

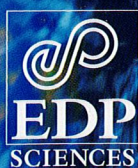
BUREAU DES LONGITUDES

Institut de Mécanique Céleste
et de Calcul des Éphémérides

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

CONNAISSANCE
DES TEMPS

2 0 1 2



BUREAU DES LONGITUDES

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

OBSERVATOIRE DE PARIS

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES 2012

CONNAISSANCE DES TEMPS

AUTRES PUBLICATIONS DU MÊME AUTEUR

Publications éditées par EDP Sciences

Annuaire du Bureau des longitudes. Guide de données astronomiques 2012.

Agenda astronomique pour 2012.

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 2012.

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

Suppléments à la Connaissance des Temps.

Phénomènes et configurations des satellites galiléens de Jupiter pour 2011.

Configurations des huit premiers satellites de Saturne pour 2011.

Le Calendrier Républicain (réédition en 1994).

L'astronomie au service de tous (2009).

L'observatoire de la marine et du Bureau des longitudes au parc Montsouris, 1875-1914
(par Guy Boistel, co-édition Edite, 2010).

Publications éditées par l'Observatoire de Paris

Promenade dans le système solaire (CD-ROM).

Les rendez-vous de Vénus (CD-ROM).

Rassemblement de 12 000 pages fac-similé des XVIII^e et XIX^e siècles, des récits des voyages d'astronomes à l'occasion des passages de Vénus devant le Soleil.

Vénus : le 8 juin 2004 (CD-ROM).

Dédié au passage de Vénus sur le disque du Soleil.

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. Cet ouvrage d'éphémérides, à parution annuelle, a eu, depuis sa création, un caractère 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* s'est trouvée placée à ses débuts sous des responsabilités diverses, puis pour une longue période sous l'autorité de l'Académie Royale des Sciences. Quand, en 1795, le Bureau des longitudes est créé, la réalisation de la *Connaissance des Temps* lui est attribuée.

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 au sein de ce Bureau. 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 actuellement des recherches sur lesquelles reposent les calculs nécessaires à la formation des éphémérides et en assure la parution sous la responsabilité scientifique du Bureau des longitudes.

L'IMCCE a entrepris, depuis 2004, une nouvelle rénovation de la *Connaissance des Temps*, décrite dans les pages qui suivent, qui prend en compte les dernières résolutions de l'Union astronomique internationale (UAI), propose une forme tabulée, et présente l'ouvrage accompagné d'éphémérides sur support électronique. Par ailleurs, des chapitres descriptifs fournissent aux utilisateurs les bases scientifiques nécessaires à la compréhension des éphémérides, ainsi que des indications précieuses sur leur utilisation. Enfin, les éphémérides fournies reposent sur les solutions les plus récentes pour les mouvements des corps du système solaire.

La *Connaissance des Temps* de notre époque, héritière d'une longue tradition au service des astronomes et des navigateurs, s'adresse à tous ceux qui ont besoin d'éphémérides astronomiques de précision. Elle constitue également un ouvrage de référence grâce aux chapitres scientifiques qui présentent les développements les plus récents relatifs aux théories, concepts, modèles et conventions sur lesquels reposent ces éphémérides.

N. Capitaine
Présidente 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 huit 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 une description des éphémérides INPOP concernant le Soleil, les planètes et la Lune. Le septième chapitre concerne les modèles orbitaux des satellites naturels. Il accompagne l'introduction, à partir de 2008, des nouvelles éphémérides des satellites galiléens, L1, des satellites de Mars, NOE-4-06 et d'Uranus, NOE-7-06. Le huitième 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 l'édition 2008, avec l'introduction des nouvelles éphémérides de satellites de Mars de Jupiter et d'Uranus, et après celle des nouvelles éphémérides planétaires en 2007, représenta une 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.

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.

– Un logiciel d'éphémérides électroniques est fourni sur le CD-ROM accompagnant l'ouvrage. Les tabulations de l'ouvrage permettent toujours 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 334^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.

D. Hestroffer

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

D. Hestroffer, M. Birlan

Responsables de la publication

Réalisation du CD-ROM : Le logiciel fourni sur le CD-ROM a été développé par J. Normand et G. Romero.

Collaboration technique : J. Berthier, J. Gominet, S. Lemaître-Pottier, H. Manche, J. Normand, Ch. Ruatti.

Remerciements : Nous remercions vivement A. Fienga pour sa collaboration à la construction des tables des éphémérides planétaires, 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. Le comité de rédaction composé de A. Fienga, M. Birlan, D. Gambis, J.-L. Simon et W. Thuillot a réalisé la refonte complète de l'ouvrage sur les éditions 2004 à 2007.

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	Comit consultatif pour la définition de la seconde
CEO	Celestial Ephemeris Origin
CEP	Celestial Ephemeris Pole
CERGA	Centre d'études et de recherches godynamiques 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 Astrometris 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 J2000.0 est notée 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 2010

– pages II. 22–24, erreur de signe dans la deuxième colonne des latitudes du Soleil ;

le tableau est disponible sur :

http://www.imcce.fr/fr/publications/publications_officielles/cdt_errata.pdf

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, planètes naines, comètes, astéroïdes et satellites, phénomènes ;
- données sur les objets du système solaire ;
- éléments orbitaux de comètes ;
- données sur les éclipses du Soleil et de la Lune ;
- 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
Liste des acronymes	I. vii
Notations	I. ix
Errata	I. ix
Les serveurs de l'IMCCE	I. x
Table des matières	I. xi

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. 31
1.6. Bibliographie.	I. 34
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. 46
2.6. Le temps des éphémérides (TE ou ET, Ephemeris Time)	I. 49
2.7. Les échelles de temps relativistes	I. 50
2.8. Bibliographie	I. 55
3. Systèmes de référence	I. 63
3.1. Introduction aux systèmes de référence	I. 63
3.2. Systèmes de référence relativistes	I. 65
3.3. Systèmes de référence dynamiques	I. 72
3.4. Le système de référence céleste international ICRS	I. 80
3.5. Le système international de référence terrestre ITRS	I. 86

3.6. Passage du système de référence céleste géocentrique au système de référence terrestre	I. 94
3.7. Bibliographie	I. 109
4. Rotation de la Terre	I. 115
4.1. Introduction des phénomènes physiques et observations	I. 115
4.2. La précession	I. 121
4.3. Modèles de nutation	I. 127
4.4. Détermination des paramètres d'orientation de la Terre	I. 137
4.5. Bibliographie	I. 146
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. Modèle dynamique	I. 170
6.3. Ajustement aux observations	I. 171
6.4. Bibliographie	I. 174
7. Modèles orbitaux des satellites naturels	I. 175
7.1. Introduction	I. 175
7.2. Modèle dynamique	I. 175
7.3. Ajustement aux observations	I. 176
7.4. Représentation des solutions	I. 178
7.5. Bibliographie	I. 180
8. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i>	I. 181
8.1. Présentation des éphémérides	I. 181
8.2. Sources des éphémérides	I. 185
8.3. Utilisation des éphémérides tabulées	I. 186
8.4. Utilisation des éphémérides électroniques	I. 188
8.5. Précision des éphémérides	I. 190
8.6. Bibliographie	I. 194

DEUXIÈME PARTIE : ÉPHÉMÉRIDES POUR 2012	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 astéroïdes	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 tangentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations Est	II. 98
Phobos	II. 98
Déimos	II. 106
Satellites de Jupiter	II. 109
Coordonnées tangentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations	II. 110
Io	II. 110
Europe	II. 114
Ganymède	II. 116
Callisto	II. 117
Satellites de Saturne	II. 119
Coordonnées tangentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations	II. 120
Mimas	II. 120
Encelade	II. 126
Téthys	II. 130
Dioné	II. 133
Rhéa	II. 135
Titan	II. 136
Hypériorion	II. 137
Japet	II. 137
Satellites d'Uranus	II. 139
Coordonnées tangentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations	II. 140
Miranda	II. 140
Ariel	II. 144
Umbriel	II. 147
Titania	II. 149
Obéron	II. 150
Calendrier	II. 151
Composition de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides	II. 155
Composition du Bureau des longitudes	II. 157

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. 63
Chapitre 4. Rotation de la Terre	I. 117
Chapitre 5. Changements de coordonnées	I. 151
Chapitre 6. Mouvement des planètes et de la Lune : la solution INPOP	I. 171
Chapitre 7. Modèles orbitaux des satellites naturels	I. 177
Chapitre 8. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i> ...	I. 183

CHAPITRE 1

DÉFINITIONS ET DONNÉES ASTRONOMIQUES

A. BEC-BORSENBERGER, J.-L. SIMON, D. HESTROFFER ET M. BIRLAN

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, 2005, 2007, 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	M_{\odot}

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 (*cf.* 2.7.2). 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_G et L_B , toutes deux étant désormais classées par l'UAI comme constante de définition (UAI, 2000, 2006).

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

$2\,451\,545.0 - 5 \times 365.25 = 2\,449\,718.75$, 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 les vingt-quatrième et vingt-sixième assemblées générales de l'UAI (UAI 2000, 2006). 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 VSOP2000 (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, UAI 2006, UAI 2009 et IERS 2003, IERS 2010.

	UAI 1976, 2000, 2006, 2009	IERS 2003, 2010
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⁾
1-d(TDB)/d(TCB), L_B		1.550 519 768×10 ⁻⁸ ⁽³⁾
TDB-TCB à T ₀ , TDB ₀		-6.55×10 ⁻⁵ ⁽⁴⁾
ERA à J2000, θ_0		0.779 057 273 2640 rev.
Taux de variation ERA, $d\theta/dt$	1.002 737 811 911 354 48	rev. (jour UT1) ⁻¹
Constantes primaires		
Temps de lumière pour l'unité de distance, τ_A	499.004 782 s	499.004 783 8061(200) s
Rayon équatorial de la Terre, R		6 378 136.6(1) m
Facteur d'ellipticité géopotentiel de la Terre, J_2		0.001 082 6359(1)
Constante géocentrique de la gravitation ⁽⁵⁾ , GM		3.986 004 418(8)×10 ¹⁴ m ³ s ⁻²
Constante de la gravitation ⁽⁶⁾ , G		6.674 28(67)×10 ⁻¹¹ m ³ kg ⁻¹ s ⁻²
Rapport de la masse de la Lune à la masse de la Terre, μ	0.012 300 0371(4)	0.012 300 0383(5)
Obliquité de l'écliptique pour J2000, ε_0	23° 26' 21".406(1)	23° 26' 21".4059(3)
Potentiel de gravité à la surface du géoïde, W		62 636 856.0(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 précession par siècle julien pour J2000, p	5 029".0966	
Constante de la nutation pour J2000, N_0	9".2025 ⁽⁷⁾	
Unité astronomique, $A = c\tau_A$		1.495 978 707 00(3)×10 ¹¹ 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, 2000, 2006, 2009	IERS 2003
Valeur moyenne de 1-d(TCG)/d(TCB), L_C	1.480 826 867 41(200)×10 ⁻⁸	
Aplatissement de la Terre, f	0.003 352 81 = 1/298.257	1/298.256 42± 1/0.00001
Constante héliocentrique de la gravitation ⁽⁵⁾ , $GS = A^3 k^2 d^{-2}$	1.327 124 420 99(10)×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, $GS/G = S$	1.9884×10 ³⁰ kg	

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

(²) Système UAI 2000.

(³) Système UAI 2009.

(⁴) $T_0 = 2\,443\,144.500\,3725$ JJ_{TCB}.

(⁵) Valeur compatible au TCB.

(⁶) CODATA 2006.

(⁷) Système UAI 1976 seulement.

Table 1.7. Rapport de la masse du Soleil aux masses des planètes principales dans les systèmes UAI 2009, IERS 2010 et DE421.

	UAI 2009 – IERS 2010	DE421
Mercure	6 023 600(300)	6 023 597.400
Vénus	408 523.719(3)	408 523.719
Terre	332 946.048 679	332 946.048 166
Lune		27 068 703.185 436
Mars	3 098 703.59(2)	3 098 703.590
Jupiter + satellites galiléens	1 047.348 64(2)	1 047.3486
Saturne + satellites	3 497.9018(4)	3 497.902
Uranus + satellites	22 902.98(3)	22 902.982
Neptune + satellites	19 412.26(3)	19 412.237
Pluton + Charon	136 566 000(28 000)	135 836 683.768

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	Jacobson 2001 (a) Jacobson et al. 2006 (b) Owen et al. 1991 (c)
Jupiter	Io	4.70×10^{-5}	4.703×10^{-5} (a)
	Europe	2.56×10^{-5}	2.527×10^{-5} (a)
	Ganymède	7.84×10^{-5}	7.803×10^{-5} (a)
	Callisto	5.6×10^{-5}	5.666×10^{-5} (a)
Saturne	Titan	2.41×10^{-4}	2.367×10^{-4} (b)
	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, Seidelmann et al. 2002, et Archinal et al. 2010.

