement du CIP dans l'ITRS est fourni par l'IERS à partir d'observations astro-géodésiques et des modèles incluant des variations à hautes fréquences.

Résolution B1.8 : Définition et usage des origines céleste et terrestre

Cette résolution recommande d'utiliser comme origines sur l'équateur du CIP, les origines non-tournantes à la fois par rapport au GCRS et à l'ITRS, ces origines étant appelées respectivement *origine céleste des éphémérides* (CEO, Celestial Ephemeris Origin) et *origine terrestre des éphémérides* (TEO, Terrestrial Ephemeris Origin). Il est à noter que les récentes recommandations du groupe de travail de l'UAI sur la nomenclature pour l'astronomie fondamentale proposent de renommer ces origines respectivement *origine céleste intermédiaire* (CIO, Celestial Intermediate Origin) et *origine terrestre intermédiaire* (TIO, Terrestrial Intermediate Origin) par souci d'homogénéisation avec le terme "intermédiaire" utilisé pour le pôle. On utilisera cette dénomination dans la suite.

L'*angle de rotation de la Terre* (ERA, Earth Orientation Angle) est défini comme étant l'angle entre le TIO et le CIO, mesuré positivement dans le sens rétrograde, le long de l'équateur du CIP. La résolution B1.8 recommande que UT1 soit linéairement proportionnel à l'ERA et que la transformation entre le GCRS et l'ITRS soit spécifiée par la position du CIP dans le GCRS, la position du CIP dans l'ITRS et l'ERA. La relation linéaire entre l'ERA, noté θ , et UT1 est celle

donnée par Capitaine et al. (2000) :

$$\theta(UT1) = 2\pi (0.779\,057\,273\,264\,0 + 1.002\,737\,811\,911\,354\,48 \times (t - 2451\,545.0)), \quad (3.6.3)$$

où t est la date julienne en UT1.

L'IERS est chargé d'implanter cette résolution depuis le 1 janvier 2003 tout en continuant à fournir aux utilisateurs les données et les algorithmes pour la transformation conventionnelle.

3.6.4. Les paramètres d'orientation de la Terre

3.6.4.1. Définition des paramètres à utiliser

L'orientation de la Terre dans un système de référence céleste, centré au centre de masse de la Terre, est donnée par trois paramètres. En fait, le mouvement de la Terre autour de son centre de masse comporte une composante non prévisible, constituée du mouvement du pôle et des variations de la vitesse angulaire de rotation, et une composante prévisible qui constitue la précession-nutation. Ces diverses composantes sont décrites dans le chapitre 4. La représentation de la rotation de la Terre exige la connaissance du mouvement de l'axe instantané de rotation à la fois dans le système de référence céleste et dans le système de référence terrestre, ainsi que du mouvement de rotation de la Terre autour de son axe de rotation. On utilise ainsi, en pratique, cinq paramètres appelés *paramètres d'orientation de la Terre* (EOP, Earth Orientation Parameters) (cf. 4.4). Deux d'entre eux représentent la trajectoire du pôle intermédiaire sur la sphère céleste, deux autres expriment les coordonnées, x_p , y_p , de ce pôle sur la sphère terrestre et le cinquième, la rotation de la Terre autour de l'axe du pôle. La connaissance de ces cinq paramètres en fonction de la date est indispensable pour effectuer la transformation (3.6.1).

Le Temps universel UT1, le temps sidéral à Greenwich GST (Greenwich Sidereal Time) et l'ERA θ , sont trois angles qui donnent la direction du méridien origine par rapport à une direction céleste origine et peuvent ainsi être utilisés pour mesurer l'angle de rotation de la Terre. Pour des raisons historiques, c'est le Temps universel UT1, considéré dans le passé comme une forme théorique de temps solaire, qui est utilisé comme l'un des paramètres de rotation de la Terre. UT1 se rapporte à la direction d'un Soleil moyen fictif ayant un mouvement uniforme en UT1 le long de l'équateur. La définition de UT1 est ainsi basée sur une relation avec un angle horaire qui mesure plus directement l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste, tels que GST, angle horaire du point γ (expression classique) ou l'ERA, θ , angle horaire de l'origine non-tournante (expression nouvelle). GST se rapporte à une direction qui subit la précession et la nutation, tandis que θ se rapporte à une direction qui, par définition, n'a aucune rotation instantanée (cf. 3.6.4.4). Ceci permet de définir UT1 comme étant proportionnel à l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste. Les variations relatives de la vitesse angulaire de rotation de la Terre, $m_3 = (\omega_3 - \Omega)/\Omega$, se traduisent par des variations $\Delta UT1$ du paramètre UT1, telles que : $\Delta UT1 = (1/k) \int_0^t m_3 dt$, k étant le facteur de proportionnalité entre θ et UT1. Elles s'obtiennent par la détermination de UT1 - TAI à partir d'observations.

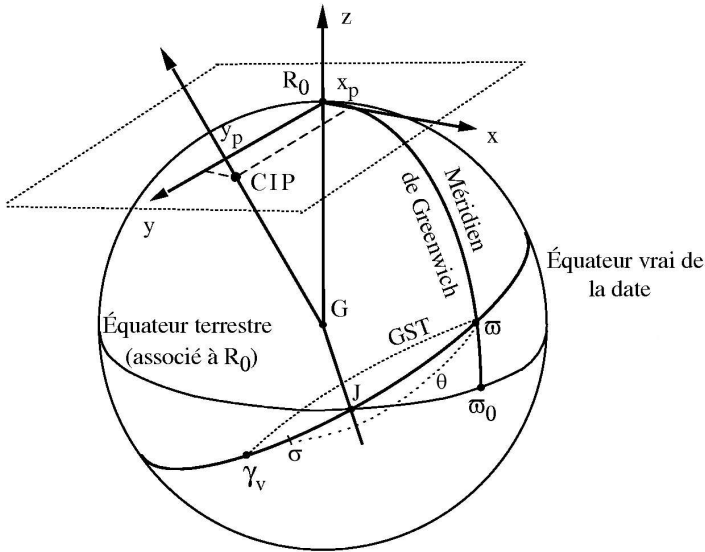


Fig. 3.6.1. Définition des paramètres d'orientation de la Terre.

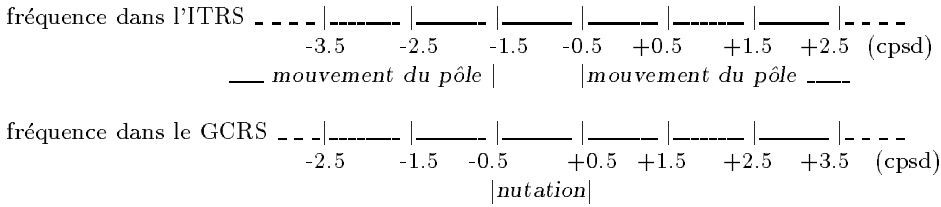
La figure 3.6.1 illustre la définition des paramètres qui décrivent l'orientation de la Terre à utiliser dans la transformation (3.6.1). Sur cette figure, G est le centre de masse de la Terre, Gz est l'axe des z du système de référence terrestre de référence défini au paragraphe 3.5 ; il coupe la sphère terrestre en R_0 . ω_0 est l'origine des longitudes, ω est l'intersection du méridien origine avec l'équateur vrai de la date, σ est le CIO sur l'équateur de la date, γ_v est l'équinoxe vrai de la date et J , le nœud de l'équateur de la date sur l'équateur terrestre. L'ERA est l'angle $\theta = \omega\sigma$ et GST est l'angle $\omega\gamma_v$.

3.6.4.2. Définition du CIP

Selon la résolution B1.7 de l'UAI, le CIP est un pôle intermédiaire, proche du pôle instantané de rotation, séparant, par convention, le mouvement du pôle de l'ITRS dans le GCRS en deux composantes :

- le mouvement céleste du CIP (précession-nutation), comprenant tous les termes ayant des périodes plus grandes que deux jours dans le GCRS (c'est-à-dire des fréquences comprises entre -0.5 cycle par jour sidéral (cpsd) et $+0.5$ cpsd),
- le mouvement terrestre du CIP (ou mouvement du pôle), comprenant tous les termes en dehors de la bande rétrograde diurne dans l'ITRS (fréquences plus petites que -1.5 cpsd, ou plus grandes que -0.5 cpsd).

Cette définition est résumée par le schéma suivant :



La résolution B1.8 de l’UAI recommande que la transformation entre le GCRS et l’ITRS soit spécifiée par la position du CIP dans le GCRS, la position du CIP dans l’ITRS et l’ERA. Cela amène à utiliser, à la place des quantités classiques de précession-nutation, les cosinus directeurs, notés X et Y , du CIP dans le GCRS qui expriment directement la direction de l’axe du pôle intermédiaire sur la sphère céleste sous une forme très similaire à celle exprimant usuellement la direction de cet axe dans le système de référence terrestre.

3.6.4.3. Bases de la nouvelle définition du Temps universel UT1

Jusqu’au 1 janvier 2003, UT1 était défini, à partir du temps sidéral moyen à 0 h UT1, par la relation de Aoki et al. (1982). Cette définition était adaptée à la détermination de UT1 à partir de l’instant de passage d’une étoile au méridien d’un lieu ou bien à une distance zénithale donnée ce qui n’est plus le cas des observations actuelles telles que la télémétrie laser ou le VLBI. Par ailleurs, le temps sidéral se réfère à l’équinoxe et les observations par les techniques modernes ne sont pas sensibles à la position de l’écliptique, donc de l’équinoxe, ce qui rend inutilement complexe le fait de se rapporter à l’équinoxe pour définir UT1. Enfin, la relation numérique d’Aoki et al. reposait sur le système de référence FK5 qui a été remplacé, au 1 janvier 1998, par le système de référence ICRS, décrit au paragraphe 3.4.

La nouvelle définition de UT1 adoptée par la résolution B1.8 de l’UAI utilise l’origine non-tournante sur l’équateur mobile. Cette origine a été choisie pour refléter le plus simplement possible la rotation de la Terre par rapport à un système de référence céleste tout en étant en continuité avec la définition historique de UT. Elle a l’avantage, d’une part, de rendre les concepts plus clairs, et, d’autre part, de simplifier les calculs.

Les conditions qui ont été prises en compte pour la nouvelle définition de UT1 ont été les suivantes :

- UT1 doit être proportionnel à la rotation sidérale de la Terre.
- Le coefficient de proportionnalité doit être tel que UT1 reste en moyenne en phase avec l’alternance des jours et des nuits.
- La phase de UT1 doit être fixée de telle sorte qu’il soit approximativement 12 h UT1 en moyenne lorsque le Soleil passe par le méridien origine.
- La relation linéaire entre l’ERA θ et UT1 doit permettre d’assurer la continuité en phase et en terme linéaire de UT1 avec la valeur obtenue en se basant sur la relation conventionnelle entre le temps sidéral du méridien de Greenwich et UT1 qui était utilisée en pratique avant le 1 janvier 2003.

La première condition exige l’utilisation d’une origine cinématiquement non-tournante sur

l'équateur mobile et les suivantes sont remplies par un choix approprié des valeurs numériques des coefficients.

3.6.4.4. Notion d'origine non-tournante

La rotation de la Terre par rapport à un système de référence inertiel doit être mesurée, sur l'équateur instantané, par rapport à une origine instantanée. Or, l'équateur instantané n'étant fixe ni dans le système de référence céleste du fait de la précession et de la nutation, ni dans le système de référence terrestre du fait du mouvement du pôle, la définition d'une origine instantanée pose un problème. L'utilisation d'une origine cinématiquement non-tournante sur l'équateur mobile permet de définir UT1 de telle façon qu'il réalise les conditions énoncées précédemment.

Soit (P_0) le système céleste quasi-inertiel défini par le pôle céleste moyen P_0 et l'équinoxe γ_0 à l'époque t_0 . On définit, dans l'équateur mobile à la date t , c'est-à-dire dans le système de référence équatorial instantané vrai de pôle P (dans la pratique, le CIP) et d'équinoxe γ_v , un point σ tel que le trièdre (GP, G_σ) n'ait, à aucun moment, de composante de rotation autour de GP par rapport à (P_0) . Ce point σ est le CIO, origine non-tournante dans le GCRS (Guinot, 1979).

Une telle définition implique que la rotation instantanée de σ autour de GP_0 annule la rotation instantanée qui résulte du mouvement de l'équateur dans le système de référence céleste du fait de la précession et de la nutation. De façon équivalente, on peut dire qu'à tout instant la vitesse de déplacement de ce point au cours du temps est dirigée perpendiculairement à l'équateur du CIP (figure 3.6.2).

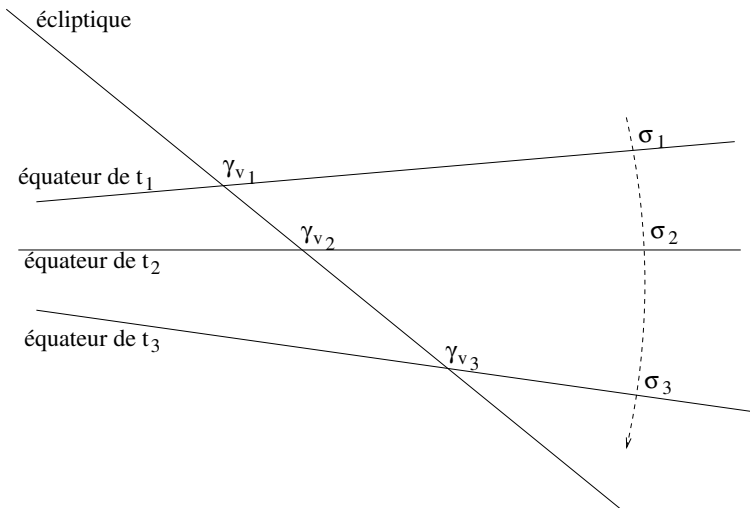


Fig. 3.6.2. Mouvement de l'origine non-tournante σ comparé à celui de l'équinoxe vrai de la date γ_v .

Soient d et E les coordonnées sphériques du CIP dans le système de référence céleste GCRS et $X = \sin d \cos E$, $Y = \sin d \sin E$, $Z = \cos d$ les coordonnées cartésiennes du vecteur unitaire dans

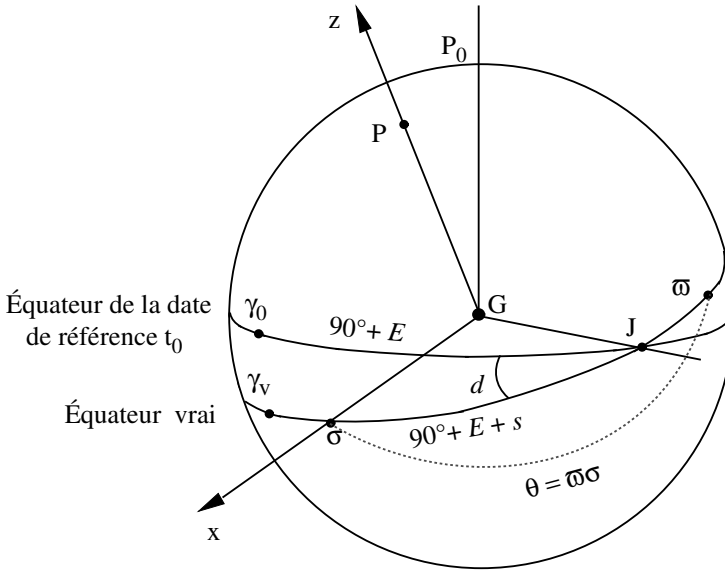


Fig. 3.6.3. Définition de l'origine "non-tournante".

la direction du CIP. Avec les notations de la figure 3.6.3, la quantité $s = \sigma\mathbf{J} - \gamma_0\mathbf{J}$ qui permet de positionner le CIO à tout instant à partir de l'origine fixe sur l'équateur fixe de l'époque t_0 , s'écrit sous la forme :

$$s(t) - s(t_0) = \int_0^t (\cos d - 1)\dot{E} dt = \int_0^t (\cos d - 1) dE. \quad (3.6.4)$$

Ou bien, à des termes en d^4 près :

$$s(t) - s(t_0) = -\frac{1}{2} \int_0^t (X\dot{Y} - Y\dot{X}) dt. \quad (3.6.5)$$

L'expression de s contenant l'ensemble des termes dus à la précession, la nutation ainsi que les couplages entre précession, nutation et décalage du pôle à l'origine est donnée par la formule (3.6.20) avec une exactitude de $5 \times 10^{-6}''$ pour la période [1975, 2025]; elle est la somme d'un polynôme du temps et de termes périodiques. Notons qu'après un siècle, la distance du CIO au méridien origine de l'ICRS est seulement de $0.070''$ alors que l'équinoxe s'est déplacé de près de 1.4 degré.

À cause du mouvement du pôle dans le système de référence terrestre, on définit également, dans l'équateur mobile, une origine non-tournante, relative au système de référence terrestre, le TIO noté ϖ . Le déplacement angulaire du TIO sur l'équateur du CIP du fait du mouvement du pôle dans le système de référence terrestre est noté s' ; son expression s'obtient en remplaçant X et Y dans (3.6.5) par les coordonnées du CIP dans le système de référence terrestre, x_p et $-y_p$ (cf.

3.6.5.1). On obtient :

$$s' = \frac{1}{2} \int_0^t (x_p \dot{y}_p - \dot{x}_p y_p) dt. \quad (3.6.6)$$

Cette quantité qui était négligée dans la forme classique de la transformation entre le GCRS et l'ITRS avant le 1 janvier 2003, est nécessaire pour la réalisation exacte du méridien origine instantané. Étant donné l'ordre de grandeur de l'écart du CIP par rapport à R_0 , on peut écrire, pour les applications qui n'exigent pas une précision meilleure que la milliseconde de degré : $\varpi\mathbf{J} = \varpi_0\mathbf{J}$, c'est-à-dire $s' = \varpi\mathbf{J} - \varpi_0\mathbf{J} = 0$ (cf. Fig. 3.6.1).

3.6.4.5. Angle de rotation de la Terre et définition de UT1

L'ERA $\varpi\sigma = \theta$, compté positivement dans le sens rétrograde, (appelé originellement *angle stellaire*), définit l'angle de rotation sidérale de la Terre (Guinot, 1979). Il représente idéalement, par suite de la définition des origines CIO et TIO, la rotation intrinsèque de la Terre, puisque :

$$\theta = \omega_3 (t - t_0), \quad (3.6.7)$$

ω_3 étant la vitesse angulaire de rotation de la Terre autour de l'axe de rotation et t_0 l'époque de référence.

La connaissance de cet angle est suffisante pour positionner la Terre dans le système de référence céleste autour de l'axe du CIP et il se déduit aisément de toute observation qui permet de positionner le système de référence terrestre par rapport au système de référence céleste, ainsi que d'une modélisation de la position du CIP dans le système de référence céleste. On en déduit la définition conceptuelle de UT1 :

$$UT1 = (1/k) (\theta + a_0). \quad (3.6.8)$$

La définition conventionnelle de UT1 recommandée par la résolution B1.8 de l'UAI et donnée par l'équation (3.6.3) a été déduite de la définition conceptuelle ci-dessus en utilisant des valeurs de k et a_0 cohérentes avec la précédente définition conventionnelle (Aoki et al., 1982) de UT1 en fonction du temps sidéral.

3.6.4.6. Relation entre le temps sidéral et UT1

Le temps sidéral à Greenwich GST est relié à l'ERA θ , au niveau de la microseconde de degré, par la relation suivante (Aoki & Kinoshita, 1983 ; Capitaine & Gontier, 1993) :

$$GST = dT_0 + \theta + \int_{t_0}^t (\dot{\psi}_A + \Delta\dot{\psi}_1) \cos(\omega_A + \Delta\epsilon_1) dt - \chi_A + \Delta\psi \cos \epsilon_A - \Delta\psi_1 \cos \omega_A, \quad (3.6.9)$$

ψ_A , ω_A et χ_A étant les quantités de précession de Lieske et al. (1977) définies en 4.2.1, $\Delta\psi_1$, $\Delta\epsilon_1$, les angles de nutation en longitude et obliquité rapportés à l'écliptique de l'époque et $\Delta\psi$ la nutation en longitude rapportée à l'écliptique de la date.

$\theta - GST$ est l'ascension droite de l'équinoxe comptée à partir du CIO, quantité également appelée *équation des origines* et dT_0 est une constante à ajuster pour assurer la continuité de UT1 à la

date du changement (1 Janvier 2003) ; les autres termes représentent la précession-nutation en ascension droite accumulée de J2000 à la date t .

Cette expression est à la base de la relation numérique donnée par (3.6.23) entre le temps sidéral et UT1 qui a été obtenue par Capitaine et al. (2003b) en imposant : (i) l'équivalence avec la définition conventionnelle de UT1 donnée par (3.6.3), (ii) la compatibilité avec le modèle UAI 2000 de la nutation et l'expression correspondante de s , (iii) la continuité de UT1 avec la valeur obtenue au 1 janvier 2003 à 0h TT par les procédures utilisées avant le 1 janvier 2003.

3.6.5. Expression de la transformation entre le GCRS et l'ITRS utilisant l'origine non-tournante

3.6.5.1. Expression des matrices de rotation relatives aux origines non-tournantes

Toute transformation entre les système de référence GCRS et ITRS centrés au centre de masse de la Terre G s'exprime sous la forme (3.6.1) en fonction de matrices de transformation qui dépendent de l'origine utilisée sur l'équateur du CIP. Notons W' , R' , C' les matrices de transformation lorsque l'on utilise les origines non-tournantes CIO et TIO, comme le recommande la résolution B1.8 de l'UAI.

Désignons par x_p et y_p les coordonnées terrestres du CIP défini en 3.6.4.2. Du fait de la proximité de l'axe des z du système de référence terrestre et de l'axe du CIP, ces coordonnées, appelées *coordonnées du pôle*, sont des coordonnées angulaires différentielles par rapport au pôle terrestre origine. Par convention, elles sont comptées respectivement, le long du méridien terrestre origine, positivement vers Greenwich pour x_p et le long d'un axe perpendiculaire à ce méridien, positivement vers la longitude 90° ouest pour y_p . La matrice qui permet de tenir compte du mouvement du pôle dans le système de référence terrestre, est le produit de deux matrices de rotation (autour de l'axe Gx pour la coordonnée y_p et de l'axe Gy pour la coordonnée x_p). L'utilisation de l'origine non-tournante dans le système de référence terrestre amène à introduire la quantité s' définie par l'équation (3.6.6). Cette rotation autour de l'axe Gz s'ajoute aux deux rotations précédentes, et l'effet total du déplacement terrestre de l'axe du CIP se traduit par la matrice de rotation :

$$W'(t) = R_1(-y_p)R_2(-x_p)R_3(s'). \quad (3.6.10)$$

La matrice $R'(t)$ est une matrice de rotation autour de l'axe du CIP qui permet de tenir compte de l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste. La définition de l'ERA, θ , permet d'écrire :

$$R'(t) = R_3(\theta), \quad \text{avec} \quad \theta = \theta_0 + k(\text{UT1} - \text{UT1}_0), \quad (3.6.11)$$

où k est le coefficient de proportionnalité entre l'ERA et le Temps universel, l'indice 0 désignant l'époque de référence t_0 . L'effet total du déplacement céleste de l'axe du CIP dans le GCRS (incluant les écarts constants) se traduit par la matrice de rotation :

$$C'(t) = R_3(-s)R_3(-E)R_2(d)R_3(E) = R_3(-s)M(t), \quad (3.6.12)$$

avec $M(t) = R_3(-E)R_2(d)R_3(E)$, fonction des coordonnées sphériques E et d du CIP dans le GCRS. On peut également écrire $M(t)$ sous la forme d'une matrice de transformation faisant intervenir directement les deux paramètres X et Y (cf. 3.6.4.4) :

$$M(t) = \begin{pmatrix} 1 - aX^2 & -aXY & -X \\ -aXY & 1 - aY^2 & -Y \\ X & Y & 1 - a(X^2 + Y^2) \end{pmatrix}, \quad (3.6.13)$$

où a est défini par $a = 1/(1 + \cos d)$.

3.6.5.2. Valeurs standard à utiliser pour les paramètres

Les coordonnées du pôle x_p et y_p à la date t , à utiliser dans la matrice $W'(t)$, sont fournies par l'IERS. Pour se conformer à la définition du CIP, il faut ajouter les composantes additionnelles permettant de prendre en compte les termes provenant (i) des effets des marées océaniques et (ii) des nutations de périodes inférieures à deux jours. Les coordonnées du pôle à utiliser sont données par :

$$(x_p, y_p) = (x, y)_{IERS} + (\Delta x, \Delta y)_{tidal} + (\Delta x, \Delta y)_{nutation}, \quad (3.6.14)$$

$(x, y)_{IERS}$ étant les coordonnées du pôle fournies par l'IERS, $(\Delta x, \Delta y)_{tidal}$ les variations diurnes et subdiurnes du mouvement du pôle dues aux marées océaniques et $(\Delta x, \Delta y)_{nutation}$ les composantes du mouvement du pôle (Brzeziński & Capitaine, 2002, Mathews & Bretagnon, 2002) correspondant aux nutations de périodes diurnes et subdiurnes.

La quantité s' , qui restera inférieure à $1 \times 10^{-4''}$ pendant un siècle, peut généralement être négligée. Pour des calculs exigeant une précision de l'ordre de $10^{-4''}$ sur les EOP, elle peut être calculée en utilisant les valeurs fournies par l'IERS pour les amplitudes a_c et a_a du terme de Chandler et du terme annuel du mouvement du pôle à l'époque du calcul. Elle s'écrit alors, en exprimant les amplitudes en secondes de degré et t en siècles :

$$s' = -0.0015'' (a_c^2/1.2 + a_a^2) t. \quad (3.6.15)$$

En utilisant les valeurs moyennes actuelles des amplitudes de ces termes, on a (Lambert & Bizouard 2002) :

$$s' = -0.000\,047'' t. \quad (3.6.16)$$

La valeur de l'ERA en radians, à la date t , à utiliser dans la matrice $R'(t)$, s'obtient en utilisant l'expression (3.6.3) :

$$\theta(d_u) = 2\pi (0.779\,057\,273\,264\,0 + 1.002\,737\,811\,911\,354\,48 T_u), \quad (3.6.17)$$

où $T_u = \text{date julienne UT1} - 2\,451\,545.0$, et $\text{UT1} = \text{UTC} + (\text{UT1} - \text{UTC})$, la valeur de $\text{UT1} - \text{UTC}$ à la date t étant fournie par l'IERS.

La valeur des quantités X et Y à utiliser dans la matrice $C'(t)$ s'obtient à partir des développements UAI 2000 des coordonnées X et Y du CIP à la date t dans le GCRS, qui ont été donnés sous la

forme suivante par Capitaine et al. (2003a) :

$$\begin{aligned}
 X = & -0''.016\,616\,99 + 2\,004''.191\,742\,88t - 0''.427\,219\,05t^2 \\
 & - 0''.198\,620\,54t^3 - 0''.000\,046\,05t^4 + 0''.000\,005\,98t^5 \\
 & + \sum_i [(a_{s,0})_i \sin(\text{ARGUMENT}) + (a_{c,0})_i \cos(\text{ARGUMENT})] \\
 & + \sum_i [(a_{s,1})_i t \sin(\text{ARGUMENT}) + (a_{c,1})_i t \cos(\text{ARGUMENT})] \\
 & + \sum_i [(a_{s,2})_i t^2 \sin(\text{ARGUMENT}) + (a_{c,2})_i t^2 \cos(\text{ARGUMENT})] + \dots,
 \end{aligned} \tag{3.6.18}$$

$$\begin{aligned}
 Y = & -0''.006\,950\,78 - 0''.025\,381\,99t - 22''.407\,250\,99t^2 \\
 & + 0''.001\,842\,28t^3 + 0''.001\,113\,06t^4 + 0''.000\,000\,99t^5 \\
 & + \sum_i [(b_{c,0})_i \cos(\text{ARGUMENT}) + (b_{s,0})_i \sin(\text{ARGUMENT})] \\
 & + \sum_i [(b_{c,1})_i t \cos(\text{ARGUMENT}) + (b_{s,1})_i t \sin(\text{ARGUMENT})] \\
 & + \sum_i [(b_{c,2})_i t^2 \cos(\text{ARGUMENT}) + (b_{s,2})_i t^2 \sin(\text{ARGUMENT})] + \dots,
 \end{aligned} \tag{3.6.19}$$

où t est compté en siècles juliens à partir de J2000 et où ARGUMENT représente les arguments des nutations luni-solaires et planétaires du modèle UAI 2000A ; c'est une combinaison linéaire des arguments fondamentaux de la nutation (*i.e.* arguments de Delaunay l, l', F, D, Ω), des longitudes des planètes $L_{Me}, L_{Ve}, L_E, L_{Ma}, L_J, L_{Sa}, L_U, L_{Ne}$ et de la précession p_A . Ces développements ont été déduits des expressions de X et Y (Capitaine, 1990) en fonction des quantités classiques de précession-nutation ; ils sont compatibles avec le modèle de nutation UAI 2000A et incluent les décalages à J2000 par rapport aux axes du GCRS (ξ_0, η_0 pour le CIP et $d\alpha_0$ pour l'équinoxe). Un extrait des développements (3.6.18) et (3.6.19) pour les termes périodiques les plus importants est donné dans la table 6.1. Pour les observations exigeant une précision de l'ordre de $10^{-4}''$ sur les EOP, il faut ajouter à ces valeurs, les corrections sur la position du pôle céleste, $dX_{IAU2000} = d\psi_{IAU2000} \sin \varepsilon$ et $dY_{IAU2000} = d\varepsilon_{IAU2000}$, diffusées par l'IERS.

La valeur de la quantité s à utiliser dans la matrice $C'(t)$ s'obtient à partir du développement de s en fonction du temps obtenu par (3.6.4) en utilisant les expressions (3.6.18) et (3.6.19) pour X et Y ; elle s'écrit avec une exactitude de $10 \mu\text{as}$ (Capitaine et al., 2003a) :

$$\begin{aligned}
 s = & -XY/2 + 0''.000\,094 + 0''.003\,808t - 0''.000\,120t^2 - 0''.072\,574t^3 - 0''.002\,641 \sin \Omega \\
 & - 0''.000\,064 \sin 2\Omega - 0''.000\,012 \sin(2\lambda_\odot + \Omega) - 0''.000\,011 \sin(2\lambda_\odot - \Omega) \\
 & + 0''.000\,744t^2 \sin \Omega + 0''.000\,057t^2 \sin 2\lambda_\odot + 0''.000\,010t^2 \sin 2\lambda_\ominus,
 \end{aligned} \tag{3.6.20}$$

λ_\odot et λ_\ominus étant respectivement les longitudes moyennes du Soleil et de la Lune et Ω la longitude du nœud de l'orbite de la Lune. Le terme constant de ce développement a été déterminé de façon à assurer la continuité de UT1 au 1 janvier 2003.

Table 6.1. Termes périodiques les plus importants dans les développements des coordonnées $X(t)$ (partie supérieure) et $Y(t)$ (partie inférieure) du CIP dans le GCRS (unité $10^{-6}''$).

Amplitudes		ARGUMENT														
i	$(a_{s,0})_i$	$(a_{c,0})_i$	l	l'	F	D	Ω	L_{Me}	L_{Ve}	L_E	L_{Ma}	L_J	L_{Sa}	L_U	L_{Ne}	p_A
1	-6844318.44	1328.67	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-523908.04	-544.76	0	0	2	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	-90552.22	111.23	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	82168.76	-27.64	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	58707.02	470.05	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.....																
i	$(a_{s,1})_i$	$(a_{c,1})_i$	l	l'	F	D	Ω	L_{Me}	L_{Ve}	L_E	L_{Ma}	L_J	L_{Sa}	L_U	L_{Ne}	p_A
1307	-3328.48	205833.15	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1308	197.53	12814.01	0	0	2	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1309	41.19	2187.91	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.....																
i	$(b_{s,0})_i$	$(b_{c,0})_i$	l	l'	F	D	Ω	L_{Me}	L_{Ve}	L_E	L_{Ma}	L_J	L_{Sa}	L_U	L_{Ne}	p_A
1	1538.18	9205236.26	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-458.66	573033.42	0	0	2	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	137.41	97846.69	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	-29.05	-89618.24	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	-17.40	22438.42	0	1	2	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.....																
i	$(b_{s,1})_i$	$(b_{c,1})_i$	l	l'	F	D	Ω	L_{Me}	L_{Ve}	L_E	L_{Ma}	L_J	L_{Sa}	L_U	L_{Ne}	p_A
963	153041.82	878.89	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
964	11714.49	-289.32	0	0	2	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
965	2024.68	-50.99	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.....																

3.6.6. Expression classique de la transformation entre le GCRS et l'ITRS

3.6.6.1. Expression des matrices de rotation

Notons W'' , R'' , C'' les matrices de transformation lorsque l'on utilise la représentation classique pour la transformation (3.6.1), c'est-à-dire lorsque l'axe Gx du système de référence intermédiaire est dirigé vers l'équinoxe.

L'application de la résolution B1.8 de l'UAI impose à la matrice W'' d'avoir la même expression (3.6.10) que dans le cas précédent.

La matrice $R''(t)$ s'écrit en fonction de GST :

$$R''(t) = R_3(\text{GST}). \tag{3.6.21}$$

$C''(t)$, produit de différentes matrices de rotation, permet de tenir compte du déplacement de l'équateur et de l'équinoxe par suite de la nutation et de la précession, ainsi que du décalage du pôle obtenu par le modèle de précession-nutation à J2000 par rapport au pôle du GCRS. Ces transformations sont prises en compte par un ensemble de trois rotations pour le décalage des axes du système de référence équatorial moyen à J2000 par rapport au GCRS, par un ensemble de quatre rotations pour la précession et un ensemble de trois rotations pour la nutation :

$$C''(t) = \underbrace{R_1(-\varepsilon_A - \Delta\varepsilon)R_3(-\Delta\psi)R_1(\varepsilon_A)}_{\text{nutation}} \underbrace{R_3(\chi_A)R_1(-\omega_A)R_3(-\psi_A)R_1(\varepsilon_0)}_{\text{précession}} \underbrace{R_1(-\eta_0)R_2(\xi_0)R_3(d\alpha_0)}_{\text{décalage à J2000}} \quad (3.6.22)$$

Dans (3.6.22) ε_A , z_A , θ_A et ζ_A sont des quantités liées à la précession définies en 4.2., $\Delta\varepsilon$ et $\Delta\psi$ sont les nutations en obliquité et en longitude rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens de la date définies en 4.3.

3.6.6.2. Valeurs standard à utiliser pour les paramètres

Comme précédemment, les coordonnées du pôle x_p et y_p à la date t , à utiliser dans la matrice $W''(t)$, sont obtenues par (3.6.14) et l'expression de la quantité s' par (3.6.16).

La valeur de la quantité GST, à la date t , à utiliser dans la matrice $R''(t)$, s'obtient à partir de l'expression (3.6.23) du temps sidéral qui a été obtenue par Capitaine et al. (2003b) selon la procédure décrite en 3.6.4.5 de façon à assurer la continuité de UT1 au 1 janvier 2003 et l'équivalence entre la transformation classique et la transformation rapportée au CIO :

$$\begin{aligned} \text{GST} = & 0.014506'' + \theta + 4612.15739966''t + 1.39667721''t^2 - 0.00009344''t^3 + 0.00001882''t^4 \\ & + \Delta\psi \cos \varepsilon_A - \sum_k C'_k \sin \alpha_k - 0.00000087''t \sin \Omega. \end{aligned} \quad (3.6.23)$$

Les deux derniers termes de (3.6.23) sont des termes complémentaires à ajouter à l'expression classique de l'équation des équinoxes, $\Delta\psi \cos \varepsilon_A$, de façon à assurer l'équivalence avec la relation entre GST et θ avec une exactitude de 1 microseconde de degré.

Les valeurs numériques des angles de nutation $\Delta\psi$ et $\Delta\varepsilon$ à la date t sont obtenues à partir des tables du modèle UAI 2000 de la nutation (IAU 2000A de Mathews et al. (2002) pour une précision meilleure que $10^{-3}''$ ou IAU 2000B de McCarthy & Luzum (2003) pour une précision de l'ordre de $10^{-3}''$). Pour les observations exigeant une précision de l'ordre de $10^{-4}''$, il faut ajouter à ces valeurs conventionnelles, les valeurs IERS (observées ou prédites) des corrections $d\psi_{IAU2000}$ et $d\varepsilon_{IAU2000}$. Les valeurs à utiliser pour les décalages à J2000 sont les valeurs associées au modèle UAI 2000 pour ξ_0 et η_0 et la valeur $d\alpha_0 = -0.0146''$ obtenue par Chapront et al. (2002) à partir d'observations LLR.

Les valeurs des quantités ε_A , ψ_A , ω_A et χ_A sont données dans la table 4.2.1.

3.6.6.3. Comparaison avec l'expression 1982 de GMST

L'expression de GMST (Greenwich Mean Sidereal Time) compatible avec le modèle UAI 2000 de précession-nutation est donnée en fonction de l'ERA par la première ligne de l'expression (3.6.23) ;

elle est exprimée en secondes de degré puisque GST et ERA sont des angles. Pour comparer cette expression à celle d'Aoki et al. (1982), on l'exprime en fonction de UT1 en utilisant la relation (3.6.3) et on convertit l'expression obtenue en secondes de temps. On obtient ainsi, avec une résolution de $0.1 \mu\text{s}$:

$$\begin{aligned} \text{GMST00}(t_{\text{u}}, t) = & \text{UT1} + 24110.5493771 + 8639877.3173760 t_{\text{u}} + 307.4771600 t \\ & + 0.0931118 t^2 - 0.0000062 t^3 + 0.0000013 t^4, \end{aligned} \quad (3.6.24)$$

où t_{u} et t sont, respectivement, les dates en UT1 et en TT, exprimées en siècles juliens à partir de J2000.

Ou bien, de façon équivalente :

$$\begin{aligned} \text{GMST00}(t_{\text{u}}, t) = & \text{UT1} + 24110.5493771 + 8640184.7945360 t_{\text{u}} + 307.4771600 (t - t_{\text{u}}) \\ & + 0.0931118 t^2 - 0.0000062 t^3 + 0.0000013 t^4, \end{aligned} \quad (3.6.25)$$

à comparer avec la définition 1982 de UT1 :

$$\begin{aligned} \text{GMST82}(t_{\text{u}}) = & \text{UT1} + 24110.54841 + 8640184.812866 t_{\text{u}} \\ & + 0.093104 t_{\text{u}}^2 - 0.0000062 t_{\text{u}}^3. \end{aligned} \quad (3.6.26)$$

3.7. BIBLIOGRAPHIE

- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. : 2002, ITRF2000 : A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications, *J. Geophys. Res.* **107** (**B10**), 2214, doi :10.1029/2001JB000561.
- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. : 2003, The impact of a No-Net-Rotation Condition on ITRF2000, *Geophys. Res. Lett.* **30** (**2**), 1064, doi :10.1029/2002GL016279.
- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. : 2003, ITRF2000 : From Theory to Implementation, *Proceedings of IAG V Hotine Marussi symposium*.
- Aoki, S., Guinot, B., et al. : 1982, The New Definition of Universal Time, *Astron. Astrophys.* **105**, 359.
- Argus, D.F., Gordon, R.G. : 1991, No-net rotation model of current plate velocities incorporating plate motion model NUVEL-1, *Geophys. Res. Lett.* **18**, 2038.
- Arias, E.F., Bouquillon, S. : 2004, Representation of the International Celestial Reference System (ICRS) by different sets of selected radio sources, *Astron. Astrophys.* **422**, 1105.
- Arias, E.F., Charlot, P., et al. : 1995, The extragalactic reference system of the International Earth Rotation Service, ICRF, *Astron. Astrophys.* **303**, 604.

- Arias, F., Feissel, M., Lestrade, J.-F. : 1988, Comparison of VLBI celestial reference frames, *Astron. Astrophys.* **199**, 357.
- Arias, E.F., Feissel, M., Lestrade, J.-F. : 1988, An extragalactic celestial reference frame consistency with the BIH terrestrial system (1987), BIH Annual Report for 1988, D-113, observatoire de Paris.
- Boucher, C. : 1989, Current intercomparisons between CTS's in *Reference frames in Astronomy and Geophysics*, Kovalevsky, J., Mueller, I.I., Kolacek, B. eds, Kluwer Academic Publishers, 324.
- Boucher, C. : 2001, Terrestrial coordinate systems and frames, in *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, MacMillan.
- Boucher, C., Altamimi, Z. : 1985, Towards an improved realization of the BIH terrestrial frame, *The MERIT/COTES Report on Earth Rotation and Reference Frames* Vol. **2**, Mueller, I.I ed., OSU/DGS, Columbus, Ohio, USA.
- Bretagnon, P. : 1982, Théorie du mouvement de l'ensemble des planètes. Solution VSOP82, *Astron. Astrophys.* **114**, 278.
- Bretagnon, P., Brumberg, V.A. : 2003, On transformation between international celestial and terrestrial reference systems, *Astron. Astrophys.* **408**, 387.
- Bretagnon, P., Fienga, A., Simon, J.-L. : 2003, Expressions for precession consistent with the IAU 2000A model. Considerations about the ecliptic and the Earth Orientation Parameters, *Astron. Astrophys.* **400**, 485.
- Bretagnon, P., Francou, G. : 1988, Planetary theories in rectangular and spherical variables. VSOP87 solutions, *Astron. Astrophys.* **202**, 309.
- Bretagnon, P., Francou, G., Rocher, P., Simon, J.-L. : 1998, SMART97 : A new solution for the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **329**, 329.
- Bretagnon, P., Rocher, P., Simon, J.-L. : 1997, Theory of the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **319**, 305.
- Brumberg, V.A., Bretagnon, P., Guinot, B. : 1996, Astronomical Units and Constants in the General Relativity Framework, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **64**, 231.
- Brumberg, V.A., Groten, E. : 2001, IAU Resolutions on Reference Systems and Time Scales in Practice, *Astron. Astrophys.* **367**, 1070.
- Brumberg, V.A., Simon J.-L. : 2004, Relativistic indirect third-body perturbations in the SMART Earth's rotation theory, in *Journées 2003, Systèmes de référence spatio-temporels*, Saint-Pétersbourg, (sous presse).
- Brzeziński, A., Capitaine N. : 2003, Lunisolar perturbations in Earth rotation due to the triaxial figure of the Earth : geophysical aspects, in the Proceedings of the *Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels* 2001, N. Capitaine ed, observatoire de Paris, 51.
- Capitaine, N. : 1990, The Celestial Pole Coordinates," *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **48**, 127.
- Capitaine, N. : 2000a, Overview and proposition for a modern definition of the CEP in "Polar motion : Historical and scientific problems", *ASP Conference series*, Vol 208, S. Dick, D.D. McCarthy and B. Luzum eds, 573.

- Capitaine, N. : 2000b, Definition of the Celestial Ephemeris Pole and the Celestial Ephemeris Origin, in "Towards Models and Constants for Sub-Microarcsecond astrometry", K.J. Johnston, D.D. McCarthy, B. Luzum, G. Kaplan eds, USNO, 153.
- Capitaine, N., Gontier A.-M. : 1993, Accurate procedure for deriving UT1 at a submilliarcsecond accuracy from Greenwich sidereal time or from stellar angle, *Astron. Astrophys.* **275**, 645.
- Capitaine, N., Guinot, B., McCarthy, D.D. : 2000, Definition of the Celestial Ephemeris origin and of UT1 in the international Reference Frame, *Astron. Astrophys.* **335**, 398.
- Capitaine, N., Chapront J., Lambert, S., Wallace, P.T : 2003a, Expressions for the Celestial Intermediate Pole and Celestial Ephemeris Origin consistent with the IAU 2000A precession-nutation model, *Astron. Astrophys.* **400**, 1145.
- Capitaine, N., Wallace, P.T, McCarthy, D.D. : 2003b, Expressions to implement the IAU 2000 definition of UT1, *Astron. Astrophys.* **406**, 1135.
- Chapront, J., Chapront-Touzé, M. : 1997, Lunar motion : theory and observations, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **66**, 31.
- Chapront, J., Chapront-Touzé, M., Francou, G. : 1999, Determination of the lunar orbital and rotational parameters of the ecliptic reference system orientation from LLR measurements and IERS data, *Astron. Astrophys.* **343**, 624.
- Chapront, J., Chapront-Touzé, M., Francou, G. : 2002, A new determination of lunar orbital parameters, precession constant and tidal acceleration from LLR measurements, *Astron. Astrophys.* **387**, 700.
- Chapront, J., Francou, G. : 2003, The lunar theory ELP revisited. Introduction of new planetary perturbations, *Astron. Astrophys.* **404**, 735.
- Charlot, P., Sovers, O.J., Williams, J.G., Newhall, X.X. : 1995, Precession and Nutation from Joint Analysis of Radio Interferometric and Lunar Laser Ranging Observations, *Astron. J.* **109**, 418.
- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., Stein, S. : 1994, Effect of recent revisions of the geomagnetic reversal timescale on estimates of current plate motions, *Geophys. Res. Lett.* **21** (20), 2191.
- Fairhead, L., Bretagnon, P. : 1990, An analytical formula for the time transformation TB-TT, *Astron. Astrophys.* **229**, 240.
- Feissel-Vernier, M. : 2002, Selecting stable extragalactic compact radio sources from the permanent astrogeodetic VLBI program, *Astron. Astrophys.* **403**, 105.
- Fey, A.L., Charlot, P. : 1997, VLBA observations of radio reference frame sources . II. Astrometric suitability based on observed structure, *Astrophys. J. Suppl.* **111**.
- Fey, A.L., Ma, C., Arias, E.F., Charlot, P. et al. : 2004, The second extension of the International Celestial Frame : ICRF-EXT.1 *Astron. J.*, **403**, (6), 3587.
- Folkner, W.M., Charlot, P., et al. : 1994, Determination of the extragalactic-planetary frame tie from joint analysis of radio interferometric and lunar laser ranging measurements, *Astron. Astrophys.* **287**, 279.
- Fricke, W. : 1982, Determination of the Equinox and Equator of the FK5, *Astron. Astrophys.* **107**, L13.

- Fricke, W., Schwan, H., Lederle, T. et al. : 1988, Fifth Fundamental Catalogue (FK5), Veröff. Astron. Rechen-Institut Heidelberg 32, Verlag G. Braun, Karlsruhe.
- Guinot B. : 1979, Basic problems in the kinematics of the rotation of the Earth, in *Time and the Earth's Rotation*, IAU Symposium N 82, McCarthy D.D, Pilkington D.H. eds, D. Reidel, pp. 7-18.
- Guinot, B. : 2000, Time systems and time frames, the epochs, in *J2000, a fundamental epoch for origins of reference systems and astronomical models* (Journées 2000), Capitaine, N. ed., observatoire de Paris, 209.
- Hazard, C., Sutton, J., Argue, A.N., et al. : 1971, Accurate Radio and Optical Positions of 3C273B, *Nature* **233**, 89.
- IERS : 1992, IERS Standards (1992), *IERS Technical note* 13, McCarthy ed., observatoire de Paris, 148.
- IERS : 1996, IERS Conventions (1996), *IERS technical note* 21, McCarthy ed., observatoire de Paris.
- IERS : 1999, : First extension of the ICRF, ICRF-Ext.1, *1998 IERS Annual Report*, Gambis, D. ed., observatoire de Paris, 87.
- IERS : 2002, Proceedings of the IERS Workshop on the Implementation of the New IAU Resolutions, *IERS technical note* 29, Capitaine, N., Gambis, D., McCarthy, D.D., Petit, G., Ray, J., Richter, B., Rothacher, M., Standish, E.M., Vondrak, J. eds., Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am mai
- IERS : 2003, IERS Conventions (2003), *IERS technical note* 32, McCarthy, D.D., Petit, G. eds, Frankfurt am Main : Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie.
- Kinoshita, H., Aoki, S. : 1983, The definition of the ecliptic, *Celest. Mech.* **31**, 329.
- Kovalevsky, J., Mueller, I.I. : 1981, in *Reference Coordinate Systems for Earth Dynamics*, Gaposchkin E.M., Kolaczek, B. eds., Reidel, 375.
- Kovalevsky, J., Mueller, I.I. : 1989, in *Reference frames in Astronomy and Geophysics*, Kovalevsky, J., Mueller, I.I., Kolaczek, B. eds, Kluwer Academic Publishers, 1.
- Kovalevsky, J., Lindegren, L., et al. : 1997, The Hipparcos catalogue as a realisation of the extragalactic reference system, *Astron. Astrophys.* **323**, 620.
- Lambert, S., Bizouard, C. : 2002, Positioning the Terrestrial Ephemeris Origin in the International Terrestrial Frame, *Astron. Astrophys.* **394**, 317.
- Lieske, J.H., Lederle, T., Fricke, W., Morando, B. : 1977, Expressions for the precession quantities based upon the IAU (1976) system of astronomical constants, *Astron. Astrophys.* **58**, 1.
- Ma, C., Arias, E.F., et al. : 1998, The International Celestial Reference Frame based on VLBI Observations of Extragalactic Radio Sources, *Astron. J.* **116**, 516.
- Mathews, P.M., Bretagnon P. : 2002, High frequency nutation, in the Proceedings of the *Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels* 2001, N. Capitaine ed, observatoire de Paris, 28.
- Mathews, P.M., Herring, T.A., Buffett, B.A. : 2002, Modeling of nutation-precession : New nutation series for non-rigid Earth, and insights into the Earth's interior., *J. Geophys. Res. (Solid Earth)*

107 (B4).

- McCarthy, D. D. and Luzum, B. J. : 2003, An Abridged Model of the Precession-Nutation of the Celestial Pole, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **85**, 35.
- Minster, J.B., Jordan, T.H. : 1978, Present-day plate motions, *J. Geophys. Res.*.
- Moons, M. : 1984, Planetary perturbations of the libration of the Moon, *Celest. Mech.* **34**, 263
- Moisson, X. : 1999, Solar system planetary motion to third order of the masses, *Astron. Astrophys.* **341**, 318.
- Moisson, X., Bretagnon, P. : 2001, Analytical planetary solution VSOP2000, *Celest. Mech.* **80**, 205.
- Morrison, L.V., Argyle, R.W., et al. : 1990, Comparison of FK5 with Bordeaux and Carlsberg Meridian Circle Observations, *Astron. Astrophys.* **240**, 173.
- Morrison, L.V., Buontempo, M.E., Fabricius, C., Helmer, L. : 1992, First meridian circle observations of Pluto, *Astron. Astrophys.* **262**, 347.
- Newhall, XX, Standish, E.M., Williams, J.G. : 1983, DE102 : a numerically integrated ephemeris of the Moon and planets spanning forty-four centuries, *Astron. Astrophys.* **125**, 150.
- Petit, G. : 2000, Report of the BIPM/IAU Joint Committee on relativity for space-time references systems and metrology, in *Proceedings of the IAU Colloquium* 180, Johnston, K.J., McCarthy, D.D., Luzum, B.J. and Kaplan, G.H. eds, USNO, Washington, 275.
- Seidelmann, P.K. : 1982, 1980 IAU theory of nutation : the final report of the IAU working group on nutation, *Celest. Mech.* **27**, 79.
- Schwann, H. : 1988, Precession and Galactic Rotation in the System of the FK5, *Astron. Astrophys.* **198**, 116.
- Sillard, P., Boucher, C. : 2001, Review of Algebraic Constraints in Terrestrial Reference Frame Datum Definition, *Journal of Geodesy* **75**, 63.
- Soffel, M., Klioner, S.A., et al. : 2003, The new IAU2000 resolutions for astrometry, celestial mechanics and metrology in the relativistic framework : explanatory supplement, *Astron. J.* **126**, 2687.
- Souchay, J., Feissel, et al. : 1995, Precession and Nutation for a Non-rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **299**, 277.
- Standish, E.M. : 1981, Two differing definitions of the dynamical equinox and the mean obliquity, *Astron. Astrophys.* **101**, L17.
- Standish, E.M. : 1982, DE200, magnetic tape.
- Standish, E.M., Newhall, X.X., Williams, J.G., Folkner, W.F. : 1995, JPL planetary and lunar ephemerides, DE403/LE403, JPLIOM **314.10**.
- Standish, E.M. : 1998a, Times scales in the JPL and CfA ephemerides, *Astron. Astrophys.* **336**, 381.
- Standish, E.M. : 1998b, JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405, JPLIOM **312.F**.
- Standish, E.M. : 1998c, Orientation of the JPL Ephemerides onto the international celestial reference frame, in *IV International Workshop on positional and celestial mechanics*, Lopez

Garcia et al. eds, Valencia, Spain.

UAI : 1991, Reference Systems, in *Proceedings of the IAU Colloquium* 127, Hughes, J.A., Smith, C.A. and Kaplan, G.H. eds, USNO, Washington.

UAI : 1992, Resolutions of the twenty-first General Assembly, *IAU Information Bull.* 67.

UAI : 1994, Resolutions of the twenty-second General Assembly, *IAU Information Bull.* 74.

UAI : 1997, Resolutions of the twenty-third General Assembly, *IAU Information Bull.* 81.

UAI : 2001, Resolutions of the twenty-fourth General Assembly, *IAU Information Bull.* 88, 28–40 (Errata : *ibid.* 89, 4, 2001).

Schwan, H. : 1983, *Veroffentlichungen Astronomisches Rechen-Institut Heidelberg* 30, 47.

Williams, J.G. : 1994, Contributions to the Earth's obliquity rate, precession and nutation, *Astron. J.* 108, 7.

CHAPITRE 4

ROTATION DE LA TERRE

S. LAMBERT (4.1), J.-L. SIMON (4.2), S. MATHEWS & V. DEHANT (4.3),
D. GAMBIS (4.4)

4.1. INTRODUCTION DES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES ET OBSERVATIONS

4.1.1. Introduction

La rotation de la Terre autour de son centre de gravité est un mouvement complexe dont les variations sont induites par les corps du système solaire (Lune, Soleil, planètes), les couches fluides à la surface du globe ou dans la croûte (atmosphère, océans, eaux souterraines et réseaux hydrologiques) et conditionnées par la structure interne de la planète (manteau, noyau liquide, graine solide) et sa rhéologie. Ce mouvement se décompose en deux parties, l'une modélisable et l'autre non modélisable. La partie modélisable provient de l'attraction gravitationnelle de la Lune, du Soleil et, dans une bien moindre mesure, des planètes, exercée sur le bourrelet équatorial de la Terre. Les mouvements réguliers des corps perturbateurs donnent naissance à des mouvements périodiques de l'axe de rotation terrestre dans un repère céleste : c'est la précession-nutation. Les amplitudes de ces oscillations sont soumises aux lois de la mécanique céleste et sont prédictibles. En revanche, les effets de l'atmosphère, des océans, ou des mouvements au sein de la Terre le sont difficilement. Les raisons sont à chercher dans notre méconnaissance des processus de circulation atmosphérique et océanique, et d'interaction (friction, charge) avec la croûte terrestre ainsi que des processus de couplages topographiques ou électromagnétiques entre le manteau et le noyau.

L'observation astrométrique s'effectue depuis des stations au sol dans un repère de référence terrestre. Les positions et mouvements des corps observés (Lune, étoiles, quasars) sont décrits dans le repère céleste. L'orientation de la Terre est l'orientation relative de ces deux repères de référence,

terrestre et céleste. La séparation entre variations lentes et rapides des angles d'orientation de la Terre, c'est-à-dire entre les mouvements de l'axe de figure de la Terre et la rotation diurne, nécessite l'introduction d'un pôle céleste intermédiaire restant voisin de l'axe de rotation instantané et de l'axe de figure, le CIP (Celestial Intermediate Pole). L'observation astrométrique donne ainsi accès à la position de cet axe à la fois dans le repère céleste et dans le repère terrestre. Le modèle de précession-nutation décrit la position de cet axe dans le repère céleste. Les observations permettent de déterminer les écarts entre le pôle intermédiaire observé et le pôle intermédiaire modélisé, ainsi que le vecteur joignant le pôle nord géographique à ce pôle céleste intermédiaire, vecteur usuellement rapporté au repère terrestre et que l'on nomme *mouvement du pôle*. Les techniques d'observation actuelles comme la radio-interférométrie à très longue base (VLBI, Very Long Baseline Interferometry), le système de positionnement global (GPS, Global Positioning System), le tir laser sur satellites (SLR, Satellite Laser Ranging) ou sur la Lune (LLR, Lunar Laser Ranging) ou encore les déterminations d'orbites de satellites par décalage Doppler (DORIS) permettent de déterminer la direction de cet axe à quelques dixièmes de millisecondes de degré près. Ce chapitre introduit les notions de base concernant la description astrométrique et dynamique de la rotation de la Terre.

4.1.2. Les composantes de la rotation terrestre

4.1.2.1. Précession-nutation

L'axe de figure de la Terre subit des variations d'orientation dans un repère céleste sous l'effet du couple gravitationnel externe (principalement luni-solaire mais aussi planétaire) sur le bourrelet équatorial, et, dans une moindre mesure, des couches fluides à la surface du globe et de la rotation libre du noyau fluide. L'axe de figure décrit ainsi dans un repère céleste un cône d'ouverture $23^{\circ}26'$ en 26000 ans ; c'est la précession, due à l'action du couple luni-solaire sur le bourrelet équatorial de la Terre. Dès l'antiquité les observations d'Hipparque mirent en évidence ce phénomène. En 1532, Copernic l'impute à une variation d'orientation de l'axe de rotation de la Terre. Il faudra attendre Newton pour en avoir une explication physique en 1687.

Des oscillations plus rapides et de plus faible amplitude, causées par les variations périodiques du couple externe, constituent la nutation. La nutation principale est de période 18.6 ans et d'amplitude 17 secondes de degré. Elle fut observée par Bradley en 1748 et l'année suivante, d'Alembert en donne l'explication avec la première théorie analytique de la précession-nutation pour une Terre rigide.

4.1.2.2. Mouvement du pôle

En 1765, Euler montre que si l'axe d'inertie (ou axe de figure) et l'axe de rotation d'un corps ne sont pas confondus, alors l'axe de rotation décrit un cône autour de l'axe d'inertie. Ce mouvement est appelé mouvement libre. Euler calcule que la Terre, alors considérée comme indéformable, devrait présenter un tel mouvement avec une période de 305 jours. En cumulant les observations

de latitude apparente des stations d'observation, Küstner annonce, en 1884, l'existence de variations annuelles. Chandler, en 1891, découvre que ces variations se scindent en un terme annuel et un terme de 14 mois. Ce terme de 14 mois est bien le mouvement libre prédit par Euler plus d'un siècle auparavant. Sa période est voisine de 433 jours et son allongement s'explique par l'élasticité du manteau terrestre, la présence d'un noyau fluide et celle des océans (l'effet centrifuge, en élevant le niveau des eaux près de l'équateur, modifie le moment d'inertie de la Terre globale). On a montré récemment que le mécanisme d'excitation de ce mouvement libre est d'origine atmosphérique et océanique.

Outre cette oscillation libre dite *oscillation de Chandler* dont l'amplitude est voisine de 150 millisecondes de degré (mas), le mouvement du pôle comprend d'autres termes. Un terme annuel d'environ 100 mas est dû principalement à l'excitation atmosphérique. Pour concrétiser les idées, 100 mas correspondent à 3 mètres sur l'équateur terrestre. Une dérive du pôle de rotation est aussi observée (4 mas par an) dans la direction du Canada ; elle est imputée au rebond postglaciaire (déformation lente de la croûte terrestre due à la fonte des calottes glaciaires polaires).

La figure 4.1 illustre la précession-nutation et le mouvement du pôle.

4.1.2.3. Vitesse de rotation et longueur du jour

La vitesse de rotation de la Terre autour de son axe n'est pas constante. Elle fluctue, avec des écarts atteignant 10^{-8} en valeur relative, autour d'une valeur moyenne conventionnelle $\Omega = 7.292\,115 \times 10^{-5}$ rad/s.

Associée à cette vitesse de rotation, la durée du jour (LOD, Length of Day) fluctue également par rapport à sa valeur nominale de 86400 s. Ces variations sont principalement attribuées :

- 1) à un couplage électromagnétique entre le noyau et le manteau qui produit un effet décennal dont l'amplitude est de l'ordre de 5 millisecondes ;
- 2) aux marées zonales qui produisent des variations de l'ellipticité dynamique de la Terre dont l'amplitude maximale est de 0.4 ms pour le terme en 13.66 jours ;
- 3) aux déplacements des masses atmosphériques qui produisent des effets d'amplitude 0.3 ms sur le terme annuel et 0.2 ms sur le terme semi-annuel.

4.1.3. Dynamique de la rotation de la Terre

4.1.3.1. Les équations

La dynamique d'un corps en rotation est décrite par l'équation reliant, dans un repère inertiel, la variation du moment cinétique \mathbf{H} de ce corps, au moment $\mathbf{\Gamma}$ des forces qui lui sont appliquées :

$$\frac{d\mathbf{H}}{dt} = \mathbf{\Gamma}. \quad (4.1.1)$$

Par rapport à ce repère, la Terre est animée d'un mouvement de rotation uniforme légèrement perturbé autour de l'axe Oz du repère terrestre, de vecteur instantané $\boldsymbol{\omega}$. En conséquence, le vecteur

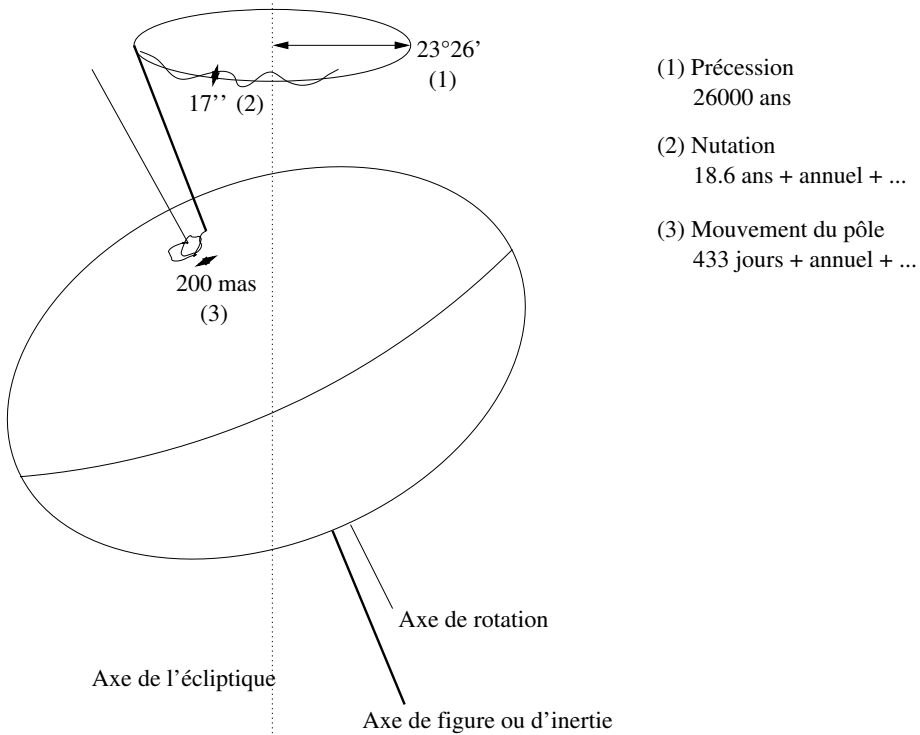


Fig. 4.1. Précession-nutation et mouvement du pôle.

instantané de rotation s'exprime dans le repère terrestre par :

$$\boldsymbol{\omega} = \Omega \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ 1 + m_3 \end{pmatrix}, \quad (4.1.2)$$

où $\Omega = 7.292\,115 \times 10^{-5}$ rad/s est la vitesse de rotation moyenne de la Terre et où les écarts m_i (sans dimension) sont petits devant l'unité (l'observation montre que $m_1 \sim m_2 \sim 10^{-6}$ et $m_3 \sim 10^{-8}$). Ici et dans la suite, les indices 1, 2 et 3 correspondent aux composantes x , y et z respectivement.

Dans cette approche, nous considérons que la Terre est un corps homogène et déformable. L'ensemble possède un mouvement de rotation rigide, auquel viennent s'ajouter des petits déplacements relatifs de masse (dans le noyau fluide ou bien dans les couches fluides externes). Le moment cinétique de la Terre entière s'écrira donc comme la somme d'un moment cinétique "rigide" donné par la matrice d'inertie $\bar{\mathbf{I}}$, et d'un moment cinétique "relatif" \mathbf{h} :

$$\mathbf{H} = \bar{\mathbf{I}}\boldsymbol{\omega} + \mathbf{h}. \quad (4.1.3)$$

La Terre est au premier ordre un ellipsoïde de révolution. Dans le repère terrestre, dont les axes sont orientés selon les axes principaux d'inertie moyens de la Terre, sa matrice d'inertie $\bar{\mathbf{I}}$ s'écrit :

$$\bar{\mathbf{I}} = \begin{pmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{pmatrix}, \quad (4.1.4)$$

où $A = B = 8.011 \times 10^{37} \text{ kg m}^2$ et $C = 8.037 \times 10^{37} \text{ kg m}^2$ sont les moments d'inertie principaux moyens de la Terre et les c_{ij} des incréments d'inertie supposés petits dus aux déformations ou aux anomalies de masse.

En explicitant l'équation (4.1.1) dans le repère terrestre (tournant) :

$$\frac{d\mathbf{H}}{dt} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{H} = \boldsymbol{\Gamma}, \quad (4.1.5)$$

les composantes de ces vecteurs diffèrent alors de celles dans l'équation (4.1.1) qui était écrite dans le repère céleste. En limitant le calcul au premier ordre en m_i et c_{ij} et en adoptant les notations complexes $m = m_1 + im_2$, $\Gamma = \Gamma_1 + i\Gamma_2$, $h = h_1 + ih_2$ et $c = c_{13} + ic_{23}$, on obtient les équations d'Euler-Liouville linéarisées :

$$\begin{aligned} m + \frac{i}{\sigma_r} \dot{m} &= \frac{i\Gamma}{A\Omega\sigma_r} - \frac{i\dot{c} - \Omega c}{A\sigma_r} - \frac{i\dot{h} - \Omega h}{A\Omega\sigma_r}, \\ m_3 &= \int \frac{\Gamma_3}{C\Omega} dt - \frac{c_{33}}{C} - \frac{h_3}{C\Omega} + C^{te}, \end{aligned} \quad (4.1.6)$$

où $\sigma_r = \frac{C-A}{A} \Omega$ est la fréquence d'Euler correspondant à une période de 305 jours. Ces équations donnent le mouvement de l'axe instantané de rotation de la Terre en fonction d'une excitation qui apparaît sous la forme d'un moment de force extérieur (Γ_i) ou bien d'un déplacement de masse surfacique ou interne (moment cinétique relatif h_i), ou encore sous forme de déformations (les termes c_{ij} du tenseur d'inertie). Toutefois, ces variations c_{ij} sont causées en partie par des mouvements de masses produits par une force externe ou interne ou inertielle (gravitation lunisolaire, effet de charge océanique, atmosphérique, effet centrifuge induit par les variations de la vitesse de rotation, etc...). Le membre de droite prend le nom de fonction d'excitation. La partie indépendante du couple, comprenant donc les déformations et le moment cinétique relatif, est souvent notée χ pour la partie équatoriale et χ_3 pour la partie axiale.

4.1.3.2. Le mouvement du pôle

Les équations de Liouville nous donnent le mouvement de l'axe instantané de rotation dans le repère terrestre. L'axe du CIP est légèrement différent de cet axe. On peut montrer que la relation entre les coordonnées m du pôle instantané de rotation et les coordonnées $p = x_p - iy_p$ (comptées par convention dans un repère indirect) du CIP dans le repère terrestre est :

$$m = p - \frac{i}{\Omega} \dot{p}. \quad (4.1.7)$$

4.1.3.3. La durée du jour

L'excès de la longueur du jour par rapport au jour solaire moyen (86400 secondes) est :

$$\Delta LOD = -\frac{2\pi k}{\Omega} m_3, \quad (4.1.8)$$

où $k = 1.002\,737\,909\,350\,795$ est le rapport de la durée du jour solaire moyen sur la durée du jour sidéral moyen.

4.1.3.4. La précession-nutation

La précession-nutation peut être déduite des changements du vecteur instantané de rotation par les relations cinématiques d'Euler :

$$\begin{aligned} \dot{\theta} + i\dot{\psi} \sin \theta &= -\Omega m e^{i\phi}, \\ \dot{\phi} + \dot{\psi} \cos \theta &= \Omega(1 + m_3), \end{aligned} \quad (4.1.9)$$

où ψ est l'angle entre l'origine des longitudes sur l'écliptique moyen de l'époque de référence (équinoxe moyen) et le nœud ascendant de l'équateur sur l'écliptique, θ est l'inclinaison entre l'équateur et l'écliptique (comptée à partir de l'équateur), et ϕ est la longitude écliptique de l'origine du repère terrestre. Pour retrouver les angles de nutation classiques, on a $\Delta\psi \sin \theta = \Delta\psi \sin \epsilon$ et $\Delta\theta = -\Delta\epsilon$. La précession est la partie polynomiale des paramètres ψ et θ alors que la nutation est constituée par leur partie périodique.

4.2. LA PRÉCESSION

4.2.1. Quantités liées à la précession

Les quantités de précession sont complètement déterminées par les mouvements du pôle de l'équateur et du pôle de l'écliptique. La figure 4.2 représente, pour une époque de référence F (par exemple J2000) et pour une date D, les écliptiques moyens E_F et E_D et les équateurs moyens A_F et A_D . N est l'intersection de E_F et E_D , J l'intersection de A_F et A_D , I l'intersection de E_F et A_D . ε_0 , angle entre E_F et A_F , est l'obliquité de l'écliptique pour l'époque de référence.

Les quantités liées à la précession sont définies de la manière suivante, en adoptant les notations de Lieske et al. (1977) :

$$\begin{aligned} \pi_A, \text{ l'angle entre } E_F \text{ et } E_D; & \quad \Pi_A, \text{ l'arc } \gamma_{FN}; & \quad \mathcal{P}_A, \text{ l'arc } (\gamma_{DN} - \gamma_{FN}); \\ \theta_A, \text{ l'angle entre } A_F \text{ et } A_D; & \quad \zeta_A, \text{ l'arc } (90^\circ - \gamma_{FJ}); & \quad z_A, \text{ l'arc } (\gamma_{DJ} - 90^\circ); \\ \omega_A, \text{ l'angle entre } E_F \text{ et } A_D; & \quad \psi_A, \text{ l'arc } I\gamma_F; & \quad \chi_A, \text{ l'arc } I\gamma_D; \\ \varepsilon_A, \text{ l'angle entre } E_D \text{ et } A_D. & & \end{aligned} \quad (4.2.1)$$

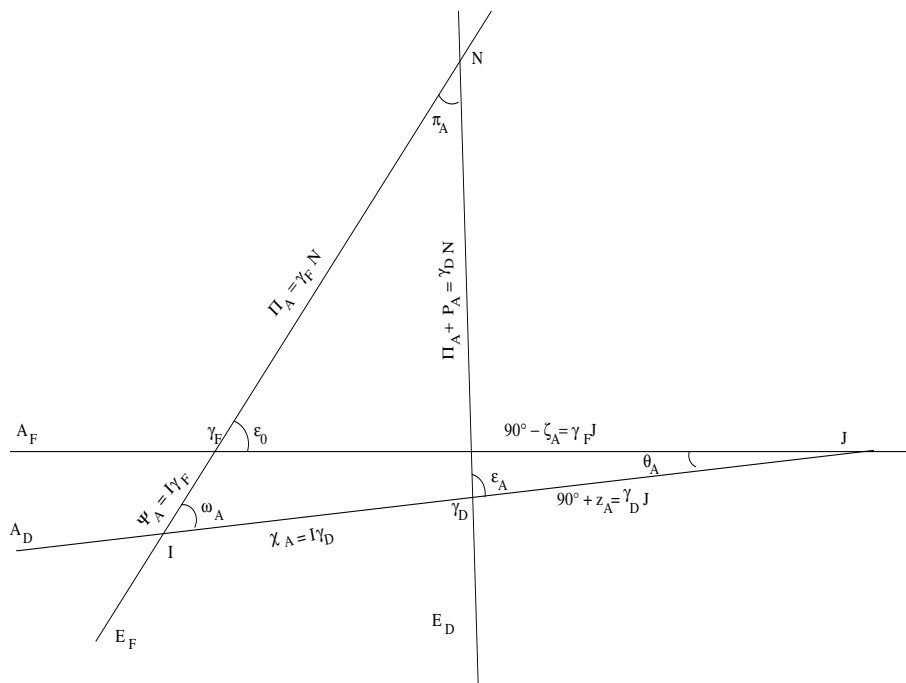


Fig. 4.2. Écliptiques E_F , E_D et équateurs moyens A_F , A_D aux époques σ_F , σ_D .

On note :

$$P_A = \sin \pi_A \sin \Pi_A, \quad Q_A = \sin \pi_A \cos \Pi_A \quad (4.2.2)$$

4.2.2. Modèles de précession

La résolution B1.6 adoptée à la vingt-quatrième assemblée générale de l'UAI (UAI, 2001) recommande de remplacer, à partir du 1 janvier 2003, le modèle UAI 1980 de la nutation par le modèle de la nutation UAI 2000A (ou sa version réduite UAI 2000B). UAI 2000A est issu du modèle MHB2000, basé sur la fonction de transfert de Mathews et al. (2002) appliquée aux séries de la nutation pour une Terre rigide de Souchay et al. (1999) (*cf.* 4.3).

Ces séries pour la nutation ne fournissent pas d'expression pour la précession et pour cette raison l'UAI « encourage le développement de nouvelles expressions de la précession compatibles avec le modèle UAI 2000A » (encouragement 3 de la résolution B1.6). En attendant, l'IERS (International Earth rotation and Reference systems Service) a recommandé (IERS Conventions 2003) l'utilisation d'un formulaire qui est une amélioration de celui de Lieske et al. (1977). Nous noterons UAI 2000 ce modèle.

En 2003, trois nouveaux formulaires de la précession ont été donnés par Bretagnon et al. (2003), Capitaine et al. (2003) et Fukushima (2003). Ils ont été comparés par Capitaine et al. (2004) et

sont étudiés par le working group de l'UAI sur la précession, chargé de proposer une théorie de la précession compatible avec le modèle UAI 2000A.

Nous allons présenter le modèle UAI 2000 et les modèles de Bretagnon et al. (2003) et Capitaine et al. (2003) qui, bien qu'obtenus par des méthodes différentes, donnent des résultats très voisins.

4.2.2.1. Le modèle UAI 2000

Les conventions 2000 de l'IERS recommandent d'associer les expressions de Lieske et al. (1977) avec des valeurs numériques améliorées des termes proportionnels au temps pour les angles Π_A et ω_A et avec la valeur UAI 1976 de l'obliquité ε_0 . Ces corrections sont :

$$\begin{aligned}\delta(\psi_A) &= -2.9965''/\text{millier d'années juliennes} \\ \delta(\omega_A) &= -0.2524''/\text{millier d'années juliennes} \\ \varepsilon_0 &= 84381.448'' = 23^\circ 26' 21.448''\end{aligned}\tag{4.2.3}$$

Notons que $\frac{d\omega}{dt}$ est, en principe, donné par la théorie. La correction $\delta(\omega_A)$ apportée par l'UAI est déduite de l'observation. Elle se justifie du fait que, par erreur, les formules de Lieske et al. (1977) donnaient $\frac{d\omega}{dt} = 0$.

La valeur de $\frac{d\psi_A}{dt}$ déduite de $\delta(\psi_A)$ est :

$$\frac{d\psi_A}{dt} = 50\,384.7875''/\text{millier d'années juliennes}.\tag{4.2.4}$$

Elle correspond à une valeur de la constante de la précession $\mathcal{P}_1 = \frac{d\mathcal{P}}{dt}$ égale à :

$$\mathcal{P}_1 = 50\,287.92262''/\text{millier d'années juliennes}\tag{4.2.5}$$

Par ailleurs, le formulaire de Lieske et al. (1977) utilise les variations séculaires du pôle de l'écliptique issues de la théorie du Soleil de Newcomb et d'anciennes valeurs des masses des planètes. Malgré les améliorations apportées, le modèle UAI 2000 reste donc insuffisant.

4.2.2.2. Le modèle de Bretagnon, Fienga et Simon (2003)

Ce modèle est issu de la théorie de la rotation de la Terre SMART97 (Bretagnon et al., 1998). Cette théorie est une solution analytique des trois angles d'Euler (précession en longitude, précession en obliquité, angle de rotation de la Terre) orientant la Terre rigide par rapport au repère inertiel J2000. Les perturbations lunaires, solaires et planétaires sont introduites globalement dans les équations sous leur forme analytique. Les théories utilisées sont les solutions VSOP87 (Bretagnon et Francou, 1988) pour le mouvement du Soleil et des planètes et ELP2000-82B issue des travaux de Chapront-Touzé et Chapront (1983, 1988) pour le mouvement de la Lune.

Les expressions de la précession sont calculées de la manière suivante. Les valeurs de $\frac{d\psi_A}{dt}$ et \mathcal{P}_1 utilisées sont celles données par les formules (4.2.4) et (4.2.5). La valeur de ε_0 provient d'observations récentes :

$$\varepsilon_0 = 84381.40880'' = 23^\circ 26' 21.40880''.\tag{4.2.6}$$

Les quantités liées à la précession de l'écliptique π_A , Π_A , P_A , Q_A sont des polynômes du temps issus de Simon et al. (1994), avec les corrections nécessitées par la nouvelle valeur de la constante de la précession.

Les quantités liées à la précession de l'équateur ψ et ω sont les séries de Poisson données par SMART97. À partir de π_A , Π_A , ψ et ω on peut calculer toutes les autres quantités de la précession (Bretagnon et al., 1997). Finalement les variables ψ , ω , \mathcal{P} , ε et χ ont la forme de séries de Poisson dont la partie en polynôme du temps correspond à la précession (cf. 4.1.3.4). Les autres variables ont la forme de polynômes du temps.

La correction la plus importante due à la non-rigidité de la Terre provient de la variation séculaire du J_2 de la Terre en fonction du temps. Elle a été calculée par Williams (1994). Elle conduit à une correction de $-0.700''t^2$ du terme en t^2 de ψ_A . Dans la suite, la notation B03 se rapporte au modèle de Bretagnon et al. (2003) corrigé de cet effet de la variation séculaire du J_2 de la Terre.

4.2.2.3. Le modèle de Capitaine, Wallace et Chapront (2003)

Pour calculer les quantités liées à la précession de l'écliptique les auteurs de ce modèle qu'ils notent P03, partent de VSOP87. Cette théorie analytique étant ajustée à l'intégration numérique du JPL DE200 (Standish et al., 1981), ils corrigent son écliptique par comparaison avec l'intégration numérique DE406 du JPL, prolongement sur l'intervalle de temps $[-3000, +3000]$ de DE405 (Standish, 1998), intégration numérique ajustée à des observations récentes.

Les quantités liées à la précession équatoriale sont obtenues en résolvant les équations dynamiques de la précession selon la méthode exposée par Williams (1994).

Les corrections dues à la non-rigidité de la Terre sont prises en compte d'une manière très complète.

Les auteurs prennent la valeur de ε_0 recommandée par les IERS Conventions 2000. Ils déterminent $\frac{d\psi_A}{dt}$ en utilisant la valeur de Mathews et al. (2002) après l'avoir corrigée de certains effets perturbateurs dus aux observations, de façon à la rendre compatible avec la nouvelle valeur de ε_0 . Ils ont finalement :

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_A}{dt} &= 50\,384.81507''/\text{millier d'années juliennes} \\ \varepsilon_0 &= 84381.406'' \end{aligned} \tag{4.2.7}$$

4.2.2.4. Expressions de la précession et comparaisons entre les modèles

La table 4.2.1. donne les coefficients des polynômes du temps représentant la précession pour les douze variables définies par (4.2.1) et (4.2.2) et pour les trois modèles UAI 2000, B03 et P03. Ces polynômes peuvent aller jusqu'en t^3 pour UAI 2000, t^7 pour B03 et t^5 pour P03. Les coefficients sont exprimés en secondes de degré et le temps est compté en millier d'années juliennes à partir de J2000.

On peut constater que les modèles B03 et P03 sont voisins et assez différents du modèle UAI 2000. Ces différences sont illustrées par la figure 4.3. Les courbes de cette figure représentent les écarts sur l'intervalle de temps $[1800, 2200]$ entre les modèles B03 et P03 d'une part et B03 et

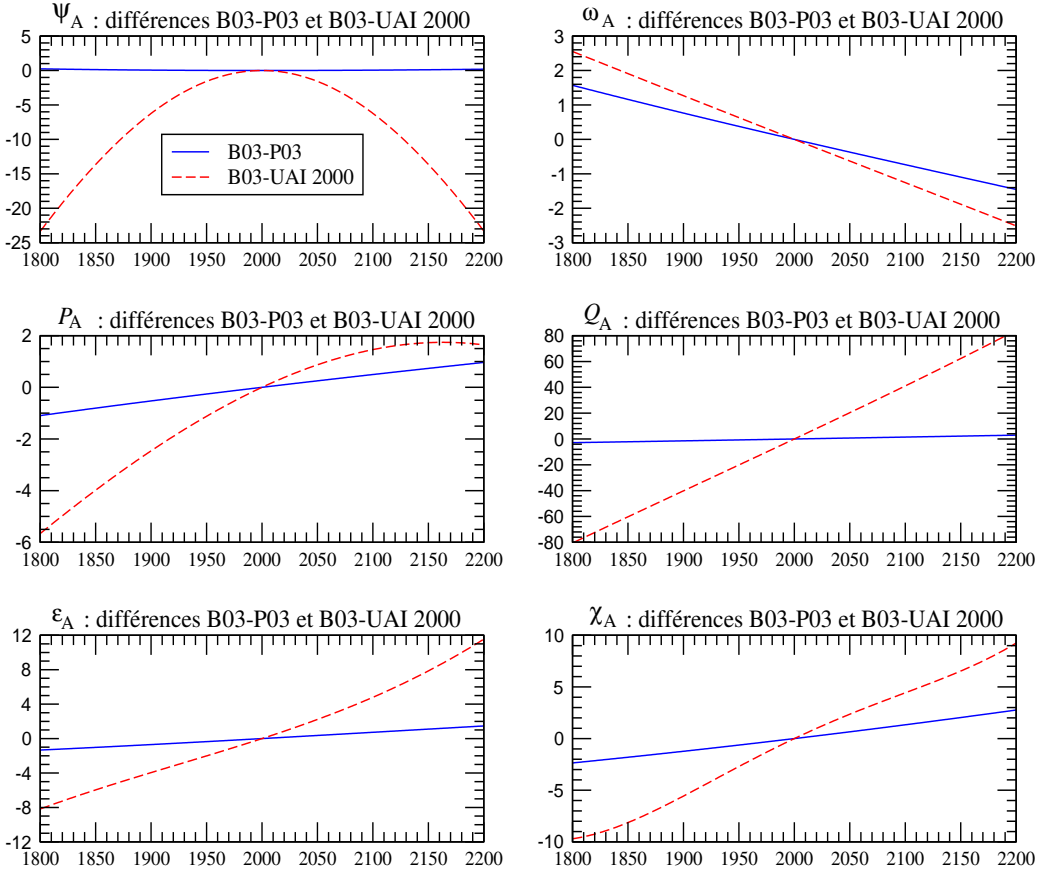


Fig. 4.3. Écarts entre les modèles B03 et P03 et entre les modèles B03 et UAI 2000, sur $[1800, 2200]$, pour les variables ψ_A , ω_A , P_A , Q_A , ε_A et χ_A . L'unité est le mas ($0.001''$).

UAI 2000 d'autre part, pour les six variables principales ψ_A , ω_A , P_A , Q_A , ε_A et χ_A . Elles ont été tracées en supposant que le terme en t de ψ_A et le terme constant de ε_A étaient les mêmes pour les trois modèles. Les différences sont exprimées en mas ($0.001''$). On voit que les écarts entre B03 et P03 sont petits. Ils sont inférieurs à 0.25 mas pour ψ_A sur l'ensemble de l'intervalle; pour les autres variables ils sont inférieurs à 2 mas et sont essentiellement des dérivées linéaires. Les écarts avec UAI 2000 sont beaucoup plus importants et peuvent atteindre, par exemple, 25 mas pour ψ_A et 80 mas pour Q_A .

Table 4.2.1. Coefficients des polynômes de la précession issus des formulaires UAI 2000, B03 (Bretagnon et al., 2003) et P03 (Capitaine et al., 2003). Les coefficients sont exprimés en secondes de degré ; le temps est compté en milliers d'années juliennes à partir de J2000.

Modèle		t^0	t	t^2	t^3	t^4	t^5	t^6	t^7
UAI 2000 B03 P03	P_A		41.976 41.99604 41.99094	19.447 19.39715 19.39873	- 0.179 - 0.22350 - 0.22466	- 0.01035 - 0.00912	0.00019 0.0012		
UAI 2000 B03 P03	Q_A		- 468.150 - 468.09550 - 468.11015	5.059 5.10421 5.10283	0.344 0.52228 0.52413	- 0.00569 - 0.00646	- 0.00014 - 0.00172	0.00001	
UAI 2000 B03 P03	π_A		470.029 469.97560 469.98973	- 3.302 - 3.35050 - 3.34926	0.060 - 0.12370 - 0.12559	0.00030 0.00113	- 0.00022		
UAI 2000 B03 P03	Π_A	629 554.982 629 543.988 629 546.7936	- 8698.089 - 8679.218 - 8679.5758	3.536 15.342 15.7992	0.005 - 0.037 - 0.5371	- 0.037 - 0.4797	- 0.001 0.0072		
UAI 2000 B03 P03	\mathcal{P}_A		50287.92262 50287.92262 50287.96195	111.113 111.24406 110.54348	- 0.006 0.07699 0.07964	- 0.23479 - 0.23857	- 0.00178 - 0.00383	0.00018	0.00001
UAI 2000 B03 P03	ε_A	84381.448 84381.40880 84381.406	- 468.150 - 468.36051 - 468.36769	- 0.059 - 0.01667 - 0.01831	1.813 1.99911 2.00340	- 0.00523 - 0.00576	- 0.00248 - 0.00434	- 0.00003	
UAI 2000 B03 P03	ω_A	84381.448 84381.40880 84381.406	- 0.25240 - 0.26501 - 0.25754	5.127 5.12769 5.12623	- 7.726 - 7.72723 - 7.72503	- 0.00492 - 0.00467	0.03329 0.0337	- 0.00031	- 0.00006
UAI 2000 B03 ⁽¹⁾ P03	ψ_A		50384.78750 50384.78750 50384.81507	- 107.259 - 107.89530 - 107.90069	- 1.147 - 1.14366 - 1.14045	1.32832 1.32851	- 0.00940 - 0.00951	- 0.00350	0.00017
UAI 2000 B03 P03	χ_A		105.526 105.57686 105.56403	- 238.064 - 238.13769 - 238.14292	- 1.125 - 1.21258 - 1.21197	1.70238 1.70663	- 0.00770 - 0.00560	- 0.00399	0.00016

⁽¹⁾ avec la correction provenant de la variation du J_2 de la Terre calculée par Williams (1994), dans le terme en t^2 .

Table 4.2.1. (fin).

Modèle		t^0	t	t^2	t^3	t^4	t^5	t^6	t^7
UAI 2000 B03 P03	θ_A		20043.109 20041.90936 20041.91903	- 42.665 - 42.66980 - 42.94934	- 41.883 - 41.82364 - 41.82264		- 0.07291 - 0.01127 - 0.07089 - 0.01274	0.00036	0.00009
UAI 2000 B03 P03	ζ_A		23062.181 2.72767 23060.80472 2.650545 23060.83227	30.188 30.23262 29.88499	17.998 18.01752 18.01828		- 0.05708 - 0.03040 - 0.05971 - 0.03173	- 0.00013	
UAI 2000 B03 P03	z_A		23062.181 - 2.72767 23060.76070 - 2.650545 23060.77181	109.468 109.56768 109.27348	18.203 18.26676 18.26837		- 0.28276 - 0.02486 - 0.28596 - 0.02904	- 0.00005	

4.2.3. Dérivées des quantités de précession par rapport aux constantes \mathcal{P}_1 et ε_0

À partir des formules de Simon et al. (1994), nous pouvons calculer les corrections ΔX des quantités de précession X dues à d'éventuelles améliorations $\Delta\mathcal{P}_1$ et $\Delta\varepsilon_0$ de \mathcal{P}_1 et ε_0 . Ces corrections sont de la forme :

$$\Delta X = \frac{\partial X}{\partial \mathcal{P}_1} \Delta \mathcal{P}_1 + \frac{\partial X}{\partial \varepsilon_0} \Delta \varepsilon_0. \quad (4.2.8)$$

Pour toutes les quantités de précession de la table 4.2.1, les corrections qui doivent être ajoutées aux polynômes sont données par :

$$\begin{aligned}
\Delta P_A &= 0 \\
\Delta Q_A &= 0 \\
\Delta \pi_A &= 0 \\
\Delta \Pi_A &= 0 \\
\Delta \mathcal{P}_A &= \Delta \mathcal{P}_1 t + (0.0031 \Delta \mathcal{P}_1) t^2 \\
\Delta \theta_A &= (0.3978 \Delta \mathcal{P}_1 + 0.2236 \Delta \varepsilon_0) t - (0.0008 \Delta \mathcal{P}_1) t^2 - (0.0025 \Delta \mathcal{P}_1) t^3 \\
\Delta \zeta_A &= (0.4588 \Delta \mathcal{P}_1 - 0.0485 \Delta \varepsilon_0) t + (0.0009 \Delta \mathcal{P}_1) t^2 + (0.0011 \Delta \mathcal{P}_1) t^3 \\
\Delta z_A &= (0.4588 \Delta \mathcal{P}_1 - 0.0485 \Delta \varepsilon_0) t + (0.0028 \Delta \mathcal{P}_1) t^2 + (0.0011 \Delta \mathcal{P}_1) t^3 \\
\Delta \varepsilon_A &= \Delta \varepsilon_0 \\
\Delta \omega_A &= \Delta \varepsilon_0 - (0.0003 \Delta \mathcal{P}_1) t^3 \\
\Delta \psi_A &= (\Delta \mathcal{P}_1 - 0.0013 \Delta \varepsilon_0) t + (-0.0021 \Delta \mathcal{P}_1 + 0.0021 \Delta \varepsilon_0) t^2 \\
\delta \chi_A &= (-0.0012 \Delta \varepsilon_0) t + (-0.0057 \Delta \mathcal{P}_1 + 0.0027 \Delta \varepsilon_0) t^2
\end{aligned} \quad (4.2.9)$$

où $\Delta\mathcal{P}_1$ est mesuré en secondes de degré par millier d'années et $\Delta\varepsilon_0$ en secondes de degré.

4.3. MODÈLES DE NUTATION

Cette section introduit les développements théoriques et les concepts géophysiques sur lesquels est construit le modèle de précession-nutation MHB2000 (Mathews et al., 2002), base du modèle IAU2000. Il présente aussi les principales différences entre cette nouvelle modélisation et le modèle dynamique de Wahr (1981) qui a servi de base au modèle IAU1980 (Seidelmann, 1982).

4.3.1. Introduction

Les planètes et les satellites de notre système solaire sont tous animés d'un mouvement de rotation sur eux-mêmes. Si ces corps étaient sphériques, rigides et isolés, leur rotation resterait uniforme au cours du temps. Mais l'interaction gravitationnelle entre les corps célestes proches ou très massifs perturbe leur rotation en créant des variations de la durée d'une rotation (longueur du jour) et en modifiant l'orientation de l'axe de rotation par rapport à la surface de la planète (mouvement du pôle) et dans l'espace (précession-nutation). La définition précise de ces mouvements et leur séparation sont établies à partir de leurs fréquences. Dans la pratique, le mouvement du pôle est défini par le mouvement dans le repère terrestre d'un pôle fictif, le CIP. Dans cette définition on exclut le mouvement diurne rétrograde dans le repère terrestre qui est pris en compte, dans le repère céleste, par la nutation (*cf.* 4.1.1).

À cause de leur élasticité, de leur rotation et de leur dynamique interne, les corps du système solaire ne sont pas sphériques. Ils présentent notamment un renflement à l'équateur. De plus, l'axe associé à leur rotation n'est pas toujours perpendiculaire au plan de l'orbite. Par conséquent, l'attraction gravitationnelle exercée par le Soleil et les autres corps massifs ou proches ne s'exerce pas symétriquement sur le bourrelet équatorial. Ceci crée un couple de forces tendant à aligner l'axe de rotation sur le plan de l'orbite. À cause de ces effets, ces corps réagissent comme un gyroscope : leur axe de rotation décrit un cône d'ouverture constante. Ce mouvement est appelé précession astronomique.

Comme les positions relatives des corps du système solaire varient de façon périodique, le moment du couple de forces qui agit sur le bourrelet équatorial n'est pas constant. Ceci entraîne des oscillations de l'axe de rotation autour du cône de précession, ce sont les nutations astronomiques. Enfin, la présence sur notre planète de couches fluides superficielles (atmosphère, hydrosphère, océan) et celle d'une couche fluide interne (noyau liquide) entraînent des variations additionnelles de la rotation.

Le calcul du moment des forces astronomiques et des nutations pour une Terre rigide qui y sont associées, s'effectue dans un cadre de mécanique céleste en utilisant des éphémérides de position des planètes et de la Lune. En outre, la Terre ne peut être considérée comme un corps rigide et doit donc être traitée comme un système complexe : sa réponse au moment de force astronomique est altérée par les interactions internes au système Terre. Ce système est constitué de trois couches principales :

- un manteau viscoélastique en convection ;
- un noyau liquide, composé principalement de fer liquide et qui est le lieu d'intenses mouvements hydromagnétiques associés à la création et à l'entretien du champ magnétique terrestre ;

– une graine solide, composée également principalement de fer.

Dans le cadre des nutations, la convection et la viscosité dans le manteau, les interactions fluides-solides (pression et friction essentiellement) entre le noyau et le manteau et entre le noyau et la graine, ont un effet observable sur la réaction de la Terre à l'excitation astronomique. Pour tenir compte de ces facteurs, on définit une *fonction de transfert*, c'est-à-dire une fonction qui donne la réponse de la Terre à une force d'excitation unitaire. Les développements théoriques et les observations nous ont montré que cette fonction est différente pour des fréquences différentes. Elle est donc donnée en fonction de la fréquence de l'excitation.

Les nutations sont observées très précisément par les techniques de pointe de la géodésie spatiale (essentiellement le VLBI). On peut donc calculer une fonction de transfert empirique, comme le rapport entre la réponse de la Terre à chaque fréquence et la réponse au moment de force astronomique qu'aurait une Terre rigide. On peut aussi, à partir des connaissances actuelles de l'intérieur de la Terre, calculer une fonction de transfert théorique par intégration numérique d'équations aux déformations. La comparaison entre les deux approches permet d'évaluer et d'améliorer la fonction de transfert théorique. Ceci a conduit les scientifiques à converger vers un modèle adopté par les unions internationales, en 2000 par l'UAI et en 2003 par l'Union de Géodésie et Géophysique Internationale (UGGI). Le modèle de précession-nutation adopté est un modèle semi-analytique, c'est-à-dire basé sur une fonction de transfert pour un modèle simple de Terre dont quelques paramètres physiques sont estimés de manière à minimiser les résidus entre les nutations observées et les nutations modélisées. Ce type de modèle est un bon compromis entre un modèle numérique basé sur les observations, plus précis, mais n'apportant aucune information sur la physique, et un modèle purement théorique, qui est une mine d'informations sur la physique, mais n'est pas encore assez précis pour l'utilisation dans la réduction des observations. Toutefois, le développement de tels modèles théoriques est un passage obligé pour une meilleure compréhension et une meilleure modélisation des interactions qui se produisent dans le système Terre.

Le modèle actuellement adopté est construit sur une théorie simplifiée, mais déjà très complexe, qui utilise les équations de bilan du moment cinétique dans un repère lié à la Terre. Elles consistent à exprimer d'une part, les couples de force qui agissent sur la Terre et aux différentes interfaces à l'intérieur de la Terre, et d'autre part, les variations temporelles du moment cinétique des différentes couches à l'intérieur de la Terre. Celui-ci fait intervenir, pour chaque couche, les répartitions des masses à l'intérieur de la couche dans des surfaces déformées et la rotation propre de cette couche. Ces équations appelées *équations de Liouville* (cf. 4.1.3.1) permettent d'obtenir la position de l'axe de rotation instantané dans le repère terrestre (le mouvement du CIP est déduit par des relations simples pour chacune des fréquences en jeu). Les théoriciens utilisent des approximations linéaires en de petites quantités dans les équations pour résoudre le système.

Un ensemble d'améliorations a été considéré dans le dernier modèle adopté MHB2000 :

– Le modèle intègre la présence d'une graine penchée à l'intérieur du noyau liquide (on considère que l'axe principal d'inertie de la graine et celui du noyau peuvent être non alignés) dans un champ magnétique et considère l'ensemble des couplages gravitationnels entre les différentes couches ellipsoïdales à l'intérieur de la Terre, ainsi que les couplages électromagnétiques aux deux interfaces du noyau.

– Les déformations sont traitées par l'intermédiaire des changements dans la matrice d'inertie

(représentant la répartition des masses à l'intérieur de la Terre ou des différentes couches) et des changements de forme des interfaces et de la surface de la Terre.

– Les effets des marées des océans à la surface de la Terre engendrées par les forces gravitationnelles de la Lune et du Soleil sont également pris en considération.

– Les effets diurnes de l'atmosphère ne sont pris en compte que pour une fréquence (la fréquence correspondant à exactement un jour solaire est la fréquence principale de ce phénomène), et l'amplitude est évaluée à partir des observations.

Il est à noter que le modèle contient des résonances à cause de la forme ellipsoïdale de la graine et du noyau. Les modes de vibration propre d'un système sont liés à sa forme, sa composition et sa structure. Ces résonances induisent des amplifications dans des fréquences proches de $(1+1/430)$ cycle/jour, fréquence de la nutation libre du noyau et de $11/1000$ cycle/jour, fréquence de la nutation libre de la graine.

4.3.2. Précession, nutation et mouvement du pôle

Les théories géophysiques de nutation pour une Terre non rigide supposent, en première approximation, que la Terre est un ellipsoïde de symétrie axiale. A désigne les moments d'inertie par rapport aux axes équatoriaux et C le moment d'inertie par rapport à l'axe polaire. On a $C = (1 + \epsilon)A$ où ϵ est l'*ellipticité dynamique* qui vaut environ $1/300$. (En astronomie, on note $H_d \equiv \epsilon/(1 + \epsilon)$, l'ellipticité dynamique). Le mouvement de nutation est engendré par le moment des forces agissant sur la Terre autour d'un axe équatorial. Ce moment de force est produit par l'attraction gravitationnelle des objets du système solaire (principalement la Lune et le Soleil) sur la structure ellipsoïdale de la Terre caractérisée par le paramètre ϵ ; le moment de force est donc proportionnel à ϵ . La majeure partie du travail mis en place pour obtenir une modélisation précise de la nutation porte sur cette partie dynamique dominante, présentant un spectre de basses fréquences avec des fréquences de moins de $1/2$ cycle par jour sidéral (cpsd, cycle per sidereal day) en amplitude, 1 cpsd étant équivalent à la fréquence angulaire moyenne Ω_0 de la rotation de la Terre. On présentera ici les principaux aspects de ces modèles. D'autres composantes à basses fréquences de la nutation sont produites par de petites déviations *axisymétriques* par rapport à une structure strictement ellipsoïdale. Des composantes de la nutation de fréquence supérieures à $1/2$ cpsd sont générées par de petites déviations de la distribution de densité de la Terre par rapport à la symétrie axiale. Elles doivent être considérées, d'après les résolutions adoptées par l'UAI en 2000 (UAI, 2001), comme mouvement du pôle. Des expressions relativement simples suffisent à décrire l'ensemble de ces composantes. La précession et la nutation sont, respectivement, la partie séculaire et la partie oscillatoire (avec un spectre en fréquences complet) des variations par rapport à des "étoiles fixes" de l'*axe de figure*, ou de façon équivalente, du mouvement du pôle céleste de cet axe. Dans la suite, le terme "axe de figure" se réfère à l'axe de symétrie de la Terre *sans aucune déformation*. Les nutations de l'axe de rotation ou de l'axe du moment d'inertie sont étroitement liées à celles de l'axe de figure et ne seront pas traitées ici. Ensemble, précession et nutation sont nécessairement liées au mouvement du pôle, c'est-à-dire au mouvement de l'axe instantané de rotation de la Terre par rapport à un repère de référence terrestre. Une rotation autour d'un axe autre qu'un axe de symétrie fait apparaître un mouvement de "chancellement".

4.3.3. Équations cinématiques et présentation des équations dynamiques

La précession-nutation est liée au mouvement de l'axe instantané de rotation du manteau par des *relations cinématiques* qui rendent possible la détermination de l'un par l'autre. Ces relations nécessitent que la fréquence du mouvement de l'axe instantané de rotation du manteau associé à une nutation circulaire de fréquence ν cpsd soit $\sigma = \nu - 1$ cpsd, et que son amplitude $\tilde{m}(\sigma)$ et l'amplitude $\tilde{\eta}(\nu)$ de la nutation soient liées par

$$\tilde{m}(\sigma) = -(1 + \sigma)\tilde{\eta}(\nu), \quad \sigma = \nu - 1, \quad (4.3.1)$$

et cela, indépendamment du choix de la modélisation rigide ou non rigide de la Terre. La fonction de transfert, définie comme le rapport (sous forme d'une fonction de la fréquence) entre l'amplitude d'un modèle de Terre réaliste (non rigide) et celle obtenue à partir d'un modèle de Terre rigide, est alors la même pour les nutations et les mouvements de l'axe instantané de rotation du manteau associés :

$$\frac{\tilde{\eta}(\nu)}{\tilde{\eta}_R(\nu)} = \frac{\tilde{m}(\sigma)}{\tilde{m}_R(\sigma)}, \quad (4.3.2)$$

où l'indice R indique les amplitudes pour une Terre rigide. Les amplitudes de la nutation sont celles de nutations circulaires progrades et rétrogrades, qui apparaissent par paires avec les fréquences $\nu_p > 0$ et $\nu_r = -\nu_p < 0$. La contribution de chacune d'entre elles à $\Delta\psi(t)$ et $\Delta\epsilon(t)$ est :

$$(\Delta\psi(t) \sin \epsilon_0 + i\Delta\epsilon(t))_\nu = -i\tilde{\eta}(\nu)e^{i\Xi_\nu(t)}, \quad (4.3.3)$$

où $\Xi_\nu = \pm(\arg)$ pour la composante prograde ($\nu = \nu_p$), (\arg) étant l'argument du terme des séries de la nutation considéré ; \pm est le signe de $d(\arg)/dt$ ou de la période de ce terme de nutation (par exemple, $-$ pour le terme de 18.6 ans et $+$ pour le terme annuel) ; et $d\Xi_\nu/dt = \nu_p\Omega_0$. Pour le terme rétrograde, \pm doit être remplacé par \mp . L'équation (4.3.3) conduit aux relations reliant $\tilde{\eta}(\nu_p)$ et $\tilde{\eta}(\nu_r)$ aux coefficients de $\cos(\arg)$ et $\sin(\arg)$ dans $\Delta\psi$ et $\Delta\epsilon$ (voir, par exemple, Defraigne et al., 1995).

Les *équations dynamiques* de la théorie MHB2000 sont les équations de bilan du moment cinétique décrites dans un repère de référence terrestre (équations de moments de force). On trouvera dans Mathews et al. (1991) une description générale de ces équations, qu'il faut encore compléter par des termes représentant les nouveaux aspects géophysiques du modèle.

Ces équations décrivent les variations des vecteurs vitesse angulaire Ω , Ω_f , Ω_s du manteau, du noyau externe fluide et du noyau interne solide, sous la forme

$$\Omega = \Omega_0(\mathbf{i}_3 + \mathbf{m}), \quad \Omega_f = \Omega + \Omega_0\mathbf{m}_f, \quad \Omega_s = \Omega + \Omega_0\mathbf{m}_s, \quad (4.3.4)$$

où $\Omega_0\mathbf{i}_3 \equiv \Omega_0$ est le vecteur vitesse angulaire moyenne du manteau, \mathbf{i}_3 étant son axe de moment d'inertie maximum, que l'on choisit confondu avec l'axe polaire du repère terrestre de référence (TRF, Terrestrial Reference Frame). Les deux premières composantes (équatoriales) de \mathbf{m} sont les variables du mouvement de l'axe instantané de rotation du manteau. Celles de \mathbf{m}_f et \mathbf{m}_s représentent des mouvements des axes instantanés de rotation différentielle du noyau externe fluide et de la graine solide par rapport au manteau. Les troisièmes composantes de ces vecteurs décrivent les variations des vitesses de rotation de chacune des régions. Un autre paramètre à

introduire dans la dynamique du problème est la déviation \mathbf{n}_s de la direction de l'axe de symétrie de la graine par rapport à \mathbf{i}_3 . Les trois équations de bilan du moment cinétique ainsi que l'équation cinématique reliant \mathbf{n}_s à \mathbf{m}_s , constituent un système de quatre équations vectorielles couplées pour les variables dynamiques \mathbf{m} , \mathbf{m}_f , \mathbf{m}_s , et \mathbf{n}_s (toutes très faibles en amplitude, typiquement d'environ 10^{-8} radian). Les propriétés de la Terre importantes pour la nutation sont prises en considération dans ces équations par l'intermédiaire de paramètres que nous appellerons dans la suite les BEP (Basic Earth Parameters). Par exemple, les ellipticités dynamiques de la Terre globale e , du noyau fluide e_f et de la graine solide e_s font partie des BEP, de même que les paramètres représentant les déformations des différentes régions. Dans les équations de bilan du moment cinétique, les termes non linéaires par rapport aux variables dynamiques ne contribuent que marginalement aux solutions. Il faut donc, en premier lieu, linéariser les équations, ce qui transforme le système des quatre équations en deux systèmes d'équations indépendants, l'un pour les mouvements de l'axe instantané de rotation, impliquant seulement les deux premières composantes de chacun des quatre vecteurs, et l'autre pour les variations des vitesses de rotation. Les solutions du système homogène des équations des mouvements de l'axe instantané de rotation donnent les fréquences des modes normaux de rotation de la Terre (on considère les moments de force extérieurs nuls). La solution du système non-homogène donne les mouvements forcés pour les trois régions en réponse à un potentiel extérieur connu. Une fois les amplitudes des mouvements de l'axe instantané de rotation du manteau calculées pour une Terre non rigide, la fonction de transfert est obtenue directement, puisque l'amplitude de ces mouvements pour une Terre rigide est une fonction très simple de la fréquence. Les amplitudes des nutations pour une Terre non rigide peuvent alors être déterminées en multipliant les amplitudes correspondantes pour une Terre rigide par la fonction de transfert. Des tables regroupant les amplitudes des nutations pour une Terre rigide sont disponibles avec des précisions inférieures à 1 microseconde de degré (μas). Sur la base d'études théoriques poussées, des groupes de scientifiques tels que Bretagnon et al. (1998), Roosbeek et Dehant (1998), Souchay et al. (1999), ont calculé ces tables.

Après avoir effectué les calculs basés sur l'approximation linéaire, on peut prendre en considération, par des méthodes de perturbation, les corrections dues aux termes non linéaires négligés.

4.3.4. Modèle géophysique

Les résultats obtenus dépendent du modèle géophysique utilisé. La théorie de Wahr (1981), base de la série de nutation IAU 1980 (Seidelmann, 1982), suppose que la Terre est un ellipsoïde à symétrie axiale en rotation, élastique et sans océan ni atmosphère, avec un noyau fluide et un noyau interne solide. La distribution de densité et les propriétés d'élasticité sont celles d'une Terre en équilibre hydrostatique basée sur le modèle de Terre 1066A. Pour obtenir le modèle IAU 1980, la seule modification apportée au modèle de Wahr a été la valeur de l'ellipticité e permettant de retrouver la valeur observée de la constante de la précession. Par la suite, des corrections aux valeurs de la série IAU1980 ont été calculées par Sasao et Wahr (1981) pour des effets induits par les marées océaniques et par Wahr et Bergen (1986) pour des effets induits par l'inélasticité du manteau. Ces effets entraînent un déphasage entre la réponse de la Terre et le potentiel d'excitation.

Un nombre important d'avancées dans la modélisation géophysique a été introduit dans la théorie MHB2000.

– On a tenu compte de la présence du champ magnétique qui traverse la frontière noyau-manteau et la frontière noyau-graine. Il en résulte un couplage électromagnétique qui modifie les mouvements de l'axe instantané de rotation du noyau fluide par rapport au manteau et à la graine.

– Une autre amélioration a été d'introduire l'interaction entre les différents types de réponses de la Terre à l'action des marées (mouvement de l'axe instantané de rotation, déformation de la Terre solide, marées océaniques) par une intégration globale des trois phénomènes. La contribution totale de l'inélasticité du manteau (par sa contribution sur les déformations), des marées océaniques et des couplages électromagnétiques, sur les nutations, calculée à partir d'une théorie intégrée globalement donne des différences allant jusqu'à 30 μ as par rapport à la somme de chacune des contributions prises individuellement. Ce qui montre l'utilité d'un tel traitement pour l'obtention de solutions de grande précision.

– Un nouveau pas significatif a été l'amélioration des paramètres du modèle de Terre qui influence les nutations par ajustement par moindres carrés, des amplitudes de nutation calculées théoriquement et de la constante de la précession, sur les valeurs très précises obtenues à partir des observations. Ceci était une continuation logique de l'ajustement de ϵ par Wahr et de l'estimation de ϵ_f par Gwinn et al. (1986) sur la base des observations disponibles à l'époque.

4.3.5. Réduction des équations de bilan du moment cinétique et mise en œuvre du modèle géophysique

Une version simplifiée des équations de bilan du moment cinétique suffit à donner une idée concrète de ce qui a été discuté précédemment. Nous ignorons la graine dans un premier temps. Dans ce cas, l'équation de bilan du moment cinétique par rapport à un repère terrestre s'écrit

$$\frac{d\mathbf{H}}{dt} + \boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{H} = \boldsymbol{\Gamma}, \quad (4.3.5)$$

où $\boldsymbol{\Gamma}$ est le moment des forces agissant sur le corps, ici la Terre dans son ensemble, et \mathbf{H} est son moment angulaire tel que $\mathbf{H} = [C] \cdot \boldsymbol{\Omega} + [C_f] \cdot \boldsymbol{\omega}_f$, où $[C]$ et $[C_f]$ sont respectivement les tenseurs d'inertie de la Terre dans son ensemble et du noyau fluide seul. Le second terme est dû au mouvement de l'axe instantané de rotation du noyau par rapport à celui du manteau. Si les deux premières composantes de l'équation vectorielle sont décrites à l'aide des composantes de $\boldsymbol{\omega} = \Omega_o \mathbf{m}$ et $\boldsymbol{\omega}_f = \Omega_o \mathbf{m}_f$, en négligeant les termes de second ordre, on retrouve dans les équations obtenues (*équations de Liouville*) les termes hors diagonale c_{13} et c_{23} du tenseur d'inertie, en plus des deux premiers éléments diagonaux de $[C]$. Ces derniers sont égaux puisque l'on suppose une symétrie axiale, les termes hors diagonale étant nuls en l'absence de perturbations extérieures. En multipliant la seconde équation par i et en l'ajoutant à la première, on obtient une équation simple pour les quantités complexes $\tilde{m} \equiv m_1 + im_2$ et $\tilde{m}_f \equiv m_{f1} + im_{f2}$, $\tilde{c}_3 \equiv c_{13} + ic_{23}$ et $\tilde{c}_3^f \equiv c_{13}^f + ic_{23}^f$. Pour toutes ces quantités, l'indice ou l'exposant f se rapporte au noyau fluide. Pour les mouvements

de l'axe instantané de rotation de fréquence σ cpsd, $\tilde{m} = \tilde{m}(\sigma)e^{i\sigma\Omega_0 t}$, $\tilde{m}_f = \tilde{m}_f(\sigma)e^{i\sigma\Omega_0 t}$, $\tilde{c}_3 = c_3(\sigma)e^{i\sigma\Omega_0 t}$, $\tilde{c}_3^f = c_3^f(\sigma)e^{i\sigma\Omega_0 t}$ et l'équation s'écrit finalement

$$(\sigma - \epsilon)\tilde{m}(\sigma) + (1 + \sigma)(\tilde{c}_3(\sigma)/A) + (A_f/A)\tilde{m}_f(\sigma) = \tilde{\Gamma}(\sigma)/(iA\Omega_0^2). \quad (4.3.6)$$

Pour les termes principaux de nutation décrits en 4.3.1, le moment de force est presque entièrement dû à l'action de la partie tessérale de terme de degré deux (harmonique sphérique de degré 2 et d'ordre 1) du potentiel en ϵ : $\tilde{\Gamma}(\sigma) = -i\epsilon A\tilde{\phi}(\sigma)$.

Pour la Terre rigide (pas de déformation, pas de noyau), la solution de (4.3.6) est immédiate :

$$\tilde{m}_R(\sigma) = \frac{\epsilon}{(\epsilon - \sigma)}\tilde{\phi}(\sigma). \quad (4.3.7)$$

L'équation de bilan du moment cinétique pour le noyau fluide a la forme :

$$(\sigma + (1 + \epsilon_f)\tilde{m}_f(\sigma) + \sigma[\tilde{m}(\sigma) - \tilde{c}_3^f(\sigma)]) - K^{CMB}\tilde{m}_f(\sigma) = 0. \quad (4.3.8)$$

Le dernier terme représente le couplage électromagnétique entre le noyau et le manteau, K^{CMB} étant la constante complexe de couplage.

Les déformations du noyau et de la Terre globale sont représentées par \tilde{c}_3^f et \tilde{c}_3 , respectivement. Elles proviennent,

- (a) de l'action directe du potentiel de marées $\tilde{\phi}$,
- (b) de l'action des potentiels supplémentaires centrifuges produits par les rotations des différentes régions,
- (c) de la surcharge sur la croûte des marées océaniques.

Les deux premiers points conduisent à l'expression

$$\tilde{c}_3 = A[\kappa(\tilde{m} - \tilde{\phi}) + \xi\tilde{m}_f], \quad \tilde{c}_3^f = A_f[\tilde{\gamma}(\tilde{\phi} - \tilde{m}) + \beta\tilde{m}_f], \quad (4.3.9)$$

où κ , γ , ξ , et β sont les paramètres de réponse de la Terre (appelé "compliance" dans les articles de Mathews et al.). Les deux premiers caractérisent les déformations de la Terre globale et du noyau fluide en réponse à l'action d'un potentiel extérieur ou du mouvement du pôle de rotation d'amplitude \tilde{m} ; ξ et β caractérisent les déformations en réponse au mouvement différentiel du pôle de rotation du noyau. Si on substitue (4.3.9) dans (4.3.6) et (4.3.8), ces équations dynamiques forment une équation matricielle dont l'inconnue est le vecteur colonne formé des composantes équatoriales \tilde{m} , \tilde{m}_f . Les valeurs propres de la matrice dynamique sont les fréquences des deux modes d'oscillations libres.