	UAI 1976	Archinal et al. 2010
Mercure	2 439	2 439.7 ± 1.0
Vénus	6 052	6 051.8 ± 1.0
Terre	6 378.140	6 378.1366 ± 0.0001
Mars	3 397.2	3 396.19 ± 0.1
Jupiter	71 398	71 492 ± 4 ⁽¹⁾
Saturne	60 000	60 268 ± 4 ⁽¹⁾
Uranus	25 400	25 559 ± 4 ⁽¹⁾
Neptune	24 300	24 764 ± 15 ⁽¹⁾
Pluton	2 500	1 195 ± 5
Lune	1 738	1 737.4 ± 1
Soleil	696 000	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); EGM 2008 (b); Konopliv et al. 2006 (c); Jacobson 2001 (d); Campbell et Anderson 1989 (e); Owen et al. 1991 (f);	
Vénus			
J ₂		+ 0.000 006	(a)
Terre			
J ₂	+ 0.001 082 63	+ 0.001 082 6355	(b)
J ₃	- 0.000 002 54	- 0.000 002 5324	(b)
J ₄	- 0.000 001 61	- 0.000 001 6199	(b)
Mars			
J ₂	+ 0.001 964	+ 0.001 9566	(c)
J ₃	+ 0.000 036	+ 0.000 0315	(c)
J ₄		- 0.000 0154	(c)
C ₂₂	- 0.000 055	- 0.000 0546	(c)
S ₂₂	+ 0.000 031	+ 0.000 0316	(c)
S ₃₁	+ 0.000 026	+ 0.000 0272	(c)
Jupiter			
J ₂	+ 0.014 75	+ 0.014 7350	(d)
J ₃		+ 0.000 0002	(d)
J ₄	- 0.000 58	- 0.000 5888	(d)
J ₆		+ 0.000 0278	(d)
Saturne			
J ₂	+ 0.016 45	+ 0.016 290.71	(e)
J ₄	- 0.001 0	- 0.000 935.83	(e)
J ₆		+ 0.000 086.14	(e)
Uranus			
J ₂	+ 0.012	+ 0.003 339	(a)
J ₄		- 0.000 032	(a)
Neptune			
J ₂	+ 0.004	+ 0.003 41	(f)
J ₄		- 0.000 03	(f)

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, de Pluton et satellites découverts avant 1990

Nous donnons dans la table 1.12 les éléments orbitaux des planètes principales et de Pluton⁽¹⁾ 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 et de Pluton rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe dynamiques J2000.

Planète	a (ua)	λ (degrés)	k	h	q	p
Mercuré	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 principales et de Pluton ainsi que leurs périodes de rotation T . Ces dernières sont calculées d'après les expressions définissant la position du méridien origine sur chaque planète (Seidemann et al., 2002, 2007).

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

⁽¹⁾ Pluton est une planète naine (résolution B6 de l'UAI, 2006).

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 et de Pluton.

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	153.293 352	(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 tirés de Lainey (2007).

Pour Jupiter, les éléments publiés pour les anneaux sont donnés par Nicholson et Matthews (1991). Les éléments des satellites proches 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 Lainey (2004). Les éléments des satellites lointains sont dus à Emel'yanov (2005) et Emel'yanov & Kanter (2005).

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). Les éléments des satellites principaux sont tirés de Vienne & Duriez (1995) et Duriez & Vienne (1997), ceux des satellites internes SXV à SXVIII de Jacobson (2008), et ceux des satellites co-orbitaux SXII à SXIV de Oberti & Vienne (2003).

Pour Uranus, les éléments des anneaux sont tirés de French et al. (1988). Les éléments des principaux satellites U1 à U5 sont tirés de Lainey (2008), ceux des éléments des satellites proches sont tirés de Jacobson (1998). Les éléments des satellites sont donnés par rapport à l'équateur

d'Uranus, ils sont prograde par rapport à la rotation de la planète (c'est-à-dire rétrograde par rapport au pôle nord de la planète).

Pour Neptune, les éléments des anneaux sont tirés de Nicholson et al. (1990), ceux des deux principaux satellites de Jacobson (2009), et ceux des satellites proches de Owen et al. (1991).

Enfin, pour Pluton les éléments moyens de Charon donnés avec, entre parenthèses, l'incertitude en unités de la dernière décimale, sont dus à Tholen et al. (2008)

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	0.0152	1.1	(e)	0.3191	Hall 1877
Déimos		23.46	0.0002	0.9/2.7	(e)	1.2626	Hall 1877
Jupiter							
Anneaux		122/129					Voyager 1 1979
Métis	XVI	128.0	≤ 0.005	0.06	(e)	0.294 779	Voyager 1/2 1979–1980
Adrastéia	XV	129.0	≤ 0.005	≤ 0.1	(e)	0.298 260	Voyager 1 1979–1980
Amalthée	V	181.4	0.003	0.4	(e)	0.498 179	Barnard 1892
Thébé	XIV	221.9	0.018	0.8	(e)	0.6745	Voyager 1 1979–1980
Io	I	421.9	0.004	0.01/0.06	(e)	1.7706 138	Galilée 1610
Europe	II	671.1	0.009	0.40/0.52	(e)	3.551 183	Galilée 1610
Ganymède	III	1 070.4	0.002	0.06/0.33	(e)	7.154 142	Galilée 1610
Callisto	IV	1 882.7	0.007	0.15/0.74	(e)	16.689 018	Galilée 1610
Léda	XIII	11 147	0.116/0.210	23.9/30.8	(e^8)	240.4	Kowal 1974
Himalia	VI	11 442	0.111/0.209	24.7/32.7	(e^8)	250.1	Perrine 1904–1905
Lysithéa	X	11 702	0.079/0.155	23.8/31.3	(e^8)	258.6	Nicholson 1938
Elara	VII	11 716	0.152/0.272	25.5/32.0	(e^8)	259.1	Perrine 1904–1905
Ananké	XII	21 078	0.077/0.459	141.3/154.9	(e^8)	624.9	Nicholson 1951
Pasiphaé	VIII	23 188	0.127/0.417	159.0/169.3	(e^8)	720.6	Melotte 1908
Carmé	XI	23 280	0.132/0.414	140.6/172.4	(e^8)	726.3	Nicholson 1938
Sinopé	IX	23 731	0.106/0.428	149.9/161.3	(e^8)	746.0	Nicholson 1914
Saturne							
Anneau D		67/74			(1)		Voyager 1 1981
Anneau C		74.6/92.0	0	0	(e^1)		Bond 1851
Anneau B		92.0/117.6			(1)		Galilée 1610
Anneau A		122.2/136.8			(1)		Galilée 1610
Anneau F		140.2	0.0026		(1)		Pioneer 11 1980

Table 1.14. (suite).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	P (jours)	Découverte	
Saturne							
Anneau G		170/175			(¹)	Pioneer 11	1980
Anneau E		181/483			(¹)	Feibelman	1967
Pan	XVIII	133.584	0.0	0.0	(e)	Showalter (²)	1990
Atlas	XV	137.67	0.0012	0.003	(e)	Voyager 2	1980
Prométhée	XVI	139.38	0.0022	0.007	(e)	Voyager 2	1978
Pandore	XVII	141.71	0.0042	0.051	(e)	Voyager 2	1980
Épiméthée	XI	152.03	0.0099	0.326	(e)	Fountain/Larson	1978
Janus	X	152.03	0.0067	0.148	(e)	Dollfus	1966
Mimas	I	186.018	0.016/0.022	1.61/1.63	(e)	Herschel	1789
Encelade	II	238.409	0.003/0.006	0.008/0.02	(e)	Herschel	1789
Calypso	XIV	294.95	0.003	0.025	(e)	Voyager 2	1980
Télésto	XIII	294.98	0.002	0.025	(e)	Voyager 2	1980
Téthys	III	294.973	0.001	1.09	(e)	Cassini	1684
Dioné	IV	377.647	0.001/0.003	0.01/0.03	(e)	Cassini	1684
Hélène	XII	377.84	0.006/0.009	0.024	(e)	Lecacheux/Laques	1980
Rhée	V	527.228	0.0003/0.0016	0.30/0.38	(e)	Cassini	1672
Titan	VI	1 221.936	0.0286/0.0290	0.31/0.49	(e)	Huygens	1655
Hypériorion	VII	1 482.322	0.0736/0.1321	0.36/1.11	(e)	Bond/Lassel	1848
Japet	VIII	3 561.697	0.0270/0.0300	14.70/16.19	(e)	Cassini	1671
Phœbé	IX	12 925	0.14/0.19 18	150.0/152.6	(e^9)	548.57 Pickering	1898
Uranus							
Anneaux		42/51	0.0/0.008	0.06/0.0002	(e^1)	Elliot et al.	1977
Cordélia	VI	49.752	0.0003	0.08	(e)	0.335 25 Voyager 2	1986
Ophélie	VII	53.764	0.0099	0.10	(e)	0.376 60 Voyager 2	1986
Bianca	VIII	59.165	0.0003	0.18	(e)	0.434 77 Voyager 2	1986
Cressida	IX	61.767	0.0002	0.04	(e)	0.463 75 Voyager 2	1986
Desdémone	X	62.658	0.0003	0.10	(e)	0.473 83 Voyager 2	1986
Juliette	XI	64.358	0.0000	0.05	(e)	0.493 24 Voyager 2	1986
Portia	XII	66.097	0.0005	0.03	(e)	0.513 37 Voyager 2	1986
Rosalinde	XIII	69.927	0.0006	0.09	(e)	0.558 63 Voyager 2	1986
Belinda	XIV	75.256	0.0003	0.03	(e)	0.623 68 Voyager 2	1986
Puck	XV	86.004	0.0004	0.32	(e)	0.761 97 Voyager 2	1985
Miranda	V	129.859	0.0013	4.35	(e^7)	1.413 72 Kuiper	1948
Ariel	I	190.925	0.0013	0.08	(e^7)	2.520 27 Lassell	1851
Umbriel	II	265.971	0.0039	0.13	(e^7)	4.143 85 Lassell	1851
Titania	III	436.253	0.0019	0.10	(e^7)	8.704 72 Herschel	1787
Obéron	IV	583.458	0.0015	0.16	(e^7)	13.463 66 Herschel	1787
Neptune							
Anneaux		42/62.9			(¹)	Hubbard et al.	1986
Naïade	III	48.233	0.000 33	4.75	(e)	0.294 65 Voyager 2	1989
Thalassa	IV	50.069	0.000 16	0.54	(e)	0.311 64 Voyager 2	1989
Despina	V	52.531	0.000 14	0.52	(e)	0.334 90 Voyager 2	1989
Galatée	VI	61.945	0.000 12	0.53	(e)	0.428 85 Voyager 2	1989

Table 1.14. (fin).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	P (jours)	Découverte	
Neptune							
Larissa VII		73.546	0.001 39	0.58 (e)	0.554 79	Voyager 2	1989
Protée VIII		117.646	0.000 51	1.02 (e)	1.122 43	Voyager 2	1981–1989
Triton I		354.759	0.000 01	156.8 (e)	5.876 90	Lassell	1846
Néréide II		5 514.83	0.751	28.91 (e)	360.239	Kuiper	1949
Pluton							
Charon I		19.57045(44)	0.003484(36)	96.1680(28) ⁽⁶⁾	6.387 206(7)	Christy/Harrington	1978

(e) Équateur de la planète.

⁽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 moyens sur 50 ans.

⁽⁷⁾ Valeur médiane sur l’intervalle de temps [1950, 2050].

⁽⁸⁾ Valeurs moyennes (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, lorsqu’ils sont connus, les éléments osculateurs des satellites des planètes et planètes naines découverts depuis 1990.

Ces variables sont : a (la demi-grand axe de l’orbite), e (l’excentricité), I (l’inclinaison de l’orbite du satellite par rapport à l’écliptique J2000), ω (l’argument de la latitude 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)	ω (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
Hersé	L	23 035	0.199	164.16	355.68	329.01	714.23	2003	10/06/03	M2009-S76
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
Isonoé	XXXVI	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
Coré	XLIX	24 974	0.222	140.89	124.42	339.81	806.29	2003	10/06/03	M2003-G10
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 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)	ω (degrés)	Ω (degrés)	P (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Jupiter										
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
S/2010 J 1		23 252	0.320	163.22	225.37	322.11	724.34	2010	27/08/11	M2011-L06
S/2010 J 2		20 253	0.308	150.36	70.76	35.04	588.82	2010	27/08/11	M2011-L06
Saturne										
Daphnis	XXXV	136.5					0.594	2005		IAUC 8524
Aegaeon	LIII	167.5	0.0002	0.001			0.80812	2008		IAUC 9023
Méthonné	XXXII	194					1.01	2004		IAUC 8389
Anthé	XLIX	197.7	0.001	0.1			1.0365	2007		IAUC 8857
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
Bebhionn	XXXVII	17 154	0.333	40.75	9.71	193.15	820.13	2004	30/01/05	M2005-J13
Skoll	XLVII	17 474	0.422	155.62	206.42	296.79	862.37	2006	06/03/06	M2006-M48
Erriapus	XXVIII	17 808	0.609	34.47	290.51	138.09	887.21	2000	18/10/01	M2001-T23
Tarqeq	LII	17 910	0.108	49.90	65.59	91.95	894.91	2007	10/04/07	M2007-G38
Tarvos	XXI	17 977	0.613	34.90	285.66	93.79	899.91	2000	18/10/01	M2001-T06
Hyrrokkin	XLIV	18 168	0.360	153.3	268.52	47.34	914.29	2006	26/06/06	M2006-M44
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
Greip	LI	18 654	0.317	172.85	138.77	343.63	951.20	2006	10/05/07	M2007-G29
Jarnsaxa	L	19 013	0.192	163.16	234.70	21.10	978.75	2006	28/02/07	M2007-D79
Bergelmir	XXXVIII	19 104	0.130	157.39	146.04	215.48	985.95	2004	14/02/06	M2006-C55
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
Hati	XLIII	19 709	0.308	163.13	30.57	323.73	1 033.05	2004	14/02/06	M2006-C74
Thrymr	XXX	19 958	0.565	174.91	86.56	246.25	1 052.63	2000	18/10/01	M2001-X20
Farbauti	XL	19 985	0.175	158.36	351.16	146.07	1 054.78	2004	13/02/06	M2006-C72
Aegir	XXXVI	20 466	0.225	167.41	264.24	196.13	1 093.12	2004	10/02/06	M2006-C55
Bestla	XXXIX	20 519	0.745	147.38	82.19	290.32	1 097.35	2004	10/02/06	M2006-C55
Fenrir	XLI	21 931	0.105	162.83	124.32	239.48	1 212.53	2004	13/02/06	M2006-C72
Surtur	XLVIII	22 289	0.369	166.92	329.29	257.60	1 242.36	2006	06/07/06	M2006-N06
Kari	XLV	22 321	0.340	148.38	181.70	290.65	1 245.06	2006	06/03/06	M2006-M48
Loge	XLVI	22 984	0.142	166.54	46.81	344.12	1 300.95	2006	06/03/06	M2006-M48
Ymir	XIX	23 306	0.375	172.75	42.43	207.07	1 328.35	2000	18/10/01	M2001-T06
Fornjot	XLII	24 484	0.166	167.88	331.86	271.23	1 430.37	2004	14/02/06	M2006-C74
Polydeuces	XXXIV							2004		IAUC 8432
S/2004 S 3		140.58					0.621	2004		IAUC 8432

Table 1.15. (fin).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	ω (degrés)	Ω (degrés)	P (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Saturne										
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 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 17		19 099	0.226	166.88	175.79	19.99	985.45	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2006 S 1		18 930	0.130	154.23	138.79	340.70	972.41	2006	26/06/06	M2006-M45
S/2006 S 3		21 076	0.471	150.82	190.86	220.51	1142.37	2006	26/06/06	M2006-M45
S/2007 S 2		16 523	0.218	176.68	62.04	113.11	792.96	2007	10/04/07	M2007-J09
S/2007 S 3		19 179	0.151	177.01	284.03	96.94	991.66	2007	10/04/07	M2007-J09
S/2009 S 1		117						2009		IAUC 9091
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
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
Prospéro	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										
Halimède	IX	16 560	0.260	111.77	156.94	217.40	1 874.35	2002	10/06/03	M2003-R18
Sao	XI	22 277	0.137	52.74	63.92	61.84	2 924.44	2002	27/12/03	M2003-S67
Laomédie	XII	22 553	0.416	39.56	138.05	53.57	2 978.81	2002	27/12/03	M2003-S106
Néso	XIII	47 153	0.605	139.31	89.77	52.17	9 005.57	2002	27/12/03	M2003-S107
Psamathée	X	49 281	0.268	124.23	126.76	319.63	9 622.07	2003	10/06/03	M2003-R19
Pluton										
Nix	II	49.4					25.3	2005		IAUC 8625
Hydre	III	64.7					38.2	2005		IAUC 8625
S/2011 (134340) 1		59					32.1	2011		CBET 2769

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

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			

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.

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

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.

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 :

- DE405 pour la Lune ;
- Tyler et al. (2003) pour Phobos ;
- Yuan et al. (2001) pour Déimos ;
- Campbell et Synnott (1985) pour les satellites galiléens ;
- Fukushima 1990 pour les autres satellites de Jupiter, les anneaux de Saturne, Hypérior, Phœbé

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		5.12×10^{-15}	1.58×10^{-8}	8.47×10^5
Déimos		1.13×10^{-15}	3.5×10^{-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
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}
Rhéa	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}
Hypérion	VII	8.6×10^{-12}	3×10^{-8}	1.1×10^9

Table 1.18. (fin).

Nom	N°	m		Gm ($m^3 s^{-2}$)
		(masse solaire)	(masse planète)	
Saturne				
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
Naiïade	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
Triton	I	1.08×10^{-8}	2.09×10^{-4}	1.428×10^{12}
Néréïde	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	1.02×10^{-5}	2.22	11.6	0.06
Déimos	II	6.2±0.18	7.5 - 6.1 - 5.2	2.25×10^{-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	
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	55.0 - 44.0 - 31.0			15.5	0.6
Épiméthée	XI	59.5±3	69.0 - 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
Télesto	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

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
Saturne							
Rhéea	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
Hypériorion	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⁾
Phœbé	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							
Naiade	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
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 (1 226+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

Les paramètres post-newtoniens (PPN) sont issus de Will (2006) :

$$\begin{aligned}\alpha &= 0.0000 \pm 0.0002, \\ \gamma &= 1.00000 \pm 0.000023, \\ \frac{2 + 2\gamma - \beta}{3} &= 1.000 \pm 0.001.\end{aligned}$$

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

- Archinal, B.A., A'Hearn, M.F., Bowell, E., et al. : Report of the IAU/IAG working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 2011, *Celest. Mech.* **109**, 101.
- 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.
- Duriez L., Vienne A. : 1997, Theory of motion and ephemerides of Hyperion, *Astron. Astrophys.*, **324**, 366.
- Elliot, J.L., Dunham, E., Millis, R.L. : 1977, Discovering the rings of Uranus, *Sky and Telescope* **53**, 412.
- Emel'yanov, N.V. : 2005, Ephemerides of the outer Jovian satellites, *Astron. Astrophys.* **229**, 240.
- Emel'yanov, N.V., Kanter, A.A. : 2005, Orbits of new outer planetary satellites based on observations, *Sol. Sys. Research* **39**, 112.
- Esposito, L.W., Dilley, 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.
- IERS : 2010, IERS Conventions (2010), *IERS Technical note* **36**, G. Petit ed., BIPM, B. Luzum ed., U. S. naval observatory.
- 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.
- Jacobson, R.A. : 2001, The Gravity Field of the Jovian System and the Orbits of the Regular Jovian Satellites, *Bull. Amer. Astron. Soc.* **33**, 1039.
- Jacobson, R.A., Antreasian, P., Bordi, J.J., et al. : 2006, The Gravity Field of the Saturnian System from Satellite Observations and Spacecraft Tracking Data *Astron. J.* **132**, 2520.
- Jacobson, R.A., Spitale, J., Porco, C.C., et al. : 2008, Revised Orbits of Saturn's Small Inner Satellites, *Astron. J.* **135**, 261.
- Jacobson, R.A. : 2009, The Orbits of the Neptunian Satellites and the Orientation of the Pole of Neptune, *Astron. J.* **137**, 4322.
- 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.
- Konopliv, A.S., Yoder, C.F., Standish, E.M., et al. : 2006, A global solution for the Mars static and seasonal gravity, Mars orientation, Phobos and Deimos masses, and Mars ephemeris *Icarus* **128**, 23.
- Laskar, J., Jacobson, R.A. : 1987, GUST86. An analytical ephemeris of the Uranian satellites, *Astron. Astrophys.* **188**, 212.
- Lainey, V., Dehant, V., Pätzold, M. : 2007, First numerical ephemerides of the Martian moons, *Astron. Astrophys.*, **465**, 1075.
- Lainey, V., Duriez, V., Vienne, A. : 2004, New accurate ephemerides for the Galilean satellites of Jupiter. I. Numerical integration of elaborated equations of motion, *Astron. Astrophys.*, **420**, 1171.
- 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.
- Oberti, P., Vienne, A. : 2003, An upgraded theory for Helene, Telesto, and Calypso, *Astron.*

- Astrophys.* **397**, 353.
- 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.
- Seidelmann, P.K., Archinal, B.A., et al. : Report of the IAU/IAG working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 2006, *Celest. Mech.* **98**, 155.
- 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., Buie, M.W., et al. : 2008, Masses of Nix and Hydra, *Astron. J.* **135**, 777.
- 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.
- Tyler, G.L., Balmino, G., et al. : 2003, USA_NASA_JPL_MORS_1021,
(http://pds-geosciences.wustl.edu/geodata/mgsmrss5sdpv1/mors_1021).

- 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.
- UAI : 2006, Resolutions of the twenty-sixth General Assembly, *IAU Information Bull.* **98**.
- Vienne, A., Duriez, L. : 1995, TASS1.6 : Ephemerides of the major Saturnian satellites, *Astron. Astrophys.*, **297**, 588.
- Will, C. M. : 2006, The Confrontation between General Relativity and Experiment, (<http://relativity.livingreviews.org/Articles/lrr-2006-3/>).
- Young, L.A., Olkin, C.B., et al. : 1994, The Charon-Pluto mass ratio from MKO astrometry, *Icarus* **108**, 186.
- Yuan, D-N., Sjongren, W.L. et al. 2001, Gravity Field of Mars : A 75th Degree and Order Model, *J. Geoph. Res.*, **106**, **E10**.

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 à 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.

- En 2006, lors de l'assemblée générale de Prague, l'UAI a précisé les relations entre le TCB et TDB afin que ce dernier reste lié au TCB par une relation linéaire tout en demeurant très proche du TT, c'est à dire sans marche systématique entre les deux échelles (cf. 2.7.2).

- 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 satisfèrait 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

$$TE = TAI + 32,184 \text{ s} = TAI + 0,0003725 \text{ jour}$$

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 l'introduction d'une seconde intercalaire, 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.