En absence d'inélasticité et de marées océaniques, les valeurs des paramètres de réponse de la Terre peuvent être calculées par intégration des équations de déformation pour un modèle de Terre donné, tel PREM de Dziewonski et Anderson (1981) utilisé dans MHB2000.

L'inélasticité du manteau produit des incréments complexes de ces valeurs; l'effet des marées océaniques peut aussi être pris en considération par l'introduction de termes supplémentaires, non seulement complexes mais aussi dépendant fortement de la fréquence σ du potentiel de marées.

Les incréments sont évalués en utilisant un modèle approprié d'inélasticité du manteau et un modèle pour les marées océaniques diurnes prises en compte pour les nutations, comme décrit dans Mathews et al. (2002). L'introduction de la solution des deux équations précédentes dans les représentations des déformations et des marées océaniques permet de prendre en considération les interactions entre les trois phénomènes.

L'introduction de la graine donne des termes additionnels dans les deux équations précédentes, (qui impliquent, maintenant, les variables \tilde{m}_s et \tilde{n}_s liées à la graine définies en 4.3.2) et deux équations supplémentaires, l'équation de bilan du moment cinétique pour la graine et l'équation cinématique reliant \tilde{n}_s à \tilde{m}_s . Les principes généraux décrits précédemment peuvent s'appliquer, en gardant à l'esprit que la matrice dynamique utilisée est maintenant une matrice 4×4 . Un point important est l'apparition du terme K^{ICB} représentant le couplage (électromagnétique) entre la graine et le noyau fluide dans les équations de moments de force pour les deux régions du noyau. L'impact de ce couplage sur les amplitudes d'un terme de nutation donné est complexe.

Comme il a été vu plus haut, les valeurs de e et e_f calculées à partir des modèles de Terre en équilibre hydrostatique ont dû être ajustées (d'environ 5% dans les travaux les plus récents) pour que les résultats des théories de nutation soient compatibles avec les observations. Or, grâce à l'amélioration de la qualité des observations de la nutation, les paramètres de la Terre, connus avec une précision limitée à partir des anciennes données observationnelles, peuvent être ajustés à des valeurs différentes de celles utilisées dans ces modèles de Terre, comme PREM. D'autre part, aucune estimation des paramètres K^{CMB} et K^{ICB} n'était disponible. Ayant ces remarques à l'esprit, Mathews et al. (2002) ont utilisé un ajustement par moindres carrés des quantités prédites par la théorie de nutation (dans son approximation linéaire) à des données observationnelles de nutation de très haute précision auxquelles ont été retirées les contributions non linéaires par optimisation des valeurs des BEP sélectionnés.

4.3.6. Estimation de la constante de la précession et formules pour les séries de la nutation

La valeur estimée de la constante de précession du modèle MHB2000 est obtenue directement à partir de la valeur de l'ellipticité e estimée précédemment. Comme pour les amplitudes de la nutation, on utilise au départ la solution d'un système d'équations mis en place avec des valeurs optimisées pour les paramètres de la Terre, puis on obtient une fonction de transfert en divisant $\tilde{m}(\sigma)$ par la solution pour la Terre rigide $\tilde{m}_R(\sigma)$ donnée par (4.3.7). Il faut cependant être prudent : la valeur de e obtenue pour une Terre non rigide n'est pas égale à la valeur e_R utilisée pour une Terre rigide. La différence entre ces valeurs nécessite la multiplication de la fonction de transfert déterminée précédemment par $[(e_r - \sigma)/(e + 1)] (e/e_R)$. On obtient ainsi l'amplitude du terme $\tilde{\eta}(\nu)$ pour une Terre non rigide en multipliant l'amplitude du terme $\tilde{\eta}_R(\nu)$ de nutation de la Terre rigide pour l'ellipticité e_R par la fonction de transfert modifiée et calculée pour la fréquence σ (dans l'approximation linéarisée des équations de moments de force). L'estimation de cette amplitude est faite pour chaque fréquence ν des séries de nutation de la Terre rigide. Les amplitudes de la nutation circulaire déterminées à partir du modèle de Terre rigide REN2000 de Souchay et al. (1999)

ont été utilisées par Mathews et al. (2002) dans le calcul des amplitudes de la Terre non rigide correspondantes. Le résultat final inclut plusieurs petites corrections. Les premières sont celles, mentionnées précédemment, dues aux contributions des termes non linéaires dans les équations. D'autres modélisent un effet relativiste nommé *nutaton géodésique* (voir par exemple Brumberg et al., 1992) ; d'autres, enfin, estimées empiriquement, se rapportent à l'effet des marées thermiques atmosphériques. Les amplitudes progrades et rétrogrades de la nutation sont enfin converties en coefficients de nutation en longitude et obliquité. Une correction due aux termes non linéaires est aussi appliquée à la constante de la précession.

Si tous les paramètres des équations de bilan du moment cinétique avaient été indépendants de la fréquence, on aurait pu calculer les amplitudes pour une Terre non rigide, pour toutes les fréquences, en appliquant les formules de la fonction de transfert aux amplitudes connues pour une Terre rigide, en utilisant les valeurs données par la théorie pour les fréquences des modes de nutation libre et les coefficients correspondants. Mais, puisque les contributions des effets de marées océaniques dans l'estimation des paramètres de la matrice dynamique sont dépendantes des fréquences, nous devons nous contenter d'une formulation approximative peu satisfaisante associée à des corrections à appliquer à certaines amplitudes de nutation. Ces corrections ont été déterminées à partir de la solution exacte des équations de bilan du moment cinétique calculée pour chaque fréquence. La formulation donnée par Mathews et al. (2002) pour la fonction de transfert est :

$$\frac{\epsilon_R - \sigma}{\epsilon + 1} \frac{\epsilon}{\epsilon_R} \left[1 + (1 + \sigma) \left(Q_0 + \sum_{\alpha=1}^4 \frac{Q_\alpha}{\sigma - s_\alpha} \right) \right] \quad (4.3.10)$$

où les s_α sont des compromis entre les fréquences propres des quatre oscillations libres. On trouvera des valeurs numériques et des résultats détaillés dans Mathews et al. (2002), ainsi que des discussions approfondies concernant les implications géophysiques des valeurs obtenues par ajustement aux observations de nombreux paramètres de la Terre. Les résonances associées à la nutation libre du noyau (FCN, Free Core Nutation et PFCN, Prograde Free Core Nutation) influencent fortement un grand nombre de termes de nutation forcés pour les fréquences proches de leurs fréquences propres (en particulier la nutation annuelle rétrograde et la nutation en 18.6 ans). Grâce à l'impact de ces résonances, il a été possible de déduire de nombreuses propriétés physiques de la Terre jouant un rôle significatif dans la détermination et la caractérisation de ces modes.

Une question ouverte concerne l'effet des variations de la vitesse de rotation de la Terre sur elle-même sur la nutation de période 18.6 ans (Bretagnon et al., 2000). De cet effet pourraient résulter de petits termes non linéaires négligés dans les relations cinématiques (4.3.1) et (4.3.2). Depuis, il a été montré (Lambert et Capitaine, 2004) que cet effet pouvait être annulé si l'incrément du vecteur de moment de force induit par la variation de la vitesse de rotation était pris en considération.

4.3.7. Fréquences des nutations et mouvement du pôle

Afin de compléter cette description des variations de la rotation de la Terre (autres que celles de la vitesse de rotation de la Terre sur elle-même), nous allons considérer brièvement les variations induites par les déviations de la structure terrestre par rapport à un ellipsoïde axisymétrique. De

telles structures sont décrites par l'intermédiaire des coefficients du géopotentiel (C_{nm}, S_{nm}) où $n = 3, 4, \dots$. Pour tout m différent de zéro, les nutations générées sont en dehors de la bande des basses fréquences. Ces mouvements peuvent aussi être considérés comme des mouvements du pôle de fréquences se trouvant en dehors de la bande de fréquences rétrogrades diurnes qui s'étend de $-(3/2)$ cpsd à $(-1/2)$ cpsd. C'est ce dernier point de vue qui est recommandé par l'UAI (2001). Ce mouvement est celui du pôle défini par ces résolutions, ses coordonnées dans le repère de référence terrestre étant notées $(x_p(t), -y_p(t))$. Les seules composantes spectrales du mouvement ayant des amplitudes supérieures à $1 \mu\text{as}$ correspondent soit à des mouvements de basses fréquences induits par un potentiel de marées d'ordre 3 et de degré 0 agissant sur les coefficients du géopotentiel $(C_{3,1}$ et $S_{3,1})$, soit à des mouvements du pôle diurnes progrades induits par un potentiel tesseral de degré 2 agissant sur les coefficients de triaxialité $C_{2,2}$ et $S_{2,2}$ (c'est-à-dire représentant les différences entre les deux principaux moments d'inertie équatoriaux). L'amplitude $\tilde{p}(\sigma)$ de la composante circulaire du mouvement du pôle est définie dans le premier cas par $\tilde{p} \equiv x_p - iy_p = \mp i \tilde{p}(\sigma) e^{\pm i\Theta_\omega(t)}$, avec $\sigma = \pm(\omega/\Omega_0)$, \pm désignant les mouvements progrades (+) et rétrogrades (-). $\Theta_\omega(t)$ est l'argument de la composante spectrale du potentiel, $\omega = d\Theta_\omega(t)/dt > 0$. Pour les mouvements dus à la triaxialité, tous progrades, l'expression précédente avec un signe + est valable. Dans les deux cas, $\tilde{p}(\sigma) = \tilde{m}(\sigma)/(1 + \sigma)$. Les amplitudes $\tilde{m}(\sigma)$ sont obtenues à partir d'équations de moments de force très simplifiées. Pour de plus amples détails, voir Mathews et Bretagnon (2003).

4.4. DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES D'ORIENTATION DE LA TERRE

4.4.1. Introduction

La connaissance de la non-uniformité de la rotation de la Terre permet d'appréhender les phénomènes qui en sont la cause, essentiellement les phénomènes géophysiques externes (mouvements atmosphériques, océaniques, glaciaires ...) et internes (interaction entre les noyaux solide et fluide de la Terre et le manteau). De plus les activités dans les domaines de la navigation, l'astronomie et la géodésie spatiale exigent la connaissance précise des mouvements d'un système de référence terrestre lié à la Terre, et réalisé par le repère de référence terrestre international (ITRF, International Terrestrial Reference Frame; Altamimi et al., 2002) par rapport à un système de référence non-tournant réalisé par le repère de référence céleste international (International Celestial Reference Frame, ICRF; Ma et al., 1998). Ainsi, pour la navigation spatiale, on a besoin de connaître l'orientation de la Terre par rapport à un repère céleste et une erreur dans l'orientation terrestre se propage sur la position calculée du satellite.

La rotation de la Terre comprend différentes composantes appelées *paramètres d'orientation de la Terre* (EOP, Earth Orientation Parameters) qui permettent de décrire la rotation de l'ITRF par rapport à l'ICRF.

4.4.2. Description des paramètres d'orientation de la Terre

Les EOP comprennent le mouvement de rotation de la Terre autour de son axe (représenté par le Temps universel UT1 ou la vitesse de rotation), le mouvement de l'axe par rapport à l'axe de figure (le mouvement du pôle ou polhodie) et la précession-nutation donnée par un modèle conventionnel. On se reportera au chapitre 3.6 pour les nouvelles définitions et procédures issues des résolutions adoptées à la vingt-quatrième assemblée générale de l'UAI en 2000 et qui concernent en particulier l'adoption d'un nouveau modèle de nutation (IAU2000), une nouvelle définition du pôle céleste, la définition du CIP ainsi que l'adoption d'une nouvelle transformation entre les systèmes céleste et terrestre définissant UT1 comme étant directement proportionnel à l'angle de rotation de la Terre.

Les variations atmosphériques jouent un rôle important dans les variations du mouvement du pôle et de la rotation de la Terre proprement dite. Le moment angulaire atmosphérique calculé à partir d'un modèle de circulation comprenant notamment des données globales de température et pression sur plusieurs niveaux d'altitude est composé d'un terme dit *de pression*, relatif à des variations de masse et exprimé sous forme de variations du tenseur d'inertie ainsi que d'un terme dit *de vent*, lié aux mouvements des masses atmosphériques et s'exprimant sous la forme de moment cinétique relatif (Barnes et al, 1983). Les termes de pression affectent plus particulièrement le mouvement du pôle alors que les termes de vent ont un effet sur la rotation de la Terre proprement dite comme l'excès de la durée du jour sur la durée du jour moyen (86400 secondes).

4.4.2.1. Mouvement du pôle ou polhodie

Les coordonnées du CIP par rapport au pôle international de référence (International Reference Pole, IRP) sont définies dans un système d'axes contenu dans le plan tangent au pôle dont l'origine est l'IRP (figure 4.4). Ces axes O_x et O_y sont dirigés respectivement vers le méridien de référence, l'International Reference Meridian (IRM), proche du méridien de Greenwich et perpendiculairement vers l'ouest. Le CIP diffère du pôle instantané de rotation par des termes quasi-diurnes dont l'amplitude est inférieure à $0.01''$ notamment dus aux marées océaniques. Le mouvement de l'axe de rotation de la Terre par rapport à la croûte comporte trois composantes majeures : une oscillation libre de période d'environ 435 jours (oscillation de Chandler, ou Chandler wobble), une oscillation annuelle forcée par le déplacement saisonnier des masses atmosphériques et océaniques ainsi qu'une dérive séculaire décrite par le pôle moyen.

Le terme de Chandler

C'est un terme libre de période environ 14 mois, réponse résonnante de la Terre au couplage équatorial. L'amplitude atteint $0.15''$ (4.5 m sur la Terre). L'amortissement de cette résonance peut être calculé empiriquement par l'introduction du facteur de qualité Q qui dépend des paramètres rhéologiques de la Terre. L'amortissement du terme de Chandler fournit des informations sur la dissipation à long terme dans la Terre. L'origine de l'excitation du terme de Chandler est restée mal connue pendant très longtemps. On l'a attribuée à divers phénomènes géophysiques comme les excitations atmosphériques, les variations des masses des réserves hydrologiques, les tremblements de terre ou les couplages électromagnétique, topographique ou gravitationnel entre le noyau

liquide et le manteau (Eubanks, 1985). On sait maintenant qu'elle est due à une combinaison de phénomènes atmosphériques et océaniques. Gross (2000) a montré en particulier que les variations de pression atmosphérique dans les fonds des océans et la pression atmosphérique sur les continents expliquaient, respectivement, les deux tiers et un tiers du mouvement total.

Les variations saisonnières

Les variations du moment d'inertie liées aux mouvements des masses atmosphériques sont principalement responsables des variations saisonnières, essentiellement annuelles et semi-annuelles. Ces variations saisonnières sont stables avec une amplitude de l'ordre de $0.1''$ (3m sur la Terre). Cependant les excitations atmosphérique et océanique n'expliquent pas complètement les variations du mouvement du pôle. L'introduction de données relatives à l'excitation océanique nouvellement disponibles, à partir notamment des analyses des données du satellite altimétrique Topex-Poseidon, permet d'améliorer la compréhension des causes de ces variations. Il existe également dans le mouvement du pôle des termes à plus courtes périodes, notamment les termes diurnes et subdiurnes que l'on attribue aux variations océaniques.

Mouvement séculaire

L'étude des variations à long terme du mouvement du pôle montre l'existence d'un terme séculaire d'environ 4 mas par an (12 cm par an sur la Terre) dans la direction 70.7° ouest. Ce terme n'a pu être déterminé avec précision que grâce à l'accumulation de données sur le mouvement du pôle, notamment depuis la contribution des données spatiales depuis plusieurs décades ainsi que par l'utilisation de modèles précis de mouvements locaux des stations d'observation dus aux plaques tectoniques. Ces variations séculaires qui apparaissent dans le mouvement du pôle sont généralement attribuées aux effets du rebond postglaciaire, réponse lente et anélastique de la Terre à la fonte des glaces des calottes polaires depuis le dernier âge glaciaire il y a environ 10 000 ans. Ce phénomène est responsable des variations du terme zonal d'ordre deux, noté J2, ainsi que celles d'autres termes du modèle de champ de gravité de la Terre observées notamment par télémétrie laser du satellite Lageos. Les échelles de temps concernées par le rebond postglaciaire sont si grandes, plusieurs milliers d'années, que le mouvement séculaire du pôle apparaît comme un terme linéaire. L'étude du rebond postglaciaire est de grande importance pour l'analyse de la variation du niveau de la mer provenant du réchauffement global. Les mouvements verticaux de l'ordre de quelques millimètres par an sont comparables aux effets provenant de l'expansion thermique et de ceux résultant de la fonte des glaces. Les données récentes du mouvement du pôle sont sensibles aux redistributions de masse et donnent de fortes contraintes sur les modèles de variation du niveau de la mer. Des études récentes montrent que les fontes de glaciers et les bassins hydrologiques pourraient être également responsables de 20% de l'excitation du mouvement observé du pôle séculaire. Plusieurs auteurs dans le passé ont mis en évidence l'existence d'un terme décennal de période d'environ 20 à 30 ans dite oscillation de Markowitz. L'existence de ce terme que certains ont attribué à des erreurs systématiques dans la position de stations d'observation est cependant controversée.

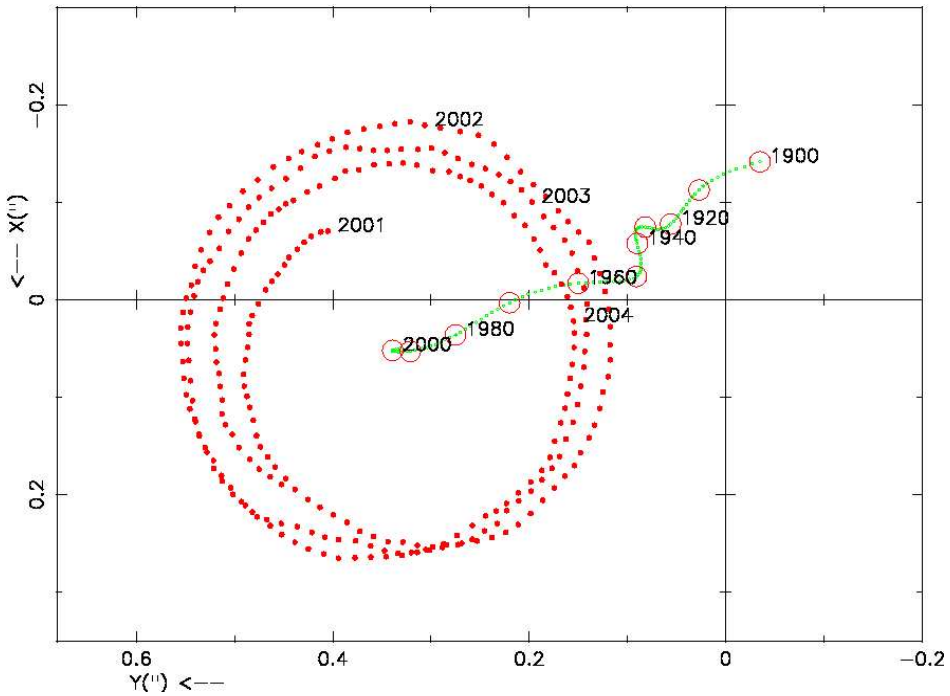


Fig. 4.4. Polhodie 2001-2004 et pôle moyen depuis 1900. L'unité est la seconde de degré. L'axe des X est dirigé positivement vers le méridien de Greenwich, l'axe des Y est dirigé positivement vers la direction 90° ouest.

4.4.2.2. UT1

UT1 est l'angle de rotation autour du pôle. Il est défini par une relation conventionnelle (IERS, 2003) et donne accès à la direction de l'IRM dans l'ICRS. Il est en fait exprimé comme l'une des différences UT1-TAI ou UT1-UTC. DUT1 est la différence UT1-UTC exprimée avec une précision de +/- 0.1 s ; elle est diffusée avec les signaux horaires et annoncée par l'IERS. La différence entre la longueur du jour relative à la rotation de la Terre, LOD , et les 86 400 s du TAI, est appelée l'excès de la durée du jours ΔLOD . Sa relation avec la vitesse moyenne de rotation de la Terre est :

$$\Omega = 72921\ 151.467\ 064 - 0.843\ 994\ 803 \Delta LOD,$$

où Ω est en picoradians/s et ΔLOD en millisecondes (ms).

UT1 et par suite ΔLOD et Ω , ont des variations dues aux marées zonales dont le modèle comprend 300 termes périodiques avec des périodes comprises entre 5.6 jours et 18.6 ans (IERS, 2003). UT1R, $\Delta LODR$, and ΩR sont les valeurs de UT1, ΔLOD , et Ω corrigées des termes à courtes périodes inférieures à 35 jours. L'amplitude de UT1R-UT1 est inférieure à 2.5 ms. La différence $\Delta LODR - \Delta LOD$ est inférieure à 1 ms. Les données fournies par l'IERS n'incluent pas

les effets des variations semi-diurnes et diurnes données également par un modèle (IERS, 2003). La différence UT1-UTC n'est théoriquement pas affectée par les nouvelles résolutions de l'UAI.

4.4.2.3. Excès ΔLOD de la durée du jour sur les 86400s

En l'état actuel de nos connaissances et en dehors des effets de marée dus aux actions de la Lune et du Soleil, les variations de la durée du jour peuvent être séparées en plusieurs composantes :

1) Le ralentissement séculaire. L'action gravitationnelle de la Lune et du Soleil produit le phénomène de marée dont le frottement entraîne une dissipation d'énergie. Cela donne lieu à un ralentissement séculaire de la rotation terrestre. En se basant sur des mesures anciennes et modernes, on peut estimer que l'accroissement régulier dans la longueur du jour qui en résulte est de l'ordre de 2 ms par siècle. Si l'on considère que ce ralentissement existe depuis les temps géologiques, on peut estimer que la rotation terrestre se faisait en 22 heures, il y a cent millions d'années. Il faut ajouter à ce terme séculaire des variations périodiques produites par les marées dues aux couples gravitationnels de la Lune et du Soleil. Les principales périodes sont de 18.6 ans, 1 an, 6 mois, 27.56 et 13.66 jours avec une amplitude globale de l'ordre d'une milliseconde dans la durée du jour.

2) Des variations irrégulières décennales dont l'amplitude est de l'ordre de 3 à 4 millisecondes oscillant sur des périodes comprises entre 20 et 60 ans. Leurs origines sont d'ordre géophysique interne et sont généralement attribuées au couplage entre le noyau et le manteau terrestres et partiellement aux phénomènes océano-atmosphériques à grande échelle, de type El Nino. La vitesse de rotation de la Terre est connue avec une bonne précision depuis les années 1970. Auparavant on disposait de mesures issues des observations d'astrométrie optique classique pour lesquelles la précision était un peu moins bonne. Ce sont les phénomènes d'occultations d'étoiles par la Lune qui fournissent les mesures antérieures. Les éclipses anciennes peuvent également apporter des informations sur les variations à long terme de la vitesse de rotation. Cependant la précision qu'elles donnent est médiocre.

3) Des variations saisonnières, principalement annuelle et semi-annuelle et également inter-annuelles dues essentiellement à la circulation atmosphérique. Si l'on considère la Terre solide et l'atmosphère comme un tout, l'une des lois fondamentales de la mécanique d'un système isolé postule la conservation du moment cinétique global de l'ensemble de la Terre solide et de son atmosphère. Une variation du moment cinétique de l'atmosphère entraînera donc une variation opposée du moment cinétique de la Terre. Un vent d'ouest violent aura pour conséquence un ralentissement de la Terre, faible mais détectable par les techniques actuelles. À ces fluctuations il faut aussi ajouter la contribution de la circulation océanique et celle du cycle hydrologique sur les continents (pluies, neiges), mais dont la participation au bilan global, quoique mesurable est négligeable (moins de 5%).

4) Des variations irrégulières ayant principalement pour origine des phénomènes rapides atmosphériques et océaniques. En outre, les forces externes appliquées au système climatique dans la haute atmosphère, principalement dues au vent solaire et aux autres forces électromagnétiques, ont dans ce contexte une faible influence. Elles peuvent de ce fait être négligées. Ceci laisse alors libre place à l'important problème géophysique constitué par la détermination et l'étude des effets

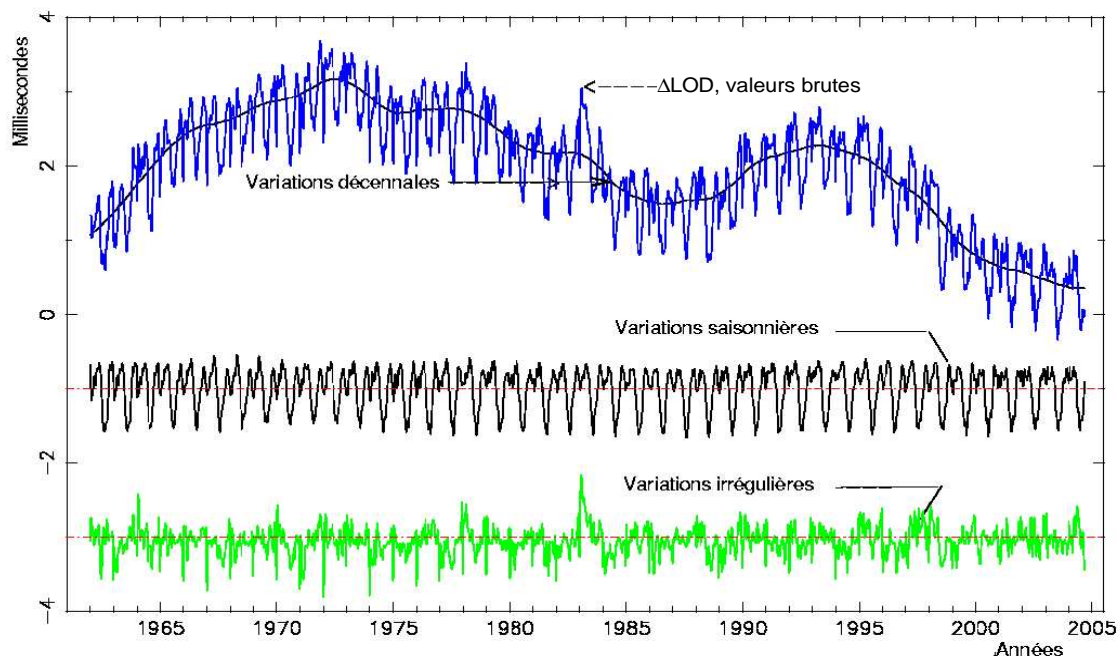


Fig. 4.5. Filtrage de ΔLOD , variations décennales, saisonnières et irrégulières.

L'unité est la milliseconde.

internes. La figure 4.5 représente le filtrage de l'excès de la durée du jour sous forme de termes décennaux, saisonniers et irréguliers.

4.4.2.4. Pôle céleste et écarts au pôle céleste ($\delta\Delta\psi_{2000}$, $\delta\Delta\epsilon_{2000}$)

La précession-nutation se réfère au CIP, qui ne contient par définition, que des termes dont la période dans le repère céleste est supérieure à 2 jours. Elle comporte une partie séculaire et des termes périodiques (principalement de période 18.6 ans, 1 an, 0.5 an et 14 jours). Les oscillations résiduelles sont attribuées à la nutation libre de la Terre. L'IERS ne fournit pas directement les coefficients de la précession-nutation mais les écarts δX et δY par rapport au modèle de référence IAU2000, selon le nouveau formalisme (cf. 3.6). Les variations observées reflètent la différence entre le mouvement céleste réel du pôle et celui prédit par les modèles de précession et de nutation conventionnels. Les angles en longitude et en obliquité déterminés classiquement ($\delta\Delta\psi_{2000}$, $\delta\Delta\epsilon_{2000}$), et référés au nouveau modèle peuvent être aisément calculés. Ces valeurs de δX et δY sont maintenant inférieures à 1 mas et reflètent principalement les effets de la FCN que l'on peut difficilement modéliser. Elles ne peuvent donc pas être incorporées au nouveau modèle de nutation IAU2000 (figure 4.6).

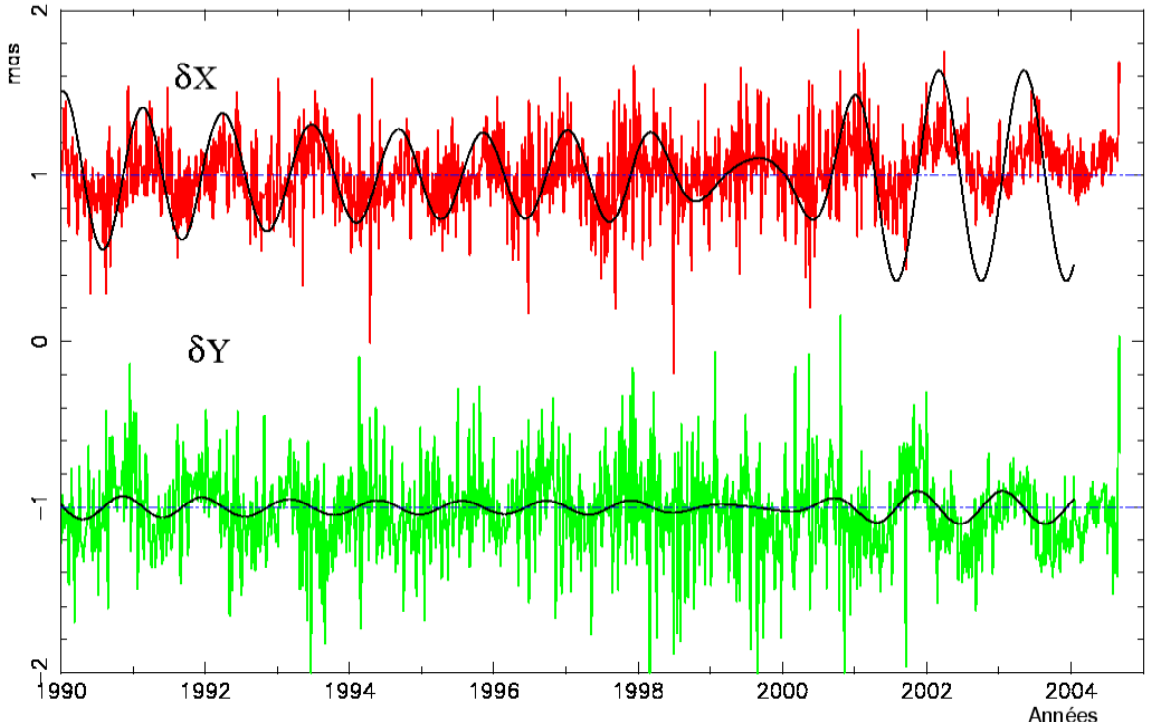


Fig. 4.6. Écart δX et δY du pôle céleste. La courbe en trait continu représente la FCN. L'unité est le mas.

4.4.2.5. Variations du temps universel, relations avec les échelles de temps atomique TAI et UTC

L'échelle de temps TAI, réalisée par des phénomènes physiques et calculée par le Bureau international des poids et mesures (BIPM) (*cf.* chapitre 2) est dissociée du Temps universel déterminé par la rotation de la Terre. Son intervalle unitaire est exactement d'une seconde SI rapportée au niveau moyen des mers. L'origine du TAI est telle que la différence UT1-TAI est approximativement égale à zéro le 1er janvier 1958. Les instabilités de TAI sont environ 10^6 fois plus faibles que celles de UT1. UTC a été défini par la recommandation 460-4 de l'International Radio Consultative Committee (1986). Cependant TAI et le temps universel UT1 s'écartent au fil des années à cause du choix de la seconde du TAI, un peu trop courte par rapport à la seconde définie astronomiquement et aussi à cause des fantaisies de la rotation de la Terre. À l'allongement d'environ 2 millisecondes par siècle dû aux marées s'ajoutent des variations saisonnières ou imprévisibles se mesurant aussi en millisecondes. Pour diverses applications, notamment pour la navigation spatiale, on a voulu garder une relation entre le temps de la physique et la rotation de la Terre dans le repère céleste. On a donc défini une nouvelle échelle de temps, le *temps universel coordonné* (UTC, Universal Time Coordinated) calqué sur le TAI mais comprenant une correction de quelques secondes qui

l'astreint à rester proche de UT1 et tel que $|UT1 - UTC| < 0,9$ s. Lorsque la différence risque de dépasser 1 seconde on introduit dans UTC une seconde intercalaire appelée de manière impropre *saut de seconde* (leap second). Selon cette dernière condition, la décision, ou la non-décision, d'introduire un saut de seconde dans UTC relève de l'IERS et est annoncée dans le Bulletin C six mois à l'avance. Selon les recommandations du CCIR, les dates d'application préférentielles sont un 31 décembre ou un 30 juin de l'année. L'application est mise en œuvre par les autorités nationales responsables de la diffusion du temps. L'organisme français concerné est le Bureau national de métrologie (BNM/SYRTE, sis à l'observatoire de Paris). La dernière seconde intercalaire fut introduite le 1 janvier 1999 à 0h UTC, soit à 1 heure temps légal en France. La prochaine se produira vraisemblablement le 1 janvier 2007 selon les prédictions actuelles, la Terre ayant accéléré depuis quelques années.

Cette définition de UTC comprenant des secondes intercalaires intermittentes s'est révélée satisfaisante pour toutes les communautés scientifiques à l'exception de celles travaillant dans des domaines liés aux télécommunications et à la navigation spatiale (notamment par GPS) qui ont proposé récemment une révision de la définition de UTC afin de disposer d'une échelle de temps continue exempte de sauts de seconde. Depuis 2001 des discussions ont lieu au niveau international. Elles n'ont cependant pas débouché sur un accord. On incite plutôt les communautés qui ont besoin d'une échelle de temps continue à utiliser TAI ou directement un temps lié à l'échelle GPS, voire l'échelle de temps produite par le futur système Galileo.

4.4.3. Les techniques d'observation

Deux types de méthodes sont actuellement utilisées pour déterminer les EOP : les méthodes géométriques et les méthodes dynamiques.

4.4.3.1. Les méthodes géométriques

On observe les directions d'étoiles par astrométrie optique ou de radiosources extragalactiques par interférométrie. L'astronomie optique comporte de sérieuses limitations du fait de la réfraction atmosphérique qui est difficilement modélisable. Cette technique observationnelle n'est actuellement plus utilisée pour les études concernant la rotation terrestre et les détermination de repères de référence. La technique VLBI consiste à observer simultanément en ondes radio une même source extragalactique (quasar ou noyau de galaxie) à l'aide de deux radiotélescopes distants de plusieurs milliers de kilomètres. Les signaux sont enregistrés indépendamment sur des bandes magnétiques et datés de manière très précise par des horloges atomiques ou des masers à hydrogène. Ils sont ensuite corrélés dans un centre spécialisé appelé corrélateur. On peut par la suite en déduire très précisément le décalage entre les heures d'arrivée du signal aux deux radiotélescopes. L'analyse de ce retard géométrique après corrections de divers effets atmosphériques (troposphère, ionosphère) donne accès aux coordonnées des radiosources dans un repère céleste, aux positions des radiotélescopes dans un repère terrestre, mais aussi aux paramètres d'orientation de la Terre. Pour

déterminer ces paramètres il faut mener des programmes d'observation s'étendant sur plusieurs heures.

4.4.3.2. *Les méthodes dynamiques*

Ces méthodes reposent sur l'observation de la Lune par télémétrie laser (LLR) ou sur celle de satellites artificiels de la Terre par diverses techniques. Le repère de référence céleste est fourni par l'éphéméride du satellite. À partir des observations, on peut déterminer les termes donnant l'orientation terrestre ainsi que les positions de stations dans un repère géocentrique tournant lié à la Terre. Le LLR s'est développé depuis 1971. Ces mesures représentent le temps aller-retour d'une impulsion laser réfléchie sur les cataphotes déposés à la surface lunaire par les missions soviétiques et américaines dans les années 1960–1970. La technique étant difficile à mettre en œuvre, il n'y a actuellement que deux stations au monde en fonctionnement opérationnel : celle de l'université du Texas et celle du CERGA de l'observatoire de la Côte d'Azur près de Grasse. La télémétrie laser des satellites repose sur le même principe général, mais dans ce cas les cibles sont des satellites conçus spécialement pour cette technique. Elle s'est essentiellement développée après le lancement du satellite français Starlette en 1975 et celui du satellite américain Lageos en 1976. Ces satellites et leurs successeurs ont des caractéristiques qui leur permettent d'être bien adaptés pour les études liées à la géodynamique. La précision atteinte sur la mesure de distance entre le satellite et la station est actuellement de quelques millimètres. Les stations d'observation sont bien réparties sur le globe avec toutefois un surnombre en Europe et dans l'Amérique du Nord.

Le système GPS conçu par l'armée américaine pour ses besoins propres de positionnement et de navigation, remplace le système de navigation Transit, reposant sur l'effet Doppler et opérationnel jusque dans les années 1980. Actuellement ce système consiste en une constellation d'une vingtaine de satellites d'orbites quasi-circulaires gravitant à 26500 km, de période de révolution de 12h et se trouvant dans six plans inclinés à 55° par rapport à l'équateur. La communauté scientifique civile utilise largement ce système par l'intermédiaire de l'IGS (International GPS service) créé en 1994. Les principales productions de ce service sont la détermination d'orbites précises pour les besoins de positionnement, le calcul de coordonnées de stations, les paramètres d'orientation de la Terre et les paramètres liés à l'état de la troposphère et de l'ionosphère.

Le système radioélectrique DORIS, développé par le CNES, est embarqué sur des satellites bas. Il a volé sur les satellites de télédétection Spot et sur le satellite océanographique Topex- Poseidon. Depuis 2001 il est embarqué sur les satellites Envisat et Jason. À la différence des autres systèmes, le récepteur DORIS se trouve embarqué dans le satellite alors que les balises émettrices sont au sol. Ce réseau de balises est parfaitement distribué sur le globe terrestre, ce qui rend ce système bien adapté à la détermination du système de référence terrestre.

4.4.4. **Calcul des paramètres d'orientation de la Terre**

L'ensemble des EOP permet d'effectuer la transformation entre l'ITRF et l'ICRF. Ces paramètres sont donnés, par l'IERS, sous forme de séries chronologiques régulières. La série de référence

est la combinaison de séries individuelles dérivées des analyses des observations obtenues par les diverses techniques. La procédure de combinaison est fondée sur le traitement statistique de séries chronologiques, l'objectif étant d'obtenir la meilleure série à toutes les échelles de temps. Les processus incluent notamment lissage de données, interpolation, analyse spectrale, modélisation, prédiction et utilisent de nouvelles méthodes comme les analyses en ondelettes ou les réseaux de neurones (Bougeard et al, 2000 ; Gambis, 2002 ; Vondrák et Cepek, 2000 ; Vondrák et Gambis, 2000).

L'exactitude actuelle est de l'ordre de 200 mas pour les composants du pôle et 20 microsecondes de temps (μs) pour UT1, ce qui correspond à moins d'un centimètre sur la Terre. Cependant l'exactitude n'égale pas la précision interne des solutions individuelles qui sont respectivement de 100 mas et 5 μs , à cause des erreurs de propagation dans la réalisation des deux repères de référence céleste et terrestre. On trouvera plus de détails sur les combinaisons et l'analyse des EOP dans Gambis (2004). Des méthodes rigoureuses, reposant sur une détermination globale simultanée des repères de référence et des paramètres de la rotation de la Terre, sont actuellement en développement (Anderson, 1995 ; Yaya, 2002 ; Altamimi et al., 2004). Elles permettront une meilleure compréhension de ce problème.

Remarque sur les termes précision et exactitude

Selon les définitions standard largement admises par la communauté scientifique, le terme *exactitude* a un sens spécifique caractérisant la stabilité, l'uniformité ou la reproductibilité d'une série de données, alors que la *précision*, qui doit être distinguée, reflète une évaluation externe relative à la vérité que l'on ne peut pas atteindre et qui relate la qualité du résultat. On peut seulement estimer l'inexactitude, défaut d'exactitude.

4.5. BIBLIOGRAPHIE

- Altamimi, Z., Boucher, C., Gambis, D. : 2004, Long-term Stability of the Terrestrial Reference Frame, soumis à *Adv. Space Research*.
- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. : 2002, ITRF2000 : A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications, *J. Geophys. Res.* **107** (B10), 2214, doi :10.1029/2001JB000561.
- Anderson, P.H. : 1995, High-precision station positioning and satellite orbit determination, *Ph.D. Thesis*, NDRE/publication 95/01094, FFI/ E, Box 25, N-2007, Kjeller, Norway.
- Barnes, R.T.H., Hide, R., et al. : 1983, Atmospheric angular momentum fluctuations, length-of-day changes and polar motion dans *Proc. R. Soc. Lond.* **387**, 31.
- Bevington, P.R. :1969, Data reduction and error analysis for the physical sciences, *McGraw-Hill Book Company*, New York, USA.

- Bougeard, M., Gambis, D., Ray, R. : 2000, Algorithms for box constrained M-estimation : fitting large data sets with applications to Earth Orientation Parameters series, *Physics and Chemistry of the Earth* **25(9-11)**, 679.
- Bretagnon, P., Fienga, A., Simon, J.-L. : 2003, Expressions consistent with the IAU 2000A model, *Astron. Astrophys.* **400**, 785.
- Bretagnon, P., Francou, G. : 1988, Planetary theories in rectangular and spherical variables. VSOP87 solutions, *Astron. Astrophys.* **202**, 309.
- Bretagnon, P., Francou, G., et al. : 1998, SMART97 : a new solution for the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **329**, 329.
- Bretagnon, P., Rocher, P., Simon, J.-L. : 1997, Theory of the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **319**, 305.
- Bretagnon, P., Rocher, P., Simon, J.-L. : 2000, Nonrigid Earth Rotation Solution, in : *Towards Models and Constants for Sub-microarcsecond Astrometry.*, IAU Colloquium 180, K. Johnson, D. McCarthy, B. Luzum, G. Kaplan, eds, Washington, USA, 230.
- Brumberg, V.A., Bretagnon, P., Francou, G. : 1992, in *Systèmes de référence spatio-temporels. Journées 1991*, N. Capitaine, ed., observatoire de Paris
- Capitaine, N., Wallace, P.T., Chapront, J. : 2003, Expressions for IAU 2000 precession quantities *Astron. Astrophys.* **412**, 467.
- Capitaine, N., Wallace, P.T., Chapront, J. : 2004, Comparison between high precision precession models for the ecliptic and the equator, *Astron. Astrophys.* **421**, 365.
- Chapront-Touzé, M., Chapront, J. : 1983, The lunar ephemeris ELP2000, *Astron. Astrophys.* **124**, 50.
- Chapront-Touzé, M., Chapront, J. : 1988, ELP2000-85 : a semi-analytical lunar ephemeris adequate for historical times, *Astron. Astrophys.* **190**, 342.
- Defraigne, P., Dehant, V., Paquet, P. : 1995, Link between the retrograde-prograde nutations and nutations in obliquity and longitude, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **62**, 363.
- Dziewonski, A.D., Anderson, D.L. : 1981, Preliminary Reference Earth Model., *Phys. Earth planet. Inter.* **25**, 297.
- Eubanks, T.M. : 1993, Variations in Earth Orientation, in *Contributions of Space Techniques to geodynamics*, Smith. D.E., Turcotte, D.L., eds, Wahshington D.C., 1.
- Fukushima, T. : 2003, A New precession formula, *Astron. J.* **126**, 1.
- Gambis, D. : 2002, Allan Variance analysis applied to Earth Orientation Analysis, *Adv. Space Research* **30(2)**, 207.
- Gambis, D. : 2004, Monitoring Earth Orientation at the IERS using space-geodetic observations., *J. of Geodesy*, 78.
- Gross, 2000, The excitation of the chandler wobble. *Geophys. Res. Lett.* **27**, 2329.
- Gwinn, C. R., Herring, T. A., Shapiro, I. I. : 1986, Geodesy by radiointerferometry : studies of the forced nutations of the Earth, 2. Interpretation, *J. Geophys. Res.* **91**, 4755.
- IERS : 2000, IERS Conventions 2000, <http://www.usno.mil/Conventions2000>, draft.

- IERS : 2003, IERS Conventions 2003, *IERS Technical Note 32*, McCarthy, D.D., Petit, G. eds., Frankfurt am Main : Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, ISBN 3-89888-884-3.
- Lambert, S., Capitaine, N. : 2004, Effects of zonal deformations and Earth's rotation rate variations on precession-nutation, *Astron. Astrophys.* **428**, 255 .
- Lieske, J.H., Lederle, T., et al. : 1977, Expressions for the precession quantities based upon the IAU (1976) system of astronomical constants, *Astron. Astrophys.* **58**, 1.
- Ma, C., Arias, E.F., et al. : 1998, The International Celestial Reference Frame as realized by Very Long Baseline Astrometry, *Astron. J.* **116**, 516.
- Mathews, P.M., Bretagnon, P. : 2003, Polar motions equivalent to high frequency nutations for a nonrigid Earth with anelastic mantle., *Astron. Astrophys.* **400**, 1113.
- Mathews, P.M., Buffett, B.A., et al. : 1991, Forced nutations of the Earth : Influence of inner core dynamics, 1. Theory, *J. Geophys. Res.* **96**, 8219.
- Mathews, P.M., Herring, T.A., Buffett, B.A. : 2002, Modeling of nutation and precession : new nutation series for nonrigid Earth and insights into the Earth's interior., *J. Geophys. Res.* **107** (B4), DOI :10.1029/2001JB000390.
- Roosbeek, F., Dehant, V. : 1998, RDAN97 : An analytical development of rigid Earth nutation series using the torque approach, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **70**, 215.
- Seidelmann, P.K. : 1982, 1980 IAU Theory of nutation : the final report of the IAU working group on nutation, *Celest. Mech.* **27**, 79.
- Simon, J.-L., Bretagnon, P., et al. : 1994, Numerical expressions for precession formulae and mean elements for the Moon and the planets, *Astron. Astrophys.* **282**, 663.
- Souchay, J., Folgueira, M. : 2000, The effect of zonal tides on the dynamical ellipticity of the Earth and its influence on the nutation, *Earth Moon Planets* **81**, 201.
- Souchay, J., Loysel, B., et al. : 1999, Corrections and new developments in rigid Earth nutation theory : III. Final tables REN-2000 including crossed-nutation and spin-orbit coupling effects., *Astron. Astrophys.* **318**, 639.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides DE405/LE405, JPL IOM **312.F**, 98.
- Standish, E.M., Williams, J.G., Newhall, XX. : 1981, Intégration numérique DE200/LE200, bande magnétique.
- UAI : 2001, Resolutions of the twenty-fourth General Assembly, *IAU Information Bull.* **88**.
- Vondrák, J., Cepek, A. : 2000, Combined smoothing method and its use in combining Earth orientation parameters measured by space techniques, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **147**, 347.
- Vondrák, J., Gambis, D. : 2000, Accuracy of Earth orientation parameters obtained by different techniques in different frequency windows, in : it Journées 1999 Systèmes de référence spatio-temporels and IX Lohrmann Colloquium, Soffel, M., Capitaine, N., eds, observatoire de Paris, 206.
- Wahr, J.M. : 1981, The forced nutations of an elliptical, rotating, elastic and oceanless Earth., *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* **64**, 705.

- Wahr, J.M. and Sasao, T. : 1981, A diurnal resonance in the ocean tide and in the Earth's load response due to the resonant free core nutation., *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* **64**, 747.
- Wahr, J. and Bergen, Z. : 1986, The effects of mantle anelasticity on nutations, Earth tides, and tidal variations in the rotation rate, *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* **87**, 633.
- Williams, J. G. : 1994, Contributions to the Earth's obliquity rate, precession and nutation, *Astron. J.* **108**, 7.
- Yaya, P. : 2002, Apport des combinaisons de techniques astométriques et géodésiques à l'estimation des paramètres d'orientation de la Terre, *PhD Thesis*, observatoire de Paris.

CHAPITRE 5

CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

J.-L. SIMON (5.1 – 5.3)¹, A. FIENGA & S. LAMBERT (5.4)

5.1. NOTIONS PRÉLIMINAIRES

5.1.1. Coordonnées cartésiennes et coordonnées polaires

Nous représenterons un point M de l'espace soit par ses coordonnées cartésiennes (x, y, z) dans un système d'axes (Ox, Oy, Oz) orthonormé direct, soit par ses coordonnées polaires (ψ, ϕ, r) dans le même système d'axes. Par définition :

$$\psi = (Ox, Om), \quad \phi = (Om, OM), \quad r = |OM|,$$

où m est la projection de M sur le plan (Ox, Oy) . Sauf mention spéciale, le sens positif pour ψ est le sens direct défini par l'axe Oz ; ϕ est compté positivement vers l'axe Oz . Les deux groupes de coordonnées sont liés par les relations :

$$\begin{aligned}x &= r \cos \psi \cos \phi, \\y &= r \sin \psi \cos \phi, \\z &= r \sin \phi.\end{aligned}\tag{5.1}$$

Pour r égal à 1, (x, y, z) sont les cosinus directeurs de la direction OM ; ψ et ϕ seront appelés les coordonnées polaires de la direction OM .

¹ Ces paragraphes sont largement inspirés du chapitre 4.5 de l'*Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997), rédigé par M. Chapront-Touzé.

5.1.2. Transformation des coordonnées sous l'effet d'une rotation des axes

Toutes les transformations faisant passer d'un système d'axes à un autre, sans changement du centre O , se ramènent à des produits de trois rotations élémentaires $R_1(\theta_1)$, $R_2(\theta_2)$, $R_3(\theta_3)$ respectivement autour des axes Ox , Oy , Oz , θ_1 , θ_2 , θ_3 désignant les angles des rotations.

Sous l'effet d'une rotation élémentaire $R_i(\theta_i)$, le système d'axes (Ox, Oy, Oz) est transformé en (Ox', Oy', Oz') et les coordonnées (x', y', z') d'un point M dans le système d'axes (Ox', Oy', Oz') s'expriment en fonction de ses coordonnées (x, y, z) dans le système d'axes (Ox, Oy, Oz) par la relation matricielle :

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = R_i(\theta_i) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}. \quad (5.2)$$

Pour $i = 1$ (rotation autour de l'axe Ox), les axes font entre eux les angles :

$$(Ox, Ox') = 0, \quad (Oy, Oy') = (Oz, Oz') = \theta_1,$$

et

$$R_1(\theta_1) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_1 & \sin \theta_1 \\ 0 & -\sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{pmatrix}. \quad (5.3)$$

Pour $i = 2$ (rotation autour de l'axe Oy), les axes font entre eux les angles :

$$(Oy, Oy') = 0, \quad (Ox, Ox') = (Oz, Oz') = \theta_2,$$

et

$$R_2(\theta_2) = \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & 0 & -\sin \theta_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_2 & 0 & \cos \theta_2 \end{pmatrix}. \quad (5.4)$$

Pour $i = 3$ (rotation autour de l'axe Oz), les axes font entre eux les angles :

$$(Oz, Oz') = 0, \quad (Ox, Ox') = (Oy, Oy') = \theta_3,$$

et

$$R_3(\theta_3) = \begin{pmatrix} \cos \theta_3 & \sin \theta_3 & 0 \\ -\sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (5.5)$$

5.2. COORDONNÉES USUELLES

5.2.1. Coordonnées liées à un repère de référence céleste

5.2.1.1 Définitions

On se reportera aux paragraphes 3.2.1 et 3.3.2 pour avoir de plus amples informations sur certains des concepts dont nous allons rappeler les définitions.

Sphère céleste : Sphère de rayon arbitraire dont le centre est celui du système de référence considéré, par exemple le barycentre du système solaire pour un BRS (Barycentric Reference System), le centre de masse de la Terre pour un GRS (Geocentric Reference System), etc. On considère sur la sphère céleste des grands cercles particuliers appelés écliptiques ou équateurs.

Équateur céleste vrai : Grand cercle de la sphère céleste dont le plan est perpendiculaire à la direction du pôle céleste des éphémérides (CEP, Celestial Ephemeris Pole). On l'appelle également équateur vrai de la date.

Équateur moyen de la date : Se déduit de l'équateur vrai de la date par une transformation donnée par la théorie de la nutation (cf. 4.3). On passe de l'équateur moyen d'une date à l'équateur moyen d'une autre date par une transformation fournie par la théorie de la précession (cf. 4.2). Le plan de l'équateur moyen d'une date donnée constitue un plan fixe qui peut être utilisé comme plan de référence d'un système inertiel ou d'un BRS (cf. 3.3.2).

Écliptique moyen de la date : Plan perpendiculaire au moment cinétique moyen du barycentre Terre-Lune dans son mouvement héliocentrique. Il existe deux sortes d'écliptiques moyens de la date (cf. 3.3.2), l'*écliptique moyen inertiel de la date* et l'*écliptique moyen rotationnel de la date*.

Les plans des écliptiques moyens, inertiel ou rotationnel, d'une date donnée sont des plans fixes qui peuvent être utilisés comme plan de référence d'un système inertiel ou d'un BRS.

Obliquité de l'écliptique : C'est l'inclinaison de l'écliptique moyen, soit inertiel soit rotationnel, sur l'équateur moyen à une date donnée.

Équinoxe dynamique vrai de la date : C'est le nœud ascendant de l'écliptique moyen de la date sur l'équateur vrai de la date.

Équinoxe dynamique moyen de la date : C'est le nœud ascendant de l'écliptique moyen de la date sur l'équateur moyen de la date.

Dans chaque cas (moyen ou vrai), il existe deux équinoxes dynamiques, l'un *inertiel*, l'autre *rotationnel*, selon l'écliptique moyen, inertiel ou rotationnel, utilisé (cf. 3.3.2).

5.2.1.2. Coordonnées écliptiques et équatoriales

On a vu en 3.3.2 que les repères de référence célestes sont caractérisés par un plan de référence et une direction origine dans ce plan (en général l'équinoxe); leur est aussi associé un système de constantes fondamentales (masses planétaires, obliquité de l'écliptique à une date de référence,

précession-nutation). À ces repères sont rattachées des coordonnées. Ces coordonnées sont dites *équatoriales* quand le plan de référence est l'équateur et *écliptiques* quand le plan de référence est l'écliptique. On distingue les coordonnées *équatoriales vraies* (rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date), *équatoriales moyennes de la date* (rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens de la date), *écliptiques vraies* (rapportées à l'équinoxe vrai et à l'écliptique moyen de la date), *écliptiques moyennes de la date* (rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens de la date). On passe de telles coordonnées à des coordonnées moyennes de la date par une transformation faisant intervenir des quantités issues de la théorie de la précession, puis à des coordonnées vraies de la date par une transformation faisant intervenir des quantités issues de la théorie de la nutation (*cf.* 4.2 et 4.3).

En coordonnées polaires, les coordonnées équatoriales sont l'ascension droite, la déclinaison et la distance ; les coordonnées écliptiques sont la longitude, la latitude et la distance. La distance r est parfois remplacée par la parallaxe π , définie par :

$$\sin \pi = \frac{a_T}{r}, \quad (5.6)$$

où a_T est le rayon équatorial terrestre. La distance et la parallaxe ne dépendent pas du plan et de l'équinoxe de référence.

5.2.1.3. Coordonnées astronomiques

Un point à la surface de la Terre est rattaché à un repère céleste géocentrique par sa *longitude astronomique* L et sa *latitude astronomique* ϕ , coordonnées polaires de la direction OZ parallèle à la verticale du lieu, rapportées à l'équateur vrai de la date du repère céleste et à une origine g de ce plan, (Fig. 5.1). Ici, la verticale d'un lieu, ou direction du *zénith*, est la direction opposée à la pesanteur en ce lieu. En première approximation, g est l'intersection de l'équateur vrai de la date et du *méridien céleste de Greenwich*, en désignant par méridien (céleste) d'un lieu le demi-grand cercle de la sphère céleste géocentrique limité par la direction OP du pôle céleste vrai, la direction opposée OP' et la direction parallèle à la verticale du lieu. La direction Og a pour ascension droite vraie le temps sidéral vrai de Greenwich GST (Greenwich Sidereal Time). L'Union Astronomique Internationale recommande de compter les longitudes de 0° à 180° est ou ouest. Dans cet ouvrage, les longitudes sont comptées de -180° à 180° positivement vers l'ouest.

La longitude et la latitude astronomiques d'un point à la surface de la Terre, ainsi définies, subissent au cours du temps des variations faibles dues au mouvement du pôle (*cf.* 4.4) et à des mouvements de l'écorce terrestre.

5.2.1.4. Coordonnées horaires et coordonnées horizontales

On définit également deux autres types de coordonnées pour un point à la surface de la Terre rapportées à un repère céleste.

- Les *coordonnées horaires*, angle horaire H et déclinaison δ , d'une direction OM pour un lieu donné, sont les coordonnées polaires de la direction rapportées au plan équatorial vrai de la date et à la direction origine O ζ , intersection de ce plan et du méridien du lieu (Fig. 5.2). L'angle horaire est compté positivement dans le sens rétrograde.

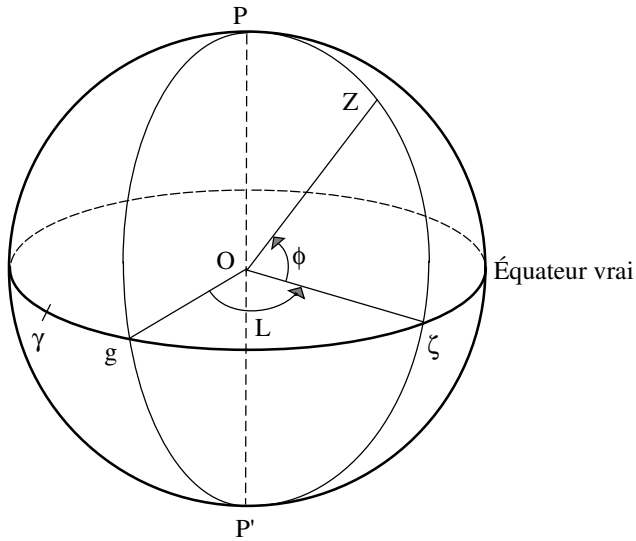


Fig. 5.1. Coordonnées astronomiques d'un lieu.

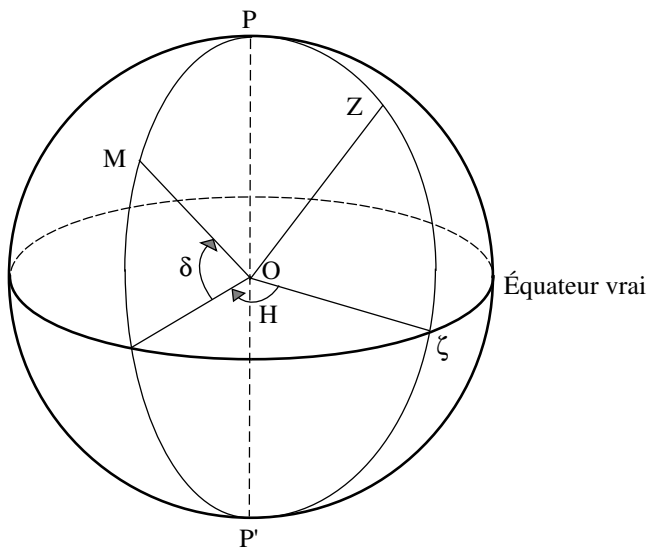


Fig. 5.2. Coordonnées horaires.

La déclinaison ne dépend pas du lieu. On passe de l'angle horaire H d'une direction OM pour un lieu Z à son angle horaire H' pour un lieu Z' par :

$$H' - H = L - L',$$

les longitudes L et L' des deux lieux étant comptées positivement vers l'ouest. Pour un lieu de

longitude astronomique L , l'angle horaire H d'une direction est lié à son ascension droite vraie α_V par la relation :

$$H = \text{GST} - \alpha_V - L, \quad (5.7)$$

Le temps sidéral vrai de Greenwich GST à la date t est donné par la formule (3.6.23).

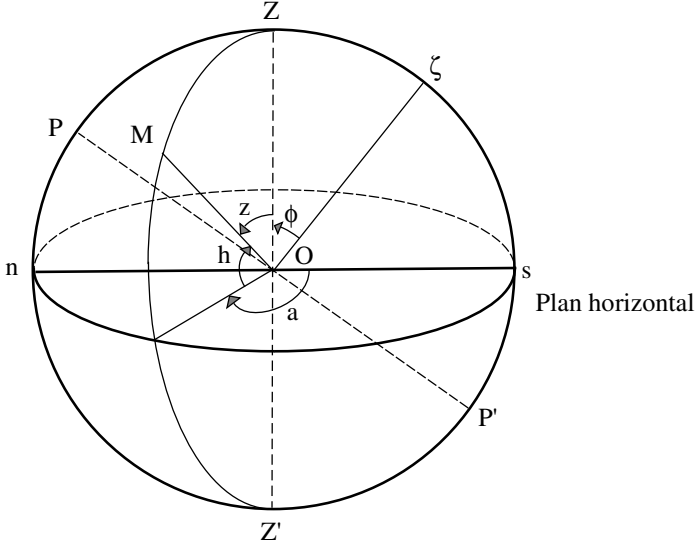


Fig. 5.3. Coordonnées horizontales.

• Les *coordonnées horizontales*, azimut a et hauteur h , d'une direction OM pour un lieu donné (Fig. 5.3), sont les coordonnées polaires de la direction rapportées au plan passant par O et perpendiculaire à l'axe OZ qui définit son orientation (plan horizontal). On appelle *vertical* tout demi-grand cercle de la sphère céleste limité par OZ et la direction opposée OZ' . Pour les astronomes, la direction origine dans le plan horizontal est la direction sud Os , intersection de ce plan et du vertical contenant la direction du pôle céleste sud P' . Pour les marins, la direction origine est On , intersection du plan horizontal et du vertical contenant la direction du pôle céleste nord P . L'azimut est compté positivement dans le sens rétrograde. On utilise parfois la distance zénithale z , à ne pas confondre avec la troisième coordonnée cartésienne, définie par :

$$z = 90^\circ - h. \quad (5.10)$$

Les différents systèmes de coordonnées correspondant à un repère de référence céleste donné sont récapitulés dans la table 5.1.

On trouvera dans la table 5.2 les noms que peuvent prendre certaines de ces coordonnées lorsqu'on ajoute aux coordonnées géométriques de l'astre des termes d'aberration. On pourra se reporter pour plus de détails au chapitre 4 de l'ouvrage *Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997). Les dénominations ainsi que les corrections appliquées correspondent

Table 5.1. Les coordonnées célestes usuelles.

Coordonnées	Plan de référence	Origine	Direction de Oz	Coordonnées polaires
écliptiques moyennes d'une date de référence (ex. J2000)	écliptique moyen de la date de référence	équinoxe moyen de la date de référence	pôle nord de l'écliptique	longitude λ sens positif = sens direct latitude β $-90^\circ < \beta < 90^\circ$
écliptiques moyennes de la date	écliptique moyen de la date	équinoxe moyen de la date		
écliptiques vraies	écliptique moyen de la date	équinoxe vrai de la date		
équatoriales moyennes d'une date de référence (ex. J2000)	équateur céleste moyen de la date de référence	équinoxe moyen de la date de référence	pôle céleste nord	ascension droite α sens positif = sens direct déclinaison δ $-90^\circ < \delta < 90^\circ$
équatoriales moyennes de la date	équateur céleste moyen de la date	équinoxe moyen de la date		
équatoriales vraies	équateur céleste vrai de la date	équinoxe vrai de la date		
horaires d'un lieu	équateur céleste vrai de la date	intersection du méridien du lieu et du plan de référence	pôle céleste nord	angle horaire H sens positif = sens rétrograde déclinaison δ $-90^\circ < \delta < 90^\circ$
horizontales d'un lieu	plan horizontal du lieu	direction sud (astronomes) direction nord (marins)	zénith du lieu	azimut a sens positif = sens rétrograde hauteur h $-90^\circ < h < 90^\circ$

à celles présentes sur les serveurs d'éphémérides de l'IMCCE et dans le support informatique accompagnant *La Connaissance des temps*.

5.2.2. Coordonnées liées à un repère de référence terrestre

Un repère de référence terrestre est représenté par l'équateur terrestre A_0 , associé au pôle terrestre P_0 , et par une origine que l'on peut définir par exemple comme l'intersection du méridien terrestre origine et de l'équateur terrestre. Le méridien terrestre a une définition analogue au méridien céleste en remplaçant le pôle céleste par le pôle terrestre. Les coordonnées d'un point ou d'une direction

Table 5.2. Coordonnées célestes incluant des termes d'aberration. On notera ici σ_F , une époque de référence, en général J2000 et t , toute date autre.

Coordonnées	Plan de référence	Aberrations
géométriques à σ_F	écliptique ou équateur à σ_F	pas d'aberration
astrométriques à σ_F	écliptique ou équateur à σ_F	calcul du temps de lumière
moyennes à la date t	écliptique ou équateur moyen à t	astrométriques à σ_F + précession de σ_F à t
apparentes à la date t	écliptique ou équateur moyen à t	moyennes à la date t + nutation + déflexion des rayons lumineux + aberration annuelle + aberration diurne

dans le système d'axes ainsi défini ne diffèrent des coordonnées horaires célestes rapportées au méridien de Greenwich que par l'effet du mouvement du pôle (*cf.* 4.4).

On peut également définir la longitude et la latitude astronomiques d'un lieu rapportées à un repère terrestre. Ces quantités ne dépendent plus du mouvement du pôle mais peuvent encore subir de légères variations dues aux mouvements de l'écorce terrestre.

5.3. FORMULES DE CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

Les formules de ce paragraphe utilisent les matrices de rotation élémentaires $R_i(\theta_i)$ définies par les équations (5.3), (5.4) et (5.5).

5.3.1. Relations entre coordonnées équatoriales et coordonnées écliptiques

On désigne par (x^A, y^A, z^A) les coordonnées cartésiennes équatoriales d'un point M et par (x^E, y^E, z^E) ses coordonnées cartésiennes écliptiques dans le même repère de référence. On pourra être dans l'un des cas suivants :

- coordonnées équatoriales vraies et écliptiques vraies,
- coordonnées équatoriales moyennes pour l'époque σ_F et écliptiques moyennes pour l'époque σ_F rapportées aux plans et à l'équinoxe d'une même date de référence σ_F (dans la pratique J2000),
- coordonnées équatoriales moyennes de la date σ_D et écliptiques moyennes de la date σ_D .

En désignant par ε l'inclinaison de l'écliptique sur l'équateur, on passe des axes équatoriaux aux axes écliptiques par une rotation $R_1(\varepsilon)$. Donc :

$$\begin{pmatrix} x^E \\ y^E \\ z^E \end{pmatrix} = R_1(\varepsilon) \begin{pmatrix} x^A \\ y^A \\ z^A \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \begin{pmatrix} x^A \\ y^A \\ z^A \end{pmatrix} = R_1(-\varepsilon) \begin{pmatrix} x^E \\ y^E \\ z^E \end{pmatrix}. \quad (5.11)$$

En coordonnées polaires :

$$\begin{aligned} x^A &= r \cos \alpha \cos \delta, & x^E &= r \cos \lambda \cos \beta, \\ y^A &= r \sin \alpha \cos \delta, & y^E &= r \sin \lambda \cos \beta, \\ z^A &= r \sin \delta, & z^E &= r \sin \beta, \end{aligned}$$

d'où

$$\begin{aligned} \cos \lambda \cos \beta &= \cos \alpha \cos \delta, \\ \sin \lambda \cos \beta &= \sin \alpha \cos \delta \cos \varepsilon + \sin \delta \sin \varepsilon, \\ \sin \beta &= -\sin \alpha \cos \delta \sin \varepsilon + \sin \delta \cos \varepsilon, \end{aligned} \quad (5.12)$$

et

$$\begin{aligned} \cos \alpha \cos \delta &= \cos \lambda \cos \beta, \\ \sin \alpha \cos \delta &= \sin \lambda \cos \beta \cos \varepsilon - \sin \beta \sin \varepsilon, \\ \sin \delta &= \sin \lambda \cos \beta \sin \varepsilon + \sin \beta \cos \varepsilon. \end{aligned} \quad (5.13)$$

Pour passer des coordonnées équatoriales vraies aux coordonnées écliptiques vraies, on prendra $\varepsilon = \varepsilon_A + \Delta\varepsilon$, ε_A étant calculé, pour la date σ_D , à l'aide de l'un des polynômes de la table 4.2.1 qui lui correspondent, et $\Delta\varepsilon$ étant calculé à partir des tables de la nutation.

Pour passer des coordonnées équatoriales moyennes J2000 aux coordonnées écliptiques moyennes J2000, on prendra $\varepsilon = \varepsilon_0$, ε_0 , obliquité de l'écliptique en J2000, étant la partie constante du polynôme de la table 4.2.1 choisi pour ε_A .

Pour passer des coordonnées équatoriales moyennes de la date aux coordonnées écliptiques moyennes de la date σ_D , on prendra $\varepsilon = \varepsilon_A$, ε_A étant calculé comme pour les coordonnées vraies.

5.3.2. Relations entre les coordonnées équatoriales moyennes de deux dates

Il s'agit du passage des coordonnées équatoriales rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens d'une date de référence σ_F (dans la pratique J2000) aux coordonnées équatoriales rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens d'une date σ_D , qui peut être soit une autre date de référence soit la date courante. Dans les deux cas le repère de référence est le même.

Dans le système d'axes de l'époque σ_F , on désigne par x_F^A, y_F^A, z_F^A les coordonnées cartésiennes et par α_F et δ_F l'ascension droite et la déclinaison. $x_D^A, y_D^A, z_D^A, \alpha_D$ et δ_D désignent les quantités correspondantes dans le système d'axes de l'époque σ_D . On écrit :

$$\begin{pmatrix} x_D^A \\ y_D^A \\ z_D^A \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} x_F^A \\ y_F^A \\ z_F^A \end{pmatrix} \quad (5.14)$$

où P est la matrice de précession. On peut passer du système d'axes de l'époque σ_F au système d'axes de l'époque σ_D (Fig. 4.2) de deux manières.

1) *Première méthode.* On effectue successivement les trois rotations $R_3(-\zeta_A)$, $R_2(\theta_A)$, $R_3(-z_A)$ ou, ce qui est équivalent, les trois rotations $R_3(90^\circ - \zeta_A)$, $R_1(\theta_A)$, $R_3(-90^\circ - z_A)$. La matrice de précession P s'écrit alors :

$$P = R_3(-z_A) R_2(\theta_A) R_3(-\zeta_A) = R_3(-90^\circ - z_A) R_1(\theta_A) R_3(90^\circ - \zeta_A). \quad (5.15)$$

On déduit de ces produits de matrices les relations suivantes entre les ascensions droites et les déclinaisons :

$$\begin{aligned} \cos \delta_D \sin(\alpha_D - z_A) &= \cos \delta_F \sin(\alpha_F + \zeta_A), \\ \cos \delta_D \cos(\alpha_D - z_A) &= \cos \theta_A \cos \delta_F \cos(\alpha_F + \zeta_A) - \sin \theta_A \sin \delta_F, \\ \sin \delta_D &= \sin \theta_A \cos \delta_F \cos(\alpha_F + \zeta_A) + \cos \theta_A \sin \delta_F. \end{aligned} \quad (5.16)$$

z_A , ζ_A et θ_A sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1.

Si le temps t écoulé entre σ_F et σ_D est court et si l'astre n'est pas voisin du pôle, on peut utiliser les relations approchées suivantes :

$$\begin{aligned} \alpha_D &= \alpha_F + (m + n \sin \bar{\alpha} \tan \bar{\delta}) t, \\ \delta_D &= \delta_F + n \cos \bar{\alpha} t, \end{aligned} \quad (5.17)$$

avec

$$t = (\text{jour julien } \sigma_D - \text{jour julien } \sigma_F) / 365\,250.$$

$\bar{\alpha}$ et $\bar{\delta}$ sont des valeurs approchées des coordonnées équatoriales moyennes de la date $\frac{1}{2}(\sigma_D + \sigma_F)$. La précession en ascension droite, m , est le coefficient de t dans l'expression de $z_A + \zeta_A$ déduite des polynômes de la table 4.2.1. La précession en déclinaison, n , est le coefficient de t dans l'expression de θ_A donnée par ces mêmes polynômes.

2) *Deuxième méthode.* On effectue successivement les quatre rotations $R_1(\varepsilon_0)$, $R_3(-\psi_A)$, $R_1(-\omega_A)$ et $R_3(\chi_A)$. La matrice de précession P s'écrit alors :

$$P = R_3(\chi_A) R_1(-\omega_A) R_3(-\psi_A) R_1(\varepsilon_0). \quad (5.18)$$

ψ_A , ω_A et χ_A sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1; ε_0 , obliquité de l'écliptique en J2000, est la partie constante du polynôme de la table 4.2.1 choisi pour ε_A .

La première méthode n'utilise que trois rotations et conduit à des formules exactes (5.16) ou approchées (5.17) relativement simples mais elle utilise les variables z_A , ζ_A et θ_A qui sont déduites des variables ψ_A , ω_A , ε_A et χ_A et qui sont, de plus, singulières (θ_A et $z_A + \zeta_A$ s'annulent en J2000). Il est donc préférable d'utiliser la deuxième méthode qui est celle que l'on utilise pour les éphémérides publiées dans la *Connaissance des Temps*.

5.3.3. Relations entre les coordonnées éclipitiques moyennes de deux dates

Il s'agit du passage des coordonnées éclipitiques rapportées à l'éclipitique et à l'équinoxe moyens d'une date de référence σ_F aux coordonnées éclipitiques rapportées à l'éclipitique et à l'équinoxe moyens d'une date σ_D , qui peut être soit une autre date de référence soit la date courante. Dans les deux cas le repère de référence est le même.

Dans le système d'axes de l'époque σ_F , on désigne par x_F^E, y_F^E, z_F^E les coordonnées cartésiennes et par λ_F et β_F la longitude et la latitude. $x_D^E, y_D^E, z_D^E, \lambda_D$ et β_D désignent les quantités correspondantes dans le système d'axes de l'époque σ_D . On passe du système d'axes de l'époque σ_F au système d'axes de l'époque σ_D (Fig. 4.2) en effectuant successivement les trois rotations $R_3(\Pi_A), R_1(\pi_A), R_3(-\Pi_A - \mathcal{P}_A)$:

$$\begin{pmatrix} x_D^E \\ y_D^E \\ z_D^E \end{pmatrix} = R_3(-\Pi_A - \mathcal{P}_A) R_1(\pi_A) R_3(\Pi_A) \begin{pmatrix} x_F^E \\ y_F^E \\ z_F^E \end{pmatrix} \quad (5.19)$$

On déduit de ces produits de matrices les relations suivantes entre les longitudes et les latitudes :

$$\begin{aligned} \cos \beta_D \cos(\Pi_A + \mathcal{P}_A - \lambda_D) &= \cos \beta_F \cos(\Pi_A - \lambda_F), \\ \cos \beta_D \sin(\Pi_A + \mathcal{P}_A - \lambda_D) &= \cos \pi_A \cos \beta_F \sin(\Pi_A - \lambda_F) - \sin \pi_A \sin \beta_F, \\ \sin \beta_D &= \sin \pi_A \cos \beta_F \sin(\Pi_A - \lambda_F) + \cos \pi_A \sin \beta_F. \end{aligned} \quad (5.20)$$

π_A, Π_A et \mathcal{P}_A sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1.

5.3.4. Relations entre les coordonnées éclipitiques moyennes de la date et les coordonnées éclipitiques vraies

Pour les coordonnées éclipitiques moyennes de la date, on désigne par x_D^E, y_D^E, z_D^E les coordonnées cartésiennes et par λ_D et β_D la longitude et la latitude. Les coordonnées éclipitiques vraies sont notées $x_V^E, y_V^E, z_V^E, \lambda_V$ et β_V . Le système d'axes vrai se déduit du système d'axes moyen (Fig. 4.2) par la rotation $R_3(-\Delta\psi)$. Donc,

$$\begin{pmatrix} x_V^E \\ y_V^E \\ z_V^E \end{pmatrix} = R_3(-\Delta\psi) \begin{pmatrix} x_D^E \\ y_D^E \\ z_D^E \end{pmatrix} \quad (5.21)$$

et

$$\begin{aligned} \lambda_V &= \lambda_D + \Delta\psi, \\ \beta_V &= \beta_D, \end{aligned} \quad (5.22)$$

où $\Delta\psi$ est calculé à partir des tables de la nutation.

5.3.5. Relations entre les coordonnées équatoriales moyennes de la date et les coordonnées équatoriales vraies

Pour les coordonnées équatoriales moyennes de la date, on désigne par x_D^A, y_D^A, z_D^A les coordonnées cartésiennes et par α_D et δ_D l'ascension droite et la déclinaison. Les coordonnées équatoriales vraies sont notées $x_V^A, y_V^A, z_V^A, \alpha_V$ et δ_V . On écrit :

$$\begin{pmatrix} x_V^A \\ y_V^A \\ z_V^A \end{pmatrix} = N \begin{pmatrix} x_D^A \\ y_D^A \\ z_D^A \end{pmatrix}, \quad (5.23)$$

où N est la matrice de nutation. On passe du système d'axes moyen au système d'axes vrai en effectuant successivement les rotations $R_1(\varepsilon_A), R_3(-\Delta\psi), R_1(-\varepsilon'_A)$, en posant :

$$\varepsilon'_A = \varepsilon_A + \Delta\varepsilon.$$

La matrice de nutation s'écrit donc :

$$N = R_1(-\varepsilon'_A) R_3(-\Delta\psi) R_1(\varepsilon_A). \quad (5.24)$$

On déduit de ces produits de matrices

$$\begin{aligned} \cos \alpha_V \cos \delta_V &= \cos \Delta\psi \cos \alpha_D \cos \delta_D - \sin \Delta\psi (\cos \varepsilon_A \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \varepsilon_A \sin \delta_D), \\ \sin \alpha_V \cos \delta_V &= \cos \Delta\varepsilon \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \Delta\psi \cos \varepsilon'_A \cos \alpha_D \cos \delta_D - \sin \Delta\varepsilon \sin \delta_D \\ &\quad - 2 \sin^2 \frac{\Delta\psi}{2} \cos \varepsilon'_A (\cos \varepsilon_A \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \varepsilon_A \sin \delta_D), \\ \sin \delta_V &= \cos \Delta\varepsilon \sin \delta_D + \sin \Delta\psi \sin \varepsilon'_A \cos \alpha_D \cos \delta_D + \sin \Delta\varepsilon \sin \alpha_D \cos \delta_D \\ &\quad - 2 \sin^2 \frac{\Delta\psi}{2} \sin \varepsilon'_A (\cos \varepsilon_A \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \varepsilon_A \sin \delta_D), \end{aligned} \quad (5.25)$$

où $\Delta\psi$ et $\Delta\varepsilon$ sont calculés à partir des tables de la nutation et ε_A à partir de l'un des polynômes de la table 4.2.1 qui lui correspondent.

Si $\tan \delta_D$ n'est pas trop grand, on peut utiliser les formules approchées suivantes :

$$\begin{aligned} \alpha_V &= \alpha_D + \Delta\psi (\cos \varepsilon_A + \sin \varepsilon_A \sin \alpha_D \tan \delta_D) - \Delta\varepsilon \cos \alpha_D \tan \delta_D, \\ \delta_V &= \delta_D + \Delta\psi \sin \varepsilon_A \cos \alpha_D + \Delta\varepsilon \sin \alpha_D. \end{aligned} \quad (5.26)$$

5.3.6. Relations entre les coordonnées horaires et les coordonnées horizontales pour un même lieu

Désignons par x^H, y^H, z^H les coordonnées cartésiennes dans un système d'axes horaire. L'axe Ox de ce système se confond avec $O\zeta$ et l'axe Oz avec OP (Fig. 5.2). Désignons par x^h, y^h, z^h les coordonnées cartésiennes dans un système d'axes horizontal, au sens des astronomes. L'axe Oz de ce système se confond avec OZ (Fig. 5.3).

Par suite des conventions de sens utilisées pour l'angle horaire et l'azimut, on a :

$$\begin{aligned}x^H &= r \cos H \cos \delta, & x^h &= r \cos a \cos h, \\y^H &= -r \sin H \cos \delta, & y^h &= -r \sin a \cos h, \\z^H &= r \sin \delta, & z^h &= r \sin h.\end{aligned}$$

On passe du système d'axes horaire au système d'axes horizontal par la rotation $R_2(90^\circ - \phi)$, où ϕ est la latitude du lieu. Donc :

$$\begin{pmatrix} x^h \\ y^h \\ z^h \end{pmatrix} = R_2(90^\circ - \phi) \begin{pmatrix} x^H \\ y^H \\ z^H \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \begin{pmatrix} x^H \\ y^H \\ z^H \end{pmatrix} = R_2(\phi - 90^\circ) \begin{pmatrix} x^h \\ y^h \\ z^h \end{pmatrix}. \quad (5.27)$$

D'où :

$$\begin{aligned}\cos a \cos h &= \sin \phi \cos H \cos \delta - \cos \phi \sin \delta, \\ \sin a \cos h &= \sin H \cos \delta,\end{aligned} \quad (5.28)$$

$$\sin h = \cos \phi \cos H \cos \delta + \sin \phi \sin \delta,$$

$$\begin{aligned}\cos H \cos \delta &= \sin \phi \cos a \cos h + \cos \phi \sin h, \\ \sin H \cos \delta &= \sin a \cos h,\end{aligned} \quad (5.29)$$

$$\sin \delta = -\cos \phi \cos a \cos h + \sin \phi \sin h.$$

Dans ces formules, la hauteur peut être remplacée par la distance zénithale à l'aide de (5.10).

L étant la longitude du lieu, on obtiendra les relations entre les coordonnées horizontales et les coordonnées équatoriales vraies α_V et δ_V en remplaçant H par le second membre de (5.7) et δ par δ_V .

5.3.7. Variations des éléments d'une orbite sous l'effet d'un changement de date de référence

Il s'agit du passage des éléments d'une orbite rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date σ_F aux éléments de la même orbite rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date σ_D . Dans les deux cas le repère de référence est le même.

Le demi-grand axe et l'excentricité de l'orbite, ainsi que l'anomalie moyenne d'un point quelconque, ne changent pas. On désigne par i_F et Ω_F , respectivement, l'inclinaison et la longitude du nœud ascendant de l'orbite sur l'écliptique moyen de l'époque σ_F , et par ϖ_F la longitude du périastre P. Les quantités rapportées au système d'axes de l'époque σ_D sont i_D , Ω_D et ϖ_D .

Sur la figure 5.4, on a entre les arcs les égalités suivantes :

$$\begin{aligned}\gamma_F N_F &= \Omega_F, \\ \gamma_D N_D &= \Omega_D, \\ \varpi_F &= \gamma_F N_F + N_F P, \\ \varpi_D &= \gamma_D N_D + N_D P.\end{aligned}$$

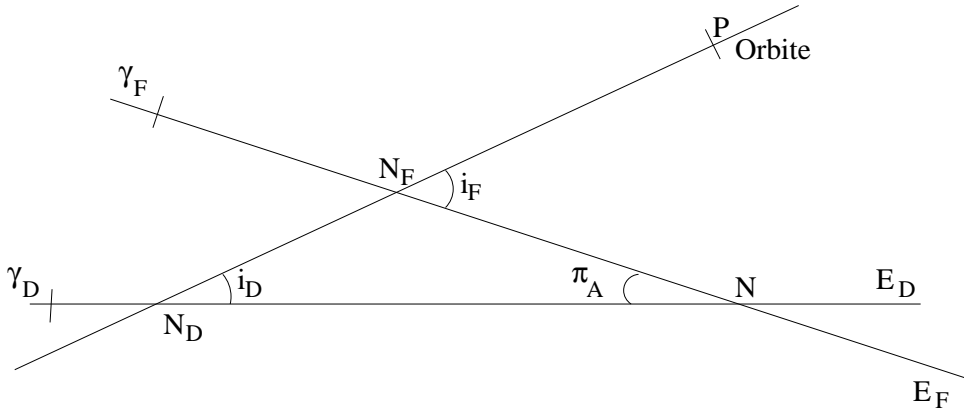


Fig. 5.4. Éléments d'une orbite.

En désignant par $\Delta\omega$ l'arc $N_D N_F$, on a :

$$\varpi_D - \varpi_F = \Omega_D - \Omega_F + \Delta\omega.$$

En comparant les figures 4.2 et 5.4, on voit que :

$$\begin{aligned} N_F N &= \Pi_A - \Omega_F, \\ N_D N &= \mathcal{P}_A + \Pi_A - \Omega_D. \end{aligned}$$

Dans le triangle sphérique $N_D N N_F$, les relations suivantes permettent de calculer i_D , Ω_D , ϖ_D en fonction de i_F , Ω_F , ϖ_F :

$$\begin{aligned} \cos i_D &= \cos i_F \cos \pi_A + \sin i_F \sin \pi_A \cos(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \sin(\mathcal{P}_A + \Pi_A - \Omega_D) &= \sin i_F \sin(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \cos(\mathcal{P}_A + \Pi_A - \Omega_D) &= -\cos i_F \sin \pi_A + \sin i_F \cos \pi_A \cos(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \sin \Delta\omega &= \sin \pi_A \sin(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \cos \Delta\omega &= \sin i_F \cos \pi_A - \cos i_F \sin \pi_A \cos(\Pi_A - \Omega_F), \end{aligned} \quad (5.30)$$

où π_A et Π_A sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1 qui leur correspondent.

Si le temps t écoulé entre σ_D et σ_F est suffisamment court pour que les quantités π_A , $\Delta\omega$ et $i_D - i_F$ soient suffisamment petites et si i_F n'est pas trop voisin de zéro, on pourra utiliser les relations approchées suivantes :

$$\begin{aligned} i_D &= i_F - \pi_A \cos(\Pi_A - \Omega_F), \\ \Omega_D &= \Omega_F + \mathcal{P}_A - \pi_A \cot i_F \sin(\Pi_A - \Omega_F), \\ \Delta\omega &= \frac{\pi_A \sin(\Pi_A - \Omega_F)}{\sin i_F}. \end{aligned} \quad (5.31)$$

5.3.8. Changement de repère de référence

On considère deux repères de référence notés 1 et 2 pour lesquels la date de référence σ_F et l'équateur de référence (équateur moyen de la date σ_F) sont les mêmes. On désigne par γ_1 et γ_2 les équinoxes des deux repères (équinoxes moyens de la date σ_F), par ε_1 et ε_2 les inclinaisons de l'écliptique (moyen de la date σ_F) sur l'équateur (moyen de la date σ_F) pour les deux repères (Fig. 5.5) et par $\Delta\phi$ l'arc $\gamma_1\gamma_2$.

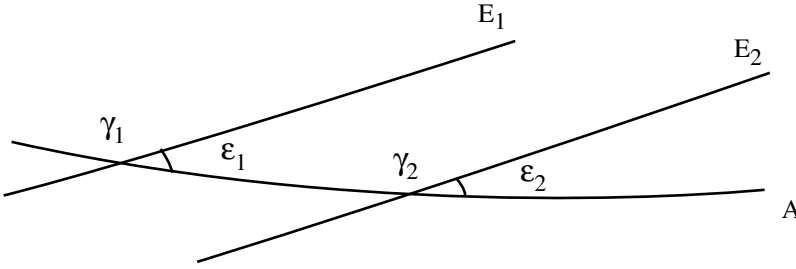


Fig. 5.5. Changement de repère.

On note :

$x_{F,i}^A, y_{F,i}^A, z_{F,i}^A$, les coordonnées équatoriales moyennes de la date σ_F dans le repère i ($i = 1$ ou 2) ;

$x_{F,i}^E, y_{F,i}^E, z_{F,i}^E$, les coordonnées écliptiques moyennes de la date σ_F dans le même repère.

On passe du système d'axes équatorial de l'époque σ_F dans le premier repère au système d'axes équatorial de l'époque σ_F dans le deuxième repère par une rotation $R_3(\Delta\phi)$. On passe du système d'axes écliptique de l'époque σ_F dans le premier repère au système d'axes équatorial de l'époque σ_F dans le deuxième repère en effectuant successivement les rotations $R_1(-\varepsilon_1)$ et $R_3(\Delta\phi)$. On passe du système d'axes écliptique de l'époque σ_F dans le premier repère au système d'axes écliptique de l'époque σ_F dans le deuxième repère en effectuant successivement les rotations $R_1(-\varepsilon_1)$, $R_3(\Delta\phi)$, $R_1(\varepsilon_2)$. Donc :

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = R_3(\Delta\phi) \begin{pmatrix} x_{F,1}^A \\ y_{F,1}^A \\ z_{F,1}^A \end{pmatrix}, \quad (5.32)$$

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = R_3(\Delta\phi) R_1(-\varepsilon_1) \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}, \quad (5.33)$$

et :

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^E \\ y_{F,2}^E \\ z_{F,2}^E \end{pmatrix} = R_1(\varepsilon_2) R_3(\Delta\phi) R_1(-\varepsilon_1) \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}. \quad (5.34)$$

$\Delta\phi$ et $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$ étant en général très petits, on pourra le plus souvent utiliser les formules approchées suivantes, déduites des formules (5.32), (5.33) et (5.34) :

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta\phi & 0 \\ -\Delta\phi & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{F,1}^A \\ y_{F,1}^A \\ z_{F,1}^A \end{pmatrix}, \quad (5.35)$$

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta\phi \cos \varepsilon_1 & -\Delta\phi \sin \varepsilon_1 \\ -\Delta\phi & \cos \varepsilon_1 & -\sin \varepsilon_1 \\ 0 & \sin \varepsilon_1 & \cos \varepsilon_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}, \quad (5.36)$$

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^E \\ y_{F,2}^E \\ z_{F,2}^E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta\phi \cos \varepsilon_1 & -\Delta\phi \sin \varepsilon_1 \\ -\Delta\phi \cos \varepsilon_1 & 1 & \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \\ \Delta\phi \sin \varepsilon_1 & -(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}, \quad (5.37)$$

où $\Delta\phi$, ε_1 et ε_2 sont exprimés en radians.

5.4. APPLICATION DES RÉOLUTIONS DE L'UAI 2001 AUX CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

Lors de la vingt-quatrième assemblée générale de l'UAI (UAI 2001), ont été adoptées plusieurs résolutions liées aux transformations entre systèmes de référence céleste et terrestre. Une présentation détaillée de ces résolutions est faite en 3.6. Dans ce paragraphe, nous donnons deux algorithmes permettant le passage entre systèmes de référence céleste et terrestre : l'une utilisant la procédure UAI en usage jusqu'en 2001, l'autre se basant sur le concept d'origine non-tournante.

5.4.1. Algorithme classique

Lorsque des observations faites au sol doivent être préparées ou analysées pour une comparaison à un modèle, il est nécessaire d'effectuer des changements de coordonnées exprimées d'une part dans le repère terrestre, lié à la physique et à la rotation de la Terre, et d'autre part dans le repère céleste, lié au mouvement de l'objet observé et de la Terre autour du Soleil. Ainsi, supposons que l'on souhaite calculer les coordonnées locales, azimuth et hauteur, d'un objet à une date t . Pour cela, on calculera, à partir d'une théorie dynamique de l'objet et de la Terre développée dans l'ICRS, les vecteurs barycentriques de l'objet et de la Terre à la date t en TDB (*cf.* chapitre 2). On en déduira le vecteur géocentrique de l'objet que l'on corrigera du temps de lumière, de la déflexion des

rayons lumineux due au Soleil et à d'autres objets massifs si cela est nécessaire, et de l'aberration annuelle. Pour toutes ces notions, on se reportera au chapitre 7 de l'*Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997). Le vecteur \mathbf{X}_{ICRS} , ainsi obtenu, décrit la position et la vitesse géocentriques de l'objet par rapport à l'origine des ascensions droites de l'ICRS et dans le plan équatorial de l'ICRS. Afin de calculer des coordonnées dans le repère terrestre, il est nécessaire d'appliquer les rotations suivantes :

1. L'ICRS a un repère (l'ICRF), dit cinématique, indépendant du mouvement de la Terre autour du Soleil. Il faut donc ramener le vecteur \mathbf{X}_{ICRS} dans un repère lié à la dynamique planétaire, c'est-à-dire dans le repère de référence dynamique J2000. Pour cela, on applique la matrice B de rotation correspondant au décalage entre l'origine des ascensions droites de l'ICRS et l'équinoxe moyen J2000, ainsi qu'au passage de l'équateur ICRS à l'équateur moyen J2000. On a :

$$B = R_1(-\eta_0)R_2(\zeta_0)R_3(d\alpha_0) \quad (5.38)$$

où les décalages η_0 et ζ_0 (cf. 3.6.6) associés au modèle de nutation UAI 2000A sont (Capitaine et al., 2003) : $\eta_0 = -0.016617''$, $\zeta_0 = -0.006819''$. Le décalage $d\alpha_0$ est (Chapront et al., 2002) : $d\alpha_0 = -0.0146''$.

2. On applique la matrice de précession, P définie en 5.3.2, pour passer de l'équateur et de l'équinoxe moyens J2000 à l'équateur et à l'équinoxe moyens de la date.
3. On applique la matrice de nutation, N définie en 5.3.5, pour passer de l'équateur et de l'équinoxe moyens de la date à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date. Ici, il est possible de passer aux coordonnées sphériques et d'obtenir les (α_e, δ_e) géocentriques de l'objet par rapport à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date.
4. Afin de passer du vecteur géocentrique de l'objet donné par rapport à l'équateur et l'équinoxe vrais de la date au vecteur géocentrique exprimé dans le système de référence terrestre, appelé TIRS (Terrestrial Intermediate Reference System), on effectue une rotation $R_3(GST)$ liée à l'angle de rotation terrestre GST , appelé le temps sidéral vrai, c'est-à-dire l'angle entre l'équinoxe vrai de la date et l'origine du repère terrestre (cf. 3.6.4.1). Le vecteur est alors exprimé dans le repère terrestre.

Une fois ces rotations appliquées, il est alors possible de calculer l'azimut et la hauteur de l'objet que l'on souhaite observer à partir des relations données en 5.3.6. L'angle horaire H est obtenu avec $H = GST - \alpha_e$. Le temps sidéral GST est tabulé pages II. 4 – II. 7.

5.4.2. Origine non-tournante

L'origine non-tournante favorise une représentation linéaire de la rotation de la Terre. C'est la raison pour laquelle l'origine du CIRS (Celestial Intermediate Reference System), appelée CIO (cf. 3.6.3), est utilisée en remplacement des équinoxes dynamiques. L'utilisation de l'origine non-tournante permet aussi de regrouper les transformations (1), (2) et (3) précédentes en une seule transformation permettant le passage de l'ICRS vers le CIRS. Cette transformation, correspondant à la matrice de rotation C , représente :

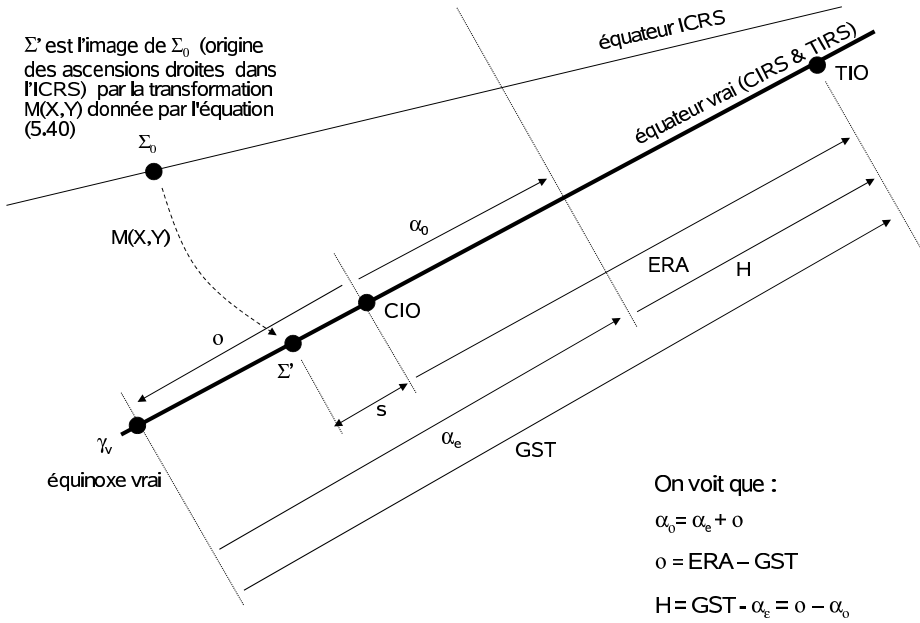


Fig. 5.6. Angles liés à l'origine non-tournante et angles classiques.

- l'angle s qui définit la position du CIO, origine des ascensions droites du CIRS, sur l'équateur du CIRS (cf. fig. 5.6) ;
- le décalage entre le pôle de l'ICRS et le pôle du CIRS, le CIP (cf. 3.6.3), dont les coordonnées X, Y dans l'ICRS sont fonction des matrices B, P et N .

La matrice C s'écrit alors :

$$C = R_3(-s)M(X, Y) \tag{5.39}$$

où

$$M(X, Y) = \begin{pmatrix} 1 - aX^2 & -aXY & -X \\ -aXY & 1 - aY^2 & -Y \\ X & Y & 1 - a(X^2 + Y^2) \end{pmatrix}, \tag{5.40}$$

avec $a = 1/2 + (X^2 + Y^2)/8$.

En appliquant au vecteur \mathbf{X}_{ICRS} , la matrice C , on obtient directement les positions et vitesses de l'objet, \mathbf{X}_{CIRS} , dans le CIRS dont l'équateur correspond à l'équateur vrai de la date mais dont l'origine CIO est décalée de l'équinoxe vrai d'une quantité o , appelée *équation aux origines*. Si

(α_o, δ_o) sont les coordonnées sphériques déduites du vecteur \mathbf{X}_{CIRS} , alors on a :

$$\alpha_o = \alpha_e + o$$

Si on note ERA (Earth Rotation Angle), le décalage entre le CIO et le TIO (Terrestrial Intermediate Origin), origine du TIRS, alors

$$o = ERA - GST \quad (5.41)$$

Le décalage entre le CIO et le TIO permet, de plus, le passage entre le CIRS et le TIRS. Ainsi, pour obtenir les positions et vitesses de l'objet, \mathbf{X}_{TIRS} , dans le système de référence terrestre, on applique au vecteur \mathbf{X}_{CIRS} , une rotation $R_3(ERA)$. On effectue ainsi une transformation équivalente à l'étape 4 de l'algorithme classique. Une fois ces rotations appliquées, il est alors possible de calculer l'azimut et la hauteur de l'objet que l'on souhaite observé à partir des relations données en 5.3.6. L'angle horaire H est obtenu avec $H = ERA - \alpha_o$.

Les coordonnées X, Y et la variable s sont tabulées pages II. 16 – II. 19 ; ERA et o sont tabulées pages II. 10 – II. 13.

La figure 5.6 illustre les relations entre les angles liés à l'origine non-tournante et les angles classiques.

5.4.3. Mouvement du pôle

Dans le cas où une grande précision est demandée, il est alors nécessaire de considérer le passage entre le TIRS et l'ITRS, système dans lequel sont données les coordonnées géocentriques des stations d'observations (*cf.* 4.4). Pour cela, on effectue à la suite de l'étape 4 de l'algorithme classique ou de son équivalent dans l'algorithme de l'origine non-tournante, les rotations $R_2(-x)R_1(-y)R_3(s')$ où :

- la matrice $R_3(s')$ est liée au petit décalage d'origine, s' , entre l'origine du TIRS et celle de l'ITRS. Ce décalage est en fait une dérive séculaire entre les deux origines et est tel que $s' = -0.000047''T$ où T est mesuré en siècle julien depuis J2000.0,
- le produit $R_2(-x)R_1(-y)$ représente le mouvement du pôle celeste dans l'ITRS, (x, y) étant les coordonnées du pôle du TIRS dans l'ITRS. Ces coordonnées sont fournies par l'IERS (*cf.* 4.4).

5.5. BIBLIOGRAPHIE

- Bureau des longitudes : 1997, *Introduction aux éphémérides astronomiques, (supplément explicatif à la Connaissance des Temps)*. Simon, J.-L., Chapront-Touzé, M., Morando, B., Thuillot, W. eds, EDP Sciences, Les Ulis, chapitre 4, 80–83 et 98–114.
- Capitaine, N., Chapront J., Lambert, S., Wallace, P.T. : 2003, Expressions for the Celestial Intermediate Pole and Celestial Ephemeris Origin consistent with the IAU 2000A precession-nutation model, *Astron. Astrophys.* **400**, 1145.
- Chapront, J., Chapront-Touzé, M., Francou, G. : 2002, A new determination of lunar orbital parameters, precession constant and tidal acceleration from LLR measurements, *Astron. Astrophys.* **387**, 700.

CHAPITRE 6

MOUVEMENT DES PLANÈTES ET DE LA LUNE : LA SOLUTION INPOP

A. FIENGA

6.1. INTRODUCTION

À partir de l'édition 2007, les éphémérides du Soleil, de la Lune et des planètes publiées dans la *Connaissance des Temps* sont issues de la théorie INPOP (Intégration Numérique Planétaire de l'Observatoire de Paris) élaborée à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides. Pour le Soleil et les planètes, la théorie INPOP06 ajustée aux observations (Fienga et al., 2006) a été utilisée. Pour la Lune, on s'est basé sur la théorie INPOP06 ajustée à la solution DE405/LE405 du JPL (Standish, 1998) pour la partie lunaire.

La théorie INPOP est une intégration numérique du mouvement des planètes et de la Lune ajustée aux observations. Les éphémérides numériques contemporaines sont basées sur une intégration numérique des équations du mouvement par la méthode Adams-Cowell. Le modèle tient compte des interactions entre masses ponctuelles (entre les neuf planètes, le Soleil, les astéroïdes), les effets relativistes PPN (Moyer, 2000), les effets de figure, les marées solides et la libration de la Lune. Dans le cas d'INPOP, l'ensemble de l'intégration est effectué en précision étendue. L'ajustement d'INPOP a été effectué sur un grand nombre (environ 50 000) d'observations terrestres et spatiales.

6.2. LE MODÈLE DYNAMIQUE

Les équations du mouvement utilisées sont celles décrites par Moyer (1971) dans le cadre d'une approximation PPN. Les perturbations sur l'ensemble des planètes et sur le Soleil des 300 astéroïdes les plus perturbateurs du point de vue de Mars ont été incluses. Ces objets ont leurs orbites intégrées en même temps que celles des planètes principales. De plus, afin d'affiner le modèle dynamique des planètes et du Soleil, les perturbations induites par un anneau d'astéroïdes ont été ajoutées.

Les interactions entre corps non-sphériques et objets ponctuels ont été prises en compte. Il s'agit des interactions entre le terme d'aplatissement du Soleil (J2) et les planètes, des interactions entre le terme d'aplatissement de la Terre et la Lune, le Soleil, Vénus et Jupiter. Enfin, on tient compte des perturbations induites par les interactions entre les termes (J2, C22, C21, S21, S22) de la Lune et la Terre, le Soleil, Vénus et Jupiter. De plus, les déformations des corps non-sphériques (le Soleil, la Terre et la Lune) interagissent aussi avec les corps ponctuels et réciproquement. Dans INPOP, on tient compte des interactions suivantes :

- la Terre déformée par le Soleil et la Lune interagissant avec la Lune, le Soleil, Vénus et Jupiter,
- la Lune déformée par la Terre et le Soleil interagissant avec la Terre, le Soleil, Vénus et Jupiter,
- la forme de la Terre interagissant avec la forme de la Lune.

Une nouvelle définition plus complète du barycentre du système solaire a été donnée par INPOP. L'orbite du Soleil par rapport au barycentre du système solaire est intégrée en même temps que celles des planètes et les relations de conservation d'énergie sont vérifiées à la date initiale d'intégration (J2000) de telle façon que :

$$\sum_i \mu_i^* r_i = 0 \text{ et } \sum_i \mu_i^* \dot{r}_i + \dot{\mu}_i^* r_i = 0, \quad (6.1)$$

où les r_i sont les vecteurs position barycentrique des corps. Les μ_i^* sont les fonctions suivantes des masses $\mu_i = Gm$:

$$\mu_i^* = \mu_i \left(1 + \frac{v_i^2}{2c^2} - \frac{1}{2c^2} \sum_{j \neq i} \frac{\mu_j}{r_{ij}} \right).$$

Le second terme de l'équation (6.1) est en général omis dans les définitions du barycentre du système solaire. Cet ajout permet une meilleure cohérence de la solution planétaire avec les recommandations de l'UAI (UAI, 2001) et n'induit pas d'effets détectables dans les calculs (Le Poncin-Lafitte, 2006).

Enfin, afin de suivre les recommandations de l'UAI concernant les échelles de temps (UAI, 2001), deux versions d'INPOP seront disponibles en 2007 : l'une en TCB et l'autre en TDB.

L'échelle de temps TCB réalisée par INPOP est construite à partir de la définition donnée par l'UAI (Soffel et al., 2003) :

$$\begin{aligned} TCB - TCG = & \frac{1}{c^2} \left[\int_{t_0}^t \left[U + \frac{v_E^2}{2} \right] dt + v_E^i r_E^i \right] \\ & + \frac{1}{c^4} \left[\int_{t_0}^t \left[\frac{v_E^4}{8} + \frac{3v_E^2 U}{2} - \frac{U^2}{2} - 4v_E^i U^i \right] dt - \left(3U + \frac{v_E^2}{2} \right) v_E^i r_E^i \right], \end{aligned} \quad (6.2)$$

le TCG étant défini par une relation linéaire de TAI (*cf.* 2.7.3). Dans l'équation (6.2), x_E^i et v_E^i sont les coordonnées barycentriques position et vitesse du géocentre, $r_E^i = x^i - x_E^i$, et U est le potentiel gravitationnel imposé par les autres corps du système solaire sur la Terre. Un processus itératif est nécessaire pour estimer la relation TCB-TCG réalisée avec INPOP et pour mettre en place une nouvelle solution d'INPOP en TCB.

6.3. L'AJUSTEMENT AUX OBSERVATIONS

La partie planétaire d'INPOP a été ajustée aux observations présentées dans la table 6.1. Un grand nombre d'observations issues des données de suivi des sondes spatiales a été utilisé en particulier pour les planètes Mars, Vénus et Jupiter. Ces observations consistent d'une part, en l'enregistrement du signal aller-retour émis depuis la Terre, capté puis ré-émis par la sonde, soit en orbite autour de la planète (la sonde est alors appelée orbiter), soit au sol (la sonde est appelée lander). De telles données permettent une estimation très précise de la distance géocentrique (quelques mètres) et de la vitesse radiale (quelques millimètres par seconde) de la planète. Dans la table 6.1, ces données sont nommées respectivement données radar et Doppler.

D'autre part, l'enregistrement VLBI du signal émis par la sonde passant au voisinage d'une source de référence radio extragalactique ICRF permet d'estimer une position angulaire différentielle de la sonde et de la planète par rapport à la source ICRF. Ce dernier type d'observation a une précision de quelques millisecondes de degrés et permet de raccorder le repère de référence dynamique de la solution planétaire à l'ICRF (*cf.* 3.3).

Depuis trente ans, plusieurs missions spatiales ont été envoyées en orbite ou sur le sol de Mars. Cette planète est ainsi celle dont le suivi a été le plus intensif et le plus précis jamais effectué. Elle requiert donc une modélisation très précise de son orbite. Or, du fait de son voisinage proche de la ceinture principale d'astéroïdes, elle subit de nombreuses perturbations induites par des objets de masses et de tailles mal connues. C'est pourquoi, un modèle dynamique complexe a été mis en place (prise en compte des perturbations induites par les masses ponctuelles de 300 astéroïdes et par un potentiel en anneau représentant l'ensemble des autres petites corps de masses et de tailles non déterminées). De plus, il a été nécessaire d'ajuster les masses des objets les plus massifs, les densités des autres petits corps classés en classes taxonomiques (objets riches en carbone, en silicate et en métaux) ainsi que les caractéristiques physiques de l'anneau d'astéroïdes. Par cette modélisation de l'orbite de Mars et ces ajustements, une précision de quelques mètres a été obtenue dans l'estimation des distances géocentriques de Mars.

Des observations optiques classiques de type CCD, instruments méridiens (notées transit dans la table 6.1) et plaques photographiques ont aussi été incluses, en particulier dans l'ajustement des planètes extérieures. Les périodes orbitales importantes de celles-ci nécessitent de conserver des observations anciennes permettant de couvrir au moins une orbite. Pour Jupiter et Saturne,

Table 6.1. Observations utilisées pour l'ajustement d'INPOP.

Planète	Type des données	Intervalle de temps	Nombre d'observations	INPOP06
Mercure	Radar	1971-1998	444	1 km
Vénus	Radar	1964-1990	511	5 km
	Sonde spatiale VLBI	1990-1994	18	5 mas
Mars	Viking lander radar	1976-1983	1256	20 m
	MGS/MO radar	1999-2005.45	10474	5 m
	Viking lander Doppler	1976-1979	1501	5 mm/s
	Pathfinder lander Doppler	1997	1519	1 mm/s
	Sonde spatiale VLBI	1989-2003	44	0.5 mas
Jupiter	Sonde spatiale VLBI	1996-1998	24	10 mas
	CCD ou transit (α, δ)	1973-2004	3189	200 mas
Saturne	CCD ou transit (α, δ)	1973-2004	3863	200 mas
Uranus	CCD ou transit (α, δ)	1914-2004	3848	350 mas
Neptune	CCD ou transit (α, δ)	1914-2004	3898	350 mas
Pluton	CCD ou transit (α, δ)	1989-2004	1024	200 mas

des observations des satellites sont utilisées afin de limiter l'utilisation d'observations directes du photocentre de la planète. La description complète des méthodes d'analyses des observations et d'ajustement peuvent être retrouvées dans Fienga et al. (2006).

Dans la table 6.1, on donne en dernière colonne des estimations de la précision externe d'INPOP pour chaque type d'observations. Ces valeurs reflètent la qualité du modèle dynamique mis en place, de l'ajustement effectué et des observations utilisées.

Pour la Lune, un ajustement à la solution DE/LE405 a été effectué dans l'attente d'une solution complètement ajustée aux observations laser-Lune. Des incertitudes de quelques milliarcsecondes en longitude et latitude géocentriques et de quelques millimètres sur la distance géocentrique ont été estimées sur un siècle, par comparaison à LE405. Les différences entre les angles de libration issus de LE405 et ceux issus d'INPOP06 sont de l'ordre de quelques milliarcsecondes sur un siècle.

Au cours de l'ajustement de la partie planétaire aux observations et de la partie lunaire à LE405, plusieurs paramètres physiques liés principalement aux perturbations induites par les astéroïdes sur Mars et à la dynamique lunaire ont été déterminés. Un ajustement du taux d'aplatissement du

Table 6.2. Paramètres physiques ajustés dans INPOP. Comparaisons avec d'autres valeurs.

	Unité	DE405	EPM 04	DE414	INPOP06
Masse de Cérès	$10^{-10} M_{\odot}$	4.64	4.753 ± 0.007	4.699	4.746 ± 0.006
Masse de Vesta	$10^{-10} M_{\odot}$	1.34	1.344 ± 0.001	1.358	1.338 ± 0.002
Masse de Pallas	$10^{-10} M_{\odot}$	1.05	1.027 ± 0.003	1.026	0.995 ± 0.003
Masse d'Iris	$10^{-10} M_{\odot}$		0.063 ± 0.001	0.060	0.089 ± 0.002
Masse de Bamberga	$10^{-10} M_{\odot}$		0.055 ± 0.001	0.047	0.060 ± 0.002
Masse de l'anneau	$10^{-10} M_{\odot}$		3.35 ± 0.35	0.329	0.34 ± 0.15
Distance de l'anneau	UA		3.13 ± 0.05	2.8	2.8
Densité de la classe C		1.8	1.4	1.6 ± 0.22	1.93 ± 0.12
Densité de la classe S		2.4	3.5	2.07	2.13 ± 0.11
Densité de la classe M		5.0	4.5	4.3 ± 0.43	4.47 ± 0.012
J2 du Soleil	10^{-7}	2	1.9 ± 0.3	2.3 ± 2.5	1.95 ± 0.55

Soleil a aussi été réalisé. L'ensemble des paramètres ajustés ainsi que les valeurs obtenues ont été rassemblés dans la table 6.2 et la table 6.3. La table 6.2 permet, de plus, la comparaison avec les valeurs provenant de DE405 (Standish, 1998), EPM 04 (Pitjeva, 2005) et DE414 (Konopliv et al., 2006).

Table 6.3. Paramètres physiques liés aux calculs de marées terrestres et lunaires. τ_{E21} et τ_{E22} sont respectivement le temps de retard de la Terre pour les harmoniques (2,1) et (2,2). τ_M est le temps de retard dans la réponse de la Lune aux marées terrestres. Ces quantités sont exprimées en jours.

τ_{E21} :	$1.296\ 450\ 346\ 419\ 947\ 8082 \times 10^{-2}$
τ_{E22} :	$6.936\ 812\ 466\ 537\ 533\ 1321 \times 10^{-3}$
τ_M :	$1.667\ 744\ 540\ 482\ 935\ 7669 \times 10^{-1}$

6.4. BIBLIOGRAPHIE

- Fienga, A., Manche, H., Laskar, J., Gastineau, M. : 2006, INPOP06 : a new planetary ephemeris. *Nomenclature, Precession and New Models in Fundamental Astronomy*, 26th meeting of the IAU, Joint Discussion 16, 22-23 August 2006, Prague, Czech Republic, JD16, #15.
- Konopliv, A.S., Yoder, C.F., Standish, E.M., Yuan, D.-N., Sjogren, W.L. : 2006, A global solution for the Mars static and seasonal gravity, Mars orientation, Phobos and Deimos masses, and Mars ephemeris. *Icarus* **182**, 23.
- Le Poncin-Lafitte, Ch. : 2006, communication privée.
- Moyer, T.D. : 2000, Formulation for Observed and Computed Values of Deep Space Network Data Types for Navigation, Joseph H. Yuen éd, John Wiley & Sons.
- Pitjeva, E.V. : 2005, High-Precision Ephemerides of Planets—EPM and Determination of Some Astronomical Constants, *Solar System Research* **39**, 176.
- Soffel, M., Klioner, S.A., Petit, G., Wolf, P., Kopeikin, S.M., Bretagnon, P., Brumberg, V.A. et 13 co-auteurs : 2003, The new IAU2000 resolutions for astrometry, celestial mechanics and metrology in the relativistic framework : explanatory supplement, *Astron. J.* **126**, 2687.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405, JPLIOM **312.F**.
- UAI : 2001, Resolutions of the twenty-fourth General Assembly, *IAU Information Bull.* **88**, 28–40 (Errata : *ibid.* **89**, 4, 2001).