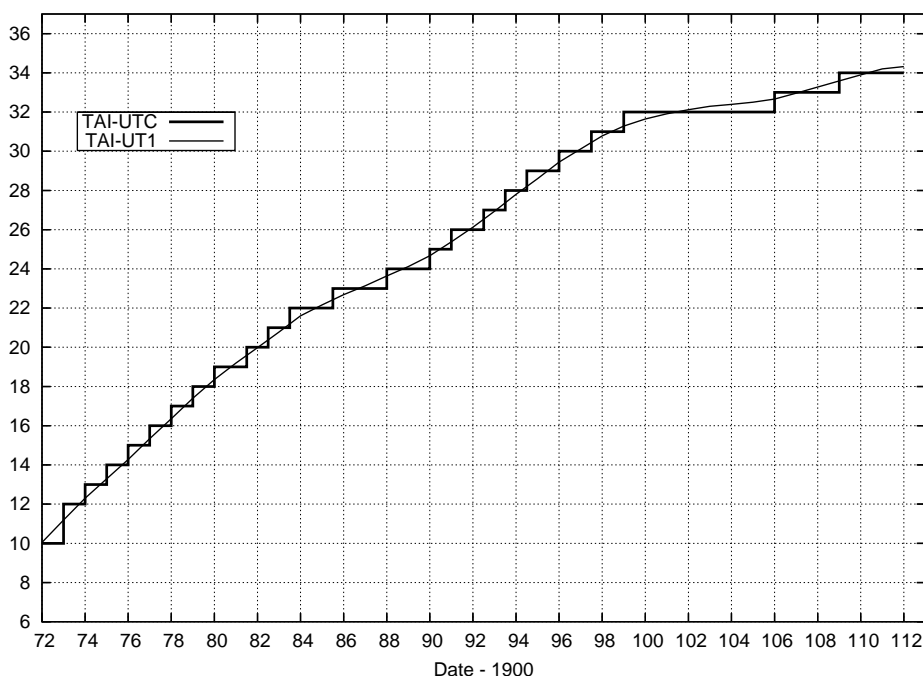
Cependant l'idée de remplacer l'UTC actuel par une échelle continue sans relation à long terme avec le temps solaire moyen ne fait pas l'unanimité, bien que le tendance soit vers une suppression des sauts de seconde avec un décalage de plusieurs années entre la décision et sa mise en œuvre. En France, le Bureau des Longitudes a émis au printemps 2007 une recommandation en faveur de la suppression de la seconde intercalaire, de la conservation de la terminologie UTC pour l'échelle continue et de sa réalisation par le BIPM.

De nombreuses consultations sont en cours et 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,
- 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 86 400 secondes par jour solaire moyen.

Table 2.2. Différence TAI – UTC du 1 janvier 1972 au 1 janvier 2012 (selon l'IERS).

Date début	Date fin	TAI – UTC	Date début	Date fin	TAI – UTC
1/01/1972	1/07/1972	10 s	1/07/1985	1/01/1988	23 s
1/07/1972	1/01/1973	11 s	1/01/1988	1/01/1990	24 s
1/01/1973	1/01/1974	12 s	1/01/1990	1/01/1991	25 s
1/01/1974	1/01/1975	13 s	1/01/1991	1/07/1992	26 s
1/01/1975	1/01/1976	14 s	1/07/1992	1/07/1993	27 s
1/01/1976	1/01/1977	15 s	1/07/1993	1/07/1994	28 s
1/01/1977	1/01/1978	16 s	1/07/1994	1/01/1996	29 s
1/01/1978	1/01/1979	17 s	1/01/1996	1/07/1997	30 s
1/01/1979	1/01/1980	18 s	1/07/1997	1/01/1999	31 s
1/01/1980	1/07/1981	19 s	1/01/1999	1/01/2006	32 s
1/07/1981	1/07/1982	20 s	1/01/2006	1/01/2009	33 s
1/07/1982	1/07/1983	21 s	1/01/2009		34 s
1/07/1983	1/07/1985	22 s			

**Fig. 2.1.** Différence TAI – UTC et différence observée TAI – UT1, en secondes, de 1972 à 2012.

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 12 s 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 millièmes 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 :

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

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 $\alpha = 0$, $\mu\text{s}/\text{siècle}$ 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 $\text{TCB} \Leftrightarrow \text{TCG}$. 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 :

$$\text{TT} = \text{TE} = \text{TAI} + 32,184 \text{ s.}$$

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,

$$\frac{d\text{TT}}{d\text{TCG}} = 1 - L_G \approx 1 - \frac{W_0}{c^2}$$

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 du TCB cette échelle se comporte en moyenne comme TT. On a,

$$dTDB/dTCB = 1 - L_B$$

où L_B a, depuis la résolution B3 de l'UAI en 2006, le statut de constante de définition (UAI, 2006)

$$L_B = 1,550\,519\,768 \times 10^{-8}$$

et

$$TDB = TCB - L_B(JD_{TCB} - 2\,443\,144,5003725) \times 86\,400 + TDB_0$$

où $TDB_0 = -6,55 \times 10^{-5}$ s est une nouvelle constante de définition introduite pour maintenir la continuité avec les formules en usage.

Avec cette définition on conserve,

$$TDB = TT + P$$

où P représente l'ensemble des termes périodiques obtenus à partir de l'intégrale (2.4) dépouillée de ses termes séculaires. On doit noter la relation théorique $L_B = L_C + L_G - L_C \times L_G$ qui a servi pour déterminer la valeur de L_B à partir de L_G et de la valeur de référence de L_C .

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.

$$TCB - TCG = L_C \times (JD - 2\,443\,144,5) \times 86\,400 + P + \mathbf{v}_E \cdot \mathbf{r}/c^2, \quad L_C = 1,480\,826\,867\,41 \times 10^{-8}$$

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 $TCB - TCG$ est de l'ordre de 2×10^{-6} secondes.

$$\begin{aligned} TCB - TDB &= L_B \times (JD - 2\,443\,144,5) \times 86\,400 - TDB_0 ; \\ & \qquad \qquad \qquad TDB_0 = -6,55 \times 10^{-5} \text{s} ; \quad L_B = 1,550\,519\,768 \times 10^{-8} \\ TCG - TT &= L_G \times (JD - 2\,443\,144,5) \times 86\,400 ; \quad L_G = 6,969\,290\,134 \times 10^{-10} \\ TT(\text{TAI}) &= \text{TAI} + 32,184 \text{s} \\ TDB &= TT + P \end{aligned}$$

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).
- UAI : 2006, Resolutions of the twenty-sixth General Assembly, *IAU Information Bull.* **98**.
- 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	1656.674 564	628.307 5850	6.240 0542	1.00	49	0	0.040 184	-0.711 3547	3.565 9756	883.27
2	0	22.417 471	575.338 4885	4.296 9774	1.09	50	0	0.036 955	315.468 7085	5.071 8014	1.99
3	0	13.839 792	1 256.615 1700	6.196 9044	0.50	51	0	0.036 564	508.862 8840	3.324 6790	1.23
4	0	4.770 086	52.969 0965	0.444 4016	11.86	52	0	0.036 507	80.182 0931	6.248 8660	7.84
5	0	4.676 740	606.977 6755	4.021 1951	1.04	53	0	0.034 867	52.257 7418	5.210 0641	12.02
6	0	2.256 707	21.329 9095	5.543 1133	29.46	54	0	0.033 529	943.776 2935	2.404 7142	0.67
7	0	1.694 205	-0.352 3118	5.025 1327	1783.42	55	0	0.033 477	606.266 3208	4.144 9873	1.04
8	0	1.554 905	7 771.377 1468	5.198 4666	0.08	56	0	0.032 438	607.689 0302	0.749 3174	1.03
9	0	1.276 839	786.041 9392	5.988 8223	0.80	57	0	0.032 423	882.739 0270	5.541 4736	0.71
10	0	1.193 379	522.369 3920	3.649 8237	1.20	58	0	0.030 215	708.489 6781	3.389 6103	0.89
11	0	1.115 322	393.020 9696	1.422 7451	1.60	59	0	0.029 862	1 213.955 3509	1.770 1810	0.52
12	0	0.794 185	1 150.676 9770	2.322 3131	0.55	60	0	0.029 247	-7 143.069 5618	4.183 1792	0.09
13	0	0.600 309	157.734 3542	2.678 2719	3.98	61	0	0.028 244	-628.659 8968	5.069 6635	1.00
14	0	0.496 817	620.829 4251	5.696 7018	1.01	62	0	0.027 567	627.955 2732	5.040 8460	1.00
15	0	0.486 306	588.492 6847	0.520 0072	1.07	63	0	0.025 196	174.801 6413	2.901 8833	3.59
16	0	0.468 597	624.494 2814	5.866 3988	1.01	64	0	0.024 816	-119.444 7010	1.087 1369	5.26
17	0	0.447 061	2.629 8320	3.615 7965	238.92	65	0	0.022 567	613.351 2653	3.307 9848	1.02
18	0	0.435 206	-39.814 9003	4.349 3383	15.78	66	0	0.022 509	1 044.738 7840	1.460 7262	0.60
19	0	0.432 392	7.478 1599	2.435 8983	84.02	67	0	0.021 691	1 414.349 5242	5.952 6580	0.44
20	0	0.375 510	550.755 3239	4.103 4768	1.14	68	0	0.020 937	842.924 1266	0.652 3034	0.75
21	0	0.243 085	-77.552 2611	3.651 8379	8.10	69	0	0.020 322	41.948 4644	3.735 4306	14.98
22	0	0.230 685	585.647 7659	4.773 8526	1.07	70	0	0.017 806	7.329 7126	3.475 9751	85.72
23	0	0.203 747	1 203.646 0735	4.333 9878	0.52	71	0	0.017 673	681.276 6815	3.186 1298	0.92
24	0	0.173 435	1 884.922 7550	6.153 7435	0.33	72	0	0.016 155	1 021.328 5546	1.331 1032	0.62
25	0	0.159 080	1 097.707 8805	1.890 0752	0.57	73	0	0.015 974	-235.286 6154	6.145 3094	2.67
26	0	0.143 935	-79.629 8007	5.957 5178	7.89	74	0	0.015 949	-22.041 2642	4.005 2983	28.51
27	0	0.137 927	1 179.062 9089	1.135 9347	0.53	75	0	0.015 078	1 965.104 8481	3.969 4808	0.32
28	0	0.119 979	3.813 3036	4.551 5858	164.77	76	0	0.014 751	134.986 7410	4.308 9333	4.65
29	0	0.118 971	548.677 7843	1.914 5472	1.15	77	0	0.014 318	1 673.046 3690	3.016 0581	0.38
30	0	0.116 120	105.938 1930	0.873 5041	5.93	78	0	0.014 223	1 778.984 5620	2.104 5513	0.35
31	0	0.101 868	-557.314 2802	5.984 5034	1.13	79	0	0.013 671	-53.680 4512	5.971 6726	11.70
32	0	0.098 358	254.431 4420	0.092 7939	2.47	80	0	0.012 462	10.309 2774	1.737 4388	60.95
33	0	0.080 164	20.618 5548	2.095 3777	30.47	81	0	0.012 420	469.047 9836	4.734 0904	1.34
34	0	0.079 645	469.400 2955	2.949 2336	1.34	82	0	0.011 942	803.109 2263	2.053 4147	0.78
35	0	0.075 019	294.246 3423	4.980 9318	2.14	83	0	0.011 847	564.317 8564	5.489 0054	1.11
36	0	0.064 397	574.627 1338	1.280 3087	1.09	84	0	0.011 707	-470.573 2308	2.654 1256	1.34
37	0	0.063 814	576.049 8432	4.167 9017	1.09	85	0	0.011 622	512.060 1146	4.863 9319	1.23
38	0	0.062 617	2.077 5395	2.654 3948	302.43	86	0	0.010 962	0.359 0429	2.196 5677	1749.98
39	0	0.058 844	42.659 8191	4.839 6501	14.73	87	0	0.010 825	55.356 9403	0.842 7150	11.35
40	0	0.054 139	1 726.015 4655	3.411 0911	0.36	88	0	0.010 453	586.359 1206	1.913 7046	1.07
41	0	0.048 373	15.542 0399	2.251 5737	40.43	89	0	0.010 396	95.171 8406	5.717 7996	6.60
42	0	0.048 042	214.616 5416	1.495 8460	2.93	90	0	0.010 099	28.385 9319	1.942 1770	22.13
43	0	0.046 551	-0.098 0321	0.921 5735	6409.31	91	0	0.009 963	14.956 3197	4.870 6906	42.01
44	0	0.042 732	63.278 3739	5.720 6222	9.93	92	0	0.009 858	630.937 4170	1.061 8164	1.00
45	0	0.042 560	16 100.068 5737	1.270 8372	0.04	93	0	0.009 370	14 985.440 0134	0.673 8790	0.04
46	0	0.042 411	627.596 2303	2.869 5670	1.00	94	0	0.008 666	-13.506 5080	3.293 4065	46.52
47	0	0.040 759	1 235.285 2605	3.981 4970	0.51	95	0	0.008 610	334.061 2427	3.661 6989	1.88
48	0	0.040 480	1 572.083 8785	2.546 6101	0.40	96	0	0.008 323	1 176.985 3693	1.229 3920	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	0.008 107	1 336.797 2631	3.793 2353	0.47	145	0	0.002 954	-628.300 8540	4.533 4712	1.00
98	0	0.007 959	31.639 1870	2.465 0426	19.86	146	0	0.002 954	628.314 3160	4.447 2038	1.00
99	0	0.007 857	1 216.800 2697	0.525 7335	0.52	147	0	0.002 881	73.587 6514	0.349 2503	8.54
100	0	0.007 505	523.080 7467	4.920 9370	1.20	148	0	0.002 872	2.844 9187	1.158 6930	220.86
101	0	0.007 490	-625.677 7530	3.658 4447	1.00	149	0	0.002 863	1 729.818 2327	5.240 9638	0.36
102	0	0.007 332	3.664 8563	0.114 8587	171.44	150	0	0.002 775	991.769 6875	1.030 0263	0.63
103	0	0.007 147	-24.272 8604	3.661 4870	25.89	151	0	0.002 740	1 831.953 6585	4.320 5195	0.34
104	0	0.007 117	3.802 7673	5.294 2495	165.23	152	0	0.002 646	1 097.355 5686	3.918 2592	0.57
105	0	0.007 019	620.680 9779	0.837 6888	1.01	153	0	0.002 575	2 513.230 3400	6.109 6590	0.25
106	0	0.006 919	668.122 4853	6.018 5015	0.94	154	0	0.002 493	638.616 8624	0.645 0265	0.98
107	0	0.006 858	521.658 0373	0.642 0633	1.20	155	0	0.002 464	20.225 3395	4.698 2031	31.07
108	0	0.006 826	763.294 3260	3.458 6541	0.82	156	0	0.002 409	0.254 2797	5.325 0093	2470.97
109	0	0.006 731	565.029 2111	5.639 9066	1.11	157	0	0.002 401	1 620.077 2725	2.605 5471	0.39
110	0	0.006 603	2 358.125 8177	5.393 1369	0.27	158	0	0.002 397	624.345 8342	3.809 2900	1.01
111	0	0.006 366	416.431 1990	2.262 0818	1.51	159	0	0.002 381	6.373 5898	0.759 1882	98.58
112	0	0.006 304	1 192.625 4414	2.512 9292	0.53	160	0	0.002 366	0.393 2153	6.215 8854	1597.90
113	0	0.006 056	95.559 9742	4.194 5351	6.58	161	0	0.002 353	63.989 7286	3.734 5481	9.82
114	0	0.005 680	2 301.353 9540	4.557 8148	0.27	162	0	0.002 353	624.642 7287	4.781 7198	1.01
115	0	0.005 582	596.668 3980	2.246 1743	1.05	163	0	0.002 303	1 807.370 4939	1.089 1004	0.35
116	0	0.005 488	-0.345 5808	0.090 6754	1818.15	164	0	0.002 303	8 399.684 7318	2.013 6864	0.07
117	0	0.005 308	-159.259 6014	2.500 3824	3.95	165	0	0.002 296	649.637 4945	5.061 8107	0.97
118	0	0.005 123	-0.148 4473	2.999 6410	4232.60	166	0	0.002 229	49.155 7929	1.571 0071	12.78
119	0	0.005 119	643.849 6249	1.486 5392	0.98	167	0	0.002 199	-24.583 1646	5.956 1523	25.56
120	0	0.005 096	1 137.170 4690	2.547 1078	0.55	168	0	0.002 186	45.490 9367	1.402 1015	13.81
121	0	0.004 892	543.699 3015	1.475 4156	1.16	169	0	0.002 183	116.247 4704	6.179 6117	5.41
122	0	0.004 841	533.390 0241	0.437 0781	1.18	170	0	0.002 169	1 101.510 6477	4.845 2977	0.57
123	0	0.004 648	158.907 2895	1.275 8471	3.95	171	0	0.002 103	-707.937 3857	5.756 6416	0.89
124	0	0.004 553	1 149.965 6223	5.554 9983	0.55	172	0	0.002 085	3.516 4090	1.405 1585	178.68
125	0	0.004 521	429.233 0833	6.140 6358	1.46	173	0	0.002 024	1 471.231 7116	2.752 0359	0.43
126	0	0.004 349	1 151.388 3317	2.181 7454	0.55	174	0	0.001 897	2 248.384 8574	4.167 9325	0.28
127	0	0.004 193	723.479 4256	4.869 0914	0.87	175	0	0.001 896	-312.838 8765	4.914 2316	2.01
128	0	0.004 164	1 249.137 0101	5.650 9319	0.50	176	0	0.001 894	105.226 8383	5.817 1674	5.97
129	0	0.004 148	-11.020 6321	3.016 1734	57.01	177	0	0.001 847	1 087.398 6030	2.903 4779	0.58
130	0	0.004 080	-705.859 8461	3.690 3601	0.89	178	0	0.001 825	-373.876 1430	0.545 8288	1.68
131	0	0.004 044	473.203 0627	1.398 7848	1.33	179	0	0.001 810	-8 886.005 7071	0.487 3548	0.07
132	0	0.003 919	1 252.801 8664	5.823 3197	0.50	180	0	0.001 745	24 428.760 0007	3.626 3952	0.03
133	0	0.003 742	723.867 5592	4.691 9762	0.87	181	0	0.001 737	629.018 9397	5.280 8201	1.00
134	0	0.003 625	620.977 8724	1.473 7606	1.01	182	0	0.001 729	389.418 1830	1.264 9766	1.61
135	0	0.003 500	26.308 3923	1.892 1007	23.88	183	0	0.001 649	3 144.167 7570	1.952 0493	0.20
136	0	0.003 354	-9 095.555 1695	1.942 6562	0.07	184	0	0.001 602	1 431.416 8113	4.203 6648	0.44
137	0	0.003 279	584.936 4112	4.893 3844	1.07	185	0	0.001 472	459.091 0180	4.164 9133	1.37
138	0	0.003 270	7.626 6071	1.517 1899	82.39	186	0	0.001 421	2.035 5319	2.419 8866	308.68
139	0	0.003 202	2 751.146 7874	0.531 6731	0.23	187	0	0.001 416	922.553 9273	4.996 4084	0.68
140	0	0.003 129	683.664 5253	0.003 8441	0.92	188	0	0.001 408	1 098.419 2352	2.732 0848	0.57
141	0	0.003 074	94.917 5609	5.185 8787	6.62	189	0	0.001 391	-863.594 2004	0.593 8915	0.73
142	0	0.003 053	23 314.131 4403	3.029 0293	0.03	190	0	0.001 388	-0.704 6237	1.166 1459	891.71
143	0	0.003 024	8 328.691 4270	2.355 5561	0.08	191	0	0.001 376	1 096.996 5258	5.152 9143	0.57
144	0	0.003 002	617.286 9529	2.797 8228	1.02	192	0	0.001 335	-26.660 7042	3.995 7640	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	0.001 321	1 820.933 0264	2.624 8664	0.35	241	0	0.000 674	1 494.531 6174	6.270 5105	0.42
194	0	0.001 297	2 122.839 2024	0.382 6035	0.30	242	0	0.000 673	106.649 5477	3.876 5124	5.89
195	0	0.001 297	2 354.323 0505	3.063 8052	0.27	243	0	0.000 662	2 515.860 1720	1.794 0584	0.25
196	0	0.001 288	-199.074 5017	3.913 0229	3.16	244	0	0.000 660	62.567 0192	5.864 0919	10.04
197	0	0.001 284	1 057.540 6683	5.306 5382	0.59	245	0	0.000 647	1 185.621 8652	3.397 1331	0.53
198	0	0.001 278	7.181 2653	4.713 4865	87.49	246	0	0.000 646	1 140.367 6996	3.852 9595	0.55
199	0	0.001 238	480.420 9276	5.503 3797	1.31	247	0	0.000 641	8 346.715 6353	3.210 7273	0.08
200	0	0.001 176	27.703 4994	3.335 5190	22.68	248	0	0.000 631	576.761 1979	4.026 5323	1.09
201	0	0.001 169	604.034 7246	5.841 7190	1.04	249	0	0.000 630	3.602 7867	0.156 3685	174.40
202	0	0.001 155	-1.422 7094	3.042 7008	441.64	250	0	0.000 618	2 200.391 4635	2.466 4270	0.29
203	0	0.001 145	605.873 1054	1.169 4839	1.04	251	0	0.000 611	-14 357.132 4284	2.424 9797	0.04
204	0	0.001 077	17.516 6060	1.844 9131	35.87	252	0	0.000 609	1 017.725 7680	0.437 1223	0.62
205	0	0.001 070	-15 471.760 9887	1.827 6245	0.04	253	0	0.000 607	-3.961 7508	2.839 0216	158.60
206	0	0.001 039	554.008 5789	2.769 7535	1.13	254	0	0.000 603	-6 514.761 9768	4.140 0836	0.10
207	0	0.001 004	-17.067 2871	0.755 0081	36.81	255	0	0.000 601	41.237 1097	3.984 2254	15.24
208	0	0.000 991	470.111 6502	4.387 0018	1.34	256	0	0.000 576	1 108.728 5126	4.760 2931	0.57
209	0	0.000 987	-626.230 0454	2.656 4870	1.00	257	0	0.000 575	1 204.357 4282	4.216 4924	0.52
210	0	0.000 979	554.719 9336	5.448 3760	1.13	258	0	0.000 574	7 214.062 8666	1.758 1909	0.09
211	0	0.000 954	628.209 5529	0.862 2135	1.00	259	0	0.000 567	363.462 1025	1.649 2647	1.73
212	0	0.000 954	-628.405 6171	0.988 4809	1.00	260	0	0.000 559	1 119.037 7900	5.783 2364	0.56
213	0	0.000 940	603.724 4204	6.197 4281	1.04	261	0	0.000 553	1 241.658 8503	4.772 1580	0.51
214	0	0.000 908	13.154 1962	2.521 2575	47.77	262	0	0.000 550	490.730 2050	0.864 0243	1.28
215	0	0.000 907	3 537.188 7266	3.370 1960	0.18	263	0	0.000 531	648.926 1398	1.681 8888	0.97
216	0	0.000 890	1 391.601 9110	5.601 4983	0.45	264	0	0.000 520	3 930.209 6962	4.788 0029	0.16
217	0	0.000 885	1 171.295 5318	3.280 4149	0.54	265	0	0.000 520	1 034.429 5065	2.445 5978	0.61
218	0	0.000 884	-155.104 5223	1.088 8317	4.05	266	0	0.000 515	1 863.592 8455	3.945 3459	0.34
219	0	0.000 876	501.750 8371	3.969 9026	1.25	267	0	0.000 509	84.608 2835	3.053 8746	7.43
220	0	0.000 852	19.907 2001	2.189 6050	31.56	268	0	0.000 495	734.245 7780	3.817 2858	0.86
221	0	0.000 845	-43.371 1738	4.749 2452	14.49	269	0	0.000 494	962.368 8277	3.022 6451	0.65
222	0	0.000 819	866.224 0324	5.991 2478	0.73	270	0	0.000 493	1 842.262 9359	1.676 9393	0.34
223	0	0.000 814	1 765.478 0540	4.627 1226	0.36	271	0	0.000 491	22.434 4796	0.878 3728	28.01
224	0	0.000 806	1 511.046 6120	5.142 8767	0.42	272	0	0.000 486	-32.350 5417	4.061 6739	19.42
225	0	0.000 806	30.927 8323	6.054 0644	20.32	273	0	0.000 485	670.256 0494	0.210 5809	0.94
226	0	0.000 798	14.807 8724	5.909 2251	42.43	274	0	0.000 484	1 726.726 8202	3.290 5891	0.36
227	0	0.000 798	51.546 3871	5.151 9625	12.19	275	0	0.000 481	574.945 2732	4.309 5920	1.09
228	0	0.000 773	-413.691 0434	0.022 0678	1.52	276	0	0.000 480	595.957 0433	5.031 3510	1.05
229	0	0.000 764	-612.765 5451	2.236 3463	1.03	277	0	0.000 480	575.731 7038	1.142 3486	1.09
230	0	0.000 738	613.499 7126	2.242 6689	1.02	278	0	0.000 478	126.556 7479	5.487 3146	4.96
231	0	0.000 737	532.678 6694	4.923 8316	1.18	279	0	0.000 472	-1 256.967 4818	5.112 1333	0.50
232	0	0.000 732	237.916 4474	2.501 8134	2.64	280	0	0.000 472	-1.815 9247	1.999 7076	346.00
233	0	0.000 726	542.987 9468	6.039 6069	1.16	281	0	0.000 470	1 202.934 7188	1.405 6112	0.52
234	0	0.000 723	1 725.663 1536	6.068 7196	0.36	282	0	0.000 466	1 256.262 8582	4.959 5816	0.50
235	0	0.000 710	2 876.692 4424	5.672 6177	0.22	283	0	0.000 465	1 725.304 1108	0.353 4963	0.36
236	0	0.000 706	1 255.903 8153	2.824 8489	0.50	284	0	0.000 463	573.915 7791	1.411 2230	1.09
237	0	0.000 704	1 352.175 1442	2.300 9913	0.46	285	0	0.000 461	617.998 3076	0.513 6693	1.02
238	0	0.000 694	349.603 2826	2.668 3091	1.80	286	0	0.000 458	1 213.243 9962	1.880 1038	0.52
239	0	0.000 689	468.688 9408	6.224 2711	1.34	287	0	0.000 449	1 160.986 2544	4.179 9896	0.54
240	0	0.000 678	-548.125 4919	6.249 6667	1.15	288	0	0.000 432	1 685.848 2533	1.179 2564	0.37