CHAPITRE 7

EXPLICATIONS LIÉES AUX ÉPHÉMÉRIDES DE LA CONNAISSANCE DES TEMPS

J.-L. SIMON, J. NORMAND

7.1. PRÉSENTATION DES ÉPHÉMÉRIDES

7.1.1. Introduction

À partir de l'édition 2006, les éphémérides de la *Connaissance des Temps* se présentent sous deux formes :

- les éphémérides publiées dans l'ouvrage annuel la *Connaissance des Temps*. Elles donnent les coordonnées des principaux corps du système solaire sous forme de tables de valeurs pour des dates données ;
- les éphémérides électroniques calculées à partir du logiciel contenu sur le CDROM qui accompagne l'ouvrage. Ce logiciel permet le calcul non seulement des coordonnées publiées dans la *Connaissance des Temps* mais aussi celui des coordonnées horizontales et des levers et couchers des astres.

Dans ce chapitre nous allons décrire ces deux types d'éphémérides et expliquer leur utilisation.

7.1.2. Définitions astronomiques

Comme il a été indiqué en 3.3.2 et 5.2.1.1, les coordonnées d'un astre sont rapportées à l'un des deux *plans fondamentaux*, les plans de l'*équateur* et de l'*écliptique*. Ces plans sont dits *moyens* lorsqu'ils ne sont affectés que de la précession ; le plan de l'équateur est dit *vrai* lorsqu'il est affecté de la précession et de la nutation. On appelle *équinoxe moyen* le nœud ascendant de l'écliptique

moyen sur l'équateur moyen et *équinoxe vrai* le nœud ascendant de l'écliptique moyen sur l'équateur vrai.

Les *coordonnées moyennes* sont rapportées aux plans fondamentaux moyens et comptées à partir de l'équinoxe moyen ; les *coordonnées vraies* sont rapportées à l'équateur vrai ou à l'écliptique moyen et comptées à partir de l'équinoxe vrai.

Les *coordonnées apparentes* d'un astre sont des coordonnées vraies de cet astre corrigées de l'aberration. Pour les corps du système solaire il s'agit de l'aberration planétaire : on tient compte, dans ce cas, du mouvement relatif de l'astre par rapport au barycentre du système solaire et des vitesses de rotation et de révolution de la Terre.

Les *coordonnées astrométriques* d'un corps du système solaire sont les coordonnées moyennes de ce corps corrigées de l'aberration dans laquelle on a omis l'aberration des fixes. On ne tient donc compte, dans ce cas, que du mouvement de l'astre par rapport au barycentre du système solaire. Conformément aux recommandations de l'Union Astronomique Internationale (1979) les coordonnées astrométriques ne sont plus affectées des termes constants de l'aberration des fixes, termes qui dépendent de l'orbite terrestre.

Les coordonnées apparentes sont rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date, les coordonnées moyennes et astrométriques sont rapportées à l'équateur (ou l'écliptique) et à l'équinoxe moyens de l'*époque standard* J2000 (jour julien 2 451 545.0).

7.1.3. Échelles de temps

Trois échelles de temps sont utilisées dans les tables de la *Connaissance des Temps* ou dans les éphémérides électroniques : le Temps terrestre TT (*cf.* 2.7.2), le Temps universel TU toujours sous sa forme UT1 (*cf.* 2.3) et le Temps universel coordonnée UTC (*cf.* 2.5).

L'échelle de temps utilisée dans les théories des mouvements des corps du système solaire, sources des éphémérides, est le Temps dynamique barycentrique TDB (*cf.* 2.7.2). À la précision des éphémérides, on l'identifie à l'échelle TT. Les éphémérides de ces corps sont donc tabulées pour des dates en TT.

Le temps sidéral est une fonction à la fois du Temps universel TU et de TT. Nous l'avons calculé par la formule (3.6.25), en prenant $t - t_u = 65$ s. Notons qu'une erreur de 1 s sur $t - t_u$ entraîne une erreur inférieure à 0.2×10^{-6} s sur le temps sidéral pour l'année 2007. L'angle de rotation de la Terre donné par (3.6.17) et l'équation aux origines donnée par (5.41) sont des fonctions de TU. Ces trois quantités sont donc tabulées pour des dates en TU.

Les coordonnées du CIP X et Y et l'angle s (*cf.* 5.4.2) sont des fonctions de TT et sont donc tabulés pour des dates en TT. L'équation des équinoxes (*cf.* 3.6.6.2) qui n'est donnée que sur le CDROM est une fonction de TT.

Enfin, les éphémérides électroniques peuvent être calculées en utilisant soit l'échelle de temps TT, soit l'échelle UTC. La table 7.1 donne la relation entre TT et UTC depuis le 1 juillet 1983, d'après la relation entre TAI et UTC (*cf.* 2.5.1) publiée par l'IERS (*International Earth rotation and Reference systems Service*).

Table 7.1. TT–UTC depuis le 1 juillet 1983.

			TT – UTC
1983	Juil. 1 – 1985	Juil. 1	54.184 s
1985	Juil. 1 – 1988	Jan. 1	55.184 s
1988	Jan. 1 – 1990	Jan. 1	56.184 s
1990	Jan. 1 – 1991	Jan. 1	57.184 s
1991	Jan. 1 – 1992	Juil. 1	58.184 s
1992	Juil. 1 – 1993	Juil. 1	59.184 s
1993	Juil. 1 – 1994	Juil. 1	60.184 s
1994	Juil. 1 – 1996	Jan. 1	61.184 s
1996	Jan. 1 – 1997	Juil. 1	62.184 s
1997	Juil. 1 – 1999	Jan. 1	63.184 s
1999	Jan. 1 – 2006	Jan. 1	64.184 s
2006	Jan. 1 –		65.184 s

7.1.4. Contenu de l'ouvrage

La *Connaissance des Temps* publie des tables donnant :

- Le temps sidéral vrai au méridien de Greenwich *GST pour chaque jour de l'année* à 0h TU, et les nutations en longitude $\Delta\psi$ et en obliquité $\Delta\epsilon$ *pour chaque jour de l'année* à 0h TT (p. II. 4 – II. 7).
- L'angle de rotation de la Terre *ERA* et l'équation des origines *o pour chaque jour de l'année* à 0h TU (p. II. 10 – II. 13).
- Les coordonnées du CIP X et Y et l'angle *s pour chaque jour de l'année* à 0h TT (p. II. 16 – II. 19).
- Les éphémérides géocentriques du Soleil, *pour chaque jour de l'année* à 0h TT :
 - les coordonnées écliptiques du Soleil, longitude, latitude et rayon vecteur géométrique ; la longitude et la latitude sont des coordonnées moyennes rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens J2000 (p. II. 22 – II. 25) ;
 - les coordonnées équatoriales du Soleil, ascension droite et déclinaison ; ce sont des coordonnées apparentes rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date (p. II. 26 – II. 29) ;
 - le temps de passage du Soleil, en TT, au *méridien des éphémérides*, méridien situé à $-1.002\,7379$ (TT – TU) du méridien de Greenwich, les longitudes étant comptées positivement vers l'ouest. C'est aussi le temps de passage au méridien de Greenwich en TU (p. II. 26 – II. 29).
 - les coordonnées rectangulaires du Soleil X, Y, Z. Ce sont des coordonnées moyennes ; le plan OX, OY est le plan de l'équateur moyen J2000, l'axe OX est dirigé vers l'équinoxe moyen J2000 (p. II. 30 – II. 33).
- Les éphémérides géocentriques de la Lune, *toutes les six heures* (TT) (p. II. 36 – II. 52) :

– les coordonnées équatoriales de la Lune, ascension droite et déclinaison. Ce sont des coordonnées apparentes rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date.

– la distance à la Terre, sans correction d'aberration.

• Les éphémérides des planètes principales Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune :

– les coordonnées héliocentriques, longitude, latitude héliocentriques et rayon vecteur. La longitude et la latitude sont des coordonnées moyennes rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens J2000. Ces coordonnées sont données à 0h TT, *chaque jour de l'année* pour Mercure (p. II. 54 – II. 57), *tous les deux jours* pour Vénus (p. II. 58 – II. 59), *tous les quatre jours* pour Mars (p. II. 60), *tous les seize jours* pour Jupiter et Saturne et *tous les trente-deux jours* pour Uranus et Neptune (p. II. 61).

– les coordonnées géocentriques, ascension droite, déclinaison, distance à la Terre, *pour chaque jour de l'année* à 0h TT. L'ascension droite et la déclinaison sont des coordonnées apparentes rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date. La distance à la Terre ne comporte pas de correction d'aberration (p. II. 62 – II. 89).

• Les éphémérides de Pluton et des petites planètes Cérès, Pallas, Junon et Vesta, *tous les quatre jours* à 0h TT (p. II. 92 – II. 96) :

– les coordonnées géocentriques, ascension droite, déclinaison, distance à la Terre. L'ascension droite et la déclinaison sont des coordonnées astrométriques rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens J2000. La distance à la Terre ne comporte pas de correction d'aberration.

• Les coordonnées différentielles tangentielles X et Y des satellites naturels, *aux heures* (TT) *les plus proches des plus grandes elongations est* pour les satellites de Mars (p. II. 98 – II. 107) et *aux heures* (TT) *les plus proches des plus grandes elongations est et ouest* pour les satellites galiléens de Jupiter (p. II. 110 – II. 116), les huit premiers satellites de Saturne (p. II. 118 – II. 135) et les cinq premiers satellites d'Uranus (p. II. 138 – II. 148).

Les coordonnées différentielles tangentielles des satellites par rapport au centre de la planète, sont, au premier ordre :

$$X = \Delta\alpha \cos \delta, \quad Y = \Delta\delta,$$

où δ est la déclinaison de la planète et où $\Delta\alpha$ et $\Delta\delta$ sont les différences en ascension droite et en déclinaison entre le satellite et le centre de la planète. Ce sont des coordonnées moyennes astrométriques rapportées à l'équateur J2000 pour tous les satellites. L'axe des Y est dirigé vers le pôle de l'équateur moyen des coordonnées (nord) et l'axe des X est orienté dans le sens des ascensions droites croissantes (est).

Notons que l'approximation du premier ordre n'est pas suffisante lorsque le satellite s'éloigne beaucoup de la planète comme, par exemple, Callisto. On se reportera, à ce sujet, au paragraphe 4.3.3 de l'ouvrage *Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997).

• Un *calendrier* est publié p. II. 150 – II. 151. Il contient : D, le numéro du jour de chaque mois ; JOUR, le nom du jour de la semaine ; JJ, la date julienne à 12h ; JDA, le numéro du jour de l'année.

7.1.5. Contenu du CDROM

Le CDROM contient un logiciel interactif qui permet de calculer toutes les coordonnées publiées dans la *Connaissance des Temps* autres que le Temps sidéral, l'angle de rotation de la Terre et l'équation des origines, pour n'importe quelle date TT ou UTC de l'année. Le Temps sidéral ainsi que l'équation des équinoxes, l'angle de rotation de la Terre et l'équation des origines sont calculés pour n'importe quelle date UTC de l'année. Il permet aussi de calculer les *coordonnées horizontales* azimut et hauteur, et les *levers* et *couchers* et *passages au méridien* des astres en des lieux terrestres de longitude et latitude quelconques.

Le logiciel de calcul utilise une représentation des coordonnées sous une forme polynomiale analogue à celle en usage dans les éditions de la *Connaissance des Temps* antérieures à l'édition 2006. Cette représentation est décrite en 7.4.2.

Enfin, on trouve sur le CDROM, les prédictions des *phénomènes* des satellites galiléens.

7.2. SOURCES DES ÉPHÉMÉRIDES

7.2.1. Soleil, Lune, Planètes

À partir de l'édition 2007, les éphémérides du Soleil, de la Lune, des planètes principales et de Pluton, publiées dans la *Connaissance des Temps*, sont issues de la solution INPOP06 (Fienga et al., 2006) élaborée à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.

Cette solution est présentée dans le chapitre 6.

7.2.2. Petites planètes

Les éphémérides de Cérès, Pallas, Junon et Vesta sont issues d'une intégration numérique effectuée à l'IMCCE (Rocher, 1984).

7.2.3. Satellites

Les théories utilisées pour la construction des éphémérides sont les suivantes :

- satellites de Mars : les théories ESAPHO et ESADE (Chapront-Touzé, 1990) ;
- satellites galiléens : la théorie de Sampson (1921) améliorée par Lieske (1977) ; les constantes introduites ont été déterminées par Arlot (1982) ;
- huit premiers satellites de Saturne : la théorie TASS1.6 (Vienne et Duriez, 1995) pour Mimas, Encelade, Téthys, Dioné, Rhéa, Titan et Japet ; la théorie de Duriez et Vienne (1997) pour Hypérion.
- cinq premiers satellites d'Uranus : la théorie GUST86 (Laskar et Jacobson, 1987).

7.3. UTILISATION DES ÉPHÉMÉRIDES TABULÉES

Les éphémérides de précision de la *Connaissance des Temps* sont maintenant les éphémérides électroniques qui accompagnent l'ouvrage. Les éphémérides tabulées ont surtout pour but de s'assurer du bon usage du logiciel ou de connaître l'allure des variations. Néanmoins, les intervalles de tabulation choisis permettent une interpolation précise pour les éphémérides du Soleil, de la Lune et des planètes ainsi que pour le Temps sidéral, les nutations, l'angle de rotation de la Terre, l'équation des origines, les coordonnées du CIP et l'angle s .

7.3.1. Interpolation par la formule de Bessel

Désignons par t_0, t_1, t_2, \dots les instants d'évaluation d'une fonction $f(t)$ décrite dans la *Connaissance des Temps* et par f_0, f_1, f_2, \dots les valeurs correspondantes de f . Notons h le pas de tabulation, $h = t_{k+1} - t_k$, constant quel que soit k . Soient $\Delta^{(1)}, \Delta^{(2)}, \Delta^{(3)}, \dots$, les différences premières, secondes, troisièmes, \dots ; elles valent :

$$\begin{aligned} \Delta_k^{(1)} &= f_{k+1} - f_k \\ \Delta_k^{(2)} &= \Delta_{k+1}^{(1)} - \Delta_k^{(1)} \\ \Delta_k^{(3)} &= \Delta_{k+1}^{(2)} - \Delta_k^{(2)} \\ \dots & \quad \dots \quad \dots \end{aligned} \quad \{k = 0, 1, 2, \dots\}$$

Formons le tableau des différences :

$$\begin{array}{ccccccc} t_0 & f_0 & & & & & \\ & & \Delta_0^{(1)} & & & & \\ t_1 & f_1 & & \Delta_0^{(2)} & & & \\ & & \Delta_1^{(1)} & & \Delta_0^{(3)} & & \\ t_2 & f_2 & & \Delta_1^{(2)} & & & \\ & & \Delta_2^{(1)} & & & & \\ t_3 & f_3 & & & & & \\ \dots & \dots & & & & & \end{array} \quad (7.3.1)$$

Soit à calculer $f(t)$ où t est compris entre t_1 et t_2 . Posons $m = \frac{t - t_1}{h}$.

La formule de Bessel s'écrit, en se limitant aux différences troisièmes :

$$f(t) = f_1 + m\Delta_1^{(1)} - \frac{m(1-m)}{4}(\Delta_0^{(2)} + \Delta_1^{(2)}) + \frac{m(1-m)(1-2m)}{12}\Delta_0^{(3)}. \quad (7.3.2)$$

7.3.2. Exemple

Calculer les coordonnées équatoriales apparentes de la Lune pour le 6 janvier 2007 à 7h 59m TT.

Formons les tableaux des différences, à partir des valeurs données page II. 36. Nous obtenons, pour les ascensions droites α et les déclinaisons δ :

06/01	α	Δ^1 (s)	Δ^2 (s)	Δ^3 (s)	δ	Δ^1 (")	Δ^2 (")	Δ^3 (")
0h	9h 10m 25.56s				19° 14' 41.77"			
		741.75				-4221.50		
6h	9h 22m 47.31s		-14.16		18° 04' 20.27"		-150.03	
		727.59				-4371.53		
12h	9h 34m 54.90s			0.73	16° 51' 28.74"			16.67
		714.16				-4504.89		
18h	9h 46m 49.09s		-13.43		15° 36' 23.85"		-133.36	

On a $t_1 = 6$ h, le pas de tabulation h est de 6 heures, soit 360 minutes; la valeur de m est donc $m = 119/360 = 0.330\ 555\ 56$. L'application de la formule (7.3.2) au calcul de $\alpha(t)$ et $\delta(t)$, pour la date t indiquée, donne :

$$\alpha(t) = 9\text{h } 22\text{m } 47.31\text{s} + 240.51\text{s} + 1.53\text{s} + 0.00\text{s} = 9\text{h } 26\text{m } 49.35\text{s}$$

$$\delta(t) = 18^\circ 04' 20.27'' - 1445.03'' + 15.68'' + 0.10'' = 17^\circ 40' 31.02''$$

Les valeurs données par les éphémérides électroniques sont :

$$\alpha(t) = 9\text{h } 26\text{m } 49.36\text{s}$$

$$\delta(t) = 17^\circ 40' 30.97''$$

7.3.3. Utilisation de la formule de Bessel

L'utilisation de la formule de Bessel développée jusqu'aux différences troisièmes est nécessaire pour le calcul des éphémérides de la Lune et des éphémérides géocentriques de Mercure. Pour les autres coordonnées tabulées dans la *Connaissance des Temps* on peut se contenter de la formule bornée aux différences secondes et parfois même, de l'interpolation linéaire. On trouvera de plus amples informations sur l'application de la formule de Bessel aux éphémérides tabulées au paragraphe 9.1 de l'*Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997) et dans l'explication et usage de la *Connaissance des Temps* 1979 (Bureau des longitudes, 1978).

7.4. UTILISATION DES ÉPHÉMÉRIDES ÉLECTRONIQUES

7.4.1. Le logiciel de calcul eCDT

On trouvera sur le CDROM une documentation complète sur le logiciel de calcul et son utilisation. Nous en donnons ici un bref résumé.

7.4.1.1. Description de l'interface graphique

- *Coordonnées locales*

Cette partie de la fenêtre principale (cf. fig. 7.1) permet d'indiquer les coordonnées du lieu d'observation :

- longitude en degrés, minutes et secondes,
- latitude en degrés, minutes et secondes,
- altitude en mètres.

Ces coordonnées ne sont nécessaires que dans le cas des calculs de l'azimut, la hauteur, le lever, le coucher ou le passage au méridien d'un astre.

- *Période de calcul*

Cette partie de la fenêtre principale (cf. fig. 7.1) permet d'indiquer :

- la date de début des calculs,
- la date de fin des calculs,
- l'échelle de temps à utiliser,
- le pas de calcul.

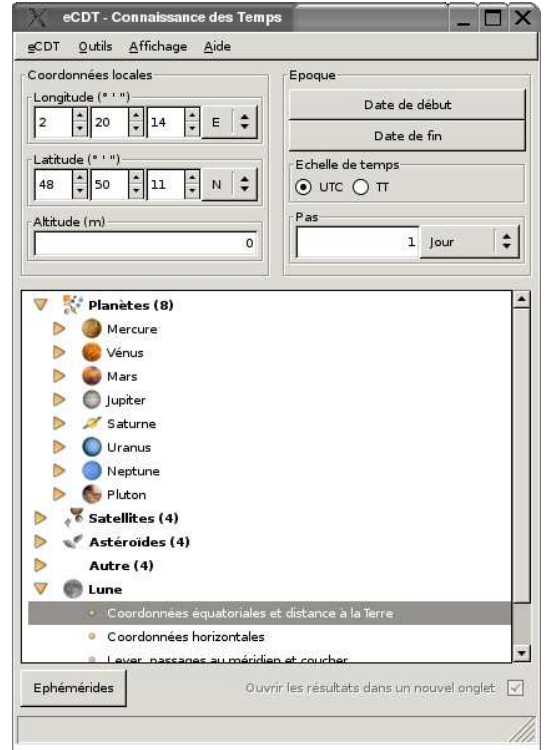


Fig. 7.1. Fenêtre principale.

Pour saisir les dates de début et de fin, il faut cliquer sur les boutons *Date de début* et *Date de fin*. Ces instants peuvent être saisis sous forme de date et heure ou sous forme de jours juliens. Il faut, pour cela, activer la zone de saisie correspondante (cf. fig. 7.2).

- *Liste des éphémérides disponibles*

La partie du bas de la fenêtre principale (cf. fig. 7.1) permet de choisir les éphémérides à calculer. Elles sont présentées sous la forme d'une arborescence. Pour la déployer il faut cliquer deux fois sur les titres. Il est possible de choisir plusieurs éphémérides simultanément en maintenant la touche *Ctrl* enfoncée.

- *Lancement des calculs*

Le bouton *Ephémérides* (cf. fig. 7.1) permet d'obtenir les éphémérides choisies précédemment.

7.4.1.2. Utilisation simple du logiciel

On utilise le logiciel de calcul d'éphémérides en effectuant les étapes suivantes :

- saisie des coordonnées du lieu d'observation si nécessaire,
- saisie des paramètres "Epoque de calcul",
- choix des éphémérides à calculer,
- lancement des calculs.

7.4.1.3. Autres possibilités

Outre le simple calcul d'éphémérides, le logiciel propose :

- une visualisation des coefficients utilisés pour représenter les coordonnées (cf. 7.4.2),
- les prédictions des phénomènes des satellites galiléens,
- un convertisseur jour julien / date du calendrier (grégorien après le 15/10/1582 0h, julien avant cette date),
- un gestionnaire de lieux (permettant de choisir les coordonnées locales dans une liste).

7.4.1.4. Disponibilité du logiciel

Actuellement le logiciel est disponible pour le système d'opération Microsoft Windows XP. Pour toute information complémentaire, consulter le site web de l'IMCCE à l'adresse : <http://www.imcce.fr/page.php?nav=fr/publications/logiciels/ecdt/>.

7.4.2. Représentation des coordonnées

L'angle de rotation de la Terre est calculé à partir de la formule (3.6.17). Les autres coordonnées données sur le CDROM sont représentées sous formes de polynômes de Tchebychev ou de fonctions mixtes du temps exactement comme dans les volumes de la *Connaissance des Temps* antérieures à l'édition 2006. Il est possible de visualiser et d'utiliser soi-même les coefficients et il est donc utile de rappeler les caractéristiques de ces représentations.

7.4.2.1 Représentation sous forme de polynômes de Tchebychev

C'est la représentation utilisée pour les coordonnées du Soleil, de la Lune, des planètes, de Pluton, des petites planètes ainsi que pour le Temps sidéral, l'équation aux équinoxes, les nutations, l'angle



Fig. 7.2. Fenêtre pour choisir la date.

de rotation de la Terre, l'équation des origines, les coordonnées du CIP et l'angle s .

Soient t une date julienne appartenant à l'intervalle de temps $t_0, t_0 + DT$ et y une coordonnée d'un astre. On calcule $y(t)$ par la formule :

$$y = a_0 + a_1 T_1(x) + \dots + a_n T_n(x), \quad (7.4.1)$$

où :

- x est un paramètre compris entre -1 et $+1$ qui se déduit de t par la relation :

$$x = -1 + 2(t - t_0)/DT; \quad (7.4.2)$$

- a_0, a_1, \dots, a_n sont les coefficients numériques publiés dans la *Connaissance des Temps*, valables pour l'intervalle de temps $t_0, t_0 + DT$ contenant t ;
- $T_1(x), \dots, T_n(x)$ sont des polynômes de Tchebychev, en x , que l'on calcule :

– soit par la relation :

$$T_p(x) = \cos(p \arccos x); \quad (7.4.3)$$

– soit par la relation de récurrence :

$$T_{p+1}(x) = 2xT_p(x) - T_{p-1}(x) \\ \text{avec : } T_0(x) = 1; \quad T_1(x) = x. \quad (7.4.4)$$

La précision des approximations en polynômes de Tchebychev données sur le CDROM est très grande, bien meilleure que celle des éditions antérieures de la *Connaissance des Temps*. Notons toutefois que la déviation relativiste des rayons lumineux dans le champ gravitationnel du Soleil n'est pas prise en compte dans le calcul des coordonnées apparentes des planètes, les variations angulaires produites par ce phénomène étant difficilement représentables dans une éphéméride Tchebychev. La valeur de cette déviation peut être dans certains cas de l'ordre de la seconde de degré. Nous donnons dans la table 7.2 les caractéristiques des approximations en polynômes de Tchebychev avec les précisions de représentation.

7.4.2.2. Représentation sous forme de fonctions mixtes du temps

C'est la représentation utilisée pour les coordonnées des satellites.

Soit t une date julienne appartenant à l'intervalle de temps $t_0, t_0 + DT$. On calcule les coordonnées X et Y d'un satellite pour la date t par la formule (Chapront et Vu, 1984) :

$$X/Y = A_0 + A_1 u + B_0 \sin(Nu + F_0) + B_1 u \sin(Nu + F_1) + B_2 u^2 \sin(Nu + F_2) \\ + C_0 \sin(2Nu + P_0), \quad (7.4.5)$$

où :

- $u = t - t_0$; u est compté en jours ;
- $A_0, A_1, B_0, F_0, B_1, F_1, B_2, F_2, C_0, P_0$ sont les coefficients numériques publiés dans la *Connaissance des Temps*, valables pour l'intervalle de temps $t_0, t_0 + DT$ contenant t ;

Table 7.2. Caractéristiques des représentations en polynômes de Tchebychev données sur le CDROM.

Astre	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	Précision de la représentation
	Temps sidéral	19	16	1.7×10^{-5} s
	Équation des équinoxes	19	16	2×10^{-8} s
	Nutations	19	16	3×10^{-7} ''
	Équation des origines	10	5	5×10^{-7} ''
	Coordonnées du CIP	10	5	2×10^{-7} ''
	s	10	5	2×10^{-10} ''
Soleil	Longitude	15	16	6×10^{-10} degré
	Latitude	15	16	4×10^{-11} degré
	Rayon vecteur	15	16	4×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} ''
	Temps de passage	15	16	1×10^{-3} ''
	Coordonnées rectangulaires	15	16	1×10^{-11} ua
Lune	Ascension droite	9	2	2×10^{-6} s
	Déclinaison	9	2	2×10^{-5} ''
	Distance à la Terre	9	2	2×10^{-5} km
Mercure	Longitude	15	16	3×10^{-9} degré
	Latitude	15	16	5×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	16	2×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	6×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	5×10^{-5} ''
	Distance à la Terre	15	16	2×10^{-10} ua
Vénus	Longitude	15	46	7×10^{-10} degré
	Latitude	15	46	3×10^{-11} degré
	Rayon vecteur	15	46	1×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} ''
	Distance à la Terre	15	16	8×10^{-12} ua
Mars	Longitude	15	46	2×10^{-10} degré
	Latitude	15	46	4×10^{-12} degré
	Rayon vecteur	15	46	1×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} ''
	Distance à la Terre	15	16	1×10^{-11} ua
Jupiter	Longitude	15	92	2×10^{-9} degré
	Latitude	15	92	1×10^{-11} degré
	Rayon vecteur	15	92	5×10^{-11} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	8×10^{-6} ''
	Distance à la Terre	15	16	2×10^{-11} ua

• N est la fréquence associée au satellite considéré. Elle est proche de celle du satellite lui-même, sauf dans le cas d'Hypérion pour lequel on prend une fréquence proche de celle de Titan du fait

Table 7.2. (fin).

Astre	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	Précision de la représentation
Saturne	Longitude	15	92	2×10^{-8} degré
	Latitude	15	92	2×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	92	2×10^{-9} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} "
	Distance à la Terre	15	16	2×10^{-10} ua
Uranus	Longitude	15	92	3×10^{-8} degré
	Latitude	15	92	5×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	92	2×10^{-8} ua
	Ascension droite	15	16	3×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	2×10^{-5} "
	Distance à la Terre	15	16	6×10^{-9} ua
Neptune	Longitude	15	92	2×10^{-7} degré
	Latitude	15	92	6×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	92	8×10^{-8} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-5} s
	Déclinaison	15	16	6×10^{-5} "
	Distance à la Terre	15	16	3×10^{-8} ua
Pluton	Ascension droite	10	31	3×10^{-5} s
	Déclinaison	10	31	8×10^{-5} "
	Distance à la Terre	10	31	5×10^{-8} ua
Petites planètes	Ascension droite	10	31	4×10^{-4} s
	Déclinaison	10	31	3×10^{-3} "
	Distance à la Terre	10	31	5×10^{-8} ua

de l'existence d'un très gros terme perturbateur de fréquence plus grande que celle du satellite lui-même.

Les caractéristiques des approximations en fonctions mixtes données sur le CDROM sont exactement les mêmes que celles des éditions antérieures de la *Connaissance des Temps*. Nous les donnons dans la table 7.3.

On trouvera des explications détaillées sur les représentations en polynômes de Tchebychev et les représentations sous forme de fonctions mixtes dans le paragraphe 9.1 de l'*Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997).

Table 7.3. Caractéristiques des représentations en fonctions mixtes données sur le CDROM.

Satellite	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	N (rad/jour)
Phobos	Différentielles tangentielles (X, Y)	10	7	19.7027
Déimos	"	10	7	4.9788
Io	Différentielles tangentielles (X, Y)	10	3	3.5516
Europe	"	10	4	1.7693
Ganymède	"	10	9	0.8782
Callisto	"	8	10	0.3765
Mimas	Différentielles tangentielles (X, Y)	10	4	6.6670
Encelade	"	10	16	4.5860
Théthys	"	10	16	3.3280
Dioné	"	10	16	2.2960
Rhéa	"	10	16	1.3910
Titan	"	8	11	0.3940
Hypérion	"	8	8	0.3940
Japet	"	6	16	0.0790
Miranda	Différentielles tangentielles (X, Y)	10	9	4.4880
Ariel	"	10	31	2.4930
Umbriel	"	10	27	1.5162
Titania	"	10	17	0.7217
Obéron	"	10	22	0.4667

7.5. PRÉCISION DES ÉPHÉMÉRIDES

Pour juger de la précision globale d'une éphéméride, il faut distinguer plusieurs composantes :

a) La précision interne de la théorie. Elle rend compte à la fois de la précision numérique des calculs effectués pour élaborer la théorie et de la perfection du modèle physique introduit, les constantes physiques du problème (constantes d'intégration, masses, etc.) étant supposées parfaitement connues.

b) La précision externe. Elle représente essentiellement ce qui, dans l'écart entre la théorie et l'observation, est dû aux erreurs sur les constantes physiques et sur la définition du repère dans lequel les coordonnées sont mesurées. Cette précision est directement liée à la précision avec laquelle ont été effectuées les observations ayant servi à déterminer les constantes physiques du problème.

c) La précision de la représentation. Elle traduit l'écart entre la théorie et son approximation soit en polynômes de Tchebychev (cas des planètes, du Soleil et de la Lune), soit en fonctions mixtes (cas des satellites des planètes). Elle est déterminée par le choix de la représentation.

La précision globale de l'éphéméride est la somme de ces trois composantes. Comme le montre la table 7.2, la précision de représentation est très grande pour le Soleil, la Lune et les planètes.

La précision globale est du même ordre que la précision interne dans le cas de la Lune ; elle est du même ordre que la précision externe pour tous les autres corps.

La table 7.4 donne une estimation de la précision globale pour les corps dont on publie les éphémérides.

On trouvera des explications détaillées sur ces différentes précisions dans le volume *Introduction aux Éphémérides Astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997) et dans Standish (1985).

Table 7.4. Précision globale des éphémérides de la Connaissance des Temps.

Astre	Précision globale
Soleil	0".05
Lune	0".03
Mercure	0".06
Vénus	0".03
Mars	0".03
Jupiter	0".2
Saturne	0".3
Uranus	0".6
Neptune	0".8
Pluton et petites planètes	2"
Satellites de Mars	0".05
Satellites galiléens de Jupiter	0".05
Satellites de Saturne	de 0".1 à 0".5 (Hypériorion)
Satellites d'Uranus	0".1

7.6. BIBLIOGRAPHIE

- Arlot, J.-E. : 1982, New constants for Sampson-Lieske theory of the Galilean satellites of Jupiter, *Astron. Astrophys.* **107**, 305.
- Bureau des longitudes : 1978, *Connaissance des Temps* pour l'an 1979, Gauthier-Villars éd., Paris.
- Bureau des longitudes : 1997, *Introduction aux éphémérides astronomiques (supplément explicatif à la Connaissance des Temps)*. Simon, J.-L., Chapront-Touzé, M., Morando, B., Thuillot, W. éd., EDP Sciences, Les Ulis.
- Chapront, J., Vu, D.T. : 1984, A new compact representation of ephemerides : application to the motion of Pluto, the Sun and the Galilean satellites of Jupiter, *Astron. Astrophys.* **141**, 131.
- Chapront-Touzé, M. : 1990, Orbits of the Martian satellites from ESAPHO and ESADE theories, *Astron. Astrophys.* **240**, 159.

- Duriez, L., Vienne, A., : 1997, Theory of motion and ephemerides of Hyperion, *Astron. Astrophys.* **324**, 366.
- Fienga, A., Manche, H., Laskar, J., Gastineau, M. : 2006, INPOP06 : a new planetary ephemeris. *Nomenclature, Precession and New Models in Fundamental Astronomy*, 26th meeting of the IAU, Joint Discussion 16, 22-23 August 2006, Prague, Czech Republic, JD16, #15.
- Laskar, J., Jacobson, R.A. : 1987, GUST86. An analytical ephemeris of the Uranian satellites, *Astron. Astrophys.* **188**, 212.
- Lieske, J.H. : 1977, Theory of motion of Jupiter's Galilean satellites, *Astron. Astrophys.* **56**, 333.
- Rocher, P. : 1990, communication privée.
- Sampson, R.A. : 1921, Theory of the four great satellites of Jupiter, *Mem. Roy. Astron. Soc.* **63**.
- Standish, E.M. : 1985, Relativity in Celestial Mechanics and Astrometry, J. Kovalevsky and V.A. Brumberg eds. (Reidel, Dordrecht, Holland), 71.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405, JPLIOM **312.F**.
- Vienne, A., Duriez, L. : 1995, TASS1.6 : Ephemerides of the major Saturnian satellites, *Astron. Astrophys.* **297**, 588.

ÉPHÉMÉRIDES POUR L'ANNÉE 2007

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION

Temps sidéral <i>GST</i>	II. 4
Nutation en longitude $\Delta\psi$, nutation en obliquité $\Delta\epsilon$	II. 4

TEMPS SIDÉRAL 2007 à 0h TU, NUTATION 2007 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.	Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.		
	h	m	s	s	s		h	m	s	s	s		
Janv.	0	6	37	7.986 30	3.189 30	8.391 40	Févr.	15	9	38	29.652 91	5.146 40	9.028 32
	1	6	41	4.550 42	3.332 47	8.347 14		16	9	42	26.213 41	5.230 27	9.094 14
	2	6	45	1.116 93	3.514 60	8.324 79		17	9	46	22.770 40	5.256 89	9.171 71
	3	6	48	57.684 08	3.707 14	8.329 69		18	9	50	19.323 22	5.215 34	9.245 64
	4	6	52	54.250 06	3.880 80	8.360 49		19	9	54	15.872 46	5.115 07	9.299 48
	5	6	56	50.813 51	4.012 92	8.410 32		20	9	58	12.419 87	4.985 12	9.321 80
	6	7	0	47.373 69	4.091 67	8.469 30		21	10	2	8.967 84	4.864 14	9.310 70
	7	7	4	43.930 58	4.116 55	8.527 22		22	10	6	5.518 44	4.786 15	9.274 25
	8	7	8	40.484 70	4.096 23	8.575 50		23	10	10	2.072 80	4.769 50	9.226 90
	9	7	12	37.036 95	4.045 26	8.608 33		24	10	13	58.630 86	4.813 54	9.184 24
	10	7	16	33.588 39	3.980 97	8.622 88		25	10	17	55.191 65	4.902 14	9.158 63
	11	7	20	30.140 09	3.921 02	8.619 15		26	10	21	51.753 64	5.010 50	9.156 87
	12	7	24	26.693 05	3.881 72	8.599 68		27	10	25	48.315 23	5.112 15	9.179 83
	13	7	28	23.248 12	3.876 71	8.569 22		28	10	29	44.875 01	5.184 39	9.223 40
14	7	32	19.805 86	3.915 58	8.534 39	Mars	1	10	33	41.432 05	5.211 73	9.280 01	
15	7	36	16.366 53	4.002 18	8.503 33	2	10	37	37.985 94	5.187 60	9.340 43		
16	7	40	12.929 88	4.132 72	8.484 76	3	10	41	34.536 82	5.114 28	9.395 55		
17	7	44	9.495 13	4.294 19	8.486 64	4	10	45	31.085 30	5.001 65	9.437 78		
18	7	48	6.060 91	4.464 46	8.513 95	5	10	49	27.632 30	4.864 87	9.462 11		
19	7	52	2.625 51	4.615 42	8.566 47	6	10	53	24.178 91	4.721 67	9.466 61		
20	7	55	59.187 26	4.719 78	8.637 33	7	10	57	20.726 20	4.589 58	9.452 42		
21	7	59	55.745 08	4.760 01	8.713 71	8	11	1	17.275 09	4.483 72	9.423 32		
22	8	3	52.298 96	4.735 63	8.780 10	9	11	5	13.826 27	4.415 16	9.385 11		
23	8	7	48.849 99	4.664 76	8.823 15	10	11	9	10.380 09	4.389 82	9.344 88		
24	8	11	45.400 09	4.578 61	8.836 03	11	11	13	6.936 56	4.407 80	9.310 24		
25	8	15	41.951 35	4.511 45	8.820 31	12	11	17	3.495 29	4.462 87	9.288 54		
26	8	19	38.505 43	4.490 38	8.784 97	13	11	21	0.055 51	4.542 21	9.285 86		
27	8	23	35.063 14	4.528 62	8.743 33	14	11	24	56.616 05	4.626 68	9.305 74		
28	8	27	31.624 32	4.623 59	8.709 26	15	11	28	53.175 44	4.692 48	9.347 63		
29	8	31	28.187 98	4.759 13	8.693 87	16	11	32	49.732 21	4.715 39	9.405 41		
30	8	35	24.752 61	4.910 58	8.703 28	17	11	36	46.285 28	4.677 87	9.467 04		
31	8	39	21.316 57	5.051 05	8.737 84	18	11	40	42.834 51	4.577 63	9.516 41		
Févr.	1	8	43	17.878 44	5.157 40	8.792 69	19	11	44	39.381 04	4.433 25	9.538 28	
	2	8	47	14.437 30	5.214 61	8.859 37	20	11	48	35.927 11	4.281 14	9.524 53	
	3	8	51	10.992 86	5.217 84	8.927 95	21	11	52	32.475 23	4.162 57	9.478 33	
	4	8	55	7.545 42	5.171 96	8.989 17	22	11	56	29.027 21	4.107 11	9.413 12	
	5	8	59	4.095 74	5.089 35	9.035 99	23	12	0	25.583 50	4.122 18	9.346 96	
	6	9	3	0.644 83	4.986 74	9.064 36	24	12	4	22.143 23	4.193 51	9.295 76	
	7	9	6	57.193 80	4.882 21	9.073 41	25	12	8	18.704 73	4.293 79	9.268 95	
	8	9	10	53.743 70	4.792 76	9.065 11	26	12	12	15.266 16	4.392 92	9.268 58	
	9	9	14	50.295 39	4.732 62	9.043 76	27	12	16	11.825 97	4.465 54	9.290 67	
	10	9	18	46.849 50	4.712 00	9.015 45	28	12	20	8.383 13	4.494 90	9.327 55	
	11	9	22	43.406 34	4.736 13	8.987 57	29	12	24	4.937 20	4.473 74	9.369 97	
	12	9	26	39.965 87	4.804 02	8.968 15	30	12	28	1.488 27	4.403 55	9.408 85	
	13	9	30	36.527 55	4.907 34	8.964 98	31	12	31	58.036 88	4.292 99	9.436 48	
	14	9	34	33.090 39	5.029 48	8.984 20	Avril	1	12	35	54.583 86	4.155 99	9.447 41

TEMPS SIDÉRAL 2007 à 0h TU, NUTATION 2007 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.		nut. obl.		Date	temps sidéral			nut. long.		nut. obl.	
	h	m	s	s	s	h	m		s	s	s				
Avril	2	12	39	51.130 27	4.009 43	9.438 95		Mai	18	15	41	12.671 25	3.912 20	8.369 96	
	3	12	43	47.677 16	3.870 87	9.411 38			19	15	45	9.237 74	4.094 13	8.332 93	
	4	12	47	44.225 52	3.756 22	9.367 78			20	15	49	5.803 80	4.268 94	8.326 50	
	5	12	51	40.776 08	3.677 69	9.313 51			21	15	53	2.367 57	4.406 30	8.344 24	
	6	12	55	37.329 29	3.642 32	9.255 52			22	15	56	58.928 02	4.489 48	8.375 42	
	7	12	59	33.885 20	3.651 07	9.201 41			23	16	0	55.484 98	4.515 55	8.408 68	
	8	13	3	30.443 47	3.698 49	9.158 48			24	16	4	52.038 91	4.492 07	8.434 43	
	9	13	7	27.003 39	3.773 05	9.132 74			25	16	8	48.590 67	4.433 12	8.445 92	
	10	13	11	23.563 95	3.857 89	9.127 89			26	16	12	45.141 32	4.355 95	8.439 50	
	11	13	15	20.123 88	3.932 45	9.144 27			27	16	16	41.691 95	4.278 51	8.414 39	
	12	13	19	16.681 86	3.975 29	9.177 90			28	16	20	38.243 60	4.217 65	8.372 51	
13	13	23	13.236 82	3.968 58	9.219 93		29	16	24	34.797 12	4.187 56	8.318 08			
14	13	27	9.788 25	3.904 29	9.257 26		30	16	28	31.353 15	4.198 26	8.257 23			
15	13	31	6.336 64	3.790 24	9.275 07		31	16	32	27.911 94	4.254 17	8.197 43			
16	13	35	2.883 60	3.652 70	9.261 51		Juin	1	16	36	24.473 35	4.352 91	8.146 49		
17	13	38	59.431 52	3.530 97	9.213 12			2	16	40	21.036 79	4.484 86	8.111 45		
18	13	42	55.982 76	3.463 45	9.137 74			3	16	44	17.601 27	4.633 92	8.097 14		
19	13	46	52.538 63	3.471 57	9.052 27			4	16	48	14.165 55	4.779 67	8.105 02		
20	13	50	49.098 88	3.551 37	8.975 92			5	16	52	10.728 33	4.900 83	8.132 35		
21	13	54	45.661 96	3.677 37	8.923 03			6	16	56	7.288 52	4.979 62	8.172 14		
22	13	58	42.225 72	3.814 72	8.899 27			7	17	0	3.845 50	5.006 14	8.214 02		
23	14	2	38.788 23	3.931 39	8.902 10			8	17	4	0.399 39	4.981 97	8.245 97		
24	14	6	35.348 13	4.005 51	8.923 57			9	17	7	56.951 07	4.921 78	8.256 95		
25	14	10	31.904 81	4.027 15	8.953 54			10	17	11	53.502 17	4.852 00	8.239 91		
26	14	14	28.458 33	3.996 97	8.982 13		11	17	15	50.054 71	4.805 59	8.194 52			
27	14	18	25.009 21	3.923 50	9.001 13		12	17	19	46.610 54	4.813 12	8.128 50			
28	14	22	21.558 27	3.820 47	9.004 72		13	17	23	43.170 75	4.892 31	8.056 27			
29	14	26	18.106 55	3.704 53	8.989 79		14	17	27	39.735 19	5.040 58	7.994 85			
30	14	30	14.655 10	3.593 14	8.956 01		15	17	31	36.302 44	5.234 85	7.958 15			
Mai	1	14	34	11.204 94	3.502 65	8.905 78		16	17	35	32.870 34	5.439 64	7.952 45		
	2	14	38	7.756 86	3.446 38	8.843 86		17	17	39	29.436 70	5.619 43	7.975 16		
	3	14	42	4.311 41	3.432 88	8.776 89		18	17	43	25.999 99	5.749 06	8.016 99		
	4	14	46	0.868 72	3.464 61	8.712 51		19	17	47	22.559 59	5.818 29	8.065 84		
	5	14	49	57.428 53	3.537 19	8.658 32		20	17	51	19.115 71	5.830 67	8.110 37		
	6	14	53	53.990 16	3.639 64	8.620 69		21	17	55	15.669 16	5.799 21	8.142 11		
	7	14	57	50.552 61	3.755 47	8.603 64		22	17	59	12.221 01	5.741 79	8.156 21		
	8	15	1	47.114 67	3.864 84	8.607 88		23	18	3	8.772 44	5.677 47	8.151 22		
	9	15	5	43.675 09	3.947 45	8.630 15		24	18	7	5.324 55	5.624 12	8.128 61		
	10	15	9	40.232 84	3.986 43	8.663 03		25	18	11	1.878 25	5.596 84	8.092 21		
	11	15	13	36.787 37	3.972 72	8.695 54		26	18	14	58.434 23	5.606 87	8.047 73		
12	15	17	33.338 86	3.909 45	8.714 81		27	18	18	54.992 88	5.660 40	8.002 22			
13	15	21	29.888 43	3.814 68	8.709 07		28	18	22	51.554 19	5.757 51	7.963 43			
14	15	25	26.438 01	3.719 94	8.671 71		29	18	26	48.117 73	5.891 15	7.938 83			
15	15	29	22.989 87	3.662 60	8.604 85		30	18	30	44.682 63	6.047 07	7.934 27			
16	15	33	19.545 86	3.672 83	8.520 28		Juill.	1	18	34	41.247 67	6.205 11	7.952 58		
17	15	37	16.106 62	3.760 85	8.436 08			2	18	38	37.811 43	6.342 41	7.992 23		

TEMPS SIDÉRAL 2007 à 0h TU, NUTATION 2007 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.		nut. obl.		Date	temps sidéral			nut. long.		nut. obl.		
	h	m	s	s	s	h	m		s	s	s					
Juill.	3	18	42	34.372 66	6.438 32	8.046 88		Août	18	21	43	55.976 32	7.366 12	8.700 33		
	4	18	46	30.930 57	6.479 94	8.106 14			19	21	47	52.527 27	7.293 94	8.675 59		
	5	18	50	27.485 12	6.466 54	8.157 57			20	21	51	49.080 58	7.260 18	8.644 76		
	6	18	54	24.037 11	6.411 27	8.189 67			21	21	55	45.636 44	7.268 18	8.615 04		
	7	18	58	20.588 06	6.339 11	8.194 99			22	21	59	42.194 71	7.315 64	8.593 68		
		8	19	2	17.139 89	6.281 22	8.172 47			23	22	3	38.754 89	7.394 29	8.587 22	
		9	19	6	13.694 39	6.267 04	8.128 26			24	22	7	35.316 10	7.489 89	8.600 60	
		10	19	10	10.252 75	6.315 89	8.074 50			25	22	11	31.877 15	7.582 80	8.635 94	
		11	19	14	6.815 15	6.430 86	8.026 31			26	22	15	28.436 65	7.650 37	8.691 14	
		12	19	18	3.380 69	6.597 14	7.997 58			27	22	19	24.993 31	7.671 47	8.758 96	
		13	19	21	59.947 62	6.786 09	7.996 87			28	22	23	21.546 33	7.633 26	8.827 30	
		14	19	25	56.513 86	6.963 87	8.025 21			29	22	27	18.095 86	7.537 82	8.881 68	
	15	19	29	53.077 63	7.101 34	8.076 34		30	22	31	14.643 10	7.404 93	8.909 57			
	16	19	33	49.637 88	7.181 22	8.139 35		31	22	35	11.190 09	7.267 86	8.905 14			
	17	19	37	46.194 43	7.200 53	8.202 21		Sept.	1	22	39	7.739 02	7.162 60	8.871 86		
	18	19	41	42.747 83	7.168 43	8.254 70		2	22	43	4.291 50	7.115 44	8.821 48			
	19	19	45	39.299 12	7.101 76	8.290 17		3	22	47	0.848 06	7.134 86	8.769 84			
	20	19	49	35.849 51	7.020 32	8.305 88		4	22	50	57.408 06	7.210 55	8.731 79			
	21	19	53	32.400 16	6.943 34	8.302 55		5	22	54	53.970 04	7.318 60	8.717 35			
	22	19	57	28.952 10	6.887 24	8.283 61		6	22	58	50.532 18	7.429 28	8.729 86			
	23	20	1	25.506 08	6.864 41	8.254 47		7	23	2	47.092 77	7.514 78	8.766 30			
	24	20	5	22.062 55	6.882 40	8.221 84		8	23	6	43.650 58	7.554 72	8.818 87			
	25	20	9	18.621 64	6.943 26	8.193 14		9	23	10	40.205 00	7.539 26	8.877 26			
	26	20	13	15.183 09	7.042 76	8.175 85		10	23	14	36.756 10	7.469 56	8.930 96			
	27	20	17	11.746 23	7.169 81	8.176 45		11	23	18	33.304 53	7.356 17	8.971 28			
	28	20	21	8.309 97	7.306 66	8.199 17		12	23	22	29.851 32	7.215 98	8.992 66			
	29	20	25	4.872 93	7.430 80	8.244 42		13	23	26	26.397 67	7.068 52	8.993 24			
	30	20	29	1.433 69	7.518 98	8.307 66		14	23	30	22.944 72	6.932 49	8.974 65			
	31	20	32	57.991 16	7.553 39	8.379 26		15	23	34	19.493 40	6.823 14	8.941 34			
Août	1	20	36	54.544 97	7.528 02	8.446 16		16	23	38	16.044 34	6.750 69	8.899 56			
	2	20	40	51.095 72	7.452 54	8.495 14		17	23	42	12.597 81	6.719 66	8.856 45			
	3	20	44	47.644 89	7.351 22	8.516 88		18	23	46	9.153 74	6.728 85	8.819 20			
	4	20	48	44.194 47	7.256 50	8.509 01		19	23	50	5.711 72	6.771 53	8.794 27			
	5	20	52	40.746 35	7.199 50	8.477 04		20	23	54	2.271 02	6.835 83	8.786 72			
	6	20	56	37.301 82	7.201 10	8.432 77		21	23	57	58.830 64	6.905 33	8.799 39			
	7	21	0	33.861 18	7.266 33	8.390 83		22	0	1	55.389 37	6.960 32	8.831 90			
	8	21	4	30.423 73	7.383 70	8.364 78		23	0	5	51.945 97	6.980 42	8.879 67			
	9	21	8	26.987 98	7.528 96	8.363 69		24	0	9	48.499 43	6.949 28	8.933 40			
	10	21	12	23.552 09	7.671 84	8.390 23		25	0	13	45.049 39	6.860 97	8.979 84			
	11	21	16	20.114 30	7.783 88	8.440 47		26	0	17	41.596 49	6.725 88	9.004 75			
	12	21	20	16.673 41	7.845 00	8.505 50		27	0	21	38.142 45	6.571 96	8.997 73			
	13	21	24	13.228 91	7.847 19	8.574 03		28	0	25	34.689 61	6.437 86	8.957 21			
	14	21	28	9.781 06	7.794 66	8.635 26		29	0	29	31.240 15	6.358 83	8.892 22			
	15	21	32	6.330 70	7.701 13	8.681 01		30	0	33	27.795 15	6.352 75	8.819 41			
	16	21	36	2.879 00	7.585 55	8.706 92		Oct.	1	0	37	24.354 27	6.414 06	8.756 70		
	17	21	39	59.427 18	7.467 92	8.712 45		2	0	41	20.916 01	6.518 22	8.717 15			

TEMPS SIDÉRAL 2007 à 0h TU, NUTATION 2007 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.	Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.		
	h	m	s	s	s		h	m	s	s	s		
Oct.	3	0	45	17.478 35	6.632 20	8.705 93	Nov.	18	3	46	39.018 76	6.526 05	7.989 51
	4	0	49	14.039 39	6.725 00	8.720 58		19	3	50	35.571 66	6.485 67	8.009 51
	5	0	53	10.597 78	6.774 43	8.753 30		20	3	54	32.122 42	6.410 42	8.009 66
	6	0	57	7.152 85	6.769 68	8.793 75		21	3	58	28.672 55	6.324 75	7.981 63
	7	1	1	3.704 63	6.710 98	8.831 51		22	4	2	25.224 13	6.262 83	7.923 52
	8	1	5	0.253 67	6.607 54	8.857 78		23	4	6	21.779 28	6.259 17	7.842 49
	9	1	8	56.800 91	6.474 75	8.866 56		24	4	10	18.339 29	6.335 06	7.754 32
	10	1	12	53.347 50	6.331 17	8.855 13		25	4	14	14.903 98	6.487 42	7.678 44
	11	1	16	49.894 57	6.195 47	8.824 15		26	4	18	11.471 63	6.688 15	7.630 39
	12	1	20	46.443 11	6.083 83	8.777 21		27	4	22	8.039 68	6.895 45	7.616 05
	13	1	24	42.993 83	6.007 94	8.720 09		28	4	26	4.605 73	7.070 15	7.630 80
	14	1	28	39.547 11	5.973 76	8.659 83		29	4	30	1.168 28	7.187 60	7.663 10
15	1	32	36.102 94	5.981 17	8.603 72	30	4	33	57.726 90	7.240 96	7.699 49		
16	1	36	32.660 94	6.024 26	8.558 37	Déc.	1	4	37	54.282 08	7.237 79	7.728 44	
17	1	40	29.220 46	6.092 07	8.528 96		2	4	41	50.834 79	7.194 42	7.742 13	
18	1	44	25.780 57	6.169 68	8.518 52	3	4	45	47.386 26	7.130 70	7.736 78		
19	1	48	22.340 21	6.239 57	8.527 32	4	4	49	43.937 70	7.066 42	7.712 18		
20	1	52	18.898 27	6.283 63	8.552 26	5	4	53	40.490 16	7.018 97	7.670 98		
21	1	56	15.453 79	6.286 06	8.586 45	6	4	57	37.044 49	7.001 96	7.618 01		
22	2	0	12.006 19	6.237 65	8.619 33	7	5	1	33.601 22	7.024 14	7.559 61		
23	2	4	8.555 64	6.140 86	8.638 00	8	5	5	30.160 53	7.088 57	7.502 93		
24	2	8	5.103 23	6.013 78	8.630 32	9	5	9	26.722 24	7.192 20	7.455 09		
25	2	12	1.650 99	5.889 40	8.589 52	10	5	13	23.285 78	7.325 85	7.422 20		
26	2	15	58.201 32	5.806 92	8.518 45	11	5	17	19.850 28	7.475 20	7.408 37		
27	2	19	54.756 06	5.796 66	8.430 42	12	5	21	16.414 66	7.622 56	7.414 83		
28	2	23	51.315 69	5.866 24	8.344 83	13	5	25	12.977 80	7.749 64	7.439 43		
29	2	27	47.879 07	5.997 18	8.279 53	14	5	29	9.538 74	7.840 73	7.476 60		
30	2	31	44.444 01	6.153 76	8.244 42	15	5	33	6.096 87	7.885 92	7.517 89		
31	2	35	41.008 19	6.297 74	8.239 48	16	5	37	2.652 12	7.883 98	7.553 16		
Nov.	1	2	39	37.569 82	6.400 14	8.257 09	17	5	40	59.205 05	7.844 16	7.572 28	
	2	2	43	34.128 00	6.446 22	8.285 90	18	5	44	55.756 88	7.786 44	7.567 35	
	3	2	47	30.682 67	6.434 91	8.314 41	19	5	48	52.309 37	7.739 28	7.535 18	
	4	2	51	27.234 40	6.375 37	8.333 13	20	5	52	48.864 41	7.733 90	7.479 35	
	5	2	55	23.784 12	6.283 14	8.335 63	21	5	56	45.423 54	7.795 36	7.410 83	
	6	2	59	20.332 98	6.176 67	8.318 82	22	6	0	41.987 30	7.932 47	7.345 97	
	7	3	3	16.882 10	6.074 62	8.282 79	23	6	4	38.554 85	8.131 65	7.301 56	
	8	3	7	13.432 52	5.993 62	8.230 49	24	6	8	35.124 15	8.359 39	7.288 72	
	9	3	11	9.985 00	5.946 42	8.167 10	25	6	12	31.692 64	8.573 94	7.308 76	
	10	3	15	6.540 01	5.940 52	8.099 34	26	6	16	28.258 17	8.740 16	7.353 46	
	11	3	19	3.097 63	5.977 33	8.034 54	27	6	20	24.819 63	8.839 83	7.409 13	
	12	3	22	59.657 57	6.052 04	7.979 62	28	6	24	21.377 05	8.873 39	7.461 75	
13	3	26	56.219 19	6.154 20	7.940 17	29	6	28	17.931 30	8.855 16	7.500 75		
14	3	30	52.781 58	6.269 08	7.919 58	30	6	32	14.483 67	8.806 30	7.520 42		
15	3	34	49.343 70	6.379 50	7.918 43	31	6	36	11.035 53	8.748 95	7.519 61		
16	3	38	45.904 49	6.468 11	7.934 11	32	6	40	7.588 07	8.702 60	7.500 71		
17	3	42	42.463 03	6.520 07	7.960 75	33	6	44	4.142 20	8.682 30	7.468 49		

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE

Angle de rotation de la Terre ERA , équation des origines O II. 10

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2007 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE, ÉQUATION DES ORIGINES

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines			
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"		
Janv.	0	99	11	34.154 10	-5	25.640 35	Févr.	15	144	31	51.549 01	-5	33.244 68
	1	100	10	42.358 34	-5	25.898 02		16	145	30	59.753 24	-5	33.447 87
	2	101	9	50.562 57	-5	26.191 41		17	146	30	7.957 48	-5	33.598 52
	3	102	8	58.766 81	-5	26.494 33		18	147	29	16.161 72	-5	33.686 63
	4	103	8	6.971 05	-5	26.779 92		19	148	28	24.365 95	-5	33.720 88
	5	104	7	15.175 28	-5	27.027 38		20	149	27	32.570 19	-5	33.727 92
	6	105	6	23.379 52	-5	27.225 87		21	150	26	40.774 63	-5	33.743 22
	7	106	5	31.583 76	-5	27.374 93		22	151	25	48.978 67	-5	33.797 99
	8	107	4	39.788 00	-5	27.482 54		23	152	24	57.182 90	-5	33.909 03
	9	108	3	47.992 23	-5	27.562 04		24	153	24	5.387 14	-5	34.075 76
	10	109	2	56.196 47	-5	27.629 33		25	154	23	13.591 38	-5	34.283 34
	11	110	2	4.400 71	-5	27.700 61		26	155	22	21.795 61	-5	34.509 04
	12	111	1	12.604 94	-5	27.790 85		27	156	21	29.999 85	-5	34.728 57
	13	112	0	20.809 18	-5	27.912 56		28	157	20	38.204 09	-5	34.921 09
14	112	59	29.013 42	-5	28.074 53	Mars	1	158	19	46.408 33	-5	35.072 42	
15	113	58	37.217 66	-5	28.280 30	2	159	18	54.612 56	-5	35.176 52		
16	114	57	45.421 89	-5	28.526 36	3	160	18	2.816 80	-5	35.235 50		
17	115	56	53.626 13	-5	28.800 80	4	161	17	11.021 04	-5	35.258 42		
18	116	56	1.830 37	-5	29.083 29	5	162	16	19.225 27	-5	35.259 20		
19	117	55	10.034 60	-5	29.348 05	6	163	15	27.429 51	-5	35.254 09		
20	118	54	18.238 84	-5	29.570 04	7	164	14	35.633 75	-5	35.259 19		
21	119	53	26.443 08	-5	29.733 18	8	165	13	43.837 99	-5	35.288 37		
22	120	52	34.647 32	-5	29.837 05	9	166	12	52.042 22	-5	35.351 78		
23	121	51	42.851 55	-5	29.898 27	10	167	12	0.246 46	-5	35.454 84		
24	122	50	51.055 79	-5	29.945 51	11	168	11	8.450 70	-5	35.597 63		
25	123	49	59.260 03	-5	30.010 20	12	169	10	16.654 93	-5	35.774 46		
26	124	49	7.464 26	-5	30.117 18	13	170	9	24.859 17	-5	35.973 54		
27	125	48	15.668 50	-5	30.278 59	14	171	8	33.063 41	-5	36.177 31		
28	126	47	23.872 74	-5	30.492 03	15	172	7	41.267 65	-5	36.363 93		
29	127	46	32.076 97	-5	30.742 68	16	173	6	49.471 88	-5	36.511 20		
30	128	45	40.281 21	-5	31.007 91	17	174	5	57.676 12	-5	36.603 01		
31	129	44	48.485 45	-5	31.263 06	18	175	5	5.880 36	-5	36.637 28		
Févr.	1	130	43	56.689 69	-5	31.486 87	19	176	4	14.084 59	-5	36.631 07	
	2	131	43	4.893 92	-5	31.665 60	20	177	3	22.288 83	-5	36.617 79	
	3	132	42	13.098 16	-5	31.794 80	21	178	2	30.493 07	-5	36.635 32	
	4	133	41	21.302 40	-5	31.878 96	22	179	1	38.697 30	-5	36.710 77	
	5	134	40	29.506 63	-5	31.929 42	23	180	0	46.901 54	-5	36.850 92	
	6	135	39	37.710 87	-5	31.961 55	24	180	59	55.105 78	-5	37.042 67	
	7	136	38	45.915 11	-5	31.991 93	25	181	59	3.310 02	-5	37.260 97	
	8	137	37	54.119 35	-5	32.036 16	26	182	58	11.514 25	-5	37.478 17	
	9	138	37	2.323 58	-5	32.107 27	27	183	57	19.718 49	-5	37.671 05	
	10	139	36	10.527 82	-5	32.214 67	28	184	56	27.922 73	-5	37.824 23	
	11	140	35	18.732 06	-5	32.363 11	29	185	55	36.126 96	-5	37.931 06	
	12	141	34	26.936 29	-5	32.551 71	30	186	54	44.331 20	-5	37.992 91	
	13	142	33	35.140 53	-5	32.772 79	31	187	53	52.535 44	-5	38.017 73	
	14	143	32	43.344 77	-5	33.011 14	Avril	1	188	53	0.739 68	-5	38.018 29

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2007 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE, ÉQUATION DES ORIGINES

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines			
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"		
Avril	2	189	52	8.943 91	-5	38.010 11	Mai	18	235	12	26.338 82	-5	43.729 89
	3	190	51	17.148 15	-5	38.009 28		19	236	11	34.543 06	-5	44.023 09
	4	191	50	25.352 39	-5	38.030 38		20	237	10	42.747 29	-5	44.309 73
	5	192	49	33.556 62	-5	38.084 64		21	238	9	50.951 53	-5	44.561 99
	6	193	48	41.760 86	-5	38.178 50		22	239	8	59.155 77	-5	44.764 55
	7	194	47	49.965 10	-5	38.312 83		23	240	8	7.360 01	-5	44.914 71
	8	195	46	58.169 34	-5	38.482 64		24	241	7	15.564 24	-5	45.019 42
	9	196	46	6.373 57	-5	38.677 34		25	242	6	23.768 48	-5	45.091 59
	10	197	45	14.577 81	-5	38.881 45		26	243	5	31.972 72	-5	45.147 06
	11	198	44	22.782 05	-5	39.076 12		27	244	4	40.176 95	-5	45.202 29
	12	199	43	30.986 28	-5	39.241 67		28	245	3	48.381 19	-5	45.272 75
13	200	42	39.190 52	-5	39.361 76	29	246	2	56.585 43	-5	45.371 44		
14	201	41	47.394 76	-5	39.429 01	30	247	2	4.789 67	-5	45.507 57		
15	202	40	55.599 00	-5	39.450 62	31	248	1	12.993 90	-5	45.685 18		
16	203	40	3.803 23	-5	39.450 71	Juin	1	249	0	21.198 14	-5	45.902 07	
17	204	39	12.007 47	-5	39.465 33	2	249	59	29.402 38	-5	46.149 42		
18	205	38	20.211 71	-5	39.529 71	3	250	58	37.606 61	-5	46.412 47		
19	206	37	28.415 94	-5	39.663 49	4	251	57	45.810 85	-5	46.672 46		
20	207	36	36.620 18	-5	39.863 02	5	252	56	54.015 09	-5	46.909 87		
21	208	35	44.824 42	-5	40.104 92	6	253	56	2.219 33	-5	47.108 40		
22	209	34	53.028 66	-5	40.357 21	7	254	55	10.423 56	-5	47.258 98		
23	210	34	1.232 89	-5	40.590 51	8	255	54	18.627 80	-5	47.363 05		
24	211	33	9.437 13	-5	40.784 75	9	256	53	26.832 04	-5	47.434 09		
25	212	32	17.641 37	-5	40.930 85	10	257	52	35.036 27	-5	47.496 34		
26	213	31	25.845 60	-5	41.029 40	11	258	51	43.240 51	-5	47.580 07		
27	214	30	34.049 84	-5	41.088 24	12	259	50	51.444 75	-5	47.713 30		
28	215	29	42.254 08	-5	41.119 98	13	260	49	59.648 99	-5	47.912 29		
29	216	28	50.458 32	-5	41.139 88	14	261	49	7.853 22	-5	48.174 64		
30	217	27	58.662 55	-5	41.163 97	15	262	48	16.057 46	-5	48.479 18		
Mai	1	218	27	6.866 79	-5	41.207 25	16	263	47	24.261 70	-5	48.793 34	
2	219	26	15.071 03	-5	41.281 92	17	264	46	32.465 93	-5	49.084 54		
3	220	25	23.275 26	-5	41.395 85	18	265	45	40.670 17	-5	49.329 71		
4	221	24	31.479 50	-5	41.551 27	19	266	44	48.874 41	-5	49.519 46		
5	222	23	39.683 74	-5	41.744 16	20	267	43	57.078 65	-5	49.657 06		
6	223	22	47.887 98	-5	41.964 45	21	268	43	5.282 88	-5	49.754 45		
7	224	21	56.092 21	-5	42.197 00	22	269	42	13.487 12	-5	49.828 03		
8	225	21	4.296 45	-5	42.423 60	23	270	41	21.691 36	-5	49.895 30		
9	226	20	12.500 69	-5	42.625 65	24	271	40	29.895 59	-5	49.972 64		
10	227	19	20.704 92	-5	42.787 66	25	272	39	38.099 83	-5	50.073 92		
11	228	18	28.909 16	-5	42.901 32	26	273	38	46.304 07	-5	50.209 42		
12	229	17	37.113 40	-5	42.969 52	27	274	37	54.508 31	-5	50.384 85		
13	230	16	45.317 63	-5	43.008 83	28	275	37	2.712 54	-5	50.600 25		
14	231	15	53.521 87	-5	43.048 20	29	276	36	10.916 78	-5	50.849 16		
15	232	15	1.726 11	-5	43.121 91	30	277	35	19.121 02	-5	51.118 50		
16	233	14	9.930 35	-5	43.257 63	Juill.	1	278	34	27.325 25	-5	51.389 77	
17	234	13	18.134 58	-5	43.464 71	2	279	33	35.529 49	-5	51.641 99		

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2007 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE, ÉQUATION DES ORIGINES

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines				
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"			
Juill.	3	280	32	43.733 73	-5	51.856 23	Août	18	325	53	1.128 64	-5	58.516 12	
	4	281	31	51.937 96	-5	52.020 65		19	326	52	9.332 87	-5	58.576 21	
	5	282	31	0.142 20	-5	52.134 60		20	327	51	17.537 11	-5	58.671 53	
	6	283	30	8.346 44	-5	52.210 15		21	328	50	25.741 35	-5	58.805 18	
	7	284	29	16.550 68	-5	52.270 22		22	329	49	33.945 58	-5	58.975 03	
	8	285	28	24.754 91	-5	52.343 41		23	330	48	42.149 82	-5	59.173 49	
	9	286	27	32.959 15	-5	52.456 72		24	331	47	50.354 06	-5	59.387 47	
	10	287	26	41.163 39	-5	52.627 86		25	332	46	58.558 29	-5	59.598 99	
	11	288	25	49.367 62	-5	52.859 66		26	333	46	6.762 53	-5	59.787 23	
	12	289	24	57.571 86	-5	53.138 52		27	334	45	14.966 77	-5	59.932 83	
	13	290	24	5.776 10	-5	53.438 16		28	335	44	23.171 01	-6	0.024 01	
	14	291	23	13.980 34	-5	53.727 53		29	336	43	31.375 24	-6	0.062 69	
	15	292	22	22.184 57	-5	53.979 89		30	337	42	39.579 48	-6	0.067 03	
	16	293	21	30.388 81	-5	54.179 42		31	338	41	47.783 72	-6	0.067 56	
	17	294	20	38.593 05	-5	54.323 37		Sept.	1	339	40	55.987 95	-6	0.097 29
	18	295	19	46.797 28	-5	54.420 17		2	340	40	4.192 19	-6	0.180 35	
	19	296	18	55.001 52	-5	54.485 26		3	341	39	12.396 43	-6	0.324 49	
20	297	18	3.205 76	-5	54.536 82	4	342	38	20.600 67	-6	0.520 25			
21	298	17	11.410 00	-5	54.592 48	5	343	37	28.804 90	-6	0.745 66			
22	299	16	19.614 23	-5	54.667 30	6	344	36	37.009 14	-6	0.973 49			
23	300	15	27.818 47	-5	54.772 66	7	345	35	45.213 38	-6	1.178 18			
24	301	14	36.022 71	-5	54.915 47	8	346	34	53.417 61	-6	1.341 07			
25	302	13	44.226 94	-5	55.097 62	9	347	34	1.621 85	-6	1.453 12			
26	303	12	52.431 18	-5	55.315 21	10	348	33	9.826 09	-6	1.515 41			
27	304	12	0.635 42	-5	55.558 06	11	349	32	18.030 33	-6	1.537 63			
28	305	11	8.839 66	-5	55.809 90	12	350	31	26.234 56	-6	1.535 28			
29	306	10	17.043 89	-5	56.050 05	13	351	30	34.438 80	-6	1.526 27			
30	307	9	25.248 13	-5	56.257 20	14	352	29	42.643 04	-6	1.527 75			
31	308	8	33.452 37	-5	56.415 00	15	353	28	50.847 27	-6	1.553 73			
Août	1	309	7	41.656 60	-5	56.517 96	16	354	27	59.051 51	-6	1.613 56		
2	310	6	49.860 84	-5	56.574 97	17	355	27	7.255 75	-6	1.711 41			
3	311	5	58.065 08	-5	56.608 28	18	356	26	15.459 99	-6	1.846 14			
4	312	5	6.269 32	-5	56.647 67	19	357	25	23.664 22	-6	2.011 59			
5	313	4	14.473 55	-5	56.721 69	20	358	24	31.868 46	-6	2.196 87			
6	314	3	22.677 79	-5	56.849 48	21	359	23	40.072 70	-6	2.386 92			
7	315	2	30.882 03	-5	57.035 65	22	0	22	48.276 93	-6	2.563 62			
8	316	1	39.086 26	-5	57.269 64	23	1	21	56.481 17	-6	2.708 31			
9	317	0	47.290 50	-5	57.529 19	24	2	21	4.685 41	-6	2.805 98			
10	317	59	55.494 74	-5	57.786 55	25	3	20	12.889 65	-6	2.851 20			
11	318	59	3.698 98	-5	58.015 59	26	4	19	21.093 88	-6	2.853 50			
12	319	58	11.903 21	-5	58.197 90	27	5	18	29.298 12	-6	2.838 57			
13	320	57	20.107 45	-5	58.326 15	28	6	17	37.502 36	-6	2.841 84			
14	321	56	28.311 69	-5	58.404 20	29	7	16	45.706 59	-6	2.895 66			
15	322	55	36.515 92	-5	58.444 65	30	8	15	53.910 83	-6	3.016 41			
16	323	54	44.720 16	-5	58.464 87	Oct.	1	9	15	2.115 07	-6	3.198 98		
17	324	53	52.924 40	-5	58.483 23	2	10	14	10.319 31	-6	3.420 84			

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2007 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE, ÉQUATION DES ORIGINES

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines				
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"			
Oct.	3	11	13	18.523 54	-6	3.651 68	Nov.	18	56	33	35.918 45	-6	9.362 99	
	4	12	12	26.727 78	-6	3.863 08		19	57	32	44.122 69	-6	9.452 19	
	5	13	11	34.932 02	-6	4.034 67		20	58	31	52.326 92	-6	9.509 41	
	6	14	10	43.136 25	-6	4.156 55		21	59	31	0.531 16	-6	9.557 09	
	7	15	9	51.340 49	-6	4.228 94		22	60	30	8.735 40	-6	9.626 59	
	8	16	8	59.544 73	-6	4.260 29		23	61	29	16.939 64	-6	9.749 56	
	9	17	8	7.748 97	-6	4.264 72		24	62	28	25.143 87	-6	9.945 53	
	10	18	7	15.953 20	-6	4.259 27		25	63	27	33.348 11	-6	10.211 64	
	11	19	6	24.157 44	-6	4.261 05		26	64	26	41.552 35	-6	10.522 10	
	12	20	5	32.361 68	-6	4.284 93		27	65	25	49.756 58	-6	10.838 56	
	13	21	4	40.565 91	-6	4.341 60		28	66	24	57.960 82	-6	11.125 08	
	14	22	3	48.770 15	-6	4.436 55		29	67	24	6.165 06	-6	11.359 08	
	15	23	2	56.974 39	-6	4.569 66		30	68	23	14.369 30	-6	11.534 27	
	16	24	2	5.178 62	-6	4.735 49		Déc.	1	69	22	22.573 53	-6	11.657 60
	17	25	1	13.382 86	-6	4.924 00			2	70	21	30.777 77	-6	11.744 07
	18	26	0	21.587 10	-6	5.121 48		3	71	20	38.982 01	-6	11.811 88	
	19	26	59	29.791 34	-6	5.311 87		4	72	19	47.186 24	-6	11.879 18	
20	27	58	37.995 57	-6	5.478 55	5	73	18	55.390 48	-6	11.961 95			
21	28	57	46.199 81	-6	5.607 02	6	74	18	3.594 72	-6	12.072 64			
22	29	56	54.404 05	-6	5.688 84	7	75	17	11.798 95	-6	12.219 30			
23	30	56	2.608 28	-6	5.726 29	8	76	16	20.003 19	-6	12.404 73			
24	31	55	10.812 52	-6	5.735 97	9	77	15	28.207 43	-6	12.626 10			
25	32	54	19.016 76	-6	5.748 15	10	78	14	36.411 67	-6	12.875 02			
26	33	53	27.221 00	-6	5.798 79	11	79	13	44.615 90	-6	13.138 32			
27	34	52	35.425 23	-6	5.915 71	12	80	12	52.820 14	-6	13.399 79			
28	35	51	43.629 47	-6	6.105 89	13	81	12	1.024 38	-6	13.642 65			
29	36	50	51.833 71	-6	6.352 33	14	82	11	9.228 61	-6	13.852 47			
30	37	50	0.037 94	-6	6.622 27	15	83	10	17.432 85	-6	14.020 17			
31	38	49	8.242 18	-6	6.880 62	16	84	9	25.637 09	-6	14.144 64			
Nov.	1	39	48	16.446 42	-6	7.100 81	17	85	8	33.841 33	-6	14.234 36		
	2	40	47	24.650 66	-6	7.269 33	18	86	7	42.045 56	-6	14.307 68		
	3	41	46	32.854 89	-6	7.385 19	19	87	6	50.249 80	-6	14.390 71		
	4	42	45	41.059 13	-6	7.456 81	20	88	5	58.454 04	-6	14.512 10		
	5	43	44	49.263 37	-6	7.498 45	21	89	5	6.658 27	-6	14.694 81		
	6	44	43	57.467 60	-6	7.527 04	22	90	4	14.862 51	-6	14.946 93		
	7	45	43	5.671 84	-6	7.559 70	23	91	3	23.066 75	-6	15.255 98		
	8	46	42	13.876 08	-6	7.611 68	24	92	2	31.270 99	-6	15.591 22		
	9	47	41	22.080 32	-6	7.694 68	25	93	1	39.475 22	-6	15.914 32		
	10	48	40	30.284 55	-6	7.815 58	26	94	0	47.679 46	-6	16.193 06		
	11	49	39	38.488 79	-6	7.975 66	27	94	59	55.883 70	-6	16.410 73		
	12	50	38	46.693 03	-6	8.170 50	28	95	59	4.087 93	-6	16.567 75		
	13	51	37	54.897 26	-6	8.390 53	29	96	58	12.292 17	-6	16.677 28		
	14	52	37	3.101 50	-6	8.622 21	30	97	57	20.496 41	-6	16.758 71		
	15	53	36	11.305 74	-6	8.849 78	31	98	56	28.700 65	-6	16.832 38		
	16	54	35	19.509 98	-6	9.057 34	32	99	55	36.904 88	-6	16.916 14		
	17	55	34	27.714 21	-6	9.231 26	33	100	54	45.109 12	-6	17.023 82		

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE

Coordonnées du CIP X et Y, angle s II. 16

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2007 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Janv.	0	141.487 89	8.271 12	-0.002 01	Févr.	15	144.791 71	8.902 72	-0.002 16
	1	141.599 65	8.226 68	-0.001 99		16	144.880 05	8.968 40	-0.002 18
	2	141.726 94	8.204 12	-0.001 98		17	144.945 64	9.045 87	-0.002 21
	3	141.858 41	8.208 82	-0.001 98		18	144.984 11	9.119 73	-0.002 23
	4	141.982 42	8.239 42	-0.001 99		19	144.999 18	9.173 55	-0.002 25
	5	142.089 93	8.289 07	-0.002 00		20	145.002 40	9.195 87	-0.002 26
	6	142.176 22	8.347 92	-0.002 02		21	145.009 13	9.184 75	-0.002 25
	7	142.241 09	8.405 73	-0.002 04		22	145.032 92	9.148 26	-0.002 24
	8	142.287 95	8.453 94	-0.002 05		23	145.081 10	9.100 83	-0.002 22
	9	142.322 61	8.486 72	-0.002 07		24	145.153 43	9.058 05	-0.002 21
	10	142.351 93	8.501 21	-0.002 07		25	145.243 50	9.032 30	-0.002 19
	11	142.382 95	8.497 44	-0.002 07		26	145.341 48	9.030 38	-0.002 19
	12	142.422 16	8.477 91	-0.002 06		27	145.436 83	9.053 19	-0.002 20
	13	142.475 00	8.447 36	-0.002 05		28	145.520 51	9.096 62	-0.002 21
	14	142.545 28	8.412 42	-0.002 03	Mars	1	145.586 36	9.153 12	-0.002 23
	15	142.634 56	8.381 21	-0.002 02		2	145.631 73	9.213 47	-0.002 25
	16	142.741 33	8.362 48	-0.002 01		3	145.657 53	9.268 55	-0.002 27
	17	142.860 44	8.364 16	-0.002 01		4	145.667 67	9.310 76	-0.002 28
	18	142.983 09	8.391 28	-0.002 02		5	145.668 18	9.335 08	-0.002 29
	19	143.098 10	8.443 61	-0.002 03		6	145.666 09	9.339 59	-0.002 29
	20	143.194 61	8.514 32	-0.002 06		7	145.668 40	9.325 39	-0.002 29
	21	143.265 61	8.590 59	-0.002 08		8	145.681 12	9.296 27	-0.002 28
	22	143.310 89	8.656 90	-0.002 10		9	145.708 66	9.258 02	-0.002 26
	23	143.337 64	8.699 91	-0.002 12		10	145.753 39	9.217 71	-0.002 25
	24	143.358 27	8.712 75	-0.002 12		11	145.815 36	9.182 97	-0.002 23
	25	143.386 40	8.696 99	-0.002 12		12	145.892 11	9.161 14	-0.002 22
	26	143.432 84	8.661 57	-0.002 10		13	145.978 54	9.158 32	-0.002 22
	27	143.502 86	8.619 82	-0.002 09		14	146.067 05	9.178 06	-0.002 23
	28	143.595 46	8.585 60	-0.002 07		15	146.148 17	9.219 81	-0.002 24
	29	143.704 23	8.570 03	-0.002 07		16	146.212 26	9.277 49	-0.002 26
	30	143.819 37	8.579 26	-0.002 07		17	146.252 31	9.339 05	-0.002 28
	31	143.930 18	8.613 64	-0.002 08		18	146.267 39	9.388 40	-0.002 30
Févr.	1	144.027 45	8.668 34	-0.002 09		19	146.264 86	9.410 27	-0.002 31
	2	144.105 19	8.734 89	-0.002 11		20	146.259 20	9.396 53	-0.002 30
	3	144.161 45	8.803 38	-0.002 14		21	146.266 84	9.350 32	-0.002 28
	4	144.198 18	8.864 54	-0.002 16		22	146.299 55	9.285 06	-0.002 26
	5	144.220 27	8.911 32	-0.002 17		23	146.360 31	9.218 80	-0.002 24
	6	144.234 37	8.939 67	-0.002 18		24	146.443 48	9.167 45	-0.002 22
	7	144.247 68	8.948 70	-0.002 19		25	146.538 20	9.140 49	-0.002 20
	8	144.266 96	8.940 37	-0.002 18		26	146.632 51	9.139 96	-0.002 20
	9	144.297 87	8.918 96	-0.002 18		27	146.716 31	9.161 92	-0.002 21
	10	144.344 50	8.890 58	-0.002 16		28	146.782 92	9.198 69	-0.002 22
	11	144.408 93	8.862 59	-0.002 15		29	146.829 45	9.241 04	-0.002 23
	12	144.490 78	8.843 04	-0.002 14		30	146.856 47	9.279 87	-0.002 25
	13	144.586 75	8.839 72	-0.002 14		31	146.867 41	9.307 48	-0.002 26
	14	144.690 25	8.858 77	-0.002 15	Avril	1	146.867 80	9.318 40	-0.002 26

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2007 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Avril	2	146.864 36	9.309 95	-0.002 26	Mai	18	149.348 19	8.236 83	-0.001 82
	3	146.864 07	9.282 39	-0.002 25		19	149.475 37	8.199 58	-0.001 80
	4	146.873 27	9.238 76	-0.002 23		20	149.599 78	8.192 95	-0.001 80
	5	146.896 82	9.184 46	-0.002 21		21	149.709 32	8.210 50	-0.001 80
	6	146.937 53	9.126 40	-0.002 19		22	149.797 34	8.241 53	-0.001 81
	7	146.995 79	9.072 19	-0.002 17		23	149.862 64	8.274 68	-0.001 82
	8	147.069 47	9.029 14	-0.002 15		24	149.908 22	8.300 35	-0.001 83
	9	147.153 96	9.003 26	-0.002 14		25	149.939 66	8.311 80	-0.001 83
	10	147.242 57	8.998 26	-0.002 14		26	149.963 83	8.305 33	-0.001 83
	11	147.327 14	9.014 50	-0.002 14		27	149.987 86	8.280 18	-0.001 82
	12	147.399 11	9.048 01	-0.002 15		28	150.018 45	8.238 25	-0.001 81
	13	147.451 39	9.089 96	-0.002 17		29	150.061 26	8.183 74	-0.001 79
	14	147.480 75	9.127 24	-0.002 18		30	150.120 29	8.122 80	-0.001 76
	15	147.490 28	9.145 03	-0.002 18		31	150.197 31	8.062 86	-0.001 74
	16	147.490 42	9.131 47	-0.002 18	Juin	1	150.291 38	8.011 77	-0.001 72
	17	147.496 80	9.083 07	-0.002 16		2	150.398 68	7.976 55	-0.001 70
	18	147.524 69	9.007 65	-0.002 13		3	150.512 83	7.962 05	-0.001 70
	19	147.582 65	8.922 08	-0.002 10		4	150.625 70	7.969 74	-0.001 70
	20	147.669 15	8.845 59	-0.002 07		5	150.728 81	7.996 89	-0.001 70
	21	147.774 06	8.792 52	-0.002 05		6	150.815 10	8.036 54	-0.001 72
	22	147.883 53	8.768 59	-0.002 04		7	150.880 60	8.078 30	-0.001 73
	23	147.984 82	8.771 25	-0.002 04		8	150.925 91	8.110 17	-0.001 74
	24	148.069 22	8.792 57	-0.002 05		9	150.956 86	8.121 10	-0.001 75
	25	148.132 75	8.822 44	-0.002 06		10	150.983 94	8.104 01	-0.001 74
	26	148.175 67	8.850 96	-0.002 06		11	151.020 28	8.058 57	-0.001 72
	27	148.201 35	8.869 91	-0.002 07		12	151.078 04	7.992 45	-0.001 70
	28	148.215 25	8.873 48	-0.002 07		13	151.164 29	7.920 07	-0.001 67
	29	148.223 98	8.858 53	-0.002 07		14	151.278 05	7.858 46	-0.001 64
	30	148.234 49	8.824 74	-0.002 05		15	151.410 14	7.821 53	-0.001 63
Mai	1	148.253 28	8.774 47	-0.002 04		16	151.546 47	7.815 61	-0.001 62
	2	148.285 67	8.712 50	-0.002 01		17	151.672 91	7.838 10	-0.001 63
	3	148.335 06	8.645 45	-0.001 99		18	151.779 42	7.879 74	-0.001 64
	4	148.402 45	8.580 96	-0.001 96		19	151.861 91	7.928 45	-0.001 66
	5	148.486 11	8.526 63	-0.001 94		20	151.921 79	7.972 88	-0.001 67
	6	148.581 68	8.488 83	-0.001 93		21	151.964 20	8.004 56	-0.001 68
	7	148.682 60	8.471 62	-0.001 92		22	151.996 26	8.018 60	-0.001 69
	8	148.780 99	8.475 69	-0.001 92		23	152.025 54	8.013 55	-0.001 69
	9	148.868 77	8.497 81	-0.001 92		24	152.059 15	7.990 89	-0.001 68
	10	148.939 20	8.530 58	-0.001 93		25	152.103 11	7.954 42	-0.001 66
	11	148.988 68	8.563 01	-0.001 94		26	152.161 90	7.909 84	-0.001 64
	12	149.018 42	8.582 22	-0.001 95		27	152.238 00	7.864 20	-0.001 63
	13	149.035 58	8.576 46	-0.001 95		28	152.331 43	7.825 25	-0.001 61
	14	149.052 71	8.539 07	-0.001 93		29	152.439 43	7.800 46	-0.001 60
	15	149.084 66	8.472 15	-0.001 91		30	152.556 32	7.795 70	-0.001 60
	16	149.143 47	8.387 49	-0.001 88	Juill.	1	152.674 09	7.813 81	-0.001 60
	17	149.233 22	8.303 14	-0.001 85		2	152.783 65	7.853 27	-0.001 61

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2007 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Juill.	3	152.876 77	7.907 77	-0.001 63	Août	18	155.771 22	8.556 19	-0.001 82
	4	152.948 31	7.966 90	-0.001 65		19	155.797 35	8.531 41	-0.001 81
	5	152.997 94	8.018 24	-0.001 67		20	155.838 74	8.500 51	-0.001 79
	6	153.030 88	8.050 28	-0.001 68		21	155.896 74	8.470 69	-0.001 78
	7	153.057 06	8.055 56	-0.001 68		22	155.970 46	8.449 19	-0.001 77
	8	153.088 87	8.032 99	-0.001 67		23	156.056 61	8.442 58	-0.001 77
	9	153.138 03	7.988 69	-0.001 66		24	156.149 54	8.455 81	-0.001 77
	10	153.212 24	7.934 80	-0.001 63		25	156.241 44	8.490 99	-0.001 78
	11	153.312 77	7.886 45	-0.001 61		26	156.323 29	8.546 04	-0.001 80
	12	153.433 74	7.857 50	-0.001 60		27	156.386 67	8.613 75	-0.001 83
	13	153.563 78	7.856 57	-0.001 60		28	156.426 47	8.682 02	-0.001 85
	14	153.689 42	7.884 69	-0.001 61		29	156.443 47	8.736 37	-0.001 87
	15	153.799 07	7.935 63	-0.001 62		30	156.445 53	8.764 25	-0.001 88
	16	153.885 83	7.998 50	-0.001 65		31	156.445 88	8.759 82	-0.001 88
	17	153.948 49	8.061 25	-0.001 67	Sept.	1	156.458 82	8.726 52	-0.001 87
	18	153.990 69	8.113 67	-0.001 69		2	156.494 84	8.676 08	-0.001 85
	19	154.019 10	8.149 09	-0.001 70		3	156.557 35	8.624 32	-0.001 83
	20	154.041 61	8.164 75	-0.001 70		4	156.642 28	8.586 13	-0.001 81
	21	154.065 86	8.161 38	-0.001 70		5	156.740 10	8.571 51	-0.001 80
	22	154.098 38	8.142 39	-0.001 69		6	156.839 03	8.583 85	-0.001 81
	23	154.144 12	8.113 17	-0.001 68		7	156.927 98	8.620 14	-0.001 82
	24	154.206 10	8.080 43	-0.001 67		8	156.998 84	8.672 59	-0.001 84
	25	154.285 14	8.051 60	-0.001 66		9	157.047 67	8.730 89	-0.001 86
	26	154.379 56	8.034 14	-0.001 65		10	157.074 91	8.784 54	-0.001 88
	27	154.484 98	8.034 56	-0.001 65		11	157.084 75	8.824 84	-0.001 89
	28	154.594 33	8.057 09	-0.001 65		12	157.083 89	8.846 22	-0.001 90
	29	154.698 66	8.102 16	-0.001 67		13	157.080 11	8.846 80	-0.001 90
	30	154.788 73	8.165 24	-0.001 69		14	157.080 84	8.828 22	-0.001 89
	31	154.857 41	8.236 73	-0.001 72		15	157.092 16	8.794 88	-0.001 88
Août	1	154.902 31	8.303 54	-0.001 74		16	157.118 14	8.753 05	-0.001 86
	2	154.927 25	8.352 48	-0.001 76		17	157.160 60	8.709 87	-0.001 85
	3	154.941 86	8.374 19	-0.001 77		18	157.219 06	8.672 52	-0.001 83
	4	154.959 03	8.366 29	-0.001 76		19	157.290 87	8.647 46	-0.001 82
	5	154.991 18	8.334 27	-0.001 75		20	157.371 31	8.639 77	-0.001 82
	6	155.046 62	8.289 90	-0.001 73		21	157.453 86	8.652 29	-0.001 82
	7	155.127 37	8.247 82	-0.001 71		22	157.530 66	8.684 66	-0.001 83
	8	155.228 89	8.221 59	-0.001 70		23	157.593 61	8.732 32	-0.001 85
	9	155.341 54	8.220 31	-0.001 70		24	157.636 20	8.785 98	-0.001 87
	10	155.453 30	8.246 65	-0.001 71		25	157.656 03	8.832 39	-0.001 88
	11	155.552 83	8.296 72	-0.001 72		26	157.657 20	8.857 29	-0.001 89
	12	155.632 13	8.361 61	-0.001 75		27	157.650 84	8.850 29	-0.001 89
	13	155.688 00	8.430 05	-0.001 77		28	157.652 30	8.809 76	-0.001 87
	14	155.722 09	8.491 21	-0.001 79		29	157.675 62	8.744 73	-0.001 85
	15	155.739 84	8.536 94	-0.001 81		30	157.727 95	8.671 83	-0.001 82
	16	155.748 78	8.562 83	-0.001 82	Oct.	1	157.807 11	8.608 97	-0.001 80
	17	155.756 87	8.568 35	-0.001 82		2	157.903 34	8.569 25	-0.001 78

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2007 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Oct. 3	158.003 54	8.557 86	-0.001 77	Nov. 18	160.484 29	7.837 00	-0.001 44
4	158.095 36	8.572 34	-0.001 78	19	160.523 14	7.856 93	-0.001 45
5	158.169 95	8.604 93	-0.001 79	20	160.548 08	7.857 03	-0.001 45
6	158.223 01	8.645 29	-0.001 80	21	160.568 82	7.828 97	-0.001 44
7	158.254 60	8.682 99	-0.001 81	22	160.598 96	7.770 80	-0.001 42
8	158.268 37	8.709 24	-0.001 82	23	160.652 24	7.689 67	-0.001 38
9	158.270 44	8.718 01	-0.001 83	24	160.737 14	7.601 35	-0.001 35
10	158.268 18	8.706 59	-0.001 82	25	160.852 49	7.525 26	-0.001 32
11	158.269 02	8.675 60	-0.001 81	26	160.987 12	7.476 97	-0.001 29
12	158.279 40	8.628 64	-0.001 79	27	161.124 43	7.462 38	-0.001 29
13	158.303 99	8.571 48	-0.001 77	28	161.248 83	7.476 91	-0.001 29
14	158.345 16	8.511 15	-0.001 75	29	161.350 49	7.509 02	-0.001 30
15	158.402 88	8.454 94	-0.001 72	30	161.426 65	7.545 28	-0.001 31
16	158.474 82	8.409 46	-0.001 70	Déc. 1	161.480 32	7.574 13	-0.001 32
17	158.556 62	8.379 90	-0.001 69	2	161.517 96	7.587 75	-0.001 33
18	158.642 35	8.369 31	-0.001 69	3	161.547 48	7.582 35	-0.001 33
19	158.725 04	8.377 96	-0.001 69	4	161.576 74	7.557 70	-0.001 32
20	158.797 49	8.402 77	-0.001 69	5	161.612 66	7.516 43	-0.001 30
21	158.853 39	8.436 86	-0.001 71	6	161.660 68	7.463 37	-0.001 28
22	158.889 06	8.469 68	-0.001 72	7	161.724 27	7.404 85	-0.001 25
23	158.905 47	8.488 32	-0.001 73	8	161.804 67	7.348 03	-0.001 23
24	158.909 78	8.480 64	-0.001 72	9	161.900 68	7.300 02	-0.001 21
25	158.915 10	8.439 82	-0.001 71	10	162.008 66	7.266 93	-0.001 19
26	158.937 04	8.368 71	-0.001 68	11	162.122 92	7.252 89	-0.001 19
27	158.987 68	8.280 59	-0.001 64	12	162.236 43	7.259 15	-0.001 19
28	159.070 08	8.194 86	-0.001 61	13	162.341 90	7.283 56	-0.001 19
29	159.176 93	8.129 37	-0.001 58	14	162.433 07	7.320 56	-0.001 21
30	159.294 03	8.094 04	-0.001 57	15	162.506 00	7.361 71	-0.001 22
31	159.406 17	8.088 91	-0.001 56	16	162.560 17	7.396 88	-0.001 24
Nov. 1	159.501 81	8.106 34	-0.001 57	17	162.599 23	7.415 93	-0.001 24
2	159.575 07	8.135 02	-0.001 58	18	162.631 14	7.410 95	-0.001 24
3	159.625 49	8.163 45	-0.001 59	19	162.667 20	7.378 71	-0.001 23
4	159.656 72	8.182 11	-0.001 59	20	162.719 83	7.322 78	-0.001 20
5	159.674 90	8.184 57	-0.001 59	21	162.799 03	7.254 12	-0.001 17
6	159.687 40	8.167 74	-0.001 59	22	162.908 32	7.189 06	-0.001 15
7	159.701 61	8.131 69	-0.001 57	23	163.042 35	7.144 40	-0.001 13
8	159.724 17	8.079 34	-0.001 55	24	163.187 80	7.131 29	-0.001 12
9	159.760 16	8.015 89	-0.001 53	25	163.328 05	7.151 08	-0.001 12
10	159.812 57	7.948 04	-0.001 50	26	163.449 13	7.195 56	-0.001 14
11	159.881 97	7.883 11	-0.001 47	27	163.543 75	7.251 05	-0.001 16
12	159.966 46	7.828 04	-0.001 45	28	163.612 07	7.303 55	-0.001 18
13	160.061 91	7.788 41	-0.001 43	29	163.659 76	7.342 46	-0.001 19
14	160.162 44	7.767 64	-0.001 42	30	163.695 24	7.362 07	-0.001 20
15	160.261 24	7.766 31	-0.001 42	31	163.727 30	7.361 20	-0.001 20
16	160.351 39	7.781 83	-0.001 42	32	163.763 70	7.342 24	-0.001 19
17	160.426 98	7.808 34	-0.001 43	33	163.810 44	7.309 93	-0.001 18

SOLEIL

Longitude, latitude, rayon vecteur	II. 22
Ascension droite et déclinaison apparentes, temps de passage ..	II. 26
Coordonnées rectangulaires (X, Y, Z)	II. 30

SOLEIL 2007 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.		
	° ' "	"	ua		° ' "	"	ua		
Janv.	0	279 3 41.38	+3.67	0.983 307 50	Févr.	15	325 48 57.83	+1.15	0.987 648 82
	1	280 4 49.36	+3.70	0.983 286 08		16	326 49 35.55	+1.20	0.987 849 11
	2	281 5 57.27	+3.70	0.983 271 00		17	327 50 11.92	+1.27	0.988 051 67
	3	282 7 5.16	+3.67	0.983 262 38		18	328 50 46.86	+1.36	0.988 256 29
	4	283 8 13.04	+3.61	0.983 260 29		19	329 51 20.25	+1.45	0.988 462 87
	5	284 9 20.94	+3.52	0.983 264 68		20	330 51 52.00	+1.54	0.988 671 39
	6	285 10 28.88	+3.40	0.983 275 47		21	331 52 22.00	+1.62	0.988 881 96
	7	286 11 36.88	+3.27	0.983 292 52		22	332 52 50.17	+1.69	0.989 094 76
	8	287 12 44.94	+3.13	0.983 315 65		23	333 53 16.45	+1.72	0.989 310 03
	9	288 13 53.06	+2.98	0.983 344 67		24	334 53 40.79	+1.73	0.989 528 04
	10	289 15 1.21	+2.83	0.983 379 35		25	335 54 3.16	+1.70	0.989 749 06
	11	290 16 9.39	+2.69	0.983 419 47		26	336 54 23.55	+1.64	0.989 973 33
	12	291 17 17.56	+2.56	0.983 464 78		27	337 54 41.97	+1.55	0.990 201 08
	13	292 18 25.69	+2.45	0.983 515 05		28	338 54 58.43	+1.43	0.990 432 48
14	293 19 33.73	+2.35	0.983 570 01	Mars	1	339 55 12.95	+1.29	0.990 667 64	
15	294 20 41.63	+2.29	0.983 629 43		2	340 55 25.56	+1.12	0.990 906 64	
16	295 21 49.33	+2.25	0.983 693 05		3	341 55 36.29	+0.94	0.991 149 51	
17	296 22 56.76	+2.24	0.983 760 62		4	342 55 45.18	+0.76	0.991 396 23	
18	297 24 3.82	+2.26	0.983 831 94		5	343 55 52.26	+0.57	0.991 646 72	
19	298 25 10.44	+2.31	0.983 906 82		6	344 55 57.57	+0.39	0.991 900 86	
20	299 26 16.49	+2.38	0.983 985 16		7	345 56 1.13	+0.22	0.992 158 50	
21	300 27 21.88	+2.47	0.984 066 92		8	346 56 2.98	+0.06	0.992 419 46	
22	301 28 26.49	+2.57	0.984 152 16		9	347 56 3.14	-0.08	0.992 683 51	
23	302 29 30.22	+2.68	0.984 241 03		10	348 56 1.62	-0.19	0.992 950 41	
24	303 30 32.99	+2.78	0.984 333 73		11	349 55 58.45	-0.28	0.993 219 87	
25	304 31 34.71	+2.87	0.984 430 55	12	350 55 53.62	-0.33	0.993 491 58		
26	305 32 35.32	+2.94	0.984 531 79	13	351 55 47.15	-0.36	0.993 765 23		
27	306 33 34.80	+2.99	0.984 637 76	14	352 55 39.02	-0.36	0.994 040 46		
28	307 34 33.12	+3.00	0.984 748 74	15	353 55 29.22	-0.33	0.994 316 89		
29	308 35 30.28	+2.98	0.984 865 00	16	354 55 17.72	-0.27	0.994 594 14		
30	309 36 26.27	+2.93	0.984 986 74	17	355 55 4.46	-0.20	0.994 871 83		
Févr.	31	310 37 21.13	+2.84	0.985 114 13	18	356 54 49.38	-0.11	0.995 149 63	
	1	311 38 14.86	+2.73	0.985 247 26	19	357 54 32.41	-0.02	0.995 427 27	
	2	312 39 7.51	+2.59	0.985 386 15	20	358 54 13.46	+0.06	0.995 704 59	
	3	313 39 59.08	+2.44	0.985 530 78	21	359 53 52.42	+0.13	0.995 981 53	
	4	314 40 49.61	+2.27	0.985 681 06	22	0 53 29.23	+0.17	0.996 258 16	
	5	315 41 39.12	+2.10	0.985 836 87	23	1 53 3.80	+0.19	0.996 534 64	
	6	316 42 27.62	+1.92	0.985 998 03	24	2 52 36.08	+0.17	0.996 811 19	
	7	317 43 15.11	+1.75	0.986 164 34	25	3 52 6.05	+0.12	0.997 088 05	
	8	318 44 1.61	+1.60	0.986 335 57	26	4 51 33.69	+0.03	0.997 365 46	
	9	319 44 47.10	+1.46	0.986 511 47	27	5 50 58.99	-0.08	0.997 643 66	
	10	320 45 31.57	+1.34	0.986 691 77	28	6 50 21.99	-0.22	0.997 922 84	
	11	321 46 15.01	+1.24	0.986 876 19	29	7 49 42.70	-0.38	0.998 203 16	
	12	322 46 57.40	+1.17	0.987 064 42	30	8 49 1.15	-0.55	0.998 484 72	
	13	323 47 38.69	+1.13	0.987 256 16	31	9 48 17.39	-0.73	0.998 767 62	
14	324 48 18.86	+1.13	0.987 451 07	Avril	1	10 47 31.45	-0.91	0.999 051 89	

SOLEIL 2007 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.
	° ' "	"	ua		° ' "	"	ua
Avril	2 11 46 43.39	-1.09	0.999 337 53	Mai	18 56 36 7.18	-2.34	1.011 400 93
	3 12 45 53.26	-1.26	0.999 624 49		19 57 33 56.20	-2.37	1.011 604 96
	4 13 45 1.10	-1.42	0.999 912 71		20 58 31 43.67	-2.44	1.011 804 29
	5 14 44 6.96	-1.56	1.000 202 06		21 59 29 29.54	-2.54	1.011 999 12
	6 15 43 10.90	-1.68	1.000 492 38		22 60 27 13.81	-2.65	1.012 189 67
	7 16 42 12.96	-1.76	1.000 783 47		23 61 24 56.48	-2.78	1.012 376 17
	8 17 41 13.18	-1.83	1.001 075 12		24 62 22 37.58	-2.93	1.012 558 85
	9 18 40 11.61	-1.86	1.001 367 06		25 63 20 17.12	-3.07	1.012 737 92
	10 19 39 8.28	-1.86	1.001 658 98		26 64 17 55.15	-3.21	1.012 913 58
	11 20 38 3.22	-1.83	1.001 950 55		27 65 15 31.71	-3.35	1.013 085 99
	12 21 36 56.44	-1.78	1.002 241 41		28 66 13 6.86	-3.47	1.013 255 32
	13 22 35 47.95	-1.71	1.002 531 15		29 67 10 40.65	-3.57	1.013 421 68
	14 23 34 37.75	-1.63	1.002 819 39		30 68 8 13.15	-3.65	1.013 585 17
	15 24 33 25.81	-1.54	1.003 105 70		31 69 5 44.42	-3.71	1.013 745 89
	16 25 32 12.08	-1.45	1.003 389 74		Juin 1 70 3 14.55	-3.74	1.013 903 86
	17 26 30 56.50	-1.37	1.003 671 20		2 71 0 43.61	-3.74	1.014 059 10
18 27 29 39.00	-1.31	1.003 949 89	3 71 58 11.69	-3.71	1.014 211 55		
19 28 28 19.52	-1.28	1.004 225 75	4 72 55 38.86	-3.66	1.014 361 12		
20 29 26 57.96	-1.28	1.004 498 81	5 73 53 5.21	-3.58	1.014 507 68		
21 30 25 34.29	-1.31	1.004 769 21	6 74 50 30.81	-3.48	1.014 651 01		
22 31 24 8.46	-1.37	1.005 037 17	7 75 47 55.75	-3.37	1.014 790 86		
23 32 22 40.46	-1.47	1.005 302 91	8 76 45 20.07	-3.25	1.014 926 93		
24 33 21 10.27	-1.59	1.005 566 67	9 77 42 43.84	-3.13	1.015 058 88		
25 34 19 37.92	-1.73	1.005 828 67	10 78 40 7.08	-3.01	1.015 186 33		
26 35 18 3.43	-1.88	1.006 089 10	11 79 37 29.82	-2.91	1.015 308 90		
27 36 16 26.84	-2.05	1.006 348 13	12 80 34 52.05	-2.83	1.015 426 23		
28 37 14 48.17	-2.21	1.006 605 90	13 81 32 13.76	-2.78	1.015 537 98		
29 38 13 7.50	-2.38	1.006 862 52	14 82 29 34.91	-2.76	1.015 643 92		
30 39 11 24.86	-2.54	1.007 118 05	15 83 26 55.46	-2.77	1.015 743 87		
Mai 1 40 9 40.31	-2.68	1.007 372 55	16 84 24 15.37	-2.81	1.015 837 77		
2 41 7 53.93	-2.80	1.007 626 02	17 85 21 34.59	-2.87	1.015 925 67		
3 42 6 5.76	-2.91	1.007 878 44	18 86 18 53.10	-2.96	1.016 007 68		
4 43 4 15.89	-2.98	1.008 129 74	19 87 16 10.86	-3.07	1.016 083 99		
5 44 2 24.38	-3.03	1.008 379 81	20 88 13 27.87	-3.19	1.016 154 80		
6 45 0 31.28	-3.05	1.008 628 51	21 89 10 44.13	-3.31	1.016 220 35		
7 45 58 36.68	-3.05	1.008 875 64	22 90 7 59.68	-3.43	1.016 280 88		
8 46 56 40.64	-3.01	1.009 120 97	23 91 5 14.51	-3.54	1.016 336 62		
9 47 54 43.20	-2.96	1.009 364 21	24 92 2 28.69	-3.64	1.016 387 80		
10 48 52 44.41	-2.88	1.009 605 05	25 92 59 42.24	-3.72	1.016 434 62		
11 49 50 44.33	-2.78	1.009 843 12	26 93 56 55.22	-3.78	1.016 477 30		
12 50 48 42.96	-2.68	1.010 078 04	27 94 54 7.68	-3.82	1.016 516 03		
13 51 46 40.32	-2.58	1.010 309 40	28 95 51 19.70	-3.82	1.016 550 98		
14 52 44 36.41	-2.49	1.010 536 80	29 96 48 31.33	-3.80	1.016 582 30		
15 53 42 31.18	-2.41	1.010 759 89	30 97 45 42.66	-3.75	1.016 610 11		
16 54 40 24.61	-2.36	1.010 978 38	Juill. 1 98 42 53.78	-3.68	1.016 634 49		
17 55 38 16.63	-2.33	1.011 192 09	2 99 40 4.77	-3.58	1.016 655 47		

SOLEIL 2007 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.		
	° ' "	"	ua		° ' "	"	ua		
Juill.	3	100 37 15.73	-3.45	1.016 673 02	Août	18	144 35 48.56	-2.15	1.012 406 33
	4	101 34 26.75	-3.32	1.016 687 04		19	145 33 31.19	-2.18	1.012 208 14
	5	102 31 37.93	-3.17	1.016 697 36		20	146 31 14.91	-2.18	1.012 005 91
	6	103 28 49.33	-3.02	1.016 703 76		21	147 28 59.73	-2.16	1.011 799 92
	7	104 26 1.03	-2.88	1.016 705 95		22	148 26 45.66	-2.11	1.011 590 47
	8	105 23 13.08	-2.76	1.016 703 60		23	149 24 32.74	-2.03	1.011 377 84
	9	106 20 25.52	-2.65	1.016 696 38		24	150 22 20.99	-1.93	1.011 162 35
	10	107 17 38.38	-2.57	1.016 683 94		25	151 20 10.46	-1.79	1.010 944 32
	11	108 14 51.65	-2.52	1.016 665 95		26	152 18 1.20	-1.63	1.010 724 04
	12	109 12 5.32	-2.50	1.016 642 13		27	153 15 53.28	-1.45	1.010 501 80
	13	110 9 19.36	-2.51	1.016 612 29		28	154 13 46.79	-1.26	1.010 277 85
	14	111 6 33.74	-2.55	1.016 576 28		29	155 11 41.80	-1.06	1.010 052 36
15	112 3 48.43	-2.61	1.016 534 08	30	156 9 38.41	-0.86	1.009 825 41		
16	113 1 3.38	-2.70	1.016 485 72	31	157 7 36.73	-0.68	1.009 596 99		
17	113 58 18.58	-2.79	1.016 431 32	Sept.	1	158 5 36.85	-0.52	1.009 367 01	
18	114 55 33.99	-2.89	1.016 371 05		2	159 3 38.83	-0.38	1.009 135 28	
19	115 52 49.61	-3.00	1.016 305 11		3	160 1 42.75	-0.27	1.008 901 53	
20	116 50 5.44	-3.09	1.016 233 73		4	160 59 48.64	-0.19	1.008 665 51	
21	117 47 21.49	-3.17	1.016 157 17		5	161 57 56.53	-0.15	1.008 426 92	
22	118 44 37.78	-3.24	1.016 075 68		6	162 56 6.43	-0.14	1.008 185 51	
23	119 41 54.34	-3.28	1.015 989 50		7	163 54 18.32	-0.15	1.007 941 05	
24	120 39 11.19	-3.30	1.015 898 90		8	164 52 32.19	-0.19	1.007 693 36	
25	121 36 28.37	-3.29	1.015 804 13		9	165 50 48.02	-0.25	1.007 442 31	
26	122 33 45.95	-3.25	1.015 705 45		10	166 49 5.76	-0.31	1.007 187 84	
27	123 31 3.97	-3.18	1.015 603 10		11	167 47 25.37	-0.38	1.006 929 94	
28	124 28 22.49	-3.09	1.015 497 32		12	168 45 46.83	-0.45	1.006 668 64	
29	125 25 41.61	-2.97	1.015 388 30	13	169 44 10.09	-0.50	1.006 404 05		
30	126 23 1.40	-2.82	1.015 276 21	14	170 42 35.11	-0.55	1.006 136 30		
31	127 20 21.95	-2.66	1.015 161 15	15	171 41 1.87	-0.57	1.005 865 59		
Août	1	128 17 43.37	-2.49	1.015 043 16	16	172 39 30.34	-0.57	1.005 592 11	
	2	129 15 5.75	-2.32	1.014 922 17	17	173 38 0.50	-0.55	1.005 316 11	
	3	130 12 29.19	-2.15	1.014 798 06	18	174 36 32.33	-0.50	1.005 037 86	
	4	131 9 53.76	-1.99	1.014 670 62	19	175 35 5.83	-0.42	1.004 757 64	
	5	132 7 19.54	-1.86	1.014 539 58	20	176 33 40.98	-0.31	1.004 475 76	
	6	133 4 46.57	-1.75	1.014 404 64	21	177 32 17.79	-0.18	1.004 192 55	
	7	134 2 14.89	-1.66	1.014 265 48	22	178 30 56.28	-0.02	1.003 908 36	
	8	134 59 44.52	-1.62	1.014 121 82	23	179 29 36.46	+0.16	1.003 623 55	
	9	135 57 15.46	-1.60	1.013 973 36	24	180 28 18.37	+0.36	1.003 338 48	
	10	136 54 47.69	-1.61	1.013 819 89	25	181 27 2.06	+0.56	1.003 053 51	
	11	137 52 21.19	-1.65	1.013 661 24	26	182 25 47.60	+0.76	1.002 768 93	
	12	138 49 55.92	-1.71	1.013 497 33	27	183 24 35.06	+0.96	1.002 485 00	
13	139 47 31.85	-1.78	1.013 328 13	28	184 23 24.54	+1.14	1.002 201 83		
14	140 45 8.96	-1.87	1.013 153 69	29	185 22 16.12	+1.29	1.001 919 47		
15	141 42 47.20	-1.95	1.012 974 11	30	186 21 9.88	+1.41	1.001 637 82		
16	142 40 26.56	-2.03	1.012 789 55	Oct.	1	187 20 5.90	+1.50	1.001 356 71	
17	143 38 7.02	-2.09	1.012 600 22		2	188 19 4.22	+1.55	1.001 075 92	

SOLEIL 2007 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.					
	° ' "	"	ua		° ' "	"	ua					
Oct.	3	189 18	4.87	+1.58	1.000 795 18	Nov.	18	235 8	56.14	+3.29	0.988 607 55	
	4	190 17	7.86	+1.57	1.000 514 24		19	236 9	26.61	+3.46	0.988 389 16	
	5	191 16	13.19	+1.54	1.000 232 88		20	237 9	58.32	+3.61	0.988 174 57	
	6	192 15	20.84	+1.49	0.999 950 89		21	238 10	31.27	+3.76	0.987 964 16	
	7	193 14	30.77	+1.43	0.999 668 11		22	239 11	5.45	+3.89	0.987 758 33	
	8	194 13	42.95	+1.36	0.999 384 45		23	240 11	40.89	+3.99	0.987 557 44	
	9	195 12	57.35	+1.29	0.999 099 83		24	241 12	17.64	+4.05	0.987 361 76	
	10	196 12	13.90	+1.23	0.998 814 23		25	242 12	55.76	+4.08	0.987 171 47	
	11	197 11	32.56	+1.18	0.998 527 69		26	243 13	35.29	+4.08	0.986 986 65	
	12	198 10	53.28	+1.15	0.998 240 26		27	244 14	16.30	+4.04	0.986 807 22	
	13	199 10	16.01	+1.14	0.997 952 06		28	245 14	58.82	+3.98	0.986 633 05	
	14	200 9	40.70	+1.15	0.997 663 23		29	246 15	42.88	+3.89	0.986 463 92	
	15	201 9	7.30	+1.19	0.997 373 96		30	247 16	28.48	+3.79	0.986 299 60	
	16	202 8	35.77	+1.25	0.997 084 47		Déc.	1	248 17	15.61	+3.68	0.986 139 84
	17	203 8	6.07	+1.35	0.996 795 00			2	249 18	4.24	+3.57	0.985 984 40
	18	204 7	38.16	+1.46	0.996 505 83		3	250 18	54.33	+3.46	0.985 833 07	
	19	205 7	12.02	+1.61	0.996 217 26		4	251 19	45.83	+3.36	0.985 685 67	
20	206 6	47.62	+1.77	0.995 929 63	5	252 20	38.69	+3.28	0.985 542 03			
21	207 6	24.95	+1.95	0.995 643 31	6	253 21	32.84	+3.23	0.985 402 02			
22	208 6	4.00	+2.14	0.995 358 67	7	254 22	28.22	+3.19	0.985 265 53			
23	209 5	44.79	+2.33	0.995 076 12	8	255 23	24.76	+3.18	0.985 132 46			
24	210 5	27.34	+2.51	0.994 796 03	9	256 24	22.37	+3.19	0.985 002 76			
25	211 5	11.70	+2.68	0.994 518 77	10	257 25	20.97	+3.23	0.984 876 42			
26	212 4	57.94	+2.83	0.994 244 59	11	258 26	20.49	+3.29	0.984 753 44			
27	213 4	46.12	+2.95	0.993 973 69	12	259 27	20.83	+3.38	0.984 633 89			
28	214 4	36.33	+3.03	0.993 706 09	13	260 28	21.91	+3.49	0.984 517 87			
29	215 4	28.63	+3.08	0.993 441 75	14	261 29	23.64	+3.61	0.984 405 52			
30	216 4	23.07	+3.10	0.993 180 50	15	262 30	25.94	+3.74	0.984 297 04			
31	217 4	19.70	+3.08	0.992 922 12	16	263 31	28.74	+3.87	0.984 192 66			
Nov.	1	218 4	18.52	+3.04	0.992 666 37	17	264 32	31.96	+4.00	0.984 092 68		
	2	219 4	19.53	+2.98	0.992 413 01	18	265 33	35.56	+4.12	0.983 997 41		
	3	220 4	22.71	+2.90	0.992 161 82	19	266 34	39.48	+4.21	0.983 907 21		
	4	221 4	28.04	+2.82	0.991 912 60	20	267 35	43.71	+4.28	0.983 822 43		
	5	222 4	35.46	+2.74	0.991 665 20	21	268 36	48.22	+4.33	0.983 743 45		
	6	223 4	44.94	+2.66	0.991 419 49	22	269 37	53.04	+4.33	0.983 670 59		
	7	224 4	56.42	+2.59	0.991 175 40	23	270 38	58.19	+4.30	0.983 604 10		
	8	225 5	9.84	+2.54	0.990 932 85	24	271 40	3.72	+4.24	0.983 544 15		
	9	226 5	25.13	+2.51	0.990 691 85	25	272 41	9.66	+4.14	0.983 490 79		
	10	227 5	42.23	+2.50	0.990 452 40	26	273 42	16.06	+4.02	0.983 443 97		
	11	228 6	1.07	+2.52	0.990 214 57	27	274 43	22.95	+3.89	0.983 403 55		
	12	229 6	21.59	+2.56	0.989 978 44	28	275 44	30.34	+3.74	0.983 369 32		
	13	230 6	43.71	+2.63	0.989 744 15	29	276 45	38.24	+3.59	0.983 341 04		
	14	231 7	7.37	+2.73	0.989 511 87	30	277 46	46.63	+3.45	0.983 318 45		
	15	232 7	32.50	+2.84	0.989 281 81	31	278 47	55.49	+3.32	0.983 301 30		
	16	233 7	59.04	+2.98	0.989 054 21	32	279 49	4.77	+3.20	0.983 289 34		
	17	234 8	26.93	+3.13	0.988 829 35	33	280 50	14.44	+3.10	0.983 282 33		

SOLEIL 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	t. passage	Date	asc. droite	déclinaison	t. passage		
	h m s	° ' "	h m s		h m s	° ' "	h m s		
Janv.	0	18 39 50.86	-23 7 28.36	12 2 57.26	Févr.	15	21 52 39.21	-12 52 58.86	12 14 8.26
	1	18 44 16.00	-23 3 1.99	12 3 25.70		16	21 56 33.05	-12 32 22.90	12 14 5.17
	2	18 48 40.84	-22 58 8.08	12 3 53.81		17	22 0 26.17	-12 11 34.80	12 14 1.37
	3	18 53 5.34	-22 52 46.77	12 4 21.57		18	22 4 18.58	-11 50 35.01	12 13 56.87
	4	18 57 29.47	-22 46 58.22	12 4 48.95		19	22 8 10.29	-11 29 23.95	12 13 51.69
	5	19 1 53.22	-22 40 42.59	12 5 15.94		20	22 12 1.31	-11 8 2.06	12 13 45.81
	6	19 6 16.54	-22 34 0.04	12 5 42.50		21	22 15 51.66	-10 46 29.79	12 13 39.27
	7	19 10 39.43	-22 26 50.74	12 6 8.61		22	22 19 41.34	-10 24 47.56	12 13 32.07
	8	19 15 1.86	-22 19 14.88	12 6 34.24		23	22 23 30.37	-10 2 55.82	12 13 24.22
	9	19 19 23.79	-22 11 12.67	12 6 59.38		24	22 27 18.77	-9 40 54.98	12 13 15.74
	10	19 23 45.22	-22 2 44.31	12 7 23.99		25	22 31 6.54	-9 18 45.47	12 13 6.65
	11	19 28 6.11	-21 53 50.04	12 7 48.06		26	22 34 53.72	-8 56 27.72	12 12 56.96
	12	19 32 26.44	-21 44 30.11	12 8 11.56		27	22 38 40.30	-8 34 2.11	12 12 46.69
	13	19 36 46.20	-21 34 44.77	12 8 34.47		28	22 42 26.32	-8 11 29.05	12 12 35.87
14	19 41 5.37	-21 24 34.29	12 8 56.77	Mars	1	22 46 11.78	-7 48 48.93	12 12 24.51	
15	19 45 23.91	-21 13 58.98	12 9 18.43	2	22 49 56.72	-7 26 2.10	12 12 12.63		
16	19 49 41.81	-21 2 59.11	12 9 39.44	3	22 53 41.14	-7 3 8.96	12 12 0.26		
17	19 53 59.05	-20 51 35.03	12 9 59.77	4	22 57 25.08	-6 40 9.85	12 11 47.41		
18	19 58 15.60	-20 39 47.05	12 10 19.41	5	23 1 8.56	-6 17 5.14	12 11 34.11		
19	20 2 31.44	-20 27 35.51	12 10 38.32	6	23 4 51.59	-5 53 55.19	12 11 20.39		
20	20 6 46.56	-20 15 0.77	12 10 56.51	7	23 8 34.21	-5 30 40.36	12 11 6.25		
21	20 11 0.93	-20 2 3.18	12 11 13.93	8	23 12 16.42	-5 7 21.01	12 10 51.73		
22	20 15 14.53	-19 48 43.10	12 11 30.59	9	23 15 58.27	-4 43 57.51	12 10 36.85		
23	20 19 27.35	-19 35 0.90	12 11 46.46	10	23 19 39.77	-4 20 30.21	12 10 21.62		
24	20 23 39.37	-19 20 56.96	12 12 1.53	11	23 23 20.93	-3 56 59.48	12 10 6.07		
25	20 27 50.59	-19 6 31.65	12 12 15.79	12	23 27 1.79	-3 33 25.71	12 9 50.22		
26	20 32 1.00	-18 51 45.37	12 12 29.23	13	23 30 42.36	-3 9 49.26	12 9 34.10		
27	20 36 10.60	-18 36 38.52	12 12 41.85	14	23 34 22.66	-2 46 10.51	12 9 17.71		
28	20 40 19.38	-18 21 11.49	12 12 53.65	15	23 38 2.71	-2 22 29.86	12 9 1.08		
29	20 44 27.33	-18 5 24.69	12 13 4.62	16	23 41 42.52	-1 58 47.69	12 8 44.23		
30	20 48 34.45	-17 49 18.50	12 13 14.76	17	23 45 22.12	-1 35 4.40	12 8 27.18		
Févr.	31	20 52 40.75	-17 32 53.33	12 13 24.07	18	23 49 1.52	-1 11 20.40	12 8 9.94	
	1	20 56 46.22	-17 16 9.55	12 13 32.57	19	23 52 40.73	-0 47 36.07	12 7 52.53	
	2	21 0 50.87	-16 59 7.55	12 13 40.24	20	23 56 19.79	-0 23 51.81	12 7 34.97	
	3	21 4 54.70	-16 41 47.70	12 13 47.10	21	23 59 58.70	-0 0 8.02	12 7 17.26	
	4	21 8 57.71	-16 24 10.38	12 13 53.14	22	0 3 37.48	0 23 34.92	12 6 59.43	
	5	21 12 59.91	-16 6 15.98	12 13 58.39	23	0 7 16.15	0 47 16.61	12 6 41.50	
	6	21 17 1.31	-15 48 4.87	12 14 2.84	24	0 10 54.72	1 10 56.67	12 6 23.48	
	7	21 21 1.92	-15 29 37.44	12 14 6.49	25	0 14 33.22	1 34 34.71	12 6 5.38	
	8	21 25 1.74	-15 10 54.09	12 14 9.37	26	0 18 11.66	1 58 10.37	12 5 47.24	
	9	21 29 0.79	-14 51 55.21	12 14 11.47	27	0 21 50.06	2 21 43.28	12 5 29.07	
	10	21 32 59.06	-14 32 41.21	12 14 12.80	28	0 25 28.44	2 45 13.09	12 5 10.90	
	11	21 36 56.58	-14 13 12.50	12 14 13.37	29	0 29 6.81	3 8 39.47	12 4 52.74	
	12	21 40 53.35	-13 53 29.48	12 14 13.20	30	0 32 45.21	3 32 2.07	12 4 34.61	
	13	21 44 49.37	-13 33 32.58	12 14 12.28	31	0 36 23.66	3 55 20.58	12 4 16.54	
14	21 48 44.65	-13 13 22.23	12 14 10.63	Avril	1	0 40 2.17	4 18 34.66	12 3 58.56	

SOLEIL 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	t. passage	Date	asc. droite	déclinaison	t. passage
	h m s	° ' "	h m s		h m s	° ' "	h m s
Avril	2 0 43 40.78	4 41 44.01	12 3 40.67	Mai	18 3 37 35.79	19 25 11.55	11 56 24.22
	3 0 47 19.50	5 4 48.29	12 3 22.91		19 3 41 34.70	19 38 25.13	11 56 26.82
	4 0 50 58.35	5 27 47.20	12 3 5.30		20 3 45 34.14	19 51 18.60	11 56 29.97
	5 0 54 37.37	5 50 40.42	12 2 47.86		21 3 49 34.11	20 3 51.69	11 56 33.63
	6 0 58 16.56	6 13 27.62	12 2 30.60		22 3 53 34.60	20 16 4.12	11 56 37.82
	7 1 1 55.96	6 36 8.48	12 2 13.55		23 3 57 35.60	20 27 55.65	11 56 42.51
	8 1 5 35.58	6 58 42.68	12 1 56.74		24 4 1 37.09	20 39 26.03	11 56 47.70
	9 1 9 15.44	7 21 9.88	12 1 40.17		25 4 5 39.08	20 50 35.05	11 56 53.37
	10 1 12 55.57	7 43 29.75	12 1 23.87		26 4 9 41.54	21 1 22.48	11 56 59.53
	11 1 16 35.97	8 5 41.94	12 1 7.86		27 4 13 44.48	21 11 48.11	11 57 6.15
	12 1 20 16.66	8 27 46.11	12 0 52.15		28 4 17 47.89	21 21 51.74	11 57 13.23
13 1 23 57.66	8 49 41.90	12 0 36.77	29 4 21 51.74	21 31 33.19	11 57 20.75		
14 1 27 38.99	9 11 28.95	12 0 21.72	30 4 25 56.05	21 40 52.26	11 57 28.71		
15 1 31 20.66	9 33 6.90	12 0 7.02	31 4 30 0.78	21 49 48.78	11 57 37.10		
16 1 35 2.69	9 54 35.39	11 59 52.68	Juin	1 4 34 5.93	21 58 22.57	11 57 45.90	
17 1 38 45.08	10 15 54.06	11 59 38.71	2 4 38 11.50	22 6 33.46	11 57 55.09		
18 1 42 27.85	10 37 2.54	11 59 25.13	3 4 42 17.45	22 14 21.30	11 58 4.68		
19 1 46 11.02	10 58 0.48	11 59 11.94	4 4 46 23.79	22 21 45.90	11 58 14.64		
20 1 49 54.58	11 18 47.53	11 58 59.15	5 4 50 30.49	22 28 47.12	11 58 24.95		
21 1 53 38.55	11 39 23.31	11 58 46.76	6 4 54 37.54	22 35 24.79	11 58 35.61		
22 1 57 22.94	11 59 47.48	11 58 34.80	7 4 58 44.92	22 41 38.74	11 58 46.60		
23 2 1 7.75	12 19 59.68	11 58 23.26	8 5 2 52.62	22 47 28.83	11 58 57.90		
24 2 4 53.00	12 39 59.58	11 58 12.17	9 5 7 0.62	22 52 54.92	11 59 9.49		
25 2 8 38.69	12 59 46.85	11 58 1.53	10 5 11 8.90	22 57 56.86	11 59 21.36		
26 2 12 24.83	13 19 21.16	11 57 51.36	11 5 15 17.44	23 2 34.53	11 59 33.47		
27 2 16 11.44	13 38 42.21	11 57 41.66	12 5 19 26.22	23 6 47.83	11 59 45.80		
28 2 19 58.54	13 57 49.69	11 57 32.45	13 5 23 35.22	23 10 36.67	11 59 58.33		
29 2 23 46.13	14 16 43.29	11 57 23.74	14 5 27 44.40	23 14 0.98	12 0 11.04		
30 2 27 34.22	14 35 22.73	11 57 15.55	15 5 31 53.74	23 17 0.67	12 0 23.88		
Mai	1 2 31 22.83	14 53 47.70	11 57 7.87	16 5 36 3.22	23 19 35.70	12 0 36.84	
2 2 35 11.97	15 11 57.91	11 57 0.72	17 5 40 12.78	23 21 46.00	12 0 49.88		
3 2 39 1.65	15 29 53.08	11 56 54.12	18 5 44 22.42	23 23 31.53	12 1 2.98		
4 2 42 51.88	15 47 32.91	11 56 48.07	19 5 48 32.10	23 24 52.26	12 1 16.11		
5 2 46 42.67	16 4 57.11	11 56 42.58	20 5 52 41.78	23 25 48.15	12 1 29.25		
6 2 50 34.03	16 22 5.38	11 56 37.66	21 5 56 51.46	23 26 19.21	12 1 42.36		
7 2 54 25.96	16 38 57.43	11 56 33.31	22 6 1 1.10	23 26 25.43	12 1 55.43		
8 2 58 18.46	16 55 32.95	11 56 29.55	23 6 5 10.69	23 26 6.84	12 2 8.42		
9 3 2 11.55	17 11 51.64	11 56 26.37	24 6 9 20.19	23 25 23.45	12 2 21.33		
10 3 6 5.23	17 27 53.19	11 56 23.78	25 6 13 29.59	23 24 15.33	12 2 34.12		
11 3 9 59.49	17 43 37.29	11 56 21.78	26 6 17 38.87	23 22 42.50	12 2 46.77		
12 3 13 54.34	17 59 3.62	11 56 20.38	27 6 21 48.01	23 20 45.04	12 2 59.27		
13 3 17 49.79	18 14 11.88	11 56 19.57	28 6 25 56.98	23 18 23.01	12 3 11.59		
14 3 21 45.82	18 29 1.76	11 56 19.35	29 6 30 5.76	23 15 36.48	12 3 23.71		
15 3 25 42.45	18 43 32.95	11 56 19.71	30 6 34 14.34	23 12 25.54	12 3 35.62		
16 3 29 39.66	18 57 45.17	11 56 20.65	Juill.	1 6 38 22.70	23 8 50.27	12 3 47.29	
17 3 33 37.44	19 11 38.13	11 56 22.15	2 6 42 30.81	23 4 50.76	12 3 58.71		

SOLEIL 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage			Date	asc. droite			déclinaison			t. passage					
	h	m	s	°	'	"	h	m	s		h	m	s	°	'	"	h	m	s			
Juill.	3	6	46	38.66	23	0	27.10	12	4	9.86	Août	18	9	47	58.02	13	17	22.22	12	3	55.45	
	4	6	50	46.23	22	55	39.38	12	4	20.72		19	9	51	41.33	12	58	0.96	12	3	41.96	
	5	6	54	53.50	22	50	27.69	12	4	31.29		20	9	55	24.14	12	38	27.47	12	3	27.96	
	6	6	59	0.45	22	44	52.13	12	4	41.53		21	9	59	6.45	12	18	42.08	12	3	13.47	
	7	7	3	7.08	22	38	52.82	12	4	51.44		22	10	2	48.27	11	58	45.12	12	2	58.50	
	8	7	7	13.36	22	32	29.89	12	5	0.99		23	10	6	29.62	11	38	36.91	12	2	43.06	
	9	7	11	19.29	22	25	43.47	12	5	10.17		24	10	10	10.52	11	18	17.78	12	2	27.17	
	10	7	15	24.83	22	18	33.72	12	5	18.96		25	10	13	50.96	10	57	48.04	12	2	10.84	
	11	7	19	29.98	22	11	0.83	12	5	27.34		26	10	17	30.98	10	37	8.01	12	1	54.09	
	12	7	23	34.72	22	3	4.98	12	5	35.29		27	10	21	10.58	10	16	17.99	12	1	36.94	
	13	7	27	39.01	21	54	46.38	12	5	42.78		28	10	24	49.79	9	55	18.28	12	1	19.41	
	14	7	31	42.84	21	46	5.23	12	5	49.81		29	10	28	28.61	9	34	9.15	12	1	1.51	
	15	7	35	46.19	21	37	1.75	12	5	56.34		30	10	32	7.08	9	12	50.89	12	0	43.26	
	16	7	39	49.03	21	27	36.14	12	6	2.37		31	10	35	45.21	8	51	23.76	12	0	24.69	
	17	7	43	51.35	21	17	48.63	12	6	7.87		Sept.	1	10	39	23.04	8	29	48.05	12	0	5.82
	18	7	47	53.14	21	7	39.45	12	6	12.83		2	10	43	0.57	8	8	4.03	11	59	46.67	
	19	7	51	54.38	20	57	8.83	12	6	17.23		3	10	46	37.83	7	46	12.01	11	59	27.25	
20	7	55	55.06	20	46	17.01	12	6	21.08	4	10	50	14.84	7	24	12.31	11	59	7.58			
21	7	59	55.17	20	35	4.24	12	6	24.34	5	10	53	51.62	7	2	5.26	11	58	47.68			
22	8	3	54.70	20	23	30.77	12	6	27.03	6	10	57	28.17	6	39	51.20	11	58	27.58			
23	8	7	53.64	20	11	36.86	12	6	29.12	7	11	1	4.52	6	17	30.48	11	58	7.27			
24	8	11	51.99	19	59	22.78	12	6	30.61	8	11	4	40.67	5	55	3.43	11	57	46.79			
25	8	15	49.75	19	46	48.78	12	6	31.50	9	11	8	16.65	5	32	30.42	11	57	26.14			
26	8	19	46.90	19	33	55.14	12	6	31.78	10	11	11	52.47	5	9	51.78	11	57	5.34			
27	8	23	43.45	19	20	42.12	12	6	31.46	11	11	15	28.14	4	47	7.87	11	56	44.40			
28	8	27	39.38	19	7	10.00	12	6	30.52	12	11	19	3.69	4	24	19.04	11	56	23.35			
29	8	31	34.71	18	53	19.05	12	6	28.98	13	11	22	39.13	4	1	25.63	11	56	2.20			
30	8	35	29.42	18	39	9.51	12	6	26.83	14	11	26	14.47	3	38	27.98	11	55	40.96			
31	8	39	23.53	18	24	41.66	12	6	24.07	15	11	29	49.74	3	15	26.46	11	55	19.65			
Août	1	8	43	17.03	18	9	55.74	12	6	20.71	16	11	33	24.95	2	52	21.40	11	54	58.30		
2	8	47	9.92	17	54	51.99	12	6	16.76	17	11	37	0.13	2	29	13.15	11	54	36.91			
3	8	51	2.22	17	39	30.68	12	6	12.21	18	11	40	35.28	2	6	2.06	11	54	15.51			
4	8	54	53.93	17	23	52.04	12	6	7.07	19	11	44	10.43	1	42	48.48	11	53	54.12			
5	8	58	45.06	17	7	56.37	12	6	1.35	20	11	47	45.60	1	19	32.74	11	53	32.74			
6	9	2	35.61	16	51	43.93	12	5	55.06	21	11	51	20.81	0	56	15.21	11	53	11.42			
7	9	6	25.58	16	35	15.02	12	5	48.18	22	11	54	56.07	0	32	56.21	11	52	50.16			
8	9	10	14.98	16	18	29.95	12	5	40.74	23	11	58	31.40	0	9	36.09	11	52	28.99			
9	9	14	3.82	16	1	29.05	12	5	32.72	24	12	2	6.83	-	0	13	44.84	11	52	7.92		
10	9	17	52.08	15	44	12.63	12	5	24.13	25	12	5	42.37	-	0	37	6.23	11	51	46.99		
11	9	21	39.78	15	26	41.03	12	5	14.98	26	12	9	18.06	-	1	0	27.80	11	51	26.22		
12	9	25	26.90	15	8	54.58	12	5	5.27	27	12	12	53.91	-	1	23	49.24	11	51	5.62		
13	9	29	13.47	14	50	53.59	12	4	55.00	28	12	16	29.96	-	1	47	10.25	11	50	45.24		
14	9	32	59.47	14	32	38.41	12	4	44.17	29	12	20	6.24	-	2	10	30.56	11	50	25.08		
15	9	36	44.92	14	14	9.35	12	4	32.80	30	12	23	42.76	-	2	33	49.85	11	50	5.18		
16	9	40	29.82	13	55	26.74	12	4	20.88	Oct.	1	12	27	19.55	-	2	57	7.79	11	49	45.56	
17	9	44	14.18	13	36	30.93	12	4	8.43	2	12	30	56.64	-	3	20	24.06	11	49	26.25		

SOLEIL 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	t. passage	Date	asc. droite	déclinaison	t. passage			
	h m s	° ' "	h m s		h m s	° ' "	h m s			
Oct.	3	12 34 34.05	- 3 43 38.28	11 49 7.26	Nov.	18	15 31 38.72	-19 4 43.56	11 45 5.69	
	4	12 38 11.79	- 4 6 50.10	11 48 48.61		19	15 35 47.71	-19 19 3.92	11 45 18.53	
	5	12 41 49.87	- 4 29 59.13	11 48 30.32		20	15 39 57.51	-19 33 3.36	11 45 32.17	
	6	12 45 28.33	- 4 53 5.01	11 48 12.42		21	15 44 8.10	-19 46 41.54	11 45 46.60	
	7	12 49 7.18	- 5 16 7.35	11 47 54.92		22	15 48 19.49	-19 59 58.11	11 46 1.83	
	8	12 52 46.43	- 5 39 5.75	11 47 37.83		23	15 52 31.67	-20 12 52.75	11 46 17.83	
	9	12 56 26.11	- 6 1 59.85	11 47 21.18		24	15 56 44.63	-20 25 25.14	11 46 34.62	
	10	13 0 6.23	- 6 24 49.26	11 47 4.98		25	16 0 58.36	-20 37 34.97	11 46 52.17	
	11	13 3 46.81	- 6 47 33.58	11 46 49.25		26	16 5 12.87	-20 49 21.92	11 47 10.49	
	12	13 7 27.87	- 7 10 12.43	11 46 34.00		27	16 9 28.13	-21 0 45.66	11 47 29.55	
	13	13 11 9.42	- 7 32 45.42	11 46 19.25		28	16 13 44.14	-21 11 45.87	11 47 49.36	
	14	13 14 51.48	- 7 55 12.16	11 46 5.01		29	16 18 0.87	-21 22 22.22	11 48 9.89	
	15	13 18 34.06	- 8 17 32.24	11 45 51.31		30	16 22 18.32	-21 32 34.36	11 48 31.13	
	16	13 22 17.19	- 8 39 45.29	11 45 38.15		Déc.	1	16 26 36.46	-21 42 21.99	11 48 53.06
	17	13 26 0.87	- 9 1 50.90	11 45 25.55			2	16 30 55.28	-21 51 44.79	11 49 15.66
	18	13 29 45.12	- 9 23 48.68	11 45 13.53		3	16 35 14.76	-22 0 42.47	11 49 38.91	
	19	13 33 29.96	- 9 45 38.23	11 45 2.10		4	16 39 34.87	-22 9 14.73	11 50 2.78	
	20	13 37 15.39	-10 7 19.16	11 44 51.27		5	16 43 55.60	-22 17 21.32	11 50 27.25	
	21	13 41 1.44	-10 28 51.07	11 44 41.07		6	16 48 16.91	-22 25 1.96	11 50 52.29	
	22	13 44 48.12	-10 50 13.57	11 44 31.51		7	16 52 38.78	-22 32 16.41	11 51 17.88	
	23	13 48 35.44	-11 11 26.29	11 44 22.61		8	16 57 1.18	-22 39 4.44	11 51 43.98	
	24	13 52 23.42	-11 32 28.86	11 44 14.38		9	17 1 24.08	-22 45 25.83	11 52 10.56	
25	13 56 12.09	-11 53 20.91	11 44 6.84	10	17 5 47.45	-22 51 20.37	11 52 37.59			
26	14 0 1.47	-12 14 2.09	11 44 0.02	11	17 10 11.25	-22 56 47.86	11 53 5.04			
27	14 3 51.57	-12 34 32.06	11 43 53.92	12	17 14 35.45	-23 1 48.12	11 53 32.87			
28	14 7 42.41	-12 54 50.47	11 43 48.58	13	17 19 0.02	-23 6 20.98	11 54 1.05			
29	14 11 34.02	-13 14 56.94	11 43 44.00	14	17 23 24.91	-23 10 26.29	11 54 29.54			
30	14 15 26.40	-13 34 51.08	11 43 40.20	15	17 27 50.10	-23 14 3.91	11 54 58.31			
31	14 19 19.57	-13 54 32.50	11 43 37.19	16	17 32 15.54	-23 17 13.70	11 55 27.33			
Nov.	1	14 23 13.53	-14 14 0.76	11 43 34.99	17	17 36 41.21	-23 19 55.57	11 55 56.55		
	2	14 27 8.30	-14 33 15.47	11 43 33.60	18	17 41 7.07	-23 22 9.42	11 56 25.95		
3	14 31 3.89	-14 52 16.18	11 43 33.04	19	17 45 33.08	-23 23 55.18	11 56 55.49			
4	14 35 0.31	-15 11 2.49	11 43 33.31	20	17 49 59.22	-23 25 12.81	11 57 25.14			
5	14 38 57.56	-15 29 33.95	11 43 34.42	21	17 54 25.46	-23 26 2.26	11 57 54.86			
6	14 42 55.65	-15 47 50.17	11 43 36.38	22	17 58 51.77	-23 26 23.54	11 58 24.64			
7	14 46 54.58	-16 5 50.70	11 43 39.17	23	18 3 18.11	-23 26 16.63	11 58 54.43			
8	14 50 54.37	-16 23 35.15	11 43 42.82	24	18 7 44.46	-23 25 41.54	11 59 24.21			
9	14 54 55.00	-16 41 3.08	11 43 47.32	25	18 12 10.79	-23 24 38.29	11 59 53.95			
10	14 58 56.49	-16 58 14.08	11 43 52.67	26	18 16 37.05	-23 23 6.86	12 0 23.62			
11	15 2 58.82	-17 15 7.75	11 43 58.86	27	18 21 3.23	-23 21 7.29	12 0 53.20			
12	15 7 2.01	-17 31 43.65	11 44 5.90	28	18 25 29.30	-23 18 39.59	12 1 22.65			
13	15 11 6.05	-17 48 1.40	11 44 13.79	29	18 29 55.21	-23 15 43.82	12 1 51.94			
14	15 15 10.92	-18 4 0.58	11 44 22.51	30	18 34 20.95	-23 12 20.02	12 2 21.03			
15	15 19 16.63	-18 19 40.78	11 44 32.07	31	18 38 46.48	-23 8 28.29	12 2 49.91			
16	15 23 23.18	-18 35 1.61	11 44 42.46	32	18 43 11.78	-23 4 8.73	12 3 18.52			
17	15 27 30.54	-18 50 2.66	11 44 53.67	33	18 47 36.80	-22 59 21.45	12 3 46.85			

SOLEIL 2007 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z		
	ua	ua	ua		ua	ua	ua		
Janv.	0	0.154 865 46	-0.890 914 79	-0.386 239 76	Févr.	15	0.817 020 77	-0.509 123 93	-0.220 726 25
	1	0.172 104 11	-0.888 228 08	-0.385 074 76		16	0.826 847 36	-0.495 926 00	-0.215 003 99
	2	0.189 288 52	-0.885 266 31	-0.383 790 67		17	0.836 419 14	-0.482 574 54	-0.209 215 05
	3	0.206 413 75	-0.882 030 47	-0.382 387 94		18	0.845 732 97	-0.469 073 97	-0.203 361 38
	4	0.223 474 86	-0.878 521 56	-0.380 866 97		19	0.854 785 87	-0.455 428 85	-0.197 445 00
	5	0.240 466 93	-0.874 740 57	-0.379 228 18		20	0.863 575 05	-0.441 643 83	-0.191 467 98
	6	0.257 384 99	-0.870 688 52	-0.377 472 00		21	0.872 097 95	-0.427 723 65	-0.185 432 42
	7	0.274 224 02	-0.866 366 47	-0.375 598 84		22	0.880 352 24	-0.413 673 06	-0.179 340 41
	8	0.290 979 01	-0.861 775 54	-0.373 609 17		23	0.888 335 78	-0.399 496 80	-0.173 194 06
	9	0.307 644 85	-0.856 916 90	-0.371 503 46		24	0.896 046 62	-0.385 199 58	-0.166 995 42
	10	0.324 216 44	-0.851 791 81	-0.369 282 23		25	0.903 482 96	-0.370 786 04	-0.160 746 53
	11	0.340 688 63	-0.846 401 62	-0.366 946 04		26	0.910 643 10	-0.356 260 78	-0.154 449 36
	12	0.357 056 27	-0.840 747 79	-0.364 495 47		27	0.917 525 44	-0.341 628 31	-0.148 105 88
	13	0.373 314 18	-0.834 831 83	-0.361 931 18		28	0.924 128 44	-0.326 893 12	-0.141 718 03
14	0.389 457 17	-0.828 655 40	-0.359 253 84	Mars	1	0.930 450 63	-0.312 059 67	-0.135 287 69	
15	0.405 480 01	-0.822 220 22	-0.356 464 20		2	0.936 490 56	-0.297 132 36	-0.128 816 77	
16	0.421 377 50	-0.815 528 17	-0.353 563 05		3	0.942 246 85	-0.282 115 59	-0.122 307 13	
17	0.437 144 38	-0.808 581 22	-0.350 551 22		4	0.947 718 11	-0.267 013 74	-0.115 760 65	
18	0.452 775 44	-0.801 381 51	-0.347 429 66		5	0.952 903 02	-0.251 831 20	-0.109 179 19	
19	0.468 265 43	-0.793 931 31	-0.344 199 36		6	0.957 800 25	-0.236 572 36	-0.102 564 64	
20	0.483 609 18	-0.786 233 09	-0.340 861 39		7	0.962 408 54	-0.221 241 64	-0.095 918 86	
21	0.498 801 57	-0.778 289 48	-0.337 416 93		8	0.966 726 64	-0.205 843 48	-0.089 243 76	
22	0.513 837 62	-0.770 103 27	-0.333 867 24		9	0.970 753 35	-0.190 382 34	-0.082 541 26	
23	0.528 712 48	-0.761 677 41	-0.330 213 62		10	0.974 487 50	-0.174 862 73	-0.075 813 28	
24	0.543 421 45	-0.753 014 97	-0.326 457 46	11	0.977 927 97	-0.159 289 20	-0.069 061 78		
25	0.557 960 05	-0.744 119 10	-0.322 600 16	12	0.981 073 71	-0.143 666 32	-0.062 288 73		
26	0.572 323 93	-0.734 993 00	-0.318 643 15	13	0.983 923 70	-0.127 998 74	-0.055 496 14		
27	0.586 508 93	-0.725 639 90	-0.314 587 87	14	0.986 476 97	-0.112 291 14	-0.048 686 05		
28	0.600 511 01	-0.716 063 04	-0.310 435 72	15	0.988 732 62	-0.096 548 29	-0.041 860 53		
29	0.614 326 26	-0.706 265 63	-0.306 188 13	16	0.990 689 85	-0.080 775 04	-0.035 021 69		
30	0.627 950 85	-0.696 250 90	-0.301 846 48	17	0.992 347 92	-0.064 976 33	-0.028 171 72		
Févr.	31	0.641 381 02	-0.686 022 04	-0.297 412 16	18	0.993 706 25	-0.049 157 19	-0.021 312 83	
	1	0.654 613 07	-0.675 582 24	-0.292 886 54	19	0.994 764 46	-0.033 322 74	-0.014 447 29	
	2	0.667 643 30	-0.664 934 68	-0.288 270 96	20	0.995 522 34	-0.017 478 17	-0.007 577 39	
	3	0.680 468 07	-0.654 082 56	-0.283 566 79	21	0.995 979 95	-0.001 628 68	-0.000 705 44	
	4	0.693 083 71	-0.643 029 08	-0.278 775 40	22	0.996 137 58	0.014 220 58	0.006 166 28	
	5	0.705 486 58	-0.631 777 51	-0.273 898 15	23	0.995 995 73	0.030 064 52	0.013 035 54	
	6	0.717 673 04	-0.620 331 14	-0.268 936 44	24	0.995 555 07	0.045 898 16	0.019 900 17	
	7	0.729 639 45	-0.608 693 31	-0.263 891 71	25	0.994 816 38	0.061 716 64	0.026 758 06	
	8	0.741 382 20	-0.596 867 45	-0.258 765 39	26	0.993 780 57	0.077 515 21	0.033 607 13	
	9	0.752 897 70	-0.584 857 05	-0.253 558 97	27	0.992 448 57	0.093 289 22	0.040 445 41	
	10	0.764 182 39	-0.572 665 65	-0.248 273 98	28	0.990 821 39	0.109 034 09	0.047 270 92	
	11	0.775 232 72	-0.560 296 90	-0.242 911 97	29	0.988 900 05	0.124 745 33	0.054 081 74	
	12	0.786 045 18	-0.547 754 50	-0.237 474 53	30	0.986 685 61	0.140 418 51	0.060 875 98	
	13	0.796 616 30	-0.535 042 26	-0.231 963 29	31	0.984 179 17	0.156 049 22	0.067 651 77	
14	0.806 942 63	-0.522 164 06	-0.226 379 95	Avril	1	0.981 381 83	0.171 633 13	0.074 407 25	

SOLEIL 2007 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z		
	ua	ua	ua		ua	ua	ua		
Avril	2	0.978 294 75	0.187 165 92	0.081 140 58	Mai	18	0.556 727 36	0.774 712 90	0.335 866 66
	3	0.974 919 08	0.202 643 30	0.087 849 94		19	0.542 557 57	0.783 351 59	0.339 611 78
	4	0.971 256 02	0.218 060 98	0.094 533 49		20	0.528 232 63	0.791 764 79	0.343 258 99
	5	0.967 306 79	0.233 414 73	0.101 189 42		21	0.513 757 13	0.799 950 31	0.346 807 34
	6	0.963 072 64	0.248 700 27	0.107 815 91		22	0.499 135 67	0.807 906 09	0.350 255 97
	7	0.958 554 85	0.263 913 34	0.114 411 11		23	0.484 372 80	0.815 630 21	0.353 604 08
	8	0.953 754 77	0.279 049 70	0.120 973 20		24	0.469 473 03	0.823 120 85	0.356 850 91
	9	0.948 673 74	0.294 105 06	0.127 500 32		25	0.454 440 83	0.830 376 24	0.359 995 73
	10	0.943 313 20	0.309 075 12	0.133 990 63		26	0.439 280 64	0.837 394 74	0.363 037 86
	11	0.937 674 61	0.323 955 58	0.140 442 22		27	0.423 996 87	0.844 174 74	0.365 976 63
	12	0.931 759 50	0.338 742 08	0.146 853 22		28	0.408 593 89	0.850 714 71	0.368 811 41
13	0.925 569 50	0.353 430 23	0.153 221 68	29	0.393 076 07	0.857 013 16	0.371 541 57		
14	0.919 106 33	0.368 015 58	0.159 545 65	30	0.377 447 74	0.863 068 67	0.374 166 51		
15	0.912 371 83	0.382 493 64	0.165 823 13	31	0.361 713 20	0.868 879 85	0.376 685 66		
16	0.905 368 03	0.396 859 88	0.172 052 13	Juin	1	0.345 876 74	0.874 445 36	0.379 098 45	
17	0.898 097 14	0.411 109 77	0.178 230 63	2	0.329 942 61	0.879 763 88	0.381 404 30		
18	0.890 561 61	0.425 238 80	0.184 356 62	3	0.313 915 08	0.884 834 11	0.383 602 65		
19	0.882 764 10	0.439 242 54	0.190 428 15	4	0.297 798 37	0.889 654 75	0.385 692 94		
20	0.874 707 46	0.453 116 69	0.196 443 34	5	0.281 596 76	0.894 224 53	0.387 674 59		
21	0.866 394 66	0.466 857 10	0.202 400 37	6	0.265 314 52	0.898 542 14	0.389 547 03		
22	0.857 828 80	0.480 459 79	0.208 297 51	7	0.248 955 98	0.902 606 31	0.391 309 66		
23	0.849 012 99	0.493 920 93	0.214 133 13	8	0.232 525 51	0.906 415 75	0.392 961 89		
24	0.839 950 40	0.507 236 80	0.219 905 63	9	0.216 027 60	0.909 969 16	0.394 503 13		
25	0.830 644 17	0.520 403 82	0.225 613 48	10	0.199 466 81	0.913 265 29	0.395 932 79		
26	0.821 097 46	0.533 418 47	0.231 255 20	11	0.182 847 83	0.916 302 91	0.397 250 30		
27	0.811 313 43	0.546 277 35	0.236 829 33	12	0.166 175 49	0.919 080 87	0.398 455 12		
28	0.801 295 24	0.558 977 09	0.242 334 45	13	0.149 454 72	0.921 598 11	0.399 546 76		
29	0.791 046 05	0.571 514 40	0.247 769 16	14	0.132 690 62	0.923 853 70	0.400 524 79		
30	0.780 569 02	0.583 886 05	0.253 132 09	15	0.115 888 33	0.925 846 89	0.401 388 90		
Mai	1	0.769 867 31	0.596 088 84	0.258 421 88	16	0.099 053 05	0.927 577 08	0.402 138 81	
2	0.758 944 10	0.608 119 62	0.263 637 20	17	0.082 189 99	0.929 043 90	0.402 774 39		
3	0.747 802 57	0.619 975 28	0.268 776 71	18	0.065 304 33	0.930 247 09	0.403 295 56		
4	0.736 445 89	0.631 652 73	0.273 839 09	19	0.048 401 16	0.931 186 58	0.403 702 30		
5	0.724 877 25	0.643 148 92	0.278 823 02	20	0.031 485 53	0.931 862 40	0.403 994 67		
6	0.713 099 88	0.654 460 78	0.283 727 20	21	0.014 562 39	0.932 274 69	0.404 172 77		
7	0.701 116 99	0.665 585 27	0.288 550 28	22	-0.002 363 39	0.932 423 68	0.404 236 72		
8	0.688 931 86	0.676 519 35	0.293 290 96	23	-0.019 286 98	0.932 309 64	0.404 186 68		
9	0.676 547 78	0.687 259 97	0.297 947 90	24	-0.036 203 65	0.931 932 94	0.404 022 83		
10	0.663 968 12	0.697 804 06	0.302 519 73	25	-0.053 108 68	0.931 293 99	0.403 745 37		
11	0.651 196 31	0.708 148 54	0.307 005 11	26	-0.069 997 46	0.930 393 25	0.403 354 53		
12	0.638 235 88	0.718 290 33	0.311 402 65	27	-0.086 865 40	0.929 231 23	0.402 850 55		
13	0.625 090 46	0.728 226 33	0.315 710 96	28	-0.103 707 97	0.927 808 50	0.402 233 68		
14	0.611 763 85	0.737 953 43	0.319 928 67	29	-0.120 520 69	0.926 125 65	0.401 504 18		
15	0.598 260 01	0.747 468 57	0.324 054 40	30	-0.137 299 16	0.924 183 29	0.400 662 33		
16	0.584 583 08	0.756 768 75	0.328 086 82	Juill.	1	-0.154 038 97	0.921 982 04	0.399 708 38	
17	0.570 737 38	0.765 851 11	0.332 024 63	2	-0.170 735 79	0.919 522 54	0.398 642 60		

SOLEIL 2007 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z
	ua	ua	ua		ua	ua	ua
Juill. 3	-0.187 385 27	0.916 805 42	0.397 465 23	Août 18	-0.825 208 02	0.538 119 98	0.233 292 08
4	-0.203 983 07	0.913 831 27	0.396 176 52	19	-0.834 773 81	0.525 232 08	0.227 704 34
5	-0.220 524 80	0.910 600 73	0.394 776 69	20	-0.844 100 18	0.512 195 03	0.222 052 05
6	-0.237 006 04	0.907 114 40	0.393 265 98	21	-0.853 184 50	0.499 012 66	0.216 336 91
7	-0.253 422 26	0.903 372 93	0.391 644 60	22	-0.862 024 28	0.485 688 84	0.210 560 59
8	-0.269 768 88	0.899 376 98	0.389 912 83	23	-0.870 617 11	0.472 227 43	0.204 724 78
9	-0.286 041 22	0.895 127 31	0.388 070 95	24	-0.878 960 68	0.458 632 30	0.198 831 15
10	-0.302 234 51	0.890 624 75	0.386 119 28	25	-0.887 052 80	0.444 907 31	0.192 881 36
11	-0.318 343 88	0.885 870 25	0.384 058 23	26	-0.894 891 35	0.431 056 27	0.186 877 06
12	-0.334 364 44	0.880 864 92	0.381 888 26	27	-0.902 474 30	0.417 082 99	0.180 819 86
13	-0.350 291 24	0.875 610 02	0.379 609 92	28	-0.909 799 63	0.402 991 20	0.174 711 35
14	-0.366 119 36	0.870 106 96	0.377 223 84	29	-0.916 865 39	0.388 784 61	0.168 553 10
15	-0.381 843 93	0.864 357 35	0.374 730 73	30	-0.923 669 58	0.374 466 87	0.162 346 64
16	-0.397 460 12	0.858 362 92	0.372 131 38	31	-0.930 210 16	0.360 041 62	0.156 093 51
17	-0.412 963 23	0.852 125 55	0.369 426 64	Sept. 1	-0.936 485 04	0.345 512 53	0.149 795 26
18	-0.428 348 64	0.845 647 22	0.366 617 40	2	-0.942 492 09	0.330 883 33	0.143 453 47
19	-0.443 611 88	0.838 930 00	0.363 704 58	3	-0.948 229 10	0.316 157 82	0.137 069 76
20	-0.458 748 53	0.831 976 03	0.360 689 16	4	-0.953 693 89	0.301 339 92	0.130 645 82
21	-0.473 754 32	0.824 787 50	0.357 572 12	5	-0.958 884 29	0.286 433 69	0.124 183 41
22	-0.488 625 03	0.817 366 67	0.354 354 45	6	-0.963 798 19	0.271 443 31	0.117 684 34
23	-0.503 356 57	0.809 715 83	0.351 037 17	7	-0.968 433 57	0.256 373 05	0.111 150 51
24	-0.517 944 89	0.801 837 31	0.347 621 32	8	-0.972 788 52	0.241 227 32	0.104 583 83
25	-0.532 386 06	0.793 733 49	0.344 107 93	9	-0.976 861 25	0.226 010 62	0.097 986 29
26	-0.546 676 20	0.785 406 76	0.340 498 06	10	-0.980 650 10	0.210 727 52	0.091 359 91
27	-0.560 811 52	0.776 859 54	0.336 792 74	11	-0.984 153 59	0.195 382 66	0.084 706 73
28	-0.574 788 33	0.768 094 27	0.332 993 05	12	-0.987 370 35	0.179 980 71	0.078 028 82
29	-0.588 602 98	0.759 113 37	0.329 100 01	13	-0.990 299 18	0.164 526 38	0.071 328 24
30	-0.602 251 89	0.749 919 27	0.325 114 65	14	-0.992 939 03	0.149 024 42	0.064 607 08
31	-0.615 731 49	0.740 514 35	0.321 037 98	15	-0.995 288 98	0.133 479 54	0.057 867 43
Août 1	-0.629 038 25	0.730 900 99	0.316 871 00	16	-0.997 348 25	0.117 896 49	0.051 111 34
2	-0.642 168 59	0.721 081 53	0.312 614 68	17	-0.999 116 20	0.102 279 99	0.044 340 88
3	-0.655 118 89	0.711 058 33	0.308 270 00	18	-1.000 592 28	0.086 634 73	0.037 558 10
4	-0.667 885 46	0.700 833 77	0.303 837 95	19	-1.001 776 09	0.070 965 42	0.030 765 04
5	-0.680 464 56	0.690 410 27	0.299 319 54	20	-1.002 667 33	0.055 276 71	0.023 963 73
6	-0.692 852 36	0.679 790 37	0.294 715 84	21	-1.003 265 82	0.039 573 23	0.017 156 15
7	-0.705 045 01	0.668 976 67	0.290 027 96	22	-1.003 571 48	0.023 859 55	0.010 344 28
8	-0.717 038 61	0.657 971 95	0.285 257 09	23	-1.003 584 33	0.008 140 22	0.003 530 07
9	-0.728 829 28	0.646 779 08	0.280 404 48	24	-1.003 304 47	-0.007 580 31	-0.003 284 58
10	-0.740 413 18	0.635 401 11	0.275 471 46	25	-1.002 732 07	-0.023 297 67	-0.010 097 81
11	-0.751 786 50	0.623 841 23	0.270 459 43	26	-1.001 867 29	-0.039 007 53	-0.016 907 79
12	-0.762 945 55	0.612 102 74	0.265 369 86	27	-1.000 710 33	-0.054 705 68	-0.023 712 74
13	-0.773 886 74	0.600 189 10	0.260 204 27	28	-0.999 261 30	-0.070 387 90	-0.030 510 88
14	-0.784 606 60	0.588 103 83	0.254 964 23	29	-0.997 520 27	-0.086 050 00	-0.037 300 42
15	-0.795 101 79	0.575 850 58	0.249 651 35	30	-0.995 487 27	-0.101 687 73	-0.044 079 56
16	-0.805 369 12	0.563 433 02	0.244 267 26	Oct. 1	-0.993 162 31	-0.117 296 77	-0.050 846 44
17	-0.815 405 51	0.550 854 89	0.238 813 62	2	-0.990 545 40	-0.132 872 69	-0.057 599 14

SOLEIL 2007 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z		
	ua	ua	ua		ua	ua	ua		
Oct.	3	-0.987 636 63	-0.148 410 95	-0.064 335 68	Nov.	18	-0.564 935 14	-0.744 351 27	-0.322 698 57
	4	-0.984 436 18	-0.163 906 92	-0.071 054 05		19	-0.550 447 19	-0.753 192 32	-0.326 530 79
	5	-0.980 944 38	-0.179 355 89	-0.077 752 17		20	-0.535 792 17	-0.761 801 98	-0.330 262 71
	6	-0.977 161 67	-0.194 753 09	-0.084 427 94		21	-0.520 974 61	-0.770 177 83	-0.333 893 33
	7	-0.973 088 67	-0.210 093 69	-0.091 079 23		22	-0.505 998 98	-0.778 317 53	-0.337 421 66
	8	-0.968 726 12	-0.225 372 86	-0.097 703 93		23	-0.490 869 72	-0.786 218 85	-0.340 846 79
	9	-0.964 074 95	-0.240 585 74	-0.104 299 87		24	-0.475 591 15	-0.793 879 61	-0.344 167 79
	10	-0.959 136 23	-0.255 727 47	-0.110 864 94		25	-0.460 167 53	-0.801 297 64	-0.347 383 74
	11	-0.953 911 17	-0.270 793 22	-0.117 397 00		26	-0.444 603 07	-0.808 470 73	-0.350 493 68
	12	-0.948 401 15	-0.285 778 16	-0.123 893 94		27	-0.428 902 02	-0.815 396 64	-0.353 496 63
	13	-0.942 607 69	-0.300 677 53	-0.130 353 67		28	-0.413 068 65	-0.822 073 07	-0.356 391 56
	14	-0.936 532 43	-0.315 486 58	-0.136 774 11		29	-0.397 107 35	-0.828 497 68	-0.359 177 43
15	-0.930 177 15	-0.330 200 62	-0.143 153 23	30	-0.381 022 65	-0.834 668 14	-0.361 853 19		
16	-0.923 543 76	-0.344 815 04	-0.149 489 01	Déc.	1	-0.364 819 18	-0.840 582 18	-0.364 417 82	
17	-0.916 634 27	-0.359 325 26	-0.155 779 48		2	-0.348 501 73	-0.846 237 53	-0.366 870 29	
18	-0.909 450 82	-0.373 726 79	-0.162 022 68	3	-0.332 075 19	-0.851 632 04	-0.369 209 66		
19	-0.901 995 65	-0.388 015 22	-0.168 216 73	4	-0.315 544 57	-0.856 763 64	-0.371 434 97		
20	-0.894 271 09	-0.402 186 20	-0.174 359 74	5	-0.298 914 96	-0.861 630 32	-0.373 545 36		
21	-0.886 279 55	-0.416 235 49	-0.180 449 92	6	-0.282 191 56	-0.866 230 22	-0.375 539 97		
22	-0.878 023 53	-0.430 158 96	-0.186 485 50	7	-0.265 379 66	-0.870 561 56	-0.377 418 03		
23	-0.869 505 55	-0.443 952 57	-0.192 464 77	8	-0.248 484 59	-0.874 622 66	-0.379 178 80		
24	-0.860 728 18	-0.457 612 40	-0.198 386 07	9	-0.231 511 81	-0.878 411 99	-0.380 821 61		
25	-0.851 693 94	-0.471 134 64	-0.204 247 78	10	-0.214 466 79	-0.881 928 13	-0.382 345 83		
26	-0.842 405 31	-0.484 515 53	-0.210 048 34	11	-0.197 355 09	-0.885 169 78	-0.383 750 93		
27	-0.832 864 72	-0.497 751 33	-0.215 786 14	12	-0.180 182 30	-0.888 135 80	-0.385 036 41		
28	-0.823 074 52	-0.510 838 32	-0.221 459 60	13	-0.162 954 06	-0.890 825 20	-0.386 201 85		
29	-0.813 037 05	-0.523 772 67	-0.227 067 08	14	-0.145 676 01	-0.893 237 12	-0.387 246 92		
30	-0.802 754 69	-0.536 550 52	-0.232 606 87	15	-0.128 353 80	-0.895 370 86	-0.388 171 33		
31	-0.792 229 88	-0.549 167 89	-0.238 077 26	16	-0.110 993 06	-0.897 225 88	-0.388 974 89		
Nov.	1	-0.781 465 19	-0.561 620 77	-0.243 476 47	17	-0.093 599 39	-0.898 801 77	-0.389 657 46	
	2	-0.770 463 33	-0.573 905 09	-0.248 802 70	18	-0.076 178 34	-0.900 098 28	-0.390 218 97	
	3	-0.759 227 15	-0.586 016 79	-0.254 054 17	19	-0.058 735 37	-0.901 115 30	-0.390 659 39	
	4	-0.747 759 67	-0.597 951 82	-0.259 229 07	20	-0.041 275 86	-0.901 852 81	-0.390 978 77	
	5	-0.736 064 04	-0.609 706 13	-0.264 325 62	21	-0.023 805 08	-0.902 310 88	-0.391 177 16	
	6	-0.724 143 57	-0.621 275 75	-0.269 342 07	22	-0.006 328 18	-0.902 489 66	-0.391 254 64	
	7	-0.712 001 70	-0.632 656 74	-0.274 276 69	23	0.011 149 79	-0.902 389 29	-0.391 211 28	
	8	-0.699 642 01	-0.643 845 22	-0.279 127 75	24	0.028 623 83	-0.902 009 92	-0.391 047 14	
	9	-0.687 068 21	-0.654 837 41	-0.283 893 61	25	0.046 089 00	-0.901 351 66	-0.390 762 24	
	10	-0.674 284 12	-0.665 629 57	-0.288 572 63	26	0.063 540 32	-0.900 414 57	-0.390 356 59	
	11	-0.661 293 69	-0.676 218 07	-0.293 163 22	27	0.080 972 75	-0.899 198 75	-0.389 830 17	
	12	-0.648 100 96	-0.686 599 37	-0.297 663 84	28	0.098 381 18	-0.897 704 27	-0.389 183 00	
13	-0.634 710 10	-0.696 770 03	-0.302 073 01	29	0.115 760 38	-0.895 931 28	-0.388 415 09		
14	-0.621 125 35	-0.706 726 72	-0.306 389 27	30	0.133 105 08	-0.893 879 99	-0.387 526 49		
15	-0.607 351 05	-0.716 466 22	-0.310 611 26	31	0.150 409 91	-0.891 550 71	-0.386 517 31		
16	-0.593 391 60	-0.725 985 44	-0.314 737 63	32	0.167 669 45	-0.888 943 86	-0.385 387 71		
17	-0.579 251 45	-0.735 281 40	-0.318 767 14	33	0.184 878 25	-0.886 059 96	-0.384 137 89		

LUNE

Ascension droite et déclinaison apparentes, distance à la Terre II. 36

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Janv. 0 0	3 19 5.97	23 1 30.72	372 496.999	Janv. 11 0	12 50 14.40	- 7 53 27.31	404 269.362
	6 3 33 45.65	24 0 47.56	372 918.103		6 13 0 52.76	- 9 14 42.76	404 124.624
	12 3 48 36.63	24 54 39.45	373 381.286		12 13 11 36.56	-10 34 51.33	403 897.497
	18 4 3 38.05	25 42 49.39	373 887.241		18 13 22 26.82	-11 53 43.77	403 588.366
1 0	4 18 48.81	26 25 2.04	374 436.445	12 0	13 33 24.50	-13 11 10.45	403 198.024
	6 4 34 7.52	27 1 4.06	375 029.129		6 13 44 30.57	-14 27 1.19	402 727.680
	12 4 49 32.57	27 30 44.40	375 665.255		12 13 55 45.98	-15 41 5.29	402 178.955
	18 5 5 2.15	27 53 54.59	376 344.488		18 14 7 11.64	-16 53 11.44	401 553.882
2 0	5 20 34.29	28 10 28.95	377 066.180	13 0	14 18 48.43	-18 3 7.66	400 854.899
	6 5 36 6.90	28 20 24.79	377 829.353		6 14 30 37.16	-19 10 41.27	400 084.846
	12 5 51 37.83	28 23 42.43	378 632.687		12 14 42 38.60	-20 15 38.88	399 246.955
	18 6 7 4.92	28 20 25.23	379 474.517		18 14 54 53.43	-21 17 46.36	398 344.839
3 0	6 22 26.09	28 10 39.52	380 352.824	14 0	15 7 22.23	-22 16 48.89	397 382.480
	6 6 37 39.37	27 54 34.38	381 265.246		6 15 20 5.48	-23 12 31.00	396 364.209
	12 6 52 42.91	27 32 21.43	382 209.077		12 15 33 3.52	-24 4 36.62	395 294.696
	18 7 7 35.12	27 4 14.51	383 181.284		18 15 46 16.53	-24 52 49.19	394 178.921
4 0	7 22 14.58	26 30 29.36	384 178.519	15 0	15 59 44.53	-25 36 51.84	393 022.155
	6 7 36 40.16	25 51 23.25	385 197.136		6 16 13 27.34	-26 16 27.54	391 829.930
	12 7 50 50.96	25 7 14.58	386 233.218		12 16 27 24.59	-26 51 19.30	390 608.011
	18 8 4 46.34	24 18 22.59	387 282.600		18 16 41 35.66	-27 21 10.46	389 362.364
5 0	8 18 25.90	23 25 6.94	388 340.895	16 0	16 55 59.73	-27 45 44.98	388 099.120
	6 8 31 49.48	22 27 47.49	389 403.524		6 17 10 35.75	-28 4 47.68	386 824.533
	12 8 44 57.10	21 26 43.95	390 465.751		12 17 25 22.45	-28 18 4.67	385 544.946
	18 8 57 49.00	20 22 15.75	391 522.711		18 17 40 18.36	-28 25 23.57	384 266.743
6 0	9 10 25.56	19 14 41.77	392 569.449	17 0	17 55 21.85	-28 26 33.89	382 996.303
	6 9 22 47.31	18 4 20.27	393 600.947		6 18 10 31.13	-28 21 27.30	381 739.956
	12 9 34 54.90	16 51 28.74	394 612.164		12 18 25 44.33	-28 9 57.89	380 503.932
	18 9 46 49.06	15 36 23.85	395 598.069		18 18 40 59.54	-27 52 2.31	379 294.316
7 0	9 58 30.61	14 19 21.43	396 553.671	18 0	18 56 14.82	-27 27 39.99	378 116.993
	6 10 10 0.43	13 0 36.40	397 474.055		6 19 11 28.30	-26 56 53.11	376 977.604
	12 10 21 19.44	11 40 22.87	398 354.411		12 19 26 38.22	-26 19 46.67	375 881.496
	18 10 32 28.62	10 18 54.07	399 190.068		18 19 41 42.95	-25 36 28.33	374 833.682
8 0	10 43 28.95	8 56 22.45	399 976.520	19 0	19 56 41.02	-24 47 8.36	373 838.792
	6 10 54 21.43	7 32 59.74	400 709.452		6 20 11 31.21	-23 51 59.37	372 901.037
	12 11 5 7.08	6 8 56.96	401 384.771		12 20 26 12.48	-22 51 16.13	372 024.178
	18 11 15 46.94	4 44 24.54	401 998.627		18 20 40 44.04	-21 45 15.28	371 211.493
9 0	11 26 22.02	3 19 32.34	402 547.436	20 0	20 55 5.35	-20 34 15.06	370 465.755
	6 11 36 53.36	1 54 29.79	403 027.903		6 21 9 16.08	-19 18 35.07	369 789.216
	12 11 47 22.00	0 29 25.92	403 437.037		12 21 23 16.13	-17 58 35.96	369 183.594
	18 11 57 48.95	- 0 55 30.55	403 772.176		18 21 37 5.61	-16 34 39.18	368 650.072
10 0	12 8 15.25	- 2 20 11.11	404 030.998	21 0	21 50 44.80	-15 7 6.79	368 189.303
	6 12 18 41.92	- 3 44 27.39	404 211.534		6 22 4 14.17	-13 36 21.19	367 801.416
	12 12 29 9.99	- 5 8 11.09	404 312.188		12 22 17 34.30	-12 2 45.00	367 486.038
	18 12 39 40.48	- 6 31 13.88	404 331.740		18 22 30 45.94	-10 26 40.88	367 242.317

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Janv. 22	0	22 43 49.92	- 8 48 31.39	367 068.951	Févr. 2	0	8 53 8.29	20 43 51.93	392 837.923
	6	22 56 47.15	- 7 8 38.95	366 964.226		6	9 5 44.99	19 37 12.42	393 671.940
	12	23 9 38.63	- 5 27 25.70	366 926.053		12	9 18 7.91	18 27 35.66	394 499.465
	18	23 22 25.42	- 3 45 13.51	366 952.016		18	9 30 17.57	17 15 18.73	395 318.017
23	0	23 35 8.62	- 2 2 23.89	367 039.414	3	0	9 42 14.55	16 0 38.20	396 124.932
	6	23 47 49.34	- 0 19 18.05	367 185.314		6	9 53 59.55	14 43 50.02	396 917.378
	12	0 0 28.74	1 23 43.17	367 386.600		12	10 5 33.32	13 25 9.52	397 692.365
	18	0 13 7.98	3 6 19.22	367 640.022		18	10 16 56.64	12 4 51.33	398 446.768
24	0	0 25 48.20	4 48 9.86	367 942.244	4	0	10 28 10.38	10 43 9.46	399 177.340
	6	0 38 30.56	6 28 55.12	368 289.895		6	10 39 15.39	9 20 17.23	399 880.733
	12	0 51 16.19	8 8 15.24	368 679.612		12	10 50 12.59	7 56 27.34	400 553.525
	18	1 4 6.16	9 45 50.69	369 108.082		18	11 1 2.89	6 31 51.90	401 192.235
25	0	1 17 1.54	11 21 22.07	369 572.080	5	0	11 11 47.21	5 6 42.42	401 793.352
	6	1 30 3.31	12 54 30.15	370 068.504		6	11 22 26.51	3 41 9.92	402 353.358
	12	1 43 12.39	14 24 55.82	370 594.407		12	11 33 1.72	2 15 24.94	402 868.753
	18	1 56 29.64	15 52 20.10	371 147.018		18	11 43 33.79	0 49 37.60	403 336.080
26	0	2 9 55.77	17 16 24.14	371 723.763	6	0	11 54 3.67	- 0 36 2.34	403 751.952
	6	2 23 31.40	18 36 49.30	372 322.284		6	12 4 32.30	- 2 1 25.41	404 113.074
	12	2 37 17.01	19 53 17.17	372 940.444		12	12 15 0.64	- 3 26 22.37	404 416.275
	18	2 51 12.92	21 5 29.70	373 576.335		18	12 25 29.63	- 4 50 44.18	404 658.526
27	0	3 5 19.26	22 13 9.27	374 228.278	7	0	12 36 0.23	- 6 14 21.87	404 836.969
	6	3 19 35.98	23 15 58.88	374 894.820		6	12 46 33.36	- 7 37 6.54	404 948.939
	12	3 34 2.83	24 13 42.32	375 574.723		12	12 57 9.96	- 8 58 49.24	404 991.990
	18	3 48 39.32	25 6 4.33	376 266.954		18	13 7 50.99	-10 19 20.95	404 963.917
28	0	4 3 24.74	25 52 50.88	376 970.672	8	0	13 18 37.35	-11 38 32.46	404 862.776
	6	4 18 18.17	26 33 49.35	377 685.202		6	13 29 29.96	-12 56 14.37	404 686.907
	12	4 33 18.47	27 8 48.79	378 410.021		12	13 40 29.73	-14 12 16.97	404 434.955
	18	4 48 24.27	27 37 40.15	379 144.731		18	13 51 37.55	-15 26 30.20	404 105.888
29	0	5 3 34.07	28 0 16.44	379 889.034	9	0	14 2 54.27	-16 38 43.60	403 699.018
	6	5 18 46.18	28 16 32.97	380 642.705		6	14 14 20.74	-17 48 46.26	403 214.012
	12	5 33 58.85	28 26 27.43	381 405.567		12	14 25 57.73	-18 56 26.78	402 650.915
	18	5 49 10.22	28 29 60.00	382 177.459		18	14 37 46.00	-20 1 33.20	402 010.159
30	0	6 4 18.46	28 27 13.32	382 958.213	10	0	14 49 46.23	-21 3 53.03	401 292.580
	6	6 19 21.74	28 18 12.50	383 747.624		6	15 1 59.03	-22 3 13.21	400 499.425
	12	6 34 18.32	28 3 4.96	384 545.424		12	15 14 24.93	-22 59 20.16	399 632.368
	18	6 49 6.58	27 42 0.35	385 351.260		18	15 27 4.34	-23 51 59.74	398 693.509
31	0	7 3 45.04	27 15 10.25	386 164.667	11	0	15 39 57.57	-24 40 57.38	397 685.389
	6	7 18 12.41	26 42 48.00	386 985.047		6	15 53 4.78	-25 25 58.12	396 610.987
	12	7 32 27.61	26 5 8.41	387 811.657		12	16 6 25.98	-26 6 46.75	395 473.723
	18	7 46 29.75	25 22 27.46	388 643.582		18	16 20 1.02	-26 43 7.91	394 277.456
Févr. 1	0	8 0 18.16	24 35 2.07	389 479.732	12	0	16 33 49.56	-27 14 46.30	393 026.480
	6	8 13 52.38	23 43 9.81	390 318.823		6	16 47 51.07	-27 41 26.86	391 725.514
	12	8 27 12.16	22 47 8.61	391 159.375		12	17 2 4.84	-28 2 55.02	390 379.692
	18	8 40 17.43	21 47 16.62	391 999.705		18	17 16 29.95	-28 18 56.91	388 994.547

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Févr. 13	0	17 31 5.29	-28 29 19.68	387 575.992	Févr. 24	0	3 49 42.28	25 17 11.53	374 121.155
	6	17 45 49.59	-28 33 51.71	386 130.295		6	4 4 36.92	26 3 48.31	375 211.571
	12	18 0 41.44	-28 32 22.93	384 664.051		12	4 19 37.42	26 44 22.93	376 308.591
	18	18 15 39.28	-28 24 45.03	383 184.151		18	4 34 42.61	27 18 47.21	377 408.255
14	0	18 30 41.49	-28 10 51.74	381 697.742	25	0	4 49 51.10	27 46 54.96	378 506.935
	6	18 45 46.38	-27 50 38.96	380 212.185		6	5 5 1.40	28 8 42.17	379 601.336
	12	19 0 52.28	-27 24 4.95	378 735.008		12	5 20 11.90	28 24 7.06	380 688.495
	18	19 15 57.52	-26 51 10.43	377 273.852		18	5 35 20.95	28 33 10.10	381 765.779
15	0	19 31 0.55	-26 11 58.60	375 836.418	26	0	5 50 26.86	28 35 54.01	382 830.869
	6	19 45 59.90	-25 26 35.18	374 430.404		6	6 5 27.96	28 32 23.70	383 881.751
	12	20 0 54.27	-24 35 8.29	373 063.440		12	6 20 22.64	28 22 46.17	384 916.698
	18	20 15 42.52	-23 37 48.43	371 743.023		18	6 35 9.40	28 7 10.33	385 934.254
16	0	20 30 23.71	-22 34 48.27	370 476.447	27	0	6 49 46.86	27 45 46.87	386 933.206
	6	20 44 57.11	-21 26 22.57	369 270.735		6	7 4 13.80	27 18 48.00	387 912.567
	12	20 59 22.18	-20 12 47.90	368 132.567		12	7 18 29.19	26 46 27.25	388 871.546
	18	21 13 38.60	-18 54 22.52	367 068.211		18	7 32 32.15	26 8 59.22	389 809.528
17	0	21 27 46.25	-17 31 26.17	366 083.461	28	0	7 46 22.03	25 26 39.37	390 726.043
	6	21 41 45.19	-16 4 19.81	365 183.570		6	7 59 58.35	24 39 43.75	391 620.737
	12	21 55 35.67	-14 33 25.51	364 373.195		12	8 13 20.81	23 48 28.85	392 493.354
	18	22 9 18.07	-12 59 6.20	363 656.351		18	8 26 29.32	22 53 11.34	393 343.700
18	0	22 22 52.95	-11 21 45.53	363 036.361	Mars 1	0	8 39 23.90	21 54 7.97	394 171.624
	6	22 36 20.96	-9 41 47.67	362 515.827		6	8 52 4.75	20 51 35.38	394 976.987
	12	22 49 42.86	-7 59 37.24	362 096.607		12	9 4 32.19	19 45 50.01	395 759.646
	18	23 2 59.52	-6 15 39.07	361 779.800		18	9 16 46.65	18 37 7.96	396 519.424
19	0	23 16 11.86	-4 30 18.17	361 565.740	2	0	9 28 48.65	17 25 45.00	397 256.097
	6	23 29 20.85	-2 43 59.59	361 454.013		6	9 40 38.81	16 11 56.42	397 969.367
	12	23 42 27.53	-0 57 8.30	361 443.464		12	9 52 17.80	14 55 57.07	398 658.854
	18	23 55 32.96	0 49 50.85	361 532.236		18	10 3 46.34	13 38 1.30	399 324.075
20	0	0 8 38.19	2 36 33.23	361 717.804	3	0	10 15 5.21	12 18 22.97	399 964.434
	6	0 21 44.31	4 22 34.46	361 997.023		6	10 26 15.22	10 57 15.44	400 579.213
	12	0 34 52.37	6 7 30.51	362 366.184		12	10 37 17.19	9 34 51.60	401 167.563
	18	0 48 3.42	7 50 57.70	362 821.072		18	10 48 11.97	8 11 23.88	401 728.501
21	0	1 1 18.46	9 32 32.75	363 357.036	4	0	10 59 0.43	6 47 4.25	402 260.902
	6	1 14 38.44	11 11 52.84	363 969.052		6	11 9 43.44	5 22 4.33	402 763.506
	12	1 28 4.27	12 48 35.64	364 651.800		12	11 20 21.88	3 56 35.30	403 234.916
	18	1 41 36.76	14 22 19.32	365 399.731		18	11 30 56.62	2 30 48.07	403 673.602
22	0	1 55 16.62	15 52 42.64	366 207.138	5	0	11 41 28.54	1 4 53.20	404 077.909
	6	2 9 4.45	17 19 24.97	367 068.225		6	11 51 58.54	-0 20 58.97	404 446.065
	12	2 23 0.75	18 42 6.39	367 977.171		12	12 2 27.47	-1 46 38.34	404 776.195
	18	2 37 5.82	20 0 27.76	368 928.194		18	12 12 56.22	-3 11 54.96	405 066.329
23	0	2 51 19.85	21 14 10.78	369 915.600	6	0	12 23 25.65	-4 36 39.04	405 314.418
	6	3 5 42.82	22 22 58.19	370 933.842		6	12 33 56.63	-6 0 40.84	405 518.353
	12	3 20 14.52	23 26 33.80	371 977.561		12	12 44 30.03	-7 23 50.69	405 675.980
	18	3 34 54.55	24 24 42.74	373 041.623		18	12 55 6.68	-8 45 58.91	405 785.121

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Mars	7 0	13 5 47.43	-10 6 55.75	405 843.591	Mars	18 0	22 51 58.39	- 7 42 19.99	360 817.805
	6	13 16 33.12	-11 26 31.40	405 849.223		6	23 5 19.88	- 5 57 17.86	360 045.604
	12	13 27 24.55	-12 44 35.89	405 799.889		12	23 18 39.56	- 4 10 37.37	359 382.363
	18	13 38 22.55	-14 0 59.10	405 693.522		18	23 31 58.41	- 2 22 43.92	358 832.190
	8 0	13 49 27.87	-15 15 30.66	405 528.142		19 0	23 45 17.42	- 0 34 3.49	358 398.376
	6	14 0 41.28	-16 27 59.98	405 301.876		6	23 58 37.64	1 14 57.42	358 083.342
	12	14 12 3.50	-17 38 16.16	405 012.987		12	0 12 0.08	3 3 51.98	357 888.620
	18	14 23 35.21	-18 46 8.03	404 659.897		18	0 25 25.80	4 52 13.05	357 814.830
	9 0	14 35 17.05	-19 51 24.06	404 241.210		20 0	0 38 55.79	6 39 33.33	357 861.676
	6	14 47 9.59	-20 53 52.39	403 755.740		6	0 52 31.03	8 25 25.49	358 027.958
	12	14 59 13.35	-21 53 20.85	403 202.531		12	1 6 12.46	10 9 22.27	358 311.595
	18	15 11 28.76	-22 49 36.93	402 580.885		18	1 20 0.94	11 50 56.62	358 709.664
	10 0	15 23 56.17	-23 42 27.82	401 890.384		21 0	1 33 57.23	13 29 41.88	359 218.442
	6	15 36 35.80	-24 31 40.49	401 130.914		6	1 48 2.00	15 5 11.86	359 833.475
	12	15 49 27.80	-25 17 1.72	400 302.686		12	2 2 15.78	16 37 1.09	360 549.638
	18	16 2 32.16	-25 58 18.17	399 406.256		18	2 16 38.96	18 4 44.89	361 361.211
	11 0	16 15 48.73	-26 35 16.53	398 442.550		22 0	2 31 11.75	19 27 59.67	362 261.966
	6	16 29 17.24	-27 7 43.59	397 412.878		6	2 45 54.18	20 46 23.02	363 245.244
	12	16 42 57.24	-27 35 26.43	396 318.952		12	3 0 46.06	21 59 33.99	364 304.047
	18	16 56 48.15	-27 58 12.52	395 162.905		18	3 15 47.00	23 7 13.26	365 431.117
	12 0	17 10 49.22	-28 15 49.96	393 947.299		23 0	3 30 56.35	24 9 3.36	366 619.030
	6	17 24 59.55	-28 28 7.62	392 675.141		6	3 46 13.27	25 4 48.90	367 860.267
	12	17 39 18.13	-28 34 55.31	391 349.889		12	4 1 36.66	25 54 16.75	369 147.299
	18	17 53 43.80	-28 36 4.02	389 975.457		18	4 17 5.23	26 37 16.22	370 472.654
	13 0	18 8 15.32	-28 31 26.04	388 556.219		24 0	4 32 37.49	27 13 39.19	371 828.985
	6	18 22 51.38	-28 20 55.18	387 097.006		6	4 48 11.80	27 43 20.25	373 209.130
	12	18 37 30.60	-28 4 26.83	385 603.101		12	5 3 46.40	28 6 16.75	374 606.163
	18	18 52 11.63	-27 41 58.17	384 080.226		18	5 19 19.45	28 22 28.77	376 013.438
	14 0	19 6 53.12	-27 13 28.19	382 534.533		25 0	5 34 49.09	28 31 59.10	377 424.631
	6	19 21 33.76	-26 38 57.78	380 972.576		6	5 50 13.47	28 34 53.12	378 833.768
	12	19 36 12.34	-25 58 29.75	379 401.290		12	6 5 30.82	28 31 18.59	380 235.251
	18	19 50 47.77	-25 12 8.81	377 827.957		18	6 20 39.48	28 21 25.51	381 623.879
	15 0	20 5 19.07	-24 20 1.59	376 260.167		26 0	6 35 37.93	28 5 25.76	382 994.853
	6	20 19 45.41	-23 22 16.51	374 705.773		6	6 50 24.84	27 43 32.93	384 343.791
	12	20 34 6.15	-22 19 3.82	373 172.843		12	7 4 59.06	27 16 1.93	385 666.725
	18	20 48 20.78	-21 10 35.41	371 669.596		18	7 19 19.68	26 43 8.74	386 960.097
	16 0	21 2 29.00	-19 57 4.80	370 204.342		27 0	7 33 25.99	26 5 10.11	388 220.756
	6	21 16 30.66	-18 38 47.02	368 785.414		6	7 47 17.49	25 22 23.31	389 445.946
	12	21 30 25.78	-17 15 58.52	367 421.087		12	8 0 53.89	24 35 5.84	390 633.286
	18	21 44 14.53	-15 48 57.07	366 119.505		18	8 14 15.10	23 43 35.26	391 780.763
	17 0	21 57 57.23	-14 18 1.69	364 888.592		28 0	8 27 21.20	22 48 9.00	392 886.705
	6	22 11 34.35	-12 43 32.55	363 735.972		6	8 40 12.41	21 49 4.18	393 949.763
	12	22 25 6.44	-11 5 50.91	362 668.885		12	8 52 49.12	20 46 37.57	394 968.886
	18	22 38 34.20	- 9 25 19.00	361 694.092		18	9 5 11.81	19 41 5.42	395 943.300

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Mars	29 0	9 17 21.07	18 32 43.47	396 872.480	Avril	9 0	17 51 26.08	-28 30 26.36	394 273.570
	6	9 29 17.57	17 21 46.87	397 756.125		6	18 5 38.62	-28 26 46.86	393 128.237
	12	9 41 2.05	16 8 30.18	398 594.130		12	18 19 54.25	-28 17 31.69	391 934.020
	18	9 52 35.30	14 53 7.42	399 386.565		18	18 34 11.75	-28 2 37.99	390 693.038
	30 0	10 3 58.14	13 35 51.99	400 133.642		10 0	18 48 29.92	-27 42 4.40	389 407.803
	6	10 15 11.44	12 16 56.79	400 835.692		6	19 2 47.59	-27 15 51.05	388 081.232
	12	10 26 16.06	10 56 34.20	401 493.140		12	19 17 3.66	-26 43 59.58	386 716.663
	18	10 37 12.92	9 34 56.14	402 106.481		18	19 31 17.12	-26 6 33.14	385 317.861
	31 0	10 48 2.89	8 12 14.12	402 676.254		11 0	19 45 27.08	-25 23 36.30	383 889.027
	6	10 58 46.90	6 48 39.27	403 203.021		6	19 59 32.77	-24 35 15.03	382 434.794
	12	11 9 25.85	5 24 22.38	403 687.345		12	20 13 33.56	-23 41 36.64	380 960.234
	18	11 20 0.63	3 59 33.99	404 129.770		18	20 27 28.99	-22 42 49.68	379 470.840
Avril	1 0	11 30 32.14	2 34 24.39	404 530.804	12 0	20 41 18.71	-21 39 3.90	377 972.519	
	6	11 41 1.28	1 9 3.70	404 890.902	6	20 55 2.58	-20 30 30.16	376 471.571	
	12	11 51 28.92	- 0 16 18.11	405 210.449	12	21 8 40.57	-19 17 20.38	374 974.664	
	18	12 1 55.95	- 1 41 31.14	405 489.751	18	21 22 12.80	-17 59 47.52	373 488.801	
	2 0	12 12 23.22	- 3 6 25.55	405 729.020	13 0	21 35 39.56	-16 38 5.49	372 021.285	
	6	12 22 51.59	- 4 30 51.54	405 928.369	6	21 49 1.22	-15 12 29.14	370 579.668	
	12	12 33 21.91	- 5 54 39.22	406 087.802	12	22 2 18.32	-13 43 14.29	369 171.701	
	18	12 43 55.01	- 7 17 38.69	406 207.213	18	22 15 31.47	-12 10 37.65	367 805.275	
	3 0	12 54 31.71	- 8 39 39.92	406 286.380	14 0	22 28 41.40	-10 34 56.88	366 488.354	
	6	13 5 12.81	-10 0 32.74	406 324.968	6	22 41 48.91	- 8 56 30.58	365 228.901	
	12	13 15 59.09	-11 20 6.84	406 322.529	12	22 54 54.89	- 7 15 38.32	364 034.802	
	18	13 26 51.33	-12 38 11.71	406 278.505	18	23 8 0.29	- 5 32 40.60	362 913.782	
4 0	13 37 50.26	-13 54 36.62	406 192.241	15 0	23 21 6.11	- 3 47 58.94	361 873.321		
6	13 48 56.60	-15 9 10.61	406 062.984	6	23 34 13.40	- 2 1 55.81	360 920.564		
12	14 0 11.02	-16 21 42.49	405 889.901	12	23 47 23.22	- 0 14 54.69	360 062.237		
18	14 11 34.15	-17 32 0.81	405 672.085	18	0 0 36.69	1 32 40.01	359 304.555		
5 0	14 23 6.59	-18 39 53.86	405 408.578	16 0	0 13 54.89	3 20 22.91	358 653.141		
6	14 34 48.87	-19 45 9.69	405 098.375	6	0 27 18.92	5 7 47.78	358 112.949		
12	14 46 41.45	-20 47 36.13	404 740.453	12	0 40 49.86	6 54 27.59	357 688.194		
18	14 58 44.72	-21 47 0.79	404 333.783	18	0 54 28.72	8 39 54.57	357 382.281		
6 0	15 10 59.00	-22 43 11.14	403 877.351	17 0	1 8 16.50	10 23 40.37	357 197.766		
6	15 23 24.49	-23 35 54.52	403 370.183	6	1 22 14.07	12 5 16.23	357 136.308		
12	15 36 1.29	-24 24 58.23	402 811.364	12	1 36 22.22	13 44 13.09	357 198.641		
18	15 48 49.41	-25 10 9.62	402 200.065	18	1 50 41.61	15 20 1.88	357 384.567		
7 0	16 1 48.71	-25 51 16.14	401 535.564	18 0	2 5 12.74	16 52 13.70	357 692.955		
6	16 14 58.92	-26 28 5.51	400 817.272	6	2 19 55.94	18 20 20.13	358 121.754		
12	16 28 19.65	-27 0 25.78	400 044.762	12	2 34 51.30	19 43 53.53	358 668.024		
18	16 41 50.37	-27 28 5.50	399 217.788	18	2 49 58.70	21 2 27.37	359 327.980		
8 0	16 55 30.40	-27 50 53.83	398 336.316	19 0	3 5 17.75	22 15 36.57	360 097.043		
6	17 9 18.96	-28 8 40.71	397 400.550	6	3 20 47.78	23 22 57.88	360 969.903		
12	17 23 15.12	-28 21 16.98	396 410.952	12	3 36 27.86	24 24 10.25	361 940.595		
18	17 37 17.86	-28 28 34.51	395 368.272	18	3 52 16.74	25 18 55.16	363 002.577		

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Avril 20	0	4 8 12.94	26 6 57.00	364 148.810	Mai 1	0	13 26 40.12	-12 36 51.98	406 100.595
	6	4 24 14.69	26 48 3.29	365 371.850		6	13 37 40.30	-13 52 54.16	405 980.007
	12	4 40 20.03	27 22 4.96	366 663.933		12	13 48 48.28	-15 7 7.75	405 816.771
	18	4 56 26.83	27 48 56.49	368 017.062		18	14 0 4.75	-16 19 21.25	405 612.097
21	0	5 12 32.86	28 8 35.95	369 423.094	2	0	14 11 30.33	-17 29 22.85	405 367.100
	6	5 28 35.83	28 21 4.95	370 873.818	6	14 23 5.61	-18 37 0.39	405 082.797	
	12	5 44 33.47	28 26 28.59	372 361.038	12	14 34 51.07	-19 42 1.39	404 760.098	
	18	6 0 23.59	28 24 55.14	373 876.635	18	14 46 47.16	-20 44 13.10	404 399.803	
22	0	6 16 4.14	28 16 35.81	375 412.643	3	0	14 58 54.21	-21 43 22.56	404 002.601
	6	6 31 33.26	28 1 44.36	376 961.301	6	15 11 12.47	-22 39 16.62	403 569.069	
	12	6 46 49.33	27 40 36.69	378 515.107	12	15 23 42.08	-23 31 42.07	403 099.679	
	18	7 1 50.96	27 13 30.42	380 066.864	18	15 36 23.03	-24 20 25.70	402 594.796	
23	0	7 16 37.05	26 40 44.48	381 609.717	4	0	15 49 15.24	-25 5 14.40	402 054.694
	6	7 31 6.78	26 2 38.65	383 137.185	6	16 2 18.44	-25 45 55.36	401 479.557	
	12	7 45 19.57	25 19 33.25	384 643.190	12	16 15 32.24	-26 22 16.10	400 869.495	
	18	7 59 15.14	24 31 48.71	386 122.069	18	16 28 56.11	-26 54 4.71	400 224.556	
24	0	8 12 53.39	23 39 45.38	387 568.596	5	0	16 42 29.37	-27 21 9.95	399 544.743
	6	8 26 14.49	22 43 43.22	388 977.986	6	16 56 11.21	-27 43 21.43	398 830.027	
	12	8 39 18.74	21 44 1.62	390 345.900	12	17 10 0.68	-28 0 29.76	398 080.372	
	18	8 52 6.63	20 40 59.29	391 668.443	18	17 23 56.71	-28 12 26.68	397 295.748	
25	0	9 4 38.79	19 34 54.15	392 942.163	6	0	17 37 58.17	-28 19 5.23	396 476.159
	6	9 16 55.93	18 26 3.26	394 164.042	6	17 52 3.83	-28 20 19.83	395 621.661	
	12	9 28 58.87	17 14 42.80	395 331.483	12	18 6 12.40	-28 16 6.37	394 732.390	
	18	9 40 48.49	16 1 8.09	396 442.300	18	18 20 22.61	-28 6 22.29	393 808.583	
26	0	9 52 25.71	14 45 33.59	397 494.699	7	0	18 34 33.17	-27 51 6.58	392 850.605
	6	10 3 51.50	13 28 12.95	398 487.264	6	18 48 42.83	-27 30 19.84	391 858.973	
	12	10 15 6.85	12 9 19.08	399 418.934	12	19 2 50.42	-27 4 4.16	390 834.385	
	18	10 26 12.77	10 49 4.17	400 288.983	18	19 16 54.86	-26 32 23.14	389 777.741	
27	0	10 37 10.26	9 27 39.80	401 097.002	8	0	19 30 55.18	-25 55 21.79	388 690.168
	6	10 48 0.34	8 5 17.00	401 842.869	6	19 44 50.54	-25 13 6.41	387 573.046	
	12	10 58 44.00	6 42 6.31	402 526.731	12	19 58 40.24	-24 25 44.50	386 428.029	
	18	11 9 22.27	5 18 17.87	403 148.978	18	20 12 23.76	-23 33 24.68	385 257.065	
28	0	11 19 56.11	3 54 1.49	403 710.217	9	0	20 26 0.70	-22 36 16.48	384 062.417
	6	11 30 26.52	2 29 26.71	404 211.252	6	20 39 30.85	-21 34 30.35	382 846.676	
	12	11 40 54.46	1 4 42.87	404 653.053	12	20 52 54.15	-20 28 17.47	381 612.778	
	18	11 51 20.87	-0 20 0.79	405 036.737	18	21 6 10.67	-19 17 49.69	380 364.011	
29	0	12 1 46.71	-1 44 35.12	405 363.541	10	0	21 19 20.64	-18 3 19.49	379 104.025
	6	12 12 12.90	-3 8 50.97	405 634.800	6	21 32 24.44	-16 44 59.89	377 836.830	
	12	12 22 40.34	-4 32 39.12	405 851.921	12	21 45 22.53	-15 23 4.41	376 566.799	
	18	12 33 9.93	-5 55 50.27	406 016.366	18	21 58 15.54	-13 57 47.09	375 298.657	
30	0	12 43 42.54	-7 18 14.95	406 129.626	11	0	22 11 4.15	-12 29 22.47	374 037.469
	6	12 54 19.04	-8 39 43.50	406 193.202	6	22 23 49.15	-10 58 5.61	372 788.622	
	12	13 5 0.27	-10 0 6.02	406 208.585	12	22 36 31.43	-9 24 12.10	371 557.803	
	18	13 15 47.03	-11 19 12.34	406 177.242	18	22 49 11.93	-7 47 58.14	370 350.965	

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Mai	12 0	23 1 51.66	- 6 9 40.57	369 174.290	Mai	23 0	9 37 52.83	16 4 14.95	392 167.087
	6	23 14 31.68	- 4 29 36.94	368 034.149		6	9 49 45.59	14 47 43.72	393 456.518
	12	23 27 13.10	- 2 48 5.55	366 937.048		12	10 1 25.34	13 29 28.41	394 692.528
	18	23 39 57.06	- 1 5 25.57	365 889.575		18	10 12 53.14	12 9 43.28	395 871.323
	13 0	23 52 44.73	0 38 2.99	364 898.338		24 0	10 24 10.08	10 48 41.64	396 989.544
	6	0 5 37.29	2 21 59.14	363 969.899		6	10 35 17.27	9 26 35.90	398 044.263
	12	0 18 35.95	4 6 0.90	363 110.701		12	10 46 15.81	8 3 37.72	399 032.977
	18	0 31 41.89	5 49 45.28	362 326.998		18	10 57 6.81	6 39 58.02	399 953.602
	14 0	0 44 56.27	7 32 48.26	361 624.774		25 0	11 7 51.36	5 15 47.14	400 804.464
	6	0 58 20.22	9 14 44.81	361 009.674		6	11 18 30.53	3 51 14.89	401 584.284
	12	1 11 54.82	10 55 8.92	360 486.918		12	11 29 5.41	2 26 30.68	402 292.165
	18	1 25 41.05	12 33 33.72	360 061.238		18	11 39 37.03	1 1 43.56	402 927.580
	15 0	1 39 39.82	14 9 31.53	359 736.800		26 0	11 50 6.45	- 0 22 57.65	403 490.351
	6	1 53 51.88	15 42 34.08	359 517.142		6	12 0 34.68	- 1 47 24.31	403 980.635
	12	2 8 17.84	17 12 12.71	359 405.120		12	12 11 2.73	- 3 11 27.85	404 398.902
	18	2 22 58.09	18 37 58.59	359 402.858		18	12 21 31.58	- 4 34 59.72	404 745.920
	16 0	2 37 52.83	19 59 23.09	359 511.703		27 0	12 32 2.21	- 5 57 51.29	405 022.727
	6	2 53 1.98	21 15 58.12	359 732.205		6	12 42 35.57	- 7 19 53.80	405 230.619
	12	3 8 25.17	22 27 16.52	360 064.094		12	12 53 12.59	- 8 40 58.32	405 371.121
	18	3 24 1.74	23 32 52.56	360 506.279		18	13 3 54.19	- 10 0 55.65	405 445.968
	17 0	3 39 50.67	24 32 22.37	361 056.851		28 0	13 14 41.24	- 11 19 36.26	405 457.082
	6	3 55 50.65	25 25 24.45	361 713.104		6	13 25 34.62	- 12 36 50.32	405 406.551
	12	4 12 0.01	26 11 40.13	362 471.566		12	13 36 35.15	- 13 52 27.57	405 296.603
	18	4 28 16.81	26 50 54.01	363 328.034		18	13 47 43.62	- 15 6 17.33	405 129.586
	18 0	4 44 38.84	27 22 54.31	364 277.631		29 0	13 59 0.78	- 16 18 8.51	404 907.944
	6	5 1 3.66	27 47 33.20	365 314.857		6	14 10 27.33	- 17 27 49.54	404 634.194
	12	5 17 28.73	28 4 46.91	366 433.656		12	14 22 3.90	- 18 35 8.40	404 310.906
	18	5 33 51.41	28 14 35.82	367 627.487		18	14 33 51.05	- 19 39 52.63	403 940.680
	19 0	5 50 9.09	28 17 4.36	368 889.394		30 0	14 45 49.28	- 20 41 49.39	403 526.125
	6	6 6 19.23	28 12 20.80	370 212.083		6	14 57 58.96	- 21 40 45.45	403 069.839
	12	6 22 19.47	28 0 36.93	371 587.997		12	15 10 20.39	- 22 36 27.32	402 574.390
	18	6 38 7.66	27 42 7.67	373 009.390		18	15 22 53.72	- 23 28 41.29	402 042.300
	20 0	6 53 41.92	27 17 10.53	374 468.407		31 0	15 35 39.00	- 24 17 13.57	401 476.023
	6	7 9 0.69	26 46 5.16	375 957.141		6	15 48 36.10	- 25 1 50.40	400 877.935
	12	7 24 2.70	26 9 12.76	377 467.716		12	16 1 44.79	- 25 42 18.20	400 250.318
	18	7 38 47.03	25 26 55.60	378 992.336		18	16 15 4.62	- 26 18 23.73	399 595.347
	21 0	7 53 13.06	24 39 36.55	380 523.350	Juin	1 0	16 28 35.04	- 26 49 54.31	398 915.081
	6	8 7 20.47	23 47 38.64	382 053.304		6	16 42 15.28	- 27 16 37.95	398 211.457
	12	8 21 9.21	22 51 24.68	383 574.982		12	16 56 4.45	- 27 38 23.59	397 486.278
	18	8 34 39.46	21 51 17.00	385 081.455		18	17 10 1.51	- 27 55 1.26	396 741.213
	22 0	8 47 51.63	20 47 37.21	386 566.112		2 0	17 24 5.28	- 28 6 22.31	395 977.798
	6	9 0 46.28	19 40 45.98	388 022.690		6	17 38 14.48	- 28 12 19.53	395 197.431
	12	9 13 24.12	18 31 3.00	389 445.305		12	17 52 27.74	- 28 12 47.31	394 401.377
	18	9 25 46.00	17 18 46.83	390 828.464		18	18 6 43.64	- 28 7 41.74	393 590.778

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance
	h	m	s	°	'	"	km		h	m	s	°	'	"	km
Juin	3	0	18 21 0.74	-27	57	0.72	392 766.654	Juin	14	0	4 17 26.26	26	25	57.55	364 919.323
	6	18 35 17.60	-27	40	43.96	391 929.917	6		4 33 35.88	27	1	33.00	365 409.819		
	12	18 49 32.85	-27	18	52.99	391 081.383	12		4 49 52.09	27	30	4.29	365 986.768		
	18	19 3 45.18	-26	51	31.10	390 221.789	18		5 6 12.48	27	51	22.15	366 648.466		
	4	0	19 17 53.38	-26	18	43.29	389 351.802		15	0	5 22 34.51	28	5	21.19	367 392.592
	6	19 31 56.38	-25	40	36.16	388 472.048		6	5 38 55.52	28	12	0.10	368 216.222		
	12	19 45 53.26	-24	57	17.75	387 583.121		12	5 55 12.84	28	11	21.62	369 115.854		
	18	19 59 43.26	-24	8	57.38	386 685.616		18	6 11 23.86	28	3	32.45	370 087.437		
	5	0	20 13 25.78	-23	15	45.57	385 780.139		16	0	6 27 26.12	27	48	42.99	371 126.411
	6	20 27 0.40	-22	17	53.77	384 867.342		6	6 43 17.35	27	27	7.01	372 227.744		
	12	20 40 26.89	-21	15	34.29	383 947.939		12	6 58 55.55	26	59	1.20	373 385.984		
	18	20 53 45.16	-20	9	0.11	383 022.732		18	7 14 19.00	26	24	44.69	374 595.308		
	6	0	21 6 55.31	-18	58	24.77	382 092.639		17	0	7 29 26.31	25	44	38.50	375 849.574
	6	21 19 57.58	-17	44	2.22	381 158.709		6	7 44 16.43	24	59	5.06	377 142.383		
	12	21 32 52.33	-16	26	6.80	380 222.153		12	7 58 48.62	24	8	27.65	378 467.126		
	18	21 45 40.08	-15	4	53.09	379 284.359		18	8 13 2.44	23	13	9.98	379 817.051		
	7	0	21 58 21.45	-13	40	35.91	378 346.913		18	0	8 26 57.74	22	13	35.79	381 185.310
	6	22 10 57.16	-12	13	30.26	377 411.617		6	8 40 34.64	21	10	8.46	382 565.018		
	12	22 23 28.02	-10	43	51.34	376 480.501		12	8 53 53.45	20	3	10.77	383 949.305		
	18	22 35 54.93	-9	11	54.53	375 555.838		18	9 6 54.70	18	53	4.69	385 331.362		
	8	0	22 48 18.86	-7	37	55.45	374 640.147		19	0	9 19 39.05	17	40	11.19	386 704.493
	6	23 0 40.83	-6	2	9.95	373 736.201		6	9 32 7.31	16	24	50.15	388 062.155		
	12	23 13 1.92	-4	24	54.21	372 847.023		12	9 44 20.37	15	7	20.32	389 397.996		
	18	23 25 23.26	-2	46	24.76	371 975.886		18	9 56 19.22	13	47	59.26	390 705.897		
	9	0	23 37 46.00	-1	6	58.60	371 126.300		20	0	10 8 4.89	12	27	3.41	391 979.997
	6	23 50 11.34	0	33	6.79	370 301.997		6	10 19 38.45	11	4	48.08	393 214.729		
	12	0 2 40.48	2	13	33.33	369 506.915		12	10 31 1.00	9	41	27.51	394 404.841		
	18	0 15 14.64	3	54	2.28	368 745.171		18	10 42 13.66	8	17	14.97	395 545.416		
	10	0	0 27 55.06	5	34	14.18	368 021.029		21	0	10 53 17.55	6	52	22.82	396 631.895
	6	0 40 42.95	7	13	48.78	367 338.868		6	11 4 13.79	5	27	2.61	397 660.091		
	12	0 53 39.50	8	52	24.96	366 703.142		12	11 15 3.49	4	1	25.16	398 626.196		
	18	1 6 45.88	10	29	40.78	366 118.333		18	11 25 47.76	2	35	40.66	399 526.798		
	11	0	1 20 3.20	12	5	13.39	365 588.906		22	0	11 36 27.68	-1	9	58.77	400 358.880
	6	1 33 32.49	13	38	39.08	365 119.255		6	11 47 4.35	-0	15	31.28	401 119.830		
	12	1 47 14.69	15	9	33.34	364 713.650		12	11 57 38.83	-1	40	40.61	401 807.438		
	18	2 1 10.62	16	37	30.96	364 376.179		18	12 8 12.17	-3	5	20.60	402 419.899		
	12	0	2 15 20.94	18	2	6.14	364 110.695		23	0	12 18 45.40	-4	29	22.78	402 955.808
	6	2 29 46.14	19	22	52.70	363 920.754		6	12 29 19.54	-5	52	38.78	403 414.157		
	12	2 44 26.48	20	39	24.33	363 809.565		12	12 39 55.60	-7	15	0.20	403 794.327		
	18	2 59 21.96	21	51	14.88	363 779.934		18	12 50 34.57	-8	36	18.59	404 096.085		
	13	0	3 14 32.33	22	57	58.73	363 834.213		24	0	13 1 17.41	-9	56	25.32	404 319.567
	6	3 29 57.01	23	59	11.21	363 974.259		6	13 12 5.06	-11	15	11.55	404 465.275		
	12	3 45 35.10	24	54	29.05	364 201.392		12	13 22 58.45	-12	32	28.14	404 534.061		
	18	4 1 25.37	25	43	30.83	364 516.361		18	13 33 58.47	-13	48	5.62	404 527.112		

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Juin	25 0	13 45 5.98	-15 1 54.12	404 445.939	Juill.	6 0	23 26 15.70	- 2 23 49.42	373 025.838
	6	13 56 21.81	-16 13 43.33	404 292.360		6	23 38 34.29	- 0 44 47.71	372 520.225
	12	14 7 46.73	-17 23 22.47	404 068.481		12	23 50 54.07	0 54 36.16	372 039.833
	18	14 19 21.46	-18 30 40.27	403 776.681		18	0 3 16.23	2 34 4.34	371 585.218
	26 0	14 31 6.66	-19 35 24.97	403 419.590	7 0	0 15 41.94	4 13 18.72	371 157.064	
	6	14 43 2.91	-20 37 24.29	403 000.071	6	0 28 12.39	5 52 0.85	370 756.200	
	12	14 55 10.70	-21 36 25.54	402 521.198	12	0 40 48.77	7 29 51.87	370 383.608	
	18	15 7 30.43	-22 32 15.57	401 986.232	18	0 53 32.25	9 6 32.48	370 040.419	
	27 0	15 20 2.37	-23 24 40.90	401 398.602	8 0	1 6 23.96	10 41 42.87	369 727.924	
	6	15 32 46.67	-24 13 27.77	400 761.881	6	1 19 25.01	12 15 2.72	369 447.558	
	12	15 45 43.34	-24 58 22.31	400 079.756	12	1 32 36.42	13 46 11.16	369 200.902	
	18	15 58 52.22	-25 39 10.60	399 356.011	18	1 45 59.15	15 14 46.80	368 989.663	
	28 0	16 12 13.00	-26 15 38.93	398 594.497	9 0	1 59 34.06	16 40 27.74	368 815.659	
	6	16 25 45.20	-26 47 33.88	397 799.109	6	2 13 21.89	18 2 51.64	368 680.799	
	12	16 39 28.15	-27 14 42.61	396 973.759	12	2 27 23.21	19 21 35.87	368 587.059	
	18	16 53 21.03	-27 36 53.03	396 122.351	18	2 41 38.44	20 36 17.60	368 536.451	
	29 0	17 7 22.82	-27 53 54.03	395 248.756	10 0	2 56 7.76	21 46 34.03	368 530.995	
	6	17 21 32.39	-28 5 35.70	394 356.791	6	3 10 51.15	22 52 2.62	368 572.684	
	12	17 35 48.43	-28 11 49.55	393 450.187	12	3 25 48.31	23 52 21.38	368 663.447	
	18	17 50 9.56	-28 12 28.69	392 532.577	18	3 40 58.65	24 47 9.24	368 805.117	
	30 0	18 4 34.29	-28 7 27.99	391 607.466	11 0	3 56 21.32	25 36 6.35	368 999.387	
	6	18 19 1.10	-27 56 44.22	390 678.214	6	4 11 55.14	26 18 54.56	369 247.777	
	12	18 33 28.45	-27 40 16.14	389 748.021	12	4 27 38.64	26 55 17.75	369 551.596	
	18	18 47 54.85	-27 18 4.51	388 819.908	18	4 43 30.09	27 25 2.30	369 911.907	
Juill.	1 0	19 2 18.83	-26 50 12.13	387 896.701	12 0	4 59 27.50	27 47 57.38	370 329.491	
	6	19 16 39.04	-26 16 43.77	386 981.025	6	5 15 28.68	28 3 55.30	370 804.817	
	12	19 30 54.26	-25 37 46.06	386 075.294	12	5 31 31.32	28 12 51.76	371 338.019	
	18	19 45 3.40	-24 53 27.41	385 181.702	18	5 47 33.00	28 14 45.94	371 928.868	
	2 0	19 59 5.53	-24 3 57.83	384 302.225	13 0	6 3 31.30	28 9 40.58	372 576.751	
	6	20 12 59.93	-23 9 28.74	383 438.617	6	6 19 23.85	27 57 41.88	373 280.665	
	12	20 26 46.03	-22 10 12.84	382 592.416	12	6 35 8.41	27 38 59.37	374 039.197	
	18	20 40 23.45	-21 6 23.89	381 764.953	18	6 50 42.92	27 13 45.59	374 850.530	
	3 0	20 53 52.02	-19 58 16.52	380 957.354	14 0	7 6 5.53	26 42 15.77	375 712.436	
	6	21 7 11.71	-18 46 6.09	380 170.560	6	7 21 14.66	26 4 47.46	376 622.286	
	12	21 20 22.67	-17 30 8.52	379 405.340	12	7 36 9.02	25 21 40.04	377 577.062	
	18	21 33 25.19	-16 10 40.15	378 662.304	18	7 50 47.61	24 33 14.34	378 573.372	
	4 0	21 46 19.73	-14 47 57.62	377 941.932	15 0	8 5 9.71	23 39 52.17	379 607.467	
	6	21 59 6.82	-13 22 17.79	377 244.587	6	8 19 14.88	22 41 55.93	380 675.273	
	12	22 11 47.16	-11 53 57.66	376 570.542	12	8 33 2.94	21 39 48.25	381 772.412	
	18	22 24 21.51	-10 23 14.28	375 920.006	18	8 46 33.94	20 33 51.66	382 894.236	
	5 0	22 36 50.73	- 8 50 24.79	375 293.147	16 0	8 59 48.14	19 24 28.31	384 035.861	
	6	22 49 15.74	- 7 15 46.34	374 690.118	6	9 12 45.98	18 11 59.80	385 192.201	
	12	23 1 37.53	- 5 39 36.12	374 111.081	12	9 25 28.04	16 56 46.95	386 358.008	
	18	23 13 57.16	- 4 2 11.38	373 556.236	18	9 37 55.04	15 39 9.72	387 527.905	

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Juill. 17 0	9 50 7.79	14 19 27.12	388 696.430	Juill. 28 0	18 42 36.47	-27 29 39.95	387 647.459
6	10 2 7.17	12 57 57.13	389 858.069	6	18 57 7.05	-27 3 6.81	386 501.073
12	10 13 54.13	11 34 56.74	391 007.298	12	19 11 35.45	-26 30 48.11	385 359.716
18	10 25 29.68	10 10 41.91	392 138.619	18	19 26 0.38	-25 52 48.58	384 228.544
18 0	10 36 54.84	8 45 27.62	393 246.595	29 0	19 40 20.63	-25 9 14.91	383 112.571
6	10 48 10.64	7 19 27.92	394 325.883	6	19 54 35.17	-24 20 15.64	382 016.631
12	10 59 18.15	5 52 55.97	395 371.273	12	20 8 43.11	-23 26 1.05	380 945.344
18	11 10 18.43	4 26 4.12	396 377.710	18	20 22 43.74	-22 26 43.02	379 903.085
19 0	11 21 12.54	2 59 4.00	397 340.334	30 0	20 36 36.52	-21 22 34.84	378 893.951
6	11 32 1.53	1 32 6.54	398 254.496	6	20 50 21.10	-20 13 51.09	377 921.735
12	11 42 46.45	0 5 22.13	399 115.791	12	21 3 57.31	-19 0 47.42	376 989.903
18	11 53 28.34	-1 20 59.37	399 920.080	18	21 17 25.14	-17 43 40.43	376 101.570
20 0	12 4 8.24	-2 46 48.47	400 663.505	31 0	21 30 44.75	-16 22 47.50	375 259.484
6	12 14 47.16	-4 11 56.06	401 342.516	6	21 43 56.44	-14 58 26.62	374 466.017
12	12 25 26.10	-5 36 13.23	401 953.881	12	21 57 0.64	-13 30 56.30	373 723.152
18	12 36 6.05	-6 59 31.27	402 494.707	18	22 9 57.91	-12 0 35.45	373 032.484
21 0	12 46 48.00	-8 21 41.52	402 962.444	Août 1 0	22 22 48.92	-10 27 43.27	372 395.223
6	12 57 32.91	-9 42 35.36	403 354.908	6	22 35 34.43	-8 52 39.15	371 812.195
12	13 8 21.71	-11 2 4.07	403 670.276	12	22 48 15.28	-7 15 42.68	371 283.860
18	13 19 15.33	-12 19 58.84	403 907.107	18	23 0 52.38	-5 37 13.51	370 810.326
22 0	13 30 14.69	-13 36 10.60	404 064.338	2 0	23 13 26.70	-3 57 31.38	370 391.371
6	13 41 20.64	-14 50 30.07	404 141.291	6	23 25 59.25	-2 16 56.09	370 026.464
12	13 52 34.03	-16 2 47.63	404 137.676	12	23 38 31.09	-0 35 47.43	369 714.799
18	14 3 55.68	-17 12 53.28	404 053.591	18	23 51 3.30	1 5 34.72	369 455.321
23 0	14 15 26.33	-18 20 36.64	403 889.520	3 0	0 3 36.98	2 46 50.47	369 246.761
6	14 27 6.69	-19 25 46.90	403 646.334	6	0 16 13.25	4 27 39.87	369 087.673
12	14 38 57.41	-20 28 12.80	403 325.282	12	0 28 53.22	6 7 42.89	368 976.465
18	14 50 59.06	-21 27 42.62	402 927.987	18	0 41 37.99	7 46 39.42	368 911.443
24 0	15 3 12.10	-22 24 4.24	402 456.440	4 0	0 54 28.65	9 24 9.21	368 890.838
6	15 15 36.94	-23 17 5.12	401 912.989	6	1 7 26.25	10 59 51.91	368 912.848
12	15 28 13.83	-24 6 32.41	401 300.329	12	1 20 31.79	12 33 27.03	368 975.668
18	15 41 2.91	-24 52 12.97	400 621.490	18	1 33 46.23	14 4 33.94	369 077.521
25 0	15 54 4.19	-25 33 53.54	399 879.821	5 0	1 47 10.43	15 32 51.90	369 216.690
6	16 7 17.52	-26 11 20.79	399 078.972	6	2 0 45.16	16 58 0.10	369 391.537
12	16 20 42.59	-26 44 21.53	398 222.882	12	2 14 31.06	18 19 37.69	369 600.531
18	16 34 18.91	-27 12 42.88	397 315.752	18	2 28 28.65	19 37 23.90	369 842.262
26 0	16 48 5.86	-27 36 12.42	396 362.026	6 0	2 42 38.28	20 50 58.14	370 115.457
6	17 2 2.60	-27 54 38.43	395 366.368	6	2 57 0.10	22 0 0.15	370 418.990
12	17 16 8.18	-28 7 50.10	394 333.634	12	3 11 34.07	23 4 10.20	370 751.886
18	17 30 21.45	-28 15 37.74	393 268.845	18	3 26 19.92	24 3 9.26	371 113.324
27 0	17 44 41.17	-28 17 53.00	392 177.155	7 0	3 41 17.12	24 56 39.32	371 502.632
6	17 59 5.99	-28 14 29.04	391 063.826	6	3 56 24.91	25 44 23.58	371 919.285
12	18 13 34.47	-28 5 20.74	389 934.188	12	4 11 42.27	26 26 6.83	372 362.888
18	18 28 5.12	-27 50 24.82	388 793.609	18	4 27 7.91	27 1 35.68	372 833.170

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Août	8 0	4 42 40.34	27 30 38.85	373 329.958	Août	19 0	14 0 6.69	-16 56 46.49	404 605.409
	6	4 58 17.84	27 53 7.49	373 853.165		6	14 11 33.41	-18 5 10.70	404 611.440
	12	5 13 58.54	28 8 55.35	374 402.764		12	14 23 8.84	-19 11 0.62	404 540.121
	18	5 29 40.43	28 17 58.98	374 978.764		18	14 34 53.58	-20 14 5.71	404 390.379
	9 0	5 45 21.45	28 20 17.83	375 581.187		20 0	14 46 48.19	-21 14 15.16	404 161.497
	6	6 0 59.48	28 15 54.28	376 210.038		6	14 58 53.16	-22 11 17.85	403 853.122
	12	6 16 32.48	28 4 53.63	376 865.282		12	15 11 8.87	-23 5 2.37	403 465.278
	18	6 31 58.49	27 47 23.91	377 546.813		18	15 23 35.64	-23 55 17.05	402 998.372
	10 0	6 47 15.68	27 23 35.75	378 254.434		21 0	15 36 13.65	-24 41 50.02	402 453.207
	6	7 2 22.40	26 53 42.15	378 987.824		6	15 49 2.99	-25 24 29.26	401 830.983
	12	7 17 17.24	26 17 58.09	379 746.522		12	16 2 3.61	-26 3 2.72	401 133.303
	18	7 31 58.98	25 36 40.34	380 529.901		18	16 15 15.33	-26 37 18.38	400 362.175
	11 0	7 46 26.67	24 50 7.00	381 337.148		22 0	16 28 37.81	-27 7 4.38	399 520.015
	6	8 0 39.60	23 58 37.26	382 167.250		6	16 42 10.59	-27 32 9.20	398 609.642
	12	8 14 37.31	23 2 31.04	383 018.978		12	16 55 53.05	-27 52 21.79	397 634.276
	18	8 28 19.54	22 2 8.68	383 890.875		18	17 9 44.42	-28 7 31.72	396 597.531
	12 0	8 41 46.26	20 57 50.70	384 781.252		23 0	17 23 43.81	-28 17 29.39	395 503.409
	6	8 54 57.62	19 49 57.55	385 688.180		6	17 37 50.19	-28 22 6.17	394 356.283
	12	9 7 53.93	18 38 49.43	386 609.487		12	17 52 2.45	-28 21 14.60	393 160.888
	18	9 20 35.66	17 24 46.10	387 542.767		18	18 6 19.37	-28 14 48.54	391 922.304
	13 0	9 33 3.39	16 8 6.77	388 485.380		24 0	18 20 39.69	-28 2 43.31	390 645.929
	6	9 45 17.79	14 49 10.02	389 434.459		6	18 35 2.11	-27 44 55.79	389 337.462
	12	9 57 19.63	13 28 13.71	390 386.927		12	18 49 25.34	-27 21 24.58	388 002.875
	18	10 9 9.74	12 5 34.93	391 339.508		18	19 3 48.11	-26 52 9.99	386 648.376
	14 0	10 20 48.97	10 41 30.02	392 288.741		25 0	19 18 9.21	-26 17 14.13	385 280.383
	6	10 32 18.26	9 16 14.53	393 231.006		6	19 32 27.52	-25 36 40.88	383 905.481
	12	10 43 38.53	7 50 3.25	394 162.538		12	19 46 42.02	-24 50 35.90	382 530.382
	18	10 54 50.74	6 23 10.21	395 079.452		18	20 0 51.82	-23 59 6.55	381 161.880
	15 0	11 5 55.85	4 55 48.77	395 977.767		26 0	20 14 56.19	-23 2 21.85	379 806.805
	6	11 16 54.85	3 28 11.59	396 853.433		6	20 28 54.52	-22 0 32.39	378 471.974
	12	11 27 48.69	2 0 30.76	397 702.355		12	20 42 46.39	-20 53 50.20	377 164.133
	18	11 38 38.34	0 32 57.77	398 520.418		18	20 56 31.53	-19 42 28.68	375 889.909
	16 0	11 49 24.77	- 0 54 16.37	399 303.516		27 0	21 10 9.82	-18 26 42.49	374 655.753
	6	12 0 8.94	- 2 21 1.10	400 047.579		6	21 23 41.29	-17 6 47.42	373 467.885
	12	12 10 51.79	- 3 47 6.24	400 748.599		12	21 37 6.14	-15 43 0.31	372 332.235
	18	12 21 34.25	- 5 12 21.91	401 402.658		18	21 50 24.67	-14 15 38.92	371 254.399
	17 0	12 32 17.25	- 6 36 38.52	402 005.951		28 0	22 3 37.34	-12 45 1.86	370 239.578
	6	12 43 1.71	- 7 59 46.64	402 554.813		6	22 16 44.69	-11 11 28.49	369 292.536
	12	12 53 48.51	- 9 21 36.98	403 045.746		12	22 29 47.37	- 9 35 18.84	368 417.553
	18	13 4 38.55	-10 42 0.31	403 475.438		18	22 42 46.14	- 7 56 53.54	367 618.389
	18 0	13 15 32.69	-12 0 47.43	403 840.790		29 0	22 55 41.79	- 6 16 33.72	366 898.251
	6	13 26 31.77	-13 17 49.06	404 138.937		6	23 8 35.23	- 4 34 41.01	366 259.766
	12	13 37 36.60	-14 32 55.83	404 367.266		12	23 21 27.37	- 2 51 37.39	365 704.961
	18	13 48 47.99	-15 45 58.21	404 523.439		18	23 34 19.20	- 1 7 45.24	365 235.256