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α	ν_i^α	ψ_i^α	Période	i	α	A_i^α	ν_i^α	ψ_i^α	Période
		(μ s)	(rad/siècle)	(rad)	(années)			(μ s)	(rad/siècle)	(rad)	(années)
289	0	0.000 432	2 042.657 1092	6.003 8292	0.31	337	0	0.000 268	-22 685.823 8553	0.069 4338	0.03
290	0	0.000 430	1 351.787 0106	0.685 8275	0.46	338	0	0.000 268	614.801 0770	5.152 6663	1.02
291	0	0.000 426	605.554 9661	4.274 4765	1.04	339	0	0.000 267	1 044.027 4293	4.730 1085	0.60
292	0	0.000 416	-747.752 2860	1.082 3563	0.84	340	0	0.000 265	16 728.376 1587	4.369 3024	0.04
293	0	0.000 399	1.497 7854	2.094 4419	419.50	341	0	0.000 264	6 656.748 5864	4.601 1012	0.09
294	0	0.000 389	1.725 2277	1.395 7532	364.19	342	0	0.000 264	1 887.552 5870	1.417 2634	0.33
295	0	0.000 387	1 045.450 1387	2.541 1826	0.60	343	0	0.000 262	83.896 9288	1.327 7203	7.49
296	0	0.000 384	1 193.336 7961	5.827 7815	0.53	344	0	0.000 260	81.355 0284	2.389 4389	7.72
297	0	0.000 383	2 195.415 7609	3.747 3764	0.29	345	0	0.000 256	-364.635 0377	0.506 3648	1.72
298	0	0.000 374	1 799.603 1168	3.388 7165	0.35	346	0	0.000 250	1 649.636 1396	0.898 7698	0.38
299	0	0.000 368	-575.690 8003	0.731 3743	1.09	347	0	0.000 240	1 248.988 5629	5.684 5490	0.50
300	0	0.000 363	-64.087 7607	5.071 8210	9.80	348	0	0.000 236	211.876 3860	1.733 5788	2.97
301	0	0.000 362	2 908.881 1416	3.215 9770	0.22	349	0	0.000 234	586.752 3359	5.575 2091	1.07
302	0	0.000 362	-453.505 9437	1.583 8496	1.39	350	0	0.000 234	511.348 7599	1.716 0907	1.23
303	0	0.000 352	574.986 1767	3.000 2980	1.09	351	0	0.000 228	3 301.902 1112	4.656 9855	0.19
304	0	0.000 342	613.202 8180	4.322 2386	1.02	352	0	0.000 227	628.700 8003	2.911 8916	1.00
305	0	0.000 341	1 214.666 7056	4.700 6580	0.52	353	0	0.000 225	1 646.033 3530	2.596 4518	0.38
306	0	0.000 338	606.584 4601	0.877 7761	1.04	354	0	0.000 223	1 980.094 5956	3.069 3274	0.32
307	0	0.000 336	-238.889 4020	5.353 7960	2.63	355	0	0.000 222	590.570 2242	3.731 9903	1.06
308	0	0.000 332	2 019.909 4960	1.652 9014	0.31	356	0	0.000 222	1 182.316 1639	1.942 3866	0.53
309	0	0.000 331	1 805.292 9543	0.566 7906	0.35	357	0	0.000 220	-13.562 5325	1.765 4303	46.33
310	0	0.000 331	607.370 8908	4.007 8812	1.03	358	0	0.000 216	630.385 1245	3.862 9423	1.00
311	0	0.000 330	1 055.759 4161	3.710 0437	0.60	359	0	0.000 211	575.656 6279	3.789 3928	1.09
312	0	0.000 329	626.884 8756	3.033 8277	1.00	360	0	0.000 209	-1 098.880 8158	2.636 1401	0.57
313	0	0.000 325	1 567.108 1759	2.178 8505	0.40	361	0	0.000 209	575.020 3491	1.661 9435	1.09
314	0	0.000 325	2 059.724 3963	0.180 0444	0.31	362	0	0.000 208	-22.752 6189	4.127 8838	27.62
315	0	0.000 323	1 259.245 0020	1.072 2628	0.50	363	0	0.000 206	7.032 8180	5.934 0761	89.34
316	0	0.000 318	70.993 3048	5.941 2071	8.85	364	0	0.000 205	-627.948 5421	1.829 3627	1.00
317	0	0.000 318	13.851 7497	2.253 2530	45.36	365	0	0.000 205	628.666 6279	1.742 8823	1.00
318	0	0.000 311	691.585 9589	1.693 5742	0.91	366	0	0.000 204	22.747 6133	5.636 1927	27.62
319	0	0.000 305	938.800 5909	0.578 3402	0.67	367	0	0.000 203	158.195 9348	5.549 8536	3.97
320	0	0.000 304	-182.317 5189	3.409 0352	3.45	368	0	0.000 200	564.219 8243	1.016 1158	1.11
321	0	0.000 301	10.994 5689	0.510 9221	57.15	369	0	0.000 200	680.565 3268	0.868 2210	0.92
322	0	0.000 301	4 323.230 6658	6.205 3112	0.15	370	0	0.000 198	2 593.412 4331	3.832 7031	0.24
323	0	0.000 301	608.082 2455	2.135 3962	1.03	371	0	0.000 197	-7.084 9445	4.690 7025	88.68
324	0	0.000 299	31 642.822 8673	5.384 5937	0.02	372	0	0.000 197	53.362 3118	1.048 9829	11.77
325	0	0.000 297	2 407.292 1470	1.997 2494	0.26	373	0	0.000 195	406.121 9215	3.308 4634	1.55
326	0	0.000 294	-37.737 3608	3.708 7842	16.65	374	0	0.000 191	1 066.068 6935	5.405 5160	0.59
327	0	0.000 292	74.299 0061	2.714 3336	8.46	375	0	0.000 191	41.555 2491	4.401 1656	15.12
328	0	0.000 292	1 234.573 9058	4.096 0941	0.51	376	0	0.000 191	614.455 8353	5.020 3934	1.02
329	0	0.000 290	977.910 8676	1.812 3204	0.64	377	0	0.000 190	2 929.661 5390	4.175 6585	0.21
330	0	0.000 290	309.788 3823	4.075 2916	2.03	378	0	0.000 189	523.792 1014	5.245 3130	1.20
331	0	0.000 285	-53.321 4083	4.687 3132	11.78	379	0	0.000 189	15.377 8810	4.812 3726	40.86
332	0	0.000 284	563.606 5017	5.655 3858	1.11	380	0	0.000 188	1 311.972 1103	2.032 1958	0.48
333	0	0.000 280	1 235.996 6152	0.710 8725	0.51	381	0	0.000 188	147.886 6574	5.686 8658	4.25
334	0	0.000 280	2 823.723 3459	5.304 8291	0.22	382	0	0.000 187	4 716.251 6355	1.354 3719	0.13
335	0	0.000 276	2.429 8514	0.770 2994	258.58	383	0	0.000 187	1 191.914 0867	2.629 4566	0.53
336	0	0.000 271	1 309.584 2665	3.208 9122	0.48	384	0	0.000 185	-20.936 6942	4.694 7566	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	0.000 184	-493.320 8440	3.327 4769	1.27	430	0	0.000 131	621.126 3197	0.085 0770	1.01
386	0	0.000 181	1 077.089 3256	1.999 4821	0.58	431	0	0.000 130	-588.844 9965	4.527 6811	1.07
387	0	0.000 180	608.400 3849	0.602 1822	1.03	432	0	0.000 130	1 129.347 0674	0.939 0394	0.56
388	0	0.000 180	-34.892 4420	2.490 9021	18.01	433	0	0.000 129	169.216 5670	0.351 4073	3.71
389	0	0.000 175	512.771 4693	4.728 4433	1.23	434	0	0.000 129	-8.582 7299	2.540 6351	73.21
390	0	0.000 171	654.615 9773	1.182 8080	0.96	435	0	0.000 128	938.095 9673	3.223 8443	0.67
391	0	0.000 169	2 099.539 2966	2.169 0806	0.30	436	0	0.000 128	-652.580 4454	3.803 4200	0.96
392	0	0.000 168	1 672.335 0143	0.027 8606	0.38	437	0	0.000 126	565.740 5658	5.146 5923	1.11
393	0	0.000 167	14.659 4252	0.759 9691	42.86	438	0	0.000 126	588.140 3728	5.577 5025	1.07
394	0	0.000 166	2 314.155 8383	3.454 1327	0.27	439	0	0.000 126	1 130.058 4221	3.485 2807	0.56
395	0	0.000 165	-766.863 7425	4.298 2121	0.82	440	0	0.000 123	1 940.279 6953	4.538 0744	0.32
396	0	0.000 163	1 778.273 2073	4.960 5931	0.35	441	0	0.000 123	210.703 4508	1.728 6273	2.98
397	0	0.000 162	968.359 4581	5.720 0924	0.65	442	0	0.000 123	606.659 5361	4.517 0995	1.04
398	0	0.000 162	625.462 6663	1.435 1321	1.00	443	0	0.000 121	3 694.923 0808	6.072 3321	0.17
399	0	0.000 161	12.747 1797	2.862 5747	49.29	444	0	0.000 121	13.703 3024	4.539 1082	45.85
400	0	0.000 159	1 673.757 7237	3.600 6915	0.38	445	0	0.000 121	-54.391 8059	6.109 4295	11.55
401	0	0.000 158	16 309.618 0361	2.957 1285	0.04	446	0	0.000 120	5.259 6640	0.948 5163	119.46
402	0	0.000 157	619.724 8551	1.284 3759	1.01	447	0	0.000 119	1 002.790 3196	3.217 4312	0.63
403	0	0.000 154	9.597 9227	3.366 8906	65.46	448	0	0.000 119	632.120 8886	2.547 4963	0.99
404	0	0.000 152	-572.950 6447	0.734 1175	1.10	449	0	0.000 119	2 280.573 5566	2.869 0406	0.28
405	0	0.000 151	427.451 8311	4.404 3591	1.47	450	0	0.000 118	2 274.340 9380	4.881 1231	0.28
406	0	0.000 151	1 662.737 0915	3.985 7021	0.38	451	0	0.000 117	607.295 8148	0.366 3246	1.03
407	0	0.000 149	1 172.006 8865	0.659 7219	0.54	452	0	0.000 117	-624.504 8177	5.379 5190	1.01
408	0	0.000 148	-641.814 0930	3.384 1050	0.98	453	0	0.000 115	-52.575 8812	5.895 2222	11.95
409	0	0.000 148	15.104 7670	3.799 1096	41.60	454	0	0.000 115	6.522 0371	3.504 9148	96.34
410	0	0.000 146	-417.604 1342	4.660 0085	1.50	455	0	0.000 114	72.876 2967	0.520 7918	8.62
411	0	0.000 146	1 108.017 1579	3.369 6954	0.57	456	0	0.000 113	5 109.272 6051	2.791 4831	0.12
412	0	0.000 146	-7.775 0544	3.121 5766	80.81	457	0	0.000 113	-787.567 1864	2.725 7711	0.80
413	0	0.000 146	579.274 1761	0.708 4266	1.08	458	0	0.000 113	733.072 8427	0.656 3721	0.86
414	0	0.000 146	448.781 7406	4.815 2970	1.40	459	0	0.000 113	-627.755 2926	2.788 9041	1.00
415	0	0.000 144	-66.475 6045	5.381 3669	9.45	460	0	0.000 112	1 609.767 9950	3.589 0263	0.39
416	0	0.000 143	670.967 4041	4.317 6256	0.94	461	0	0.000 109	417.142 5537	4.033 3381	1.51
417	0	0.000 142	8 378.354 8222	2.936 3147	0.07	462	0	0.000 109	136.866 0253	0.014 7305	4.59
418	0	0.000 141	621.933 9952	0.679 0687	1.01	463	0	0.000 108	-1 253.985 3380	3.716 1338	0.50
419	0	0.000 140	1 845.107 8547	0.642 0491	0.34	464	0	0.000 107	1 606.218 4526	4.066 5200	0.39
420	0	0.000 139	2 353.970 7386	2.028 1954	0.27	465	0	0.000 107	534.101 3788	0.288 2319	1.18
421	0	0.000 138	21.011 7702	2.564 2161	29.90	466	0	0.000 106	562.184 2923	1.815 3233	1.12
422	0	0.000 138	601.646 8808	6.096 1890	1.04	467	0	0.000 104	-56.882 1874	2.205 7345	11.05
423	0	0.000 138	628.159 1377	2.797 4503	1.00	468	0	0.000 104	981.460 4100	1.959 9672	0.64
424	0	0.000 138	197.549 2546	2.314 6085	3.18	469	0	0.000 103	632.110 3523	2.440 4211	0.99
425	0	0.000 135	620.532 5306	1.638 0540	1.01	470	0	0.000 103	90.981 8733	2.812 7454	6.91
426	0	0.000 134	1 234.180 6904	2.598 5768	0.51	471	0	0.000 101	624.791 1760	3.441 3470	1.01
427	0	0.000 133	6 447.199 1241	6.056 4041	0.10	472	0	0.000 101	179.064 2638	1.965 7460	3.51
428	0	0.000 133	-533.135 7444	5.409 7019	1.18	473	0	0.000 101	269.973 4819	5.481 6032	2.33
429	0	0.000 131	1 361.380 4277	4.005 7329	0.46	474	0	0.000 101	11.143 0161	5.711 0337	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	10.215 672	628.307 5850	4.249 0320	1.00	46	1	0.000 305	564.317 8564	1.362 6344	1.11
2	1	0.170 681	1 256.615 1700	4.205 9042	0.50	47	1	0.000 303	41.948 4644	5.286 4738	14.98
3	1	0.026 967	21.329 9095	3.400 2905	29.46	48	1	0.000 299	469.047 9836	6.235 8721	1.34
4	1	0.026 592	52.969 0965	5.836 0474	11.86	49	1	0.000 297	681.276 6815	1.583 0127	0.92
5	1	0.021 057	-0.352 3118	6.262 7383	1783.42	50	1	0.000 293	521.658 0373	2.319 9513	1.20
6	1	0.007 800	522.369 3920	4.670 3442	1.20	51	1	0.000 289	586.359 1206	0.095 1976	1.07
7	1	0.005 915	2.629 8320	1.083 0447	238.92	52	1	0.000 266	315.468 7085	2.487 4479	1.99
8	1	0.005 476	157.734 3542	4.534 8002	3.98	53	1	0.000 259	1 235.285 2605	1.991 9358	0.51
9	1	0.003 442	-39.814 9003	5.980 0774	15.78	54	1	0.000 257	80.182 0931	3.425 6115	7.84
10	1	0.003 359	550.755 3239	5.980 1623	1.14	55	1	0.000 250	643.849 6249	2.994 7798	0.98
11	1	0.003 209	1 884.922 7550	4.162 9135	0.33	56	1	0.000 244	1 044.738 7840	2.347 1392	0.60
12	1	0.002 920	585.647 7659	0.623 8119	1.07	57	1	0.000 243	523.080 7467	3.084 7528	1.20
13	1	0.002 776	15.542 0399	3.745 3181	40.43	58	1	0.000 205	708.489 6781	0.526 3239	0.89
14	1	0.002 519	574.627 1338	2.980 3305	1.09	59	1	0.000 189	803.109 2263	3.569 0037	0.78
15	1	0.002 498	576.049 8432	2.467 9137	1.09	60	1	0.000 180	-7 143.069 5618	2.192 2960	0.09
16	1	0.002 300	-79.629 8007	1.174 4118	7.89	61	1	0.000 178	0.393 2153	5.180 4337	1597.90
17	1	0.002 177	20.618 5548	3.854 7875	30.47	62	1	0.000 174	627.955 2732	0.087 4840	1.00
18	1	0.001 792	-77.552 2611	1.092 0660	8.10	63	1	0.000 174	584.936 4112	0.417 5584	1.07
19	1	0.001 379	42.659 8191	2.699 8320	14.73	64	1	0.000 170	-159.259 6014	3.997 0977	3.95
20	1	0.001 328	606.266 3208	5.845 8019	1.04	65	1	0.000 169	-470.573 2308	4.641 7792	1.34
21	1	0.001 287	607.689 0302	5.333 4257	1.03	66	1	0.000 168	3.813 3036	4.164 5294	164.77
22	1	0.001 215	105.938 1930	6.222 8745	5.93	67	1	0.000 164	842.924 1266	2.180 6196	0.75
23	1	0.001 177	1 203.646 0735	2.292 8321	0.52	68	1	0.000 163	763.294 3260	4.968 4457	0.82
24	1	0.001 108	-0.711 3547	5.154 7250	883.27	69	1	0.000 146	429.233 0833	1.356 0981	1.46
25	1	0.001 014	469.400 2955	4.044 0138	1.34	70	1	0.000 144	1 149.965 6223	0.974 3879	0.55
26	1	0.001 008	52.257 7418	0.749 3203	12.02	71	1	0.000 144	2.035 5319	3.895 4394	308.68
27	1	0.000 936	548.677 7843	3.416 0814	1.15	72	1	0.000 137	1 414.349 5242	3.987 5766	0.44
28	1	0.000 863	627.596 2303	4.562 0602	1.00	73	1	0.000 136	1 151.388 3317	0.495 5723	0.55
29	1	0.000 859	1 097.707 8805	2.777 1526	0.57	74	1	0.000 134	723.479 4256	0.090 4543	0.87
30	1	0.000 816	-22.041 2642	5.806 8915	28.51	75	1	0.000 126	683.664 5253	1.509 0694	0.92
31	1	0.000 775	254.431 4420	1.603 1971	2.47	76	1	0.000 117	10.309 2774	2.838 4968	60.95
32	1	0.000 767	214.616 5416	3.000 2004	2.93	77	1	0.000 116	416.431 1990	3.408 3878	1.51
33	1	0.000 710	7.478 1599	0.443 7258	84.02	78	1	0.000 109	606.977 6755	3.617 9427	1.04
34	1	0.000 618	-53.680 4512	1.302 6428	11.70	79	1	0.000 101	-625.677 7530	0.661 8265	1.00
35	1	0.000 609	174.801 6413	4.403 7652	3.59	80	1	0.000 101	1 778.984 5620	0.286 3502	0.35
36	1	0.000 598	-119.444 7010	2.583 4726	5.26	81	1	0.000 101	63.989 7286	1.610 7621	9.82
37	1	0.000 582	508.862 8840	4.827 7235	1.23						
38	1	0.000 526	55.356 9403	2.336 1073	11.35	1	2	0.043 230	628.307 5850	2.642 8937	1.00
39	1	0.000 494	-628.659 8968	0.268 3052	1.00	2	2	0.004 065	0.000 0000	4.712 3890	
40	1	0.000 477	134.986 7410	5.808 6367	4.65	3	2	0.001 226	1 256.615 1700	2.438 1406	0.50
41	1	0.000 469	-24.272 8604	5.154 8906	25.89	4	2	0.000 195	21.329 9095	1.642 1870	29.46
42	1	0.000 423	95.171 8406	0.931 1722	6.60	5	2	0.000 169	52.969 0965	4.510 9593	11.86
						6	2	0.000 134	-0.352 3118	1.502 2103	1783.42
43	1	0.000 340	-235.286 6154	2.552 1899	2.67						
44	1	0.000 321	-0.704 6237	1.863 7965	891.71						
45	1	0.000 306	943.776 2935	4.226 4206	0.67	1	3	0.000 143	628.307 5850	1.131 4536	1.00