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Août	30 0	23 47 11.72	0 36 32.80	364 851.458	Sept.	10 0	10 7 0.59	12 21 23.81	393 311.944
	6	0 0 5.97	2 20 53.83	364 553.770		6	10 18 34.25	10 58 24.98	394 131.120
	12	0 13 2.99	4 4 54.76	364 341.797		12	10 29 58.73	9 34 9.01	394 938.161
	18	0 26 3.81	5 48 12.35	364 214.579		18	10 41 14.94	8 8 50.04	395 731.788
	31 0	0 39 9.46	7 30 23.23	364 170.608	11 0	10 52 23.78	6 42 41.69	396 510.577	
	6	0 52 20.95	9 11 4.00	364 207.873	6	11 3 26.17	5 15 57.03	397 272.952	
	12	1 5 39.24	10 49 51.23	364 323.893	12	11 14 23.02	3 48 48.66	398 017.186	
	18	1 19 5.22	12 26 21.54	364 515.773	18	11 25 15.25	2 21 28.74	398 741.402	
Sept.	1 0	1 32 39.74	14 0 11.70	364 780.244	12 0	11 36 3.78	0 54 9.01	399 443.576	
	6	1 46 23.55	15 30 58.62	365 113.725	6	11 46 49.49	-0 32 59.15	400 121.544	
	12	2 0 17.26	16 58 19.55	365 512.373	12	11 57 33.28	-1 59 44.69	400 773.011	
	18	2 14 21.39	18 21 52.09	365 972.143	18	12 8 16.04	-3 25 56.85	401 395.559	
	2 0	2 28 36.30	19 41 14.38	366 488.838	13 0	12 18 58.63	-4 51 25.09	401 986.662	
	6	2 43 2.14	20 56 5.23	367 058.169	6	12 29 41.90	-6 15 59.09	402 543.701	
	12	2 57 38.93	22 6 4.27	367 675.808	12	12 40 26.71	-7 39 28.69	403 063.978	
	18	3 12 26.42	23 10 52.19	368 337.431	18	12 51 13.87	-9 1 43.83	403 544.735	
	3 0	3 27 24.16	24 10 10.89	369 038.771	14 0	13 2 4.19	-10 22 34.54	403 983.173	
	6	3 42 31.49	25 3 43.77	369 775.654	6	13 12 58.45	-11 41 50.89	404 376.473	
	12	3 57 47.48	25 51 15.91	370 544.043	12	13 23 57.42	-12 59 22.93	404 721.814	
	18	4 13 10.98	26 32 34.34	371 340.063	18	13 35 1.83	-14 15 0.72	405 016.399	
	4 0	4 28 40.63	27 7 28.24	372 160.033	15 0	13 46 12.37	-15 28 34.22	405 257.473	
	6	4 44 14.88	27 35 49.16	373 000.487	6	13 57 29.73	-16 39 53.33	405 442.353	
	12	4 59 52.01	27 57 31.17	373 858.188	12	14 8 54.53	-17 48 47.82	405 568.443	
	18	5 15 30.17	28 12 30.99	374 730.146	18	14 20 27.35	-18 55 7.36	405 633.264	
	5 0	5 31 7.47	28 20 48.04	375 613.617	16 0	14 32 8.72	-19 58 41.47	405 634.474	
	6	5 46 41.95	28 22 24.45	376 506.112	6	14 43 59.10	-20 59 19.52	405 569.894	
	12	6 2 11.70	28 17 25.01	377 405.390	12	14 55 58.88	-21 56 50.79	405 437.530	
	18	6 17 34.89	28 5 57.03	378 309.453	18	15 8 8.40	-22 51 4.43	405 235.596	
	6 0	6 32 49.79	27 48 10.17	379 216.538	17 0	15 20 27.88	-23 41 49.52	404 962.538	
	6	6 47 54.82	27 24 16.21	380 125.097	6	15 32 57.45	-24 28 55.09	404 617.054	
	12	7 2 48.62	26 54 28.79	381 033.789	12	15 45 37.16	-25 12 10.20	404 198.118	
	18	7 17 30.00	26 19 3.14	381 941.455	18	15 58 26.92	-25 51 24.02	403 705.000	
	7 0	7 31 58.01	25 38 15.76	382 847.098	18 0	16 11 26.55	-26 26 25.84	403 137.285	
	6	7 46 11.94	24 52 24.14	383 749.862	6	16 24 35.73	-26 57 5.24	402 494.893	
	12	8 0 11.27	24 1 46.50	384 649.007	12	16 37 54.04	-27 23 12.16	401 778.096	
	18	8 13 55.72	23 6 41.48	385 543.883	18	16 51 20.92	-27 44 37.01	400 987.539	
	8 0	8 27 25.19	22 7 27.99	386 433.906	19 0	17 4 55.70	-28 1 10.80	400 124.250	
	6	8 40 39.76	21 4 24.92	387 318.536	6	17 18 37.61	-28 12 45.24	399 189.655	
	12	8 53 39.68	19 57 51.04	388 197.244	12	17 32 25.77	-28 19 12.89	398 185.595	
	18	9 6 25.34	18 48 4.83	389 069.498	18	17 46 19.24	-28 20 27.24	397 114.331	
	9 0	9 18 57.24	17 35 24.37	389 934.733	20 0	18 0 16.99	-28 16 22.86	395 978.556	
	6	9 31 16.00	16 20 7.25	390 792.331	6	18 14 17.96	-28 6 55.45	394 781.399	
	12	9 43 22.30	15 2 30.55	391 641.603	12	18 28 21.08	-27 52 1.95	393 526.430	
	18	9 55 16.89	13 42 50.77	392 481.769	18	18 42 25.26	-27 31 40.62	392 217.661	

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Sept. 21	0 18 56 29.45	-27 5 51.02	390 859.539	Oct. 2	0 5 15 8.82	28 7 21.17	370 496.608
	6 19 10 32.65	-26 34 34.11	389 456.948		6 5 31 5.58	28 15 50.15	371 696.674
	12 19 24 33.91	-25 57 52.23	388 015.192		12 5 46 57.40	28 17 22.58	372 919.182
	18 19 38 32.41	-25 15 49.07	386 539.987		18 6 2 42.23	28 12 6.20	374 158.314
22	0 19 52 27.40	-24 28 29.67	385 037.439	3	0 6 18 18.16	28 0 11.46	375 408.532
	6 20 6 18.26	-23 36 0.42	383 514.020		6 6 33 43.43	27 41 51.15	376 664.611
	12 20 20 4.50	-22 38 28.95	381 976.546		12 6 48 56.52	27 17 20.11	377 921.659
	18 20 33 45.77	-21 36 4.14	380 432.138		18 7 3 56.13	26 46 54.87	379 175.133
23	0 20 47 21.86	-20 28 56.06	378 888.188	4	0 7 18 41.22	26 10 53.26	380 420.850
	6 21 0 52.67	-19 17 15.92	377 352.310		6 7 33 10.99	25 29 34.05	381 654.993
	12 21 14 18.27	-18 1 16.03	375 832.298		12 7 47 24.89	24 43 16.63	382 874.108
	18 21 27 38.83	-16 41 9.77	374 336.063		18 8 1 22.62	23 52 20.70	384 075.105
24	0 21 40 54.67	-15 17 11.57	372 871.581	5	0 8 15 4.10	22 57 6.03	385 255.245
	6 21 54 6.19	-13 49 36.86	371 446.823		6 8 28 29.42	21 57 52.20	386 412.128
	12 22 7 13.92	-12 18 42.05	370 069.691		12 8 41 38.87	20 54 58.45	387 543.680
	18 22 20 18.49	-10 44 44.55	368 747.941		18 8 54 32.90	19 48 43.54	388 648.135
25	0 22 33 20.60	- 9 8 2.71	367 489.113	6	0 9 7 12.07	18 39 25.63	389 724.013
	6 22 46 21.04	- 7 28 55.84	366 300.457		6 9 19 37.03	17 27 22.25	390 770.097
	12 22 59 20.65	- 5 47 44.17	365 188.851		12 9 31 48.56	16 12 50.23	391 785.413
	18 23 12 20.35	- 4 4 48.87	364 160.729		18 9 43 47.48	14 56 5.70	392 769.200
26	0 23 25 21.09	- 2 20 31.99	363 222.015	7	0 9 55 34.64	13 37 24.10	393 720.888
	6 23 38 23.86	- 0 35 16.42	362 378.048		6 10 7 10.97	12 17 0.20	394 640.069
	12 23 51 29.69	1 10 34.10	361 633.520		12 10 18 37.39	10 55 8.11	395 526.475
	18 0 4 39.59	2 56 35.07	360 992.425		18 10 29 54.86	9 32 1.36	396 379.945
27	0 0 17 54.62	4 42 21.27	360 458.016	8	0 10 41 4.33	8 7 52.92	397 200.404
	6 0 31 15.78	6 27 26.86	360 032.757		6 10 52 6.77	6 42 55.26	397 987.838
	12 0 44 44.07	8 11 25.43	359 718.307		12 11 3 3.13	5 17 20.41	398 742.265
	18 0 58 20.46	9 53 50.15	359 515.505		18 11 13 54.36	3 51 19.99	399 463.718
28	0 1 12 5.82	11 34 13.88	359 424.362	9	0 11 24 41.39	2 25 5.30	400 152.218
	6 1 26 0.98	13 12 9.30	359 444.074		6 11 35 25.17	0 58 47.32	400 807.757
	12 1 40 6.64	14 47 9.08	359 573.045		12 11 46 6.58	- 0 27 23.18	401 430.278
	18 1 54 23.37	16 18 46.08	359 808.917		18 11 56 46.55	- 1 53 15.64	402 019.660
29	0 2 8 51.60	17 46 33.55	360 148.612	10	0 12 7 25.93	- 3 18 39.64	402 575.699
	6 2 23 31.59	19 10 5.37	360 588.386		6 12 18 5.61	- 4 43 24.88	403 098.101
	12 2 38 23.39	20 28 56.26	361 123.890		12 12 28 46.41	- 6 7 21.12	403 586.468
	18 2 53 26.81	21 42 42.14	361 750.234		18 12 39 29.17	- 7 30 18.14	404 040.290
30	0 3 8 41.45	22 51 0.35	362 462.061	11	0 12 50 14.67	- 8 52 5.75	404 458.942
	6 3 24 6.62	23 53 29.98	363 253.621		6 13 1 3.71	-10 12 33.70	404 841.675
	12 3 39 41.39	24 49 52.18	364 118.847		12 13 11 57.03	-11 31 31.70	405 187.620
	18 3 55 24.56	25 39 50.46	365 051.433		18 13 22 55.34	-12 48 49.39	405 495.786
Oct. 1	0 4 11 14.69	26 23 10.93	366 044.911	12	0 13 33 59.33	-14 4 16.32	405 765.065
	6 4 27 10.11	26 59 42.58	367 092.719		6 13 45 9.65	-15 17 41.92	405 994.234
	12 4 43 8.96	27 29 17.48	368 188.278		12 13 56 26.91	-16 28 55.54	406 181.968
	18 4 59 9.23	27 51 50.85	369 325.051		18 14 7 51.66	-17 37 46.40	406 326.845

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	km		h	m	s	°	'	"	km		
Oct. 13	0	14	19	24.41	-18	44	3.62	406 427.360	Oct. 24	0	23	53	34.00	1	30	58.30	362 698.122
	6	14	31	5.59	-19	47	36.25	406 481.937		6	0	6	40.01	3	15	38.93	361 617.514
	12	14	42	55.58	-20	48	13.26	406 488.945		12	0	19	53.59	5	0	18.37	360 630.523
	18	14	54	54.67	-21	45	43.60	406 446.715		18	0	33	15.83	6	44	31.30	359 743.758
14	0	15	7	3.08	-22	39	56.22	406 353.557	25	0	0	46	47.83	8	27	51.27	358 963.223
	6	15	19	20.93	-23	30	40.14	406 207.783		6	1	0	30.62	10	9	50.74	358 294.240
	12	15	31	48.24	-24	17	44.49	406 007.722		12	1	14	25.14	11	50	1.23	357 741.377
	18	15	44	24.93	-25	0	58.59	405 751.748		18	1	28	32.28	13	27	53.41	357 308.375
15	0	15	57	10.82	-25	40	12.04	405 438.297	26	0	1	42	52.77	15	2	57.36	356 998.107
	6	16	10	5.60	-26	15	14.80	405 065.896		6	1	57	27.19	16	34	42.76	356 812.537
	12	16	23	8.86	-26	45	57.26	404 633.183		12	2	12	15.94	18	2	39.22	356 752.681
	18	16	36	20.07	-27	12	10.37	404 138.936		18	2	27	19.20	19	26	16.60	356 818.605
16	0	16	49	38.62	-27	33	45.72	403 582.091	27	0	2	42	36.90	20	45	5.38	357 009.426
	6	17	3	3.77	-27	50	35.67	402 961.775		6	2	58	8.67	21	58	37.14	357 323.322
	12	17	16	34.71	-28	2	33.39	402 277.326		12	3	13	53.86	23	6	24.96	357 757.565
	18	17	30	10.54	-28	9	32.97	401 528.320		18	3	29	51.47	24	8	3.92	358 308.566
17	0	17	43	50.32	-28	11	29.54	400 714.596	28	0	3	46	0.19	25	3	11.62	358 971.928
	6	17	57	33.06	-28	8	19.26	399 836.280		6	4	2	18.39	25	51	28.59	359 742.510
	12	18	11	17.76	-27	59	59.39	398 893.808		12	4	18	44.13	26	32	38.75	360 614.507
	18	18	25	3.41	-27	46	28.37	397 887.948		18	4	35	15.21	27	6	29.76	361 581.524
18	0	18	38	49.03	-27	27	45.76	396 819.826	29	0	4	51	49.23	27	32	53.28	362 636.668
	6	18	52	33.69	-27	3	52.28	395 690.941		6	5	8	23.64	27	51	45.16	363 772.631
	12	19	6	16.51	-26	34	49.78	394 503.188		12	5	24	55.82	28	3	5.42	364 981.789
	18	19	19	56.70	-26	0	41.19	393 258.874		18	5	41	23.15	28	6	58.21	366 256.281
19	0	19	33	33.57	-25	21	30.50	391 960.730	30	0	5	57	43.12	28	3	31.58	367 588.101
	6	19	47	6.54	-24	37	22.72	390 611.929		6	6	13	53.35	27	52	57.12	368 969.184
	12	20	0	35.12	-23	48	23.77	389 216.091		12	6	29	51.68	27	35	29.58	370 391.479
	18	20	13	58.99	-22	54	40.47	387 777.294		18	6	45	36.24	27	11	26.38	371 847.023
20	0	20	27	17.92	-21	56	20.49	386 300.072	31	0	7	1	5.43	26	41	7.07	373 328.011
	6	20	40	31.82	-20	53	32.28	384 789.416		6	7	16	18.00	26	4	52.82	374 826.852
	12	20	53	40.73	-19	46	25.04	383 250.773		12	7	31	12.99	25	23	5.93	376 336.218
	18	21	6	44.81	-18	35	8.70	381 690.028		18	7	45	49.79	24	36	9.29	377 849.098
21	0	21	19	44.33	-17	19	53.91	380 113.494	Nov. 1	0	8	0	8.04	23	44	26.04	379 358.830
	6	21	32	39.68	-16	0	52.01	378 527.888		6	8	14	7.69	22	48	19.15	380 859.128
	12	21	45	31.36	-14	38	15.08	376 940.307		12	8	27	48.91	21	48	11.18	382 344.117
	18	21	58	19.96	-13	12	15.93	375 358.186		18	8	41	12.09	20	44	23.99	383 808.341
22	0	22	11	6.15	-11	43	8.15	373 789.269	2	0	8	54	17.79	19	37	18.59	385 246.780
	6	22	23	50.70	-10	11	6.15	372 241.551		6	9	7	6.70	18	27	15.08	386 654.856
	12	22	36	34.44	-8	36	25.21	370 723.229		12	9	19	39.66	17	14	32.50	388 028.431
	18	22	49	18.27	-6	59	21.54	369 242.638		18	9	31	57.56	15	59	28.84	389 363.812
23	0	23	2	3.15	-5	20	12.33	367 808.187	3	0	9	44	1.39	14	42	21.06	390 657.734
	6	23	14	50.10	-3	39	15.83	366 428.278		6	9	55	52.16	13	23	25.11	391 907.357
	12	23	27	40.16	-1	56	51.36	365 111.236		12	10	7	30.95	12	2	55.96	393 110.251
	18	23	40	34.42	-0	13	19.42	363 865.216		18	10	18	58.82	10	41	7.70	394 264.377

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Nov. 4	0 10 30 16.86	9 18 13.58	395 368.068	Nov. 15	0 19 19 15.76	-25 48 10.26	396 541.163
	6 10 41 26.15	7 54 26.11	396 420.014		6 19 32 39.83	-25 9 32.61	395 555.878
	12 10 52 27.77	6 29 57.16	397 419.230		12 19 45 58.64	-24 26 13.46	394 523.281
	18 11 3 22.79	5 4 58.01	398 365.042		18 19 59 11.76	-23 38 20.11	393 444.144
5	0 11 14 12.26	3 39 39.46	399 257.056	16	0 20 12 18.90	-22 46 0.60	392 319.528
	6 11 24 57.22	2 14 11.88	400 095.133		6 20 25 19.90	-21 49 23.54	391 150.810
	12 11 35 38.67	0 48 45.33	400 879.367		12 20 38 14.73	-20 48 38.12	389 939.709
	18 11 46 17.61	-0 36 30.38	401 610.050		18 20 51 3.51	-19 43 53.97	388 688.298
6	0 11 56 55.01	-2 1 25.64	402 287.657	17	0 21 3 46.46	-18 35 21.12	387 399.034
	6 12 7 31.82	-3 25 50.95	402 912.808		6 21 16 23.93	-17 23 9.98	386 074.768
	12 12 18 8.97	-4 49 36.87	403 486.250		12 21 28 56.37	-16 7 31.30	384 718.762
	18 12 28 47.35	-6 12 33.97	404 008.828		18 21 41 24.33	-14 48 36.18	383 334.696
7	0 12 39 27.85	-7 34 32.75	404 481.460	18	0 21 53 48.48	-13 26 36.05	381 926.680
	6 12 50 11.31	-8 55 23.64	404 905.114		6 22 6 9.53	-12 1 42.72	380 499.253
	12 13 0 58.55	-10 14 56.92	405 280.785		12 22 18 28.31	-10 34 8.43	379 057.379
	18 13 11 50.35	-11 33 2.72	405 609.472		18 22 30 45.71	-9 4 5.85	377 606.446
8	0 13 22 47.47	-12 49 30.97	405 892.158	19	0 22 43 2.67	-7 31 48.22	376 152.246
	6 13 33 50.63	-14 4 11.39	406 129.792		6 22 55 20.21	-5 57 29.39	374 700.959
	12 13 45 0.48	-15 16 53.49	406 323.271		12 23 7 39.38	-4 21 23.88	373 259.128
	18 13 56 17.64	-16 27 26.54	406 473.421		18 23 20 1.30	-2 43 47.04	371 833.628
9	0 14 7 42.69	-17 35 39.61	406 580.991	20	0 23 32 27.12	-1 4 55.09	370 431.616
	6 14 19 16.11	-18 41 21.57	406 646.634		6 23 44 58.01	0 34 54.77	369 060.501
	12 14 30 58.34	-19 44 21.11	406 670.898		12 23 57 35.19	2 15 24.24	367 727.875
	18 14 42 49.72	-20 44 26.78	406 654.224		18 0 10 19.89	3 56 13.86	366 441.460
10	0 14 54 50.52	-21 41 27.08	406 596.932	21	0 0 23 13.33	5 37 2.91	365 209.036
	6 15 7 0.91	-22 35 10.46	406 499.225		6 0 36 16.74	7 17 29.37	364 038.373
	12 15 19 20.94	-23 25 25.44	406 361.185		12 0 49 31.33	8 57 9.85	362 937.142
	18 15 31 50.57	-24 12 0.66	406 182.773		18 1 2 58.26	10 35 39.59	361 912.842
11	0 15 44 29.64	-24 54 45.04	405 963.833	22	0 1 16 38.63	12 12 32.49	360 972.704
	6 15 57 17.87	-25 33 27.81	405 704.102		6 1 30 33.46	13 47 21.16	360 123.612
	12 16 10 14.84	-26 7 58.68	405 403.211		12 1 44 43.66	15 19 37.04	359 372.001
	18 16 23 20.03	-26 38 7.93	405 060.700		18 1 59 9.95	16 48 50.55	358 723.787
12	0 16 36 32.80	-27 3 46.56	404 676.028	23	0 2 13 52.92	18 14 31.37	358 184.270
	6 16 49 52.38	-27 24 46.38	404 248.590		6 2 28 52.87	19 36 8.71	357 758.063
	12 17 3 17.93	-27 41 0.14	403 777.730		12 2 44 9.90	20 53 11.70	357 449.021
	18 17 16 48.49	-27 52 21.61	403 262.758		18 2 59 43.74	22 5 9.85	357 260.182
13	0 17 30 23.05	-27 58 45.72	402 702.974	24	0 3 15 33.81	23 11 33.56	357 193.712
	6 17 44 0.54	-28 0 8.56	402 097.687		6 3 31 39.17	24 11 54.73	357 250.874
	12 17 57 39.89	-27 56 27.50	401 446.235		12 3 47 58.49	25 5 47.31	357 432.002
	18 18 11 19.97	-27 47 41.16	400 748.013		18 4 4 30.03	25 52 47.98	357 736.487
14	0 18 24 59.73	-27 33 49.46	400 002.493	25	0 4 21 11.73	26 32 36.74	358 162.784
	6 18 38 38.12	-27 14 53.56	399 209.256		6 4 38 1.15	27 4 57.46	358 708.434
	12 18 52 14.17	-26 50 55.85	398 368.012		12 4 54 55.62	27 29 38.35	359 370.090
	18 19 5 46.97	-26 21 59.88	397 478.630		18 5 11 52.23	27 46 32.28	360 143.562

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Nov. 26 0	5 28 47.99	27 55 36.96	361 023.878	Déc. 7 0	14 42 14.43	-20 46 22.07	406 197.909
6	5 45 39.85	27 56 54.98	362 005.345	6	14 54 15.99	-21 42 48.12	406 110.701
12	6 2 24.86	27 50 33.62	363 081.624	12	15 6 27.53	-22 35 58.73	405 974.475
18	6 19 0.25	27 36 44.58	364 245.810	18	15 18 49.14	-23 25 42.23	405 791.377
27 0	6 35 23.46	27 15 43.45	365 490.518	8 0	15 31 20.84	-24 11 47.00	405 563.522
6	6 51 32.26	26 47 49.23	366 807.970	6	15 44 2.48	-24 54 1.53	405 292.978
12	7 7 24.77	26 13 23.64	368 190.080	12	15 56 53.78	-25 32 14.58	404 981.746
18	7 22 59.48	25 32 50.51	369 628.546	18	16 9 54.36	-26 6 15.29	404 631.744
28 0	7 38 15.27	24 46 35.10	371 114.931	9 0	16 23 3.66	-26 35 53.33	404 244.792
6	7 53 11.37	23 55 3.53	372 640.743	6	16 36 21.00	-27 0 59.07	403 822.602
12	8 7 47.40	22 58 42.20	374 197.520	12	16 49 45.59	-27 21 23.72	403 366.765
18	8 22 3.26	21 57 57.36	375 776.889	18	17 3 16.49	-27 36 59.47	402 878.742
29 0	8 35 59.14	20 53 14.69	377 370.640	10 0	17 16 52.68	-27 47 39.62	402 359.859
6	8 49 35.47	19 44 59.03	378 970.782	6	17 30 33.05	-27 53 18.72	401 811.303
12	9 2 52.89	18 33 34.11	380 569.595	12	17 44 16.42	-27 53 52.69	401 234.121
18	9 15 52.19	17 19 22.47	382 159.676	18	17 58 1.58	-27 49 18.83	400 629.218
30 0	9 28 34.29	16 2 45.30	383 733.976	11 0	18 11 47.32	-27 39 35.94	399 997.364
6	9 41 0.22	14 44 2.46	385 285.834	6	18 25 32.41	-27 24 44.29	399 339.196
12	9 53 11.07	13 23 32.42	386 809.006	12	18 39 15.69	-27 4 45.63	398 655.232
18	10 5 7.97	12 1 32.39	388 297.678	18	18 52 56.05	-26 39 43.16	397 945.874
Déc. 1 0	10 16 52.10	10 38 18.30	389 746.490	12 0	19 6 32.49	-26 9 41.41	397 211.428
6	10 28 24.65	9 14 4.93	391 150.537	6	19 20 4.09	-25 34 46.20	396 452.115
12	10 39 46.80	7 49 5.98	392 505.384	12	19 33 30.07	-24 55 4.53	395 668.090
18	10 50 59.74	6 23 34.19	393 807.058	18	19 46 49.78	-24 10 44.42	394 859.461
2 0	11 2 4.65	4 57 41.46	395 052.053	13 0	20 0 2.71	-23 21 54.81	394 026.314
6	11 13 2.68	3 31 38.90	396 237.318	6	20 13 8.50	-22 28 45.43	393 168.728
12	11 23 54.97	2 5 37.01	397 360.252	12	20 26 6.94	-21 31 26.65	392 286.807
18	11 34 42.65	0 39 45.74	398 418.693	18	20 38 57.95	-20 30 9.40	391 380.701
3 0	11 45 26.79	- 0 45 45.42	399 410.900	14 0	20 51 41.60	-19 25 5.01	390 450.635
6	11 56 8.47	- 2 10 47.28	400 335.540	6	21 4 18.10	-18 16 25.17	389 496.936
12	12 6 48.73	- 3 35 10.95	401 191.671	12	21 16 47.75	-17 4 21.81	388 520.058
18	12 17 28.58	- 4 58 47.67	401 978.718	18	21 29 11.01	-15 49 7.06	387 520.612
4 0	12 28 9.01	- 6 21 28.78	402 696.459	15 0	21 41 28.40	-14 30 53.20	386 499.391
6	12 38 50.99	- 7 43 5.63	403 344.998	6	21 53 40.57	-13 9 52.66	385 457.397
12	12 49 35.44	- 9 3 29.52	403 924.742	12	22 5 48.25	-11 46 17.94	384 395.869
18	13 0 23.26	-10 22 31.62	404 436.383	18	22 17 52.23	-10 20 21.70	383 316.302
5 0	13 11 15.33	-11 40 2.95	404 880.867	16 0	22 29 53.39	- 8 52 16.75	382 220.472
6	13 22 12.47	-12 55 54.29	405 259.375	6	22 41 52.67	- 7 22 16.07	381 110.454
12	13 33 15.48	-14 9 56.18	405 573.293	12	22 53 51.06	- 5 50 32.89	379 988.639
18	13 44 25.09	-15 21 58.88	405 824.191	18	23 5 49.62	- 4 17 20.74	378 857.748
6 0	13 55 42.01	-16 31 52.34	406 013.795	17 0	23 17 49.44	- 2 42 53.53	377 720.842
6	14 7 6.87	-17 39 26.20	406 143.965	6	23 29 51.64	- 1 7 25.61	376 581.326
12	14 18 40.24	-18 44 29.78	406 216.665	12	23 41 57.41	0 28 48.10	375 442.951
18	14 30 22.62	-19 46 52.15	406 233.944	18	23 54 7.94	2 5 32.05	374 309.812

LUNE 2007 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Déc. 18 0	0 6 24.46	3 42 29.94	373 186.335	Déc. 26 0	8 11 17.19	22 33 23.17	370 972.282
6	0 18 48.21	5 19 24.64	372 077.266	6	8 25 47.02	21 29 25.80	372 305.782
12	0 31 20.44	6 55 58.08	370 987.646	12	8 39 57.21	20 21 23.20	373 688.527
18	0 44 2.40	8 31 51.20	369 922.789	18	8 53 48.04	19 9 41.92	375 112.894
19 0	0 56 55.31	10 6 43.80	368 888.244	27 0	9 7 19.99	17 54 47.62	376 571.122
6	1 10 0.38	11 40 14.57	367 889.758	6	9 20 33.74	16 37 4.88	378 055.376
12	1 23 18.75	13 12 0.99	366 933.229	12	9 33 30.14	15 16 57.03	379 557.811
18	1 36 51.50	14 41 39.37	366 024.655	18	9 46 10.13	13 54 46.06	381 070.637
20 0	1 50 39.60	16 8 44.83	365 170.076	28 0	9 58 34.75	12 30 52.54	382 586.178
6	2 4 43.90	17 32 51.47	364 375.512	6	10 10 45.10	11 5 35.66	384 096.920
12	2 19 5.08	18 53 32.43	363 646.895	12	10 22 42.33	9 39 13.26	385 595.566
18	2 33 43.60	20 10 20.12	362 990.002	18	10 34 27.61	8 12 1.83	387 075.074
21 0	2 48 39.71	21 22 46.50	362 410.380	29 0	10 46 2.13	6 44 16.68	388 528.698
6	3 3 53.35	22 30 23.44	361 913.274	6	10 57 27.08	5 16 11.93	389 950.023
12	3 19 24.16	23 32 43.12	361 503.556	12	11 8 43.64	3 48 0.70	391 332.993
18	3 35 11.41	24 29 18.53	361 185.649	18	11 19 52.98	2 19 55.15	392 671.934
22 0	3 51 14.02	25 19 44.07	360 963.464	30 0	11 30 56.25	0 52 6.63	393 961.572
6	4 7 30.52	26 3 36.07	360 840.338	6	11 41 54.59	- 0 35 14.23	395 197.056
12	4 23 59.04	26 40 33.49	360 818.970	12	11 52 49.11	- 2 1 57.42	396 373.963
18	4 40 37.38	27 10 18.46	360 901.379	18	12 3 40.89	- 3 27 53.41	397 488.309
23 0	4 57 23.02	27 32 36.84	361 088.864	31 0	12 14 31.01	- 4 52 53.09	398 536.552
6	5 14 13.20	27 47 18.72	361 381.964	6	12 25 20.51	- 6 16 47.64	399 515.599
12	5 31 4.99	27 54 18.67	361 780.451	12	12 36 10.38	- 7 39 28.48	400 422.797
18	5 47 55.35	27 53 36.03	362 283.312	18	12 47 1.62	- 9 0 47.14	401 255.939
24 0	6 4 41.29	27 45 14.84	362 888.752	32 0	12 57 55.18	-10 20 35.19	402 013.251
6	6 21 19.90	27 29 23.73	363 594.213	6	13 8 51.98	-11 38 44.18	402 693.387
12	6 37 48.49	27 6 15.61	364 396.391	12	13 19 52.92	-12 55 5.58	403 295.420
18	6 54 4.62	26 36 7.24	365 291.274	18	13 30 58.85	-14 9 30.69	403 818.829
25 0	7 10 6.17	25 59 18.64	366 274.184	33 0	13 42 10.57	-15 21 50.62	404 263.486
6	7 25 51.39	25 16 12.53	367 339.828	6	13 53 28.85	-16 31 56.22	404 629.645
12	7 41 18.91	24 27 13.67	368 482.359	12	14 4 54.40	-17 39 38.07	404 917.919
18	7 56 27.72	23 32 48.22	369 695.433	18	14 16 27.87	-18 44 46.46	405 129.269

PLANÈTES PRINCIPALES

Coordonnées héliocentriques :
Longitude, latitude, rayon vecteur.

MERCURE	II. 54
VÉNUS	II. 58
MARS	II. 60
JUPITER, SATURNE, URANUS, NEPTUNE	II. 61

Coordonnées géocentriques :
Ascension droite et déclinaison apparentes, distance à la Terre.

MERCURE	II. 62
VÉNUS	II. 66
MARS	II. 70
JUPITER	II. 74
SATURNE	II. 78
URANUS	II. 82
NEPTUNE	II. 86

MERCURE 2007 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.				
	°	'	"	°	'	"	ua		°	'	"	°	'	"	ua				
Janv.	0	265	51	48.39	-	4	16	53.36	0.465 345 17	Févr.	15	109	17	7.89	6	7	52.82	0.315 679 50	
	1	268	38	10.23	-	4	32	41.71	0.464 337 22		16	115	16	25.53	6	27	1.22	0.319 009 61	
	2	271	25	28.69	-	4	47	56.28	0.463 052 62		17	121	8	9.71	6	41	40.99	0.322 810 86	
	3	274	13	56.39	-	5	2	35.37	0.461 492 90		18	126	51	33.00	6	51	58.32	0.327 033 47	
	4	277	3	46.21	-	5	16	37.05	0.459 659 94		19	132	25	59.52	6	58	4.70	0.331 625 72	
	5	279	55	11.26	-	5	29	59.25	0.457 556 06		20	137	51	4.63	7	0	15.63	0.336 535 29	
	6	282	48	25.04	-	5	42	39.66	0.455 184 01		21	143	6	34.06	6	58	49.38	0.341 710 48	
	7	285	43	41.40	-	5	54	35.72	0.452 547 01		22	148	12	22.76	6	54	5.83	0.347 101 07	
	8	288	41	14.62	-	6	5	44.64	0.449 648 84		23	153	8	33.62	6	46	25.51	0.352 659 08	
	9	291	41	19.48	-	6	16	3.30	0.446 493 84		24	157	55	16.10	6	36	8.83	0.358 339 28	
	10	294	44	11.28	-	6	25	28.30	0.443 087 03		25	162	32	44.93	6	23	35.46	0.364 099 42	
	11	297	50	5.89	-	6	33	55.88	0.439 434 14		26	167	1	18.88	6	9	4.00	0.369 900 48	
	12	300	59	19.81	-	6	41	21.91	0.435 541 75		27	171	21	19.72	5	52	51.64	0.375 706 66	
	13	304	12	10.17	-	6	47	41.87	0.431 417 30		28	175	33	11.27	5	35	14.09	0.381 485 32	
	14	307	28	54.80	-	6	52	50.81	0.427 069 31		Mars	1	179	37	18.62	5	16	25.51	0.387 206 90
	15	310	49	52.23	-	6	56	43.35	0.422 507 38		2	183	34	7.56	4	56	38.54	0.392 844 72	
	16	314	15	21.71	-	6	59	13.61	0.417 742 43		3	187	24	4.02	4	36	4.37	0.398 374 81	
	17	317	45	43.17	-	7	0	15.27	0.412 786 78		4	191	7	33.76	4	14	52.86	0.403 775 70	
	18	321	21	17.26	-	6	59	41.50	0.407 654 33		5	194	45	2.06	3	53	12.59	0.409 028 21	
19	325	2	25.25	-	6	57	25.03	0.402 360 76	6	198	16	53.51	3	31	11.07	0.414 115 28			
20	328	49	28.94	-	6	53	18.12	0.396 923 68	7	201	43	31.90	3	8	54.78	0.419 021 72			
21	332	42	50.59	-	6	47	12.65	0.391 362 85	8	205	5	20.13	2	46	29.35	0.423 734 05			
22	336	42	52.68	-	6	39	0.22	0.385 700 38	9	208	22	40.17	2	23	59.61	0.428 240 35			
23	340	49	57.74	-	6	28	32.22	0.379 960 94	10	211	35	53.02	2	1	29.75	0.432 530 05			
24	345	4	28.02	-	6	15	40.06	0.374 171 95	11	214	45	18.78	1	39	3.36	0.436 593 85			
25	349	26	45.09	-	6	0	15.40	0.368 363 78	12	217	51	16.62	1	16	43.53	0.440 423 54			
26	353	57	9.40	-	5	42	10.43	0.362 569 88	13	220	54	4.86	0	54	32.94	0.444 011 90			
27	358	35	59.67	-	5	21	18.28	0.356 826 93	14	223	54	0.98	0	32	33.92	0.447 352 60			
28	3	23	32.21	-	4	57	33.50	0.351 174 79	15	226	51	21.74	0	10	48.46	0.450 440 10			
29	8	20	0.09	-	4	30	52.62	0.345 656 53	16	229	46	23.16	-	0	10	41.66	0.453 269 57		
30	13	25	32.21	-	4	1	14.81	0.340 318 14	17	232	39	20.65	-	0	31	54.89	0.455 836 82		
31	18	40	12.28	-	3	28	42.58	0.335 208 26	18	235	30	29.01	-	0	52	49.82	0.458 138 22		
Févr.	1	24	3	57.72	-	2	53	22.50	0.330 377 55	19	238	20	2.54	-	1	13	25.20	0.460 170 69	
	2	29	36	38.49	-	2	15	25.92	0.325 878 01	20	241	8	15.08	-	1	33	39.87	0.461 931 58	
	3	35	17	56.04	-	1	35	9.54	0.321 761 91	21	243	55	20.07	-	1	53	32.71	0.463 418 71	
	4	41	7	22.32	-	0	52	55.82	0.318 080 60	22	246	41	30.60	-	2	13	2.69	0.464 630 28	
	5	47	4	19.03	-	0	9	13.02	0.314 883 08	23	249	26	59.47	-	2	32	8.77	0.465 564 87	
	6	53	7	57.23	0	35	25.07	0.312 214 40	24	252	11	59.27	-	2	50	49.92	0.466 221 40		
	7	59	17	17.41	1	20	19.94	0.310 114 08	25	254	56	42.41	-	3	9	5.08	0.466 599 11		
	8	65	31	10.10	2	4	49.59	0.308 614 47	26	257	41	21.16	-	3	26	53.16	0.466 697 60		
	9	71	48	17.13	2	48	10.26	0.307 739 39	27	260	26	7.74	-	3	44	13.00	0.466 516 74		
	10	78	7	13.47	3	29	38.39	0.307 503 02	28	263	11	14.35	-	4	1	3.38	0.466 056 75		
	11	84	26	29.64	4	8	32.76	0.307 909 21	29	265	56	53.20	-	4	17	22.96	0.465 318 13		
	12	90	44	34.53	4	44	16.49	0.308 951 34	30	268	43	16.61	-	4	33	10.29	0.464 301 74		
	13	96	59	58.37	5	16	18.79	0.310 612 60	31	271	30	37.03	-	4	48	23.81	0.463 008 74		
	14	103	11	15.68	5	44	16.11	0.312 866 78	Avril	1	274	19	7.09	-	5	3	1.77	0.461 440 67	

MERCURE 2007 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v. ua	Date	longitude			latitude			rayon v. ua				
	°	'	"	°	'	"			°	'	"	°	'	"					
Avril	2	277	8	59.64	-	5	17	2.27	0.459 599 44	Mai	18	132	36	3.37	6	58	12.07	0.331 770 24	
	3	280	0	27.84	-	5	30	23.23	0.457 487 38		19	138	0	51.18	7	0	16.08	0.336 688 64	
	4	282	53	45.18	-	5	43	2.31	0.455 107 23		20	143	16	3.02	6	58	43.49	0.341 871 10	
	5	285	49	5.52	-	5	54	56.97	0.452 462 25		21	148	21	34.11	6	53	54.23	0.347 267 47	
	6	288	46	43.17	-	6	6	4.38	0.449 556 22		22	153	17	27.55	6	46	8.83	0.352 829 85	
	7	291	46	52.92	-	6	16	21.45	0.446 393 52		23	158	3	52.99	6	35	47.67	0.358 513 08	
	8	294	49	50.08	-	6	25	44.74	0.442 979 16		24	162	41	5.29	6	23	10.42	0.364 275 03	
	9	297	55	50.54	-	6	34	10.49	0.439 318 93		25	167	9	23.34	6	8	35.62	0.370 076 76	
	10	301	5	10.81	-	6	41	34.56	0.435 419 40		26	171	29	8.98	5	52	20.42	0.375 882 58	
	11	304	18	8.06	-	6	47	52.42	0.431 288 08		27	175	40	46.06	5	34	40.48	0.381 659 94	
	12	307	35	0.12	-	6	52	59.09	0.426 933 47		28	179	44	39.73	5	15	49.92	0.387 379 37	
	13	310	56	5.56	-	6	56	49.19	0.422 365 25		29	183	41	15.77	4	56	1.34	0.393 014 27	
	14	314	21	43.63	-	6	59	16.83	0.417 594 36		30	187	31	0.12	4	35	25.88	0.398 540 76	
	15	317	52	14.30	-	7	0	15.67	0.412 633 17		31	191	14	18.52	4	14	13.35	0.403 937 45	
	16	321	27	58.24	-	6	59	38.86	0.407 495 64		Juin	1	194	51	36.24	3	52	32.32	0.409 185 22
	17	325	9	16.71	-	6	57	19.12	0.402 197 49			2	198	23	17.84	3	30	30.24	0.414 267 06
18	328	56	31.57	-	6	53	8.70	0.396 756 39	3	201		49	47.10	3	8	13.59	0.419 167 84		
19	332	50	5.05	-	6	46	59.47	0.391 192 18	4	205		11	26.87	2	45	47.95	0.423 874 14		
20	336	50	19.66	-	6	38	43.01	0.385 527 04	5	208		28	39.10	2	23	18.14	0.428 374 07		
21	340	57	37.91	-	6	28	10.73	0.379 785 71	6	211		41	44.76	2	0	48.33	0.432 657 12		
22	345	12	22.04	-	6	15	14.04	0.373 995 71	7	214	51	3.92	1	38	22.09	0.436 714 01			
23	349	34	53.60	-	5	59	44.59	0.368 187 49	8	217	56	55.73	1	16	2.50	0.440 536 56			
24	354	5	32.99	-	5	41	34.61	0.362 394 61	9	220	59	38.47	0	53	52.24	0.444 117 59			
25	358	44	38.88	-	5	20	37.26	0.356 653 83	10	223	59	29.61	0	31	53.59	0.447 450 79			
26	3	32	27.48	-	4	56	47.14	0.351 005 12	11	226	56	45.88	0	10	8.58	0.450 530 64			
27	8	29	11.76	-	4	30	0.87	0.345 491 63	12	229	51	43.29	-	0	11	21.04	0.453 352 32		
28	13	35	0.47	-	4	0	17.69	0.340 159 46	13	232	44	37.21	-	0	32	33.72	0.455 911 67		
29	18	49	57.16	-	3	27	40.22	0.335 057 29	14	235	35	42.44	-	0	53	28.07	0.458 205 09		
30	24	13	59.02	-	2	52	15.18	0.330 235 86	15	238	25	13.26	-	1	14	2.83	0.460 229 48		
Mai	1	29	46	55.79	-	2	14	14.07	0.325 747 19	16	241	13	23.50	-	1	34	16.83	0.461 982 23	
	2	35	28	28.63	-	1	33	53.76	0.321 643 52	17	244	0	26.58	-	1	54	8.98	0.463 461 16	
	3	41	18	9.20	-	0	51	36.88	0.317 976 18	18	246	46	35.58	-	2	13	38.23	0.464 664 49	
	4	47	15	18.87	-	0	7	51.88	0.314 794 05	19	249	32	3.31	-	2	32	43.54	0.465 590 80	
	5	53	19	8.38	0	36	47.30	0.312 142 06	20	252	17	2.34	-	2	51	23.89	0.466 239 01		
	6	59	28	37.91	1	21	42.02	0.310 059 52	21	255	1	45.08	-	3	9	38.23	0.466 608 41		
	7	65	42	37.70	2	6	10.21	0.308 578 55	22	257	46	23.79	-	3	27	25.44	0.466 698 56		
	8	71	59	49.34	2	49	28.08	0.307 722 69	23	260	31	10.69	-	3	44	44.38	0.466 509 38		
	9	78	18	47.63	3	30	52.10	0.307 505 80	24	263	16	17.98	-	4	1	33.82	0.466 041 06		
	10	84	38	3.01	4	9	41.17	0.307 931 45	25	266	1	57.87	-	4	17	52.41	0.465 294 15		
	11	90	56	4.34	4	45	18.57	0.308 992 66	26	268	48	22.70	-	4	33	38.71	0.464 269 48		
12	97	11	21.95	5	17	13.70	0.310 672 34	27	271	35	44.91	-	4	48	51.15	0.462 968 24			
13	103	22	30.52	5	45	3.25	0.312 944 02	28	274	24	17.13	-	5	3	27.97	0.461 391 99			
14	109	28	11.75	6	8	31.85	0.315 773 08	29	277	14	12.23	-	5	17	27.28	0.459 542 63			
15	115	27	16.45	6	27	32.02	0.319 118 20	30	280	5	43.38	-	5	30	46.96	0.457 422 50			
16	121	18	46.09	6	42	3.65	0.322 932 98	Juill.	1	282	59	4.07	-	5	43	24.71	0.455 034 38		
17	127	1	53.57	6	52	13.13	0.327 167 58		2	285	54	28.18	-	5	55	17.95	0.452 381 53		

MERCURE 2007 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v. ua	Date	longitude			latitude			rayon v. ua		
	°	'	"	°	'	"			°	'	"	°	'	"			
Juill.	3	288	52	10.03	- 6	6	23.85	0.449 467 74	Août	18	153	26	23.31	6	45	51.77	0.352 995 87
	4	291	52	24.42	- 6	16	39.31	0.446 297 41		19	158	12	32.12	6	35	26.12	0.358 682 37
	5	294	55	26.68	- 6	26	0.89	0.442 875 58		20	162	49	28.25	6	22	44.95	0.364 446 39
	6	298	1	32.73	- 6	34	24.81	0.439 208 05		21	167	17	30.71	6	8	6.78	0.370 249 07
	7	301	10	59.09	- 6	41	46.92	0.435 301 43		22	171	37	1.42	5	51	48.71	0.376 054 80
	8	304	24	2.95	- 6	48	2.67	0.431 163 23		23	175	48	24.28	5	34	6.36	0.381 831 15
	9	307	41	2.17	- 6	53	7.09	0.426 802 01		24	179	52	4.46	5	15	13.80	0.387 548 71
	10	311	2	15.32	- 6	56	54.76	0.422 227 47		25	183	48	27.76	4	55	23.57	0.393 180 98
	11	314	28	1.70	- 6	59	19.79	0.417 450 60		26	187	38	0.13	4	34	46.80	0.398 704 14
	12	317	58	41.28	- 7	0	15.82	0.412 483 81		27	191	21	7.30	4	13	33.24	0.404 096 87
	13	321	34	34.76	- 6	59	36.01	0.407 341 10		28	194	58	14.52	3	51	51.43	0.409 340 14
	14	325	16	3.42	- 6	57	13.03	0.402 038 25		29	198	29	46.34	3	29	48.78	0.414 416 97
	15	329	3	29.13	- 6	52	59.14	0.396 593 00		30	201	56	6.49	3	7	31.75	0.419 312 29
	16	332	57	14.14	- 6	46	46.19	0.391 025 25		31	205	17	37.83	2	45	5.90	0.424 012 74
	17	336	57	40.96	- 6	38	25.76	0.385 357 24		Sept. 1	208	34	42.26	2	22	36.02	0.428 506 46
	18	341	5	12.10	- 6	27	49.26	0.379 613 81		2	211	47	40.74	2	0	6.26	0.432 782 98
	19	345	20	9.79	- 6	14	48.08	0.373 822 56		3	214	56	53.30	1	37	40.17	0.436 833 06
20	349	42	55.56	- 5	59	13.92	0.368 014 03	4	218	2	39.06	1	15	20.83	0.440 648 55		
21	354	13	49.77	- 5	40	58.99	0.362 221 87	5	221	5	16.29	0	53	10.89	0.444 222 29		
22	358	53	11.03	- 5	19	56.52	0.356 482 94	6	224	5	2.45	0	31	12.64	0.447 548 00		
23	3	41	15.46	- 4	56	1.15	0.350 837 32	7	227	2	14.21	0	9	28.09	0.450 620 19		
24	8	38	15.94	- 4	29	9.56	0.345 328 23	8	229	57	7.59	- 0	12	1.03	0.453 434 06		
25	13	44	21.07	- 3	59	21.09	0.340 001 86	9	232	49	57.94	- 0	33	13.15	0.455 985 46		
26	18	59	34.24	- 3	26	38.47	0.334 906 99	10	235	41	0.04	- 0	54	6.91	0.458 270 81		
27	24	23	52.44	- 2	51	8.54	0.330 094 39	11	238	30	28.15	- 1	14	41.03	0.460 287 03		
28	29	57	5.17	- 2	13	2.96	0.325 616 11	12	241	18	36.10	- 1	34	54.36	0.462 031 52		
29	35	38	53.32	- 1	32	38.77	0.321 524 40	13	244	5	37.29	- 1	54	45.80	0.463 502 12		
30	41	28	48.25	- 0	50	18.78	0.317 870 53	14	246	51	44.80	- 2	14	14.31	0.464 697 05		
31	47	26	11.03	- 0	6	31.61	0.314 703 30	15	249	37	11.42	- 2	33	18.85	0.465 614 91		
Août 1	53	30	12.08	0	38	8.65	0.312 067 50	16	252	22	9.73	- 2	51	58.40	0.466 254 64		
2	59	39	51.24	1	23	3.23	0.310 002 26	17	255	6	52.12	- 3	10	11.90	0.466 615 51		
3	65	53	58.49	2	7	29.97	0.308 539 46	18	257	51	30.85	- 3	27	58.24	0.466 697 12		
4	72	11	15.17	2	50	45.07	0.307 702 37	19	260	36	18.16	- 3	45	16.27	0.466 499 39		
5	78	30	15.90	3	32	5.04	0.307 504 57	20	263	21	26.22	- 4	2	4.75	0.466 022 52		
6	84	49	31.02	4	10	48.86	0.307 949 29	21	266	7	7.28	- 4	18	22.35	0.465 267 06		
7	91	7	29.38	4	46	19.98	0.309 029 27	22	268	53	33.64	- 4	34	7.62	0.464 233 87		
8	97	22	41.39	5	18	8.01	0.310 727 11	23	271	40	57.77	- 4	49	18.96	0.462 924 15		
9	103	33	41.88	5	45	49.86	0.313 016 07	24	274	29	32.30	- 5	3	54.63	0.461 339 44		
10	109	39	12.79	6	9	10.40	0.315 861 31	25	277	19	30.12	- 5	17	52.73	0.459 481 70		
11	115	38	5.23	6	28	2.38	0.319 221 34	26	280	11	4.40	- 5	31	11.14	0.457 353 25		
12	121	29	20.99	6	42	25.93	0.323 049 62	27	283	4	28.64	- 5	43	47.53	0.454 956 89		
13	127	12	13.29	6	52	27.57	0.327 296 23	28	285	59	56.74	- 5	55	39.34	0.452 295 90		
14	132	46	6.99	6	58	19.08	0.331 909 35	29	288	57	43.02	- 6	6	43.72	0.449 374 09		
15	138	10	38.07	7	0	16.18	0.336 836 69	30	291	58	2.32	- 6	16	57.55	0.446 195 87		
16	143	25	32.86	6	58	37.26	0.342 026 57	Oct. 1	295	1	9.98	- 6	26	17.39	0.442 766 32		
17	148	30	46.84	6	53	42.28	0.347 428 90	2	298	7	21.92	- 6	34	39.45	0.439 091 25		

MERCURE 2007 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v. ua	Date	longitude			latitude			rayon v. ua			
	°	'	"	°	'	"			°	'	"	°	'	"				
Oct.	3	301	16	54.70	- 6	41	59.56	0.435 177 29	Nov.	18	171	44	58.47	5	51	16.72	0.376 234 93	
	4	304	30	5.52	- 6	48	13.17	0.431 032 01		19	175	56	6.54	5	33	31.97	0.382 009 93	
	5	307	47	12.27	- 6	53	15.29	0.426 663 97		20	179	59	32.72	5	14	37.43	0.387 725 29	
	6	311	8	33.55	- 6	57	0.49	0.422 082 94		21	183	55	42.83	4	54	45.60	0.393 354 56	
	7	314	34	28.65	- 6	59	22.86	0.417 299 92		22	187	45	2.81	4	34	7.54	0.398 874 02	
	8	318	5	17.60	- 7	0	16.02	0.412 327 38		23	191	27	58.38	4	12	52.98	0.404 262 41	
	9	321	41	21.10	- 6	59	33.12	0.407 179 38		24	195	4	54.77	3	51	10.41	0.409 500 77	
	10	325	23	0.46	- 6	57	6.82	0.401 871 75		25	198	36	16.51	3	29	7.23	0.414 572 20	
	11	329	10	37.55	- 6	52	49.36	0.396 422 31		26	202	2	27.32	3	6	49.84	0.419 461 68	
	12	333	4	34.65	- 6	46	32.59	0.390 851 00		27	205	23	50.00	2	44	23.80	0.424 155 87	
	13	337	5	14.26	- 6	38	8.08	0.385 180 17		28	208	40	46.44	2	21	53.87	0.428 643 00	
	14	341	12	58.91	- 6	27	27.22	0.379 434 72		29	211	53	37.58	1	59	24.17	0.432 912 61	
	15	345	28	10.78	- 6	14	21.43	0.373 642 34		30	215	2	43.40	1	36	58.26	0.436 955 50	
	16	349	51	11.40	- 5	58	42.39	0.367 833 68		Déc.	1	218	8	23.00	1	14	39.18	0.440 763 57
	17	354	22	21.08	- 5	40	22.37	0.362 042 49			2	221	10	54.64	0	52	29.57	0.444 329 67
	18	359	1	58.36	- 5	19	14.61	0.356 305 71		3	224	10	35.72	0	30	31.73	0.447 647 56	
	19	3	50	19.29	- 4	55	13.82	0.350 663 53		4	227	7	42.93	0	8	47.63	0.450 711 76	
20	8	47	36.60	- 4	28	16.73	0.345 159 28	5	230	2	32.24	- 0	12	40.97	0.453 517 51			
21	13	53	58.79	- 3	58	22.79	0.339 839 23	6	232	55	18.99	- 0	33	52.54	0.456 060 66			
22	19	9	29.03	- 3	25	34.85	0.334 752 22	7	235	46	17.94	- 0	54	45.70	0.458 337 65			
23	24	34	4.11	- 2	49	59.88	0.329 949 10	8	238	35	43.36	- 1	15	19.18	0.460 345 43			
24	30	7	33.28	- 2	11	49.71	0.325 481 92	9	241	23	49.02	- 1	35	31.84	0.462 081 41			
25	35	49	37.16	- 1	31	21.55	0.321 402 95	10	244	10	48.35	- 1	55	22.58	0.463 543 42			
26	41	39	46.78	- 0	48	58.38	0.317 763 37	11	246	56	54.39	- 2	14	50.36	0.464 729 72			
27	47	37	22.88	- 0	5	9.00	0.314 611 92	12	249	42	19.95	- 2	33	54.14	0.465 638 91			
28	53	41	35.55	0	39	32.32	0.311 993 22	13	252	27	17.58	- 2	52	32.88	0.466 269 94			
29	59	51	24.33	1	24	26.70	0.309 946 20	14	255	11	59.68	- 3	10	45.54	0.466 622 10			
30	66	5	38.88	2	8	51.90	0.308 502 50	15	257	56	38.51	- 3	28	31.02	0.466 695 00			
31	72	23	0.30	2	52	4.09	0.307 685 10	16	260	41	26.29	- 3	45	48.15	0.466 488 54			
Nov.	1	78	42	3.04	3	33	19.82	0.307 507 27	17	263	26	35.21	- 4	2	35.68	0.466 002 98		
	2	85	1	17.34	4	11	58.19	0.307 971 91	18	266	12	17.50	- 4	18	52.29	0.465 238 84		
	3	91	19	12.06	4	47	22.80	0.309 071 45	19	268	58	45.49	- 4	34	36.52	0.464 197 00		
	4	97	34	17.69	5	19	3.49	0.310 788 16	20	271	46	11.64	- 4	49	46.77	0.462 878 68		
	5	103	45	9.24	5	46	37.41	0.313 095 05	21	274	34	48.59	- 5	4	21.31	0.461 285 43		
	6	109	50	28.90	6	9	49.66	0.315 957 03	22	277	24	49.24	- 5	18	18.20	0.459 419 22		
	7	115	49	8.10	6	28	33.25	0.319 332 43	23	280	16	26.76	- 5	31	35.33	0.457 282 38		
	8	121	40	8.96	6	42	48.51	0.323 174 58	24	283	9	54.67	- 5	44	10.37	0.454 877 73		
	9	127	22	45.09	6	52	42.17	0.327 433 47	25	286	5	26.88	- 5	56	0.73	0.452 208 57		
	10	132	56	21.68	6	58	26.12	0.332 057 26	26	289	3	17.73	- 6	7	3.58	0.449 278 72		
	11	138	20	35.07	7	0	16.20	0.336 993 64	27	292	3	42.06	- 6	17	15.78	0.446 092 61		
	12	143	35	11.88	6	58	30.86	0.342 190 98	28	295	6	55.24	- 6	26	33.87	0.442 655 35		
	13	148	40	7.84	6	53	30.09	0.347 599 24	29	298	13	13.21	- 6	34	54.06	0.438 972 76		
	14	153	35	26.51	6	45	34.44	0.353 170 68	30	301	22	52.54	- 6	42	12.17	0.435 051 51		
	15	158	21	17.89	6	35	4.27	0.358 860 31	31	304	36	10.46	- 6	48	23.62	0.430 899 19		
	16	162	57	57.12	6	22	19.19	0.364 626 18	32	307	53	24.88	- 6	53	23.42	0.426 524 42		
	17	167	25	43.32	6	7	37.64	0.370 429 56	33	311	14	54.40	- 6	57	6.12	0.421 936 97		

VÉNUS 2007 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.		
	°	'	"	°	'	"			°	'	"	°	'	"		ua	
Janv.	0	316	6	48.26	- 2	55	27.53	0.728 211 44	Avril	2	103	13	8.56	1 31	8.82	0.718 993 52	
	2	319	16	40.32	- 3	0	53.86	0.728 180 37		4	106	27	33.90	1 41	18.21	0.718 872 07	
	4	322	26	35.38	- 3	5	47.18	0.728 134 33		6	109	42	4.96	1 51	8.35	0.718 764 72	
	6	325	36	33.76	- 3	10	6.59	0.728 073 44		8	112	56	41.38	2 0	37.32	0.718 671 80	
	8	328	46	35.77	- 3	13	51.27	0.727 997 89		10	116	11	22.80	2 9	43.23	0.718 593 62	
	10	331	56	41.65	- 3	17	0.54	0.727 907 92		12	119	26	8.80	2 18	24.32	0.718 530 43	
	12	335	6	51.67	- 3	19	33.78	0.727 803 79		14	122	40	58.92	2 26	38.85	0.718 482 43	
	14	338	17	6.04	- 3	21	30.49	0.727 685 80		16	125	55	52.67	2 34	25.20	0.718 449 77	
	16	341	27	24.95	- 3	22	50.30	0.727 554 33		18	129	10	49.54	2 41	41.85	0.718 432 57	
	18	344	37	48.61	- 3	23	32.91	0.727 409 77		20	132	25	48.95	2 48	27.36	0.718 430 88	
	20	347	48	17.16	- 3	23	38.15	0.727 252 54		22	135	40	50.33	2 54	40.39	0.718 444 70	
	22	350	58	50.76	- 3	23	5.95	0.727 083 14		24	138	55	53.07	3 0	19.74	0.718 473 98	
	24	354	9	29.54	- 3	21	56.37	0.726 902 07		26	142	10	56.51	3 5	24.30	0.718 518 63	
	26	357	20	13.63	- 3	20	9.55	0.726 709 88		28	145	26	0.01	3 9	53.08	0.718 578 50	
	28	0	31	3.13	- 3	17	45.78	0.726 507 15		30	148	41	2.87	3 13	45.23	0.718 653 39	
	30	3	41	58.14	- 3	14	45.42	0.726 294 51		Mai	2	151	56	4.43	3 16	59.99	0.718 743 07
	Févr. 1	6	52	58.76	- 3	11	8.97	0.726 072 60			4	155	11	3.97	3 19	36.76	0.718 847 23
	3	10	4	5.08	- 3	6	57.04	0.725 842 11			6	158	26	0.79	3 21	35.07	0.718 965 55
5	13	15	17.18	- 3	2	10.32	0.725 603 73	8	161		40	54.20	3 22	54.56	0.719 097 62		
7	16	26	35.14	- 2	56	49.65	0.725 358 20	10	164		55	43.50	3 23	35.01	0.719 243 04		
9	19	37	59.05	- 2	50	55.94	0.725 106 28	12	168		10	28.00	3 23	36.34	0.719 401 32		
11	22	49	28.98	- 2	44	30.22	0.724 848 74	14	171		25	7.04	3 22	58.59	0.719 571 95		
13	26	1	5.03	- 2	37	33.63	0.724 586 38	16	174		39	39.96	3 21	41.95	0.719 754 39		
15	29	12	47.26	- 2	30	7.39	0.724 320 00	18	177		54	6.15	3 19	46.72	0.719 948 04		
17	32	24	35.76	- 2	22	12.82	0.724 050 44	20	181		8	25.01	3 17	13.35	0.720 152 28		
19	35	36	30.62	- 2	13	51.35	0.723 778 54	22	184		22	35.99	3 14	2.38	0.720 366 46		
21	38	48	31.93	- 2	5	4.48	0.723 505 13	24	187		36	38.55	3 10	14.51	0.720 589 89		
23	42	0	39.77	- 1	55	53.81	0.723 231 08	26	190		50	32.22	3 5	50.54	0.720 821 86		
25	45	12	54.23	- 1	46	20.99	0.722 957 24	28	194		4	16.56	3 0	51.39	0.721 061 62		
27	48	25	15.39	- 1	36	27.79	0.722 684 47	30	197		17	51.19	2 55	18.09	0.721 308 42		
Mars	1	51	37	43.36	- 1	26	16.02	0.722 413 63	Juin		1	200	31	15.77	2 49	11.77	0.721 561 47
	3	54	50	18.20	- 1	15	47.57	0.722 145 56			3	203	44	30.00	2 42	33.69	0.721 819 96
	5	58	2	59.99	- 1	5	4.37	0.721 881 12			5	206	57	33.67	2 35	25.16	0.722 083 09
	7	61	15	48.81	- 0	54	8.44	0.721 621 14		7	210	10	26.59	2 27	47.63	0.722 350 02	
	9	64	28	44.72	- 0	43	1.81	0.721 366 44		9	213	23	8.64	2 19	42.59	0.722 619 91	
	11	67	41	47.77	- 0	31	46.58	0.721 117 83		11	216	35	39.76	2 11	11.65	0.722 891 91	
	13	70	54	57.99	- 0	20	24.88	0.720 876 11		13	219	47	59.94	2 2	16.48	0.723 165 18	
	15	74	8	15.41	- 0	8	58.86	0.720 642 04		15	223	0	9.22	1 52	58.79	0.723 438 86	
	17	77	21	40.03	0	2	29.31	0.720 416 37		17	226	12	7.71	1 43	20.40	0.723 712 09	
	19	80	35	11.83	0	13	57.42	0.720 199 82		19	229	23	55.55	1 33	23.15	0.723 984 03	
	21	83	48	50.77	0	25	23.29	0.719 993 09		21	232	35	32.95	1 23	8.94	0.724 253 84	
	23	87	2	36.79	0	36	44.70	0.719 796 83		23	235	47	0.17	1 12	39.71	0.724 520 67	
	25	90	16	29.79	0	47	59.46	0.719 611 68		25	238	58	17.50	1 1	57.45	0.724 783 71	
	27	93	30	29.64	0	59	5.40	0.719 438 24		27	242	9	25.27	0 51	4.15	0.725 042 15	
	29	96	44	36.18	1	10	0.35	0.719 277 06		29	245	20	23.87	0 40	1.86	0.725 295 19	
	31	99	58	49.23	1	20	42.19	0.719 128 66		Juill. 1	248	31	13.72	0 28	52.62	0.725 542 05	

VÉNUS 2007 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.		
	°	'	"	°	'	"	ua		°	'	"	°	'	"	ua		
Juill.	3	251	41	55.27	0	17	38.50	0.725 781 97	Oct.	3	37	41	11.15	- 2	8	11.19	0.723 638 88
	5	254	52	29.00	0	6	21.57	0.726 014 24		5	40	53	15.48	- 1	59	8.72	0.723 365 40
	7	258	2	55.40	- 0	4	56.11	0.726 238 13		7	44	5	26.40	- 1	49	43.52	0.723 091 71
	9	261	13	15.01	- 0	16	12.48	0.726 452 96		9	47	17	43.98	- 1	39	57.32	0.722 818 66
	11	264	23	28.38	- 0	27	25.47	0.726 658 09		11	50	30	8.31	- 1	29	51.91	0.722 547 12
	13	267	33	36.06	- 0	38	33.07	0.726 852 88		13	53	42	39.50	- 1	19	29.16	0.722 277 94
	15	270	43	38.62	- 0	49	33.25	0.727 036 76		15	56	55	17.61	- 1	8	50.98	0.722 011 96
	17	273	53	36.65	- 1	0	24.02	0.727 209 16		17	60	8	2.74	- 0	57	59.36	0.721 750 03
	19	277	3	30.71	- 1	11	3.45	0.727 369 56		19	63	20	54.94	- 0	46	56.32	0.721 492 97
	21	280	13	21.38	- 1	21	29.61	0.727 517 48		21	66	33	54.28	- 0	35	43.95	0.721 241 60
	23	283	23	9.25	- 1	31	40.63	0.727 652 48		23	69	47	0.80	- 0	24	24.36	0.720 996 71
	25	286	32	54.88	- 1	41	34.68	0.727 774 14		25	73	0	14.53	- 0	12	59.68	0.720 759 10
27	289	42	38.82	- 1	51	10.00	0.727 882 11	27	76	13	35.49	- 0	1	32.10	0.720 529 50		
29	292	52	21.62	- 2	0	24.86	0.727 976 07	29	79	27	3.67	0	9	56.20	0.720 308 67		
31	296	2	3.81	- 2	9	17.61	0.728 055 72	31	82	40	39.05	0	21	23.03	0.720 097 29		
Août	2	299	11	45.90	- 2	17	46.67	0.728 120 84	Nov.	2	85	54	21.56	0	32	46.18	0.719 896 06
	4	302	21	28.39	- 2	25	50.51	0.728 171 23		4	89	8	11.13	0	44	3.45	0.719 705 62
	6	305	31	11.73	- 2	33	27.68	0.728 206 74		6	92	22	7.64	0	55	12.67	0.719 526 58
	8	308	40	56.39	- 2	40	36.80	0.728 227 28		8	95	36	10.96	1	6	11.65	0.719 359 51
	10	311	50	42.77	- 2	47	16.61	0.728 232 77		10	98	50	20.90	1	16	58.28	0.719 204 97
	12	315	0	31.29	- 2	53	25.87	0.728 223 20		12	102	4	37.26	1	27	30.43	0.719 063 43
	14	318	10	22.31	- 2	59	3.49	0.728 198 61		14	105	18	59.78	1	37	46.05	0.718 935 38
	16	321	20	16.19	- 3	4	8.42	0.728 159 07		16	108	33	28.19	1	47	43.13	0.718 821 20
	18	324	30	13.24	- 3	8	39.74	0.728 104 70		18	111	48	2.14	1	57	19.71	0.718 721 29
	20	327	40	13.76	- 3	12	36.60	0.728 035 65		20	115	2	41.29	2	6	33.90	0.718 635 96
	22	330	50	18.03	- 3	15	58.28	0.727 952 14		22	118	17	25.23	2	15	23.88	0.718 565 48
	24	334	0	26.30	- 3	18	44.13	0.727 854 41		24	121	32	13.53	2	23	47.91	0.718 510 08
26	337	10	38.79	- 3	20	53.62	0.727 742 76	26	124	47	5.70	2	31	44.32	0.718 469 95		
28	340	20	55.71	- 3	22	26.33	0.727 617 51	28	128	2	1.23	2	39	11.57	0.718 445 22		
30	343	31	17.26	- 3	23	21.92	0.727 479 05	30	131	16	59.59	2	46	8.16	0.718 435 95		
Sept.	1	346	41	43.59	- 3	23	40.20	0.727 327 78	Déc.	2	134	32	0.19	2	52	32.75	0.718 442 18
	3	349	52	14.86	- 3	23	21.05	0.727 164 16		4	137	47	2.43	2	58	24.07	0.718 463 89
	5	353	2	51.21	- 3	22	24.49	0.726 988 68		6	141	2	5.68	3	3	40.97	0.718 501 01
	7	356	13	32.77	- 3	20	50.63	0.726 801 86		8	144	17	9.27	3	8	22.44	0.718 553 42
	9	359	24	19.65	- 3	18	39.72	0.726 604 28		10	147	32	12.56	3	12	27.55	0.718 620 93
	11	2	35	11.96	- 3	15	52.08	0.726 396 51		12	150	47	14.83	3	15	55.54	0.718 703 33
	13	5	46	9.79	- 3	12	28.17	0.726 179 21		14	154	2	15.41	3	18	45.73	0.718 800 36
	15	8	57	13.23	- 3	8	28.56	0.725 953 02		16	157	17	13.58	3	20	57.61	0.718 911 69
	17	12	8	22.39	- 3	3	53.91	0.725 718 63		18	160	32	8.65	3	22	30.78	0.719 036 97
	19	15	19	37.33	- 2	58	45.02	0.725 476 76		20	163	46	59.91	3	23	24.97	0.719 175 78
	21	18	30	58.15	- 2	53	2.76	0.725 228 14		22	167	1	46.68	3	23	40.05	0.719 327 67
	23	21	42	24.92	- 2	46	48.13	0.724 973 55		24	170	16	28.28	3	23	16.03	0.719 492 16
25	24	53	57.74	- 2	40	2.23	0.724 713 77	26	173	31	4.04	3	22	13.03	0.719 668 71		
27	28	5	36.68	- 2	32	46.24	0.724 449 58	28	176	45	33.34	3	20	31.31	0.719 856 74		
29	31	17	21.84	- 2	25	1.47	0.724 181 82	30	179	59	55.57	3	18	11.27	0.720 055 67		
Oct.	1	34	29	13.30	- 2	16	49.29	0.723 911 31	32	183	14	10.16	3	15	13.43	0.720 264 83	

MARS 2007 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v. ua	Date	longitude			latitude			rayon v. ua		
	°	'	"	°	'	"			°	'	"	°	'	"			
Janv.	0	243	53	48.52	- 0	27	31.36	1.515 836 53	Juill.	3	354	8	30.99	- 1	31	19.60	1.387 286 37
	4	246	0	42.70	- 0	31	28.31	1.510 610 35		7	356	39	24.58	- 1	28	28.50	1.389 010 66
	8	248	8	29.91	- 0	35	24.30	1.505 384 12		11	359	9	53.93	- 1	25	27.67	1.390 949 30
	12	250	17	10.69	- 0	39	18.98	1.500 165 10		15	1	39	56.38	- 1	22	17.59	1.393 098 00
	16	252	26	45.51	- 0	43	11.94	1.494 960 67		19	4	9	29.39	- 1	18	58.77	1.395 452 02
	20	254	37	14.75	- 0	47	2.81	1.489 778 35		23	6	38	30.50	- 1	15	31.73	1.398 006 24
Févr.	24	256	48	38.73	- 0	50	51.18	1.484 625 79	27	9	6	57.35	- 1	11	57.01	1.400 755 14	
	28	259	0	57.68	- 0	54	36.62	1.479 510 74	31	11	34	47.74	- 1	8	15.16	1.403 692 85	
	1	261	14	11.74	- 0	58	18.72	1.474 441 06	Août	4	14	1	59.54	- 1	4	26.75	1.406 813 16
	5	263	28	20.96	- 1	1	57.04	1.469 424 69		8	16	28	30.79	- 1	0	32.34	1.410 109 57
	9	265	43	25.29	- 1	5	31.12	1.464 469 67		12	18	54	19.63	- 0	56	32.50	1.413 575 30
	13	267	59	24.58	- 1	9	0.51	1.459 584 06		16	21	19	24.35	- 0	52	27.81	1.417 203 28
17	270	16	18.56	- 1	12	24.76	1.454 776 00	20		23	43	43.34	- 0	48	18.83	1.420 986 27	
21	272	34	6.86	- 1	15	43.39	1.450 053 63	24		26	7	15.18	- 0	44	6.13	1.424 916 80	
25	274	52	49.00	- 1	18	55.94	1.445 425 10	28	28	29	58.52	- 0	39	50.27	1.428 987 21		
Mars	1	277	12	24.36	- 1	22	1.93	1.440 898 56	Sept.	1	30	51	52.19	- 0	35	31.81	1.433 189 73
	5	279	32	52.22	- 1	9	0.89	1.436 482 13		5	33	12	55.13	- 0	31	11.28	1.437 516 43
	9	281	54	11.71	- 1	27	52.34	1.432 183 84		9	35	33	6.40	- 0	26	49.22	1.441 959 32
	13	284	16	21.85	- 1	30	35.83	1.428 011 69		13	37	52	25.21	- 0	22	26.13	1.446 510 31
	17	286	39	21.52	- 1	33	10.89	1.423 973 54		17	40	10	50.87	- 0	18	2.52	1.451 161 28
	21	289	3	9.46	- 1	35	37.06	1.420 077 15		21	42	28	22.84	- 0	13	38.87	1.455 904 06
Avril	25	291	27	44.29	- 1	37	53.91	1.416 330 11	25	44	45	0.66	- 0	9	15.65	1.460 730 49	
	29	293	53	4.50	- 1	40	1.00	1.412 739 84	29	47	0	44.01	- 0	4	53.31	1.465 632 42	
	2	296	19	8.41	- 1	41	57.93	1.409 313 54	Oct.	3	49	15	32.67	- 0	0	32.28	1.470 601 72
	6	298	45	54.26	- 1	43	44.30	1.406 058 21		7	51	29	26.53	0	3	47.03	1.475 630 32
	10	301	13	20.11	- 1	45	19.73	1.402 980 55		11	53	42	25.55	0	8	4.24	1.480 710 21
	14	303	41	23.92	- 1	46	43.88	1.400 087 00		15	55	54	29.84	0	12	18.96	1.485 833 46
18	306	10	3.53	- 1	47	56.43	1.397 383 69	19		58	5	39.54	0	16	30.85	1.490 992 23	
22	308	39	16.63	- 1	48	57.08	1.394 876 40	23		60	15	54.91	0	20	39.56	1.496 178 79	
26	311	9	0.83	- 1	49	45.56	1.392 570 56	27	62	25	16.30	0	24	44.80	1.501 385 52		
Mai	30	313	39	13.61	- 1	50	21.66	1.390 471 20	Nov.	31	64	33	44.10	0	28	46.26	1.506 604 93
	4	316	9	52.36	- 1	50	45.17	1.388 582 94		4	66	41	18.80	0	32	43.66	1.511 829 66
	8	318	40	54.36	- 1	50	55.95	1.386 909 98		8	68	48	0.94	0	36	36.76	1.517 052 52
	12	321	12	16.83	- 1	50	53.87	1.385 456 07		12	70	53	51.14	0	40	25.30	1.522 266 43
	16	323	43	56.90	- 1	50	38.85	1.384 224 48		16	72	58	50.06	0	44	9.07	1.527 464 50
	20	326	15	51.63	- 1	50	10.87	1.383 218 00		20	75	2	58.42	0	47	47.86	1.532 639 99
Juin	24	328	47	58.04	- 1	49	29.94	1.382 438 92	24	77	6	17.00	0	51	21.48	1.537 786 32	
	28	331	20	13.09	- 1	48	36.09	1.381 889 01	28	79	8	46.61	0	54	49.76	1.542 897 08	
	1	333	52	33.73	- 1	47	29.43	1.381 569 54	Déc.	2	81	10	28.12	0	58	12.53	1.547 966 05
	5	336	24	56.87	- 1	46	10.08	1.381 481 24		6	83	11	22.42	1	1	29.65	1.552 987 15
	9	338	57	19.41	- 1	44	38.24	1.381 624 30		10	85	11	30.44	1	4	40.99	1.557 954 50
	13	341	29	38.28	- 1	42	54.11	1.381 998 41		14	87	10	53.16	1	7	46.43	1.562 862 41
17	344	1	50.38	- 1	40	57.96	1.382 602 70	18		89	9	31.57	1	10	45.86	1.567 705 33	
21	346	33	52.69	- 1	38	50.08	1.383 435 79	22		91	7	26.70	1	13	39.18	1.572 477 93	
25	349	5	42.19	- 1	36	30.81	1.384 495 79	26	93	4	39.59	1	16	26.31	1.577 175 02		
29	351	37	15.92	- 1	34	0.52	1.385 780 28	30	95	1	11.31	1	19	7.17	1.581 791 61		

JUPITER, SATURNE, URANUS, NEPTUNE 2007 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

JUPITER				SATURNE			
Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.
	° ' "	° ' "	ua		° ' "	° ' "	ua
Janv.	0 242 27 18.26	0 48 13.51	5.366 117 3	Janv.	0 140 1 59.98	1 6 23.76	9.177 680 4
	16 243 42 15.13	0 46 52.25	5.361 694 9		16 140 36 37.88	1 7 44.38	9.181 215 7
Févr.	1 244 57 19.43	0 45 29.53	5.357 188 0	Févr.	1 141 11 14.16	1 9 4.52	9.184 784 3
	17 246 12 31.34	0 44 5.35	5.352 598 8		17 141 45 48.81	1 10 24.18	9.188 385 8
Mars	5 247 27 51.02	0 42 39.76	5.347 929 3	Mars	5 142 20 21.82	1 11 43.34	9.192 019 6
	21 248 43 18.63	0 41 12.79	5.343 181 6		21 142 54 53.17	1 13 2.01	9.195 685 1
Avril	6 249 58 54.34	0 39 44.47	5.338 357 7	Avril	6 143 29 22.85	1 14 20.18	9.199 381 9
	22 251 14 38.28	0 38 14.83	5.333 459 8		22 144 3 50.84	1 15 37.83	9.203 109 5
Mai	8 252 30 30.62	0 36 43.91	5.328 490 0	Mai	8 144 38 17.13	1 16 54.97	9.206 867 6
	24 253 46 31.49	0 35 11.73	5.323 450 6		24 145 12 41.71	1 18 11.57	9.210 655 7
	9 255 2 41.05	0 33 38.35	5.318 343 6	Juin	9 145 47 4.56	1 19 27.64	9.214 473 4
	25 256 18 59.42	0 32 3.79	5.313 171 4		25 146 21 25.67	1 20 43.18	9.218 320 6
Juill.	11 257 35 26.74	0 30 28.10	5.307 936 2	Juill.	11 146 55 45.03	1 21 58.16	9.222 197 2
	27 258 52 3.12	0 28 51.31	5.302 640 6		27 147 30 2.62	1 23 12.59	9.226 102 8
Août	12 260 8 48.70	0 27 13.46	5.297 287 2	Août	12 148 4 18.45	1 24 26.46	9.230 037 2
	28 261 25 43.59	0 25 34.60	5.291 878 8		28 148 38 32.51	1 25 39.77	9.233 999 9
Sept.	13 262 42 47.93	0 23 54.76	5.286 418 1	Sept.	13 149 12 44.78	1 26 52.50	9.237 990 5
	29 264 0 1.83	0 22 14.00	5.280 907 8		29 149 46 55.27	1 28 4.65	9.242 008 6
Oct.	15 265 17 25.40	0 20 32.35	5.275 350 8	Oct.	15 150 21 3.97	1 29 16.22	9.246 053 7
	31 266 34 58.77	0 18 49.85	5.269 750 0		31 150 55 10.88	1 30 27.20	9.250 125 1
	16 267 52 42.05	0 17 6.57	5.264 108 3	Nov.	16 151 29 15.98	1 31 37.58	9.254 222 1
Déc.	2 269 10 35.35	0 15 22.53	5.258 428 6	Déc.	2 152 3 19.26	1 32 47.36	9.258 344 2
	18 270 28 38.78	0 13 37.79	5.252 713 5		18 152 37 20.72	1 33 56.52	9.262 490 7
URANUS				NEPTUNE			
Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.
	° ' "	° ' "	ua		° ' "	° ' "	ua
Janv.	0 343 53 44.24	- 0 46 18.96	20.087 163 0	Janv.	0 319 10 4.27	- 0 13 39.60	30.050 397 8
Févr.	1 344 14 15.50	- 0 46 18.94	20.088 058 9	Févr.	1 319 21 34.03	- 0 14 0.74	30.049 719 4
Mars	5 344 34 46.73	- 0 46 18.81	20.088 920 8	Mars	5 319 33 3.87	- 0 14 21.87	30.049 039 7
Avril	6 344 55 17.95	- 0 46 18.59	20.089 749 7	Avril	6 319 44 33.81	- 0 14 43.00	30.048 359 3
Mai	8 345 15 49.16	- 0 46 18.27	20.090 545 9	Mai	8 319 56 3.84	- 0 15 4.12	30.047 678 4
	9 345 36 20.38	- 0 46 17.85	20.091 309 6	Juin	9 320 7 33.99	- 0 15 25.23	30.046 996 4
Juill.	11 345 56 51.63	- 0 46 17.34	20.092 039 5	Juill.	11 320 19 4.24	- 0 15 46.33	30.046 311 8
Août	12 346 17 22.91	- 0 46 16.73	20.092 733 7	Août	12 320 30 34.60	- 0 16 7.42	30.045 622 4
Sept.	13 346 37 54.21	- 0 46 16.02	20.093 390 8	Sept.	13 320 42 5.05	- 0 16 28.51	30.044 927 6
Oct.	15 346 58 25.54	- 0 46 15.21	20.094 010 2	Oct.	15 320 53 35.59	- 0 16 49.58	30.044 227 4
	16 347 18 56.87	- 0 46 14.30	20.094 592 4	Nov.	16 321 5 6.20	- 0 17 10.65	30.043 522 8
Déc.	18 347 39 28.21	- 0 46 13.30	20.095 138 9	Déc.	18 321 16 36.90	- 0 17 31.70	30.042 815 2

MERCURE 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Janv.	0 18 21 41.211	-24 43 50.09	1.439 421 62	Févr.	15 22 42 55.218	- 5 23 56.23	0.759 548 76
	1 18 28 40.258	-24 44 31.97	1.440 362 00		16 22 41 42.177	- 5 15 41.55	0.737 513 57
	2 18 35 40.619	-24 43 50.19	1.440 747 41		17 22 39 52.867	- 5 12 17.82	0.717 254 41
	3 18 42 42.193	-24 41 43.70	1.440 574 29		18 22 37 29.791	- 5 13 45.41	0.698 947 77
	4 18 49 44.872	-24 38 11.47	1.439 837 82		19 22 34 36.415	- 5 19 57.44	0.682 738 92
	5 18 56 48.547	-24 33 12.51	1.438 531 90		20 22 31 17.112	- 5 30 39.44	0.668 738 03
	6 19 3 53.102	-24 26 45.87	1.436 649 12		21 22 27 37.038	- 5 45 29.59	0.657 017 41
	7 19 10 58.418	-24 18 50.65	1.434 180 71		22 22 23 41.946	- 6 3 59.38	0.647 610 29
	8 19 18 4.373	-24 9 25.97	1.431 116 55		23 22 19 37.947	- 6 25 34.89	0.640 511 10
	9 19 25 10.834	-23 58 31.05	1.427 445 11		24 22 15 31.243	- 6 49 38.38	0.635 677 47
	10 19 32 17.664	-23 46 5.16	1.423 153 44		25 22 11 27.858	- 7 15 30.22	0.633 033 81
	11 19 39 24.719	-23 32 7.62	1.418 227 10		26 22 7 33.389	- 7 42 30.76	0.632 476 11
	12 19 46 31.842	-23 16 37.85	1.412 650 14		27 22 3 52.810	- 8 10 2.12	0.633 877 70
	13 19 53 38.868	-22 59 35.39	1.406 405 10		28 22 0 30.331	- 8 37 29.57	0.637 095 43
14 20 0 45.617	-22 40 59.85	1.399 472 94	Mars 1 21 57 29.332	- 9 4 22.49	0.641 975 78		
15 20 7 51.894	-22 20 50.99	1.391 833 08	2 21 54 52.350	- 9 30 14.94	0.648 360 48		
16 20 14 57.486	-21 59 8.71	1.383 463 38	3 21 52 41.119	- 9 54 45.71	0.656 091 43		
17 20 22 2.159	-21 35 53.10	1.374 340 22	4 21 50 56.653	-10 17 38.17	0.665 014 65		
18 20 29 5.651	-21 11 4.46	1.364 438 60	5 21 49 39.341	-10 38 39.81	0.674 983 30		
19 20 36 7.673	-20 44 43.32	1.353 732 25	6 21 48 49.058	-10 57 41.77	0.685 859 81		
20 20 43 7.900	-20 16 50.49	1.342 193 85	7 21 48 25.272	-11 14 38.15	0.697 517 11		
21 20 50 5.965	-19 47 27.14	1.329 795 31	8 21 48 27.142	-11 29 25.54	0.709 839 32		
22 20 57 1.456	-19 16 34.83	1.316 508 16	9 21 48 53.607	-11 42 2.45	0.722 721 83		
23 21 3 53.906	-18 44 15.59	1.302 304 00	10 21 49 43.463	-11 52 28.84	0.736 071 03		
24 21 10 42.782	-18 10 32.02	1.287 155 14	11 21 50 55.415	-12 0 45.79	0.749 803 79		
25 21 17 27.477	-17 35 27.37	1.271 035 33	12 21 52 28.134	-12 6 55.15	0.763 846 76		
26 21 24 7.294	-16 59 5.66	1.253 920 77	13 21 54 20.288	-12 10 59.30	0.778 135 53		
27 21 30 41.434	-16 21 31.82	1.235 791 25	14 21 56 30.571	-12 13 0.97	0.792 613 89		
28 21 37 8.981	-15 42 51.81	1.216 631 61	15 21 58 57.722	-12 13 3.12	0.807 232 94		
29 21 43 28.891	-15 3 12.78	1.196 433 39	16 22 1 40.536	-12 11 8.77	0.821 950 34		
30 21 49 39.970	-14 22 43.20	1.175 196 85	17 22 4 37.878	-12 7 20.99	0.836 729 60		
31 21 55 40.869	-13 41 33.05	1.152 933 12	18 22 7 48.683	-12 1 42.78	0.851 539 38		
Févr. 1 22 1 30.065	-12 59 53.97	1.129 666 62	19 22 11 11.961	-11 54 17.11	0.866 352 90		
2 22 7 5.859	-12 17 59.41	1.105 437 59	20 22 14 46.800	-11 45 6.80	0.881 147 38		
3 22 12 26.368	-11 36 4.72	1.080 304 58	21 22 18 32.359	-11 34 14.59	0.895 903 52		
4 22 17 29.528	-10 54 27.22	1.054 346 86	22 22 22 27.868	-11 21 43.08	0.910 604 97		
5 22 22 13.113	-10 13 26.27	1.027 666 32	23 22 26 32.625	-11 7 34.76	0.925 237 95		
6 22 26 34.751	- 9 33 23.14	1.000 388 94	24 22 30 45.991	-10 51 51.99	0.939 790 77		
7 22 30 31.966	- 8 54 40.85	0.972 665 25	25 22 35 7.387	-10 34 37.01	0.954 253 50		
8 22 34 2.231	- 8 17 43.95	0.944 669 92	26 22 39 36.291	-10 15 51.94	0.968 617 64		
9 22 37 3.034	- 7 42 58.09	0.916 600 14	27 22 44 12.235	- 9 55 38.80	0.982 875 85		
10 22 39 31.968	- 7 10 49.52	0.888 672 67	28 22 48 54.804	- 9 33 59.49	0.997 021 68		
11 22 41 26.829	- 6 41 44.43	0.861 119 92	29 22 53 43.626	- 9 10 55.82	1.011 049 37		
12 22 42 45.730	- 6 16 8.23	0.834 184 86	30 22 58 38.377	- 8 46 29.54	1.024 953 63		
13 22 43 27.227	- 5 54 24.67	0.808 115 22	31 23 3 38.775	- 8 20 42.30	1.038 729 46		
14 22 43 30.448	- 5 36 54.84	0.783 157 16	Avril 1 23 8 44.573	- 7 53 35.69	1.052 371 98		

MERCURE 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Juill.	3 6 18	20.620	18 38 28.55	0.579 922 36	Août	18 9 59	10.158	14 10 17.39	1.360 481 53
	4 6 16	23.883	18 37 15.38	0.587 641 09		19 10 6	45.999	13 28 1.92	1.362 729 37
	5 6 14	40.809	18 37 24.30	0.596 497 28		20 10 14	13.849	12 44 54.97	1.364 028 51
	6 6 13	13.190	18 38 54.29	0.606 473 78		21 10 21	33.715	12 1 4.03	1.364 437 18
	7 6 12	2.615	18 41 43.44	0.617 550 08		22 10 28	45.671	11 16 36.06	1.364 011 16
	8 6 11	10.456	18 45 48.97	0.629 702 80		23 10 35	49.840	10 31 37.49	1.362 803 29
	9 6 10	37.878	18 51 7.21	0.642 906 02		24 10 42	46.388	9 46 14.23	1.360 863 07
	10 6 10	25.849	18 57 33.74	0.657 131 67		25 10 49	35.511	9 0 31.69	1.358 236 58
	11 6 10	35.150	19 5 3.37	0.672 349 75		26 10 56	17.425	8 14 34.85	1.354 966 31
	12 6 11	6.396	19 13 30.22	0.688 528 51		27 11 2	52.363	7 28 28.25	1.351 091 25
	13 6 12	0.054	19 22 47.76	0.705 634 51		28 11 9	20.566	6 42 16.04	1.346 646 92
	14 6 13	16.466	19 32 48.88	0.723 632 51		29 11 15	42.283	5 56 2.03	1.341 665 49
	15 6 14	55.861	19 43 25.93	0.742 485 31		30 11 21	57.760	5 9 49.70	1.336 175 94
	16 6 16	58.382	19 54 30.74	0.762 153 40		31 11 28	7.245	4 23 42.24	1.330 204 23
	17 6 19	24.090	20 5 54.67	0.782 594 55		Sept. 1 11 34	10.977	3 37 42.62	1.323 773 43
	18 6 22	12.985	20 17 28.63	0.803 763 23		2 11 40	9.186	2 51 53.56	1.316 904 00
	19 6 25	25.003	20 29 3.12	0.825 610 03		3 11 46	2.090	2 6 17.62	1.309 613 94
20 6 29	0.030	20 40 28.21	0.848 080 89	4 11 51	49.895	1 20 57.21	1.301 919 01		
21 6 32	57.894	20 51 33.59	0.871 116 38	5 11 57	32.791	0 35 54.59	1.293 832 95		
22 6 37	18.368	21 2 8.59	0.894 650 90	6 12 3	10.954	- 0 8 48.09	1.285 367 65		
23 6 42	1.163	21 12 2.19	0.918 611 91	7 12 8	44.543	- 0 53 8.79	1.276 533 33		
24 6 47	5.915	21 21 3.09	0.942 919 21	8 12 14	13.702	- 1 37 5.53	1.267 338 72		
25 6 52	32.179	21 28 59.75	0.967 484 36	9 12 19	38.558	- 2 20 36.41	1.257 791 20		
26 6 58	19.411	21 35 40.52	0.992 210 30	10 12 24	59.221	- 3 3 39.58	1.247 896 96		
27 7 4	26.953	21 40 53.71	1.016 991 26	11 12 30	15.782	- 3 46 13.23	1.237 661 12		
28 7 10	54.020	21 44 27.78	1.041 713 01	12 12 35	28.312	- 4 28 15.57	1.227 087 86		
29 7 17	39.684	21 46 11.53	1.066 253 67	13 12 40	36.862	- 5 9 44.81	1.216 180 54		
30 7 24	42.861	21 45 54.29	1.090 485 01	14 12 45	41.460	- 5 50 39.14	1.204 941 83		
31 7 32	2.309	21 43 26.19	1.114 274 32	15 12 50	42.110	- 6 30 56.76	1.193 373 80		
Août 1 7 39	36.627	21 38 38.42	1.137 486 98	16 12 55	38.791	- 7 10 35.79	1.181 478 06		
2 7 47	24.262	21 31 23.51	1.159 989 40	17 13 0	31.454	- 7 49 34.31	1.169 255 86		
3 7 55	23.527	21 21 35.54	1.181 652 51	18 13 5	20.021	- 8 27 50.35	1.156 708 19		
4 8 3	32.630	21 9 10.40	1.202 355 22	19 13 10	4.380	- 9 5 21.82	1.143 835 94		
5 8 11	49.702	20 54 5.90	1.221 987 96	20 13 14	44.387	- 9 42 6.54	1.130 640 02		
6 8 20	12.844	20 36 21.83	1.240 455 75	21 13 19	19.860	-10 18 2.20	1.117 121 52		
7 8 28	40.165	20 15 59.98	1.257 680 61	22 13 23	50.574	-10 53 6.35	1.103 281 84		
8 8 37	9.829	19 53 4.00	1.273 603 19	23 13 28	16.264	-11 27 16.35	1.089 122 89		
9 8 45	40.096	19 27 39.23	1.288 183 45	24 13 32	36.612	-12 0 29.39	1.074 647 31		
10 8 54	9.355	18 59 52.46	1.301 400 40	25 13 36	51.252	-12 32 42.44	1.059 858 61		
11 9 2	36.153	18 29 51.65	1.313 250 96	26 13 40	59.759	-13 3 52.20	1.044 761 46		
12 9 10	59.213	17 57 45.63	1.323 748 20	27 13 45	1.646	-13 33 55.13	1.029 361 94		
13 9 19	17.440	17 23 43.82	1.332 919 10	28 13 48	56.358	-14 2 47.32	1.013 667 82		
14 9 27	29.924	16 47 55.94	1.340 802 02	29 13 52	43.261	-14 30 24.52	0.997 688 92		
15 9 35	35.932	16 10 31.82	1.347 444 21	30 13 56	21.638	-14 56 42.02	0.981 437 54		
16 9 43	34.897	15 31 41.13	1.352 899 28	Oct. 1 13 59	50.676	-15 21 34.63	0.964 928 97		
17 9 51	26.401	14 51 33.31	1.357 225 05	2 14 3	9.463	-15 44 56.56	0.948 182 09		

MERCURE 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Oct.	3 14 6 16.977	-16 6 41.39	0.931 220 10	Nov.	18 14 29 15.220	-12 47 59.34	1.204 265 62
	4 14 9 12.082	-16 26 41.98	0.914 071 32		19 14 34 56.814	-13 21 17.86	1.223 158 69
	5 14 11 53.524	-16 44 50.38	0.896 770 13		20 14 40 43.744	-13 54 39.91	1.241 159 87
	6 14 14 19.923	-17 0 57.74	0.879 357 99		21 14 46 35.418	-14 27 57.16	1.258 281 24
	7 14 16 29.781	-17 14 54.27	0.861 884 69		22 14 52 31.342	-15 1 2.29	1.274 537 98
	8 14 18 21.481	-17 26 29.09	0.844 409 63		23 14 58 31.105	-15 33 48.87	1.289 947 45
	9 14 19 53.302	-17 35 30.26	0.827 003 31		24 15 4 34.367	-16 6 11.23	1.304 528 35
	10 14 21 3.442	-17 41 44.69	0.809 748 88		25 15 10 40.849	-16 38 4.33	1.318 300 16
	11 14 21 50.053	-17 44 58.24	0.792 743 87		26 15 16 50.316	-17 9 23.71	1.331 282 59
	12 14 22 11.292	-17 44 55.85	0.776 101 82		27 15 23 2.579	-17 40 5.37	1.343 495 22
	13 14 22 5.400	-17 41 21.81	0.759 953 91		28 15 29 17.480	-18 10 5.70	1.354 957 25
	14 14 21 30.796	-17 34 0.27	0.744 450 30		29 15 35 34.893	-18 39 21.46	1.365 687 30
15 14 20 26.207	-17 22 36.00	0.729 761 01	30 15 41 54.717	-19 7 49.70	1.375 703 24		
16 14 18 50.819	-17 6 55.39	0.716 076 02	Déc.	1 15 48 16.869	-19 35 27.72	1.385 022 11	
17 14 16 44.460	-16 46 47.95	0.703 604 28		2 15 54 41.283	-20 2 13.08	1.393 660 01	
18 14 14 7.786	-16 22 8.08	0.692 571 16	3 16 1 7.906	-20 28 3.49	1.401 632 07		
19 14 11 2.473	-15 52 57.15	0.683 213 93	4 16 7 36.693	-20 52 56.85	1.408 952 38		
20 14 7 31.374	-15 19 25.74	0.675 775 07	5 16 14 7.606	-21 16 51.16	1.415 633 95		
21 14 3 38.610	-14 41 55.66	0.670 493 12	6 16 20 40.613	-21 39 44.58	1.421 688 72		
22 13 59 29.578	-14 1 1.38	0.667 591 46	7 16 27 15.683	-22 1 35.33	1.427 127 55		
23 13 55 10.814	-13 17 30.42	0.667 265 49	8 16 33 52.788	-22 22 21.73	1.431 960 17		
24 13 50 49.745	-12 32 22.28	0.669 669 52	9 16 40 31.897	-22 42 2.17	1.436 195 26		
25 13 46 34.301	-11 46 45.80	0.674 904 74	10 16 47 12.978	-23 0 35.09	1.439 840 38		
26 13 42 32.459	-11 1 55.03	0.683 009 73	11 16 53 55.999	-23 17 58.98	1.442 902 04		
27 13 38 51.749	-10 19 4.25	0.693 955 14	12 17 0 40.921	-23 34 12.36	1.445 385 68		
28 13 35 38.823	- 9 39 22.84	0.707 643 08	13 17 7 27.702	-23 49 13.81	1.447 295 68		
29 13 32 59.108	- 9 3 50.76	0.723 911 38	14 17 14 16.297	-24 3 1.92	1.448 635 35		
30 13 30 56.604	- 8 33 15.42	0.742 542 22	15 17 21 6.655	-24 15 35.32	1.449 406 96		
31 13 29 33.828	- 8 8 9.98	0.763 273 74	16 17 27 58.717	-24 26 52.65	1.449 611 74		
Nov.	1 13 28 51.878	- 7 48 53.32	0.785 813 38	17 17 34 52.423	-24 36 52.59	1.449 249 83	
	2 13 28 50.602	- 7 35 31.08	0.809 851 55	18 17 41 47.703	-24 45 33.85	1.448 320 33	
	3 13 29 28.812	- 7 27 57.67	0.835 074 49	19 17 48 44.483	-24 52 55.15	1.446 821 25	
	4 13 30 44.540	- 7 25 58.52	0.861 175 43	20 17 55 42.679	-24 58 55.25	1.444 749 47	
	5 13 32 35.267	- 7 29 12.52	0.887 863 75	21 18 2 42.199	-25 3 32.94	1.442 100 77	
	6 13 34 58.147	- 7 37 14.21	0.914 871 64	22 18 9 42.942	-25 6 47.04	1.438 869 71	
7 13 37 50.185	- 7 49 35.69	0.941 958 60	23 18 16 44.794	-25 8 36.41	1.435 049 64		
8 13 41 8.380	- 8 5 48.11	0.968 913 78	24 18 23 47.632	-25 8 59.91	1.430 632 65		
9 13 44 49.832	- 8 25 22.88	0.995 556 63	25 18 30 51.317	-25 7 56.46	1.425 609 52		
10 13 48 51.813	- 8 47 52.46	1.021 736 06	26 18 37 55.701	-25 5 25.01	1.419 969 69		
11 13 53 11.812	- 9 12 50.97	1.047 328 69	27 18 45 0.620	-25 1 24.55	1.413 701 29		
12 13 57 47.557	- 9 39 54.43	1.072 236 37	28 18 52 5.896	-24 55 54.13	1.406 791 14		
13 14 2 37.021	-10 8 40.98	1.096 383 38	29 18 59 11.336	-24 48 52.90	1.399 224 75		
14 14 7 38.420	-10 38 50.91	1.119 713 48	30 19 6 16.728	-24 40 20.08	1.390 986 36		
15 14 12 50.195	-11 10 6.53	1.142 187 04	31 19 13 21.836	-24 30 15.02	1.382 058 97		
16 14 18 10.997	-11 42 12.14	1.163 778 29	32 19 20 26.402	-24 18 37.18	1.372 424 36		
17 14 23 39.668	-12 14 53.84	1.184 472 86	33 19 27 30.142	-24 5 26.20	1.362 063 20		

VÉNUS 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Janv.	0 19 47 57.082	-22 27 26.01	1.624 392 09	Févr.	15 23 33 10.131	- 4 14 51.23	1.462 933 47
	1 19 53 17.757	-22 14 54.09	1.621 717 50		16 23 37 40.504	- 3 43 55.96	1.458 517 63
	2 19 58 37.386	-22 1 42.17	1.619 007 20		17 23 42 10.373	- 3 12 54.65	1.454 060 33
	3 20 3 55.933	-21 47 50.81	1.616 261 37		18 23 46 39.776	- 2 41 48.07	1.449 561 20
	4 20 9 13.362	-21 33 20.58	1.613 480 13		19 23 51 8.752	- 2 10 36.99	1.445 019 92
	5 20 14 29.640	-21 18 12.05	1.610 663 52		20 23 55 37.341	- 1 39 22.16	1.440 436 25
	6 20 19 44.739	-21 2 25.82	1.607 811 51		21 0 0 5.583	- 1 8 4.34	1.435 810 08
	7 20 24 58.634	-20 46 2.50	1.604 924 01		22 0 4 33.519	- 0 36 44.27	1.431 141 38
	8 20 30 11.303	-20 29 2.72	1.602 000 89		23 0 9 1.187	- 0 5 22.72	1.426 430 21
	9 20 35 22.725	-20 11 27.12	1.599 041 99		24 0 13 28.628	0 25 59.57	1.421 676 71
	10 20 40 32.886	-19 53 16.37	1.596 047 10		25 0 17 55.880	0 57 21.84	1.416 881 04
	11 20 45 41.770	-19 34 31.13	1.593 016 02		26 0 22 22.980	1 28 43.35	1.412 043 40
	12 20 50 49.367	-19 15 12.12	1.589 948 50		27 0 26 49.968	2 0 3.34	1.407 163 99
	13 20 55 55.666	-18 55 20.03	1.586 844 29		28 0 31 16.884	2 31 21.10	1.402 242 97
14 21 1 0.660	-18 34 55.59	1.583 703 10	Mars 1 0 35 43.766	3 2 35.89	1.397 280 53		
15 21 6 4.345	-18 13 59.54	1.580 524 67	2 0 40 10.656	3 33 46.98	1.392 276 81		
16 21 11 6.717	-17 52 32.63	1.577 308 66	3 0 44 37.594	4 4 53.66	1.387 231 92		
17 21 16 7.774	-17 30 35.62	1.574 054 77	4 0 49 4.623	4 35 55.22	1.382 145 94		
18 21 21 7.515	-17 8 9.28	1.570 762 67	5 0 53 31.784	5 6 50.96	1.377 018 92		
19 21 26 5.941	-16 45 14.40	1.567 432 08	6 0 57 59.118	5 37 40.16	1.371 850 88		
20 21 31 3.054	-16 21 51.77	1.564 062 72	7 1 2 26.667	6 8 22.12	1.366 641 80		
21 21 35 58.859	-15 58 2.17	1.560 654 40	8 1 6 54.472	6 38 56.15	1.361 391 64		
22 21 40 53.365	-15 33 46.40	1.557 206 98	9 1 11 22.571	7 9 21.52	1.356 100 31		
23 21 45 46.582	-15 9 5.26	1.553 720 43	10 1 15 51.004	7 39 37.55	1.350 767 73		
24 21 50 38.525	-14 43 59.53	1.550 194 79	11 1 20 19.809	8 9 43.50	1.345 393 76		
25 21 55 29.212	-14 18 30.02	1.546 630 17	12 1 24 49.021	8 39 38.68	1.339 978 23		
26 22 0 18.660	-13 52 37.53	1.543 026 74	13 1 29 18.677	9 9 22.37	1.334 520 97		
27 22 5 6.891	-13 26 22.86	1.539 384 70	14 1 33 48.809	9 38 53.83	1.329 021 74		
28 22 9 53.927	-12 59 46.82	1.535 704 25	15 1 38 19.451	10 8 12.35	1.323 480 28		
29 22 14 39.791	-12 32 50.20	1.531 985 60	16 1 42 50.633	10 37 17.18	1.317 896 29		
30 22 19 24.506	-12 5 33.82	1.528 228 94	17 1 47 22.385	11 6 7.59	1.312 269 46		
31 22 24 8.100	-11 37 58.45	1.524 434 41	18 1 51 54.737	11 34 42.84	1.306 599 45		
Févr.	1 22 28 50.600	-11 10 4.89	1.520 602 12	19 1 56 27.716	12 3 2.18	1.300 885 95	
	2 22 33 32.036	-10 41 53.90	1.516 732 12	20 2 1 1.351	12 31 4.86	1.295 128 71	
	3 22 38 12.441	-10 13 26.27	1.512 824 41	21 2 5 35.665	12 58 50.17	1.289 327 58	
	4 22 42 51.848	- 9 44 42.74	1.508 878 94	22 2 10 10.681	13 26 17.36	1.283 482 51	
	5 22 47 30.292	- 9 15 44.08	1.504 895 62	23 2 14 46.420	13 53 25.69	1.277 593 59	
	6 22 52 7.811	- 8 46 31.04	1.500 874 30	24 2 19 22.897	14 20 14.44	1.271 660 98	
	7 22 56 44.441	- 8 17 4.38	1.496 814 81	25 2 24 0.128	14 46 42.86	1.265 684 96	
	8 23 1 20.221	- 7 47 24.86	1.492 716 93	26 2 28 38.126	15 12 50.23	1.259 665 82	
	9 23 5 55.189	- 7 17 33.21	1.488 580 43	27 2 33 16.905	15 38 35.82	1.253 603 93	
	10 23 10 29.385	- 6 47 30.21	1.484 405 03	28 2 37 56.477	16 3 58.91	1.247 499 63	
	11 23 15 2.846	- 6 17 16.60	1.480 190 45	29 2 42 36.854	16 28 58.79	1.241 353 28	
	12 23 19 35.613	- 5 46 53.14	1.475 936 36	30 2 47 18.046	16 53 34.76	1.235 165 27	
	13 23 24 7.724	- 5 16 20.58	1.471 642 43	31 2 52 0.064	17 17 46.14	1.228 935 93	
14 23 28 39.217	- 4 45 39.69	1.467 308 26	Avril 1 2 56 42.917	17 41 32.24	1.222 665 62		

VÉNUS 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Avril	2	3	1	26.611	18	4	52.40	1.216 354 68	Mai	18	6	47	6.320	25	42	41.72	0.886 542 37
	3	3	6	11.152	18	27	45.95	1.210 003 41		19	6	51	51.699	25	37	41.04	0.878 672 24
	4	3	10	56.543	18	50	12.24	1.203 612 14		20	6	56	35.582	25	32	3.58	0.870 780 24
	5	3	15	42.785	19	12	10.61	1.197 181 13		21	7	1	17.888	25	25	49.79	0.862 867 12
	6	3	20	29.876	19	33	40.45	1.190 710 65		22	7	5	58.539	25	19	0.16	0.854 933 75
	7	3	25	17.813	19	54	41.12	1.184 200 94		23	7	10	37.458	25	11	35.19	0.846 981 07
	8	3	30	6.587	20	15	11.99	1.177 652 21		24	7	15	14.571	25	3	35.43	0.839 010 05
	9	3	34	56.191	20	35	12.45	1.171 064 65		25	7	19	49.809	24	55	1.43	0.831 021 72
	10	3	39	46.610	20	54	41.90	1.164 438 41		26	7	24	23.100	24	45	53.79	0.823 017 13
	11	3	44	37.830	21	13	39.73	1.157 773 60		27	7	28	54.378	24	36	13.11	0.814 997 39
	12	3	49	29.834	21	32	5.36	1.151 070 32		28	7	33	23.576	24	26	0.03	0.806 963 59
13	3	54	22.599	21	49	58.20	1.144 328 58	29	7	37	50.630	24	15	15.20	0.798 916 88		
14	3	59	16.104	22	7	17.68	1.137 548 40	30	7	42	15.477	24	3	59.30	0.790 858 40		
15	4	4	10.323	22	24	3.23	1.130 729 70	31	7	46	38.054	23	52	13.02	0.782 789 35		
16	4	9	5.228	22	40	14.32	1.123 872 44	Juin	1	7	50	58.302	23	39	57.07	0.774 710 90	
17	4	14	0.787	22	55	50.43	1.116 976 56	2	7	55	16.160	23	27	12.16	0.766 624 25		
18	4	18	56.964	23	10	51.06	1.110 042 05	3	7	59	31.569	23	13	59.05	0.758 530 60		
19	4	23	53.720	23	25	15.74	1.103 069 01	4	8	3	44.473	23	0	18.46	0.750 431 14		
20	4	28	51.007	23	39	4.02	1.096 057 64	5	8	7	54.815	22	46	11.15	0.742 327 04		
21	4	33	48.775	23	52	15.47	1.089 008 26	6	8	12	2.540	22	31	37.87	0.734 219 44		
22	4	38	46.969	24	4	49.68	1.081 921 31	7	8	16	7.595	22	16	39.39	0.726 109 45		
23	4	43	45.535	24	16	46.25	1.074 797 31	8	8	20	9.927	22	1	16.46	0.717 998 15		
24	4	48	44.416	24	28	4.83	1.067 636 84	9	8	24	9.485	21	45	29.88	0.709 886 55		
25	4	53	43.553	24	38	45.08	1.060 440 53	10	8	28	6.217	21	29	20.42	0.701 775 64		
26	4	58	42.890	24	48	46.70	1.053 209 03	11	8	32	0.072	21	12	48.88	0.693 666 37		
27	5	3	42.366	24	58	9.40	1.045 943 02	12	8	35	50.996	20	55	56.10	0.685 559 66		
28	5	8	41.921	25	6	52.95	1.038 643 18	13	8	39	38.933	20	38	42.93	0.677 456 44		
29	5	13	41.493	25	14	57.14	1.031 310 20	14	8	43	23.820	20	21	10.25	0.669 357 65		
30	5	18	41.020	25	22	21.79	1.023 944 79	15	8	47	5.593	20	3	18.97	0.661 264 33		
Mai	1	5	23	40.436	25	29	6.76	1.016 547 63	16	8	50	44.182	19	45	10.01	0.653 177 59	
2	5	28	39.677	25	35	11.93	1.009 119 43	17	8	54	19.515	19	26	44.32	0.645 098 68		
3	5	33	38.674	25	40	37.21	1.001 660 89	18	8	57	51.517	19	8	2.84	0.637 028 98		
4	5	38	37.361	25	45	22.56	0.994 172 69	19	9	1	20.113	18	49	6.54	0.628 969 99		
5	5	43	35.667	25	49	27.96	0.986 655 49	20	9	4	45.227	18	29	56.39	0.620 923 36		
6	5	48	33.521	25	52	53.40	0.979 109 96	21	9	8	6.781	18	10	33.37	0.612 890 82		
7	5	53	30.853	25	55	38.93	0.971 536 71	22	9	11	24.697	17	50	58.49	0.604 874 22		
8	5	58	27.591	25	57	44.59	0.963 936 34	23	9	14	38.893	17	31	12.75	0.596 875 50		
9	6	3	23.661	25	59	10.49	0.956 309 41	24	9	17	49.286	17	11	17.18	0.588 896 68		
10	6	8	18.992	25	59	56.72	0.948 656 43	25	9	20	55.790	16	51	12.82	0.580 939 87		
11	6	13	13.510	26	0	3.43	0.940 977 87	26	9	23	58.315	16	31	0.72	0.573 007 27		
12	6	18	7.145	25	59	30.78	0.933 274 16	27	9	26	56.770	16	10	41.94	0.565 101 16		
13	6	22	59.823	25	58	18.96	0.925 545 65	28	9	29	51.057	15	50	17.57	0.557 223 94		
14	6	27	51.474	25	56	28.21	0.917 792 67	29	9	32	41.078	15	29	48.71	0.549 378 09		
15	6	32	42.025	25	53	58.78	0.910 015 52	30	9	35	26.728	15	9	16.46	0.541 566 16		
16	6	37	31.402	25	50	50.98	0.902 214 50	Juill.	1	9	38	7.900	14	48	41.94	0.533 790 82	
17	6	42	19.527	25	47	5.17	0.894 389 97	2	9	40	44.484	14	28	6.30	0.526 054 79		

VÉNUŠ 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Juill.	3	9	43	16.365	14	7	30.67	0.518 360 87	Août	18	9	38	13.764	5	41	16.99	0.288 183 52
	4	9	45	43.426	13	46	56.20	0.510 711 93		19	9	35	46.714	5	48	26.86	0.288 208 54
	5	9	48	5.545	13	26	24.06	0.503 110 86		20	9	33	21.293	5	56	17.70	0.288 527 98
	6	9	50	22.599	13	5	55.43	0.495 560 61		21	9	30	58.391	6	4	45.78	0.289 140 52
	7	9	52	34.458	12	45	31.52	0.488 064 18		22	9	28	38.876	6	13	47.22	0.290 043 91
	8	9	54	40.987	12	25	13.57	0.480 624 62		23	9	26	23.583	6	23	17.95	0.291 235 06
	9	9	56	42.046	12	5	2.87	0.473 245 04		24	9	24	13.308	6	33	13.80	0.292 710 04
	10	9	58	37.484	11	45	0.74	0.465 928 64	25	9	22	8.796	6	43	30.57	0.294 464 15	
	11	10	0	27.144	11	25	8.59	0.458 678 74	26	9	20	10.739	6	54	4.03	0.296 491 93	
	12	10	2	10.860	11	5	27.86	0.451 498 81	27	9	18	19.770	7	4	49.97	0.298 787 25	
	13	10	3	48.454	10	46	0.08	0.444 392 50	28	9	16	36.456	7	15	44.27	0.301 343 35	
	14	10	5	19.744	10	26	46.83	0.437 363 71	29	9	15	1.300	7	26	42.91	0.304 152 88	
	15	10	6	44.538	10	7	49.75	0.430 416 56	30	9	13	34.734	7	37	42.02	0.307 207 97	
	16	10	8	2.642	9	49	10.55	0.423 555 47	31	9	12	17.122	7	48	37.93	0.310 500 34	
	17	10	9	13.856	9	30	50.96	0.416 785 18	Sept.	1	9	11	8.755	7	59	27.18	0.314 021 36
	18	10	10	17.979	9	12	52.82	0.410 110 68	2	9	10	9.856	8	10	6.56	0.317 762 15	
	19	10	11	14.810	8	55	17.97	0.403 537 31	3	9	9	20.580	8	20	33.13	0.321 713 72	
20	10	12	4.150	8	38	8.33	0.397 070 67	4	9	8	41.018	8	30	44.19	0.325 867 08		
21	10	12	45.798	8	21	25.87	0.390 716 66	5	9	8	11.206	8	40	37.31	0.330 213 29		
22	10	13	19.563	8	5	12.60	0.384 481 47	6	9	7	51.126	8	50	10.30	0.334 743 57		
23	10	13	45.256	7	49	30.58	0.378 371 57	7	9	7	40.720	8	59	21.17	0.339 449 32		
24	10	14	2.700	7	34	21.90	0.372 393 71	8	9	7	39.887	9	8	8.16	0.344 322 23		
25	10	14	11.727	7	19	48.70	0.366 554 91	9	9	7	48.499	9	16	29.69	0.349 354 22		
26	10	14	12.186	7	5	53.12	0.360 862 45	10	9	8	6.396	9	24	24.32	0.354 537 55		
27	10	14	3.944	6	52	37.33	0.355 323 90	11	9	8	33.400	9	31	50.81	0.359 864 76		
28	10	13	46.892	6	40	3.49	0.349 947 02	12	9	9	9.311	9	38	48.03	0.365 328 71		
29	10	13	20.948	6	28	13.72	0.344 739 80	13	9	9	53.918	9	45	15.01	0.370 922 57		
30	10	12	46.062	6	17	10.11	0.339 710 40	14	9	10	46.996	9	51	10.85	0.376 639 79		
31	10	12	2.223	6	6	54.67	0.334 867 07	15	9	11	48.311	9	56	34.80	0.382 474 15		
Août	1	10	11	9.460	5	57	29.32	0.330 218 13	16	9	12	57.625	10	1	26.17	0.388 419 68	
2	10	10	7.850	5	48	55.86	0.325 771 90	17	9	14	14.692	10	5	44.39	0.394 470 69		
3	10	8	57.521	5	41	15.95	0.321 536 63	18	9	15	39.266	10	9	28.94	0.400 621 76		
4	10	7	38.651	5	34	31.11	0.317 520 43	19	9	17	11.099	10	12	39.38	0.406 867 72		
5	10	6	11.473	5	28	42.68	0.313 731 28	20	9	18	49.944	10	15	15.33	0.413 203 63		
6	10	4	36.279	5	23	51.81	0.310 176 93	21	9	20	35.555	10	17	16.48	0.419 624 79		
7	10	2	53.414	5	19	59.44	0.306 864 87	22	9	22	27.690	10	18	42.53	0.426 126 71		
8	10	1	3.286	5	17	6.27	0.303 802 33	23	9	24	26.111	10	19	33.27	0.432 705 10		
9	9	59	6.360	5	15	12.72	0.300 996 19	24	9	26	30.583	10	19	48.50	0.439 355 82		
10	9	57	3.165	5	14	18.91	0.298 452 96	25	9	28	40.880	10	19	28.05	0.446 074 89		
11	9	54	54.286	5	14	24.66	0.296 178 71	26	9	30	56.781	10	18	31.80	0.452 858 40		
12	9	52	40.371	5	15	29.39	0.294 179 05	27	9	33	18.070	10	16	59.64	0.459 702 57		
13	9	50	22.122	5	17	32.18	0.292 459 02	28	9	35	44.536	10	14	51.54	0.466 603 65		
14	9	48	0.294	5	20	31.69	0.291 023 06	29	9	38	15.972	10	12	7.49	0.473 557 97		
15	9	45	35.690	5	24	26.23	0.289 874 92	30	9	40	52.175	10	8	47.58	0.480 561 98		
16	9	43	9.149	5	29	13.67	0.289 017 63	Oct.	1	9	43	32.939	10	4	51.94	0.487 612 25	
17	9	40	41.543	5	34	51.54	0.288 453 38	2	9	46	18.064	10	0	20.76	0.494 705 50		

VÉNUS 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Oct.	3 9 49 7.354	9 55 14.30	0.501 838 66	Nov.	18 12 39 12.176	- 2 24 41.25	0.844 488 76
	4 9 52 0.617	9 49 32.82	0.509 008 86		19 12 43 22.935	- 2 47 59.97	0.851 860 48
	5 9 54 57.668	9 43 16.63	0.516 213 41		20 12 47 34.557	- 3 11 25.85	0.859 219 17
	6 9 57 58.330	9 36 26.07	0.523 449 83		21 12 51 47.051	- 3 34 58.15	0.866 564 55
	7 10 1 2.432	9 29 1.48	0.530 715 81		22 12 56 0.430	- 3 58 36.16	0.873 896 25
	8 10 4 9.813	9 21 3.25	0.538 009 21		23 13 0 14.709	- 4 22 19.13	0.881 213 85
	9 10 7 20.318	9 12 31.76	0.545 328 04		24 13 4 29.902	- 4 46 6.35	0.888 516 81
	10 10 10 33.801	9 3 27.42	0.552 670 45		25 13 8 46.022	- 5 9 57.05	0.895 804 52
	11 10 13 50.120	8 53 50.64	0.560 034 73		26 13 13 3.082	- 5 33 50.46	0.903 076 25
	12 10 17 9.142	8 43 41.86	0.567 419 28		27 13 17 21.093	- 5 57 45.78	0.910 331 24
	13 10 20 30.742	8 33 1.53	0.574 822 59		28 13 21 40.064	- 6 21 42.19	0.917 568 73
	14 10 23 54.798	8 21 50.11	0.582 243 27		29 13 26 0.007	- 6 45 38.87	0.924 787 96
15 10 27 21.195	8 10 8.07	0.589 680 00	30 13 30 20.932	- 7 9 34.98	0.931 988 23		
16 10 30 49.827	7 57 55.90	0.597 131 52	Déc.	1 13 34 42.852	- 7 33 29.70	0.939 168 89	
17 10 34 20.589	7 45 14.07	0.604 596 67		2 13 39 5.778	- 7 57 22.18	0.946 329 38	
18 10 37 53.384	7 32 3.09	0.612 074 33	3 13 43 29.724	- 8 21 11.61	0.953 469 16		
19 10 41 28.121	7 18 23.47	0.619 563 43	4 13 47 54.703	- 8 44 57.14	0.960 587 77		
20 10 45 4.714	7 4 15.71	0.627 062 95	5 13 52 20.727	- 9 8 37.95	0.967 684 79		
21 10 48 43.083	6 49 40.33	0.634 571 91	6 13 56 47.808	- 9 32 13.20	0.974 759 84		
22 10 52 23.152	6 34 37.85	0.642 089 33	7 14 1 15.961	- 9 55 42.06	0.981 812 61		
23 10 56 4.854	6 19 8.79	0.649 614 25	8 14 5 45.196	-10 19 3.70	0.988 842 78		
24 10 59 48.125	6 3 13.65	0.657 145 67	9 14 10 15.525	-10 42 17.29	0.995 850 12		
25 11 3 32.909	5 46 52.97	0.664 682 53	10 14 14 46.960	-11 5 21.99	1.002 834 42		
26 11 7 19.152	5 30 7.28	0.672 223 70	11 14 19 19.511	-11 28 16.97	1.009 795 50		
27 11 11 6.804	5 12 57.14	0.679 768 00	12 14 23 53.189	-11 51 1.41	1.016 733 25		
28 11 14 55.816	4 55 23.14	0.687 314 15	13 14 28 28.004	-12 13 34.47	1.023 647 58		
29 11 18 46.137	4 37 25.92	0.694 860 88	14 14 33 3.966	-12 35 55.32	1.030 538 44		
30 11 22 37.718	4 19 6.13	0.702 406 91	15 14 37 41.087	-12 58 3.14	1.037 405 79		
31 11 26 30.512	4 0 24.46	0.709 951 03	16 14 42 19.378	-13 19 57.12	1.044 249 65		
Nov.	1 11 30 24.474	3 41 21.62	0.717 492 11	17 14 46 58.850	-13 41 36.45	1.051 070 02	
	2 11 34 19.560	3 21 58.31	0.725 029 10	18 14 51 39.516	-14 3 0.32	1.057 866 91	
	3 11 38 15.735	3 2 15.25	0.732 561 04	19 14 56 21.389	-14 24 7.94	1.064 640 33	
	4 11 42 12.961	2 42 13.16	0.740 087 06	20 15 1 4.483	-14 44 58.53	1.071 390 26	
	5 11 46 11.209	2 21 52.78	0.747 606 37	21 15 5 48.808	-15 5 31.31	1.078 116 61	
	6 11 50 10.451	2 1 14.82	0.755 118 24	22 15 10 34.376	-15 25 45.51	1.084 819 22	
	7 11 54 10.661	1 40 20.03	0.762 622 01	23 15 15 21.193	-15 45 40.34	1.091 497 86	
	8 11 58 11.816	1 19 9.14	0.770 117 07	24 15 20 9.266	-16 5 15.02	1.098 152 17	
	9 12 2 13.897	0 57 42.89	0.777 602 88	25 15 24 58.596	-16 24 28.73	1.104 781 73	
	10 12 6 16.887	0 36 2.03	0.785 078 92	26 15 29 49.184	-16 43 20.67	1.111 386 05	
	11 12 10 20.771	0 14 7.29	0.792 544 75	27 15 34 41.029	-17 1 50.03	1.117 964 61	
	12 12 14 25.535	- 0 8 0.56	0.799 999 94	28 15 39 34.129	-17 19 56.00	1.124 516 90	
13 12 18 31.170	- 0 30 20.79	0.807 444 13	29 15 44 28.478	-17 37 37.80	1.131 042 43		
14 12 22 37.666	- 0 52 52.64	0.814 876 96	30 15 49 24.070	-17 54 54.62	1.137 540 75		
15 12 26 45.017	- 1 15 35.36	0.822 298 12	31 15 54 20.897	-18 11 45.72	1.144 011 45		
16 12 30 53.219	- 1 38 28.19	0.829 707 32	32 15 59 18.948	-18 28 10.32	1.150 454 16		
17 12 35 2.272	- 2 1 30.41	0.837 104 28	33 16 4 18.208	-18 44 7.69	1.156 868 56		

MARS 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Janv.	0 17 6 25.979	-23 9 44.86	2.387 801 88	Févr.	15 19 34 8.207	-22 29 0.96	2.163 165 06
	1 17 9 33.799	-23 14 16.34	2.383 408 36		16 19 37 21.355	-22 22 22.38	2.157 941 13
	2 17 12 42.006	-23 18 34.33	2.378 987 08		17 19 40 34.318	-22 15 29.61	2.152 708 78
	3 17 15 50.590	-23 22 38.73	2.374 538 55		18 19 43 47.084	-22 8 22.75	2.147 468 51
	4 17 18 59.543	-23 26 29.45	2.370 063 17		19 19 46 59.639	-22 1 1.87	2.142 220 95
	5 17 22 8.852	-23 30 6.39	2.365 561 30		20 19 50 11.974	-21 53 27.06	2.136 966 79
	6 17 25 18.510	-23 33 29.44	2.361 033 24		21 19 53 24.081	-21 45 38.41	2.131 706 81
	7 17 28 28.505	-23 36 38.50	2.356 479 25		22 19 56 35.951	-21 37 36.02	2.126 441 83
	8 17 31 38.829	-23 39 33.49	2.351 899 57		23 19 59 47.579	-21 29 20.03	2.121 172 64
	9 17 34 49.472	-23 42 14.31	2.347 294 45		24 20 2 58.954	-21 20 50.53	2.115 900 00
	10 17 38 0.423	-23 44 40.87	2.342 664 12		25 20 6 10.071	-21 12 7.65	2.110 624 62
	11 17 41 11.673	-23 46 53.11	2.338 008 85		26 20 9 20.919	-21 3 11.51	2.105 347 13
	12 17 44 23.210	-23 48 50.95	2.333 328 89		27 20 12 31.492	-20 54 2.22	2.100 068 09
	13 17 47 35.022	-23 50 34.33	2.328 624 52		28 20 15 41.782	-20 44 39.89	2.094 787 99
14 17 50 47.097	-23 52 3.18	2.323 896 02	Mars 1 20 18 51.782	-20 35 4.63	2.089 507 23		
15 17 53 59.422	-23 53 17.45	2.319 143 70	2 20 22 1.488	-20 25 16.56	2.084 226 17		
16 17 57 11.981	-23 54 17.09	2.314 367 89	3 20 25 10.894	-20 15 15.77	2.078 945 09		
17 18 0 24.761	-23 55 2.05	2.309 568 98	4 20 28 19.996	-20 5 2.39	2.073 664 24		
18 18 3 37.745	-23 55 32.30	2.304 747 37	5 20 31 28.791	-19 54 36.52	2.068 383 79		
19 18 6 50.914	-23 55 47.78	2.299 903 58	6 20 34 37.275	-19 43 58.30	2.063 103 92		
20 18 10 4.252	-23 55 48.46	2.295 038 17	7 20 37 45.445	-19 33 7.84	2.057 824 73		
21 18 13 17.743	-23 55 34.30	2.290 151 81	8 20 40 53.297	-19 22 5.28	2.052 546 35		
22 18 16 31.370	-23 55 5.25	2.285 245 25	9 20 44 0.829	-19 10 50.75	2.047 268 83		
23 18 19 45.121	-23 54 21.28	2.280 319 33	10 20 47 8.035	-18 59 24.41	2.041 992 27		
24 18 22 58.984	-23 53 22.36	2.275 374 89	11 20 50 14.912	-18 47 46.40	2.036 716 71		
25 18 26 12.946	-23 52 8.48	2.270 412 83	12 20 53 21.455	-18 35 56.88	2.031 442 22		
26 18 29 26.998	-23 50 39.65	2.265 434 00	13 20 56 27.660	-18 23 56.00	2.026 168 85		
27 18 32 41.128	-23 48 55.87	2.260 439 23	14 20 59 33.520	-18 11 43.94	2.020 896 65		
28 18 35 55.324	-23 46 57.14	2.255 429 29	15 21 2 39.029	-17 59 20.85	2.015 625 71		
29 18 39 9.572	-23 44 43.47	2.250 404 87	16 21 5 44.182	-17 46 46.91	2.010 356 14		
30 18 42 23.861	-23 42 14.89	2.245 366 60	17 21 8 48.972	-17 34 2.29	2.005 088 11		
31 18 45 38.177	-23 39 31.39	2.240 315 02	18 21 11 53.394	-17 21 7.16	1.999 821 87		
Févr.	1 18 48 52.508	-23 36 32.97	2.235 250 60	19 21 14 57.445	-17 8 1.67	1.994 557 80	
	2 18 52 6.840	-23 33 19.65	2.230 173 75	20 21 18 1.123	-16 54 46.01	1.989 296 34	
	3 18 55 21.162	-23 29 51.44	2.225 084 82	21 21 21 4.429	-16 41 20.33	1.984 038 07	
	4 18 58 35.464	-23 26 8.33	2.219 984 09	22 21 24 7.362	-16 27 44.81	1.978 783 60	
	5 19 1 49.734	-23 22 10.35	2.214 871 84	23 21 27 9.923	-16 13 59.65	1.973 533 57	
	6 19 5 3.961	-23 17 57.52	2.209 748 30	24 21 30 12.109	-16 0 5.02	1.968 288 61	
	7 19 8 18.135	-23 13 29.87	2.204 613 71	25 21 33 13.922	-15 46 1.12	1.963 049 28	
	8 19 11 32.245	-23 8 47.43	2.199 468 27	26 21 36 15.359	-15 31 48.11	1.957 816 07	
	9 19 14 46.279	-23 3 50.25	2.194 312 20	27 21 39 16.422	-15 17 26.17	1.952 589 41	
	10 19 18 0.226	-22 58 38.39	2.189 145 72	28 21 42 17.113	-15 2 55.47	1.947 369 63	
	11 19 21 14.073	-22 53 11.89	2.183 969 05	29 21 45 17.433	-14 48 16.16	1.942 157 02	
	12 19 24 27.809	-22 47 30.83	2.178 782 40	30 21 48 17.385	-14 33 28.41	1.936 951 78	
	13 19 27 41.419	-22 41 35.27	2.173 586 01	31 21 51 16.973	-14 18 32.37	1.931 754 07	
	14 19 30 54.890	-22 35 25.29	2.168 380 13	Avril 1 21 54 16.202	-14 3 28.22	1.926 563 97	

MARS 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Avril	2 21 57 15.076	-13 48 16.10	1.921 381 55	Mai	18 0 9 6.530	- 0 39 16.95	1.690 926 10
	3 22 0 13.600	-13 32 56.19	1.916 206 81		19 0 11 53.525	- 0 21 21.16	1.686 070 59
	4 22 3 11.778	-13 17 28.65	1.911 039 70		20 0 14 40.385	- 0 3 26.42	1.681 219 90
	5 22 6 9.615	-13 1 53.66	1.905 880 15		21 0 17 27.113	0 14 27.09	1.676 374 19
	6 22 9 7.115	-12 46 11.39	1.900 728 07		22 0 20 13.715	0 32 19.20	1.671 533 56
	7 22 12 4.281	-12 30 22.03	1.895 583 33		23 0 23 0.197	0 50 9.74	1.666 698 07
	8 22 15 1.117	-12 14 25.76	1.890 445 77		24 0 25 46.566	1 7 58.56	1.661 867 67
	9 22 17 57.625	-11 58 22.78	1.885 315 23		25 0 28 32.830	1 25 45.50	1.657 042 30
	10 22 20 53.808	-11 42 13.27	1.880 191 54		26 0 31 18.996	1 43 30.40	1.652 221 82
	11 22 23 49.666	-11 25 57.43	1.875 074 52		27 0 34 5.073	2 1 13.13	1.647 406 03
	12 22 26 45.201	-11 9 35.47	1.869 963 99		28 0 36 51.068	2 18 53.52	1.642 594 69
13 22 29 40.414	-10 53 7.59	1.864 859 80	29 0 39 36.988	2 36 31.42	1.637 787 53		
14 22 32 35.307	-10 36 33.98	1.859 761 84	30 0 42 22.840	2 54 6.70	1.632 984 21		
15 22 35 29.883	-10 19 54.85	1.854 670 07	31 0 45 8.632	3 11 39.19	1.628 184 36		
16 22 38 24.143	-10 3 10.39	1.849 584 53	Juin	1 0 47 54.368	3 29 8.73	1.623 387 57	
17 22 41 18.093	- 9 46 20.79	1.844 505 38		2 0 50 40.055	3 46 35.17	1.618 593 36	
18 22 44 11.738	- 9 29 26.25	1.839 432 88		3 0 53 25.696	4 3 58.35	1.613 801 22	
19 22 47 5.081	- 9 12 26.98	1.834 367 38		4 0 56 11.295	4 21 18.08	1.609 010 62	
20 22 49 58.126	- 8 55 23.18	1.829 309 29		5 0 58 56.855	4 38 34.22	1.604 220 99	
21 22 52 50.877	- 8 38 15.05	1.824 259 02		6 1 1 42.379	4 55 46.57	1.599 431 72	
22 22 55 43.336	- 8 21 2.79	1.819 216 95	7 1 4 27.870	5 12 54.96	1.594 642 24		
23 22 58 35.508	- 8 3 46.61	1.814 183 41	8 1 7 13.330	5 29 59.21	1.589 851 96		
24 23 1 27.399	- 7 46 26.67	1.809 158 65	9 1 9 58.762	5 46 59.16	1.585 060 33		
25 23 4 19.013	- 7 29 3.16	1.804 142 85	10 1 12 44.168	6 3 54.63	1.580 266 84		
26 23 7 10.358	- 7 11 36.24	1.799 136 11	11 1 15 29.552	6 20 45.46	1.575 471 07		
27 23 10 1.442	- 6 54 6.09	1.794 138 49	12 1 18 14.914	6 37 31.47	1.570 672 66		
28 23 12 52.273	- 6 36 32.87	1.789 149 98	13 1 21 0.256	6 54 12.50	1.565 871 38		
29 23 15 42.859	- 6 18 56.75	1.784 170 49	14 1 23 45.576	7 10 48.39	1.561 067 07		
30 23 18 33.208	- 6 1 17.90	1.779 199 93	15 1 26 30.872	7 27 18.95	1.556 259 69		
Mai	1 23 21 23.330	- 5 43 36.48	1.774 238 13	16 1 29 16.142	7 43 44.03	1.551 449 25	
	2 23 24 13.232	- 5 25 52.66	1.769 284 88	17 1 32 1.385	8 0 3.45	1.546 635 78	
	3 23 27 2.922	- 5 8 6.63	1.764 339 94	18 1 34 46.600	8 16 17.06	1.541 819 35	
	4 23 29 52.406	- 4 50 18.54	1.759 403 00	19 1 37 31.788	8 32 24.72	1.536 999 96	
	5 23 32 41.692	- 4 32 28.59	1.754 473 75	20 1 40 16.951	8 48 26.28	1.532 177 58	
	6 23 35 30.786	- 4 14 36.96	1.749 551 82	21 1 43 2.093	9 4 21.62	1.527 352 14	
	7 23 38 19.691	- 3 56 43.84	1.744 636 84	22 1 45 47.217	9 20 10.62	1.522 523 51	
	8 23 41 8.414	- 3 38 49.42	1.739 728 39	23 1 48 32.326	9 35 53.15	1.517 691 51	
	9 23 43 56.959	- 3 20 53.89	1.734 826 07	24 1 51 17.423	9 51 29.11	1.512 855 90	
	10 23 46 45.328	- 3 2 57.46	1.729 929 46	25 1 54 2.513	10 6 58.37	1.508 016 43	
	11 23 49 33.527	- 2 45 0.33	1.725 038 16	26 1 56 47.596	10 22 20.83	1.503 172 79	
12 23 52 21.560	- 2 27 2.68	1.720 151 81	27 1 59 32.677	10 37 36.37	1.498 324 61		
13 23 55 9.431	- 2 9 4.72	1.715 270 09	28 2 2 17.755	10 52 44.87	1.493 471 50		
14 23 57 57.145	- 1 51 6.64	1.710 392 76	29 2 5 2.832	11 7 46.23	1.488 613 02		
15 0 0 44.708	- 1 33 8.63	1.705 519 68	30 2 7 47.909	11 22 40.32	1.483 748 67		
16 0 3 32.124	- 1 15 10.88	1.700 650 81	Juill.	1 2 10 32.984	11 37 27.02	1.478 877 91	
17 0 6 19.397	- 0 57 13.58	1.695 786 24		2 2 13 18.056	11 52 6.21	1.474 000 14	

MARS 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Juill.	3	2	16	3.123	12	6	37.75	1.469 114 73	Août	18	4	20	47.041	20	30	5.13	1.230 169 73	
	4	2	18	48.183	12	21	1.53	1.464 221 03		19	4	23	23.793	20	37	7.80	1.224 570 05	
	5	2	21	33.235	12	35	17.39	1.459 318 35		20	4	26	0.076	20	44	0.45	1.218 951 32	
	6	2	24	18.274	12	49	25.22	1.454 406 04		21	4	28	35.876	20	50	43.13	1.213 313 56	
	7	2	27	3.300	13	3	24.90	1.449 483 46		22	4	31	11.179	20	57	15.90	1.207 656 77	
	8	2	29	48.308	13	17	16.29	1.444 550 05		23	4	33	45.968	21	3	38.84	1.201 980 94	
	9	2	32	33.294	13	30	59.30	1.439 605 29		24	4	36	20.229	21	9	52.00	1.196 286 01	
	10	2	35	18.252	13	44	33.79	1.434 648 77		25	4	38	53.945	21	15	55.46	1.190 571 87	
	11	2	38	3.175	13	57	59.67	1.429 680 15		26	4	41	27.099	21	21	49.28	1.184 838 38	
	12	2	40	48.054	14	11	16.82	1.424 699 21		27	4	43	59.674	21	27	33.52	1.179 085 32	
	13	2	43	32.878	14	24	25.12	1.419 705 82		28	4	46	31.654	21	33	8.25	1.173 312 41	
	14	2	46	17.638	14	37	24.47	1.414 699 91		29	4	49	3.022	21	38	33.53	1.167 519 34	
	15	2	49	2.325	14	50	14.75	1.409 681 47		30	4	51	33.760	21	43	49.42	1.161 705 72	
	16	2	51	46.930	15	2	55.87	1.404 650 52		31	4	54	3.851	21	48	56.01	1.155 871 19	
	17	2	54	31.447	15	15	27.74	1.399 607 08		Sept.	1	4	56	33.274	21	53	53.37	1.150 015 41
	18	2	57	15.871	15	27	50.28	1.394 551 14		2	4	59	2.009	21	58	41.61	1.144 138 10	
	19	3	0	0.197	15	40	3.42	1.389 482 68		3	5	1	30.030	22	3	20.83	1.138 239 09	
20	3	2	44.422	15	52	7.10	1.384 401 63	4	5	3	57.310	22	7	51.15	1.132 318 30			
21	3	5	28.539	16	4	1.27	1.379 307 87	5	5	6	23.821	22	12	12.68	1.126 375 79			
22	3	8	12.546	16	15	45.88	1.374 201 27	6	5	8	49.533	22	16	25.53	1.120 411 71			
23	3	10	56.437	16	27	20.88	1.369 081 64	7	5	11	14.417	22	20	29.81	1.114 426 30			
24	3	13	40.207	16	38	46.21	1.363 948 79	8	5	13	38.444	22	24	25.66	1.108 419 91			
25	3	16	23.850	16	50	1.85	1.358 802 40	9	5	16	1.586	22	28	13.18	1.102 392 95			
26	3	19	7.359	17	1	7.74	1.353 642 25	10	5	18	23.817	22	31	52.53	1.096 345 88			
27	3	21	50.728	17	12	3.86	1.348 467 98	11	5	20	45.111	22	35	23.84	1.090 279 20			
28	3	24	33.949	17	22	50.14	1.343 279 21	12	5	23	5.444	22	38	47.25	1.084 193 46			
29	3	27	17.014	17	33	26.55	1.338 075 49	13	5	25	24.791	22	42	2.94	1.078 089 21			
30	3	29	59.913	17	43	53.03	1.332 856 34	14	5	27	43.130	22	45	11.07	1.071 967 00			
31	3	32	42.637	17	54	9.54	1.327 621 19	15	5	30	0.436	22	48	11.82	1.065 827 39			
Août	1	3	35	25.178	18	4	16.03	1.322 369 46	16	5	32	16.686	22	51	5.36	1.059 670 93		
2	3	38	7.524	18	14	12.44	1.317 100 53	17	5	34	31.855	22	53	51.88	1.053 498 16			
3	3	40	49.668	18	23	58.72	1.311 813 80	18	5	36	45.919	22	56	31.56	1.047 309 63			
4	3	43	31.596	18	33	34.85	1.306 508 68	19	5	38	58.853	22	59	4.61	1.041 105 86			
5	3	46	13.299	18	43	0.80	1.301 184 67	20	5	41	10.631	23	1	31.20	1.034 887 34			
6	3	48	54.760	18	52	16.53	1.295 841 31	21	5	43	21.229	23	3	51.54	1.028 654 57			
7	3	51	35.964	19	1	22.04	1.290 478 27	22	5	45	30.621	23	6	5.80	1.022 408 02			
8	3	54	16.894	19	10	17.31	1.285 095 30	23	5	47	38.780	23	8	14.19	1.016 148 09			
9	3	56	57.529	19	19	2.31	1.279 692 25	24	5	49	45.680	23	10	16.89	1.009 875 16			
10	3	59	37.851	19	27	37.04	1.274 269 06	25	5	51	51.295	23	12	14.09	1.003 589 56			
11	4	2	17.840	19	36	1.49	1.268 825 76	26	5	53	55.598	23	14	5.97	0.997 291 54			
12	4	4	57.477	19	44	15.63	1.263 362 43	27	5	55	58.563	23	15	52.73	0.990 981 32			
13	4	7	36.746	19	52	19.49	1.257 879 20	28	5	58	0.161	23	17	34.57	0.984 659 12			
14	4	10	15.631	20	0	13.06	1.252 376 22	29	6	0	0.362	23	19	11.71	0.978 325 17			
15	4	12	54.117	20	7	56.38	1.246 853 64	30	6	1	59.130	23	20	44.39	0.971 979 80			
16	4	15	32.189	20	15	29.47	1.241 311 62	Oct.	1	6	3	56.428	23	22	12.85	0.965 623 45		
17	4	18	9.835	20	22	52.37	1.235 750 28	2	6	5	52.213	23	23	37.35	0.959 256 69			

MARS 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Oct.	3	6	7	46.443	23	24	58.11	0.952 880 25	Nov.	18	6	54	37.239	24	35	36.42	0.675 262 14	
	4	6	9	39.073	23	26	15.40	0.946 495 00		19	6	54	26.752	24	38	46.28	0.670 399 89	
	5	6	11	30.060	23	27	29.47	0.940 101 93		20	6	54	12.511	24	42	1.91	0.665 637 89	
	6	6	13	19.361	23	28	40.55	0.933 702 12		21	6	53	54.502	24	45	23.12	0.660 979 84	
	7	6	15	6.936	23	29	48.90	0.927 296 76		22	6	53	32.713	24	48	49.72	0.656 429 43	
	8	6	16	52.741	23	30	54.80	0.920 887 12		23	6	53	7.134	24	52	21.49	0.651 990 35	
	9	6	18	36.738	23	31	58.49	0.914 474 53		24	6	52	37.759	24	55	58.21	0.647 666 34	
	10	6	20	18.887	23	33	0.26	0.908 060 37		25	6	52	4.579	24	59	39.60	0.643 461 22	
	11	6	21	59.146	23	34	0.39	0.901 646 09		26	6	51	27.591	25	3	25.40	0.639 378 98	
	12	6	23	37.477	23	34	59.14	0.895 233 16		27	6	50	46.794	25	7	15.28	0.635 423 72	
	13	6	25	13.840	23	35	56.81	0.888 823 10		28	6	50	2.192	25	11	8.88	0.631 599 75	
	14	6	26	48.194	23	36	53.69	0.882 417 43		29	6	49	13.801	25	15	5.80	0.627 911 50	
	15	6	28	20.498	23	37	50.05	0.876 017 73		30	6	48	21.648	25	19	5.59	0.624 363 52	
	16	6	29	50.710	23	38	46.19	0.869 625 57		Déc.	1	6	47	25.769	25	23	7.77	0.620 960 41
	17	6	31	18.790	23	39	42.39	0.863 242 56			2	6	46	26.215	25	27	11.83	0.617 706 80
	18	6	32	44.694	23	40	38.93	0.856 870 30			3	6	45	23.045	25	31	17.25	0.614 607 31
	19	6	34	8.380	23	41	36.09	0.850 510 42			4	6	44	16.333	25	35	23.44	0.611 666 54
20	6	35	29.805	23	42	34.13	0.844 164 54	5	6		43	6.163	25	39	29.82	0.608 889 02		
21	6	36	48.925	23	43	33.33	0.837 834 28	6	6		41	52.631	25	43	35.80	0.606 279 18		
22	6	38	5.697	23	44	33.93	0.831 521 23	7	6		40	35.845	25	47	40.73	0.603 841 39		
23	6	39	20.078	23	45	36.20	0.825 226 98	8	6	39	15.924	25	51	43.98	0.601 579 85			
24	6	40	32.024	23	46	40.38	0.818 953 08	9	6	37	53.001	25	55	44.90	0.599 498 65			
25	6	41	41.490	23	47	46.72	0.812 701 06	10	6	36	27.218	25	59	42.83	0.597 601 67			
26	6	42	48.428	23	48	55.49	0.806 472 46	11	6	34	58.729	26	3	37.11	0.595 892 63			
27	6	43	52.790	23	50	6.96	0.800 268 90	12	6	33	27.700	26	7	27.09	0.594 375 00			
28	6	44	54.518	23	51	21.40	0.794 092 08	13	6	31	54.306	26	11	12.12	0.593 052 03			
29	6	45	53.552	23	52	39.10	0.787 943 87	14	6	30	18.733	26	14	51.55	0.591 926 70			
30	6	46	49.830	23	54	0.35	0.781 826 35	15	6	28	41.176	26	18	24.78	0.591 001 70			
31	6	47	43.286	23	55	25.40	0.775 741 77	16	6	27	1.838	26	21	51.20	0.590 279 44			
Nov.	1	6	48	33.855	23	56	54.51	0.769 692 60	17	6	25	20.929	26	25	10.26	0.589 762 03		
	2	6	49	21.475	23	58	27.92	0.763 681 48	18	6	23	38.665	26	28	21.45	0.589 451 27		
	3	6	50	6.084	24	0	5.87	0.757 711 19	19	6	21	55.268	26	31	24.28	0.589 348 67		
	4	6	50	47.621	24	1	48.58	0.751 784 65	20	6	20	10.959	26	34	18.36	0.589 455 45		
	5	6	51	26.030	24	3	36.25	0.745 904 89	21	6	18	25.962	26	37	3.32	0.589 772 57		
	6	6	52	1.253	24	5	29.10	0.740 075 07	22	6	16	40.498	26	39	38.87	0.590 300 77		
7	6	52	33.236	24	7	27.30	0.734 298 42	23	6	14	54.786	26	42	4.77	0.591 040 63			
8	6	53	1.925	24	9	31.03	0.728 578 26	24	6	13	9.041	26	44	20.82	0.591 992 55			
9	6	53	27.268	24	11	40.46	0.722 918 00	25	6	11	23.476	26	46	26.89	0.593 156 84			
10	6	53	49.215	24	13	55.71	0.717 321 12	26	6	9	38.305	26	48	22.88	0.594 533 68			
11	6	54	7.718	24	16	16.90	0.711 791 16	27	6	7	53.742	26	50	8.72	0.596 123 11			
12	6	54	22.731	24	18	44.14	0.706 331 70	28	6	6	10.002	26	51	44.41	0.597 925 01			
13	6	54	34.209	24	21	17.50	0.700 946 41	29	6	4	27.297	26	53	10.01	0.599 939 05			
14	6	54	42.111	24	23	57.01	0.695 638 97	30	6	2	45.841	26	54	25.62	0.602 164 65			
15	6	54	46.399	24	26	42.69	0.690 413 08	31	6	1	5.841	26	55	31.40	0.604 601 00			
16	6	54	47.037	24	29	34.52	0.685 272 48	32	5	59	27.500	26	56	27.55	0.607 247 04			
17	6	54	43.993	24	32	32.46	0.680 220 91	33	5	57	51.014	26	57	14.32	0.610 101 43			

JUPITER 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Janv.	0	16 25 21.612	-20 57 14.33	6.183 265 69	Févr.	15	17 0 1.021	-22 1 6.55	5.613 450 44
	1	16 26 13.832	-20 59 13.01	6.174 521 92		16	17 0 36.189	-22 1 55.22	5.598 113 44
	2	16 27 5.849	-21 1 10.12	6.165 589 29		17	17 1 10.799	-22 2 42.58	5.582 695 92
	3	16 27 57.654	-21 3 5.64	6.156 469 23		18	17 1 44.842	-22 3 28.63	5.567 201 54
	4	16 28 49.239	-21 4 59.59	6.147 163 14		19	17 2 18.309	-22 4 13.35	5.551 634 11
	5	16 29 40.596	-21 6 51.94	6.137 672 36		20	17 2 51.195	-22 4 56.76	5.535 997 50
	6	16 30 31.719	-21 8 42.69	6.127 998 25		21	17 3 23.495	-22 5 38.88	5.520 295 62
	7	16 31 22.600	-21 10 31.83	6.118 142 17		22	17 3 55.205	-22 6 19.73	5.504 532 39
	8	16 32 13.234	-21 12 19.34	6.108 105 51		23	17 4 26.319	-22 6 59.35	5.488 711 66
	9	16 33 3.614	-21 14 5.23	6.097 889 70		24	17 4 56.829	-22 7 37.76	5.472 837 24
	10	16 33 53.735	-21 15 49.49	6.087 496 24		25	17 5 26.730	-22 8 15.00	5.456 912 85
	11	16 34 43.590	-21 17 32.12	6.076 926 68		26	17 5 56.011	-22 8 51.07	5.440 942 15
	12	16 35 33.174	-21 19 13.13	6.066 182 65		27	17 6 24.666	-22 9 26.00	5.424 928 74
13	16 36 22.478	-21 20 52.54	6.055 265 83	28	17 6 52.686	-22 9 59.79	5.408 876 19		
14	16 37 11.496	-21 22 30.33	6.044 177 97	Mars	1	17 7 20.063	-22 10 32.45	5.392 788 03	
15	16 38 0.221	-21 24 6.53	6.032 920 93	2	17 7 46.791	-22 11 3.98	5.376 667 78		
16	16 38 48.644	-21 25 41.14	6.021 496 62	3	17 8 12.863	-22 11 34.39	5.360 518 97		
17	16 39 36.756	-21 27 14.16	6.009 907 08	4	17 8 38.273	-22 12 3.68	5.344 345 11		
18	16 40 24.546	-21 28 45.61	5.998 154 45	5	17 9 3.016	-22 12 31.86	5.328 149 77		
19	16 41 12.005	-21 30 15.49	5.986 241 02	6	17 9 27.085	-22 12 58.94	5.311 936 53		
20	16 41 59.122	-21 31 43.78	5.974 169 20	7	17 9 50.476	-22 13 24.93	5.295 709 04		
21	16 42 45.889	-21 33 10.47	5.961 941 53	8	17 10 13.181	-22 13 49.86	5.279 470 99		
22	16 43 32.296	-21 34 35.57	5.949 560 66	9	17 10 35.196	-22 14 13.73	5.263 226 12		
23	16 44 18.338	-21 35 59.06	5.937 029 35	10	17 10 56.513	-22 14 36.58	5.246 978 24		
24	16 45 4.010	-21 37 20.96	5.924 350 39	11	17 11 17.125	-22 14 58.41	5.230 731 25		
25	16 45 49.306	-21 38 41.27	5.911 526 59	12	17 11 37.025	-22 15 19.24	5.214 489 09		
26	16 46 34.221	-21 40 0.02	5.898 560 74	13	17 11 56.204	-22 15 39.09	5.198 255 80		
27	16 47 18.750	-21 41 17.24	5.885 455 60	14	17 12 14.654	-22 15 57.98	5.182 035 52		
28	16 48 2.884	-21 42 32.94	5.872 213 86	15	17 12 32.367	-22 16 15.90	5.165 832 47		
29	16 48 46.617	-21 43 47.15	5.858 838 19	16	17 12 49.334	-22 16 32.87	5.149 651 01		
30	16 49 29.940	-21 44 59.87	5.845 331 17	17	17 13 5.547	-22 16 48.87	5.133 495 60		
31	16 50 12.843	-21 46 11.13	5.831 695 35	18	17 13 21.000	-22 17 3.91	5.117 370 85		
Févr.	1	16 50 55.319	-21 47 20.91	5.817 933 24	19	17 13 35.690	-22 17 17.99	5.101 281 45	
	2	16 51 37.359	-21 48 29.22	5.804 047 34	20	17 13 49.612	-22 17 31.10	5.085 232 17	
	3	16 52 18.956	-21 49 36.06	5.790 040 13	21	17 14 2.766	-22 17 43.28	5.069 227 79	
	4	16 53 0.103	-21 50 41.43	5.775 914 11	22	17 14 15.150	-22 17 54.54	5.053 273 06	
	5	16 53 40.794	-21 51 45.33	5.761 671 82	23	17 14 26.760	-22 18 4.92	5.037 372 63	
	6	16 54 21.021	-21 52 47.78	5.747 315 83	24	17 14 37.592	-22 18 14.44	5.021 531 08	
	7	16 55 0.779	-21 53 48.78	5.732 848 75	25	17 14 47.643	-22 18 23.11	5.005 752 84	
	8	16 55 40.060	-21 54 48.34	5.718 273 29	26	17 14 56.906	-22 18 30.96	4.990 042 29	
	9	16 56 18.857	-21 55 46.49	5.703 592 18	27	17 15 5.378	-22 18 37.98	4.974 403 72	
	10	16 56 57.163	-21 56 43.24	5.688 808 25	28	17 15 13.055	-22 18 44.16	4.958 841 35	
	11	16 57 34.969	-21 57 38.60	5.673 924 39	29	17 15 19.934	-22 18 49.51	4.943 359 39	
	12	16 58 12.268	-21 58 32.60	5.658 943 57	30	17 15 26.014	-22 18 54.03	4.927 962 00	
	13	16 58 49.050	-21 59 25.24	5.643 868 85	31	17 15 31.293	-22 18 57.70	4.912 653 35	
14	16 59 25.304	-22 0 16.56	5.628 703 38	Avril	1	17 15 35.770	-22 19 0.54	4.897 437 59	

JUPITER 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Avril	2 17 15 39.444	-22 19 2.54	4.882 318 90	Mai	18 17 4 46.008	-22 6 14.94	4.366 341 26
	3 17 15 42.315	-22 19 3.70	4.867 301 44		19 17 4 17.058	-22 5 40.08	4.360 500 56
	4 17 15 44.383	-22 19 4.04	4.852 389 41		20 17 3 47.711	-22 5 4.58	4.354 940 82
	5 17 15 45.647	-22 19 3.57	4.837 587 04		21 17 3 17.986	-22 4 28.43	4.349 663 94
	6 17 15 46.106	-22 19 2.29	4.822 898 60		22 17 2 47.903	-22 3 51.64	4.344 671 63
	7 17 15 45.759	-22 19 0.21	4.808 328 38		23 17 2 17.484	-22 3 14.22	4.339 965 43
	8 17 15 44.605	-22 18 57.34	4.793 880 73		24 17 1 46.749	-22 2 36.17	4.335 546 76
	9 17 15 42.643	-22 18 53.69	4.779 560 04		25 17 1 15.723	-22 1 57.51	4.331 416 90
	10 17 15 39.871	-22 18 49.26	4.765 370 77		26 17 0 44.427	-22 1 18.25	4.327 577 03
	11 17 15 36.287	-22 18 44.05	4.751 317 43		27 17 0 12.885	-22 0 38.42	4.324 028 19
	12 17 15 31.891	-22 18 38.05	4.737 404 60		28 16 59 41.120	-21 59 58.03	4.320 771 37
13 17 15 26.683	-22 18 31.26	4.723 636 93	29 16 59 9.153	-21 59 17.13	4.317 807 42		
14 17 15 20.663	-22 18 23.66	4.710 019 14	30 16 58 37.008	-21 58 35.73	4.315 137 12		
15 17 15 13.834	-22 18 15.25	4.696 556 05	31 16 58 4.705	-21 57 53.87	4.312 761 16		
16 17 15 6.201	-22 18 6.00	4.683 252 49	Juin	1 16 57 32.268	-21 57 11.58	4.310 680 15	
17 17 14 57.770	-22 17 55.94	4.670 113 33	2 16 56 59.716	-21 56 28.90	4.308 894 63		
18 17 14 48.549	-22 17 45.06	4.657 143 38	3 16 56 27.071	-21 55 45.85	4.307 405 08		
19 17 14 38.545	-22 17 33.39	4.644 347 35	4 16 55 54.352	-21 55 2.46	4.306 211 94		
20 17 14 27.764	-22 17 20.95	4.631 729 84	5 16 55 21.579	-21 54 18.77	4.305 315 58		
21 17 14 16.210	-22 17 7.75	4.619 295 22	6 16 54 48.775	-21 53 34.78	4.304 716 32		
22 17 14 3.889	-22 16 53.80	4.607 047 76	7 16 54 15.959	-21 52 50.53	4.304 414 44		
23 17 13 50.806	-22 16 39.10	4.594 991 54	8 16 53 43.155	-21 52 6.04	4.304 410 15		
24 17 13 36.968	-22 16 23.62	4.583 130 51	9 16 53 10.387	-21 51 21.34	4.304 703 58		
25 17 13 22.383	-22 16 7.37	4.571 468 55	10 16 52 37.679	-21 50 36.46	4.305 294 76		
26 17 13 7.060	-22 15 50.32	4.560 009 44	11 16 52 5.056	-21 49 51.45	4.306 183 61		
27 17 12 51.007	-22 15 32.48	4.548 756 88	12 16 51 32.545	-21 49 6.35	4.307 369 86		
28 17 12 34.236	-22 15 13.83	4.537 714 53	13 16 51 0.170	-21 48 21.23	4.308 853 09		
29 17 12 16.757	-22 14 54.37	4.526 886 00	14 16 50 27.955	-21 47 36.15	4.310 632 61		
30 17 11 58.581	-22 14 34.10	4.516 274 83	15 16 49 55.921	-21 46 51.16	4.312 707 50		
Mai	1 17 11 39.720	-22 14 13.03	4.505 884 56	16 16 49 24.091	-21 46 6.31	4.315 076 58	
2 17 11 20.186	-22 13 51.15	4.495 718 66	17 16 48 52.484	-21 45 21.64	4.317 738 43		
3 17 10 59.988	-22 13 28.48	4.485 780 57	18 16 48 21.122	-21 44 37.17	4.320 691 40		
4 17 10 39.140	-22 13 5.01	4.476 073 72	19 16 47 50.026	-21 43 52.94	4.323 933 66		
5 17 10 17.653	-22 12 40.76	4.466 601 52	20 16 47 19.219	-21 43 8.97	4.327 463 24		
6 17 9 55.537	-22 12 15.74	4.457 367 36	21 16 46 48.722	-21 42 25.32	4.331 278 04		
7 17 9 32.803	-22 11 49.94	4.448 374 61	22 16 46 18.557	-21 41 42.00	4.335 375 84		
8 17 9 9.464	-22 11 23.37	4.439 626 65	23 16 45 48.746	-21 40 59.08	4.339 754 36		
9 17 8 45.532	-22 10 56.03	4.431 126 84	24 16 45 19.308	-21 40 16.59	4.344 411 21		
10 17 8 21.018	-22 10 27.90	4.422 878 56	25 16 44 50.265	-21 39 34.59	4.349 343 93		
11 17 7 55.938	-22 9 58.99	4.414 885 15	26 16 44 21.634	-21 38 53.12	4.354 550 01		
12 17 7 30.307	-22 9 29.29	4.407 149 97	27 16 43 53.433	-21 38 12.22	4.360 026 86		
13 17 7 4.142	-22 8 58.80	4.399 676 33	28 16 43 25.681	-21 37 31.96	4.365 771 84		
14 17 6 37.462	-22 8 27.51	4.392 467 50	29 16 42 58.392	-21 36 52.38	4.371 782 27		
15 17 6 10.289	-22 7 55.46	4.385 526 64	30 16 42 31.583	-21 36 13.51	4.378 055 44		
16 17 5 42.642	-22 7 22.66	4.378 856 79	Juill.	1 16 42 5.266	-21 35 35.41	4.384 588 63	
17 17 5 14.542	-22 6 49.14	4.372 460 79	2 16 41 39.457	-21 34 58.11	4.391 379 09		

JUPITER 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Juill.	3 16 41 14.167	-21 34 21.65	4.398 424 10	Août	18 16 34 13.550	-21 29 51.29	4.935 548 66
	4 16 40 49.411	-21 33 46.04	4.405 720 89		19 16 34 22.349	-21 30 21.26	4.950 318 72
	5 16 40 25.204	-21 33 11.32	4.413 266 71		20 16 34 31.920	-21 30 52.72	4.965 151 46
	6 16 40 1.559	-21 32 37.52	4.421 058 77		21 16 34 42.258	-21 31 25.65	4.980 042 57
	7 16 39 38.494	-21 32 4.68	4.429 094 20		22 16 34 53.360	-21 32 0.05	4.994 987 83
	8 16 39 16.024	-21 31 32.85	4.437 370 09		23 16 35 5.220	-21 32 35.89	5.009 983 08
	9 16 38 54.166	-21 31 2.06	4.445 883 39		24 16 35 17.832	-21 33 13.17	5.025 024 24
	10 16 38 32.933	-21 30 32.38	4.454 630 94		25 16 35 31.190	-21 33 51.85	5.040 107 32
	11 16 38 12.339	-21 30 3.86	4.463 609 42		26 16 35 45.287	-21 34 31.91	5.055 228 43
	12 16 37 52.396	-21 29 36.55	4.472 815 32		27 16 36 0.118	-21 35 13.31	5.070 383 78
	13 16 37 33.115	-21 29 10.49	4.482 244 99		28 16 36 15.675	-21 35 56.03	5.085 569 69
	14 16 37 14.504	-21 28 45.70	4.491 894 58		29 16 36 31.954	-21 36 40.01	5.100 782 59
	15 16 36 56.574	-21 28 22.21	4.501 760 08		30 16 36 48.953	-21 37 25.24	5.116 018 98
	16 16 36 39.333	-21 28 0.05	4.511 837 39		31 16 37 6.668	-21 38 11.69	5.131 275 38
	17 16 36 22.791	-21 27 39.21	4.522 122 27		Sept. 1 16 37 25.098	-21 38 59.34	5.146 548 34
	18 16 36 6.957	-21 27 19.73	4.532 610 46		2 16 37 44.240	-21 39 48.19	5.161 834 33
	19 16 35 51.842	-21 27 1.62	4.543 297 63		3 16 38 4.091	-21 40 38.23	5.177 129 79
20 16 35 37.453	-21 26 44.90	4.554 179 45	4 16 38 24.646	-21 41 29.43	5.192 431 05		
21 16 35 23.800	-21 26 29.60	4.565 251 57	5 16 38 45.900	-21 42 21.80	5.207 734 37		
22 16 35 10.889	-21 26 15.75	4.576 509 66	6 16 39 7.845	-21 43 15.29	5.223 035 92		
23 16 34 58.726	-21 26 3.36	4.587 949 37	7 16 39 30.475	-21 44 9.87	5.238 331 82		
24 16 34 47.318	-21 25 52.47	4.599 566 39	8 16 39 53.784	-21 45 5.51	5.253 618 15		
25 16 34 36.668	-21 25 43.10	4.611 356 43	9 16 40 17.768	-21 46 2.16	5.268 890 94		
26 16 34 26.781	-21 25 35.26	4.623 315 19	10 16 40 42.419	-21 46 59.78	5.284 146 26		
27 16 34 17.658	-21 25 28.97	4.635 438 46	11 16 41 7.734	-21 47 58.33	5.299 380 15		
28 16 34 9.302	-21 25 24.25	4.647 722 03	12 16 41 33.709	-21 48 57.78	5.314 588 72		
29 16 34 1.714	-21 25 21.10	4.660 161 79	13 16 42 0.338	-21 49 58.09	5.329 768 08		
30 16 33 54.893	-21 25 19.52	4.672 753 67	14 16 42 27.617	-21 50 59.24	5.344 914 45		
31 16 33 48.841	-21 25 19.52	4.685 493 68	15 16 42 55.539	-21 52 1.20	5.360 024 07		
Août 1 16 33 43.560	-21 25 21.08	4.698 377 91	16 16 43 24.100	-21 53 3.93	5.375 093 28		
2 16 33 39.051	-21 25 24.20	4.711 402 47	17 16 43 53.293	-21 54 7.42	5.390 118 49		
3 16 33 35.319	-21 25 28.89	4.724 563 51	18 16 44 23.111	-21 55 11.63	5.405 096 16		
4 16 33 32.367	-21 25 35.15	4.737 857 16	19 16 44 53.545	-21 56 16.54	5.420 022 88		
5 16 33 30.199	-21 25 43.00	4.751 279 50	20 16 45 24.589	-21 57 22.10	5.434 895 27		
6 16 33 28.819	-21 25 52.45	4.764 826 56	21 16 45 56.234	-21 58 28.30	5.449 710 08		
7 16 33 28.228	-21 26 3.52	4.778 494 25	22 16 46 28.472	-21 59 35.09	5.464 464 13		
8 16 33 28.426	-21 26 16.23	4.792 278 42	23 16 47 1.294	-22 0 42.42	5.479 154 36		
9 16 33 29.412	-21 26 30.58	4.806 174 76	24 16 47 34.692	-22 1 50.27	5.493 777 82		
10 16 33 31.186	-21 26 46.56	4.820 178 91	25 16 48 8.658	-22 2 58.57	5.508 331 66		
11 16 33 33.745	-21 27 4.16	4.834 286 39	26 16 48 43.187	-22 4 7.28	5.522 813 15		
12 16 33 37.088	-21 27 23.37	4.848 492 67	27 16 49 18.275	-22 5 16.37	5.537 219 63		
13 16 33 41.214	-21 27 44.16	4.862 793 17	28 16 49 53.918	-22 6 25.80	5.551 548 49		
14 16 33 46.121	-21 28 6.52	4.877 183 30	29 16 50 30.113	-22 7 35.56	5.565 797 11		
15 16 33 51.809	-21 28 30.42	4.891 658 46	30 16 51 6.855	-22 8 45.63	5.579 962 80		
16 16 33 58.278	-21 28 55.86	4.906 214 08	Oct. 1 16 51 44.139	-22 9 56.00	5.594 042 81		
17 16 34 5.525	-21 29 22.82	4.920 845 64	2 16 52 21.958	-22 11 6.65	5.608 034 28		

JUPITER 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Oct.	3	16 53 0.303	-22 12 17.54	5.621 934 28	Nov.	18	17 30 2.485	-23 1 12.25	6.117 129 87
	4	16 53 39.168	-22 13 28.63	5.635 739 80		19	17 30 58.356	-23 1 58.29	6.123 961 11
	5	16 54 18.545	-22 14 39.89	5.649 447 77		20	17 31 54.442	-23 2 43.17	6.130 597 81
	6	16 54 58.427	-22 15 51.26	5.663 055 11		21	17 32 50.738	-23 3 26.86	6.137 039 10
	7	16 55 38.810	-22 17 2.70	5.676 558 76		22	17 33 47.241	-23 4 9.35	6.143 284 17
	8	16 56 19.686	-22 18 14.18	5.689 955 63		23	17 34 43.946	-23 4 50.63	6.149 332 27
	9	16 57 1.053	-22 19 25.64	5.703 242 70		24	17 35 40.851	-23 5 30.71	6.155 182 61
	10	16 57 42.903	-22 20 37.06	5.716 416 95		25	17 36 37.948	-23 6 9.59	6.160 834 40
	11	16 58 25.232	-22 21 48.41	5.729 475 44		26	17 37 35.232	-23 6 47.26	6.166 286 74
	12	16 59 8.034	-22 22 59.65	5.742 415 29		27	17 38 32.694	-23 7 23.71	6.171 538 61
	13	16 59 51.303	-22 24 10.75	5.755 233 66		28	17 39 30.325	-23 7 58.93	6.176 588 92
	14	17 0 35.032	-22 25 21.70	5.767 927 81		29	17 40 28.120	-23 8 32.89	6.181 436 50
15	17 1 19.215	-22 26 32.46	5.780 495 06	30	17 41 26.072	-23 9 5.55	6.186 080 15		
16	17 2 3.843	-22 27 43.00	5.792 932 81	Déc.	1	17 42 24.175	-23 9 36.90	6.190 518 64	
17	17 2 48.909	-22 28 53.31	5.805 238 55		2	17 43 22.426	-23 10 6.91	6.194 750 80	
18	17 3 34.405	-22 30 3.33	5.817 409 85	3	17 44 20.819	-23 10 35.57	6.198 775 46		
19	17 4 20.321	-22 31 13.05	5.829 444 39	4	17 45 19.350	-23 11 2.87	6.202 591 52		
20	17 5 6.650	-22 32 22.42	5.841 339 90	5	17 46 18.014	-23 11 28.79	6.206 197 92		
21	17 5 53.383	-22 33 31.41	5.853 094 26	6	17 47 16.805	-23 11 53.33	6.209 593 67		
22	17 6 40.513	-22 34 39.98	5.864 705 42	7	17 48 15.717	-23 12 16.49	6.212 777 85		
23	17 7 28.033	-22 35 48.08	5.876 171 47	8	17 49 14.744	-23 12 38.26	6.215 749 58		
24	17 8 15.938	-22 36 55.68	5.887 490 58	9	17 50 13.879	-23 12 58.64	6.218 508 08		
25	17 9 4.224	-22 38 2.73	5.898 660 99	10	17 51 13.114	-23 13 17.63	6.221 052 64		
26	17 9 52.887	-22 39 9.24	5.909 681 01	11	17 52 12.441	-23 13 35.22	6.223 382 64		
27	17 10 41.924	-22 40 15.17	5.920 548 92	12	17 53 11.852	-23 13 51.41	6.225 497 56		
28	17 11 31.330	-22 41 20.52	5.931 262 95	13	17 54 11.339	-23 14 6.20	6.227 396 96		
29	17 12 21.098	-22 42 25.29	5.941 821 25	14	17 55 10.894	-23 14 19.56	6.229 080 51		
30	17 13 11.220	-22 43 29.45	5.952 221 84	15	17 56 10.509	-23 14 31.49	6.230 547 98		
31	17 14 1.689	-22 44 32.98	5.962 462 68	16	17 57 10.177	-23 14 41.97	6.231 799 26		
Nov.	1	17 14 52.497	-22 45 35.83	5.972 541 63	17	17 58 9.892	-23 14 51.00	6.232 834 31	
	2	17 15 43.637	-22 46 37.96	5.982 456 52	18	17 59 9.649	-23 14 58.56	6.233 653 21	
	3	17 16 35.104	-22 47 39.34	5.992 205 18	19	18 0 9.443	-23 15 4.65	6.234 256 09	
	4	17 17 26.893	-22 48 39.94	6.001 785 45	20	18 1 9.271	-23 15 9.27	6.234 643 17	
	5	17 18 18.998	-22 49 39.72	6.011 195 18	21	18 2 9.129	-23 15 12.42	6.234 814 68	
	6	17 19 11.415	-22 50 38.65	6.020 432 27	22	18 3 9.011	-23 15 14.14	6.234 770 88	
	7	17 20 4.138	-22 51 36.70	6.029 494 67	23	18 4 8.912	-23 15 14.43	6.234 511 95	
	8	17 20 57.163	-22 52 33.87	6.038 380 38	24	18 5 8.823	-23 15 13.30	6.234 038 02	
	9	17 21 50.483	-22 53 30.12	6.047 087 46	25	18 6 8.737	-23 15 10.76	6.233 349 13	
	10	17 22 44.092	-22 54 25.44	6.055 614 03	26	18 7 8.646	-23 15 6.80	6.232 445 22	
	11	17 23 37.983	-22 55 19.81	6.063 958 30	27	18 8 8.542	-23 15 1.41	6.231 326 16	
12	17 24 32.150	-22 56 13.22	6.072 118 54	28	18 9 8.421	-23 14 54.57	6.229 991 79		
13	17 25 26.585	-22 57 5.64	6.080 093 12	29	18 10 8.278	-23 14 46.27	6.228 441 95		
14	17 26 21.279	-22 57 57.06	6.087 880 48	30	18 11 8.109	-23 14 36.51	6.226 676 48		
15	17 27 16.224	-22 58 47.46	6.095 479 15	31	18 12 7.908	-23 14 25.30	6.224 695 27		
16	17 28 11.412	-22 59 36.81	6.102 887 77	32	18 13 7.671	-23 14 12.64	6.222 498 27		
17	17 29 6.834	-23 0 25.08	6.110 105 07	33	18 14 7.393	-23 13 58.54	6.220 085 50		

SATURNE 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Janv.	0 9 48 52.024	14 29 10.63	8.460 006 73	Févr.	15 9 36 28.679	15 38 38.28	8.203 380 95
	1 9 48 41.759	14 30 15.77	8.448 357 29		16 9 36 9.697	15 40 16.73	8.204 920 37
	2 9 48 31.129	14 31 22.68	8.436 928 49		17 9 35 50.759	15 41 54.66	8.206 775 96
	3 9 48 20.136	14 32 31.35	8.425 724 26		18 9 35 31.875	15 43 32.01	8.208 946 99
	4 9 48 8.784	14 33 41.73	8.414 748 52		19 9 35 13.058	15 45 8.71	8.211 432 46
	5 9 47 57.076	14 34 53.82	8.404 005 20		20 9 34 54.320	15 46 44.69	8.214 231 10
	6 9 47 45.018	14 36 7.56	8.393 498 22		21 9 34 35.675	15 48 19.89	8.217 341 42
	7 9 47 32.613	14 37 22.92	8.383 231 54		22 9 34 17.138	15 49 54.23	8.220 761 66
	8 9 47 19.870	14 38 39.86	8.373 209 11		23 9 33 58.719	15 51 27.68	8.224 489 93
	9 9 47 6.794	14 39 58.32	8.363 434 85		24 9 33 40.431	15 53 0.19	8.228 524 16
	10 9 46 53.394	14 41 18.26	8.353 912 67		25 9 33 22.281	15 54 31.73	8.232 862 20
	11 9 46 39.676	14 42 39.64	8.344 646 44		26 9 33 4.280	15 56 2.27	8.237 501 83
	12 9 46 25.650	14 44 2.40	8.335 639 96		27 9 32 46.434	15 57 31.77	8.242 440 77
	13 9 46 11.323	14 45 26.50	8.326 897 00		28 9 32 28.753	15 59 0.20	8.247 676 70
14 9 45 56.703	14 46 51.89	8.318 421 26	Mars 1 9 32 11.243	16 0 27.51	8.253 207 27		
15 9 45 41.799	14 48 18.54	8.310 216 38	2 9 31 53.915	16 1 53.67	8.259 030 09		
16 9 45 26.619	14 49 46.40	8.302 285 90	3 9 31 36.776	16 3 18.62	8.265 142 73		
17 9 45 11.169	14 51 15.43	8.294 633 30	4 9 31 19.836	16 4 42.33	8.271 542 72		
18 9 44 55.458	14 52 45.59	8.287 261 94	5 9 31 3.106	16 6 4.74	8.278 227 57		
19 9 44 39.492	14 54 16.83	8.280 175 05	6 9 30 46.594	16 7 25.82	8.285 194 73		
20 9 44 23.279	14 55 49.11	8.273 375 69	7 9 30 30.311	16 8 45.52	8.292 441 58		
21 9 44 6.827	14 57 22.36	8.266 866 72	8 9 30 14.267	16 10 3.82	8.299 965 46		
22 9 43 50.146	14 58 56.53	8.260 650 79	9 9 29 58.470	16 11 20.66	8.307 763 64		
23 9 43 33.247	15 0 31.54	8.254 730 30	10 9 29 42.930	16 12 36.03	8.315 833 30		
24 9 43 16.141	15 2 7.32	8.249 107 41	11 9 29 27.655	16 13 49.89	8.324 171 56		
25 9 42 58.842	15 3 43.79	8.243 784 07	12 9 29 12.652	16 15 2.22	8.332 775 45		
26 9 42 41.361	15 5 20.90	8.238 762 02	13 9 28 57.930	16 16 13.00	8.341 641 91		
27 9 42 23.709	15 6 58.60	8.234 042 84	14 9 28 43.495	16 17 22.19	8.350 767 80		
28 9 42 5.897	15 8 36.84	8.229 627 97	15 9 28 29.353	16 18 29.78	8.360 149 86		
29 9 41 47.933	15 10 15.56	8.225 518 73	16 9 28 15.510	16 19 35.74	8.369 784 70		
30 9 41 29.827	15 11 54.73	8.221 716 35	17 9 28 1.974	16 20 40.03	8.379 668 77		
Févr. 31 9 41 11.586	15 13 34.31	8.218 222 01	18 9 27 48.750	16 21 42.62	8.389 798 36		
1 9 40 53.218	15 15 14.25	8.215 036 82	19 9 27 35.848	16 22 43.46	8.400 169 54		
2 9 40 34.734	15 16 54.48	8.212 161 83	20 9 27 23.277	16 23 42.50	8.410 778 16		
3 9 40 16.142	15 18 34.96	8.209 598 05	21 9 27 11.047	16 24 39.72	8.421 619 91		
4 9 39 57.452	15 20 15.62	8.207 346 45	22 9 26 59.166	16 25 35.08	8.432 690 29		
5 9 39 38.676	15 21 56.41	8.205 407 94	23 9 26 47.642	16 26 28.57	8.443 984 75		
6 9 39 19.824	15 23 37.25	8.203 783 35	24 9 26 36.478	16 27 20.19	8.455 498 64		
7 9 39 0.910	15 25 18.10	8.202 473 43	25 9 26 25.679	16 28 9.93	8.467 227 35		
8 9 38 41.943	15 26 58.88	8.201 478 85	26 9 26 15.247	16 28 57.79	8.479 166 27		
9 9 38 22.936	15 28 39.56	8.200 800 19	27 9 26 5.185	16 29 43.76	8.491 310 83		
10 9 38 3.901	15 30 20.06	8.200 437 92	28 9 25 55.496	16 30 27.83	8.503 656 50		
11 9 37 44.848	15 32 0.34	8.200 392 39	29 9 25 46.184	16 31 9.98	8.516 198 79		
12 9 37 25.789	15 33 40.35	8.200 663 87	30 9 25 37.253	16 31 50.20	8.528 933 22		
13 9 37 6.735	15 35 20.04	8.201 252 47	31 9 25 28.705	16 32 28.47	8.541 855 37		
14 9 36 47.694	15 36 59.37	8.202 158 22	Avril 1 9 25 20.547	16 33 4.77	8.554 960 83		

SATURNE 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance			
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua			
Avril	2 9 25	12.781	16 33 39.09	8.568 245 19	Mai	18 9 26	46.643	16 23 41.84	9.292 719 54	
	3 9 25	5.413	16 34 11.42	8.581 704 07		19 9 26	58.292	16 22 43.19	9.309 187 51	
	4 9 24	58.447	16 34 41.74	8.595 333 12		20 9 27	10.316	16 21 42.77	9.325 613 96	
	5 9 24	51.885	16 35 10.05	8.609 127 95		21 9 27	22.711	16 20 40.58	9.341 994 58	
	6 9 24	45.733	16 35 36.34	8.623 084 19		22 9 27	35.471	16 19 36.66	9.358 325 19	
	7 9 24	39.991	16 36 0.61	8.637 197 47		23 9 27	48.592	16 18 31.00	9.374 601 74	
	8 9 24	34.663	16 36 22.86	8.651 463 38		24 9 28	2.070	16 17 23.62	9.390 820 31	
	9 9 24	29.751	16 36 43.09	8.665 877 50		25 9 28	15.903	16 16 14.53	9.406 977 08	
	10 9 24	25.255	16 37 1.31	8.680 435 39		26 9 28	30.087	16 15 3.72	9.423 068 33	
	11 9 24	21.176	16 37 17.51	8.695 132 55		27 9 28	44.619	16 13 51.22	9.439 090 40	
	12 9 24	17.516	16 37 31.70	8.709 964 44		28 9 28	59.498	16 12 37.03	9.455 039 74	
	13 9 24	14.275	16 37 43.86	8.724 926 45		29 9 29	14.719	16 11 21.18	9.470 912 85	
	14 9 24	11.453	16 37 54.00	8.740 013 85		30 9 29	30.281	16 10 3.66	9.486 706 30	
	15 9 24	9.054	16 38 2.08	8.755 221 85		31 9 29	46.179	16 8 44.51	9.502 416 71	
	16 9 24	7.079	16 38 8.10	8.770 545 48		Juin	1 9 30	2.410	16 7 23.74	9.518 040 77
	17 9 24	5.534	16 38 12.03	8.785 979 66		2 9 30	18.969	16 6 1.37	9.533 575 21	
	18 9 24	4.422	16 38 13.86	8.801 519 19		3 9 30	35.852	16 4 37.42	9.549 016 79	
	19 9 24	3.745	16 38 13.60	8.817 158 80		4 9 30	53.054	16 3 11.92	9.564 362 27	
	20 9 24	3.503	16 38 11.27	8.832 893 19		5 9 31	10.570	16 1 44.89	9.579 608 44	
	21 9 24	3.695	16 38 6.88	8.848 717 13		6 9 31	28.395	16 0 16.33	9.594 752 05	
	22 9 24	4.318	16 38 0.45	8.864 625 42		7 9 31	46.525	15 58 46.25	9.609 789 83	
23 9 24	5.369	16 37 52.00	8.880 612 99	8 9 32	4.956	15 57 14.67	9.624 718 48			
24 9 24	6.847	16 37 41.55	8.896 674 89	9 9 32	23.686	15 55 41.58	9.639 534 64			
25 9 24	8.748	16 37 29.08	8.912 806 25	10 9 32	42.713	15 54 6.97	9.654 234 89			
26 9 24	11.072	16 37 14.61	8.929 002 31	11 9 33	2.034	15 52 30.86	9.668 815 74			
27 9 24	13.817	16 36 58.13	8.945 258 38	12 9 33	21.650	15 50 53.25	9.683 273 66			
28 9 24	16.984	16 36 39.65	8.961 569 85	13 9 33	41.557	15 49 14.16	9.697 605 11			
29 9 24	20.571	16 36 19.17	8.977 932 20	14 9 34	1.751	15 47 33.61	9.711 806 52			
30 9 24	24.578	16 35 56.69	8.994 340 95	15 9 34	22.227	15 45 51.64	9.725 874 41			
Mai	1 9 24	29.005	16 35 32.22	9.010 791 68	16 9 34	42.978	15 44 8.27	9.739 805 35		
2 9 24	33.851	16 35 5.76	9.027 280 04	17 9 35	3.997	15 42 23.54	9.753 596 06			
3 9 24	39.115	16 34 37.33	9.043 801 69	18 9 35	25.278	15 40 37.47	9.767 243 39			
4 9 24	44.795	16 34 6.94	9.060 352 37	19 9 35	46.815	15 38 50.07	9.780 744 34			
5 9 24	50.889	16 33 34.61	9.076 927 84	20 9 36	8.604	15 37 1.36	9.794 096 05			
6 9 24	57.395	16 33 0.34	9.093 523 86	21 9 36	30.641	15 35 11.34	9.807 295 78			
7 9 25	4.310	16 32 24.16	9.110 136 22	22 9 36	52.922	15 33 20.03	9.820 340 87			
8 9 25	11.630	16 31 46.08	9.126 760 71	23 9 37	15.443	15 31 27.44	9.833 228 79			
9 9 25	19.353	16 31 6.12	9.143 393 11	24 9 37	38.203	15 29 33.57	9.845 957 08			
10 9 25	27.476	16 30 24.27	9.160 029 17	25 9 38	1.197	15 27 38.46	9.858 523 35			
11 9 25	35.995	16 29 40.55	9.176 664 58	26 9 38	24.422	15 25 42.11	9.870 925 27			
12 9 25	44.909	16 28 54.95	9.193 294 99	27 9 38	47.873	15 23 44.54	9.883 160 60			
13 9 25	54.216	16 28 7.47	9.209 915 99	28 9 39	11.548	15 21 45.78	9.895 227 13			
14 9 26	3.916	16 27 18.10	9.226 523 06	29 9 39	35.440	15 19 45.85	9.907 122 71			
15 9 26	14.011	16 26 26.84	9.243 111 60	30 9 39	59.546	15 17 44.78	9.918 845 26			
16 9 26	24.498	16 25 33.70	9.259 676 97	Juill.	1 9 40	23.861	15 15 42.58	9.930 392 69		
17 9 26	35.377	16 24 38.69	9.276 214 50	2 9 40	48.378	15 13 39.28	9.941 762 94			

SATURNE 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance			
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua			
Juill.	3	9 41 13.092	15 11 34.90	9.952 953 94	Août	18	10 2 35.620	13 21 30.83	10.241 757 76	
	4	9 41 38.000	15 9 29.45	9.963 963 60		19	10 3 5.125	13 18 55.57	10.242 636 59	
	5	9 42 3.096	15 7 22.94	9.974 789 76		20	10 3 34.635	13 16 20.15	10.243 273 33	
	6	9 42 28.378	15 5 15.37	9.985 430 23		21	10 4 4.147	13 13 44.59	10.243 668 02	
	7	9 42 53.844	15 3 6.74	9.995 882 76		22	10 4 33.656	13 11 8.92	10.243 820 77	
	8	9 43 19.491	15 0 57.07	10.006 145 05		23	10 5 3.159	13 8 33.18	10.243 731 74	
	9	9 43 45.319	14 58 46.34	10.016 214 74		24	10 5 32.649	13 5 57.38	10.243 401 17	
	10	9 44 11.325	14 56 34.60	10.026 089 45		25	10 6 2.123	13 3 21.56	10.242 829 30	
	11	9 44 37.505	14 54 21.85	10.035 766 80		26	10 6 31.575	13 0 45.75	10.242 016 41	
	12	9 45 3.854	14 52 8.13	10.045 244 45		27	10 7 0.999	12 58 9.98	10.240 962 81	
	13	9 45 30.366	14 49 53.47	10.054 520 11		28	10 7 30.391	12 55 34.25	10.239 668 75	
	14	9 45 57.034	14 47 37.91	10.063 591 60		29	10 7 59.748	12 52 58.60	10.238 134 46	
	15	9 46 23.852	14 45 21.47	10.072 456 85		30	10 8 29.068	12 50 23.01	10.236 360 11	
	16	9 46 50.814	14 43 4.17	10.081 113 93		31	10 8 58.348	12 47 47.51	10.234 345 77	
	17	9 47 17.916	14 40 46.03	10.089 561 04		Sept.	1	10 9 27.588	12 45 12.09	10.232 091 46
	18	9 47 45.152	14 38 27.07	10.097 796 52		2	10 9 56.785	12 42 36.79	10.229 597 14	
	19	9 48 12.519	14 36 7.29	10.105 818 83		3	10 10 25.937	12 40 1.61	10.226 862 77	
20	9 48 40.015	14 33 46.70	10.113 626 50	4	10 10 55.040	12 37 26.61	10.223 888 33			
21	9 49 7.635	14 31 25.34	10.121 218 20	5	10 11 24.087	12 34 51.81	10.220 673 84			
22	9 49 35.377	14 29 3.20	10.128 592 64	6	10 11 53.074	12 32 17.26	10.217 219 42			
23	9 50 3.237	14 26 40.31	10.135 748 61	7	10 12 21.992	12 29 42.98	10.213 525 31			
24	9 50 31.212	14 24 16.70	10.142 684 98	8	10 12 50.838	12 27 9.02	10.209 591 85			
25	9 50 59.297	14 21 52.38	10.149 400 65	9	10 13 19.605	12 24 35.40	10.205 419 50			
26	9 51 27.488	14 19 27.38	10.155 894 61	10	10 13 48.290	12 22 2.14	10.201 008 86			
27	9 51 55.781	14 17 1.73	10.162 165 87	11	10 14 16.887	12 19 29.26	10.196 360 65			
28	9 52 24.171	14 14 35.45	10.168 213 50	12	10 14 45.394	12 16 56.79	10.191 475 71			
29	9 52 52.652	14 12 8.57	10.174 036 59	13	10 15 13.808	12 14 24.74	10.186 354 98			
30	9 53 21.220	14 9 41.12	10.179 634 24	14	10 15 42.125	12 11 53.13	10.180 999 53			
31	9 53 49.868	14 7 13.11	10.185 005 52	15	10 16 10.341	12 9 22.00	10.175 410 49			
Août	1	9 54 18.593	14 4 44.55	10.190 149 46	16	10 16 38.454	12 6 51.37	10.169 589 08		
2	9 54 47.392	14 2 15.45	10.195 065 06	17	10 17 6.460	12 4 21.26	10.163 536 61			
3	9 55 16.263	13 59 45.81	10.199 751 21	18	10 17 34.353	12 1 51.71	10.157 254 44			
4	9 55 45.204	13 57 15.65	10.204 206 78	19	10 18 2.131	11 59 22.75	10.150 744 00			
5	9 56 14.214	13 54 44.97	10.208 430 56	20	10 18 29.787	11 56 54.41	10.144 006 77			
6	9 56 43.291	13 52 13.78	10.212 421 32	21	10 18 57.318	11 54 26.73	10.137 044 29			
7	9 57 12.430	13 49 42.12	10.216 177 82	22	10 19 24.717	11 51 59.73	10.129 858 12			
8	9 57 41.628	13 47 10.01	10.219 698 85	23	10 19 51.979	11 49 33.45	10.122 449 88			
9	9 58 10.879	13 44 37.49	10.222 983 27	24	10 20 19.101	11 47 7.92	10.114 821 19			
10	9 58 40.177	13 42 4.59	10.226 030 01	25	10 20 46.076	11 44 43.15	10.106 973 64			
11	9 59 9.516	13 39 31.35	10.228 838 10	26	10 21 12.903	11 42 19.16	10.098 908 78			
12	9 59 38.889	13 36 57.80	10.231 406 71	27	10 21 39.579	11 39 55.96	10.090 628 11			
13	10 0 8.293	13 34 23.94	10.233 735 12	28	10 22 6.103	11 37 33.55	10.082 133 04			
14	10 0 37.721	13 31 49.81	10.235 822 75	29	10 22 32.474	11 35 11.95	10.073 424 90			
15	10 1 7.171	13 29 15.42	10.237 669 12	30	10 22 58.689	11 32 51.19	10.064 504 98			
16	10 1 36.640	13 26 40.78	10.239 273 90	Oct.	1	10 23 24.744	11 30 31.30	10.055 374 58		
17	10 2 6.124	13 24 5.91	10.240 636 83	2	10 23 50.634	11 28 12.33	10.046 035 05			

SATURNE 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance			
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua			
Oct.	3	10 24 16.352	11 25 54.31	10.036 487 82	Nov.	18	10 39 38.087	10 5 32.22	9.416 453 99	
	4	10 24 41.893	11 23 37.29	10.026 734 42		19	10 39 50.928	10 4 30.68	9.400 246 22	
	5	10 25 7.248	11 21 21.31	10.016 776 55		20	10 40 3.402	10 3 31.37	9.383 985 13	
	6	10 25 32.415	11 19 6.38	10.006 615 99		21	10 40 15.508	10 2 34.29	9.367 675 13	
	7	10 25 57.387	11 16 52.55	9.996 254 70		22	10 40 27.243	10 1 39.46	9.351 320 56	
	8	10 26 22.161	11 14 39.83	9.985 694 74		23	10 40 38.610	10 0 46.86	9.334 925 67	
	9	10 26 46.733	11 12 28.24	9.974 938 31		24	10 40 49.605	9 59 56.51	9.318 494 64	
	10	10 27 11.099	11 10 17.82	9.963 987 72		25	10 41 0.227	9 59 8.44	9.302 031 60	
	11	10 27 35.256	11 8 8.59	9.952 845 39		26	10 41 10.472	9 58 22.68	9.285 540 69	
	12	10 27 59.201	11 6 0.56	9.941 513 83		27	10 41 20.333	9 57 39.27	9.269 026 09	
	13	10 28 22.930	11 3 53.77	9.929 995 67		28	10 41 29.806	9 56 58.23	9.252 492 08	
	14	10 28 46.439	11 1 48.25	9.918 293 61		29	10 41 38.886	9 56 19.59	9.235 943 09	
	15	10 29 9.724	10 59 44.04	9.906 410 41		30	10 41 47.569	9 55 43.37	9.219 383 66	
	16	10 29 32.780	10 57 41.16	9.894 348 94		Déc.	1	10 41 55.853	9 55 9.57	9.202 818 48
	17	10 29 55.602	10 55 39.64	9.882 112 09			2	10 42 3.736	9 54 38.21	9.186 252 37
	18	10 30 18.186	10 53 39.53	9.869 702 83		3	10 42 11.216	9 54 9.29	9.169 690 25	
	19	10 30 40.526	10 51 40.86	9.857 124 18		4	10 42 18.292	9 53 42.82	9.153 137 11	
20	10 31 2.617	10 49 43.65	9.844 379 18	5	10 42 24.963	9 53 18.80	9.136 598 05			
21	10 31 24.455	10 47 47.94	9.831 470 92	6	10 42 31.227	9 52 57.26	9.120 078 21			
22	10 31 46.034	10 45 53.75	9.818 402 46	7	10 42 37.083	9 52 38.18	9.103 582 82			
23	10 32 7.351	10 44 1.10	9.805 176 90	8	10 42 42.529	9 52 21.60	9.087 117 15			
24	10 32 28.403	10 42 10.01	9.791 797 25	9	10 42 47.564	9 52 7.51	9.070 686 51			
25	10 32 49.189	10 40 20.47	9.778 266 49	10	10 42 52.185	9 51 55.94	9.054 296 27			
26	10 33 9.708	10 38 32.50	9.764 587 49	11	10 42 56.391	9 51 46.88	9.037 951 81			
27	10 33 29.959	10 36 46.13	9.750 763 07	12	10 43 0.178	9 51 40.36	9.021 658 51			
28	10 33 49.937	10 35 1.37	9.736 796 01	13	10 43 3.546	9 51 36.38	9.005 421 79			
29	10 34 9.639	10 33 18.27	9.722 689 09	14	10 43 6.491	9 51 34.95	8.989 247 02			
30	10 34 29.058	10 31 36.87	9.708 445 16	15	10 43 9.014	9 51 36.06	8.973 139 56			
31	10 34 48.187	10 29 57.22	9.694 067 15	16	10 43 11.114	9 51 39.71	8.957 104 71			
Nov.	1	10 35 7.020	10 28 19.34	9.679 558 16	17	10 43 12.790	9 51 45.89	8.941 147 72		
	2	10 35 25.553	10 26 43.28	9.664 921 42	18	10 43 14.045	9 51 54.58	8.925 273 74		
	3	10 35 43.779	10 25 9.06	9.650 160 30	19	10 43 14.881	9 52 5.76	8.909 487 86		
	4	10 36 1.696	10 23 36.70	9.635 278 31	20	10 43 15.300	9 52 19.42	8.893 795 03		
	5	10 36 19.299	10 22 6.23	9.620 279 09	21	10 43 15.304	9 52 35.54	8.878 200 12		
	6	10 36 36.586	10 20 37.65	9.605 166 39	22	10 43 14.895	9 52 54.12	8.862 707 88		
	7	10 36 53.554	10 19 11.01	9.589 944 08	23	10 43 14.072	9 53 15.16	8.847 323 01		
	8	10 37 10.199	10 17 46.30	9.574 616 11	24	10 43 12.835	9 53 38.66	8.832 050 17		
	9	10 37 26.518	10 16 23.57	9.559 186 55	25	10 43 11.182	9 54 4.63	8.816 894 03		
	10	10 37 42.508	10 15 2.84	9.543 659 54	26	10 43 9.110	9 54 33.08	8.801 859 34		
	11	10 37 58.165	10 13 44.13	9.528 039 30	27	10 43 6.619	9 55 4.00	8.786 950 89		
	12	10 38 13.486	10 12 27.47	9.512 330 11	28	10 43 3.710	9 55 37.38	8.772 173 63		
	13	10 38 28.465	10 11 12.90	9.496 536 34	29	10 43 0.385	9 56 13.20	8.757 532 53		
	14	10 38 43.098	10 10 0.43	9.480 662 38	30	10 42 56.645	9 56 51.43	8.743 032 69		
	15	10 38 57.381	10 8 50.11	9.464 712 68	31	10 42 52.494	9 57 32.06	8.728 679 22		
	16	10 39 11.310	10 7 41.95	9.448 691 72	32	10 42 47.935	9 58 15.06	8.714 477 27		
	17	10 39 24.879	10 6 35.98	9.432 603 99	33	10 42 42.969	9 59 0.41	8.700 432 02		

URANUS 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Janv.	0	22 52 55.010	- 7 56 54.25	20.524 571 8	Févr.	15	23 0 47.303	- 7 7 13.84	21.026 932 2
	1	22 53 2.466	- 7 56 6.41	20.539 845 3		16	23 0 59.656	- 7 5 56.49	21.032 257 3
	2	22 53 10.080	- 7 55 17.63	20.554 978 5		17	23 1 12.053	- 7 4 38.89	21.037 309 6
	3	22 53 17.849	- 7 54 27.91	20.569 967 4		18	23 1 24.491	- 7 3 21.04	21.042 087 7
	4	22 53 25.770	- 7 53 37.30	20.584 808 3		19	23 1 36.968	- 7 2 2.96	21.046 590 5
	5	22 53 33.838	- 7 52 45.80	20.599 497 2		20	23 1 49.481	- 7 0 44.65	21.050 817 0
	6	22 53 42.052	- 7 51 53.42	20.614 030 2		21	23 2 2.031	- 6 59 26.12	21.054 766 1
	7	22 53 50.409	- 7 51 0.18	20.628 403 5		22	23 2 14.617	- 6 58 7.37	21.058 437 5
	8	22 53 58.909	- 7 50 6.07	20.642 613 1		23	23 2 27.236	- 6 56 48.43	21.061 830 6
	9	22 54 7.549	- 7 49 11.11	20.656 655 0		24	23 2 39.887	- 6 55 29.30	21.064 945 1
	10	22 54 16.330	- 7 48 15.30	20.670 525 4		25	23 2 52.565	- 6 54 10.02	21.067 780 8
	11	22 54 25.251	- 7 47 18.63	20.684 220 2		26	23 3 5.267	- 6 52 50.62	21.070 337 6
	12	22 54 34.310	- 7 46 21.12	20.697 735 6		27	23 3 17.988	- 6 51 31.12	21.072 615 3
	13	22 54 43.507	- 7 45 22.78	20.711 067 6		28	23 3 30.724	- 6 50 11.55	21.074 614 1
14	22 54 52.839	- 7 44 23.61	20.724 212 4	Mars	1	23 3 43.472	- 6 48 51.92	21.076 333 7	
15	22 55 2.306	- 7 43 23.64	20.737 166 1	2	23 3 56.228	- 6 47 32.25	21.077 774 2		
16	22 55 11.904	- 7 42 22.86	20.749 924 7	3	23 4 8.990	- 6 46 12.56	21.078 935 6		
17	22 55 21.632	- 7 41 21.32	20.762 484 6	4	23 4 21.757	- 6 44 52.85	21.079 818 0		
18	22 55 31.485	- 7 40 19.02	20.774 841 8	5	23 4 34.526	- 6 43 33.13	21.080 421 2		
19	22 55 41.459	- 7 39 16.00	20.786 992 8	6	23 4 47.296	- 6 42 13.41	21.080 745 4		
20	22 55 51.549	- 7 38 12.28	20.798 933 8	7	23 5 0.066	- 6 40 53.70	21.080 790 6		
21	22 56 1.753	- 7 37 7.88	20.810 661 4	8	23 5 12.834	- 6 39 34.01	21.080 556 8		
22	22 56 12.068	- 7 36 2.80	20.822 172 1	9	23 5 25.598	- 6 38 14.35	21.080 044 2		
23	22 56 22.491	- 7 34 57.07	20.833 462 9	10	23 5 38.357	- 6 36 54.74	21.079 252 9		
24	22 56 33.022	- 7 33 50.67	20.844 530 8	11	23 5 51.108	- 6 35 35.19	21.078 183 0		
25	22 56 43.660	- 7 32 43.61	20.855 372 9	12	23 6 3.848	- 6 34 15.73	21.076 834 8		
26	22 56 54.405	- 7 31 35.91	20.865 986 7	13	23 6 16.573	- 6 32 56.38	21.075 208 5		
27	22 57 5.255	- 7 30 27.57	20.876 369 7	14	23 6 29.280	- 6 31 37.15	21.073 304 5		
28	22 57 16.207	- 7 29 18.62	20.886 519 4	15	23 6 41.965	- 6 30 18.09	21.071 123 0		
29	22 57 27.257	- 7 28 9.09	20.896 433 8	16	23 6 54.623	- 6 28 59.20	21.068 664 6		
30	22 57 38.402	- 7 26 58.99	20.906 110 6	17	23 7 7.251	- 6 27 40.53	21.065 929 8		
31	22 57 49.638	- 7 25 48.35	20.915 547 6	18	23 7 19.845	- 6 26 22.07	21.062 919 3		
Févr.	1	22 58 0.960	- 7 24 37.20	20.924 742 8	19	23 7 32.404	- 6 25 3.84	21.059 634 0	
	2	22 58 12.365	- 7 23 25.56	20.933 694 1	20	23 7 44.927	- 6 23 45.84	21.056 074 9	
	3	22 58 23.851	- 7 22 13.43	20.942 399 3	21	23 7 57.414	- 6 22 28.07	21.052 243 4	
	4	22 58 35.415	- 7 21 0.84	20.950 856 5	22	23 8 9.864	- 6 21 10.55	21.048 141 0	
	5	22 58 47.055	- 7 19 47.77	20.959 063 5	23	23 8 22.275	- 6 19 53.28	21.043 769 2	
	6	22 58 58.770	- 7 18 34.25	20.967 018 2	24	23 8 34.643	- 6 18 36.31	21.039 129 9	
	7	22 59 10.559	- 7 17 20.28	20.974 718 7	25	23 8 46.964	- 6 17 19.65	21.034 225 0	
	8	22 59 22.421	- 7 16 5.87	20.982 162 9	26	23 8 59.234	- 6 16 3.34	21.029 056 3	
	9	22 59 34.353	- 7 14 51.03	20.989 348 8	27	23 9 11.450	- 6 14 47.39	21.023 625 7	
	10	22 59 46.354	- 7 13 35.77	20.996 274 4	28	23 9 23.606	- 6 13 31.83	21.017 935 1	
	11	22 59 58.422	- 7 12 20.10	21.002 937 8	29	23 9 35.702	- 6 12 16.67	21.011 986 5	
	12	23 0 10.554	- 7 11 4.06	21.009 337 1	30	23 9 47.734	- 6 11 1.93	21.005 781 8	
	13	23 0 22.748	- 7 9 47.65	21.015 470 4	31	23 9 59.700	- 6 9 47.61	20.999 322 8	
14	23 0 34.999	- 7 8 30.90	21.021 336 1	Avril	1	23 10 11.600	- 6 8 33.72	20.992 611 5	

URANUS 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance	
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua	
Avril	2 23 10 23.432	- 6 7 20.27	20.985 649 8	Mai	18 23 17 37.840	- 5 22 52.23	20.438 619 5	
	3 23 10 35.195	- 6 6 7.27	20.978 439 6		19 23 17 44.171	- 5 22 14.31	20.423 011 0	
	4 23 10 46.887	- 6 4 54.71	20.970 982 9		20 23 17 50.341	- 5 21 37.42	20.407 305 5	
	5 23 10 58.508	- 6 3 42.62	20.963 281 6		21 23 17 56.349	- 5 21 1.59	20.391 507 7	
	6 23 11 10.055	- 6 2 31.01	20.955 337 6		22 23 18 2.191	- 5 20 26.82	20.375 622 0	
	7 23 11 21.527	- 6 1 19.88	20.947 153 0		23 23 18 7.867	- 5 19 53.12	20.359 653 1	
	8 23 11 32.921	- 6 0 9.27	20.938 729 7		24 23 18 13.376	- 5 19 20.50	20.343 605 4	
	9 23 11 44.234	- 5 58 59.18	20.930 069 8		25 23 18 18.717	- 5 18 48.94	20.327 483 3	
	10 23 11 55.463	- 5 57 49.65	20.921 175 4		26 23 18 23.891	- 5 18 18.45	20.311 291 2	
	11 23 12 6.604	- 5 56 40.69	20.912 048 6		27 23 18 28.899	- 5 17 49.03	20.295 033 4	
	12 23 12 17.653	- 5 55 32.32	20.902 691 6		28 23 18 33.740	- 5 17 20.67	20.278 714 2	
	13 23 12 28.608	- 5 54 24.57	20.893 106 8		29 23 18 38.414	- 5 16 53.38	20.262 337 9	
	14 23 12 39.464	- 5 53 17.46	20.883 296 3		30 23 18 42.922	- 5 16 27.15	20.245 908 9	
	15 23 12 50.221	- 5 52 10.98	20.873 262 9		31 23 18 47.263	- 5 16 1.99	20.229 431 2	
	16 23 13 0.876	- 5 51 5.15	20.863 009 1		Juin	1 23 18 51.436	- 5 15 37.90	20.212 909 1
	17 23 13 11.431	- 5 49 59.97	20.852 537 8		2 23 18 55.439	- 5 15 14.90	20.196 346 8	
18 23 13 21.885	- 5 48 55.43	20.841 852 1	3 23 18 59.272	- 5 14 53.00	20.179 748 6			
19 23 13 32.238	- 5 47 51.55	20.830 955 3	4 23 19 2.932	- 5 14 32.21	20.163 118 5			
20 23 13 42.486	- 5 46 48.35	20.819 850 6	5 23 19 6.417	- 5 14 12.54	20.146 460 9			
21 23 13 52.627	- 5 45 45.85	20.808 541 6	6 23 19 9.725	- 5 13 54.00	20.129 779 9			
22 23 14 2.655	- 5 44 44.09	20.797 031 8	7 23 19 12.854	- 5 13 36.59	20.113 079 9			
23 23 14 12.568	- 5 43 43.08	20.785 324 7	8 23 19 15.805	- 5 13 20.33	20.096 365 3			
24 23 14 22.362	- 5 42 42.85	20.773 423 9	9 23 19 18.577	- 5 13 5.21	20.079 640 4			
25 23 14 32.034	- 5 41 43.41	20.761 332 8	10 23 19 21.170	- 5 12 51.22	20.062 910 0			
26 23 14 41.582	- 5 40 44.76	20.749 054 8	11 23 19 23.587	- 5 12 38.35	20.046 178 7			
27 23 14 51.006	- 5 39 46.92	20.736 593 4	12 23 19 25.828	- 5 12 26.59	20.029 451 3			
28 23 15 0.304	- 5 38 49.89	20.723 952 1	13 23 19 27.895	- 5 12 15.95	20.012 732 7			
29 23 15 9.476	- 5 37 53.66	20.711 134 2	14 23 19 29.786	- 5 12 6.43	19.996 028 0			
30 23 15 18.521	- 5 36 58.25	20.698 143 1	15 23 19 31.500	- 5 11 58.04	19.979 342 4			
Mai	1 23 15 27.439	- 5 36 3.66	20.684 982 2	16 23 19 33.035	- 5 11 50.81	19.962 680 8		
2 23 15 36.227	- 5 35 9.90	20.671 654 9	17 23 19 34.388	- 5 11 44.73	19.946 048 4			
3 23 15 44.887	- 5 34 16.97	20.658 164 5	18 23 19 35.558	- 5 11 39.83	19.929 450 3			
4 23 15 53.416	- 5 33 24.88	20.644 514 5	19 23 19 36.544	- 5 11 36.09	19.912 891 4			
5 23 16 1.811	- 5 32 33.65	20.630 708 1	20 23 19 37.346	- 5 11 33.52	19.896 376 5			
6 23 16 10.072	- 5 31 43.30	20.616 748 9	21 23 19 37.966	- 5 11 32.11	19.879 910 4			
7 23 16 18.195	- 5 30 53.83	20.602 640 2	22 23 19 38.404	- 5 11 31.84	19.863 497 8			
8 23 16 26.178	- 5 30 5.28	20.588 385 4	23 23 19 38.663	- 5 11 32.70	19.847 143 4			
9 23 16 34.016	- 5 29 17.65	20.573 988 2	24 23 19 38.743	- 5 11 34.69	19.830 851 6			
10 23 16 41.709	- 5 28 30.97	20.559 451 9	25 23 19 38.647	- 5 11 37.79	19.814 627 1			
11 23 16 49.253	- 5 27 45.25	20.544 780 3	26 23 19 38.375	- 5 11 42.00	19.798 474 3			
12 23 16 56.646	- 5 27 0.49	20.529 977 0	27 23 19 37.928	- 5 11 47.31	19.782 397 5			
13 23 17 3.888	- 5 26 16.70	20.515 046 0	28 23 19 37.307	- 5 11 53.72	19.766 401 2			
14 23 17 10.980	- 5 25 33.87	20.499 991 2	29 23 19 36.511	- 5 12 1.23	19.750 489 6			
15 23 17 17.921	- 5 24 52.00	20.484 816 7	30 23 19 35.542	- 5 12 9.84	19.734 667 0			
16 23 17 24.712	- 5 24 11.10	20.469 527 0	Juill.	1 23 19 34.397	- 5 12 19.56	19.718 937 6		
17 23 17 31.353	- 5 23 31.17	20.454 126 4	2 23 19 33.077	- 5 12 30.38	19.703 305 6			

URANUS 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Juill.	3 23 19 31.580	- 5 12 42.32	19.687 775 2	Août	18 23 15 36.535	- 5 38 58.43	19.156 338 5
	4 23 19 29.906	- 5 12 55.37	19.672 350 7		19 23 15 28.572	- 5 39 49.83	19.150 144 7
	5 23 19 28.055	- 5 13 9.53	19.657 036 3		20 23 15 20.535	- 5 40 41.65	19.144 226 7
	6 23 19 26.030	- 5 13 24.78	19.641 836 4		21 23 15 12.426	- 5 41 33.87	19.138 586 6
	7 23 19 23.832	- 5 13 41.11	19.626 755 4		22 23 15 4.248	- 5 42 26.47	19.133 225 9
	8 23 19 21.463	- 5 13 58.50	19.611 797 8		23 23 14 56.004	- 5 43 19.43	19.128 146 3
	9 23 19 18.926	- 5 14 16.94	19.596 968 1		24 23 14 47.698	- 5 44 12.74	19.123 349 3
	10 23 19 16.224	- 5 14 36.41	19.582 271 1		25 23 14 39.331	- 5 45 6.39	19.118 836 3
	11 23 19 13.357	- 5 14 56.91	19.567 711 4		26 23 14 30.904	- 5 46 0.35	19.114 608 6
	12 23 19 10.326	- 5 15 18.44	19.553 293 7		27 23 14 22.421	- 5 46 54.62	19.110 687 5
	13 23 19 7.130	- 5 15 41.01	19.539 022 9		28 23 14 13.883	- 5 47 49.18	19.107 014 0
	14 23 19 3.768	- 5 16 4.61	19.524 903 7		29 23 14 5.293	- 5 48 44.00	19.103 649 5
	15 23 19 0.241	- 5 16 29.25	19.510 940 6		30 23 13 56.657	- 5 49 39.05	19.100 575 0
	16 23 18 56.548	- 5 16 54.93	19.497 138 2		31 23 13 47.979	- 5 50 34.30	19.097 791 8
	17 23 18 52.691	- 5 17 21.62	19.483 501 0		Sept. 1 23 13 39.264	- 5 51 29.72	19.095 301 2
	18 23 18 48.671	- 5 17 49.31	19.470 033 2		2 23 13 30.519	- 5 52 25.27	19.093 104 4
	19 23 18 44.493	- 5 18 17.99	19.456 738 9		3 23 13 21.746	- 5 53 20.93	19.091 202 7
20 23 18 40.158	- 5 18 47.62	19.443 622 4	4 23 13 12.949	- 5 54 16.70	19.089 597 4		
21 23 18 35.670	- 5 19 18.19	19.430 687 4	5 23 13 4.130	- 5 55 12.55	19.088 289 6		
22 23 18 31.033	- 5 19 49.69	19.417 937 9	6 23 12 55.291	- 5 56 8.47	19.087 280 5		
23 23 18 26.247	- 5 20 22.08	19.405 377 6	7 23 12 46.434	- 5 57 4.46	19.086 570 9		
24 23 18 21.317	- 5 20 55.37	19.393 010 3	8 23 12 37.561	- 5 58 0.49	19.086 161 7		
25 23 18 16.244	- 5 21 29.52	19.380 839 4	9 23 12 28.676	- 5 58 56.54	19.086 053 4		
26 23 18 11.031	- 5 22 4.54	19.368 868 6	10 23 12 19.782	- 5 59 52.59	19.086 246 7		
27 23 18 5.677	- 5 22 40.41	19.357 101 2	11 23 12 10.883	- 6 0 48.60	19.086 741 7		
28 23 18 0.186	- 5 23 17.13	19.345 540 6	12 23 12 1.986	- 6 1 44.53	19.087 538 5		
29 23 17 54.557	- 5 23 54.69	19.334 190 0	13 23 11 53.095	- 6 2 40.36	19.088 637 2		
30 23 17 48.790	- 5 24 33.08	19.323 052 8	14 23 11 44.215	- 6 3 36.06	19.090 037 6		
31 23 17 42.888	- 5 25 12.31	19.312 132 1	15 23 11 35.350	- 6 4 31.59	19.091 739 1		
Août 1 23 17 36.851	- 5 25 52.34	19.301 431 1	16 23 11 26.507	- 6 5 26.92	19.093 741 4		
2 23 17 30.682	- 5 26 33.18	19.290 953 1	17 23 11 17.688	- 6 6 22.04	19.096 043 8		
3 23 17 24.385	- 5 27 14.77	19.280 701 3	18 23 11 8.897	- 6 7 16.92	19.098 645 5		
4 23 17 17.964	- 5 27 57.11	19.270 679 2	19 23 11 0.138	- 6 8 11.54	19.101 545 6		
5 23 17 11.423	- 5 28 40.17	19.260 890 1	20 23 10 51.415	- 6 9 5.88	19.104 743 1		
6 23 17 4.766	- 5 29 23.91	19.251 337 4	21 23 10 42.729	- 6 9 59.93	19.108 236 8		
7 23 16 57.995	- 5 30 8.34	19.242 024 6	22 23 10 34.083	- 6 10 53.67	19.112 025 6		
8 23 16 51.113	- 5 30 53.43	19.232 955 1	23 23 10 25.479	- 6 11 47.09	19.116 108 0		
9 23 16 44.120	- 5 31 39.19	19.224 132 3	24 23 10 16.920	- 6 12 40.17	19.120 482 8		
10 23 16 37.018	- 5 32 25.60	19.215 559 6	25 23 10 8.409	- 6 13 32.88	19.125 148 3		
11 23 16 29.807	- 5 33 12.66	19.207 240 2	26 23 9 59.950	- 6 14 25.21	19.130 103 3		
12 23 16 22.490	- 5 34 0.35	19.199 177 2	27 23 9 51.548	- 6 15 17.12	19.135 346 1		
13 23 16 15.069	- 5 34 48.66	19.191 373 5	28 23 9 43.207	- 6 16 8.57	19.140 875 5		
14 23 16 7.547	- 5 35 37.55	19.183 832 0	29 23 9 34.935	- 6 16 59.54	19.146 690 0		
15 23 15 59.928	- 5 36 27.01	19.176 555 4	30 23 9 26.735	- 6 17 49.99	19.152 788 4		
16 23 15 52.217	- 5 37 16.99	19.169 546 0	Oct. 1 23 9 18.610	- 6 18 39.92	19.159 169 2		
17 23 15 44.417	- 5 38 7.47	19.162 806 3	2 23 9 10.563	- 6 19 29.32	19.165 831 0		

URANUS 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Oct.	3 23 9 2.595	- 6 20 18.17	19.172 772 4	Nov.	18 23 5 12.086	- 6 42 48.81	19.742 546 8
	4 23 8 54.707	- 6 21 6.47	19.179 991 6		19 23 5 10.897	- 6 42 53.66	19.758 907 8
	5 23 8 46.902	- 6 21 54.21	19.187 487 0		20 23 5 9.894	- 6 42 57.34	19.775 362 6
	6 23 8 39.182	- 6 22 41.37	19.195 256 4		21 23 5 9.077	- 6 42 59.84	19.791 906 2
	7 23 8 31.551	- 6 23 27.91	19.203 297 8		22 23 5 8.449	- 6 43 1.15	19.808 533 5
	8 23 8 24.013	- 6 24 13.82	19.211 608 9		23 23 5 8.012	- 6 43 1.24	19.825 239 5
	9 23 8 16.572	- 6 24 59.06	19.220 187 2		24 23 5 7.770	- 6 43 0.12	19.842 019 5
	10 23 8 9.232	- 6 25 43.61	19.229 030 0		25 23 5 7.720	- 6 42 57.79	19.858 868 6
	11 23 8 1.999	- 6 26 27.44	19.238 134 7		26 23 5 7.863	- 6 42 54.26	19.875 782 3
	12 23 7 54.877	- 6 27 10.52	19.247 498 3		27 23 5 8.197	- 6 42 49.56	19.892 755 7
	13 23 7 47.869	- 6 27 52.83	19.257 117 6		28 23 5 8.718	- 6 42 43.68	19.909 784 1
	14 23 7 40.979	- 6 28 34.35	19.266 989 7		29 23 5 9.425	- 6 42 36.64	19.926 862 6
15 23 7 34.211	- 6 29 15.07	19.277 111 1	30 23 5 10.320	- 6 42 28.44	19.943 986 3		
16 23 7 27.566	- 6 29 54.96	19.287 478 5	Déc.	1 23 5 11.401	- 6 42 19.06	19.961 150 1	
17 23 7 21.048	- 6 30 34.03	19.298 088 3		2 23 5 12.671	- 6 42 8.51	19.978 348 8	
18 23 7 14.659	- 6 31 12.25	19.308 937 0	3 23 5 14.131	- 6 41 56.76	19.995 577 2		
19 23 7 8.399	- 6 31 49.61	19.320 020 9	4 23 5 15.781	- 6 41 43.82	20.012 829 9		
20 23 7 2.270	- 6 32 26.12	19.331 336 2	5 23 5 17.624	- 6 41 29.67	20.030 101 5		
21 23 6 56.275	- 6 33 1.76	19.342 879 2	6 23 5 19.659	- 6 41 14.31	20.047 386 7		
22 23 6 50.414	- 6 33 36.51	19.354 646 0	7 23 5 21.888	- 6 40 57.75	20.064 680 0		
23 23 6 44.691	- 6 34 10.36	19.366 632 7	8 23 5 24.310	- 6 40 39.98	20.081 975 9		
24 23 6 39.108	- 6 34 43.29	19.378 835 6	9 23 5 26.925	- 6 40 21.01	20.099 268 9		
25 23 6 33.670	- 6 35 15.27	19.391 250 7	10 23 5 29.732	- 6 40 0.85	20.116 553 5		
26 23 6 28.381	- 6 35 46.27	19.403 874 5	11 23 5 32.729	- 6 39 39.51	20.133 824 1		
27 23 6 23.246	- 6 36 16.27	19.416 703 2	12 23 5 35.915	- 6 39 17.00	20.151 075 3		
28 23 6 18.266	- 6 36 45.27	19.429 733 2	13 23 5 39.288	- 6 38 53.34	20.168 301 7		
29 23 6 13.443	- 6 37 13.26	19.442 961 0	14 23 5 42.846	- 6 38 28.53	20.185 497 6		
30 23 6 8.778	- 6 37 40.25	19.456 382 8	15 23 5 46.587	- 6 38 2.58	20.202 657 8		
31 23 6 4.269	- 6 38 6.24	19.469 995 0	16 23 5 50.510	- 6 37 35.50	20.219 776 9		
Nov.	1 23 5 59.918	- 6 38 31.22	19.483 793 7	17 23 5 54.615	- 6 37 7.28	20.236 849 7	
	2 23 5 55.724	- 6 38 55.19	19.497 774 8	18 23 5 58.902	- 6 36 37.94	20.253 871 0	
	3 23 5 51.691	- 6 39 18.13	19.511 934 3	19 23 6 3.371	- 6 36 7.45	20.270 835 9	
	4 23 5 47.821	- 6 39 40.02	19.526 267 8	20 23 6 8.023	- 6 35 35.83	20.287 739 5	
	5 23 5 44.117	- 6 40 0.85	19.540 770 8	21 23 6 12.858	- 6 35 3.08	20.304 577 0	
	6 23 5 40.581	- 6 40 20.59	19.555 438 9	22 23 6 17.876	- 6 34 29.19	20.321 343 8	
	7 23 5 37.218	- 6 40 39.23	19.570 267 4	23 23 6 23.074	- 6 33 54.19	20.338 035 5	
	8 23 5 34.029	- 6 40 56.75	19.585 251 5	24 23 6 28.450	- 6 33 18.11	20.354 647 7	
	9 23 5 31.017	- 6 41 13.14	19.600 386 3	25 23 6 33.998	- 6 32 40.97	20.371 175 8	
	10 23 5 28.184	- 6 41 28.38	19.615 667 0	26 23 6 39.717	- 6 32 2.78	20.387 615 5	
	11 23 5 25.532	- 6 41 42.48	19.631 088 4	27 23 6 45.604	- 6 31 23.56	20.403 962 4	
	12 23 5 23.062	- 6 41 55.42	19.646 645 5	28 23 6 51.656	- 6 30 43.31	20.420 211 9	
13 23 5 20.775	- 6 42 7.20	19.662 333 2	29 23 6 57.874	- 6 30 2.03	20.436 359 5		
14 23 5 18.671	- 6 42 17.83	19.678 146 2	30 23 7 4.259	- 6 29 19.72	20.452 400 3		
15 23 5 16.751	- 6 42 27.31	19.694 079 4	31 23 7 10.809	- 6 28 36.38	20.468 329 9		
16 23 5 15.013	- 6 42 35.63	19.710 127 4	32 23 7 17.524	- 6 27 52.01	20.484 143 4		
17 23 5 13.458	- 6 42 42.80	19.726 284 9	33 23 7 24.405	- 6 27 6.62	20.499 836 3		

NEPTUNE 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Janv.	0	21 22 22.257	-15 37 24.51	30.808 987 4	Févr.	15	21 28 54.772	-15 6 52.55	31.031 153 6
	1	21 22 29.698	-15 36 50.13	30.819 754 9		16	21 29 3.722	-15 6 10.37	31.029 323 9
	2	21 22 37.218	-15 36 15.38	30.830 290 6		17	21 29 12.654	-15 5 28.26	31.027 204 8
	3	21 22 44.814	-15 35 40.29	30.840 591 8		18	21 29 21.563	-15 4 46.25	31.024 796 9
	4	21 22 52.483	-15 35 4.86	30.850 655 8		19	21 29 30.448	-15 4 4.31	31.022 101 1
	5	21 23 0.221	-15 34 29.11	30.860 480 1		20	21 29 39.308	-15 3 22.46	31.019 118 5
	6	21 23 8.025	-15 33 53.04	30.870 061 9		21	21 29 48.144	-15 2 40.68	31.015 850 2
	7	21 23 15.894	-15 33 16.65	30.879 398 6		22	21 29 56.956	-15 1 58.99	31.012 297 8
	8	21 23 23.827	-15 32 39.95	30.888 487 4		23	21 30 5.744	-15 1 17.39	31.008 462 9
	9	21 23 31.821	-15 32 2.93	30.897 325 7		24	21 30 14.504	-15 0 35.91	31.004 347 1
	10	21 23 39.878	-15 31 25.59	30.905 910 9		25	21 30 23.236	-14 59 54.56	30.999 952 2
	11	21 23 47.995	-15 30 47.94	30.914 240 3		26	21 30 31.934	-14 59 13.37	30.995 279 8
	12	21 23 56.173	-15 30 9.98	30.922 311 4		27	21 30 40.596	-14 58 32.36	30.990 331 9
	13	21 24 4.410	-15 29 31.71	30.930 121 7		28	21 30 49.218	-14 57 51.54	30.985 110 2
14	21 24 12.705	-15 28 53.15	30.937 668 7	Mars	1	21 30 57.797	-14 57 10.93	30.979 616 5	
15	21 24 21.057	-15 28 14.32	30.944 950 0	2	21 31 6.331	-14 56 30.51	30.973 852 5		
16	21 24 29.463	-15 27 35.21	30.951 963 2	3	21 31 14.818	-14 55 50.31	30.967 820 1		
17	21 24 37.920	-15 26 55.87	30.958 706 2	4	21 31 23.257	-14 55 10.31	30.961 521 1		
18	21 24 46.426	-15 26 16.29	30.965 176 6	5	21 31 31.647	-14 54 30.53	30.954 957 2		
19	21 24 54.975	-15 25 36.51	30.971 372 5	6	21 31 39.988	-14 53 50.96	30.948 130 4		
20	21 25 3.565	-15 24 56.53	30.977 291 9	7	21 31 48.278	-14 53 11.60	30.941 042 5		
21	21 25 12.191	-15 24 16.37	30.982 933 1	8	21 31 56.517	-14 52 32.47	30.933 695 3		
22	21 25 20.851	-15 23 36.02	30.988 294 6	9	21 32 4.704	-14 51 53.57	30.926 090 8		
23	21 25 29.544	-15 22 55.48	30.993 375 0	10	21 32 12.838	-14 51 14.91	30.918 231 1		
24	21 25 38.270	-15 22 14.75	30.998 173 1	11	21 32 20.916	-14 50 36.51	30.910 118 1		
25	21 25 47.027	-15 21 33.83	31.002 688 0	12	21 32 28.938	-14 49 58.38	30.901 753 9		
26	21 25 55.817	-15 20 52.73	31.006 918 9	13	21 32 36.900	-14 49 20.53	30.893 140 8		
27	21 26 4.639	-15 20 11.45	31.010 865 1	14	21 32 44.800	-14 48 43.00	30.884 280 9		
28	21 26 13.489	-15 19 30.03	31.014 526 0	15	21 32 52.633	-14 48 5.79	30.875 176 7		
29	21 26 22.365	-15 18 48.48	31.017 901 1	16	21 33 0.397	-14 47 28.91	30.865 830 6		
30	21 26 31.264	-15 18 6.82	31.020 989 9	17	21 33 8.088	-14 46 52.38	30.856 245 0		
31	21 26 40.182	-15 17 25.07	31.023 791 9	18	21 33 15.704	-14 46 16.20	30.846 423 0		
Févr.	1	21 26 49.115	-15 16 43.25	31.026 306 7	19	21 33 23.244	-14 45 40.36	30.836 367 2	
	2	21 26 58.060	-15 16 1.35	31.028 533 9	20	21 33 30.708	-14 45 4.85	30.826 081 0	
	3	21 27 7.015	-15 15 19.40	31.030 473 0	21	21 33 38.098	-14 44 29.67	30.815 567 6	
	4	21 27 15.978	-15 14 37.38	31.032 123 6	22	21 33 45.414	-14 43 54.84	30.804 830 6	
	5	21 27 24.948	-15 13 55.30	31.033 485 3	23	21 33 52.655	-14 43 20.36	30.793 873 4	
	6	21 27 33.924	-15 13 13.17	31.034 557 8	24	21 33 59.818	-14 42 46.27	30.782 699 9	
	7	21 27 42.904	-15 12 30.97	31.035 340 6	25	21 34 6.900	-14 42 12.57	30.771 313 6	
	8	21 27 51.889	-15 11 48.73	31.035 833 5	26	21 34 13.899	-14 41 39.30	30.759 718 1	
	9	21 28 0.877	-15 11 6.44	31.036 036 2	27	21 34 20.810	-14 41 6.46	30.747 917 2	
	10	21 28 9.867	-15 10 24.12	31.035 948 6	28	21 34 27.632	-14 40 34.06	30.735 914 3	
	11	21 28 18.857	-15 9 41.78	31.035 570 6	29	21 34 34.363	-14 40 2.11	30.723 713 1	
	12	21 28 27.846	-15 8 59.44	31.034 902 0	30	21 34 41.000	-14 39 30.61	30.711 317 0	
	13	21 28 36.830	-15 8 17.10	31.033 942 9	31	21 34 47.543	-14 38 59.55	30.698 729 7	
	14	21 28 45.806	-15 7 34.80	31.032 693 3	Avril	1	21 34 53.993	-14 38 28.94	30.685 954 6

NEPTUNE 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Avril	2	21 35 0.348	-14 37 58.77	30.672 995 3	Mai	18	21 37 53.147	-14 24 38.00	29.947 941 4
	3	21 35 6.608	-14 37 29.04	30.659 855 2		19	21 37 54.029	-14 24 34.83	29.931 064 7
	4	21 35 12.774	-14 36 59.77	30.646 538 0		20	21 37 54.782	-14 24 32.33	29.914 217 3
	5	21 35 18.844	-14 36 30.95	30.633 047 2		21	21 37 55.404	-14 24 30.50	29.897 404 2
	6	21 35 24.819	-14 36 2.59	30.619 386 3		22	21 37 55.894	-14 24 29.33	29.880 630 3
	7	21 35 30.697	-14 35 34.70	30.605 558 9		23	21 37 56.252	-14 24 28.82	29.863 900 6
	8	21 35 36.476	-14 35 7.30	30.591 568 7		24	21 37 56.480	-14 24 28.96	29.847 219 6
	9	21 35 42.155	-14 34 40.41	30.577 419 3		25	21 37 56.577	-14 24 29.73	29.830 592 2
	10	21 35 47.732	-14 34 14.02	30.563 114 5		26	21 37 56.545	-14 24 31.13	29.814 023 0
	11	21 35 53.203	-14 33 48.17	30.548 658 0		27	21 37 56.387	-14 24 33.15	29.797 516 4
	12	21 35 58.566	-14 33 22.85	30.534 053 8		28	21 37 56.102	-14 24 35.78	29.781 076 9
13	21 36 3.819	-14 32 58.08	30.519 305 7	29	21 37 55.694	-14 24 39.02	29.764 709 1		
14	21 36 8.959	-14 32 33.85	30.504 417 9	30	21 37 55.163	-14 24 42.87	29.748 417 2		
15	21 36 13.986	-14 32 10.17	30.489 394 6	31	21 37 54.510	-14 24 47.32	29.732 205 7		
16	21 36 18.900	-14 31 47.03	30.474 240 2	Juin	1	21 37 53.735	-14 24 52.38	29.716 078 8	
17	21 36 23.702	-14 31 24.41	30.458 959 1	2	21 37 52.838	-14 24 58.05	29.700 040 9		
18	21 36 28.394	-14 31 2.32	30.443 556 2	3	21 37 51.819	-14 25 4.34	29.684 096 1		
19	21 36 32.976	-14 30 40.77	30.428 036 3	4	21 37 50.677	-14 25 11.25	29.668 248 9		
20	21 36 37.448	-14 30 19.76	30.412 404 1	5	21 37 49.411	-14 25 18.79	29.652 503 5		
21	21 36 41.806	-14 29 59.34	30.396 664 6	6	21 37 48.020	-14 25 26.95	29.636 864 2		
22	21 36 46.049	-14 29 39.50	30.380 822 7	7	21 37 46.504	-14 25 35.73	29.621 335 4		
23	21 36 50.172	-14 29 20.27	30.364 883 2	8	21 37 44.863	-14 25 45.13	29.605 921 5		
24	21 36 54.175	-14 29 1.65	30.348 850 7	9	21 37 43.100	-14 25 55.11	29.590 627 0		
25	21 36 58.055	-14 28 43.64	30.332 729 9	10	21 37 41.215	-14 26 5.67	29.575 456 4		
26	21 37 1.812	-14 28 26.24	30.316 525 5	11	21 37 39.213	-14 26 16.80	29.560 414 4		
27	21 37 5.446	-14 28 9.45	30.300 242 0	12	21 37 37.094	-14 26 28.49	29.545 505 6		
28	21 37 8.956	-14 27 53.25	30.283 883 8	13	21 37 34.863	-14 26 40.72	29.530 734 9		
29	21 37 12.344	-14 27 37.65	30.267 455 6	14	21 37 32.520	-14 26 53.52	29.516 107 0		
30	21 37 15.610	-14 27 22.65	30.250 961 6	15	21 37 30.064	-14 27 6.89	29.501 626 5		
Mai	1	21 37 18.755	-14 27 8.23	30.234 406 5	16	21 37 27.494	-14 27 20.84	29.487 298 1	
2	21 37 21.778	-14 26 54.41	30.217 794 5	17	21 37 24.810	-14 27 35.37	29.473 126 3		
3	21 37 24.681	-14 26 41.18	30.201 130 2	18	21 37 22.010	-14 27 50.48	29.459 115 4		
4	21 37 27.463	-14 26 28.55	30.184 417 8	19	21 37 19.095	-14 28 6.16	29.445 269 8		
5	21 37 30.123	-14 26 16.53	30.167 661 8	20	21 37 16.066	-14 28 22.39	29.431 593 3		
6	21 37 32.661	-14 26 5.13	30.150 866 6	21	21 37 12.926	-14 28 39.16	29.418 090 1		
7	21 37 35.074	-14 25 54.37	30.134 036 6	22	21 37 9.677	-14 28 56.45	29.404 763 9		
8	21 37 37.361	-14 25 44.24	30.117 176 3	23	21 37 6.322	-14 29 14.24	29.391 618 5		
9	21 37 39.520	-14 25 34.76	30.100 290 2	24	21 37 2.862	-14 29 32.53	29.378 657 5		
10	21 37 41.550	-14 25 25.92	30.083 383 0	25	21 36 59.301	-14 29 51.31	29.365 884 5		
11	21 37 43.449	-14 25 17.74	30.066 459 2	26	21 36 55.641	-14 30 10.56	29.353 303 0		
12	21 37 45.218	-14 25 10.20	30.049 523 5	27	21 36 51.884	-14 30 30.28	29.340 916 5		
13	21 37 46.856	-14 25 3.29	30.032 580 9	28	21 36 48.031	-14 30 50.47	29.328 728 2		
14	21 37 48.364	-14 24 57.00	30.015 636 4	29	21 36 44.083	-14 31 11.12	29.316 741 4		
15	21 37 49.747	-14 24 51.33	29.998 694 9	30	21 36 40.041	-14 31 32.24	29.304 959 5		
16	21 37 51.004	-14 24 46.26	29.981 761 7	Juill.	1	21 36 35.905	-14 31 53.82	29.293 385 6	
17	21 37 52.138	-14 24 41.81	29.964 842 1	2	21 36 31.675	-14 32 15.87	29.282 022 8		

NEPTUNE 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Juill.	3 21 36 27.352	-14 32 38.39	29.270 874 3	Août	18 21 32 2.083	-14 55 0.14	29.035 715 7
	4 21 36 22.935	-14 33 1.35	29.259 943 4		19 21 31 55.696	-14 55 31.81	29.037 271 5
	5 21 36 18.425	-14 33 24.75	29.249 233 2		20 21 31 49.324	-14 56 3.37	29.039 121 5
	6 21 36 13.826	-14 33 48.57	29.238 746 9		21 21 31 42.970	-14 56 34.83	29.041 265 1
	7 21 36 9.140	-14 34 12.78	29.228 488 0		22 21 31 36.635	-14 57 6.17	29.043 701 4
	8 21 36 4.370	-14 34 37.38	29.218 459 6		23 21 31 30.322	-14 57 37.38	29.046 429 5
	9 21 35 59.521	-14 35 2.34	29.208 665 2		24 21 31 24.033	-14 58 8.47	29.049 448 5
	10 21 35 54.595	-14 35 27.66	29.199 108 1		25 21 31 17.768	-14 58 39.44	29.052 757 3
	11 21 35 49.594	-14 35 53.33	29.189 791 7		26 21 31 11.529	-14 59 10.27	29.056 354 7
	12 21 35 44.521	-14 36 19.37	29.180 719 2		27 21 31 5.316	-14 59 40.95	29.060 239 7
	13 21 35 39.374	-14 36 45.76	29.171 893 8		28 21 30 59.130	-15 0 11.48	29.064 411 0
	14 21 35 34.154	-14 37 12.52	29.163 318 5		29 21 30 52.974	-15 0 41.84	29.068 867 5
	15 21 35 28.861	-14 37 39.64	29.154 996 3		30 21 30 46.851	-15 1 11.99	29.073 608 1
	16 21 35 23.495	-14 38 7.11	29.146 929 9		31 21 30 40.764	-15 1 41.92	29.078 631 6
	17 21 35 18.059	-14 38 34.91	29.139 121 8		Sept. 1 21 30 34.720	-15 2 11.61	29.083 937 1
	18 21 35 12.555	-14 39 3.01	29.131 574 5		2 21 30 28.721	-15 2 41.05	29.089 523 5
	19 21 35 6.986	-14 39 31.41	29.124 290 2		3 21 30 22.771	-15 3 10.22	29.095 389 6
	20 21 35 1.356	-14 40 0.07	29.117 271 0		4 21 30 16.872	-15 3 39.14	29.101 534 3
	21 21 34 55.668	-14 40 28.99	29.110 518 8		5 21 30 11.024	-15 4 7.81	29.107 956 3
	22 21 34 49.926	-14 40 58.14	29.104 035 7		6 21 30 5.229	-15 4 36.22	29.114 654 0
	23 21 34 44.133	-14 41 27.51	29.097 823 3		7 21 29 59.487	-15 5 4.38	29.121 625 8
	24 21 34 38.291	-14 41 57.10	29.091 883 3		8 21 29 53.798	-15 5 32.26	29.128 870 1
25 21 34 32.402	-14 42 26.90	29.086 217 3	9 21 29 48.164	-15 5 59.87	29.136 384 8		
26 21 34 26.470	-14 42 56.90	29.080 826 8	10 21 29 42.588	-15 6 27.17	29.144 167 8		
27 21 34 20.495	-14 43 27.10	29.075 713 2	11 21 29 37.073	-15 6 54.15	29.152 216 8		
28 21 34 14.479	-14 43 57.50	29.070 877 9	12 21 29 31.621	-15 7 20.79	29.160 529 5		
29 21 34 8.422	-14 44 28.08	29.066 322 0	13 21 29 26.237	-15 7 47.08	29.169 103 1		
30 21 34 2.325	-14 44 58.85	29.062 046 9	14 21 29 20.924	-15 8 12.99	29.177 935 0		
31 21 33 56.188	-14 45 29.80	29.058 053 8	15 21 29 15.685	-15 8 38.52	29.187 022 4		
Août 1 21 33 50.013	-14 46 0.91	29.054 343 9	16 21 29 10.523	-15 9 3.65	29.196 362 3		
2 21 33 43.804	-14 46 32.16	29.050 918 5	17 21 29 5.441	-15 9 28.37	29.205 951 7		
3 21 33 37.562	-14 47 3.52	29.047 778 8	18 21 29 0.440	-15 9 52.70	29.215 787 6		
4 21 33 31.293	-14 47 34.97	29.044 926 2	19 21 28 55.523	-15 10 16.61	29.225 866 7		
5 21 33 25.001	-14 48 6.49	29.042 362 0	20 21 28 50.690	-15 10 40.11	29.236 185 7		
6 21 33 18.690	-14 48 38.08	29.040 087 5	21 21 28 45.943	-15 11 3.19	29.246 741 4		
7 21 33 12.363	-14 49 9.73	29.038 103 9	22 21 28 41.281	-15 11 25.87	29.257 530 4		
8 21 33 6.020	-14 49 41.44	29.036 412 3	23 21 28 36.706	-15 11 48.12	29.268 549 3		
9 21 32 59.665	-14 50 13.21	29.035 014 0	24 21 28 32.217	-15 12 9.94	29.279 794 6		
10 21 32 53.296	-14 50 45.03	29.033 909 7	25 21 28 27.817	-15 12 31.33	29.291 263 0		
11 21 32 46.914	-14 51 16.91	29.033 100 2	26 21 28 23.506	-15 12 52.25	29.302 951 0		
12 21 32 40.522	-14 51 48.84	29.032 586 1	27 21 28 19.289	-15 13 12.69	29.314 855 5		
13 21 32 34.120	-14 52 20.78	29.032 367 8	28 21 28 15.169	-15 13 32.63	29.326 973 0		
14 21 32 27.712	-14 52 52.73	29.032 445 6	29 21 28 11.150	-15 13 52.06	29.339 300 5		
15 21 32 21.300	-14 53 24.66	29.032 819 4	30 21 28 7.235	-15 14 10.97	29.351 834 7		
16 21 32 14.889	-14 53 56.56	29.033 489 2	Oct. 1 21 28 3.426	-15 14 29.37	29.364 572 3		
17 21 32 8.482	-14 54 28.39	29.034 454 8	2 21 27 59.724	-15 14 47.26	29.377 510 1		

NEPTUNE 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Oct.	3 21 27 56.127	-15 15 4.67	29.390 644 5	Nov.	18 21 27 22.800	-15 17 48.46	30.129 474 9
	4 21 27 52.635	-15 15 21.57	29.403 971 9		19 21 27 25.168	-15 17 37.25	30.146 614 4
	5 21 27 49.248	-15 15 37.98	29.417 488 6		20 21 27 27.666	-15 17 25.41	30.163 716 4
	6 21 27 45.967	-15 15 53.88	29.431 190 7		21 21 27 30.295	-15 17 12.94	30.180 776 0
	7 21 27 42.794	-15 16 9.25	29.445 074 0		22 21 27 33.055	-15 16 59.81	30.197 788 2
	8 21 27 39.730	-15 16 24.08	29.459 134 4		23 21 27 35.948	-15 16 46.03	30.214 748 3
	9 21 27 36.778	-15 16 38.36	29.473 367 6		24 21 27 38.977	-15 16 31.60	30.231 651 7
	10 21 27 33.940	-15 16 52.07	29.487 769 1		25 21 27 42.139	-15 16 16.55	30.248 493 8
	11 21 27 31.220	-15 17 5.19	29.502 334 4		26 21 27 45.433	-15 16 0.88	30.265 270 0
	12 21 27 28.619	-15 17 17.73	29.517 058 9		27 21 27 48.855	-15 15 44.62	30.281 975 8
	13 21 27 26.140	-15 17 29.67	29.531 937 9		28 21 27 52.402	-15 15 27.79	30.298 606 4
	14 21 27 23.784	-15 17 41.01	29.546 966 6		29 21 27 56.072	-15 15 10.38	30.315 157 2
15 21 27 21.552	-15 17 51.76	29.562 140 1	30 21 27 59.864	-15 14 52.39	30.331 623 2		
16 21 27 19.446	-15 18 1.91	29.577 453 7	Déc.	1 21 28 3.776	-15 14 33.82	30.347 999 5	
17 21 27 17.465	-15 18 11.46	29.592 902 4		2 21 28 7.810	-15 14 14.66	30.364 281 1	
18 21 27 15.610	-15 18 20.42	29.608 481 3	3 21 28 11.966	-15 13 54.89	30.380 463 1		
19 21 27 13.880	-15 18 28.79	29.624 185 5	4 21 28 16.245	-15 13 34.53	30.396 540 4		
20 21 27 12.274	-15 18 36.57	29.640 009 9	5 21 28 20.645	-15 13 13.57	30.412 508 0		
21 21 27 10.794	-15 18 43.76	29.655 949 7	6 21 28 25.169	-15 12 52.00	30.428 360 9		
22 21 27 9.437	-15 18 50.35	29.671 999 9	7 21 28 29.814	-15 12 29.85	30.444 094 1		
23 21 27 8.206	-15 18 56.33	29.688 155 6	8 21 28 34.581	-15 12 7.11	30.459 702 5		
24 21 27 7.100	-15 19 1.69	29.704 412 1	9 21 28 39.469	-15 11 43.80	30.475 181 4		
25 21 27 6.124	-15 19 6.41	29.720 764 7	10 21 28 44.475	-15 11 19.93	30.490 525 7		
26 21 27 5.280	-15 19 10.48	29.737 208 8	11 21 28 49.597	-15 10 55.50	30.505 730 6		
27 21 27 4.570	-15 19 13.89	29.753 739 9	12 21 28 54.833	-15 10 30.54	30.520 791 5		
28 21 27 3.996	-15 19 16.65	29.770 353 4	13 21 29 0.181	-15 10 5.05	30.535 703 5		
29 21 27 3.558	-15 19 18.78	29.787 044 8	14 21 29 5.637	-15 9 39.05	30.550 462 1		
30 21 27 3.254	-15 19 20.29	29.803 809 6	15 21 29 11.201	-15 9 12.53	30.565 062 9		
31 21 27 3.082	-15 19 21.20	29.820 643 0	16 21 29 16.869	-15 8 45.49	30.579 501 3		
Nov.	1 21 27 3.040	-15 19 21.50	29.837 540 3	17 21 29 22.641	-15 8 17.95	30.593 773 4	
	2 21 27 3.128	-15 19 21.18	29.854 496 4	18 21 29 28.517	-15 7 49.88	30.607 874 8	
	3 21 27 3.346	-15 19 20.25	29.871 506 3	19 21 29 34.496	-15 7 21.29	30.621 801 8	
	4 21 27 3.694	-15 19 18.68	29.888 564 8	20 21 29 40.580	-15 6 52.18	30.635 550 5	
	5 21 27 4.175	-15 19 16.48	29.905 666 8	21 21 29 46.768	-15 6 22.55	30.649 117 3	
	6 21 27 4.790	-15 19 13.62	29.922 806 8	22 21 29 53.060	-15 5 52.42	30.662 498 7	
	7 21 27 5.539	-15 19 10.10	29.939 979 6	23 21 29 59.453	-15 5 21.81	30.675 691 2	
	8 21 27 6.425	-15 19 5.92	29.957 179 6	24 21 30 5.945	-15 4 50.74	30.688 691 4	
	9 21 27 7.448	-15 19 1.08	29.974 401 4	25 21 30 12.531	-15 4 19.23	30.701 496 0	
	10 21 27 8.609	-15 18 55.58	29.991 639 5	26 21 30 19.206	-15 3 47.31	30.714 101 5	
	11 21 27 9.909	-15 18 49.42	30.008 888 5	27 21 30 25.969	-15 3 14.96	30.726 504 4	
	12 21 27 11.346	-15 18 42.61	30.026 142 9	28 21 30 32.817	-15 2 42.19	30.738 701 1	
13 21 27 12.920	-15 18 35.15	30.043 397 0	29 21 30 39.750	-15 2 8.99	30.750 688 1		
14 21 27 14.630	-15 18 27.06	30.060 645 6	30 21 30 46.767	-15 1 35.36	30.762 461 7		
15 21 27 16.474	-15 18 18.34	30.077 883 0	31 21 30 53.869	-15 1 1.30	30.774 018 5		
16 21 27 18.452	-15 18 9.00	30.095 103 9	32 21 31 1.055	-15 0 26.81	30.785 354 8		
17 21 27 20.561	-15 17 59.04	30.112 303 0	33 21 31 8.325	-14 59 51.90	30.796 467 0		

PLUTON ET PETITES PLANÈTES

Coordonnées géocentriques :

Ascension droite et déclinaison astrométriques, distance à la Terre.