CHAPITRE 3

SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

A. FIENGA (3.1 & 3.3), V.A. BRUMBERG (3.2), F. ARIAS (3.4), Z. ALTAMIMI (3.5)
ET N. CAPITAINÉ (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. 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). Enfin, la vingt-sixième assemblée générale, dans sa résolution 3 (UAI, 2006), redéfinit le TDB comme fonction linéaire de TCB, évitant ainsi la possibilité de réalisations multiples de TDB. On peut voir à ce sujet les commentaires de Brumberg et Groten (2001), l'explication détaillée de Soffel et al. (2003), la discussion sur les applications pratiques de cette résolution dans (IERS, 2002), et enfin le chapitre 2 de cet ouvrage.

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_q^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 mme 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 :

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

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 tre 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 tre 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 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 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

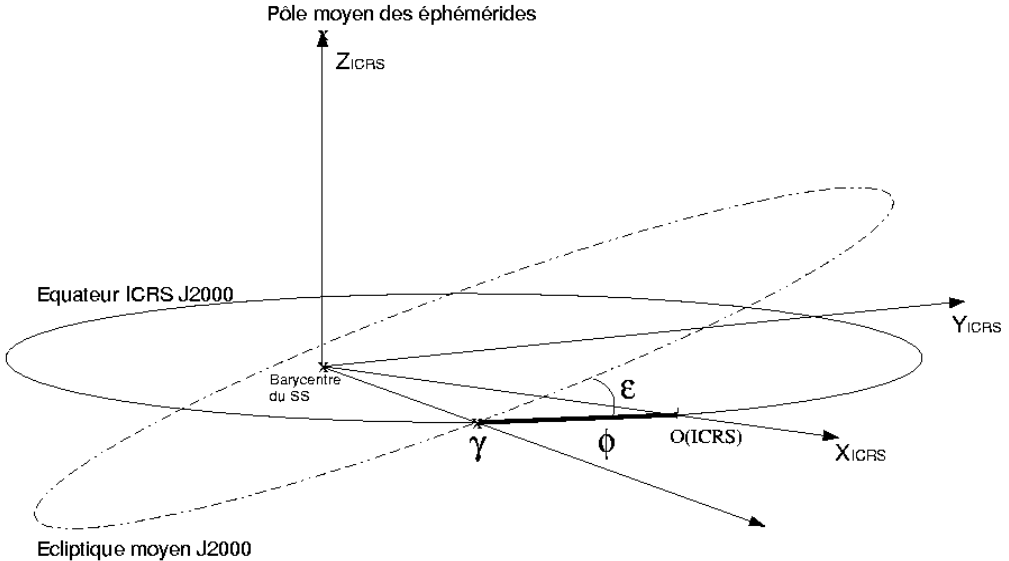


Fig. 3.3.1. Définition des axes et raccordement des systèmes de référence dynamiques à l'ICRS

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 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 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,

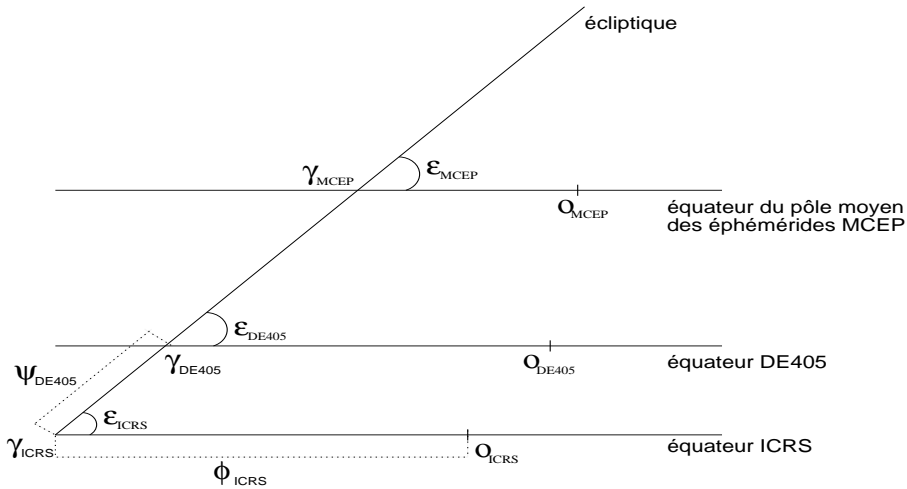


Fig. 3.3.2. Angles utilisés pour les raccords entre systèmes de référence (d’après Chapront et al., 2002).