PLUTON	II. 92
CÉRÈS	II. 93
PALLAS	II. 94
JUNON	II. 95
VESTA	II. 96

PALLAS 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Janv.	0 19 55 28.361	0 31 50.74	4.226 731 21	Juill.	3 22 54 30.050	10 55 13.32	2.825 981 79
	4 20 0 46.380	0 31 42.58	4.247 982 99		7 22 54 36.827	10 52 40.04	2.769 296 23
	8 20 6 5.294	0 33 4.29	4.266 808 94		11 22 54 25.888	10 47 21.58	2.714 045 08
	12 20 11 24.799	0 35 53.47	4.283 153 33		15 22 53 56.907	10 39 6.05	2.660 521 47
	16 20 16 44.568	0 40 7.71	4.296 956 86		19 22 53 9.820	10 27 42.76	2.609 034 15
	20 20 22 4.241	0 45 44.33	4.308 162 08		23 22 52 4.814	10 13 2.70	2.559 885 61
Févr.	24 20 27 23.431	0 52 40.17	4.316 725 10	27 22 50 42.274	9 54 58.46	2.513 367 14	
	28 20 32 41.760	1 0 51.56	4.322 626 68	31 22 49 2.781	9 33 24.23	2.469 761 87	
	1 20 37 58.925	1 10 14.81	4.325 865 03	Août	4 22 47 7.093	9 8 15.76	2.429 350 73
	5 20 43 14.677	1 20 46.66	4.326 435 36		8 22 44 56.206	8 39 30.72	2.392 426 45
	9 20 48 28.778	1 32 24.10	4.324 324 01	12 22 42 31.487	8 7 10.10	2.359 291 62	
	13 20 53 40.965	1 45 4.10	4.319 513 07	16 22 39 54.734	7 31 19.67	2.330 232 62	
	17 20 58 50.942	1 58 43.41	4.311 986 30	20 22 37 8.086	6 52 10.14	2.305 495 23	
	21 21 3 58.375	2 13 18.30	4.301 739 62	24 22 34 13.917	6 9 56.64	2.285 280 11	
25 21 9 2.933	2 28 44.55	4.288 795 45	28 22 31 14.746	5 24 58.18	2.269 743 24		
Mars	1 21 14 4.354	2 44 58.06	4.273 193 46	Sept.	1 22 28 13.163	4 37 36.83	2.259 002 63
	5 21 19 2.423	3 1 55.20	4.254 968 79		5 22 25 11.824	3 48 17.32	2.253 152 98
	9 21 23 56.927	3 19 32.56	4.234 147 98		9 22 22 13.530	2 57 27.65	2.252 257 77
	13 21 28 47.621	3 37 46.71	4.210 753 24		13 22 19 21.153	2 5 38.79	2.256 321 98
	17 21 33 34.225	3 56 34.01	4.184 806 82		17 22 16 37.466	1 13 23.10	2.265 280 81
Avril	21 21 38 16.402	4 15 50.26	4.156 343 47	21 22 14 4.997	0 21 12.51	2.279 006 81	
	25 21 42 53.813	4 35 30.80	4.125 424 10	25 22 11 45.953	- 0 30 22.83	2.297 320 93	
	29 21 47 26.177	4 55 31.11	4.092 127 15	29 22 9 42.171	- 1 20 55.72	2.320 011 82	
	2 21 51 53.252	5 15 47.15	4.056 525 94	Oct.	3 22 7 55.182	- 2 10 2.06	2.346 856 01
	6 21 56 14.787	5 36 15.10	4.018 684 69		7 22 6 26.334	- 2 57 20.04	2.377 613 97
	10 22 0 30.488	5 56 51.02	3.978 662 18	11 22 5 16.747	- 3 42 30.34	2.412 007 12	
	14 22 4 40.014	6 17 30.65	3.936 519 16	15 22 4 27.219	- 4 25 17.03	2.449 722 14	
	18 22 8 42.952	6 38 9.14	3.892 326 90	19 22 3 58.202	- 5 5 27.93	2.490 423 93	
22 22 12 38.873	6 58 41.03	3.846 184 87	23 22 3 49.815	- 5 42 54.70	2.533 770 13		
26 22 16 27.399	7 19 0.98	3.798 210 69	27 22 4 1.888	- 6 17 32.47	2.579 428 37		
Mai	30 22 20 8.182	7 39 4.12	3.748 516 13	Nov.	31 22 4 34.087	- 6 49 18.96	2.627 093 37
	4 22 23 40.852	7 58 45.62	3.697 204 72		4 22 5 26.041	- 7 18 13.12	2.676 473 11
	8 22 27 4.987	8 18 0.44	3.644 375 67		8 22 6 37.313	- 7 44 15.06	2.727 264 74
	12 22 30 20.095	8 36 43.01	3.590 130 49		12 22 8 7.335	- 8 7 26.51	2.779 159 20
	16 22 33 25.606	8 54 46.94	3.534 584 71		16 22 9 55.400	- 8 27 50.79	2.831 851 37
Juin	20 22 36 20.921	9 12 5.05	3.477 883 68	20 22 12 0.695	- 8 45 32.59	2.885 048 77	
	24 22 39 5.494	9 28 30.21	3.420 191 56	24 22 14 22.323	- 9 0 37.73	2.938 485 99	
	28 22 41 38.812	9 43 55.59	3.361 670 00	28 22 16 59.400	- 9 13 12.33	2.991 932 67	
	1 22 44 0.335	9 58 14.23	3.302 472 54	Déc.	2 22 19 51.148	- 9 23 22.02	3.045 176 26
	5 22 46 9.474	10 11 18.73	3.242 752 21		6 22 22 56.840	- 9 31 12.24	3.097 997 97
	9 22 48 5.564	10 23 0.88	3.182 666 68	10 22 26 15.730	- 9 36 48.79	3.150 176 56	
	13 22 49 47.872	10 33 11.35	3.122 393 91	14 22 29 47.043	- 9 40 17.92	3.201 496 70	
	17 22 51 15.671	10 41 39.92	3.062 144 23	18 22 33 29.981	- 9 41 46.28	3.251 758 81	
21 22 52 28.327	10 48 16.37	3.002 149 40	22 22 37 23.738	- 9 41 20.77	3.300 788 67		
25 22 53 25.289	10 52 50.80	2.942 639 79	26 22 41 27.576	- 9 39 7.91	3.348 445 04		
29 22 54 6.034	10 55 13.24	2.883 841 51	30 22 45 40.878	- 9 35 13.45	3.394 600 71		

JUNON 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Janv.	0	13 26 32.072	- 5 57 25.68	2.991 577 38	Juill.	3	13 6 13.257	3 12 1.11	3.030 151 46
	4	13 30 6.998	- 6 4 49.69	2.943 646 67		7	13 8 12.249	2 54 52.69	3.091 119 30
	8	13 33 28.746	- 6 10 19.60	2.895 034 98		11	13 10 24.440	2 36 30.88	3.152 041 37
	12	13 36 36.440	- 6 13 50.50	2.845 903 29		15	13 12 49.230	2 17 1.93	3.212 734 91
	16	13 39 29.135	- 6 15 17.37	2.796 436 89		19	13 15 25.974	1 56 32.47	3.273 012 16
	20	13 42 5.852	- 6 14 35.38	2.746 848 43		23	13 18 13.983	1 35 9.24	3.332 700 62
Févr.	24	13 44 25.654	- 6 11 40.52	2.697 377 21	27	13 21 12.576	1 12 58.54	3.391 650 53	
	28	13 46 27.708	- 6 6 29.83	2.648 273 04	31	13 24 21.121	0 50 6.07	3.449 732 27	
	1	13 48 11.253	- 5 59 0.92	2.599 776 01	Août	4	13 27 39.066	0 26 36.76	3.506 831 40
	5	13 49 35.512	- 5 49 11.43	2.552 124 88		8	13 31 5.960	0 2 34.95	3.562 831 52
	9	13 50 39.690	- 5 36 59.22	2.505 572 83		12	13 34 41.388	- 0 21 55.01	3.617 600 75
	13	13 51 23.035	- 5 22 22.96	2.460 396 76		16	13 38 24.908	- 0 46 48.36	3.671 001 16
17	13 51 44.911	- 5 5 22.72	2.416 898 67	20		13 42 16.044	- 1 12 0.25	3.722 908 11	
21	13 51 44.902	- 4 46 0.77	2.375 402 77	24		13 46 14.329	- 1 37 26.08	3.773 215 15	
25	13 51 22.913	- 4 24 21.98	2.336 231 87	28	13 50 19.335	- 2 3 1.69	3.821 833 77		
Mars	1	13 50 39.128	- 4 0 33.19	2.299 687 18	Sept.	1	13 54 30.697	- 2 28 43.50	3.868 688 37
	5	13 49 33.910	- 3 34 42.66	2.266 055 65		5	13 58 48.142	- 2 54 28.34	3.913 698 83
	9	13 48 7.841	- 3 7 0.60	2.235 623 90		9	14 3 11.415	- 3 20 12.89	3.956 766 60
	13	13 46 21.793	- 2 37 39.74	2.208 680 68		13	14 7 40.221	- 3 45 53.40	3.997 788 15
	17	13 44 16.991	- 2 6 55.78	2.185 512 66		17	14 12 14.227	- 4 11 26.00	4.036 671 33
	21	13 41 55.115	- 1 35 7.92	2.166 394 55		21	14 16 53.099	- 4 36 47.03	4.073 340 84
Avril	25	13 39 18.339	- 1 2 38.44	2.151 560 78	25	14 21 36.523	- 5 1 53.09	4.107 737 66	
	29	13 36 29.167	- 0 29 51.00	2.141 183 42	29	14 26 24.234	- 5 26 41.28	4.139 815 65	
	2	13 33 30.271	0 2 50.54	2.135 386 31	Oct.	3	14 31 16.040	- 5 51 9.02	4.169 524 23
	6	13 30 24.448	0 35 2.21	2.134 258 18		7	14 36 11.759	- 6 15 13.49	4.196 792 37
	10	13 27 14.614	1 6 20.15	2.137 855 82		11	14 41 11.153	- 6 38 51.48	4.221 546 06
	14	13 24 3.777	1 36 20.97	2.146 199 56		15	14 46 13.940	- 7 1 59.72	4.243 722 37
18	13 20 55.034	2 4 42.01	2.159 269 74	19		14 51 19.825	- 7 24 35.05	4.263 274 64	
22	13 17 51.486	2 31 2.56	2.176 981 64	23		14 56 28.518	- 7 46 34.63	4.280 172 77	
26	13 14 56.011	2 55 5.67	2.199 182 99	27	15 1 39.767	- 8 7 55.98	4.294 400 63		
Mai	30	13 12 11.087	3 16 38.73	2.225 681 12	Nov.	31	15 6 53.381	- 8 28 36.94	4.305 937 58
	4	13 9 38.824	3 35 32.68	2.256 264 11		4	15 12 9.173	- 8 48 35.09	4.314 744 61
	8	13 7 20.993	3 51 41.49	2.290 707 83		8	15 17 26.887	- 9 7 47.70	4.320 778 72
	12	13 5 19.069	4 5 1.53	2.328 778 98		12	15 22 46.218	- 9 26 12.01	4.324 009 94
	16	13 3 34.288	4 15 31.24	2.370 230 21		16	15 28 6.836	- 9 43 45.47	4.324 425 17
	20	13 2 7.636	4 23 11.27	2.414 784 03		20	15 33 28.406	-10 0 25.77	4.322 028 19
Juin	24	13 0 59.721	4 28 5.36	2.462 137 02	24	15 38 50.626	-10 16 11.03	4.316 837 58	
	28	13 0 10.762	4 30 19.66	2.511 987 43	28	15 44 13.249	-10 30 59.63	4.308 869 75	
	1	12 59 40.698	4 30 1.52	2.564 052 89	Déc.	2	15 49 36.022	-10 44 49.72	4.298 122 71
	5	12 59 29.280	4 27 18.84	2.618 068 98		6	15 54 58.625	-10 57 39.24	4.284 591 54
	9	12 59 36.157	4 22 19.40	2.673 789 53		10	16 0 20.673	-11 9 26.18	4.268 284 85
	13	13 0 0.939	4 15 10.79	2.730 973 03		14	16 5 41.752	-11 20 8.78	4.249 229 17
17	13 0 43.177	4 6 0.76	2.789 366 94	18		16 11 1.440	-11 29 45.62	4.227 468 80	
21	13 1 42.281	3 54 57.94	2.848 711 54	22		16 16 19.342	-11 38 15.69	4.203 063 97	
25	13 2 57.520	3 42 11.35	2.908 764 26	26	16 21 35.116	-11 45 38.18	4.176 072 08		
29	13 4 28.106	3 27 49.73	2.969 308 48	30	16 26 48.416	-11 51 52.15	4.146 535 21		

VESTA 2007 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance				
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua				
Janv.	0 14 47	40.786	- 9 49 29.56	2.606 034 54	Juill.	3 16 6	15.868	-15 43 19.04	1.259 464 77		
	4 14 54	52.112	-10 17 9.19	2.562 019 34		7 16 5	0.653	-16 1 49.02	1.288 251 92		
	8 15 2	0.087	-10 43 22.19	2.517 184 76		11 16 4	17.125	-16 21 27.59	1.319 535 40		
	12 15 9	4.172	-11 8 6.12	2.471 571 18		15 16 4	5.762	-16 42 8.89	1.353 108 97		
	16 15 16	3.718	-11 31 18.64	2.425 228 46		19 16 4	26.561	-17 3 45.81	1.388 748 44		
	20 15 22	57.976	-11 52 57.74	2.378 220 29		23 16 5	18.961	-17 26 10.08	1.426 228 88		
	24 15 29	46.163	-12 13 2.22	2.330 628 79		27 16 6	41.983	-17 49 13.00	1.465 342 34		
	28 15 36	27.542	-12 31 31.87	2.282 544 89		31 16 8	34.400	-18 12 45.84	1.505 904 38		
Févr.	1 15 43	1.423	-12 48 27.06	2.234 046 51	Août	4 16 10	54.912	-18 36 40.32	1.547 758 09		
	5 15 49	27.044	-13 3 48.05	2.185 196 85		8 16 13	42.329	-19 0 48.71	1.590 764 79		
		9 15 55	43.497	-13 17 35.06		2.136 056 63		12 16 16	55.570	-19 25 3.41	1.634 781 71
		13 16 1	49.735	-13 29 48.57		2.086 695 60		16 16 20	33.496	-19 49 16.34	1.679 655 05
		17 16 7	44.586	-13 40 29.60		2.037 198 56		20 16 24	34.820	-20 13 19.15	1.725 234 86
	21 16 13	26.816	-13 49 40.19	1.987 671 62		24 16 28	58.182	-20 37 3.55	1.771 386 59		
	25 16 18	55.264	-13 57 23.55	1.938 232 31		28 16 33	42.222	-21 0 21.67	1.817 996 57		
Mars	1 16 24	8.829	-14 3 43.45	1.888 987 80	Sept.	1 16 38	45.670	-21 23 6.19	1.864 974 25		
	5 16 29	6.321	-14 8 43.57	1.840 031 56		5 16 44	7.471	-21 45 10.44	1.912 242 82		
	9 16 33	46.390	-14 12 27.68	1.791 458 12		9 16 49	46.735	-22 6 27.89	1.959 714 43		
	13 16 38	7.530	-14 14 59.98	1.743 373 95		13 16 55	42.558	-22 26 51.90	2.007 287 19		
	17 16 42	8.099	-14 16 25.33	1.695 903 01		17 17 1	53.955	-22 46 15.86	2.054 858 74		
	21 16 45	46.425	-14 16 49.80	1.649 195 56		21 17 8	19.898	-23 4 33.46	2.102 337 42		
	25 16 49	0.975	-14 16 20.69	1.603 418 67		25 17 14	59.356	-23 21 38.85	2.149 646 11		
	29 16 51	50.376	-14 15 5.65	1.558 730 83		29 17 21	51.371	-23 37 26.73	2.196 727 75		
Avril	2 16 54	13.235	-14 13 12.10	1.515 281 22	Oct.	3 17 28	55.148	-23 51 52.29	2.243 535 70		
	6 16 56	8.088	-14 10 47.50	1.473 224 37		7 17 36	10.033	-24 4 50.86	2.290 008 63		
		10 16 57	33.447	-14 7 59.64		1.432 730 59		11 17 43	35.330	-24 16 17.89	2.336 068 66
		14 16 58	27.906	-14 4 56.96		1.393 991 32		15 17 51	10.265	-24 26 9.13	2.381 635 23
		18 16 58	50.301	-14 1 48.91		1.357 226 30		19 17 58	54.011	-24 34 20.77	2.426 634 67
	22 16 58	40.022	-13 58 45.85	1.322 668 84		23 18 6	45.724	-24 40 49.58	2.471 005 67		
	26 16 57	57.062	-13 55 57.87	1.290 539 70		27 18 14	44.592	-24 45 32.85	2.514 704 64		
Mai	30 16 56	41.831	-13 53 34.07	1.261 041 65	Nov.	31 18 22	49.947	-24 48 28.24	2.557 698 34		
	4 16 54	55.169	-13 51 43.02	1.234 374 63		4 18 31	1.237	-24 49 33.58	2.599 939 71		
	8 16 52	38.453	-13 50 32.95	1.210 739 68		8 18 39	17.874	-24 48 46.95	2.641 362 20		
	12 16 49	53.737	-13 50 12.11	1.190 340 96		12 18 47	39.202	-24 46 6.98	2.681 896 28		
	16 16 46	43.944	-13 50 49.01	1.173 382 21		16 18 56	4.521	-24 41 32.85	2.721 478 04		
	20 16 43	13.091	-13 52 32.19	1.160 045 82		20 19 4	33.113	-24 35 4.37	2.760 053 88		
	24 16 39	26.070	-13 55 28.76	1.150 459 65		24 19 13	4.296	-24 26 41.84	2.797 588 33		
	28 16 35	28.214	-13 59 43.97	1.144 696 91		28 19 21	37.510	-24 16 25.78	2.834 057 39		
Juin	1 16 31	25.033	-14 5 21.72	1.142 791 59	Déc.	2 19 30	12.316	-24 4 16.75	2.869 424 43		
	5 16 27	22.105	-14 12 24.98	1.144 743 92		6 19 38	48.268	-23 50 15.66	2.903 633 92		
		9 16 23	24.939	-14 20 56.16		1.150 527 73		10 19 47	24.872	-23 34 23.98	2.936 625 99
		13 16 19	38.965	-14 30 57.44		1.160 088 57		14 19 56	1.599	-23 16 43.81	2.968 345 12
		17 16 16	9.450	-14 42 30.26		1.173 327 97		18 20 4	37.920	-22 57 17.75	2.998 747 11
	21 16 13	1.102	-14 55 34.14	1.190 089 02		22 20 13	13.340	-22 36 8.81	3.027 805 28		
	25 16 10	17.678	-15 10 6.44	1.210 174 27		26 20 21	47.480	-22 13 19.97	3.055 505 63		
	29 16 8	1.957	-15 26 3.06	1.233 370 67		30 20 30	20.079	-21 48 54.02	3.081 825 15		

SATELLITES DE MARS

Coordonnées différentielles tangentielles (X,Y)
aux heures les plus proches des plus grandes élongations est

PHOBOS	II, 98
DÉIMOS	II, 106

PHOBOS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations est

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date				Date				Date						
Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	Mois	j	h	"			
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y			
Janv.	1	7	4.630	-2.785	Janv.	16	15	4.931	-2.455	Janv.	31	22	5.119	-2.199
	1	15	4.596	-2.844		16	22	4.705	-2.444	Févr.	1	6	5.414	-2.097
	1	22	4.362	-2.530		17	6	5.013	-2.527		1	14	5.293	-1.827
	2	6	4.658	-2.785		17	14	4.938	-2.411		1	21	5.176	-2.177
	2	14	4.601	-2.821		17	21	4.759	-2.443		2	5	5.444	-2.052
	2	21	4.410	-2.550		18	5	5.043	-2.504		2	13	5.293	-1.762
	3	5	4.685	-2.782		18	13	4.942	-2.366		2	20	5.232	-2.151
	3	13	4.605	-2.794		18	20	4.812	-2.440		3	4	5.472	-2.004
	3	20	4.456	-2.568		19	4	5.073	-2.477		3	12	5.290	-1.696
	4	4	4.711	-2.776		19	12	4.945	-2.317		3	19	5.287	-2.122
	4	12	4.608	-2.766		19	19	4.864	-2.435		4	3	5.498	-1.953
	4	19	4.502	-2.583		20	3	5.101	-2.448		4	11	5.285	-1.627
	5	3	4.736	-2.767		20	11	4.945	-2.267		4	18	5.340	-2.090
	5	11	4.609	-2.734		20	18	4.915	-2.426		5	2	5.522	-1.899
	5	18	4.548	-2.595		21	2	5.127	-2.416		5	10	5.277	-1.556
	6	2	4.760	-2.756		21	10	4.944	-2.214		5	17	5.391	-2.056
	6	10	4.609	-2.700		21	17	4.965	-2.414		6	1	5.544	-1.844
	6	17	4.592	-2.605		22	1	5.151	-2.381		6	9	5.267	-1.483
	7	1	4.782	-2.742		22	9	4.941	-2.158		6	16	5.440	-2.018
	7	9	4.607	-2.664		22	16	5.014	-2.400		7	0	5.563	-1.785
	7	16	4.636	-2.611		23	0	5.174	-2.344		7	8	5.254	-1.408
	8	0	4.804	-2.725		23	8	4.935	-2.101		7	15	5.487	-1.978
	8	8	4.604	-2.625		23	15	5.061	-2.382		7	23	5.580	-1.724
	8	15	4.678	-2.616		23	23	5.195	-2.303		8	7	5.238	-1.331
	8	23	4.824	-2.706		24	7	4.928	-2.041		8	14	5.532	-1.935
	9	7	4.600	-2.583		24	14	5.106	-2.362		8	22	5.594	-1.661
	9	14	4.720	-2.617		24	22	5.214	-2.260		9	6	5.220	-1.253
	9	22	4.842	-2.684		25	6	4.918	-1.978		9	13	5.576	-1.889
	10	6	4.593	-2.539		25	13	5.151	-2.339		9	21	5.606	-1.596
	10	13	4.760	-2.616		25	21	5.231	-2.215		10	5	5.199	-1.173
	10	21	4.859	-2.659		26	5	4.907	-1.914		10	12	5.617	-1.840
	11	5	4.585	-2.493		26	12	5.194	-2.313		10	20	5.615	-1.528
	11	12	4.800	-2.611		26	20	5.246	-2.167		11	3	5.254	-1.974
	11	20	4.875	-2.632		27	4	4.892	-1.848		11	11	5.656	-1.788
	12	4	4.576	-2.444		27	11	5.235	-2.284		11	19	5.622	-1.458
	12	11	4.839	-2.604		27	19	5.259	-2.116		12	2	5.320	-1.942
	12	19	4.890	-2.602		28	3	4.876	-1.779		12	10	5.692	-1.734
	13	3	4.564	-2.393		28	10	5.274	-2.252		12	18	5.626	-1.386
	13	10	4.876	-2.595		28	18	5.271	-2.063		13	1	5.384	-1.907
	13	18	4.903	-2.569		29	1	4.937	-2.250		13	9	5.727	-1.678
	14	2	4.551	-2.339		29	9	5.312	-2.218		13	17	5.627	-1.312
	14	9	4.912	-2.582		29	17	5.280	-2.008		14	0	5.446	-1.869
	14	17	4.914	-2.533		30	0	4.999	-2.236		14	8	5.759	-1.618
	15	0	4.594	-2.435		30	8	5.348	-2.180		14	16	5.626	-1.236
	15	8	4.947	-2.567		30	16	5.286	-1.950		14	23	5.506	-1.828
	15	16	4.924	-2.495		30	23	5.060	-2.219		15	7	5.788	-1.557
	15	23	4.650	-2.441		31	7	5.382	-2.140		15	15	5.621	-1.158
	16	7	4.981	-2.548		31	15	5.291	-1.890		15	22	5.565	-1.785

PHOBOS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations est

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Févr.	16	6	5.815	-1.493	Mars	3	14	5.854	-0.197	Mars	18	21	6.409	-0.387
	16	14	5.614	-1.079		3	21	6.047	-1.134		19	5	6.426	0.248
	16	21	5.621	-1.738		4	5	6.180	-0.646		19	12	5.966	-0.911
	17	5	5.839	-1.426		4	13	5.829	-0.103		19	20	6.444	-0.296
	17	13	5.604	-0.997		4	20	6.094	-1.062		20	4	6.422	0.347
	17	20	5.675	-1.689		5	4	6.190	-0.560		20	11	6.035	-0.833
	18	4	5.861	-1.357		5	12	5.801	-0.009		20	19	6.476	-0.204
	18	12	5.591	-0.915		5	19	6.138	-0.988		21	3	6.413	0.447
	18	19	5.727	-1.636		6	3	6.197	-0.472		21	10	6.101	-0.754
	19	3	5.880	-1.286		6	11	5.770	0.084		21	18	6.505	-0.110
	19	11	5.575	-0.830		6	18	6.179	-0.912		22	2	6.402	0.547
	19	18	5.777	-1.581		7	2	6.201	-0.383		22	9	6.164	-0.672
	20	2	5.896	-1.213		7	9	5.751	-1.303		22	17	6.530	-0.015
	20	10	5.555	-0.744		7	17	6.217	-0.833		23	1	6.386	0.648
	20	17	5.824	-1.524		8	1	6.201	-0.292		23	8	6.225	-0.587
	21	1	5.909	-1.138		8	8	5.821	-1.240		23	16	6.552	0.081
	21	9	5.533	-0.657		8	16	6.253	-0.753		24	0	6.367	0.750
21	16	5.869	-1.464	9	0	6.198	-0.200	24	7	6.282	-0.501			
22	0	5.920	-1.060	9	7	5.888	-1.175	24	15	6.571	0.179			
22	8	5.508	-0.569	9	15	6.285	-0.670	24	23	6.344	0.852			
22	15	5.911	-1.401	9	23	6.192	-0.106	25	6	6.336	-0.412			
22	23	5.927	-0.981	10	6	5.953	-1.107	25	14	6.585	0.279			
23	6	5.509	-1.661	10	14	6.314	-0.585	25	22	6.318	0.954			
23	14	5.951	-1.335	10	22	6.182	-0.012	26	5	6.388	-0.321			
23	22	5.932	-0.900	11	5	6.015	-1.036	26	13	6.597	0.379			
24	5	5.578	-1.613	11	13	6.340	-0.499	26	21	6.288	1.056			
24	13	5.988	-1.268	11	21	6.169	0.083	27	4	6.435	-0.229			
24	21	5.933	-0.817	12	4	6.075	-0.963	27	12	6.604	0.481			
25	4	5.645	-1.563	12	12	6.362	-0.410	27	20	6.254	1.158			
25	12	6.022	-1.198	12	20	6.152	0.179	28	3	6.480	-0.134			
25	20	5.932	-0.733	13	3	6.132	-0.887	28	11	6.609	0.583			
26	3	5.710	-1.510	13	11	6.382	-0.320	28	19	6.217	1.260			
26	11	6.053	-1.125	13	19	6.132	0.276	29	2	6.521	-0.038			
26	19	5.927	-0.647	14	2	6.185	-0.809	29	10	6.609	0.686			
27	2	5.772	-1.454	14	10	6.398	-0.229	29	18	6.176	1.362			
27	10	6.082	-1.050	14	18	6.108	0.374	30	1	6.559	0.059			
27	18	5.919	-0.559	15	1	6.236	-0.729	30	9	6.606	0.790			
28	1	5.832	-1.395	15	9	6.410	-0.136	30	17	6.131	1.464			
28	9	6.108	-0.974	15	17	6.081	0.472	31	0	6.594	0.158			
28	17	5.907	-0.470	16	0	6.284	-0.646	31	8	6.599	0.895			
Mars	1	0	5.890	-1.334	16	8	6.420	-0.041	Avril	31	15	6.144	-0.495	
	1	8	6.130	-0.895	16	16	6.051	0.571		31	23	6.625	0.259	
	1	16	5.893	-0.380	16	23	6.329	-0.562		1	7	6.589	1.000	
	1	23	5.945	-1.269	17	7	6.425	0.053		1	14	6.211	-0.405	
	2	7	6.150	-0.814	17	15	6.016	0.670		1	22	6.653	0.361	
	2	15	5.875	-0.289	17	22	6.371	-0.475		2	6	6.575	1.105	
	2	22	5.997	-1.203	18	6	6.428	0.150		2	13	6.274	-0.312	
3	6	6.167	-0.731	18	14	5.978	0.769	2	21	6.677	0.464			

PHOBOS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations est
Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date					Date					Date				
Mois	j	h	X	Y	Mois	j	h	X	Y	Mois	j	h	X	Y
Avril	3	5	6.557	1.210	Avril	18	12	6.608	0.569	Mai	3	20	6.881	2.409
	3	12	6.335	-0.217		18	20	6.840	1.486		4	4	6.437	3.223
	3	20	6.698	0.568		19	4	6.533	2.291		4	11	6.810	1.528
	4	4	6.536	1.316		19	11	6.651	0.680		4	19	6.868	2.523
	4	11	6.392	-0.121		19	19	6.842	1.599		5	3	6.833	3.322
	4	19	6.715	0.674		20	3	6.493	2.396		5	10	6.836	1.648
	5	3	6.511	1.421		20	10	6.691	0.792		5	18	6.852	2.637
	5	10	6.446	-0.022		20	18	6.839	1.712		6	1	6.347	0.655
	5	18	6.728	0.780		21	2	6.448	2.500		6	9	6.858	1.769
	6	2	6.482	1.526		21	9	6.728	0.905		6	17	6.833	2.749
	6	9	6.496	0.077		21	17	6.834	1.824		7	0	6.406	0.775
	6	17	6.738	0.887		22	1	6.400	2.603		7	8	6.877	1.889
	7	1	6.450	1.631		22	8	6.761	1.019		7	16	6.810	2.860
	7	8	6.544	0.179		22	16	6.824	1.936		7	23	6.462	0.896
	7	16	6.744	0.994		23	0	6.349	2.704		8	7	6.893	2.010
	8	0	6.413	1.736		23	7	6.790	1.134		8	15	6.783	2.970
	8	7	6.588	0.282		23	15	6.811	2.048		8	22	6.515	1.018
	8	15	6.746	1.102		23	22	6.304	0.246		9	6	6.905	2.130
	8	23	6.374	1.840		24	6	6.816	1.249		9	14	6.754	3.079
	9	6	6.628	0.387		24	14	6.795	2.160		9	21	6.564	1.140
	9	14	6.745	1.211		24	21	6.366	0.357		10	5	6.914	2.250
	9	22	6.330	1.943		25	5	6.838	1.365		10	13	6.721	3.187
	10	5	6.665	0.493		25	13	6.775	2.271		10	20	6.610	1.264
	10	13	6.741	1.319		25	20	6.426	0.470		11	4	6.920	2.370
	10	21	6.284	2.046		26	4	6.857	1.481		11	12	6.685	3.292
	11	4	6.699	0.600		26	12	6.751	2.381		11	19	6.653	1.388
	11	12	6.732	1.428		26	19	6.482	0.584		12	3	6.922	2.489
	11	20	6.233	2.148		27	3	6.872	1.597		12	11	6.646	3.397
	12	3	6.729	0.708		27	11	6.724	2.491		12	18	6.693	1.512
	12	11	6.720	1.537		27	18	6.534	0.699		13	2	6.921	2.607
	12	18	6.279	-0.069		28	2	6.884	1.714		13	10	6.604	3.499
	13	2	6.756	0.817		28	10	6.693	2.599		13	17	6.730	1.636
	13	10	6.704	1.646		28	17	6.584	0.815		14	1	6.917	2.724
	13	17	6.342	0.032		29	1	6.892	1.830		14	9	6.558	3.600
	14	1	6.779	0.927		29	9	6.659	2.706		14	16	6.763	1.761
	14	9	6.685	1.755		29	16	6.630	0.932		15	0	6.910	2.841
	14	16	6.402	0.137		30	0	6.897	1.947		15	8	6.510	3.699
	15	0	6.798	1.038		30	8	6.621	2.813		15	15	6.794	1.886
	15	8	6.662	1.863		30	15	6.673	1.050		15	23	6.899	2.957
	15	15	6.458	0.243		30	23	6.898	2.063		16	7	6.458	3.795
	15	23	6.814	1.149	Mai	1	7	6.580	2.917		16	14	6.821	2.010
	16	7	6.635	1.971		1	14	6.712	1.169		16	22	6.885	3.071
	16	14	6.512	0.350		1	22	6.896	2.179		17	6	6.404	3.890
	16	22	6.826	1.261		2	6	6.536	3.021		17	13	6.845	2.135
	17	6	6.605	2.079		2	13	6.748	1.288		17	21	6.868	3.184
	17	13	6.562	0.459		2	21	6.890	2.294		18	5	6.347	3.982
	17	21	6.835	1.373		3	5	6.488	3.123		18	12	6.865	2.259
	18	5	6.571	2.185		3	12	6.781	1.408		18	20	6.848	3.296

PHOBOS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations est

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Mai	19	3	6.402	1.177	Juin	3	11	6.908	3.213	Juin	18	19	6.723	4.918
	19	11	6.883	2.383		3	19	6.757	4.213		19	2	6.644	2.878
	19	19	6.824	3.406		4	2	6.560	2.094		19	10	6.942	4.104
	20	2	6.456	1.305		4	10	6.915	3.334		19	18	6.692	5.004
	20	10	6.898	2.507		4	18	6.725	4.312		20	1	6.684	3.011
	20	18	6.798	3.514		5	1	6.603	2.227		20	9	6.946	4.216
	21	1	6.507	1.433		5	9	6.919	3.453		20	17	6.659	5.086
	21	9	6.909	2.629		5	17	6.691	4.408		21	0	6.722	3.143
	21	17	6.769	3.621		6	0	6.643	2.359		21	8	6.947	4.326
	22	0	6.554	1.562		6	8	6.921	3.572		21	16	6.624	5.165
	22	8	6.917	2.751		6	16	6.654	4.502		21	23	6.758	3.273
	22	16	6.736	3.726		6	23	6.681	2.491		22	7	6.947	4.434
	22	23	6.599	1.691		7	7	6.921	3.688		22	15	6.587	5.241
	23	7	6.922	2.872		7	15	6.615	4.594		22	22	6.791	3.402
	23	15	6.701	3.829		7	22	6.715	2.622		23	6	6.944	4.539
	23	22	6.641	1.820		8	6	6.918	3.803		23	14	6.547	5.313
	24	6	6.925	2.992		8	14	6.574	4.683		23	21	6.823	3.529
	24	14	6.663	3.930		8	21	6.748	2.753		24	5	6.940	4.641
	24	21	6.679	1.949		9	5	6.912	3.916		24	13	6.506	5.382
	25	5	6.924	3.111		9	13	6.530	4.768		24	20	6.853	3.655
25	13	6.622	4.029	9	20	6.777	2.882	25	4	6.933	4.741			
25	20	6.715	2.078	10	4	6.904	4.027	25	12	6.463	5.447			
26	4	6.920	3.229	10	12	6.484	4.851	25	19	6.880	3.779			
26	12	6.578	4.126	10	19	6.804	3.011	26	3	6.924	4.838			
26	19	6.748	2.206	11	3	6.893	4.136	26	11	6.419	5.509			
27	3	6.913	3.345	11	11	6.436	4.931	26	18	6.906	3.901			
27	11	6.532	4.220	11	18	6.829	3.138	27	2	6.914	4.932			
27	18	6.778	2.335	12	2	6.880	4.242	27	9	6.414	2.700			
28	2	6.903	3.460	12	10	6.385	5.008	27	17	6.930	4.021			
28	10	6.483	4.312	12	17	6.852	3.265	28	1	6.901	5.023			
28	17	6.805	2.463	13	1	6.864	4.347	28	8	6.470	2.838			
29	1	6.891	3.573	13	8	6.357	2.064	28	16	6.951	4.139			
29	9	6.431	4.401	13	16	6.871	3.390	29	0	6.887	5.111			
29	16	6.829	2.590	14	0	6.846	4.448	29	7	6.524	2.975			
30	0	6.875	3.684	14	7	6.411	2.202	29	15	6.971	4.254			
30	8	6.376	4.487	14	15	6.889	3.513	29	23	6.870	5.196			
30	15	6.851	2.716	14	23	6.826	4.548	30	6	6.576	3.110			
30	23	6.857	3.794	15	6	6.462	2.338	30	14	6.989	4.368			
31	6	6.364	1.561	15	14	6.904	3.635	30	22	6.852	5.277			
31	14	6.869	2.842	15	22	6.804	4.645	Juill.	1	5	6.627	3.245		
Juin	31	22	6.836	3.902	16	5	6.511	2.475	1	13	7.005	4.479		
	1	5	6.417	1.694	16	13	6.917	3.755	1	21	6.832	5.355		
	1	13	6.885	2.967	16	21	6.779	4.739	2	4	6.676	3.378		
	1	21	6.812	4.008	17	4	6.557	2.610	2	12	7.020	4.587		
	2	4	6.467	1.827	17	12	6.927	3.873	2	20	6.810	5.430		
	2	12	6.897	3.090	17	20	6.752	4.830	3	3	6.723	3.509		
	2	20	6.786	4.111	18	3	6.602	2.745	3	11	7.032	4.693		
	3	3	6.515	1.961	18	11	6.936	3.990	3	19	6.786	5.501		

PHOBOS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations est

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date				Date				Date						
Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	Mois	j	h	"			
Juill.	4	2	6.768	3.639	Juill.	19	10	7.285	5.385	Août	3	18	7.401	6.207
	4	10	7.043	4.795		19	18	6.986	5.980		4	1	7.503	5.101
	4	18	6.761	5.568		20	1	7.061	4.472		4	9	7.758	5.901
	5	1	6.812	3.766		20	9	7.305	5.467		4	17	7.393	6.219
	5	9	7.052	4.895		20	17	6.968	6.020		5	0	7.572	5.199
	5	17	6.734	5.632		21	0	7.115	4.587		5	8	7.789	5.956
	6	0	6.854	3.892		21	8	7.323	5.546		5	16	7.382	6.226
	6	8	7.059	4.992		21	16	6.948	6.056		5	23	7.641	5.293
	6	16	6.705	5.691		21	23	7.167	4.699		6	7	7.818	6.006
	6	23	6.895	4.016		22	7	7.339	5.622		6	15	7.370	6.228
	7	7	7.065	5.086		22	15	6.927	6.088		6	22	7.708	5.383
	7	15	6.674	5.747		22	22	7.218	4.808		7	6	7.846	6.052
	7	22	6.934	4.138		23	6	7.354	5.693		7	14	7.355	6.226
	8	6	7.069	5.177		23	14	6.904	6.114		7	21	7.774	5.470
	8	14	6.642	5.799		23	21	7.267	4.915		8	5	7.872	6.093
	8	21	6.972	4.257		24	5	7.367	5.760		8	13	7.338	6.218
	9	5	7.071	5.264		24	13	6.879	6.137		8	20	7.838	5.552
	9	13	6.608	5.847		24	20	7.316	5.017		9	4	7.896	6.130
	9	20	7.008	4.374		25	4	7.379	5.823		9	12	7.319	6.204
	10	4	7.071	5.348		25	12	6.853	6.154		9	19	7.901	5.630
	10	12	6.572	5.890		25	19	7.363	5.117		10	3	7.918	6.161
	10	19	7.042	4.488		26	3	7.389	5.882		10	10	7.356	4.756
	11	3	7.070	5.429		26	10	6.834	4.068		10	18	7.963	5.704
	11	11	6.535	5.930		26	18	7.408	5.213		11	2	7.938	6.187
	11	18	7.075	4.600		27	2	7.397	5.936		11	9	7.453	4.867
	12	2	7.067	5.506		27	9	6.912	4.195		11	17	8.024	5.773
	12	9	6.591	3.462		27	17	7.453	5.305		12	1	7.956	6.209
	12	17	7.107	4.709		28	1	7.404	5.986		12	8	7.550	4.974
	13	1	7.063	5.579		28	8	6.989	4.319		12	16	8.082	5.838
	13	8	6.654	3.596		28	16	7.496	5.393		13	0	7.971	6.225
	13	16	7.137	4.815		29	0	7.409	6.032		13	7	7.646	5.078
	14	0	7.057	5.648		29	7	7.065	4.440		13	15	8.140	5.898
	14	7	6.716	3.728		29	15	7.538	5.478		13	23	7.984	6.236
	14	15	7.165	4.918		29	23	7.412	6.073		14	6	7.740	5.178
	14	23	7.049	5.714		30	6	7.141	4.558		14	14	8.195	5.953
	15	6	6.776	3.857		30	14	7.578	5.559		14	22	7.995	6.242
	15	14	7.192	5.018		30	22	7.414	6.109		15	5	7.834	5.273
	15	22	7.040	5.775		31	5	7.215	4.673		15	13	8.249	6.004
	16	5	6.836	3.985		31	13	7.617	5.636		15	21	8.004	6.242
	16	13	7.218	5.115		31	21	7.413	6.141		16	4	7.927	5.365
	16	21	7.029	5.832	Août	1	4	7.289	4.785		16	12	8.301	6.049
	17	4	6.894	4.111		1	12	7.654	5.708		16	20	8.010	6.238
	17	12	7.242	5.208		1	20	7.411	6.168		17	3	8.019	5.452
	17	20	7.016	5.886		2	3	7.361	4.894		17	11	8.351	6.090
	18	3	6.951	4.234		2	11	7.690	5.777		17	19	8.013	6.228
	18	11	7.264	5.298		2	19	7.407	6.190		18	2	8.109	5.536
	18	19	7.002	5.935		3	2	7.433	4.999		18	10	8.399	6.126
	19	2	7.007	4.354		3	10	7.725	5.841		18	18	8.013	6.212

PHOBOS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations est

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Août	19	1	8.199	5.614	Sept.	3	9	9.363	6.189	Sept.	18	16	9.784	5.808
	19	9	8.444	6.156		3	17	8.782	5.899		19	0	10.578	6.112
	19	17	8.011	6.191		4	0	9.289	6.009		19	8	10.517	5.910
	20	0	8.286	5.689		4	8	9.412	6.178		19	15	9.956	5.863
	20	8	8.488	6.181		4	16	8.772	5.836		19	23	10.688	6.111
	20	16	8.005	6.165		4	23	9.391	6.046		20	7	10.556	5.853
	20	23	8.373	5.758		5	7	9.459	6.162		20	14	10.124	5.912
	21	7	8.529	6.201		5	15	8.757	5.766		20	22	10.794	6.104
	21	15	7.997	6.133		5	22	9.490	6.078		21	6	10.589	5.791
	21	22	8.458	5.823		6	6	9.501	6.139		21	13	10.291	5.955
	22	6	8.567	6.216		6	13	8.864	5.594		21	21	10.896	6.091
	22	14	7.985	6.096		6	21	9.587	6.104		22	5	10.616	5.722
	22	21	8.541	5.882		7	5	9.539	6.111		22	12	10.454	5.992
	23	5	8.603	6.225		7	12	9.009	5.667		22	20	10.992	6.072
	23	13	7.970	6.053		7	20	9.681	6.125		23	4	10.637	5.647
	23	20	8.622	5.937		8	4	9.574	6.077		23	11	10.615	6.024
	24	4	8.636	6.228		8	11	9.153	5.734		23	19	11.084	6.046
	24	11	8.041	5.257		8	19	9.772	6.139		24	3	10.651	5.566
	24	19	8.702	5.987		9	3	9.603	6.037		24	10	10.772	6.049
	25	3	8.666	6.227		9	10	9.295	5.797		24	18	11.171	6.015
25	10	8.161	5.349	9	18	9.860	6.148	25	2	10.659	5.479			
25	18	8.779	6.032	10	2	9.629	5.991	25	9	10.925	6.068			
26	2	8.694	6.219	10	9	9.435	5.854	25	17	11.252	5.977			
26	9	8.281	5.437	10	17	9.945	6.151	26	1	10.659	5.386			
26	17	8.854	6.071	11	1	9.650	5.940	26	8	11.075	6.082			
27	1	8.718	6.206	11	8	9.573	5.905	26	16	11.327	5.933			
27	8	8.399	5.520	11	16	10.025	6.149	27	0	10.653	5.288			
27	16	8.927	6.105	12	0	9.666	5.882	27	7	11.220	6.089			
28	0	8.739	6.188	12	7	9.709	5.952	27	15	11.397	5.882			
28	7	8.516	5.599	12	15	10.102	6.140	27	23	10.639	5.184			
28	15	8.998	6.134	12	23	9.676	5.819	28	6	11.362	6.090			
28	23	8.756	6.164	13	6	9.842	5.992	28	14	11.460	5.826			
29	6	8.631	5.673	13	14	10.175	6.125	28	22	10.618	5.075			
29	14	9.066	6.157	13	22	9.682	5.750	29	5	11.498	6.084			
29	22	8.770	6.134	14	5	9.973	6.027	29	13	11.516	5.763			
30	5	8.745	5.742	14	13	10.244	6.104	29	20	10.750	5.946			
30	13	9.131	6.174	14	21	9.682	5.675	30	4	11.630	6.072			
30	21	8.780	6.098	15	4	10.100	6.056	30	12	11.566	5.694			
31	4	8.858	5.805	15	12	10.308	6.078	30	19	10.948	5.986			
31	12	9.194	6.187	15	20	9.676	5.594	Oct.	1	3	11.757	6.055		
Sept.	31	20	8.787	6.057	16	3	10.225	6.079	1	11	11.609	5.619		
	1	3	8.968	5.864	16	11	10.368	6.045	1	18	11.144	6.020		
	1	11	9.253	6.193	16	19	9.665	5.508	2	2	11.878	6.030		
	1	19	8.790	6.010	17	2	10.346	6.096	2	10	11.644	5.538		
	2	2	9.077	5.918	17	10	10.423	6.006	2	17	11.335	6.048		
	2	10	9.310	6.194	17	18	9.648	5.416	3	1	11.993	6.000		
	2	18	8.788	5.958	18	1	10.464	6.107	3	9	11.672	5.452		
	3	1	9.184	5.966	18	9	10.473	5.961	3	16	11.523	6.070		

PHOBOS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations est

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Oct.	4 0	12.102	5.963	Oct.	19 8	12.735	4.543	Nov.	3 15	15.841	5.874
	4 8	11.692	5.359		19 15	13.752	6.079		3 23	15.098	4.824
	4 15	11.707	6.085		19 23	13.790	5.472		4 6	15.515	6.423
	4 23	12.205	5.920		20 6	12.855	6.208		4 14	15.950	5.803
	5 7	11.703	5.260		20 14	13.920	6.046		4 22	15.063	4.697
	5 14	11.886	6.094		20 22	13.847	5.381		5 5	15.746	6.407
	5 22	12.300	5.870		21 5	13.112	6.229		5 13	16.044	5.726
	6 6	11.706	5.156		21 13	14.078	6.007		5 21	15.011	4.566
	6 13	12.061	6.097		21 21	13.892	5.284		6 4	15.964	6.385
	6 21	12.389	5.814		22 4	13.363	6.244		6 12	16.123	5.644
7 5	11.701	5.046	22 12	14.227	5.961	6 20	14.941	4.430			
7 12	12.230	6.093	22 20	13.925	5.181	7 3	16.170	6.357			
7 20	12.470	5.752	23 3	13.607	6.253	7 11	16.185	5.556			
8 4	11.686	4.930	23 11	14.367	5.910	7 18	15.147	6.658			
8 11	12.394	6.084	23 19	13.946	5.072	8 2	16.362	6.323			
8 19	12.544	5.684	24 2	13.845	6.256	8 10	16.230	5.463			
9 3	11.661	4.809	24 10	14.497	5.852	8 17	15.458	6.681			
9 10	12.552	6.067	24 18	13.955	4.958	9 1	16.539	6.283			
9 18	12.609	5.610	25 1	14.075	6.252	9 9	16.257	5.364			
10 1	11.707	6.057	25 9	14.616	5.787	9 16	15.757	6.697			
10 9	12.704	6.045	25 17	13.951	4.838	10 0	16.701	6.238			
10 17	12.666	5.530	26 0	14.297	6.242	10 8	16.266	5.260			
11 0	11.935	6.088	26 8	14.723	5.717	10 15	16.045	6.708			
11 8	12.849	6.016	26 16	13.933	4.713	10 23	16.847	6.187			
11 16	12.714	5.443	26 23	14.511	6.226	11 7	16.255	5.151			
11 23	12.160	6.112	27 7	14.819	5.641	11 14	16.320	6.713			
12 7	12.987	5.981	27 15	13.901	4.583	11 22	16.976	6.131			
12 15	12.753	5.351	27 22	14.716	6.203	12 6	16.225	5.037			
12 22	12.380	6.130	28 6	14.903	5.558	12 13	16.581	6.713			
13 6	13.118	5.939	28 14	13.855	4.447	12 21	17.087	6.069			
13 14	12.782	5.252	28 21	14.911	6.174	13 5	16.174	4.918			
13 21	12.594	6.142	29 5	14.974	5.470	13 12	16.828	6.707			
14 5	13.241	5.891	29 12	13.922	6.392	13 20	17.180	6.001			
14 13	12.801	5.148	29 20	15.095	6.139	14 4	16.102	4.794			
14 20	12.803	6.147	30 4	15.031	5.376	14 11	17.060	6.695			
15 4	13.355	5.837	30 11	14.209	6.412	14 19	17.253	5.928			
15 12	12.810	5.038	30 19	15.269	6.098	15 3	16.007	4.666			
15 19	13.007	6.147	31 3	15.075	5.277	15 10	17.275	6.678			
16 3	13.461	5.776	31 10	14.489	6.426	15 18	17.305	5.850			
16 11	12.808	4.922	31 18	15.431	6.051	16 1	16.167	6.994			
16 18	13.204	6.139	Nov.	1 2	15.104	5.171	16 9	17.472	6.655		
17 2	13.558	5.709		1 9	14.760	6.434	16 17	17.336	5.766		
17 10	12.796	4.801		1 17	15.581	5.998	17 0	16.497	7.028		
17 17	13.394	6.126		2 1	15.118	5.061	17 8	17.651	6.626		
18 1	13.646	5.636	2 8	15.022	6.437	17 16	17.346	5.677			
18 9	12.772	4.675	2 16	15.718	5.939	17 23	16.814	7.056			
18 16	13.577	6.105	3 0	15.116	4.945	18 7	17.810	6.593			
19 0	13.723	5.557	3 7	15.274	6.433	18 15	17.332	5.583			

PHOBOS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes elongation est

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Nov.	18	22	17.114	7.079	Déc.	3	14	18.500	8.006	Déc.	18	6	19.064	8.972
	19	6	17.949	6.553		3	22	19.495	7.672		18	14	19.899	8.904
	19	14	17.295	5.484		4	6	18.869	6.709		18	22	19.082	8.112
	19	21	17.398	7.097		4	13	18.779	8.066		19	5	19.245	9.055
	20	5	18.066	6.509		4	21	19.572	7.665		19	13	19.858	8.912
	20	13	17.233	5.380		5	5	18.736	6.637		19	21	18.821	8.044
	20	20	17.663	7.109		5	12	19.029	8.120		20	4	19.392	9.130
	21	4	18.161	6.459		5	20	19.617	7.653		20	12	19.781	8.910
	21	12	17.146	5.271		6	4	18.569	6.557		20	20	18.526	7.964
	21	19	17.910	7.117		6	11	19.251	8.168		21	3	19.502	9.194
	22	3	18.233	6.403		6	19	19.630	7.633		21	11	19.668	8.897
	22	11	17.034	5.157		7	3	18.370	6.471		21	19	18.198	7.873
	22	18	18.136	7.118		7	10	19.443	8.210		22	2	19.576	9.249
	23	2	18.280	6.342		7	18	19.610	7.607		22	10	19.519	8.873
	23	10	16.895	5.038		8	2	18.136	6.378		22	17	18.273	8.999
	23	17	18.341	7.115		8	9	19.603	8.245		23	1	19.613	9.293
	24	1	18.301	6.276		8	17	19.555	7.574		23	9	19.335	8.837
	24	8	17.217	7.423		9	0	18.360	8.342		23	16	18.493	9.109
	24	16	18.523	7.106		9	8	19.731	8.274		24	0	19.615	9.326
	25	0	18.297	6.205		9	16	19.466	7.533		24	8	19.116	8.789
25	7	17.549	7.472	9	23	18.662	8.431	24	15	18.678	9.208			
25	15	18.681	7.091	10	7	19.825	8.295	24	23	19.581	9.347			
25	23	18.265	6.128	10	15	19.342	7.484	25	7	18.864	8.729			
26	6	17.862	7.515	10	22	18.934	8.514	25	14	18.827	9.298			
26	14	18.815	7.072	11	6	19.885	8.309	25	22	19.511	9.357			
26	22	18.206	6.046	11	14	19.183	7.427	26	6	18.580	8.658			
27	5	18.153	7.554	11	21	19.175	8.590	26	13	18.941	9.376			
27	13	18.923	7.046	12	5	19.910	8.316	26	21	19.405	9.355			
27	21	18.118	5.958	12	13	18.988	7.362	27	5	18.264	8.573			
28	4	18.422	7.587	12	20	19.383	8.659	27	12	19.020	9.444			
28	12	19.004	7.016	13	4	19.900	8.314	27	20	19.266	9.340			
28	20	18.001	5.865	13	12	18.758	7.289	28	4	17.918	8.477			
29	3	18.668	7.615	13	19	19.557	8.721	28	11	19.064	9.499			
29	11	19.056	6.979	14	3	19.854	8.304	28	19	19.094	9.312			
29	19	17.854	5.766	14	11	18.494	7.207	29	2	17.690	9.046			
30	2	18.888	7.638	14	18	19.697	8.775	29	10	19.072	9.542			
30	10	19.080	6.937	15	2	19.771	8.285	29	18	18.889	9.272			
30	18	17.676	5.662	15	9	18.311	8.672	30	1	17.877	9.157			
Déc.	1	1	19.082	7.655	15	17	19.802	8.821	30	9	19.047	9.573		
	1	9	19.074	6.889	16	1	19.653	8.256	30	17	18.652	9.218		
1	16	17.866	7.871	16	8	18.596	8.780	31	0	18.030	9.257			
2	0	19.248	7.666	16	16	19.870	8.858	31	8	18.988	9.591			
2	8	19.037	6.835	17	0	19.498	8.219	31	16	18.386	9.152			
2	15	18.195	7.942	17	7	18.847	8.880	31	23	18.149	9.345			
2	23	19.386	7.672	17	15	19.903	8.886							
3	7	18.969	6.775	17	23	19.308	8.171							

DÉIMOS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations est

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date				Date				Date				
Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	
Janv.	1	3	11.466	Mars	2	21	15.447	Mai	2	14	17.046	
	2	9	11.496		4	3	15.455		3	21	17.114	
	3	16	11.608		5	10	15.570		5	3	17.117	
	4	22	11.683		6	16	15.640		6	10	17.059	
	6	5	11.729		7	23	15.636		7	16	17.133	
	7	11	11.851		9	5	15.770		8	22	17.109	
	8	17	11.900		10	11	15.816		10	5	17.095	
	10	0	11.998		11	18	15.843		11	11	17.140	
	11	6	12.093		13	0	15.955		12	17	17.087	
	12	13	12.120		14	6	15.972		14	0	17.117	
	13	19	12.263		15	13	16.035		15	6	17.136	
	15	1	12.331		16	19	16.118		16	12	17.050	
	16	8	12.406		18	1	16.112		17	19	17.132	
	17	14	12.524		19	8	16.207		19	1	17.117	
	18	20	12.562		20	14	16.265		20	8	17.078	
	20	3	12.690		21	21	16.235		21	14	17.133	
	21	9	12.777		23	3	16.360		22	20	17.090	
	22	16	12.825		24	9	16.394		24	3	17.101	
	23	22	12.964		25	16	16.394		25	9	17.126	
	25	4	13.025		26	22	16.497		26	15	17.050	
	26	11	13.119		28	4	16.502		27	22	17.116	
	27	17	13.231		29	11	16.538		29	4	17.110	
	28	23	13.262		30	17	16.612		30	11	17.061	
	30	6	13.403		31	23	16.595		31	17	17.125	
	31	12	13.488	Avril	2	6	16.662		Juin	1	23	17.082
Févr.	1	19	13.538		3	12	16.712		3	6	17.096	
	3	1	13.678		4	18	16.667		4	12	17.123	
	4	7	13.733		6	1	16.768		5	18	17.050	
	5	14	13.829		7	7	16.793		7	1	17.122	
	6	20	13.939		8	14	16.763		8	7	17.117	
	8	2	13.969		9	20	16.859		9	14	17.082	
	9	9	14.104		11	2	16.856		10	20	17.145	
	10	15	14.190		12	9	16.863		12	2	17.104	
	11	22	14.227		13	15	16.929		13	9	17.135	
	13	4	14.369		14	21	16.903		14	15	17.164	
	14	10	14.425		16	4	16.942		15	22	17.090	
	15	17	14.502		17	10	16.986		17	4	17.189	
	16	23	14.618		18	16	16.930		18	10	17.177	
	18	5	14.647		19	23	17.009		19	17	17.179	
	19	12	14.764		21	5	17.025		20	23	17.237	
	20	18	14.851		22	12	16.972		22	5	17.191	
	22	1	14.860		23	18	17.059		23	12	17.264	
	23	7	15.007		25	0	17.047		24	18	17.286	
	24	13	15.071		26	7	17.035		26	1	17.261	
	25	20	15.112		27	13	17.093		27	7	17.351	
	27	2	15.237		28	19	17.056		28	13	17.333	
	28	8	15.271		30	2	17.080		29	20	17.388	
Mars	1	15	15.350	Mai	1	8	17.114		Juill.	1	2	17.440

DÉIMOS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations est

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date				Date				Date			
Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	Mois	j	h	"
Juill.	2	9	17.396	Sept.	1	3	23.488	Oct.	31	20	39.199
	3	15	17.519		2	9	23.630	Nov.	2	2	39.710
	4	21	17.528		3	16	23.924		3	8	40.062
	6	4	17.572		4	22	24.173		4	15	40.445
	7	10	17.652		6	5	24.304		5	21	41.000
	8	16	17.623		7	11	24.665		7	3	41.383
	9	23	17.750		8	17	24.883		8	10	41.686
	11	5	17.793		10	0	25.097		9	16	42.283
	12	12	17.826		11	6	25.429		10	22	42.706
	13	18	17.938		12	12	25.627		12	4	42.961
	15	0	17.937		13	19	25.912		13	11	43.533
	16	7	18.061		15	1	26.228		14	17	44.008
	17	13	18.133		16	7	26.396		15	23	44.299
	18	20	18.160		17	14	26.760		17	6	44.734
	20	2	18.307		18	20	27.053		18	12	45.245
	21	8	18.334		20	3	27.214		19	18	45.592
	22	15	18.458		21	9	27.637		21	1	45.832
	23	21	18.560		22	15	27.912		22	7	46.396
	25	4	18.586		23	22	28.138		23	13	46.785
	26	10	18.763		25	4	28.544		24	19	46.997
	27	16	18.827		26	10	28.810		26	2	47.407
	28	23	18.945		27	17	29.087		27	8	47.839
	30	5	19.084		28	23	29.491		28	14	48.101
	31	11	19.103		30	5	29.739		29	21	48.221
Août	1	18	19.318	Oct.	1	12	30.075	Déc.	1	3	48.706
	3	0	19.417		2	18	30.469		2	9	49.003
	4	7	19.528		4	0	30.715		3	15	49.133
	5	13	19.709		5	7	31.096		4	22	49.313
	6	19	19.763		6	13	31.490		6	4	49.659
	8	2	19.975		7	19	31.730		7	10	49.819
	9	8	20.112		9	2	32.152		8	16	49.808
	10	15	20.212		10	8	32.552		9	23	49.996
	11	21	20.435		11	14	32.789		11	5	50.194
	13	3	20.536		12	21	33.249		12	11	50.219
	14	10	20.729		14	3	33.649		13	17	50.064
	15	16	20.916		15	9	33.898		15	0	50.210
	16	23	20.990		16	16	34.374		16	6	50.262
	18	5	21.266		17	22	34.794		17	12	50.153
	19	11	21.416		19	4	35.045		18	18	49.861
	20	18	21.580		20	11	35.540		20	1	49.927
	22	0	21.825		21	17	35.972		21	7	49.846
	23	6	21.935		22	23	36.242		22	13	49.608
	24	13	22.196		24	6	36.735		23	20	49.199
	25	19	22.401		25	12	37.188		25	2	49.167
	27	2	22.523		26	18	37.480		26	8	48.971
	28	8	22.828		28	1	37.953		27	14	48.612
	29	14	23.005		29	7	38.440		28	21	48.134
	30	21	23.210		30	13	38.752		30	3	47.986

DÉIMOS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongation est
Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Déc.	31	9	47.690	24.072	Janv.	2	22	46.711	23.956					
Janv.	1	15	47.229	24.168		4	4	46.468	24.139					

SATELLITES DE JUPITER

Coordonnées différentielles tangentielles (X,Y)
aux heures les plus proches des plus grandes élongations

IO	II. 110
EUROPE	II. 113
GANYMÈDE	II. 115
CALLISTO	II. 116

IO 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Janv.	1	15	-93.436	14.945	Févr.	11	8	-102.006	10.794	Mars	24	1	-115.293	8.537	
	2	12	92.739	-14.858		12	6	101.986	-10.025		24	23	115.696	-7.769	
	3	10	-93.606	14.352		13	3	-102.766	10.266		25	20	-116.133	8.068	
	4	7	93.154	-14.299		14	0	102.577	-10.259		26	17	116.549	-8.174	
	5	4	-94.009	14.517		14	21	-103.031	10.469		27	14	-116.638	8.455	
	6	1	93.336	-14.434		15	19	103.001	-9.695		28	12	116.936	-7.679	
	6	23	-94.192	13.924		16	16	-103.779	9.940		29	9	-117.380	7.989	
	7	20	93.768	-13.875		17	13	103.647	-9.942		30	6	117.879	-8.109	
	8	17	-94.616	14.094		18	10	-104.094	10.157		31	3	-117.981	8.402	
	9	14	93.975	-14.016		19	8	104.049	-9.378		Avril	1	0	118.283	-8.516
	10	12	-94.816	13.502		20	5	-104.819	9.628			1	22	-118.609	7.937
	11	9	94.418	-13.456		21	2	104.754	-9.639			2	19	119.194	-8.074
	12	6	-95.265	13.676		21	23	-105.190	9.862			3	16	-119.304	8.377
	13	3	94.652	-13.603		22	21	105.123	-9.076			4	13	119.695	-8.507
	14	1	-95.473	13.085		23	18	-105.893	9.332		5	11	-119.808	7.915	
14	22	95.110	-13.043	24	15	105.889	-9.353	6	8	120.480	-8.067				
15	19	-95.948	13.264	25	12	-106.320	9.581	7	5	-120.607	8.382				
16	16	95.373	-13.197	26	10	106.224	-8.791	8	2	121.079	-8.528				
17	14	-96.168	12.674	27	7	-106.988	9.052	9	0	-120.973	7.921				
18	11	95.838	-12.637	28	4	107.057	-9.083	9	21	121.732	-8.091				
19	8	-96.673	12.859	Mars	1	1	-107.479	9.319	10	18	-121.872	8.417			
20	5	96.133	-12.798		1	22	107.354	-9.337	11	15	122.434	-8.580			
21	3	-96.897	12.269		2	20	-108.110	8.790	12	12	-122.212	8.889			
22	0	96.607	-12.238		3	17	108.246	-8.831	13	10	122.935	-8.144			
22	21	-97.432	12.461		4	14	-108.667	9.074	14	7	-123.096	8.483			
23	18	96.936	-12.407	5	11	108.613	-9.104	15	4	123.740	-8.663				
24	16	-97.663	11.872	6	9	-109.248	8.546	16	1	-123.541	8.983				
25	13	97.411	-11.845	7	6	109.461	-8.598	16	23	124.082	-8.229				
26	10	-98.232	12.071	8	3	-109.877	8.850	17	20	-124.259	8.578				
27	7	97.777	-12.024	9	0	109.897	-8.890	18	17	124.995	-8.777				
28	5	-98.461	11.482	9	22	-110.407	8.322	19	14	-124.812	9.109				
29	2	98.256	-11.462	10	19	110.690	-8.385	20	11	125.344	-9.298				
29	23	-99.065	11.689	11	16	-111.109	8.646	21	9	-125.357	8.704				
30	20	98.661	-11.650	12	13	111.205	-8.699	22	6	126.176	-8.921				
31	18	-99.294	11.101	13	11	-111.573	8.120	23	3	-126.019	9.264				
Févr.	1	15	99.134	-11.087	14	8	111.938	-8.195	24	0	126.634	-9.472			
	2	12	-99.939	11.318	15	5	-112.355	8.465	24	22	-126.369	8.858			
	3	9	99.581	-11.286	16	2	112.529	-8.529	25	19	127.281	-9.095			
	4	7	-100.158	10.729	17	0	-112.749	7.940	26	16	-127.143	9.448			
	5	4	100.051	-10.723	17	21	113.189	-8.028	27	13	127.845	-9.674			
	6	1	-100.845	10.955	18	18	-113.614	8.307	28	10	-127.362	10.008			
	6	22	100.543	-10.932	19	15	113.866	-8.385	29	8	128.287	-9.296			
	7	20	-101.056	10.368	20	12	-113.945	8.645	30	5	-128.179	9.658			
	8	17	101.000	-10.368	21	10	114.447	-7.886	Mai	1	2	128.964	-9.905		
	9	14	-101.791	10.605	22	7	-114.874	8.175		1	23	-128.507	10.247		
	10	11	101.540	-10.589	23	4	115.207	-8.266		2	21	129.193	-9.522		

IO 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes éloignations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Mai	3	18	-129.107	9.894	Juin	13	10	-133.521	15.160	Juill.	24	2	-124.586	17.945	
	4	15	129.979	-10.160		14	7	134.458	-15.546		24	23	125.283	-18.278	
	5	12	-129.552	10.512		15	4	-133.367	15.812		25	20	-123.801	18.312	
	6	9	130.202	-10.767		16	1	134.054	-16.165		26	18	124.556	-17.748	
	7	7	-129.922	10.151		16	23	-133.101	15.441		27	15	-123.397	17.818	
	8	4	130.877	-10.438		17	20	134.104	-15.838		28	12	124.142	-18.152	
	9	1	-130.478	10.797		18	17	-133.062	16.098		29	9	-122.715	18.177	
	9	22	131.214	-11.072		19	14	133.808	-16.462		30	7	123.272	-17.592	
	10	20	-130.605	10.428		20	12	-132.520	15.689		31	4	-122.169	17.653	
	11	17	131.647	-10.735		21	9	133.596	-16.099		Août	1	1	122.951	-17.987
	12	14	-131.281	11.101		22	6	-132.593	16.350		1	22	-121.583	18.004	
13	11	132.093	-11.395	23	3	133.407	-16.724	2	19	122.066	-18.288				
14	8	-131.372	11.735	24	0	-132.094	16.933	3	17	-120.903	17.451				
15	6	132.277	-11.048	24	22	132.934	-16.323	4	14	121.727	-17.786				
16	3	-131.940	11.419	25	19	-131.980	16.566	5	11	-120.413	17.796				
17	0	132.838	-11.734	26	16	132.854	-16.949	6	8	120.928	-18.078				
17	21	-132.146	12.078	27	13	-131.591	17.148	7	6	-119.618	17.216				
18	18	132.819	-12.374	28	10	132.199	-17.495	8	3	120.473	-17.550				
19	16	-132.454	11.749	29	8	-131.223	16.742	9	0	-119.216	17.552				
20	13	133.427	-12.082	30	5	132.163	-17.135	9	21	119.764	-17.834				
21	10	-132.775	12.430	Juill.	1	2	-130.949	17.325	10	19	-118.314	16.948			
22	7	133.521	-12.744		1	23	131.612	-17.677	11	16	119.206	-17.281			
23	5	-132.806	12.082		2	21	-130.342	16.878	12	13	-118.002	17.277			
24	2	133.864	-12.435		3	18	131.341	-17.279	13	10	118.576	-17.556			
24	23	-133.243	12.785	4	15	-130.177	17.458	14	7	-117.116	17.507				
25	20	134.066	-13.117	5	12	130.900	-17.818	15	5	117.926	-16.982				
26	17	-133.109	13.438	6	9	-129.422	17.949	16	2	-116.778	16.971				
27	15	134.132	-12.788	7	7	130.404	-17.380	16	23	117.379	-17.249				
28	12	-133.551	13.139	8	4	-129.288	17.550	17	20	-115.975	17.194				
29	9	134.446	-13.489	9	1	130.064	-17.915	18	18	116.651	-16.655				
30	6	-133.529	13.808	9	22	-128.646	18.036	19	15	-115.554	16.639				
31	4	134.237	-13.136	10	20	129.359	-17.439	20	12	116.175	-16.912				
Juin	1	1	-133.686	13.486	11	17	-128.292	17.597	21	9	-114.834	16.854			
	1	22	134.660	-13.853	12	14	129.127	-17.968	22	7	115.378	-16.302			
	2	19	-133.783	14.172	13	11	-127.757	18.078	23	4	-114.337	16.280			
	3	16	134.508	-14.514	14	8	128.318	-18.403	24	1	114.977	-16.551			
	4	14	-133.657	13.822	15	6	-127.204	17.602	24	22	-113.691	16.489			
	5	11	134.702	-14.205	16	3	128.090	-17.977	25	20	114.122	-15.926			
	6	8	-133.865	14.521	17	0	-126.779	18.077	26	17	-113.131	15.900			
	7	5	134.663	-14.879	17	21	127.384	-18.405	27	14	113.786	-16.165			
	8	2	-133.482	15.155	18	19	-126.036	17.563	28	11	-112.561	16.101			
	9	0	134.575	-14.540	19	16	126.977	-17.943	29	8	112.899	-16.314			
	9	21	-133.779	14.852	20	13	-125.714	18.032	30	6	-111.944	15.498			
10	18	134.643	-15.224	21	10	126.371	-18.362	31	3	112.611	-15.759				
11	15	-133.512	15.496	22	7	-124.828	18.406	Sept.	1	0	-111.439	15.691			
12	13	134.279	-14.853	23	5	125.792	-17.865	1	21	111.790	-15.900				

IO 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Sept.	2	19	-110.778	15.078	Oct.	13	12	-100.235	9.703	Nov.	23	5	-94.359	3.344
	3	16	111.452	-15.333		14	9	100.425	-9.827		24	3	94.288	-2.826
	4	13	-110.340	15.263		15	6	-99.732	9.739		25	0	-94.414	2.764
	5	10	110.690	-15.466		16	4	99.992	-9.215		25	21	94.136	-2.813
	6	8	-109.640	14.640		17	1	-99.540	9.148		26	18	-94.086	2.745
	7	5	110.317	-14.889		17	22	99.694	-9.263		27	16	93.998	-2.228
	8	2	-109.259	14.817		18	19	-99.062	9.178		28	13	-94.173	2.166
	8	23	109.614	-15.015		19	17	99.280	-8.653		29	10	93.850	-2.211
	9	21	-108.529	14.187		20	14	-98.880	8.586		30	7	-93.852	2.144
	10	18	109.207	-14.429		21	11	99.005	-8.695		Déc.	1	5	93.743
11	15	-108.207	14.356	22	8	-98.425	8.611	2	2	-93.967	1.565			
12	12	108.555	-14.547	23	6	98.607	-8.086	2	23	93.604	-1.608			
13	10	-107.452	13.719	24	3	-98.263	8.021	3	20	-93.650	1.540			
14	7	108.127	-13.954	25	0	98.349	-8.121	4	18	93.527	-1.027			
15	4	-107.180	13.880	25	21	-97.829	8.040	5	15	-93.797	0.962			
16	1	107.527	-14.065	26	19	97.973	-7.515	6	12	93.392	-1.004			
16	23	-106.409	13.238	27	16	-97.682	7.451	7	9	-93.487	0.935			
17	20	107.078	-13.465	28	13	97.735	-7.544	8	7	93.346	-0.424			
18	17	-106.189	13.392	29	10	-97.266	7.465	9	4	-93.663	0.357			
19	14	106.522	-13.569	30	8	97.379	-6.940	10	1	93.219	-0.397			
20	11	-105.427	13.468	Nov.	31	5	-97.142	6.877	10	23	-93.358	-0.220		
21	9	106.063	-12.965		1	2	97.153	-6.963	11	20	93.204	0.180		
22	6	-105.227	12.891		1	23	-96.742	6.886	12	17	-93.566	-0.249		
23	3	105.552	-13.062		2	21	96.822	-6.361	13	14	93.080	0.209		
24	0	-104.513	12.962	3	18	-96.638	6.299	14	12	-93.294	-0.823			
24	22	105.083	-12.454	4	15	96.612	-6.378	15	9	93.096	0.786			
25	19	-104.304	12.381	5	12	-96.252	6.303	16	6	-93.503	-0.858			
26	16	104.610	-12.544	6	10	96.305	-5.779	17	3	92.981	0.818			
27	13	-103.632	12.446	7	7	-96.174	5.717	18	1	-93.262	-1.429			
28	11	104.140	-11.934	8	4	96.105	-5.790	18	22	93.028	1.394			
29	8	-103.414	11.861	9	1	-95.802	5.717	19	19	-93.477	-1.467			
30	5	103.705	-12.017	9	23	95.825	-5.194	20	16	92.916	1.427			
Oct.	1	2	-102.782	11.920	10	20	-95.746	5.132	21	14	-93.269	-2.036		
	2	0	103.233	-11.404	11	17	95.639	-5.200	22	11	92.994	2.003		
	2	21	-102.564	11.333	12	14	-95.385	5.128	23	8	-93.486	-2.079		
	3	18	102.829	-11.480	13	12	95.384	-4.605	24	5	92.891	2.038		
	4	15	-101.968	11.386	14	9	-95.358	4.544	25	3	-93.308	-2.645		
	5	13	102.365	-10.868	15	6	95.206	-4.606	26	0	93.000	2.613		
	6	10	-101.748	10.796	16	3	-95.008	4.536	26	21	-93.529	-2.692		
	7	7	101.993	-10.936	17	1	94.981	-4.014	27	18	92.901	2.649		
	8	4	-101.186	10.844	17	22	-95.006	3.953	28	16	-93.385	-3.256		
	9	2	101.534	-10.323	18	19	94.814	-4.010	29	13	93.039	3.224		
9	23	-100.974	10.253	19	16	-94.664	3.941	30	10	-93.609	-3.306			
10	20	101.189	-10.384	20	14	94.617	-3.421	31	7	92.950	3.261			
11	17	-100.442	10.294	21	11	-94.692	3.360							
12	15	100.743	-9.772	22	8	94.455	-3.412							

EUROPE 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes elongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Janv.	2	15	149.399	-24.813	Mars	23	15	-183.618	14.534	Juin	11	12	211.365	-25.412	
	4	10	-147.429	23.821		25	10	184.277	-14.556		13	6	-214.844	26.445	
	6	5	150.255	-23.818		27	4	-185.706	14.675		15	1	211.004	-26.199	
	7	23	-148.439	23.379		28	23	186.290	-14.717		16	19	-214.420	27.243	
	9	18	151.309	-23.376		30	18	-187.828	14.203		18	14	210.435	-26.941	
	11	13	-149.433	22.392		Avril	1	12	188.188		-14.924	20	8	-213.758	27.978
	13	7	152.273	-22.931			3	7	-190.039		14.452	22	3	209.696	-27.635
	15	2	-150.650	21.982			5	2	190.211		-14.508	23	21	-212.934	28.671
	16	21	153.411	-21.967			6	20	-192.254		14.762	25	16	208.763	-28.270
	18	15	-151.825	21.571			8	15	192.216		-14.826	27	10	-211.892	29.289
20	10	154.560	-21.556	10	9		-194.329	15.115	Juill.	29	5	207.670	-28.845		
22	5	-153.068	20.619	12	4		194.194	-15.199		22	3	-210.831	29.154		
24	0	155.699	-20.594	13	22		-196.389	15.532		2	18	206.405	-29.352		
25	18	-154.458	20.247	15	17		196.044	-15.624		4	13	-209.610	29.666		
27	13	157.036	-20.221	17	12		-198.402	15.296		6	7	204.994	-29.793		
29	7	-155.784	19.877	19	6	197.851	-16.104	8		2	-208.264	30.121			
Févr.	31	2	158.360	-19.851	21	1	-200.483	15.832	9	21	203.548	-29.461			
	1	21	-157.286	18.969	22	20	199.643	-15.923	11	15	-206.743	30.488			
	3	16	159.679	-18.933	24	14	-202.391	16.410	13	10	202.038	-29.789			
	5	10	-158.824	18.644	26	9	201.433	-16.516	15	4	-205.106	30.792			
	7	5	161.204	-18.610	Mai	28	3	-204.240	17.051	16	23	200.411	-30.044		
8	23	-160.350	18.332	29		22	203.056	-17.155	18	17	-203.328	31.006			
10	18	162.629	-18.297	1		16	-205.899	17.728	20	12	198.669	-30.225			
12	13	-162.033	17.469	3		11	204.596	-17.843	22	7	-201.604	30.506			
14	8	164.196	-17.430	5		5	-207.476	18.462	24	1	196.834	-30.333			
16	2	-163.784	17.213	7		0	205.950	-18.569	25	20	-199.811	30.607			
17	21	165.826	-17.175	8		19	-208.974	18.498	27	14	194.903	-30.368			
19	15	-165.457	16.970	10		13	207.198	-19.337	29	9	-197.926	30.645			
21	10	167.461	-16.939	12		8	-210.413	19.322	31	4	193.108	-29.700			
23	5	-167.352	16.171	14		3	208.292	-19.384	Août	1	22	-195.957	30.601		
25	0	169.132	-16.135	15	21	-211.611	20.163	3		17	191.245	-29.639			
26	18	-169.237	15.995	17	16	209.358	-20.221	5		12	-193.922	29.859			
28	13	170.970	-15.967	19	10	-212.688	21.043	7		6	189.313	-29.512			
Mars	2	7	-171.129	15.849	21	5	210.214	-21.075		9	1	-192.034	29.721		
	4	2	172.711	-15.826	22	23	-213.511	21.924	10	19	187.323	-29.320			
	5	21	-173.088	15.118	24	18	210.907	-21.944	12	14	-190.069	29.526			
	7	16	174.522	-15.097	26	12	-214.196	22.828	14	9	185.395	-28.455			
	9	10	-175.188	15.052	28	7	211.382	-22.813	16	3	-188.050	29.259			
11	5	176.454	-15.037	30	1	-214.624	23.717	17	22	183.551	-28.189				
12	23	-177.199	15.013	31	20	211.681	-23.680	19	17	-186.003	28.339				
14	18	178.404	-15.013	Juin	2	15	-214.952	23.868	21	11	181.655	-27.866			
16	13	-179.227	14.376		4	9	211.764	-24.533	23	6	-184.135	28.001			
18	7	180.247	-15.027		6	4	-215.107	24.749	25	0	179.718	-27.490			
20	2	-181.415	14.430		7	22	211.664	-25.366	26	19	-182.199	27.615			
21	21	182.270	-14.444		9	17	-215.100	25.621	28	14	177.920	-26.493			

EUROPE 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Août	30	8	-180.230	27.170	Oct.	12	1	-160.905	17.264	Nov.	23	17	-150.027	6.329	
	Sept.	1	3	176.178		-26.066	13	19	158.806		-16.781	25	12	150.209	-5.495
	2	22	-178.380	26.135		15	14	-159.733	16.564		27	7	-149.488	5.086	
	4	16	174.391	-25.591		17	8	157.676	-16.076		29	1	149.868	-4.713	
	6	11	-176.600	25.643		19	3	-158.545	15.840		30	20	-149.080	4.299	
	8	6	172.636	-24.510		20	22	156.736	-14.875	Déc.	2	15	149.572	-3.475	
	10	0	-174.735	25.108		22	17	-157.380	14.614			4	10	-148.580	3.053
	11	19	171.059	-23.999		24	11	155.807	-14.159		6	4	149.403	-2.685	
	13	14	-173.007	23.997		26	6	-156.390	13.880		7	23	-148.349	2.262	
	15	8	169.453	-23.447		28	1	154.874	-12.940		9	17	149.195	-1.891	
	17	3	-171.338	23.426		29	19	-155.275	13.126		11	12	-148.001	1.466	
	18	22	167.816	-22.309		31	14	154.139	-12.214		13	7	149.146	-0.646	
	20	16	-169.663	22.815	Nov.	2	9	-154.436	11.898		15	2	-147.838	0.220	
	22	11	166.435	-21.731			4	3	153.380	-11.473		16	20	149.104	0.153
	24	6	-168.057	21.657			5	22	-153.508	11.137		18	15	-147.673	-0.578
	26	0	164.986	-21.116		7	17	152.682	-10.247		20	10	149.096	1.401	
	27	19	-166.584	21.022		9	12	-152.691	9.897		22	5	-147.548	-1.823	
	29	14	163.562	-19.946		11	6	152.112	-9.497		23	23	149.221	2.207	
Oct.	1	8	-165.009	20.354		13	1	-151.954	9.131		25	18	-147.564	-2.626	
	3	3	162.330	-19.312		14	20	151.439	-8.261		27	13	149.255	3.455	
	4	22	-163.654	19.167		16	14	-151.190	8.351		29	7	-147.527	-3.429	
	6	16	161.074	-18.651		18	9	151.055	-7.504		31	2	149.540	4.267	
	8	11	-162.283	18.482		20	4	-150.613	7.112						
	10	6	159.847	-17.457		21	22	150.540	-6.727						

GANYMÈDE 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	2	235.443	-38.185	Mai	2	21	327.664	-26.546	Sept.	1	9	283.349	-40.307
	4	16	-237.863	37.404		6	11	-330.457	27.505		4	23	-280.905	39.380
	8	6	238.562	-36.200		10	1	332.300	-28.227		8	13	277.612	-38.180
	11	20	-241.049	35.427		13	14	-334.660	29.935		12	3	-275.319	37.164
	15	10	242.021	-34.267		17	4	335.966	-30.759		15	17	272.242	-35.896
	19	1	-244.654	33.035		20	18	-337.931	31.928		19	7	-270.017	34.792
	22	15	245.915	-31.934		24	7	338.580	-33.433		22	21	267.193	-33.471
	26	5	-248.720	31.209		27	21	-340.067	34.660		26	11	-265.110	32.295
	29	19	250.182	-30.162		31	11	340.120	-35.522		30	1	262.498	-30.936
Févr.	2	9	-253.203	29.485	Juin	4	0	-340.953	37.371	Oct.	3	15	-260.583	29.696
	5	23	254.777	-28.489		7	14	340.526	-38.204		7	5	258.134	-28.298
	9	13	-258.032	27.870		11	4	-340.589	39.335		10	19	-256.474	27.016
	13	3	259.779	-26.937		14	17	339.654	-40.721		14	10	254.147	-25.147
	16	18	-263.245	25.887		18	7	-339.110	41.729		18	0	-252.801	23.841
	20	8	265.196	-25.019		21	21	337.592	-42.356		21	14	250.608	-22.377
	23	22	-268.820	24.560		25	10	-336.488	43.816		25	4	-249.501	21.049
Mars	27	12	271.025	-23.789		29	0	334.498	-44.283		28	18	247.445	-19.553
	3	2	-274.665	23.415	Juill.	2	14	-332.898	44.922	Nov.	1	8	-246.526	18.199
	6	16	277.130	-22.752		6	3	330.367	-45.802		4	23	244.750	-16.283
	10	6	-280.833	22.478		9	17	-328.501	46.246		8	13	-243.981	14.907
	13	20	283.489	-21.947		13	7	325.504	-46.291		12	3	242.430	-13.391
	17	10	-287.253	21.784		16	20	-323.328	47.127		15	17	-241.813	11.988
	21	0	290.012	-21.391		20	10	320.063	-46.949		19	8	240.454	-10.074
	24	13	-293.881	21.932		24	0	-317.669	46.981		22	22	-240.078	8.651
	28	3	296.634	-21.690		27	14	314.238	-46.606		26	12	238.901	-7.129
Avril	31	17	-300.606	21.831		31	4	-311.529	46.418		30	2	-238.765	5.689
	4	7	303.331	-21.739	Août	3	17	308.100	-46.432	Déc.	3	16	237.625	-4.159
	7	21	-307.272	22.058		7	7	-305.303	46.048		7	7	-237.797	2.324
	11	11	309.914	-22.117		10	21	301.882	-45.348		10	21	236.846	-0.790
	15	1	-313.699	22.610		14	11	-299.009	44.776		14	11	-237.215	-0.672
	18	14	316.301	-23.446		18	1	295.594	-43.933		18	1	236.400	2.215
	22	4	-319.804	24.113		21	15	-292.812	43.217		21	16	-236.975	-4.058
	25	18	322.305	-24.526		25	5	289.357	-42.237		25	6	236.442	5.602
	29	8	-325.429	25.346		28	19	-286.741	41.402		28	20	-237.097	-7.084

CALLISTO 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	15	-418.387	66.593	Mai	7	7	577.730	-46.639	Sept.	9	2	-491.490	66.366
	10	2	419.069	-61.173		15	13	-594.346	52.301		17	12	473.703	-60.612
	18	12	-432.387	57.589		23	21	591.796	-56.337		25	21	-470.179	56.272
	26	22	434.621	-52.909	Juin	1	3	-603.231	62.620		Oct.	4	7	454.251
Févr.	4	7	-450.158	50.016		9	11	595.025	-66.527	12		16	-452.328	45.152
	12	17	454.051	-45.930	17	18	-600.871	71.926	21	3	438.601	-38.429		
Mars	21	2	-471.670	43.588	26	1	587.122	-75.019	29	12	-438.362	33.101		
	1	12	476.908	-40.321	Juill.	4	8	-587.705	78.926	Nov.	6	23	426.637	-26.317
	9	21	-496.610	38.851		12	16	570.058	-79.704		15	9	-428.309	20.389
	18	6	502.622	-37.049		20	23	-566.723	81.607		23	19	418.508	-13.904
26	14	-523.586	37.180	29	7	546.856	-80.338	Déc.	2		5	-421.948	7.711	
Avril	3	23	529.831	-36.810	Août	6	15		-541.763	79.926	10	16	414.193	-1.021
	12	7	-550.969	38.492		15	0		521.396	-76.541	19	2	-419.359	-5.406
	20	15	555.912	-40.128		23	8		-515.854	74.533	27	13	413.434	11.985
	28	23	-575.855	43.526		31	17	496.462	-69.912					

SATELLITES DE SATURNE

Coordonnées différentielles tangentielles (X,Y)
aux heures les plus proches des plus grandes élongations

MIMAS	II. 118
ENCELADE	II. 124
TÉTHYS	II. 128
DIONÉ	II. 131
RHÉA	II. 133
TITAN	II. 134
HYPÉRION	II. 135
JAPET	II. 135

MIMAS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Janv.	1 5	29.942	3.241	Janv.	22 9	-30.510	-2.410	Févr.	12 14	31.238	2.620
	1 16	-30.228	-3.209		22 21	30.915	3.395		13 1	-30.328	-2.305
	2 3	30.002	1.992		23 8	-30.674	-3.298		13 13	31.337	3.541
	2 14	-30.029	-1.942		23 19	30.783	2.040		14 0	-30.599	-3.257
	3 2	30.144	2.811		24 7	-30.480	-4.154		14 12	31.087	4.425
	3 13	-30.299	-2.771		24 18	31.015	2.931		14 23	-30.506	-4.174
	4 1	29.937	3.603		25 5	-30.640	-2.807		15 10	31.328	3.041
	4 12	-30.224	-3.575	25 17	30.895	3.793	15 21	-30.443	-2.711		
	4 23	30.220	2.364	26 4	-30.655	-3.690	16 9	31.281	3.951		
	5 10	-30.247	-2.315	26 15	30.991	2.450	16 20	-30.566	-3.655		
	5 22	30.218	3.181	27 2	-30.475	-2.297	17 7	31.194	2.526		
	6 9	-30.374	-3.143	27 14	31.074	3.336	17 19	-30.326	-4.557		
	6 20	30.171	1.903	28 1	-30.702	-3.205	18 6	31.348	3.458		
	7 8	-30.154	-3.942	28 12	30.841	1.954	18 17	-30.492	-3.115		
	7 19	30.375	2.741	29 0	-30.568	-4.080	19 5	31.155	4.354		
	8 6	-30.401	-2.692	29 11	31.128	2.861	19 16	-30.467	-4.046		
	8 18	30.229	3.553	29 22	-30.618	-2.699	20 3	31.291	2.949		
	9 5	-30.384	-3.517	30 10	31.063	3.739	20 14	-30.283	-2.556		
	9 16	30.407	2.285	30 21	-30.696	-3.601	21 2	31.300	3.869		
	10 3	-30.301	-2.222	31 8	31.057	2.370	21 13	-30.474	-3.512		
	10 15	30.466	3.121	Févr.	31 20	-30.412	-4.466	22 0	31.109	2.425	
11 2	-30.490	-3.072	1 7		31.196	3.271	22 12	-30.303	-4.429		
11 13	30.314	1.814	1 18		-30.694	-3.100	22 23	31.319	3.367		
12 1	-30.327	-3.892	2 6		30.982	4.140	23 10	-30.347	-2.958		
12 12	30.578	2.671	2 17		-30.621	-3.995	23 22	31.183	4.273		
12 23	-30.471	-2.606	3 4		31.204	2.786	24 9	-30.392	-3.902		
13 11	30.491	3.503	3 15		-30.560	-2.579	24 20	31.213	2.849		
13 22	-30.513	-3.453	4 3		31.194	3.680	25 7	-30.084	-2.387		
14 9	30.564	2.205	4 14		-30.700	-3.500	25 19	31.279	3.778		
14 20	-30.324	-2.122	5 1		31.086	2.285	26 6	-30.346	-3.355		
15 8	30.682	3.060	5 13	-30.479	-4.384	26 18	30.999	4.667			
15 19	-30.574	-2.992	6 0	31.280	3.201	27 5	-30.246	-4.284			
16 7	30.448	3.885	6 11	-30.648	-2.984	27 16	31.249	3.266			
16 18	-30.470	-3.834	6 23	31.121	4.085	28 3	-30.164	-2.788			
17 5	30.749	2.600	7 10	-30.639	-3.896	28 15	31.171	4.181			
17 16	-30.508	-2.512	7 21	31.241	2.706	Mars	1 2	-30.281	-3.743		
18 4	30.720	3.450	8 8	-30.463	-2.448		1 13	31.094	2.740		
18 15	-30.611	-3.380	8 20	31.286	3.614		2 1	-30.038	-4.654		
19 2	30.690	2.123	9 7	-30.668	-3.385		2 12	31.217	3.676		
19 14	-30.358	-4.215	9 18	31.077	2.195		2 23	-30.181	-3.183		
20 1	30.866	2.997	10 6	-30.510	-4.286		3 11	30.997	4.573		
20 12	-30.625	-2.905	10 17	31.324	3.125		3 22	-30.155	-4.122		
21 0	30.689	3.841	11 4	-30.565	-2.854	4 9	31.138	3.155			
21 11	-30.580	-3.768	11 16	31.221	4.023	4 20	-29.944	-2.605			
21 22	30.887	2.526	12 3	-30.621	-3.783	5 8	31.119	4.076			

MIMAS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Mars	5 19	-30.135	-3.569	Mars	27 0	30.431	3.910	Avril	17 5	-28.288	-3.893
	6 6	30.935	2.620		27 11	-29.192	-3.100		17 16	29.300	3.497
	6 18	-29.967	-4.490		27 23	30.206	4.778		18 4	-28.011	-4.716
	7 5	31.116	3.563		28 10	-29.218	-4.023		18 15	29.255	4.332
	7 16	-29.979	-2.997		28 21	30.300	3.376		19 2	-28.171	-3.328
	8 4	30.957	4.465		29 9	-28.899	-4.896		19 13	29.032	2.957
	8 15	-30.029	-3.945		29 20	30.272	4.267		20 1	-28.107	-4.177
	9 2	30.987	3.034		30 7	-29.129	-3.449		20 12	29.182	3.812
	9 14	-29.722	-4.846		30 18	30.044	2.830		20 23	-27.919	-2.753
	10 1	31.029	3.960		31 6	-29.027	-4.350		21 11	29.023	4.620
10 12	-29.954	-3.380	Avril	31 17	30.213	3.741	21 22	-28.066	-3.623		
10 23	30.735	2.492		1 4	-28.903	-2.861	22 9	28.985	3.280		
11 11	-29.864	-4.310		1 16	30.060	4.608	22 21	-27.887	-4.444		
11 22	30.976	3.438		2 3	-29.017	-3.785	23 8	29.020	4.110		
12 9	-29.742	-2.798		2 14	30.030	3.202	23 19	-27.888	-3.057		
12 21	30.880	4.346		3 2	-28.788	-4.660	24 7	28.751	4.891		
13 8	-29.869	-3.754		3 13	30.074	4.091	24 18	-27.921	-3.902		
13 19	30.798	2.902		4 0	-28.868	-3.206	25 5	28.894	3.588		
14 7	-29.642	-4.663		4 12	29.797	4.932	25 17	-27.631	-4.695		
14 18	30.901	3.832		4 23	-28.856	-4.107	26 4	28.818	4.392		
15 5	-29.738	-3.178	5 10	29.963	3.560	26 15	-27.817	-3.348			
15 17	30.670	4.719	5 21	-28.583	-2.615	27 2	28.644	3.056			
16 4	-29.728	-4.115	6 9	29.884	4.425	27 14	-27.738	-4.166			
16 15	30.798	3.303	6 20	-28.785	-3.538	28 1	28.760	3.880			
17 2	-29.469	-2.588	7 7	29.729	3.017	28 12	-27.578	-2.784			
17 14	30.766	4.213	7 19	-28.649	-4.414	29 0	28.575	4.657			
18 1	-29.677	-3.548	8 6	29.845	3.903	29 11	-27.708	-3.624			
18 12	30.570	2.760	8 17	-28.577	-2.955	29 22	28.580	3.357			
19 0	-29.532	-4.464	9 5	29.645	4.744	30 10	-27.519	-4.415			
19 11	30.736	3.692	9 16	-28.656	-3.855	30 21	28.587	4.156			
19 22	-29.488	-2.964	10 3	29.683	3.368	Mai	1 8	-27.543	-3.070		
20 10	30.571	4.581	10 15	-28.399	-4.705		1 20	28.295	4.905		
20 21	-29.560	-3.906	11 2	29.678	4.231		2 7	-27.563	-3.885		
21 8	30.582	3.156	11 13	-28.524	-3.282		2 18	28.476	3.642		
21 20	-29.282	-4.798	12 0	29.397	2.823		3 6	-27.266	-4.647		
22 7	30.616	4.068	12 12	-28.482	-4.158		3 17	28.375	4.415		
22 18	-29.451	-3.330	12 23	29.587	3.705		4 4	-27.470	-3.343		
23 6	30.320	4.934	13 10	-28.256	-2.697		4 15	28.241	3.119		
23 17	-29.390	-4.250	13 22	29.464	4.543		5 3	-27.382	-4.130		
24 4	30.535	3.539	14 9	-28.427	-3.595		5 14	28.333	3.912		
24 15	-29.204	-2.739	14 20	29.372	3.167	6 1	-27.243	-2.792			
25 3	30.438	4.430	15 8	-28.266	-4.445	6 13	28.127	4.657			
25 14	-29.360	-3.683	15 19	29.444	4.027	7 0	-27.362	-3.600			
26 1	30.331	2.998	16 6	-28.236	-3.020	7 11	28.167	3.398			
26 13	-29.169	-4.580	16 18	29.204	4.838	7 23	-27.168	-4.360			

MIMAS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Mai	8	10	28.153	4.165	Mai	29	15	-26.433	-3.413	Juin	19	20	26.033	3.501
	8	21	-27.206	-3.061		30	2	26.961	3.336		20	7	-25.600	-2.489
	9	8	27.878	2.875		30	14	-26.250	-4.077		20	19	25.816	4.064
	9	20	-27.219	-3.843		31	1	26.919	4.008		21	6	-25.731	-3.105
	10	7	28.055	3.661		31	12	-26.300	-2.921		21	17	25.921	3.063
	10	19	-26.922	-4.574	31	23	26.705	2.849	22		5	-25.582	-3.680	
	11	6	27.938	4.402	Juin	1	11	-26.316	-3.607		22	16	25.890	3.647
	11	17	-27.135	-3.315		1	22	26.852	3.540		23	3	-25.611	-2.667
	12	4	27.834	3.148		2	10	-26.039	-4.244		23	14	25.686	2.618
	12	16	-27.044	-4.071		2	21	26.716	4.186		24	2	-25.652	-3.260
	13	3	27.908	3.909		3	8	-26.250	-3.127		24	13	25.841	3.220
	13	14	-26.918	-2.779	3	19	26.662	3.063	25		1	-25.414	-3.810	
	14	2	27.689	4.622	4	7	-26.170	-3.787	25		12	25.721	3.781	
	14	13	-27.031	-3.556	4	18	26.715	3.729	25		23	-25.595	-2.833	
	15	0	27.754	3.406	5	5	-26.054	-2.642	26		10	25.670	2.785	
15	12	-26.837	-4.283	5	17	26.486	4.349	26	22	-25.547	-3.403			
15	23	27.726	4.141	6	4	-26.171	-3.320	27	9	25.736	3.365			
16	10	-26.884	-3.031	6	15	26.590	3.263	27	20	-25.415	-2.401			
16	21	27.478	2.895	7	3	-25.998	-3.953	28	8	25.527	3.903			
17	9	-26.895	-3.781	7	14	26.549	3.905	28	19	-25.555	-2.988			
17	20	27.640	3.649	8	1	-26.043	-2.846	29	6	25.628	2.941			
18	7	-26.606	-2.500	8	12	26.343	2.790	29	18	-25.418	-3.535			
18	19	27.511	4.357	9	0	-26.066	-3.500	30	5	25.605	3.499			
19	6	-26.818	-3.269	9	11	26.489	3.450	30	16	-25.438	-2.567			
19	17	27.431	3.147	9	23	-25.800	-4.107	Juill.	1	3	25.397	2.511		
20	5	-26.727	-3.992	10	10	26.356	4.066		1	15	-25.489	-3.132		
20	16	27.492	3.876	10	21	-26.003	-3.038		2	2	25.560	3.086		
21	3	-26.609	-2.749	11	8	26.307	2.987		2	14	-25.265	-3.656		
21	15	27.266	4.557	11	20	-25.933	-3.666		3	1	25.450	3.622		
22	2	-26.720	-3.492	12	7	26.361	3.623	3	12	-25.436	-2.722			
22	13	27.350	3.384	12	18	-25.814	-2.570	3	23	25.393	2.666			
23	1	-26.530	-4.188	13	6	26.136	4.214	4	11	-25.399	-3.265			
23	12	27.313	4.087	13	17	-25.937	-3.217	4	22	25.469	3.220			
23	23	-26.581	-2.984	14	4	26.243	3.171	5	9	-25.259	-2.308			
24	10	27.085	2.885	14	16	-25.775	-3.820	5	21	25.272	3.733			
24	22	-26.592	-3.701	15	3	26.205	3.783	6	8	-25.408	-2.867			
25	9	27.237	3.607	15	14	-25.813	-2.761	6	19	25.364	2.810			
25	20	-26.311	-2.470	16	1	26.002	2.712	7	7	-25.284	-3.388			
26	8	27.103	4.284	16	13	-25.844	-3.383	7	18	25.353	3.343			
26	19	-26.521	-3.205	17	0	26.151	3.342	8	5	-25.294	-2.463			
27	6	27.039	3.117	17	12	-25.592	-3.961	8	16	25.137	2.394			
27	18	-26.435	-3.896	17	23	26.023	3.930	9	4	-25.356	-3.001			
28	5	27.093	3.815	18	10	-25.785	-2.939	9	15	25.311	2.944			
28	16	-26.320	-2.702	18	21	25.975	2.893	10	3	-25.146	-3.501			
29	4	26.863	4.465	19	9	-25.726	-3.538	10	14	25.213	3.456			

MIMAS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Juill.	11 1	-25.305	-2.608	Août	1 6	24.759	2.503	Août	22 11	-25.068	-1.863
	11 12	25.147	2.538		1 18	-24.962	-3.052		22 23	24.345	2.814
	12 0	-25.280	-3.126		2 5	24.702	2.956		23 10	-25.180	-2.282
	12 11	25.234	3.068		2 16	-25.095	-2.270		23 21	24.517	2.096
	12 22	-25.133	-2.211		3 3	24.601	2.138		24 9	-25.029	-2.674
	13 10	25.049	3.560		3 15	-25.101	-2.722		24 20	24.503	2.509
	13 21	-25.291	-2.744		4 2	24.730	2.608		25 7	-25.154	-1.976
	14 8	25.132	2.673		4 13	-24.936	-1.920		25 18	24.365	1.769
	14 20	-25.180	-3.241		5 1	24.586	3.044		26 6	-25.180	-2.383
	15 7	25.133	3.183		5 12	-25.120	-2.386		26 17	24.537	2.196
	15 18	-25.181	-2.357		5 23	24.634	2.252		27 4	-25.015	-1.667
	16 5	24.907	2.271		6 11	-25.041	-2.822		27 16	24.435	2.595
	16 17	-25.253	-2.870		6 22	24.677	2.706		28 3	-25.216	-2.086
	17 4	25.094	2.798		7 9	-25.023	-2.046		28 14	24.448	1.876
	17 16	-25.056	-3.347		7 21	24.448	3.126		29 2	-25.155	-2.479
18 3	25.008	3.288	8 8	-25.121	-2.496	29 13	24.534	2.291			
18 14	-25.205	-2.494	8 19	24.644	2.360	30 0	-25.137	-1.785			
19 1	24.932	2.406	9 7	-24.957	-2.915	30 12	24.345	2.678			
19 13	-25.191	-2.988	9 18	24.600	2.798	30 23	-25.252	-2.191			
20 0	25.032	2.914	10 5	-25.085	-2.164	31 10	24.508	1.980			
20 11	-25.037	-2.113	10 16	24.487	2.008	Sept.	31 22	-25.105	-2.572		
20 23	24.861	3.385	11 4	-25.098	-2.599		1 9	24.506	2.383		
21 10	-25.204	-2.622	11 15	24.630	2.462		1 20	-25.234	-1.898		
21 21	24.933	2.532	12 2	-24.932	-1.829		2 7	24.358	1.663		
22 9	-25.105	-3.096	12 14	24.501	2.884		2 19	-25.262	-2.293		
22 20	24.947	3.021	13 1	-25.123	-2.277		3 6	24.545	2.080		
23 7	-25.098	-2.251	13 12	24.536	2.119		3 17	-25.102	-1.601		
23 18	24.710	2.144	14 0	-25.051	-2.697		4 5	24.455	2.471		
24 6	-25.180	-2.741	14 11	24.593	2.558		4 16	-25.305	-2.008		
24 17	24.910	2.650	14 22	-25.030	-1.950		5 3	24.459	1.771		
25 5	-24.995	-3.197	15 10	24.379	2.964		5 15	-25.247	-2.391		
25 16	24.838	3.121	15 21	-25.136	-2.384		6 2	24.557	2.177		
26 3	-25.135	-2.380	16 8	24.562	2.224		6 13	-25.234	-1.718		
26 14	24.750	2.272	16 20	-24.980	-2.789		7 1	24.380	2.556		
27 2	-25.131	-2.852	17 7	24.534	2.648		7 12	-25.351	-2.114		
27 13	24.864	2.759	17 18	-25.105	-2.066	7 23	24.536	1.876			
28 0	-24.971	-2.015	18 5	24.408	1.884	8 11	-25.206	-2.487			
28 12	24.706	3.212	18 17	-25.125	-2.485	8 22	24.546	2.272			
28 23	-25.148	-2.502	19 4	24.566	2.324	9 9	-25.342	-1.832			
29 10	24.766	2.391	19 15	-24.958	-1.744	9 20	24.390	1.570			
29 22	-25.059	-2.956	20 3	24.451	2.733	10 8	-25.371	-2.218			
30 9	24.794	2.862	20 14	-25.154	-2.176	10 19	24.589	1.979			
30 20	-25.045	-2.146	21 1	24.474	1.993	11 6	-25.219	-1.546			
31 8	24.552	3.296	21 13	-25.089	-2.582	11 18	24.510	2.363			
31 19	-25.136	-2.616	22 0	24.546	2.419	12 5	-25.423	-1.944			

MIMAS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Sept.	12	16	24.507	1.680	Oct.	3	21	-25.748	-1.470	Oct.	25	2	25.402	1.358
	13	4	-25.365	-2.319		4	9	24.886	2.152		25	14	-26.539	-2.168
	13	15	24.617	2.079		4	20	-25.941	-1.853		26	1	25.634	1.757
	14	2	-25.362	-1.665		5	7	24.883	1.504		26	12	-26.525	-1.559
	14	14	24.449	2.453		5	19	-25.866	-2.216		27	0	25.569	2.136
	15	1	-25.479	-2.053		6	6	25.017	1.893		27	11	-26.678	-1.943
	15	12	24.601	1.788		6	17	-25.916	-1.601		27	22	25.609	1.502
	16	0	-25.332	-2.418		7	5	24.865	2.259		28	10	-26.552	-2.308
	16	11	24.621	2.177		7	16	-26.017	-1.977		28	21	25.740	1.896
	16	22	-25.479	-1.781		8	3	25.024	1.626		29	8	-26.704	-1.711
17	9	24.459	1.491	8	15	-25.848	-2.332	29	20	25.573	2.268			
17	21	-25.507	-2.160	9	2	25.063	2.008	30	7	-26.757	-2.090			
18	8	24.670	1.894	9	13	-26.055	-1.731	30	18	25.787	1.648			
18	19	-25.366	-1.505	10	0	24.905	1.353	31	5	-26.618	-1.471			
19	7	24.600	2.273	10	12	-26.062	-2.100	31	17	25.815	2.036			
19	18	-25.569	-1.896	10	23	25.137	1.749	Nov.	1	4	-26.850	-1.864		
20	5	24.594	1.604	11	10	-25.981	-1.480		1	15	25.709	1.392		
20	17	-25.508	-2.265	11	22	25.081	2.123		2	3	-26.801	-2.238		
21	4	24.714	1.998	12	9	-26.165	-1.861		2	14	25.933	1.795		
21	15	-25.518	-1.626	12	20	25.086	1.482		3	1	-26.830	-1.630		
22	3	24.554	2.368	13	8	-26.077	-2.223		3	13	25.858	2.178		
22	14	-25.633	-2.008	13	19	25.223	1.871		4	0	-26.961	-2.018		
23	1	24.704	1.715	14	6	-26.155	-1.616		4	11	25.927	1.546		
23	13	-25.482	-2.369	14	18	25.070	2.239		4	23	-26.809	-2.386		
24	0	24.733	2.101	15	5	-26.244	-1.992		5	10	26.048	1.944		
24	11	-25.644	-1.746	15	16	25.241	1.611	5	21	-27.009	-1.790			
24	22	24.568	1.428	16	4	-26.060	-2.347	6	9	25.866	2.320			
25	10	-25.668	-2.120	16	15	25.281	1.994	6	20	-27.037	-2.174			
25	21	24.788	1.826	17	2	-26.299	-1.754	7	7	26.113	1.700			
26	8	-25.543	-1.479	17	13	25.134	1.345	7	18	-26.942	-1.555			
26	20	24.726	2.202	18	1	-26.292	-2.123	8	6	26.128	2.094			
27	7	-25.742	-1.865	18	12	25.368	1.741	8	17	-27.152	-1.952			
27	18	24.719	1.545	18	23	-26.241	-1.509	9	4	26.052	1.449			
28	6	-25.676	-2.230	19	11	25.309	2.118	9	16	-27.075	-2.330			
28	17	24.847	1.935	19	22	-26.411	-1.891	10	3	26.265	1.857			
29	4	-25.704	-1.604	20	9	25.329	1.481	10	14	-27.153	-1.723			
29	16	24.692	2.303	20	21	-26.307	-2.254	11	2	26.173	2.245			
30	3	-25.813	-1.983	21	8	25.465	1.872	11	13	-27.258	-2.116			
30	14	24.844	1.661	21	19	-26.419	-1.653	12	0	26.278	1.612			
Oct.	1	2	-25.655	-2.339	22	7	25.307	2.241	12	12	-27.074	-2.488		
	1	13	24.880	2.044	22	18	-26.492	-2.029	12	23	26.383	2.015		
	2	0	-25.837	-1.729	23	5	25.496	1.619	13	10	-27.328	-1.893		
	2	11	24.716	1.381	23	16	-26.313	-1.408	13	22	26.182	2.397		
	2	23	-25.854	-2.100	24	4	25.533	2.003	14	9	-27.326	-2.281		
	3	10	24.944	1.777	24	15	-26.565	-1.797	14	20	26.469	1.777		

MIMAS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Nov.	15	7	-27.285	-1.661	Déc.	1	8	-28.102	-2.355	Déc.	17	8	-28.650	-2.054
	15	19	26.465	2.175		1	19	27.268	1.759		17	20	28.226	2.529
	16	6	-27.465	-2.064		2	7	-27.904	-2.750		18	7	-28.845	-2.509
	16	17	26.430	1.529		2	18	27.407	2.189		18	18	28.116	1.830
	17	5	-27.354	-2.447		3	5	-28.181	-2.133		19	6	-28.721	-2.939
	17	16	26.625	1.943		3	17	27.227	2.596		19	17	28.372	2.296
	18	3	-27.490	-1.838		4	4	-28.169	-2.547		20	4	-28.866	-2.275
	18	15	26.510	2.337		4	15	27.494	1.953		20	16	28.299	2.739
	19	2	-27.562	-2.237		5	2	-28.144	-1.901		21	3	-28.935	-2.726
	19	13	26.660	1.702		5	14	27.514	2.378		21	14	28.395	2.051
	20	0	-27.401	-1.603		6	1	-28.320	-2.332		22	1	-28.769	-2.029
	20	12	26.744	2.112		6	12	27.456	1.706		22	13	28.524	2.513
	20	23	-27.657	-2.017		7	0	-28.189	-2.740		23	0	-29.032	-2.499
	21	10	26.570	1.452		7	11	27.677	2.149		23	12	28.321	2.950
	21	22	-27.618	-2.412		7	22	-28.355	-2.105		23	23	-28.972	-2.944
	22	9	26.853	1.877		8	10	27.577	2.569		24	10	28.625	2.275
	22	20	-27.638	-1.788		8	21	-28.412	-2.532		24	21	-29.009	-2.258
	23	8	26.824	2.282		9	8	27.716	1.908		25	9	28.624	2.732
	23	19	-27.784	-2.198		9	19	-28.273	-1.867		25	20	-29.144	-2.723
	24	6	26.837	1.632		10	7	27.816	2.347		26	7	28.602	2.023
	24	18	-27.632	-2.587		10	18	-28.521	-2.311		26	19	-28.955	-3.162
	25	5	27.008	2.054		11	5	27.630	1.657		27	6	28.803	2.500
	25	16	-27.835	-1.975		11	17	-28.457	-2.733		27	17	-29.198	-2.488
	26	4	26.864	2.454		12	4	27.932	2.113		28	5	28.671	2.951
	26	15	-27.868	-2.381		12	15	-28.512	-2.079		28	16	-29.202	-2.948
	27	2	27.067	1.815		13	3	27.909	2.547		29	3	28.859	2.255
	27	13	-27.771	-1.742		13	14	-28.638	-2.520		29	14	-29.131	-2.239
	28	1	27.123	2.233		14	1	27.923	1.867		30	2	28.929	2.727
	28	12	-27.991	-2.164		14	13	-28.450	-2.936		30	13	-29.331	-2.720
	28	23	27.001	1.567		15	0	28.102	2.320		31	0	28.791	1.997
	29	11	-27.909	-2.565		15	11	-28.703	-2.293		31	12	-29.203	-3.174
	29	22	27.257	2.001		15	23	27.955	2.749		31	23	29.063	2.489
	30	9	-27.997	-1.936		16	10	-28.706	-2.729					
	30	21	27.197	2.414		16	21	28.171	2.081					

ENCELADE 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y	
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	
Janv.	1 2	38.778	3.936	Janv.	31 22	-39.549	-4.446	Mars	3 18	39.400	5.171	
	1 19	-38.374	-4.733		Févr.	1 14	39.815		3.807	4 10	-39.309	-4.161
	2 11	38.859	4.145			2 7	-39.532		-4.673	5 2	39.395	3.483
	3 3	-38.414	-3.295			2 23	39.869		4.037	5 19	-39.256	-4.392
	3 20	38.920	4.353			3 16	-39.488		-4.898	6 11	39.408	3.719
	4 12	-38.551	-3.509			4 8	39.896		4.268	7 4	-39.179	-4.621
	5 5	38.956	4.563			5 0	-39.444		-3.297	7 20	39.397	3.954
	5 21	-38.668	-3.724			5 17	39.898		4.497	8 13	-39.079	-4.847
	6 14	38.968	4.771			6 9	-39.532		-3.532	9 5	39.362	4.186
	7 6	-38.760	-3.938			7 2	39.873		4.726	9 22	-38.957	-5.069
7 23	38.956	4.978	7 18	-39.596	-3.766	10 14	39.302	4.416				
8 15	-38.831	-4.152	8 11	39.822	4.952	11 6	-38.957	-3.360				
9 7	39.080	3.535	9 3	-39.633	-4.000	11 23	39.221	4.643				
10 0	-38.877	-4.366	9 20	39.748	5.177	12 15	-38.961	-3.595				
10 16	39.197	3.753	10 12	-39.645	-4.232	13 8	39.116	4.868				
11 9	-38.899	-4.579	11 4	39.808	3.574	14 0	-38.942	-3.828				
12 1	39.289	3.971	11 21	-39.630	-4.464	14 17	38.992	5.089				
12 18	-38.896	-4.792	12 13	39.864	3.810	15 9	-38.898	-4.058				
13 10	39.357	4.189	13 6	-39.590	-4.692	16 1	38.935	3.377				
14 2	-38.902	-3.299	13 22	39.893	4.046	16 18	-38.834	-4.286				
14 19	39.401	4.407	14 15	-39.525	-4.921	17 10	38.934	3.610				
15 11	-39.030	-3.521	15 7	39.897	4.279	18 3	-38.746	-4.510				
16 4	39.421	4.624	15 23	-39.453	-3.270	18 19	38.910	3.841				
16 20	-39.133	-3.744	16 16	39.875	4.512	19 12	-38.637	-4.732				
17 13	39.416	4.840	17 8	-39.519	-3.509	20 4	38.863	4.067				
18 5	-39.211	-3.967	18 1	39.829	4.741	20 21	-38.506	-4.951				
18 22	39.388	5.054	18 17	-39.559	-3.746	21 13	38.795	4.293				
19 14	-39.263	-4.188	19 10	39.757	4.970	22 5	-38.440	-3.223				
20 6	39.490	3.558	20 2	-39.574	-3.982	22 22	38.706	4.515				
20 23	-39.293	-4.410	20 19	39.660	5.196	23 14	-38.434	-3.454				
21 15	39.589	3.784	21 11	-39.563	-4.217	24 7	38.595	4.735				
22 8	-39.296	-4.631	22 3	39.694	3.547	24 23	-38.408	-3.680				
23 0	39.663	4.010	22 20	-39.529	-4.448	25 16	38.462	4.950				
23 17	-39.276	-4.850	23 12	39.723	3.784	26 8	-38.359	-3.906				
24 9	39.710	4.233	24 5	-39.469	-4.679	27 0	38.334	3.224				
25 1	-39.256	-3.303	24 21	39.731	4.020	27 17	-38.289	-4.128				
25 18	39.735	4.458	25 14	-39.384	-4.908	28 9	38.325	3.452				
26 10	-39.366	-3.533	26 6	39.713	4.254	29 2	-38.197	-4.347				
27 3	39.733	4.682	26 22	-39.279	-3.216	29 18	38.297	3.676				
27 19	-39.450	-3.763	27 15	39.672	4.487	30 11	-38.085	-4.562				
28 12	39.708	4.905	Mars	28 7	-39.322	-3.453	31 3	38.248	3.899			
29 4	-39.508	-3.990		1 0	39.606	4.717	31 20	-37.954	-4.775			
29 21	39.656	5.126		1 16	-39.342	-3.691	Avril	1 12	38.178	4.118		
30 13	-39.542	-4.219		2 9	39.515	4.945		2 5	-37.803	-4.984		
31 5	39.738	3.575		3 1	-39.337	-3.927		2 21	38.087	4.334		

ENCELADE 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Avril	3 13	-37.795	-3.265	Mai	4 9	35.950	3.326	Juin	4 5	-33.928	-2.770
	4 6	37.976	4.545		5 2	-35.865	-4.153		4 22	34.063	3.869
	4 22	-37.766	-3.488		5 18	35.897	3.520		5 14	-33.912	-2.941
	5 15	37.847	4.754		6 11	-35.742	-4.335		6 7	33.967	4.026
	6 7	-37.718	-3.706		7 3	35.827	3.710		6 23	-33.883	-3.110
	7 0	37.699	4.959		7 20	-35.604	-4.515		7 16	33.862	4.180
	7 16	-37.649	-3.922		8 12	35.744	3.897		8 8	-33.840	-3.274
	8 8	37.620	3.247		9 4	-35.469	-2.878		9 1	33.745	4.330
	9 1	-37.563	-4.132		9 21	35.645	4.081		9 17	-33.788	-3.436
	9 17	37.591	3.465		10 13	-35.443	-3.072		10 9	33.636	2.857
	10 10	-37.457	-4.342		11 6	35.533	4.261		11 2	-33.723	-3.594
	11 2	37.544	3.681		11 22	-35.401	-3.263		11 18	33.620	3.023
	11 19	-37.332	-4.547		12 15	35.405	4.437		12 11	-33.647	-3.750
12 11	37.478	3.893	13 7	-35.345	-3.450	13 3	33.591	3.184			
13 4	-37.189	-4.748	14 0	35.265	4.607	13 20	-33.560	-3.902			
13 20	37.395	4.101	14 16	-35.274	-3.634	14 12	33.552	3.343			
14 12	-37.070	-3.035	15 8	35.165	3.005	15 5	-33.461	-4.050			
15 5	37.293	4.307	16 1	-35.190	-3.814	15 21	33.501	3.499			
15 21	-37.047	-3.250	16 17	35.132	3.192	16 14	-33.350	-4.195			
16 14	37.174	4.508	17 10	-35.091	-3.990	17 6	33.438	3.652			
17 6	-37.005	-3.462	18 2	35.086	3.376	17 22	-33.260	-2.764			
17 23	37.036	4.706	18 19	-34.981	-4.162	18 15	33.364	3.802			
18 15	-36.946	-3.670	19 11	35.024	3.556	19 7	-33.251	-2.924			
19 8	36.881	4.899	20 4	-34.857	-4.331	20 0	33.280	3.948			
20 0	-36.869	-3.875	20 20	34.951	3.733	20 16	-33.230	-3.081			
20 16	36.821	3.213	21 13	-34.718	-4.497	21 9	33.184	4.091			
21 9	-36.775	-4.077	22 5	34.864	3.906	22 1	-33.197	-3.236			
22 1	36.783	3.420	22 21	-34.661	-2.932	22 18	33.079	4.230			
22 18	-36.663	-4.274	23 14	34.765	4.076	23 10	-33.152	-3.386			
23 10	36.729	3.625	24 6	-34.628	-3.111	24 2	32.995	2.836			
24 3	-36.536	-4.467	24 23	34.652	4.242	24 19	-33.098	-3.534			
24 19	36.657	3.827	25 15	-34.584	-3.288	25 11	32.988	2.990			
25 12	-36.392	-4.657	26 8	34.527	4.404	26 4	-33.032	-3.678			
26 4	36.569	4.025	27 0	-34.526	-3.462	26 20	32.970	3.143			
26 20	-36.279	-2.978	27 17	34.389	4.563	27 13	-32.958	-3.820			
27 13	36.464	4.219	28 9	-34.456	-3.633	28 5	32.940	3.290			
28 5	-36.249	-3.183	29 1	34.353	3.031	28 22	-32.871	-3.958			
28 22	36.345	4.408	29 18	-34.373	-3.800	29 14	32.900	3.436			
29 14	-36.202	-3.384	30 10	34.321	3.205	30 7	-32.774	-4.093			
30 7	36.209	4.595	31 3	-34.277	-3.963	30 23	32.849	3.579			
Mai	30 23	-36.141	-3.581	Juin	31 19	34.275	3.376	Juill.	1 15	-32.700	-2.744
	1 16	36.059	4.778		1 12	-34.169	-4.123		2 8	32.788	3.719
	2 8	-36.063	-3.776		2 4	34.216	3.544		3 0	-32.701	-2.892
	3 0	35.991	3.129		2 21	-34.051	-4.278		3 17	32.715	3.855
	3 17	-35.973	-3.965		3 13	34.145	3.708		4 9	-32.691	-3.040

ENCELADE 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Juill.	5 2	32.634	3.989	Août	4 22	-31.991	-3.333	Sept.	4 18	31.865	3.082
	5 18	-32.671	-3.184		5 14	31.841	2.876		5 11	-31.935	-3.576
	6 11	32.541	4.119		6 7	-31.970	-3.453		6 3	31.898	3.191
	7 3	-32.639	-3.326		6 23	31.864	3.002		6 20	-31.912	-3.676
	7 19	32.470	2.803		7 16	-31.937	-3.570		7 12	31.921	3.298
	8 12	-32.596	-3.464		8 8	31.878	3.126		8 5	-31.879	-3.773
	9 4	32.475	2.949		9 1	-31.895	-3.684		8 21	31.933	3.403
	9 21	-32.544	-3.599		9 17	31.881	3.247		9 13	-31.942	-2.825
	10 13	32.469	3.092		10 10	-31.843	-3.796		10 6	31.936	3.505
	11 6	-32.481	-3.731		11 2	31.874	3.367		10 22	-32.005	-2.936
	11 22	32.452	3.231		11 19	-31.783	-3.903		11 15	31.926	3.605
	12 15	-32.410	-3.860		12 11	31.856	3.482		12 7	-32.058	-3.045
	13 7	32.424	3.367		13 3	-31.825	-2.809		13 0	31.908	3.702
	14 0	-32.328	-3.986		13 20	31.830	3.596		13 16	-32.100	-3.152
	14 16	32.388	3.501		14 12	-31.858	-2.933		14 9	31.878	3.797
	15 8	-32.261	-2.717		15 5	31.793	3.706		15 1	-32.132	-3.257
	16 1	32.340	3.632		15 21	-31.881	-3.054		15 17	31.949	2.875
	16 17	-32.275	-2.859		16 14	31.748	3.814		16 10	-32.151	-3.359
17 10	32.283	3.760	17 6	-31.893	-3.172	17 2	32.018	2.985			
18 2	-32.277	-2.996	17 23	31.692	3.920	17 19	-32.162	-3.459			
18 19	32.216	3.885	18 15	-31.896	-3.288	18 11	32.075	3.092			
19 11	-32.271	-3.131	19 7	31.732	2.857	19 4	-32.161	-3.557			
20 4	32.139	4.007	20 0	-31.889	-3.401	19 20	32.121	3.197			
20 20	-32.254	-3.264	20 16	31.771	2.977	20 13	-32.152	-3.652			
21 12	32.071	2.772	21 9	-31.873	-3.511	21 5	32.156	3.298			
22 5	-32.226	-3.394	22 1	31.800	3.094	21 21	-32.135	-2.755			
22 21	32.090	2.908	22 18	-31.846	-3.619	22 14	32.182	3.398			
23 14	-32.188	-3.521	23 10	31.819	3.209	23 6	-32.222	-2.864			
24 6	32.098	3.042	24 3	-31.809	-3.725	23 23	32.196	3.496			
24 23	-32.141	-3.645	24 19	31.827	3.322	24 15	-32.298	-2.971			
25 15	32.096	3.174	25 12	-31.762	-3.827	25 8	32.200	3.591			
26 8	-32.083	-3.766	26 4	31.825	3.432	26 0	-32.363	-3.075			
27 0	32.084	3.302	26 20	-31.811	-2.807	26 17	32.191	3.685			
27 17	-32.017	-3.884	27 13	31.812	3.539	27 9	-32.418	-3.177			
28 9	32.061	3.428	28 5	-31.859	-2.924	28 1	32.185	2.811			
29 1	-31.953	-2.695	28 22	31.791	3.644	28 18	-32.461	-3.277			
29 18	32.030	3.551	29 14	-31.898	-3.039	29 10	32.276	2.918			
30 10	-31.981	-2.828	30 7	31.759	3.746	30 3	-32.493	-3.376			
31 3	31.987	3.671	30 23	-31.926	-3.152	30 19	32.358	3.023			
31 19	-31.999	-2.959	31 16	31.718	3.846	Oct. 1 12	-32.513	-3.471			
Août	1 12	31.936	3.788	Sept.	1 8	-31.942	-3.261	2 4	32.427	3.126	
	2 4	-32.006	-3.086		2 0	31.768	2.856	2 21	-32.524	-3.565	
	2 21	31.874	3.903		2 17	-31.950	-3.369	3 13	32.485	3.226	
	3 13	-32.004	-3.211		3 9	31.822	2.970	4 6	-32.522	-3.656	
	4 5	31.807	2.746		4 2	-31.947	-3.473	4 22	32.532	3.325	

ENCELADE 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes elongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Oct.	5 14	-32.548	-2.820	Nov.	4 2	33.738	3.639	Déc.	3 13	-35.737	-3.622
	6 7	32.566	3.420		4 18	-34.008	-3.220		4 5	35.565	3.314
	6 23	-32.647	-2.925		5 11	33.754	3.727		4 22	-35.788	-3.717
	7 16	32.590	3.514		6 3	-34.094	-3.316		5 14	35.673	3.415
	8 8	-32.734	-3.028		6 19	33.844	2.994		6 7	-35.822	-3.811
	9 1	32.602	3.606		7 12	-34.165	-3.410		6 23	35.765	3.516
	9 17	-32.810	-3.129		8 4	33.968	3.094		7 15	-35.904	-3.112
	10 10	32.603	3.695		8 21	-34.223	-3.503		8 8	35.839	3.614
	11 2	-32.874	-3.227		9 13	34.081	3.193		9 0	-36.053	-3.218
	11 18	32.646	2.881		10 6	-34.266	-3.593		9 17	35.897	3.712
	12 11	-32.927	-3.324		10 22	34.179	3.290		10 9	-36.183	-3.322
	13 3	32.748	2.985		11 15	-34.296	-3.682		11 2	35.937	3.808
	13 20	-32.968	-3.419		12 7	34.263	3.386		11 18	-36.299	-3.425
	14 12	32.838	3.086		12 23	-34.337	-2.961		12 11	35.958	3.904
	15 5	-32.997	-3.511		13 16	34.331	3.480		13 3	-36.396	-3.527
15 21	32.917	3.185	14 8	-34.477	-3.062	13 19	36.106	3.203			
16 14	-33.013	-3.601	15 1	34.385	3.571	14 12	-36.477	-3.629			
17 6	32.984	3.282	15 17	-34.601	-3.162	15 4	36.243	3.309			
17 23	-33.018	-3.690	16 10	34.425	3.662	15 21	-36.539	-3.729			
18 15	33.039	3.377	17 2	-34.712	-3.261	16 13	36.365	3.415			
19 7	-33.105	-2.910	17 19	34.449	3.751	17 6	-36.581	-3.828			
20 0	33.081	3.470	18 11	-34.807	-3.358	17 22	36.468	3.520			
20 16	-33.214	-3.011	19 3	34.536	3.039	18 15	-36.605	-3.927			
21 9	33.109	3.561	19 20	-34.889	-3.453	19 7	36.553	3.624			
22 1	-33.309	-3.111	20 12	34.670	3.140	19 23	-36.744	-3.222			
22 18	33.126	3.650	21 5	-34.955	-3.547	20 16	36.619	3.727			
23 10	-33.392	-3.209	21 21	34.792	3.240	21 8	-36.888	-3.332			
24 3	33.130	3.737	22 14	-35.005	-3.639	22 1	36.665	3.829			
24 19	-33.463	-3.305	23 6	34.898	3.339	22 17	-37.012	-3.440			
25 11	33.246	2.975	23 23	-35.040	-3.730	23 10	36.691	3.931			
26 4	-33.520	-3.398	24 15	34.990	3.436	24 2	-37.116	-3.548			
26 20	33.355	3.076	25 7	-35.089	-3.024	24 18	36.766	3.207			
27 13	-33.566	-3.490	26 0	35.066	3.532	25 11	-37.201	-3.655			
28 5	33.452	3.175	26 16	-35.237	-3.127	26 3	36.915	3.319			
28 22	-33.597	-3.580	27 9	35.125	3.626	26 20	-37.268	-3.761			
29 14	33.535	3.271	28 1	-35.368	-3.229	27 12	37.044	3.430			
30 7	-33.617	-3.669	28 18	35.167	3.719	28 5	-37.313	-3.866			
30 23	33.606	3.366	29 10	-35.485	-3.329	28 21	37.153	3.541			
31 15	-33.671	-2.922	30 3	35.193	3.810	29 14	-37.341	-3.971			
Nov. 1 8	33.664	3.459	30 19	-35.585	-3.428	30 6	37.240	3.651			
2 0	-33.796	-3.023	Déc. 1 11	35.298	3.109	30 22	-37.418	-3.240			
2 17	33.708	3.550	2 4	-35.669	-3.526	31 15	37.308	3.760			
3 9	-33.908	-3.123	2 20	35.439	3.212						

TÉTHYS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y	
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	
Janv.	1 4	-47.759	-5.603	Févr.	12 15	49.144	5.940	Mars	27 2	-47.507	-5.731	
	2 2	47.860	4.590		13 13	-49.242	-4.797		28 0	47.418	4.504	
	3 1	-47.959	-5.165		14 12	49.210	5.434		28 23	-47.427	-5.164	
	4 0	47.885	5.731		15 11	-49.133	-6.076		29 22	47.265	5.800	
	4 22	-48.075	-4.714		16 9	49.189	4.915		30 20	-47.260	-4.588	
	5 21	48.093	5.292		17 8	-49.207	-5.569		Avril	31 19	47.191	5.232
	6 19	-48.109	-4.247		18 6	49.087	4.381			1 18	-47.074	-5.875
	7 18	48.217	4.838		19 5	-49.194	-5.046			2 16	47.029	4.653
	8 17	-48.273	-5.419		20 4	49.113	5.687			3 15	-47.011	-5.307
	9 15	48.259	4.371		21 2	-49.098	-4.512			4 14	46.810	5.932
	10 14	-48.409	-4.965		22 1	49.110	5.162			5 12	-46.861	-4.730
	11 13	48.374	5.550		23 0	-49.065	-5.816		6 11	46.754	5.364	
	12 11	-48.465	-4.497		23 22	49.023	4.624		7 9	-46.626	-4.145	
	13 10	48.517	5.092		24 21	-49.070	-5.288		8 8	46.613	4.784	
14 9	-48.529	-5.683	25 20	48.940	5.929	9 7	-46.562	-5.431				
15 7	48.580	4.623	Mars	26 18	-48.992	-4.749	10 5	46.386	4.199			
16 6	-48.684	-5.225		27 17	48.953	5.400	11 4	-46.430	-4.855			
17 5	48.594	5.815		28 16	-48.854	-6.051	12 3	46.295	5.475			
18 3	-48.756	-4.755		1 14	48.881	4.859	13 1	-46.212	-4.272			
19 2	48.760	5.354		2 13	-48.879	-5.518	14 0	46.172	4.897			
20 0	-48.743	-4.271		3 11	48.721	4.304	14 23	-46.091	-5.536			
20 23	48.841	4.881		4 10	-48.816	-4.974	15 21	45.962	4.314			
21 22	-48.891	-5.493		5 9	48.724	5.626	16 20	-45.977	-4.961			
22 20	48.835	4.394		6 7	-48.666	-4.418	17 19	45.824	5.569			
23 19	-48.981	-5.019		7 6	48.668	5.080	18 17	-45.774	-4.379			
24 18	48.933	5.622		8 5	-48.620	-5.737	19 16	45.717	4.996			
25 16	-48.984	-4.528		9 3	48.524	4.519	20 15	-45.607	-5.619			
26 15	49.033	5.146		10 2	-48.575	-5.190	21 13	45.523	4.415			
27 14	-49.022	-5.762		11 1	48.429	5.835	22 12	-45.508	-5.046			
28 12	49.048	4.654	11 23	-48.444	-4.630	23 11	45.342	5.647				
29 11	-49.129	-5.284	12 22	48.390	5.284	24 9	-45.324	-4.468				
30 10	49.034	5.895	13 21	-48.300	-5.941	25 8	45.248	5.076				
31 8	-49.153	-4.788	14 19	48.268	4.720	26 7	-45.125	-5.685				
Févr.	1 7	49.149	5.414	15 18	-48.268	-5.390	27 5	45.067	4.498			
	2 5	-49.093	-4.282	16 17	48.085	6.026	28 4	-45.041	-5.117			
	3 4	49.180	4.918	17 15	-48.154	-4.827	29 3	44.851	5.706			
	4 3	-49.208	-5.549	18 14	48.062	5.473	30 1	-44.871	-4.541			
	5 1	49.126	4.409	19 12	-47.952	-4.255	1 0	44.774	5.139			
	6 0	-49.253	-5.050	20 11	47.957	4.908	1 23	-44.639	-5.736			
	6 23	49.182	5.680	21 10	-47.908	-5.570	2 21	44.610	4.562			
	7 21	-49.209	-4.539	22 8	47.764	4.334	3 20	-44.571	-5.173			
	8 20	49.233	5.179	23 7	-47.811	-5.005	4 19	44.366	5.746			
	9 19	-49.210	-5.813	24 6	47.686	5.646	5 17	-44.417	-4.602			
	10 17	49.197	4.664	25 4	-47.627	-4.430	6 16	44.303	5.184			
11 16	-49.269	-5.312	26 3	47.595	5.080	7 14	-44.177	-4.028				

TÉTHYS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Mai	8	13	44.157	4.613	Juin	20	1	-41.211	-4.686	Août	1	13	39.570	4.522	
	9	12	-44.102	-5.213		21	0	41.085	5.168		2	12	-39.542	-4.939	
	10	10	43.924	4.041		21	22	-41.067	-4.179		3	10	39.481	4.101	
	11	9	-43.963	-4.648		22	21	41.028	4.669		4	9	-39.542	-4.526	
	12	8	43.842	5.216		23	20	-40.957	-5.162		5	8	39.474	4.915	
	13	6	-43.738	-4.080		24	18	40.887	4.167		6	6	-39.459	-4.111	
	14	5	43.711	4.653		25	17	-40.908	-4.668		7	5	39.476	4.508	
	15	4	-43.641	-5.238		26	16	40.783	5.137		8	4	-39.456	-4.912	
	16	2	43.492	4.087		27	14	-40.773	-4.172		9	2	39.395	4.099	
	17	1	-43.516	-4.681		28	13	40.736	4.649		10	1	-39.462	-4.511	
	18	0	43.394	5.236		29	12	-40.672	-5.132		11	0	39.405	4.893	
	18	22	-43.305	-4.119		30	10	40.603	4.157		11	22	-39.383	-4.107	
	19	21	43.273	4.682		Juill.	1	9	-40.629		-4.649	12	21	39.413	4.497
	20	20	-43.197	-5.251			2	8	40.512		5.103	13	20	-39.401	-4.889
	21	18	43.067	4.124			3	6	-40.501		-4.164	14	18	39.336	4.099
	22	17	-43.084	-4.700		4	5	40.472	4.626		15	17	-39.414	-4.500	
	23	16	42.957	5.247		5	4	-40.412	-5.100		16	16	39.361	4.872	
24	14	-42.885	-4.146	6	2	40.347	4.145	17	14	-39.345	-4.109				
25	13	42.849	4.700	7	1	-40.376	-4.628	18	13	39.375	4.489				
26	12	-42.771	-5.254	8	0	40.270	5.071	19	12	-39.377	-4.872				
27	10	42.653	4.147	8	22	-40.254	-4.152	20	10	39.305	4.101				
28	9	-42.672	-4.713	9	21	40.237	4.605	21	9	-39.398	-4.495				
29	8	42.535	5.245	10	20	-40.178	-5.065	22	8	39.347	4.855				
30	6	-42.486	-4.166	11	18	40.120	4.136	23	6	-39.335	-4.115				
31	5	42.438	4.706	12	17	-40.149	-4.605	24	5	39.369	4.483				
Juin	1	4	-42.364	-5.250	13	16	40.053	5.038	25	4	-39.379	-4.858			
	2	2	42.257	4.161	14	14	-40.039	-4.140	26	2	39.311	4.108			
	3	1	-42.274	-4.717	15	13	40.026	4.584	27	1	-39.405	-4.493			
	4	0	42.138	5.233	16	12	-39.977	-5.030	28	0	39.367	4.842			
	4	22	-42.100	-4.180	17	10	39.916	4.127	28	22	-39.351	-4.125			
	5	21	42.053	4.703	18	9	-39.955	-4.581	29	21	39.396	4.482			
	6	20	-41.974	-5.239	19	8	39.863	5.006	30	20	-39.411	-4.849			
	7	18	41.885	4.169	20	6	-39.852	-4.130	31	18	39.345	4.120			
	8	17	-41.894	-4.713	21	5	39.843	4.561	Sept.	1	17	-39.444	-4.494		
	9	16	41.765	5.216	22	4	-39.805	-4.998		2	16	39.416	4.836		
	10	14	-41.732	-4.185	23	2	39.741	4.116	3	14	-39.397	-4.138			
	11	13	41.689	4.696	24	1	-39.791	-4.561	4	13	39.454	4.488			
	12	12	-41.609	-5.218	25	0	39.702	4.973	5	12	-39.470	-4.844			
	13	10	41.530	4.174	25	22	-39.694	-4.122	6	10	39.410	4.137			
	14	9	-41.539	-4.701	26	21	39.689	4.540	7	9	-39.514	-4.500			
	15	8	41.414	5.196	27	20	-39.661	-4.968	8	8	39.493	4.835			
	16	6	-41.385	-4.183	28	18	39.595	4.107	9	6	-39.477	-4.155			
	17	5	41.349	4.685	29	17	-39.654	-4.542	10	5	39.539	4.498			
	18	4	-41.267	-5.192	30	16	39.572	4.943	11	4	-39.563	-4.843			
19	2	41.198	4.172	31	14	-39.562	-4.116	12	2	39.504	4.158				

TÉTHYS 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y	
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	
Sept.	13 1	-39.618	-4.512	Oct.	19 21	40.969	4.712	Nov.	25 17	-43.428	-5.183	
	14 0	39.596	4.837		20 20	-41.014	-5.006		26 15	43.419	4.678	
	14 22	-39.589	-4.178		21 18	41.016	4.444		27 14	-43.592	-4.965	
	15 21	39.653	4.512		22 17	-41.150	-4.748		28 13	43.624	5.223	
	16 20	-39.687	-4.849		23 16	41.143	5.020		29 11	-43.673	-4.738	
	17 18	39.627	4.184		24 14	-41.206	-4.485		Déc.	30 10	43.794	5.007
	18 17	-39.750	-4.530		25 13	41.288	4.766			1 9	-43.860	-5.279
	19 16	39.732	4.845		26 12	-41.325	-5.054			2 7	43.882	4.782
	20 14	-39.731	-4.207		27 10	41.350	4.508			3 6	-44.043	-5.065
	21 13	39.798	4.530		28 9	-41.477	-4.805			4 5	44.054	5.323
22 12	-39.840	-4.861	Nov.	29 8	41.471	5.072	5 3	-44.144	-4.843			
23 10	39.782	4.213		30 6	-41.547	-4.550	6 2	44.246	5.112			
24 9	-39.911	-4.553		31 5	41.630	4.827	7 1	-44.294	-5.383			
25 8	39.901	4.859		1 4	-41.661	-5.107	7 23	44.353	4.890			
26 6	-39.899	-4.240		2 2	41.708	4.577	8 22	-44.498	-5.175			
27 5	39.978	4.556		3 1	-41.830	-4.867	9 21	44.483	5.429			
28 4	-40.015	-4.878		4 0	41.819	5.131	10 19	-44.622	-4.957			
29 2	39.972	4.248		4 22	-41.917	-4.620	11 18	44.694	5.222			
30 1	-40.098	-4.580		5 21	41.993	4.894	12 17	-44.724	-5.494			
Oct.	1 0	40.096		4.880	6 20	-42.022	-5.168	13 15	44.829	5.005		
1 22	-40.100	-4.277	7 18	42.084	4.650	14 14	-44.947	-5.290				
2 21	40.183	4.587	8 17	-42.208	-4.936	15 13	44.911	5.544				
3 20	-40.224	-4.900	9 16	42.182	5.195	16 11	-45.091	-5.075				
4 18	40.189	4.290	10 14	-42.313	-4.698	17 10	45.145	5.340				
5 17	-40.318	-4.613	11 13	42.375	4.966	18 8	-45.154	-4.851				
6 16	40.317	4.907	12 12	-42.398	-5.237	19 7	45.301	5.127				
7 14	-40.334	-4.320	13 10	42.488	4.729	20 6	-45.384	-5.411				
8 13	40.416	4.624	14 9	-42.601	-5.013	21 4	45.374	4.904				
9 12	-40.461	-4.929	15 8	42.567	5.266	22 3	-45.552	-5.200				
10 10	40.436	4.337	16 6	-42.725	-4.781	23 2	45.582	5.466				
11 9	-40.568	-4.651	17 5	42.777	5.044	24 0	-45.637	-4.978				
12 8	40.566	4.939	18 4	-42.788	-5.313	24 23	45.756	5.256				
13 6	-40.597	-4.370	19 2	42.911	4.815	25 22	-45.811	-5.539				
14 5	40.676	4.664	20 1	-43.009	-5.095	26 20	45.850	5.035				
15 4	-40.727	-4.965	21 0	42.966	5.345	27 19	-45.999	-5.330				
16 2	40.709	4.388	21 22	-43.152	-4.870	28 18	45.997	5.599				
17 1	-40.848	-4.697	22 21	43.196	5.130	29 16	-46.103	-5.110				
18 0	40.840	4.976	23 19	-43.213	-4.638	30 15	46.194	5.391				
18 22	-40.889	-4.425	24 18	43.348	4.908	31 14	-46.214	-5.675				

DIONÉ 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Janv.	1 16	-61.393	-6.653	Mars	4 5	62.398	6.746	Mai	4 19	-57.091	-6.508
	3 1	61.263	6.932		5 14	-62.554	-6.973		6 4	56.698	6.716
	4 10	-61.562	-7.123		6 23	62.214	7.261		7 12	-56.776	-5.451
	5 18	61.468	6.092		8 7	-62.354	-5.949		8 21	56.439	5.664
	7 3	-61.816	-6.296		9 16	62.068	6.236		10 6	-56.543	-5.844
	8 12	61.706	6.572		11 1	-62.245	-6.468		11 15	56.176	6.054
	9 21	-62.018	-6.777		12 10	61.915	6.749		13 0	-56.267	-6.227
	11 6	61.866	7.056		13 19	-62.055	-6.976		14 9	55.874	6.429
	12 15	-62.139	-7.257		15 4	61.687	7.255		15 18	-55.950	-6.596
	13 23	62.048	6.203		16 12	-61.817	-5.931		17 2	55.581	5.384
15 8	-62.371	-6.409	17 21	61.514	6.214	18 11	-55.700	-5.564			
16 17	62.236	6.698	19 6	-61.663	-6.437	19 20	55.356	5.759			
18 2	-62.525	-6.904	20 15	61.317	6.716	21 5	-55.452	-5.933			
19 11	62.343	7.194	22 0	-61.438	-6.933	22 14	55.090	6.121			
20 19	-62.616	-6.026	23 9	61.046	7.203	23 23	-55.173	-6.284			
22 4	62.496	6.317	24 17	-61.175	-5.878	25 8	54.788	6.467			
23 13	-62.796	-6.532	26 2	60.842	6.146	26 16	-54.886	-5.269			
24 22	62.626	6.825	27 11	-60.984	-6.372	28 1	54.558	5.455			
26 7	-62.897	-7.038	28 20	60.618	6.633	29 10	-54.675	-5.623			
27 16	62.668	7.333	30 5	-60.726	-6.848	30 19	54.335	5.802			
29 0	-62.960	-6.137	Avril	31 14	60.327	7.108	Juin	1 4	-54.429	-5.961	
30 9	62.793	6.433		1 22	-60.428	-5.782		2 13	54.080	6.139	
31 18	-63.077	-6.655		3 7	60.094	6.042		3 22	-54.157	-6.289	
Févr.	2 3	62.866		6.948	4 16	-60.217		-6.259	5 6	53.802	5.146
	3 12	-63.103		-7.169	6 1	59.850		6.510	6 15	-53.931	-5.306
	4 20	62.850		6.016	7 10	-59.943		-6.722	8 0	53.612	5.481
	6 5	-63.135		-6.245	8 19	59.546		6.970	9 9	-53.734	-5.636
	7 14	62.942		6.542	10 3	-59.617		-5.647	10 18	53.399	5.805
	8 23	-63.190		-6.766	11 12	59.279		5.897	12 3	-53.508	-5.953
	10 8	62.942		7.062	12 21	-59.396		-6.104	13 12	53.160	6.117
	11 17	-63.154	-7.287	14 6	59.023	6.352	14 21	-53.251	-6.256		
	13 1	62.894	6.107	15 15	-59.121	-6.551	16 5	52.935	5.158		
	14 10	-63.154	-6.339	17 0	58.715	6.791	17 14	-53.075	-5.309		
15 19	62.924	6.635	18 9	-58.786	-6.984	18 23	52.770	5.472			
17 4	-63.134	-6.862	19 17	58.419	5.713	20 8	-52.897	-5.619			
18 13	62.859	7.161	21 2	-58.538	-5.920	21 17	52.577	5.773			
19 22	-63.032	-7.382	22 11	58.170	6.149	23 2	-52.690	-5.915			
21 6	62.777	6.181	23 20	-58.263	-6.348	24 11	52.360	6.064			
22 15	-63.008	-6.409	25 5	57.872	6.573	25 19	-52.460	-4.991			
24 0	62.729	6.706	26 14	-57.942	-6.761	27 4	52.189	5.147			
25 9	-62.930	-6.936	27 22	57.537	5.500	28 13	-52.330	-5.287			
26 18	62.602	7.225	29 7	-57.662	-5.698	29 22	52.046	5.443			
28 3	-62.762	-7.453	30 16	57.300	5.918	Juill.	1 7	-52.177	-5.576		
Mars	1 11	62.496	6.222	2 1	-57.402		-6.111	2 16	51.876	5.727	
	2 20	-62.694	-6.457	3 10	57.024		6.324	4 1	-52.002	-5.854	

DIONÉ 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Juill.	5 10	51.687	5.996	Sept.	3 16	50.508	5.211	Nov.	2 22	53.534	5.183
	6 18	-51.817	-4.973		5 1	-50.741	-5.313		4 7	-53.875	-5.288
	8 3	51.556	5.119		6 10	50.541	5.420		5 16	53.768	5.385
	9 12	-51.715	-5.255		7 19	-50.768	-5.521		7 1	-54.097	-5.485
	10 21	51.442	5.397		9 4	50.555	5.623		8 10	53.969	5.581
	12 6	-51.591	-5.523		10 12	-50.817	-4.893		9 18	-54.293	-5.032
	13 15	51.306	5.665		11 21	50.662	5.001		11 3	54.221	5.133
	15 0	-51.446	-5.785		13 6	-50.912	-5.106		12 12	-54.587	-5.240
	16 9	51.146	5.921		14 15	50.754	5.214		13 21	54.500	5.339
	17 17	-51.302	-4.946		16 0	-50.994	-5.313		15 6	-54.842	-5.444
	19 2	51.056	5.082		17 9	50.821	5.419		16 15	54.739	5.542
	20 11	-51.229	-5.213		18 18	-51.055	-5.514		18 0	-55.066	-5.643
	21 20	50.978	5.345		20 2	50.867	4.819		19 8	54.959	5.105
	23 5	-51.135	-5.470		21 11	-51.152	-4.926		20 17	-55.345	-5.214
	24 14	50.875	5.599		22 20	51.012	5.031		22 2	55.262	5.317
	25 23	-51.023	-5.714		24 5	-51.286	-5.135		23 11	-55.639	-5.424
	27 8	50.748	5.843		25 14	51.135	5.238		24 20	55.532	5.525
28 16	-50.919	-4.915	26 23	-51.395	-5.335	26 5	-55.892	-5.633			
30 1	50.696	5.051	28 8	51.232	5.437	27 14	55.765	5.731			
31 10	-50.883	-5.170	29 17	-51.483	-5.529	28 22	-56.134	-5.209			
Août	1 19	50.647	5.298	Oct.	1 1	51.331	4.877	Déc.	30 7	56.071	5.313
	3 4	-50.823	-5.414		2 10	-51.635	-4.980		1 16	-56.452	-5.427
	4 13	50.578	5.537		3 19	51.502	5.082		3 1	56.366	5.530
	5 22	-50.745	-5.648		5 4	-51.798	-5.185		4 10	-56.732	-5.642
	7 7	50.488	5.768		6 13	51.652	5.283		5 19	56.613	5.744
	8 15	-50.682	-4.893		7 22	-51.935	-5.382		7 4	-56.962	-5.856
	10 0	50.469	5.019		9 7	51.781	5.478		8 12	56.893	5.329
	11 9	-50.678	-5.134		10 16	-52.048	-5.572		9 21	-57.295	-5.448
	12 18	50.455	5.256		12 0	51.936	4.954		11 6	57.212	5.554
	14 3	-50.653	-5.367		13 9	-52.249	-5.057		12 15	-57.583	-5.672
	15 12	50.426	5.484		14 18	52.137	5.159		14 0	57.476	5.780
	16 21	-50.607	-5.591		16 3	-52.439	-5.257		15 9	-57.822	-5.895
	18 6	50.371	5.704		17 12	52.312	5.355		16 17	57.732	5.364
	19 14	-50.576	-4.879		18 21	-52.604	-5.452		18 2	-58.139	-5.486
	20 23	50.394	4.998		20 6	52.458	5.548		19 11	58.050	5.597
	22 8	-50.612	-5.109		21 14	-52.764	-4.955		20 20	-58.442	-5.721
	23 17	50.413	5.225		22 23	52.673	5.056		22 5	58.316	5.832
25 2	-50.625	-5.333	24 8	-53.004	-5.157	23 14	-58.682	-5.955			
26 11	50.412	5.446	25 17	52.893	5.258	24 22	58.554	5.411			
27 20	-50.614	-5.546	27 2	-53.216	-5.357	26 7	-58.970	-5.541			
29 5	50.395	5.656	28 11	53.085	5.454	27 16	58.878	5.657			
30 13	-50.622	-4.875	29 20	-53.394	-5.550	29 1	-59.265	-5.786			
31 22	50.456	4.993	31 4	53.264	4.977	30 10	59.140	5.902			
Sept.	2 7	-50.692	-5.099	Nov.	1 13	-53.621	-5.085	31 19	-59.496	-6.032	

RHÉA 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y	
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	
Janv.	2 3	85.670	8.638	Avril	13 17	-82.645	-8.923	Juill.	24 11	71.235	7.732	
	4 9	-85.859	-8.535		15 23	82.392	8.559		26 17	-71.091	-7.503	
	6 16	86.160	9.406		18 5	-81.985	-8.331		28 23	71.051	7.184	
	8 22	-86.349	-9.306		20 12	81.715	9.209		31 5	-70.906	-6.964	
	11 4	86.634	9.090		22 18	-81.323	-8.962		Août	2 12	70.877	7.497
	13 10	-86.775	-8.997		25 0	81.082	8.597			4 18	-70.782	-7.277
	15 16	87.010	8.772		27 6	-80.672	-8.350			7 0	70.747	6.974
	17 22	-87.110	-8.662		29 12	80.371	7.971			9 7	-70.653	-7.578
	20 5	87.364	9.582		Mai	1 19	-80.003			-8.941	11 13	70.666
	22 11	-87.454	-9.482			4 1	79.751		8.562	13 19	-70.584	-7.071
	24 17	87.647	9.253			6 7	-79.350		-8.309	16 2	70.591	7.569
26 23	-87.714	-9.155	8 13	79.070		7.927	18 8	-70.547	-7.366			
29 5	87.865	8.918	10 20	-78.688	-8.852	20 14	70.574	7.082				
31 11	-87.862	-8.809	13 2	78.448	8.480	22 20	-70.528	-6.893				
Févr.	2 18	88.003	9.753	15 8	-78.062	-8.212	25 3	70.588	7.368			
	5 0	-88.012	-9.645	17 14	77.798	7.828	27 9	-70.563	-7.180			
	7 6	88.104	9.411	19 21	-77.425	-8.725	29 15	70.620	6.914			
	9 12	-88.060	-9.289	22 3	77.202	8.341	31 22	-70.619	-7.453			
	11 18	88.121	9.039	24 9	-76.829	-8.073	Sept.	3 4	70.701	7.197		
	14 0	-88.025	-8.919	26 15	76.594	7.695		5 10	-70.721	-7.019		
	16 7	88.042	9.888	28 22	-76.237	-8.550		7 17	70.793	7.462		
	18 13	-87.932	-9.757	31 4	76.018	8.167	9 23	-70.847	-7.295			
	20 19	87.957	9.504	Juin	2 10	-75.693	-7.903	12 5	70.962	7.052		
	23 1	-87.799	-9.367		4 16	75.455	7.523	14 11	-71.000	-6.887		
	25 7	87.750	9.089		6 23	-75.131	-8.348	16 18	71.136	7.321		
27 13	-87.569	-8.948	9 5		74.943	7.969	19 0	-71.214	-7.164			
Mars	1 19	87.478	8.661	11 11	-74.630	-7.701	21 6	71.344	6.935			
	4 2	-87.265	-9.776	13 18	74.413	8.389	23 12	-71.421	-6.788			
	6 8	87.189	9.485	16 0	-74.133	-8.121	25 19	71.604	7.206			
	8 14	-86.956	-9.324	18 6	73.964	7.748	28 1	-71.705	-7.064			
	10 20	86.818	9.033	20 12	-73.677	-7.496	Oct.	30 7	71.865	6.851		
	13 2	-86.535	-8.854	22 19	73.504	8.144		2 14	-71.998	-7.327		
	15 9	86.367	9.821	25 1	-73.241	-7.884		4 20	72.192	7.127		
	17 15	-86.084	-9.652	27 7	73.103	7.525		7 2	-72.332	-6.992		
	19 21	85.927	9.335	29 13	-72.837	-7.274		9 9	72.514	7.387		
	22 3	-85.600	-9.143	Juill.	1 20	72.695	7.895	11 15	-72.694	-7.265		
	24 9	85.418	8.825		4 2	-72.483	-7.645	13 21	72.920	7.076		
26 15	-85.059	-8.625	6 8		72.348	7.295	16 3	-73.080	-6.954			
28 22	84.830	9.565	8 15		-72.113	-7.996	18 10	73.318	7.346			
31 4	-84.502	-9.366	10 21		72.025	7.650	20 16	-73.520	-7.232			
Avril	2 10	84.285	9.022		13 3	-71.828	-7.405	22 22	73.761	7.056		
	4 16	-83.903	-8.813	15 9	71.715	7.075	25 4	-73.967	-6.952			
	6 22	83.652	8.461	17 16	-71.541	-7.743	27 11	74.230	7.333			
	9 5	-83.262	-9.501	19 22	71.472	7.409	29 17	-74.455	-7.235			
	11 11	83.030	9.158	22 4	-71.305	-7.181	31 23	74.730	7.072			

RHÉA 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Nov.	3	5	-74.959	-6.975	Nov.	23	14	77.565	7.507	Déc.	13	22	-80.447	-7.752
	5	12	75.247	7.360		25	20	-77.880	-7.441		16	4	80.808	7.642
	7	18	-75.505	-7.268		28	2	78.215	7.313		18	10	-81.103	-7.590
	10	0	75.805	7.118		30	8	-78.496	-7.249		20	16	81.451	7.482
	12	6	-76.053	-7.036	Déc.	2	15	78.826	7.636		22	22	-81.732	-7.433
	14	13	76.372	7.417		4	21	-79.153	-7.576		25	5	82.075	7.855
	16	19	-76.647	-7.335		7	3	79.501	7.462		27	11	-82.394	-7.814
	19	1	76.979	7.202		9	9	-79.796	-7.402		29	17	82.723	7.708
	21	7	-77.243	-7.126		11	15	80.122	7.284		31	23	-82.997	-7.667

TITAN 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	8	2	-198.910	-21.412	Mai	7	14	185.142	17.970	Sept.	4	13	-163.443	-16.886
	16	5	202.947	19.895		15	10	-179.499	-19.745		12	17	164.870	15.371
	24	0	-201.764	-22.150		23	13	179.884	17.093		20	14	-164.950	-16.885
Févr.	1	2	205.176	19.820		31	10	-174.694	-19.392		28	18	166.580	15.519
	8	21	-202.813	-22.097	Juin	8	13	175.150	16.710	Oct.	6	15	-167.420	-17.015
	16	23	205.489	19.620		16	10	-170.566	-18.800		14	18	169.262	15.423
	24	18	-201.904	-21.812		24	13	171.132	16.149		22	15	-170.825	-16.941
Mars	4	21	203.843	19.973	Juill.	2	10	-167.257	-18.076		30	19	172.861	15.892
	12	16	-199.202	-21.998		10	14	167.971	16.124	Nov.	7	15	-175.053	-17.099
	20	18	200.499	19.113		18	11	-164.851	-17.910		15	18	177.260	15.857
	28	14	-195.082	-21.724		26	15	165.725	16.016		23	15	-179.942	-17.502
Avril	5	16	195.910	18.633	Août	3	12	-163.396	-17.694	Déc.	1	18	182.266	16.402
	13	12	-190.090	-20.954		11	16	164.443	15.895		9	14	-185.237	-17.829
	21	15	190.621	18.517		19	12	-162.924	-16.985		17	17	187.562	16.838
	29	11	-184.740	-20.549		27	16	164.157	15.333		25	13	-190.543	-18.417

HYPÉRION 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Date	X	Y	Date	X	Y
Mois j h	"	"	Mois j h	"	"	Mois j h	"	"
Janv. 7 18	218.784	19.493	Mai 15 13	198.362	18.012	Sept. 21 11	182.071	16.596
18 6	-269.860	-26.252	26 4	-238.108	-23.164	Oct. 2 8	-222.129	-18.638
29 0	223.267	20.268	Juin 6 0	191.612	17.235	12 22	186.292	16.476
Févr. 8 11	-272.631	-26.694	16 16	-229.916	-21.783	23 18	-226.145	-18.210
19 4	223.759	19.953	27 11	186.108	17.064	Nov. 3 6	192.615	16.645
Mars 1 17	-271.539	-26.683	Juill. 8 5	-224.003	-20.744	14 3	-233.175	-18.332
12 11	220.033	19.523	18 23	181.783	16.553	24 14	199.441	17.047
22 23	-265.322	-26.079	29 18	-220.414	-20.022	Déc. 5 11	-242.275	-18.966
Avril 2 19	214.302	19.328	Août 9 12	180.066	16.408	15 21	207.632	17.489
13 7	-256.564	-25.123	20 7	-218.049	-19.103	26 17	-249.889	-19.469
24 3	206.690	18.983	30 23	180.423	16.396			
Mai 4 17	-247.306	-24.054	Sept. 10 20	-218.692	-18.739			

JAPET 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Date	X	Y	Date	X	Y
Mois j h	"	"	Mois j h	"	"	Mois j h	"	"
Janv. 26 1	-583.498	19.735	Mai 24 11	533.320	-9.839	Sept. 23 1	-475.386	36.431
Mars 6 10	604.696	-12.641	Juill. 3 10	-482.674	15.705	Nov. 3 9	514.406	-47.561
Avril 14 2	-549.263	7.272	Août 13 19	487.852	-26.106	Déc. 12 18	-534.035	55.141

SATELLITES D'URANUS

Coordonnées différentielles tangentielles (X,Y)
aux heures les plus proches des plus grandes élongations

MIRANDA	II. 138
ARIEL	II. 142
UMBRIEL	II. 145
TITANIA	II. 147
OBÉRON	II. 148

MIRANDA 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	8	1.796	-8.165	Févr.	2	4	-1.765	8.250	Mars	6	0	1.790	-8.307
	2	1	-1.792	8.173		2	21	1.768	-8.268		6	17	-1.788	8.292
	2	18	1.795	-8.190		3	14	-1.766	8.265		7	10	1.793	-8.308
	3	11	-1.791	8.197		4	7	1.768	-8.279		8	3	-1.792	8.294
	4	4	1.794	-8.214		5	0	-1.766	8.277		8	20	1.796	-8.307
	4	21	-1.790	8.219		5	17	1.769	-8.291		9	13	-1.795	8.293
	5	14	1.793	-8.238		6	10	-1.766	8.287		10	6	1.799	-8.306
	6	7	-1.788	8.239		7	3	1.769	-8.301		10	23	-1.799	8.291
	7	0	1.791	-8.260		7	20	-1.767	8.296		11	16	1.803	-8.301
	7	17	-1.787	8.259		8	13	1.770	-8.310		12	9	-1.802	8.288
	8	10	1.790	-8.279		9	6	-1.767	8.303		13	2	1.806	-8.297
9	3	-1.785	8.278	9	23	1.770	-8.318	13	19	-1.805	8.281			
9	20	1.788	-8.296	10	16	-1.767	8.307	14	12	1.809	-8.292			
10	13	-1.784	8.295	11	9	1.771	-8.324	15	5	-1.809	8.273			
11	6	1.786	-8.312	12	2	-1.768	8.312	15	22	1.813	-8.284			
11	23	-1.782	8.311	12	19	1.771	-8.327	16	15	-1.812	8.263			
12	16	1.784	-8.325	13	12	-1.768	8.316	17	8	1.816	-8.275			
13	9	-1.780	8.326	14	5	1.772	-8.329	18	1	-1.815	8.252			
14	2	1.782	-8.339	14	22	-1.769	8.317	18	18	1.820	-8.265			
14	19	-1.778	8.338	15	15	1.772	-8.329	19	11	-1.818	8.240			
15	12	1.780	-8.352	16	8	-1.770	8.318	20	4	1.823	-8.251			
16	5	-1.776	8.347	17	1	1.773	-8.328	20	21	-1.822	8.228			
16	22	1.779	-8.362	17	18	-1.770	8.317	21	14	1.826	-8.236			
17	15	-1.774	8.357	18	11	1.773	-8.326	22	7	-1.825	8.213			
18	8	1.777	-8.372	19	4	-1.771	8.313	23	0	1.829	-8.220			
19	1	-1.772	8.363	19	21	1.774	-8.323	23	17	-1.829	8.196			
19	18	1.775	-8.380	20	14	-1.771	8.306	24	10	1.832	-8.202			
20	11	-1.770	8.370	21	7	1.775	-8.319	25	3	-1.832	8.177			
21	4	1.772	-8.385	22	0	-1.772	8.300	25	20	1.836	-8.183			
21	21	-1.768	8.376	22	17	1.775	-8.312	26	13	-1.835	8.156			
22	14	1.770	-8.388	23	10	-1.772	8.292	27	6	1.839	-8.164			
23	7	-1.766	8.380	24	3	1.776	-8.304	27	23	-1.838	8.133			
24	0	1.768	-8.391	24	20	-1.773	8.282	28	16	1.842	-8.142			
24	17	-1.764	8.382	25	13	1.777	-8.293	29	9	-1.841	8.109			
25	10	1.766	-8.392	26	6	-1.774	8.273	30	2	1.846	-8.118			
26	2	-1.763	8.162	26	23	1.777	-8.280	30	19	-1.844	8.084			
26	19	1.766	-8.179	27	16	-1.775	8.261	31	12	1.849	-8.092			
27	12	-1.763	8.183	28	9	1.778	-8.267	Avril	1	5	-1.847	8.058		
28	5	1.767	-8.201	Mars	1	1	-1.776	8.276	1	22	1.851	-8.063		
28	22	-1.764	8.200	1	18	1.780	-8.290	2	14	-1.851	8.299			
29	15	1.767	-8.221	2	11	-1.779	8.283	3	7	1.856	-8.309			
30	8	-1.764	8.218	3	4	1.783	-8.297	4	0	-1.857	8.292			
31	1	1.768	-8.238	3	21	-1.782	8.288	4	17	1.862	-8.301			
31	18	-1.764	8.235	4	14	1.786	-8.303	5	10	-1.863	8.282			
Févr.	1	11	1.768	-8.254	5	7	-1.785	8.290	6	3	1.867	-8.292		

MIRANDA 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Avril	6	20	-1.868	8.271	Mai	8	16	1.989	-8.171	Juin	9	12	-2.094	7.896
	7	13	1.873	-8.282		9	9	-1.991	8.139		10	5	2.097	-7.898
	8	6	-1.874	8.258		10	2	1.995	-8.143		10	22	-2.095	7.850
	8	23	1.879	-8.270		10	19	-1.996	8.109		11	14	2.100	-8.415
	9	16	-1.879	8.243		11	12	2.001	-8.115		12	7	-2.101	8.383
	10	9	1.885	-8.256		12	5	-2.001	8.077		13	0	2.106	-8.390
	11	2	-1.885	8.227		12	22	2.006	-8.084		13	17	-2.108	8.357
	11	19	1.890	-8.239		13	15	-2.006	8.044		14	10	2.112	-8.363
	12	12	-1.890	8.211		14	8	2.011	-8.052		15	3	-2.113	8.328
	13	5	1.895	-8.220		15	1	-2.010	8.009		15	20	2.118	-8.336
	13	22	-1.896	8.192		15	18	2.016	-8.017		16	13	-2.119	8.296
	14	15	1.901	-8.200		16	11	-2.015	7.973		17	6	2.123	-8.306
	15	8	-1.901	8.172		17	4	2.020	-7.979		17	23	-2.123	8.264
16	1	1.905	-8.178	17	21	-2.019	7.937	18	16	2.128	-8.274			
16	18	-1.906	8.150	18	14	2.023	-7.940	19	9	-2.127	8.230			
17	11	1.910	-8.155	19	7	-2.023	7.898	20	2	2.132	-8.239			
18	4	-1.911	8.125	20	0	2.027	-7.899	20	19	-2.131	8.194			
18	21	1.916	-8.132	20	17	-2.026	7.857	21	12	2.136	-8.202			
19	14	-1.915	8.097	21	10	2.030	-7.858	22	5	-2.135	8.159			
20	7	1.920	-8.106	22	2	-2.029	8.326	22	22	2.138	-8.162			
21	0	-1.920	8.070	22	19	2.034	-8.333	23	15	-2.137	8.120			
21	17	1.925	-8.078	23	12	-2.037	8.303	24	8	2.141	-8.122			
22	10	-1.924	8.040	24	5	2.042	-8.313	25	1	-2.140	8.078			
23	3	1.930	-8.048	24	22	-2.043	8.277	25	18	2.143	-8.081			
23	20	-1.929	8.009	25	15	2.049	-8.289	26	11	-2.141	8.035			
24	13	1.934	-8.016	26	8	-2.050	8.252	27	4	2.144	-8.037			
25	6	-1.933	7.978	27	1	2.055	-8.262	27	21	-2.142	7.988			
25	23	1.937	-7.981	27	18	-2.056	8.225	28	14	2.145	-7.994			
26	16	-1.937	7.944	28	11	2.061	-8.234	29	7	-2.142	7.940			
27	9	1.941	-7.946	29	4	-2.062	8.196	29	23	2.147	-8.529			
28	2	-1.941	7.908	29	21	2.067	-8.203	Juill.	30	16	-2.147	8.490		
28	19	1.945	-7.910	30	14	-2.067	8.166		1	9	2.152	-8.502		
29	11	-1.945	8.292	31	7	2.072	-8.170		2	2	-2.152	8.464		
30	4	1.950	-8.302	Juin	1	0	-2.073		8.134	2	19	2.157	-8.473	
30	21	-1.952	8.275		1	17	2.077		-8.137	3	12	-2.157	8.434	
Mai	1	14	1.957	-8.286	2	10	-2.077	8.098	4	5	2.161	-8.442		
	2	7	-1.959	8.255	3	3	2.081	-8.103	4	22	-2.161	8.404		
	3	0	1.964	-8.268	3	20	-2.082	8.060	5	15	2.164	-8.409		
	3	17	-1.965	8.235	4	13	2.085	-8.066	6	8	-2.164	8.371		
	4	10	1.971	-8.246	5	6	-2.085	8.021	7	1	2.168	-8.375		
	5	3	-1.972	8.214	5	23	2.089	-8.028	7	18	-2.167	8.335		
	5	20	1.977	-8.223	6	16	-2.088	7.980	8	11	2.170	-8.341		
	6	13	-1.978	8.190	7	9	2.093	-7.988	9	4	-2.169	8.297		
	7	6	1.984	-8.198	8	2	-2.091	7.938	9	21	2.172	-8.304		
	7	23	-1.985	8.166	8	19	2.095	-7.944	10	14	-2.170	8.257		

MIRANDA 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Juill.	11	7	2.173	-8.265	Août	12	2	-2.187	8.551	Sept.	12	21	2.158	-8.785
	12	0	-2.171	8.216		12	19	2.189	-8.557		13	14	-2.153	8.744
	12	17	2.174	-8.224		13	12	-2.184	8.510		14	7	2.153	-8.748
	13	10	-2.171	8.173		14	5	2.186	-8.518		14	23	-2.148	9.063
	14	3	2.174	-8.180		14	22	-2.181	8.469		15	16	2.151	-9.073
	14	20	-2.170	8.131		15	15	2.183	-8.477		16	9	-2.149	9.045
	15	13	2.173	-8.133		16	8	-2.177	8.426		17	2	2.152	-9.057
	16	6	-2.169	8.085		17	0	2.181	-8.925		17	19	-2.149	9.024
	16	22	2.173	-8.659		17	17	-2.179	8.889		18	12	2.152	-9.037
	17	15	-2.174	8.625		18	10	2.183	-8.901		19	5	-2.149	9.003
	18	8	2.177	-8.633		19	3	-2.181	8.867		19	22	2.152	-9.016
	19	1	-2.178	8.598		19	20	2.184	-8.875		20	15	-2.148	8.980
	19	18	2.181	-8.605		20	13	-2.182	8.841		21	8	2.151	-8.992
	20	11	-2.181	8.568		21	6	2.185	-8.849		22	1	-2.146	8.955
21	4	2.184	-8.577	21	23	-2.183	8.813	22	18	2.149	-8.965			
21	21	-2.183	8.535	22	16	2.185	-8.820	23	11	-2.144	8.930			
22	14	2.186	-8.546	23	9	-2.182	8.783	24	4	2.146	-8.936			
23	7	-2.184	8.502	24	2	2.184	-8.790	24	21	-2.141	8.902			
24	0	2.188	-8.512	24	19	-2.181	8.751	25	14	2.143	-8.907			
24	17	-2.185	8.467	25	12	2.183	-8.760	26	7	-2.138	8.871			
25	10	2.189	-8.476	26	5	-2.178	8.716	27	0	2.139	-8.877			
26	3	-2.186	8.431	26	22	2.181	-8.726	27	17	-2.133	8.838			
26	20	2.189	-8.438	27	15	-2.175	8.680	28	10	2.135	-8.844			
27	13	-2.186	8.394	28	8	2.178	-8.689	29	3	-2.128	8.803			
28	6	2.188	-8.397	29	1	-2.172	8.644	29	20	2.130	-8.810			
28	23	-2.185	8.353	29	18	2.174	-8.651	Oct.	30	12	-2.126	9.062		
29	16	2.187	-8.355	30	11	-2.168	8.604		1	5	2.130	-9.078		
30	9	-2.183	8.310	31	4	2.169	-8.610		1	22	-2.126	9.046		
31	2	2.185	-8.314	31	20	-2.166	8.999		2	15	2.130	-9.061		
31	19	-2.180	8.265	Sept.	1	13	2.170		-9.008	3	8	-2.126	9.030	
Août	1	11	2.182		-8.804	2	6		-2.168	8.979	4	1	2.130	-9.042
	2	4	-2.182	8.769	2	23	2.171	-8.987	4	18	-2.126	9.011		
	2	21	2.186	-8.781	3	16	-2.169	8.956	5	11	2.129	-9.021		
	3	14	-2.185	8.742	4	9	2.171	-8.965	6	4	-2.125	8.991		
	4	7	2.189	-8.756	5	2	-2.168	8.930	6	21	2.127	-8.998		
	5	0	-2.187	8.715	5	19	2.171	-8.940	7	14	-2.123	8.968		
	5	17	2.191	-8.727	6	12	-2.167	8.903	8	7	2.125	-8.974		
	6	10	-2.188	8.687	7	5	2.170	-8.914	9	0	-2.120	8.942		
	7	3	2.192	-8.696	7	22	-2.165	8.874	9	17	2.122	-8.950		
	7	20	-2.189	8.656	8	15	2.169	-8.886	10	10	-2.117	8.914		
	8	13	2.192	-8.663	9	8	-2.163	8.844	11	3	2.119	-8.923		
	9	6	-2.189	8.624	10	1	2.166	-8.854	11	20	-2.113	8.885		
	9	23	2.191	-8.629	10	18	-2.160	8.814	12	13	2.115	-8.894		
	10	16	-2.188	8.589	11	11	2.162	-8.820	13	6	-2.108	8.854		
11	9	2.190	-8.593	12	4	-2.157	8.780	13	23	2.111	-8.863			

MIRANDA 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Oct.	14	16	-2.103	8.821	Nov.	9	19	2.076	-8.859	Déc.	5	23	-2.037	8.570
	15	9	2.106	-8.829		10	12	-2.072	8.829		6	16	2.040	-8.576
	16	1	-2.102	9.023		11	5	2.074	-8.836		7	9	-2.034	8.538
	16	18	2.106	-9.035		11	22	-2.069	8.806		8	2	2.037	-8.545
	17	11	-2.102	9.010		12	15	2.071	-8.812		8	18	-2.031	8.664
	18	4	2.106	-9.020		13	8	-2.066	8.780		9	11	2.036	-8.678
	18	21	-2.102	8.994		14	1	2.069	-8.788		10	4	-2.032	8.651
	19	14	2.105	-9.004		14	18	-2.063	8.752		10	21	2.037	-8.666
	20	7	-2.102	8.977		15	11	2.065	-8.761		11	14	-2.033	8.637
	21	0	2.104	-8.986		16	4	-2.059	8.723		12	7	2.037	-8.650
21	17	-2.100	8.957	16	21	2.062	-8.732	13	0	-2.034	8.623			
22	10	2.103	-8.968	17	14	-2.055	8.693	13	17	2.038	-8.633			
23	3	-2.098	8.934	18	7	2.058	-8.702	14	10	-2.034	8.606			
23	20	2.101	-8.947	18	23	-2.052	8.814	15	3	2.038	-8.615			
24	13	-2.096	8.912	19	16	2.057	-8.829	15	20	-2.034	8.588			
25	6	2.099	-8.923	20	9	-2.053	8.804	16	13	2.038	-8.596			
25	23	-2.093	8.888	21	2	2.057	-8.815	17	6	-2.034	8.568			
26	16	2.096	-8.897	21	19	-2.053	8.792	17	23	2.037	-8.575			
27	9	-2.090	8.861	22	12	2.057	-8.801	18	16	-2.034	8.546			
28	2	2.092	-8.870	23	5	-2.053	8.777	19	9	2.037	-8.555			
28	19	-2.086	8.835	23	22	2.056	-8.786	20	2	-2.033	8.521			
29	12	2.088	-8.840	24	15	-2.053	8.760	20	19	2.037	-8.532			
30	5	-2.082	8.805	25	8	2.056	-8.769	21	12	-2.032	8.496			
30	22	2.083	-8.809	26	1	-2.052	8.741	22	5	2.036	-8.506			
31	15	-2.077	8.773	26	18	2.055	-8.752	22	22	-2.031	8.470			
Nov.	1	7	2.080	-8.956	27	11	-2.050	8.720	23	15	2.035	-8.479		
	2	0	-2.077	8.932	28	4	2.054	-8.733	24	8	-2.030	8.443		
	2	17	2.081	-8.945	28	21	-2.049	8.699	25	1	2.034	-8.450		
	3	10	-2.077	8.919	29	14	2.052	-8.710	25	18	-2.029	8.415		
	4	3	2.081	-8.932	30	7	-2.047	8.677	26	11	2.032	-8.419		
	4	20	-2.077	8.903	Déc.	1	0	2.050	-8.686	27	4	-2.028	8.385	
	5	13	2.081	-8.917		1	17	-2.045	8.653	27	21	2.031	-8.388	
	6	6	-2.076	8.886		2	10	2.048	-8.660	28	14	-2.026	8.352	
	6	23	2.080	-8.899		3	3	-2.043	8.628	29	7	2.029	-8.357	
	7	16	-2.075	8.870		3	20	2.045	-8.633	30	0	-2.024	8.318	
8	9	2.078	-8.880	4	13	-2.040	8.600	30	17	2.027	-8.323			
9	2	-2.073	8.850	5	6	2.043	-8.604	31	10	-2.022	8.282			

ARIEL 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Janv.	1	22	-3.449	11.510	Févr.	27	16	3.272	-11.666	Avril	25	11	-3.309	12.224	
	3	4	3.453	-11.401		28	23	-3.263	11.856		26	17	3.317	-12.242	
	4	10	-3.440	11.239		Mars	2	5	3.270		-11.816	28	0	-3.314	12.247
	5	16	3.439	-11.121			3	11	-3.262		11.726	29	6	3.326	-12.281
	6	23	-3.428	11.474	4	17	3.264	-11.675	30		12	-3.323	12.262		
	8	5	3.432	-11.375	6	0	-3.258	11.856	Mai		1	18	3.330	-12.285	
	9	11	-3.417	11.208	7	6	3.266	-11.827			3	1	-3.328	12.280	
	10	18	3.417	-11.596	8	12	-3.255	11.732			4	7	3.342	-12.324	
	12	0	-3.408	11.447	9	19	3.261	-11.942			5	13	-3.336	12.301	
	13	6	3.410	-11.345	11	1	-3.256	11.867			6	20	3.345	-12.324	
14	12	-3.395	11.187	12	7	3.261	-11.835	8	2	-3.345	12.322				
15	19	3.398	-11.566	13	13	-3.251	11.748	9	8	3.356	-12.363				
17	1	-3.388	11.422	14	20	3.261	-11.951	10	14	-3.351	12.347				
18	7	3.389	-11.324	16	2	-3.254	11.880	11	21	3.361	-12.363				
19	14	-3.373	11.625	17	8	3.259	-11.852	13	3	-3.361	12.363				
20	20	3.379	-11.543	18	15	-3.252	11.977	14	9	3.372	-12.408				
22	2	-3.368	11.400	19	21	3.261	-11.967	15	15	-3.366	12.391				
23	8	3.368	-11.304	21	3	-3.254	11.896	16	22	3.379	-12.406				
24	15	-3.356	11.604	22	9	3.258	-11.870	18	4	-3.377	12.406				
25	21	3.361	-11.522	23	16	-3.255	11.995	19	10	3.388	-12.453				
27	3	-3.348	11.382	24	22	3.263	-11.985	20	16	-3.382	12.440				
28	9	3.348	-11.289	26	4	-3.255	11.917	21	23	3.396	-12.450				
29	16	-3.339	11.584	27	11	3.263	-12.066	23	5	-3.394	12.452				
30	22	3.343	-11.507	28	17	-3.259	12.014	24	11	3.405	-12.501				
Févr.	1	4	-3.330	11.368	29	23	3.267	-12.008	25	17	-3.398	12.488			
	2	11	3.331	-11.691	Avril	31	5	-3.257	11.941	27	0	3.413	-12.495		
3	17	-3.324	11.571	1		12	3.269	-12.085	28	6	-3.411	12.500			
4	23	3.326	-11.493	2		18	-3.265	12.039	29	12	3.421	-12.549			
6	5	-3.312	11.359	4		0	3.271	-12.032	30	19	-3.416	12.475			
7	12	3.318	-11.679	5		7	-3.265	12.100	Juin	1	1	3.430	-12.541		
8	18	-3.308	11.558	6	13	3.277	-12.112	2		7	-3.428	12.548			
10	0	3.311	-11.487	7	19	-3.271	12.063	3		13	3.438	-12.601			
11	7	-3.298	11.726	9	1	3.277	-12.064	4		20	-3.432	12.518			
12	13	3.305	-11.671	10	8	-3.274	12.124	6		2	3.447	-12.592			
13	19	-3.295	11.553	11	14	3.285	-12.141	7	8	-3.444	12.596				
15	1	3.295	-11.479	12	20	-3.279	12.096	8	14	3.455	-12.652				
16	8	-3.288	11.723	14	3	3.287	-12.180	9	21	-3.449	12.568				
17	14	3.292	-11.663	15	9	-3.286	12.157	11	3	3.463	-12.637				
18	20	-3.282	11.552	16	15	3.294	-12.170	12	9	-3.461	12.650				
20	3	3.285	-11.817	17	21	-3.288	12.130	13	15	3.470	-12.701				
21	9	-3.277	11.716	19	4	3.300	-12.214	14	22	-3.465	12.615				
22	15	3.283	-11.667	20	10	-3.296	12.186	16	4	3.480	-12.689				
23	21	-3.269	11.549	21	16	3.306	-12.209	17	10	-3.476	12.695				
25	4	3.277	-11.816	22	23	-3.298	12.208	18	16	3.487	-12.757				
26	10	-3.269	11.720	24	5	3.313	-12.248	19	23	-3.479	12.660				

ARIEL 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Juin	21	5	3.495	-12.737	Août	16	21	-3.589	13.242	Oct.	12	13	3.566	-13.115
	22	11	-3.492	12.748		18	3	3.596	-13.270		13	19	-3.556	13.027
	23	17	3.501	-12.804		19	9	-3.586	13.232		15	1	3.561	-12.992
	24	23	-3.495	12.804		20	16	3.596	-13.285		16	7	-3.549	12.890
	26	6	3.508	-12.783		21	22	-3.592	13.268		17	14	3.555	-13.078
Juill.	27	12	-3.506	12.798	23	4	3.598	-13.289	18	20	-3.548	12.998		
	28	18	3.516	-12.858	24	10	-3.590	13.253	20	2	3.552	-12.955		
	30	0	-3.508	12.851	25	17	3.596	-13.306	21	8	-3.541	12.856		
	1	7	3.522	-12.835	26	23	-3.591	13.280	22	15	3.545	-13.043		
	2	13	-3.518	12.844	28	5	3.601	-13.310	23	21	-3.537	12.956		
Sept.	3	19	3.530	-12.907	29	11	-3.591	13.265	25	3	3.544	-12.921		
	5	1	-3.523	12.904	30	17	3.597	-13.274	26	9	-3.531	12.813		
	6	8	3.533	-12.879	1	0	-3.590	13.295	27	15	3.534	-12.761		
	7	14	-3.532	12.895	2	6	3.599	-13.317	28	22	-3.527	12.918		
	8	20	3.541	-12.954	3	12	-3.593	13.279	30	4	3.532	-12.875		
Nov.	10	2	-3.535	12.952	4	18	3.598	-13.280	31	10	-3.522	12.776		
	11	9	3.544	-12.926	6	0	-3.587	13.224	1	16	3.523	-12.715		
	12	15	-3.542	12.939	7	7	3.598	-13.325	2	23	-3.515	12.874		
	13	21	3.553	-13.002	8	13	-3.590	13.281	4	5	3.521	-12.833		
	15	3	-3.546	12.998	9	19	3.598	-13.288	5	11	-3.510	12.727		
Dec.	16	9	3.554	-13.044	11	1	-3.587	13.225	6	17	3.513	-12.675		
	17	16	-3.551	12.984	12	8	3.593	-13.326	8	0	-3.501	12.824		
	18	22	3.563	-13.046	13	14	-3.588	13.282	9	6	3.508	-12.787		
	20	4	-3.557	13.044	14	20	3.595	-13.284	10	12	-3.498	12.683		
	21	10	3.564	-13.089	16	2	-3.587	13.225	11	18	3.500	-12.624		
Jan.	22	17	-3.559	13.025	17	8	3.590	-13.208	13	1	-3.488	12.779		
	23	23	3.571	-13.088	18	15	-3.583	13.276	14	7	3.495	-12.736		
	25	5	-3.566	13.086	19	21	3.592	-13.279	15	13	-3.485	12.636		
	26	11	3.574	-13.131	21	3	-3.583	13.215	16	19	3.487	-12.578		
	27	18	-3.565	13.065	22	9	3.588	-13.200	18	2	-3.473	12.726		
Févr.	29	0	3.578	-13.126	23	16	-3.577	13.265	19	8	3.481	-12.688		
	30	6	-3.573	13.126	24	22	3.586	-13.266	20	14	-3.471	12.584		
	31	12	3.582	-13.170	26	4	-3.579	13.203	21	20	3.473	-12.528		
	1	18	-3.573	13.149	27	10	3.585	-13.185	23	2	-3.459	12.409		
	3	1	3.583	-13.165	28	16	-3.574	13.103	24	9	3.466	-12.636		
Mars.	4	7	-3.578	13.159	Oct.	29	23	3.580	-13.250	25	15	-3.456	12.534	
	5	13	3.588	-13.206		1	5	-3.573	13.183	26	21	3.459	-12.478	
	6	19	-3.580	13.187		2	11	3.580	-13.167	28	3	-3.444	12.359	
	8	2	3.586	-13.193		3	17	-3.570	13.084	29	10	3.451	-12.585	
	9	8	-3.583	13.194		4	23	3.572	-13.046	30	16	-3.441	12.482	
Avril.	10	14	3.592	-13.235	6	6	-3.566	13.163	Nov.	1	22	3.443	-12.426	
	11	20	-3.586	13.218	7	12	3.573	-13.141		3	4	-3.429	12.311	
	13	2	3.592	-13.244	8	18	-3.564	13.059		4	11	3.435	-12.531	
	14	9	-3.584	13.218	10	0	3.568	-13.022		5	17	-3.426	12.432	
	15	15	3.596	-13.267	11	7	-3.556	13.132		6	23	3.428	-12.377	

ARIEL 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Déc.	8	6	-3.413	12.518	Déc.	17	1	3.395	-12.277	Déc.	25	21	-3.363	12.237
	9	12	3.420	-12.482		18	8	-3.383	12.418		27	3	3.362	-12.183
	10	18	-3.409	12.380		19	14	3.389	-12.381		28	10	-3.355	12.323
	12	0	3.412	-12.328		20	20	-3.378	12.281		29	16	3.358	-12.284
	13	7	-3.398	12.468		22	2	3.380	-12.233		30	22	-3.347	12.193
	14	13	3.404	-12.428		23	9	-3.368	12.365					
	15	19	-3.395	12.334		24	15	3.374	-12.334					

UMBRIEL 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	15	4.858	-15.937	Avril	5	1	-4.587	16.793	Juill.	7	9	4.962	-18.005
	3	16	-4.826	15.621		7	3	4.599	-16.837		9	11	-4.965	17.985
	5	18	4.833	-15.690		9	5	-4.596	16.871		11	13	4.971	-18.014
	7	20	-4.803	15.823		11	7	4.608	-16.908		13	14	-4.979	18.077
	9	22	4.809	-15.874		13	8	-4.606	16.865		15	16	4.985	-18.104
	12	0	-4.778	16.002		15	10	4.618	-16.906		17	17	-4.990	18.155
	14	2	4.782	-16.049		17	12	-4.620	16.943		19	19	4.995	-18.177
	16	3	-4.756	15.779		19	14	4.631	-16.976		21	21	-5.002	18.182
	18	5	4.760	-15.827		21	16	-4.635	17.009		23	23	5.004	-18.198
	20	7	-4.733	15.963		23	18	4.642	-17.026		26	0	-5.012	18.256
22	9	4.737	-16.000	25	19	-4.649	17.031	28	2	5.014	-18.267			
24	11	-4.711	16.129	27	21	4.658	-17.058	30	4	-5.020	18.277			
26	12	4.711	-15.788	29	23	-4.667	17.093	Août	1	5	5.020	-18.319		
28	14	-4.693	15.937	Mai	2	1	4.673		-17.108	3	7	-5.029	18.345	
30	16	4.693	-15.966		4	3	-4.683		17.137	5	9	5.027	-18.346	
Févr.	1	18	-4.673	16.102	6	5	4.687	-17.142	7	10	-5.034	18.390		
	3	20	4.673	-16.123	8	6	-4.702	17.190	9	12	5.034	-18.398		
	5	22	-4.654	16.252	10	8	4.708	-17.202	11	14	-5.037	18.415		
	7	23	4.652	-15.945	12	10	-4.720	17.230	13	15	5.037	-18.426		
	10	1	-4.640	16.090	14	12	4.725	-17.237	15	17	-5.043	18.458		
	12	3	4.637	-16.108	16	13	-4.739	17.292	17	19	5.041	-18.460		
	14	5	-4.625	16.238	18	15	4.744	-17.304	19	20	-5.044	18.473		
	16	7	4.623	-16.257	20	17	-4.759	17.332	21	22	5.046	-18.488		
	18	9	-4.610	16.369	22	19	4.764	-17.341	23	23	-5.044	18.470		
	20	11	4.608	-16.386	24	20	-4.775	17.397	26	1	5.048	-18.492		
22	12	-4.601	16.239	26	22	4.783	-17.418	28	3	-5.046	18.512			
24	14	4.599	-16.262	29	0	-4.796	17.433	30	5	5.047	-18.526			
26	16	-4.591	16.371	31	2	4.805	-17.455	Sept.	1	6	-5.046	18.500		
28	18	4.591	-16.400	Juin	2	4	-4.813		17.450	3	8	5.051	-18.528	
Mars	2	20	-4.581		4	5	4.822		-17.535	5	9	-5.042	18.464	
4	22	4.583	-16.518	6	7	-4.834	17.542	7	11	5.050	-18.501			
6	23	-4.575	16.386	8	9	4.844	-17.571	9	13	-5.041	18.511			
9	1	4.579	-16.424	10	11	-4.849	17.551	11	14	5.046	-18.452			
11	3	-4.572	16.507	12	12	4.862	-17.660	13	16	-5.038	18.470			
13	5	4.578	-16.549	14	14	-4.869	17.649	15	18	5.046	-18.504			
15	7	-4.568	16.607	16	16	4.881	-17.686	17	19	-5.033	18.408			
17	9	4.576	-16.651	18	18	-4.885	17.661	19	21	5.043	-18.446			
19	10	-4.567	16.539	20	19	4.898	-17.778	21	23	-5.028	18.455			
21	12	4.577	-16.589	22	21	-4.904	17.759	24	0	5.036	-18.365			
23	14	-4.570	16.646	24	23	4.917	-17.804	26	2	-5.025	18.388			
25	16	4.581	-16.695	27	0	-4.919	17.847	28	4	5.031	-18.414			
27	18	-4.574	16.736	29	2	4.932	-17.894	30	5	-5.019	18.301			
29	20	4.585	-16.782	Juill.	1	4	-4.937	17.875	Oct.	2	7	5.025	-18.326	
31	21	-4.577	16.698		3	6	4.946	-17.911		4	9	-5.010	18.350	
Avril	2	23	4.590		-16.751	5	7	-4.951		17.964	6	10	5.017	-18.214

UMBRIEL 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Oct.	8 12	-5.005	18.256	Nov.	6 11	-4.927	17.677	Déc.	5 12	-4.808	17.396
	10 14	5.007	-18.264		8 13	4.924	-17.672		7 13	4.810	-17.195
	12 15	-4.997	18.144		10 15	-4.914	17.741		9 15	-4.791	17.234
	14 17	4.999	-18.145		12 17	4.910	-17.736		11 17	4.794	-17.260
	16 19	-4.985	18.193		14 18	-4.897	17.569		13 19	-4.771	17.282
	18 20	4.988	-18.011		16 20	4.896	-17.577		15 21	4.775	-17.305
	20 22	-4.978	18.073		18 22	-4.881	17.629		17 22	-4.753	17.127
23 0	4.976	-18.064	21 0	4.878	-17.632	20 0	4.758	-17.153			
25 1	-4.967	17.934	23 1	-4.864	17.459	22 2	-4.736	17.180			
27 3	4.965	-17.924	25 3	4.863	-17.473	24 4	4.738	-17.192			
29 5	-4.954	17.988	27 5	-4.845	17.512	26 5	-4.718	17.031			
31 6	4.951	-17.768	29 6	4.845	-17.302	28 7	4.722	-17.052			
Nov.	2 8	-4.942	17.841	Déc.	1 8	-4.827	17.344	30 9	-4.703	17.081	
	4 10	4.939	-17.833		3 10	4.830	-17.368				

TITANIA 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	3	12	7.851	-25.968	Mai	5	22	7.632	-28.089	Sept.	4	17	8.216	-30.352
	7	21	-7.851	26.196		10	6	-7.694	28.293		9	1	-8.236	30.419
	12	5	7.770	-25.865		14	15	7.697	-28.260		13	9	8.207	-30.300
	16	14	-7.767	26.049		19	0	-7.761	28.455		17	17	-8.231	30.358
	20	23	7.691	-26.087		23	9	7.760	-28.391		22	1	8.185	-30.161
	25	8	-7.692	26.262		27	17	-7.830	28.649		26	9	-8.215	30.218
Févr.	29	17	7.619	-26.288	Juin	1	2	7.827	-28.580	Oct.	30	18	8.165	-30.096
	3	2	-7.622	26.463		5	10	-7.895	28.842		5	2	-8.190	30.128
	7	11	7.563	-26.501		9	19	7.898	-28.797		9	10	8.141	-29.894
	11	20	-7.558	26.625		14	4	-7.955	28.975		13	18	-8.162	29.883
	16	5	7.513	-26.697		18	12	7.961	-28.999		18	2	8.105	-29.623
Mars	20	14	-7.512	26.816	Juill.	22	21	-8.017	29.182	Nov.	22	11	-8.127	29.745
	24	23	7.473	-26.877		27	5	8.018	-29.199		26	19	8.066	-29.467
	1	8	-7.480	27.005		1	13	-8.071	29.442		31	3	-8.085	29.427
	5	17	7.451	-27.049		5	22	8.076	-29.424		4	11	8.027	-29.152
		10	2	-7.458		27.172		10	6		-8.113	29.614		8
	14	11	7.442	-27.228		14	14	8.121	-29.674		13	4	7.977	-28.966
	18	20	-7.455	27.343		18	23	-8.154	29.799		17	13	-7.980	29.023
	23	5	7.444	-27.390		23	7	8.157	-29.846		21	21	7.920	-28.763
	27	14	-7.469	27.525		27	15	-8.186	30.010		26	5	-7.922	28.652
Avril	31	23	7.457	-27.530	Août	1	0	8.185	-30.011	Déc.	30	14	7.867	-28.572
	5	8	-7.492	27.684		5	8	-8.208	30.145		4	22	-7.855	28.421
	9	16	7.488	-27.630		9	16	8.207	-30.180		9	7	7.807	-28.375
	14	1	-7.527	27.787		14	0	-8.225	30.280		13	16	-7.795	28.386
	18	10	7.529	-27.801		18	8	8.217	-30.282		18	0	7.744	-28.172
	22	19	-7.579	27.976		22	16	-8.238	30.379		22	9	-7.734	28.197
Mai	27	4	7.574	-27.939		27	1	8.217	-30.335		26	18	7.686	-28.120
	1	13	-7.635	28.135		31	9	-8.241	30.439		31	2	-7.673	28.005

OBÉRON 2007

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	5	17	-10.464	34.663	Mai	7	16	-10.172	37.688	Sept.	5	17	-10.938	40.631
	12	11	10.387	-34.747		14	10	10.254	-37.930		12	10	10.929	-40.617
	19	6	-10.295	34.954		21	5	-10.301	38.018		19	2	-10.911	40.429
	26	0	10.221	-34.995		27	23	10.391	-38.275		25	19	10.907	-40.395
Févr.	1	19	-10.145	35.220	Juin	3	17	-10.438	38.392	Oct.	2	12	-10.872	40.165
	8	13	10.076	-35.257		10	11	10.520	-38.635		9	5	10.860	-40.083
	15	8	-10.032	35.533		17	4	-10.576	38.845		15	22	-10.812	39.788
	22	3	9.974	-35.740		23	22	10.644	-39.064		22	15	10.793	-39.645
Mars	28	22	-9.954	36.009	30	15	-10.695	39.292	29	8	-10.736	39.304		
	7	16	9.912	-36.044	Juill.	7	9	10.743	-39.462	Nov.	5	1	10.701	-39.094
	14	11	-9.921	36.316		14	2	-10.799	39.732		11	18	-10.644	38.771
	21	6	9.901	-36.489		20	19	10.826	-39.892		18	11	10.590	-38.482
28	1	-9.929	36.726	27		12	-10.873	40.140	25		5	-10.533	38.324	
Avril	3	20	9.939	-36.909	Août	3	5	10.883	-40.240	Déc.	1	23	10.463	-38.158
	10	14	-9.977	37.035		9	22	-10.920	40.448		8	16	-10.414	37.891
	17	9	10.014	-37.228		16	15	10.918	-40.500		15	10	10.333	-37.695
	24	4	-10.058	37.371		23	8	-10.938	40.622		22	4	-10.288	37.598
	30	22	10.126	-37.578	30	0	10.936	-40.631	28	22	10.206	-37.415		

CALENDRIER

Notations :

D : Date, jour du mois.

JOUR : Jour de la semaine.

JJ : Jour Julien à 12h.

JDA : Jour de l'année.

CALENDRIER 2007

JANVIER				FÉVRIER				MARS			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			0	0			31	0			59
1	Lun	2454102	1	1	Jeu	2454133	32	1	Jeu	2454161	60
2	Mar	4103	2	2	Ven	4134	33	2	Ven	4162	61
3	Mer	4104	3	3	Sam	4135	34	3	Sam	4163	62
4	Jeu	4105	4	4	Dim	4136	35	4	Dim	4164	63
5	Ven	4106	5	5	Lun	4137	36	5	Lun	4165	64
6	Sam	4107	6	6	Mar	4138	37	6	Mar	4166	65
7	Dim	4108	7	7	Mer	4139	38	7	Mer	4167	66
8	Lun	4109	8	8	Jeu	4140	39	8	Jeu	4168	67
9	Mar	4110	9	9	Ven	4141	40	9	Ven	4169	68
10	Mer	4111	10	10	Sam	4142	41	10	Sam	4170	69
11	Jeu	4112	11	11	Dim	4143	42	11	Dim	4171	70
12	Ven	4113	12	12	Lun	4144	43	12	Lun	4172	71
13	Sam	4114	13	13	Mar	4145	44	13	Mar	4173	72
14	Dim	4115	14	14	Mer	4146	45	14	Mer	4174	73
15	Lun	4116	15	15	Jeu	4147	46	15	Jeu	4175	74
16	Mar	4117	16	16	Ven	4148	47	16	Ven	4176	75
17	Mer	4118	17	17	Sam	4149	48	17	Sam	4177	76
18	Jeu	4119	18	18	Dim	4150	49	18	Dim	4178	77
19	Ven	4120	19	19	Lun	4151	50	19	Lun	4179	78
20	Sam	4121	20	20	Mar	4152	51	20	Mar	4180	79
21	Dim	4122	21	21	Mer	4153	52	21	Mer	4181	80
22	Lun	4123	22	22	Jeu	4154	53	22	Jeu	4182	81
23	Mar	4124	23	23	Ven	4155	54	23	Ven	4183	82
24	Mer	4125	24	24	Sam	4156	55	24	Sam	4184	83
25	Jeu	4126	25	25	Dim	4157	56	25	Dim	4185	84
26	Ven	4127	26	26	Lun	4158	57	26	Lun	4186	85
27	Sam	4128	27	27	Mar	4159	58	27	Mar	4187	86
28	Dim	4129	28	28	Mer	4160	59	28	Mer	4188	87
29	Lun	4130	29					29	Jeu	4189	88
30	Mar	4131	30					30	Ven	4190	89
31	Mer	4132	31					31	Sam	4191	90
AVRIL				MAI				JUIN			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			90	0			120	0			151
1	Dim	2454192	91	1	Mar	2454222	121	1	Ven	2454253	152
2	Lun	4193	92	2	Mer	4223	122	2	Sam	4254	153
3	Mar	4194	93	3	Jeu	4224	123	3	Dim	4255	154
4	Mer	4195	94	4	Ven	4225	124	4	Lun	4256	155
5	Jeu	4196	95	5	Sam	4226	125	5	Mar	4257	156
6	Ven	4197	96	6	Dim	4227	126	6	Mer	4258	157
7	Sam	4198	97	7	Lun	4228	127	7	Jeu	4259	158
8	Dim	4199	98	8	Mar	4229	128	8	Ven	4260	159
9	Lun	4200	99	9	Mer	4230	129	9	Sam	4261	160
10	Mar	4201	100	10	Jeu	4231	130	10	Dim	4262	161
11	Mer	4202	101	11	Ven	4232	131	11	Lun	4263	162
12	Jeu	4203	102	12	Sam	4233	132	12	Mar	4264	163
13	Ven	4204	103	13	Dim	4234	133	13	Mer	4265	164
14	Sam	4205	104	14	Lun	4235	134	14	Jeu	4266	165
15	Dim	4206	105	15	Mar	4236	135	15	Ven	4267	166
16	Lun	4207	106	16	Mer	4237	136	16	Sam	4268	167
17	Mar	4208	107	17	Jeu	4238	137	17	Dim	4269	168
18	Mer	4209	108	18	Ven	4239	138	18	Lun	4270	169
19	Jeu	4210	109	19	Sam	4240	139	19	Mar	4271	170
20	Ven	4211	110	20	Dim	4241	140	20	Mer	4272	171
21	Sam	4212	111	21	Lun	4242	141	21	Jeu	4273	172
22	Dim	4213	112	22	Mar	4243	142	22	Ven	4274	173
23	Lun	4214	113	23	Mer	4244	143	23	Sam	4275	174
24	Mar	4215	114	24	Jeu	4245	144	24	Dim	4276	175
25	Mer	4216	115	25	Ven	4246	145	25	Lun	4277	176
26	Jeu	4217	116	26	Sam	4247	146	26	Mar	4278	177
27	Ven	4218	117	27	Dim	4248	147	27	Mer	4279	178
28	Sam	4219	118	28	Lun	4249	148	28	Jeu	4280	179
29	Dim	4220	119	29	Mar	4250	149	29	Ven	4281	180
30	Lun	4221	120	30	Mer	4251	150	30	Sam	4282	181
				31	Jeu	4252	151				

CALENDRIER 2007

JUILLET				AOÛT				SEPTEMBRE			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			181	0			212	0			243
1	Dim	2454283	182	1	Mer	2454314	213	1	Sam	2454345	244
2	Lun	4284	183	2	Jeu	4315	214	2	Dim	4346	245
3	Mar	4285	184	3	Ven	4316	215	3	Lun	4347	246
4	Mer	4286	185	4	Sam	4317	216	4	Mar	4348	247
5	Jeu	4287	186	5	Dim	4318	217	5	Mer	4349	248
6	Ven	4288	187	6	Lun	4319	218	6	Jeu	4350	249
7	Sam	4289	188	7	Mar	4320	219	7	Ven	4351	250
8	Dim	4290	189	8	Mer	4321	220	8	Sam	4352	251
9	Lun	4291	190	9	Jeu	4322	221	9	Dim	4353	252
10	Mar	4292	191	10	Ven	4323	222	10	Lun	4354	253
11	Mer	4293	192	11	Sam	4324	223	11	Mar	4355	254
12	Jeu	4294	193	12	Dim	4325	224	12	Mer	4356	255
13	Ven	4295	194	13	Lun	4326	225	13	Jeu	4357	256
14	Sam	4296	195	14	Mar	4327	226	14	Ven	4358	257
15	Dim	4297	196	15	Mer	4328	227	15	Sam	4359	258
16	Lun	4298	197	16	Jeu	4329	228	16	Dim	4360	259
17	Mar	4299	198	17	Ven	4330	229	17	Lun	4361	260
18	Mer	4300	199	18	Sam	4331	230	18	Mar	4362	261
19	Jeu	4301	200	19	Dim	4332	231	19	Mer	4363	262
20	Ven	4302	201	20	Lun	4333	232	20	Jeu	4364	263
21	Sam	4303	202	21	Mar	4334	233	21	Ven	4365	264
22	Dim	4304	203	22	Mer	4335	234	22	Sam	4366	265
23	Lun	4305	204	23	Jeu	4336	235	23	Dim	4367	266
24	Mar	4306	205	24	Ven	4337	236	24	Lun	4368	267
25	Mer	4307	206	25	Sam	4338	237	25	Mar	4369	268
26	Jeu	4308	207	26	Dim	4339	238	26	Mer	4370	269
27	Ven	4309	208	27	Lun	4340	239	27	Jeu	4371	270
28	Sam	4310	209	28	Mar	4341	240	28	Ven	4372	271
29	Dim	4311	210	29	Mer	4342	241	29	Sam	4373	272
30	Lun	4312	211	30	Jeu	4343	242	30	Dim	4374	273
31	Mar	4313	212	31	Ven	4344	243				
OCTOBRE				NOVEMBRE				DÉCEMBRE			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			273	0			304	0			334
1	Lun	2454375	274	1	Jeu	2454406	305	1	Sam	2454436	335
2	Mar	4376	275	2	Ven	4407	306	2	Dim	4437	336
3	Mer	4377	276	3	Sam	4408	307	3	Lun	4438	337
4	Jeu	4378	277	4	Dim	4409	308	4	Mar	4439	338
5	Ven	4379	278	5	Lun	4410	309	5	Mer	4440	339
6	Sam	4380	279	6	Mar	4411	310	6	Jeu	4441	340
7	Dim	4381	280	7	Mer	4412	311	7	Ven	4442	341
8	Lun	4382	281	8	Jeu	4413	312	8	Sam	4443	342
9	Mar	4383	282	9	Ven	4414	313	9	Dim	4444	343
10	Mer	4384	283	10	Sam	4415	314	10	Lun	4445	344
11	Jeu	4385	284	11	Dim	4416	315	11	Mar	4446	345
12	Ven	4386	285	12	Lun	4417	316	12	Mer	4447	346
13	Sam	4387	286	13	Mar	4418	317	13	Jeu	4448	347
14	Dim	4388	287	14	Mer	4419	318	14	Ven	4449	348
15	Lun	4389	288	15	Jeu	4420	319	15	Sam	4450	349
16	Mar	4390	289	16	Ven	4421	320	16	Dim	4451	350
17	Mer	4391	290	17	Sam	4422	321	17	Lun	4452	351
18	Jeu	4392	291	18	Dim	4423	322	18	Mar	4453	352
19	Ven	4393	292	19	Lun	4424	323	19	Mer	4454	353
20	Sam	4394	293	20	Mar	4425	324	20	Jeu	4455	354
21	Dim	4395	294	21	Mer	4426	325	21	Ven	4456	355
22	Lun	4396	295	22	Jeu	4427	326	22	Sam	4457	356
23	Mar	4397	296	23	Ven	4428	327	23	Dim	4458	357
24	Mer	4398	297	24	Sam	4429	328	24	Lun	4459	358
25	Jeu	4399	298	25	Dim	4430	329	25	Mar	4460	359
26	Ven	4400	299	26	Lun	4431	330	26	Mer	4461	360
27	Sam	4401	300	27	Mar	4432	331	27	Jeu	4462	361
28	Dim	4402	301	28	Mer	4433	332	28	Ven	4463	362
29	Lun	4403	302	29	Jeu	4434	333	29	Sam	4464	363
30	Mar	4404	303	30	Ven	4435	334	30	Dim	4465	364
31	Mer	4405	304					31	Lun	4466	365

INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

OBSERVATOIRE DE PARIS

77, AVENUE DENFERT-ROCHEREAU, 75014 PARIS

Secrétariat : 01-40-51-21-28

Renseignements : 01-40-51-22-70

Directeur : William THUILLOT

Directeur adjoint : Alain VIENNE

CORPS DES ASTRONOMES ET DES ASTRONOMES ADJOINTS

Astronomes : William THUILLOT,
Patrick ROCHER.

Astronomes adjoints : Pascal DESCAMPS,
Daniel HESTROFFER,
Agnès FIENGA,
Valéry LAINEY.

CORPS DES CHERCHEURS DU CNRS

Directeurs de recherche : Jean-Eudes ARLOT,
Jacques LASKAR.

Chargés de recherche : François COLAS,
Alain ALBOUY,
David SAUZIN,
Philippe ROBUTEL,
Benjamin LEVRARD.

CORPS DES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS DES UNIVERSITÉS

Professeurs : Alain CHENCINER.

Maîtres de conférences : Laurent NIEDERMAN,
Luc DURIEZ,
Alain VIENNE,
Jacques FEJOZ,
Marc FOUCHARD.

CORPS DES INGÉNIEURS ET TECHNICIENS DU CNRS

Ingénieurs de recherche : Mickaël GASTINEAU,
Jérôme BERTHIER,
Frédéric VACHIER.

Ingénieurs d'études : Christian RUATTI,
Alain MONTINTIN,
Mirel BIRLAN,
Julien LECUBIN,
Jonathan NORMAND,
Hervé MANCHE.

Assistant ingénieur : Isabelle NICOLAS.

**CORPS DES INGÉNIEURS ET TECHNICIENS
DE RECHERCHE ET DE FORMATION**

Assistant ingénieur : Sylvie LEMAÎTRE-POTTIER,
Christian BAKABADIO.

Techniciens : Viviane RAOULT,
Maryse BONNAVENTURE,
Thérèse DEROUAZI,
Philippe DUHAMEL,
Luc TOUCHET.

ÉTUDIANTS pour l'année 2007

Thésitifs : Guillaume MORIN,
Julien BODOSSIAN,
Jocelyn COUETDIC,
Serge MOURET.
Josselin DESMARS.

BUREAU DES LONGITUDES

23, QUAI DE CONTI, 75006 PARIS

Bureau pour l'année 2006

Président : François BARLIER

Vice-Président : André LEBEAU

Secrétaire : Pierre BAÜER

MEMBRES TITULAIRES

Jean-François DENISSE (*), membre de l'Académie des sciences.

Jean KOVALEVSKY (*), membre de l'Académie des sciences.

Bernard GUINOT, correspondant de l'Académie des sciences.

Charles FEHRENBACH (*), membre de l'Académie des sciences.

Pierre GIACOMO, directeur honoraire du Bureau international des poids et mesures.

Roger CAYREL, astronome, observatoire de Paris.

Nicole CAPITAINE, astronome, observatoire de Paris.

Jean-Louis LE MOUËL, physicien, institut de physique du globe de Paris.

Suzanne DÉBARBAT, astronome titulaire honoraire, observatoire de Paris.

Jean-Paul POIRIER, physicien, institut de physique du globe de Paris.

Claude AUDOIN, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Paris.

François BARLIER, astronome honoraire, observatoire de la Côte d'Azur.

André LEBEAU, professeur, ancien président du CNES.

MEMBRES EN SERVICE EXTRAORDINAIRE

Gilles BESSERO, directeur du Service hydrographique et océanographique de la Marine.

Marc PIERROT-DESEILLIGNY, directeur technique adjoint de l'Institut géographique national.

Stéphane JANICHEWSKI, directeur général délégué du CNES.

William THUILLOT (°), directeur de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.

(*) Au titre de l'Académie des sciences.

(°) Au titre de l'Observatoire de Paris

MEMBRES CORRESPONDANTS

Marcel GOLAY, ancien directeur de l'observatoire de Genève.

Jean-Claude PECKER, professeur au Collège de France.

Pierre MERLIN, professeur, université de Paris VIII.

Raymond MICHARD, astronome titulaire honoraire.

André BERROIR, professeur, ancien directeur de l'INSU.

Gilbert AMAT, professeur honoraire, université de Paris VI.

Bernard SAINT-GUILY, ancien sous-directeur du laboratoire d'océanographie physique du Muséum national d'histoire naturelle.

Michel LEFEBVRE, ingénieur, CNES.

Pierre BAÜER, directeur de recherche au CNRS.

Claude BOUCHER, ingénieur général des Ponts et Chaussées à l'IGN.

Jean CHAPRONT, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Paris.

Jean-Claude DUPLESSY, directeur de recherche au CNRS, directeur du Centre des faibles radioactivités.

Jean-Eudes ARLOT, directeur de recherche au CNRS, Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.

François MIGNARD, directeur de recherche au CNRS, observatoire de la Côte d'Azur.

Jacques HINDERER, directeur de recherche au CNRS, institut de physique du globe de Strasbourg.

Viktor BRUMBERG, professeur, Institut d'astronomie appliquée, Saint-Pétersbourg.

Jean-Claude HUSSON, président directeur général d'Alcatel Espace.

Jean-Louis SIMON, astronome, Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.

Georges BALMINO, ingénieur, CNES, directeur exécutif du GRGS.

Michel CRÉPON, directeur de recherche au CNRS.

Pascal WILLIS, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées à l'IGN.

Sylvio FERRAZ-MELLO, professeur, université de São Paulo.

Elisa Felicitas ARIAS, physicienne, Bureau international des poids et mesures.

Catherine TURON, astronome, observatoire de Paris.

Christophe SOTIN, professeur, université de Nantes.

José ACHACHE, directeur général adjoint scientifique, CNES.

Catherine DE BERGH, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Paris.

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

2 0 0 7

Cet ouvrage d'éphémérides destiné aux astronomes, aux professeurs et aux étudiants est divisé en deux parties.

La première partie donne l'état actuel des connaissances sur les constantes astronomiques fondamentales, les échelles de temps, les systèmes de référence, la rotation de la Terre, les changements de coordonnées, ainsi que les explications nécessaires au calcul des éphémérides à partir des tables numériques fournies dans la deuxième partie et à l'usage du logiciel accompagnant l'ouvrage.

La deuxième partie présente pour l'année en cours, sous forme d'éphémérides tabulées, le Temps sidéral, les nutations en longitude et en obliquité, les variables se référant aux nouveaux concepts définis par l'UAI (angle de rotation de la Terre, équation des origines, coordonnées du pôle céleste intermédiaire, angle s) et les coordonnées du Soleil, de la Lune et des planètes. Elle donne aussi les coordonnées différentielles tangentielles aux heures les plus proches des élongations des satellites de Mars, des satellites galiléens de Jupiter, des huit premiers satellites de Saturne et des cinq principaux satellites d'Uranus.

À partir de cette année, les coordonnées du Soleil, de la Lune et des planètes sont issues d'une nouvelle théorie élaborée à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides, ajustée aux observations les plus récentes. La présentation de cette solution fait l'objet du chapitre six de la première partie.

Des éphémérides électroniques accompagnent l'ouvrage et constituent maintenant les éphémérides de précision proprement dites. Elles permettent de calculer, d'une manière interactive, non seulement toutes les variables tabulées dans la *Connaissance des Temps* mais aussi les coordonnées horizontales et les levers et couchers des astres. Elles sont donc bien adaptées à la préparation d'observations.

La *Connaissance des Temps* a été créée en 1679 par Joachim Dalancé. Cette édition, publiée sous la responsabilité du Bureau des longitudes depuis 1795, est la 329^e d'une éphéméride qui a paru sans interruption depuis sa création.



37 euros

978-2-86883-963-3

www.edpsciences.org



EDP
SCIENCES