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 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 modle 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 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 vingt 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).

La vingt-sixième assemblée générale de l'UAI (UAI, 2010) a résolu d'adopter une nouvelle réalisation du repère de référence céleste international (ICRF2) ; l'IERS et des groupes de travail de l'IVS et de l'UAI ont été chargés de sa construction (IERS, 2009).

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.

Dans le processus de maintenance du repère, le suivi de la stabilité des coordonnées des sources radio sur la base de nouvelles observations et analyses est essentiel. Pour cela des programmes d'observation ont été mis en place par différentes organisations (l'USNO, le GSFC, le NRAO de la NASA aux États Unis, l'observatoire de Bordeaux en France). Des observations dans l'hémisphère sud se font avec le soutien de l'IVS pour contribuer au programme astrométrique et d'imagerie des sources radio.

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. L'incertitude de l'alignement du catalogue Hipparcos à l'ICRF1 est de 0.6 mas pour l'orientation à l'époque de référence 1991.25 et de 0.25 mas/an pour la rotation (Kovalevsky et al., 1997). Une nouvelle réduction des données Hipparcos a apporté des améliorations notamment sur les parallaxes des étoiles brillantes, mais sans modifier le système des coordonnées (van Leeuwen, 2007).

Les éphémérides planétaires et lunaires sont orientées sur l'ICRS. Des études réalisées par Folkner et al. (2009) montrent que le raccordement entre l'ICRF et le repère dynamique défini à partir des éphémérides planétaires du JPL (DE 421) est connu à mieux que ± 1 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) avec une exactitude de 0.1 mas. 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.

La première réalisation de l'ICRF (Ma et al. 1997 et 1998), ci-après indiquée par ICRF1, est le résultat de l'analyse de toutes les observations VLBI disponibles sur la période 1979-1995.

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'ICRF1,

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.

Le nombre total de sources radio extragalactiques dans la première réalisation de l'ICRF1 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*. 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 médiane des incertitudes des coordonnées des sources de définition dans l'ICRF1 est de ± 0.35 mas en ascension droite et ± 0.40 mas en déclinaison. 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.

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'ICRF1 ont été construites.

Les deux extensions de l'ICRF1 ont eu pour objectif de densifier le repère avec l'apport de coordonnées de nouvelles sources. Les sources de définition, de même que leurs coordonnées, restent celles de l'ICRF1. La première extension de l'ICRF1, 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.

3.4.7. La deuxième réalisation de l'ICRF : l'ICRF2

La deuxième réalisation du repère de référence céleste international (ICRF2) a été conclue en 2009 sur la base des positions VLBI de 295 nouvelles sources de définition. Pour la sélection des sources de définition le groupe de travail a considéré, à part l'histoire observationnelle et l'incertitude des positions, la stabilité des positions étudiées dans des séries temporelles des coordonnées ainsi que l'absence de structure radio variable (IERS, 2009). Le nombre total de sources dans l'ICRF2 est de 3414, cinq fois plus que l'ICRF1. La stabilité des axes représentés par l'ICRF2 est estimée à 10 mas, deux fois plus stable que celle obtenue par l'ICRF1.

3.4.8. Futur de l'ICRS

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. La mission Gaia peut être considérée comme une extension de la mission Hipparcos, toutes 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, repose sur le positionnement de points sur la surface de la Terre ou dans son environnement immédiat. La détermination des positions de points nécessite en premier lieu des mesures (ou observations) sur ces points, utilisant des techniques classiques (terrestres) ou spatiales, 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 ne sont donc ni des quantités 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 fait appel à un Repère de Référence Terrestre (RRT) constituant la matérialisation physique du SRT.

La distinction entre "système de référence" et "repère de référence" est donc subtile du fait que le premier est plutôt invariable et inaccessible alors que le deuxième est, lui, accessible et perfectible.

L'utilisation des techniques spatiales depuis une vingtaine d'années a bouleversé le positionnement sur la surface de la Terre. En effet, 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

stématismes les unes par rapport aux autres. Ce constat a conduit les instances internationales et en particulier l'Union Astronomique Internationale (UAI), l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (UGGI) et l'Association Internationale de Géodésie (AIG) à adopter, en 1991, l'ITRS (International Terrestrial Reference System) en tant que système de référence terrestre unique, pour toutes les applications relatives à la science de la Terre.

La réalisation de l'ITRS, appelée (ITRF : International Terrestrial Reference Frame) par les techniques modernes de géodésie spatiale a été confiée au Service International de la Rotation de la Terre et des Systèmes de Référence (IERS : International Earth Rotation and Reference Systems Service), crée en 1988. L'IERS est en charge de trois références globales : l'ITRS, le Système International de Référence Céleste (ICRS) et la rotation de la Terre qui lie les deux systèmes.

L'idée de base de l'ITRF est de combiner les positions de stations (et leur vitesses), calculées par différents centres d'analyse en utilisant les observations des techniques spatiales telle que l'interferométrie à très longue base (VLBI) la télémétrie laser sur satellite (SLR) 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 système de référence terrestre (SRT) est un système de référence spatial tournant avec la Terre dans son mouvement diurne dans l'espace. Dans ce système, les positions de 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).

Afin de suivre la terminologie adoptée depuis une vingtaine d'années par la communauté géodésique et astronomique (Kovalevsky et al., 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. On note ainsi que le SRT n'est théoriquement pas accessible, et on utilise sa réalisation physique, appelée Repère de Référence Terrestre (RRT).

Un *Système de Référence Terrestre (SRT)* est modélisé par un repère affine (O, E) d'un espace Euclidien orthogonal où O , l'origine, est un point quelconque de l'espace et E est une base orthogonale vérifiant :

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

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 :

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

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

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

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

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

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) suivante, 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⁾) :

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

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 :

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

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

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 :

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

Un *Repère de Référence Terrestre* (RRT) est défini comme la réalisation numérique du SRT, via la réalisation de son origine, son échelle, son orientation et leur évolutions temporelles. On considère aussi que la réalisation est obtenue par la détermination précise des coordonnées temporelles d'un ensemble de points physiques, exprimées dans un système de coordonnées spécifique.

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, auxquels 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, d'échelle, d'orientation et d'évolution temporelle.

Les techniques de géodésie spatiale ne sont pas toutes sensibles à tous les paramètres de définition du RRT. L'origine 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 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. En termes d'équations normales, habituellement construites à partir des observations, cette situation est reflétée par le fait que la matrice normale, N , 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 :

- contraintes détachables : solutions pour lesquelles les positions/vitesses des stations sont contraintes à des valeurs externes avec une incertitude $\sigma \approx 10^{-5}$ m pour les positions et 10^{-5} m/an pour les vitesses.

- contraintes lâches : solutions pour lesquelles les incertitudes appliquées aux contraintes sont $\sigma \geq 1$ m pour les positions et ≥ 10 cm/an pour les vitesses.
- contraintes minimales qui servent uniquement à définir le RRT avec un minimum d'information. Pour plus de détails sur les concepts et l'utilisation des contraintes minimales, voir par exemple, (Sillard et Boucher, 2001 ; Altamimi et al., 2001, 2003b).

Notons toutefois que la vieille habitude où des contraintes très fortes sont appliquées ($\sigma \leq 10^{-10}$ m), n'est plus souhaitable car ce type de contraintes doit sans doute altérer la qualité réelle des paramètres estimés.

Dans le cas des contraintes détachables ou lâches, cela revient à écrire l'équation d'observation suivante :

$$X - X_0 = 0 \tag{3.5.6}$$

où X est le vecteur des paramètres estimés (positions et/ou vitesses) et X_0 est celui des paramètres à priori. Dans le cas des contraintes minimales, l'équation d'observation utilisée est sous la forme :

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

$$B(X - X_0) = 0 \tag{3.5.7}$$

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

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

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

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

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 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). Par conséquent cette matrice 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 :

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

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 (BIH) 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, quand, en 1988, l'IERS a été créé par l'Union Internationale de Géodésie et de Géophysique et l'Union Astronomique Internationale.

Au moment où nous écrivons, douze versions de l'ITRF ont été publiées, commençant par l'ITRF88 et se terminant par l'ITRF2008, chacune d'elles étant une amélioration et un remplacement de 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.

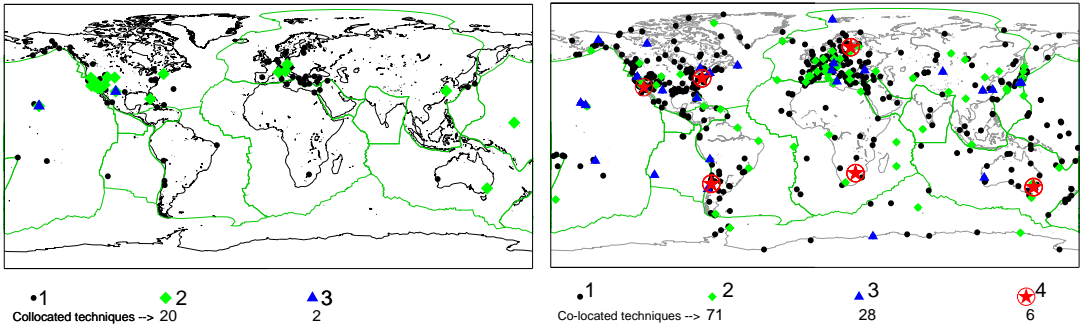


Fig. 3.5.1. Répartition des sites ITRF88 (gauche) et ITRF2008 (droite).

L'ITRF2000 est une solution étendue et améliorée dans le but de servir de référence à la fois pour le géo-référencement et les applications en science de la Terre. En plus des sites primaires, VLBI, SLR, GPS et DORIS, l'ITRF2000 comprends une densification par des réseaux GPS régionaux, en Alaska, Antarctique, Asie, Europe, les deux Amériques 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 déterminée en fixant à zéro les translations et leurs dérivées entre l'ITRF2000 et une moyenne pondérée de cinq solutions SLR
- L'échelle est déterminée en fixant à zéro l'échelle et sa dérivée entre l'ITRF2000 et une moyenne pondérée des cinq solutions SLR et trois solutions VLBI. Contrairement à l'échelle de l'ITRF97 compatible avec le TCG, l'ITRF2000 est compatible avec le TT.
- L'orientation est déterminée 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).

3.5.5. L'ITRF2005

Pour la première fois de l'histoire de l'ITRF, l'ITRF2005 a été construit en utilisant des séries temporelles de positions de stations et de paramètres de rotation de la Terre. Une série temporelle par technique a été considérée : journalière dans le cas de la technique VLBI et hebdomadaire dans le cas des techniques satellitaires (SLR, GPS et DORIS). Ces solutions représentent les séries officielles des services internationaux des quatre techniques (IVS, ILRS, IGS et IDS), reconnus par l'IERS sous le nom de "Centre Technique". Il faut noter que ces solutions sont les résultats des combinaisons, au sein de chaque service, des centres d'analyses participant aux activités de chaque service.

L'origine de l'ITRF2005 est définie par l'annulation des composantes de translation de la solution SLR. Son échelle est définie en fixant à zéro l'échelle de la solution VLBI et son orientation est définie par alignement à l'ITRF2000.

3.5.6. L'ITRF2008, la réalisation courante de l'ITRS

Au moment où nous écrivons, l'ITRF2008 représente la version courante de l'ITRF.

En suivant la même stratégie que pour l'élaboration de l'ITRF2005, l'ITRF2008 est basé sur des solutions re-calculées des quatre techniques de géodésie spatiale : VLBI, SLR, GPS et DORIS, couvrant respectivement 29, 26, 12.5 et 16 ans d'observations.

L'ITRF2008 est composé de 934 stations réparties sur 580 sites, avec une distribution inhomogène entre l'hémisphère nord (463 sites) et l'hémisphère sud (117 sites).

Comme illustré par la figure 3.5.1, il y a au total 105 sites co-localisés dont 91 disposent de rattachements géodésiques locaux. Il faut aussi noter que les sites co-localisés de l'ITRF2008 ne sont pas tous en opération actuellement. Par exemple, parmi les six sites disposant de quatre techniques, deux seulement sont en activité aujourd'hui : Hartebeesthoek, Afrique du sud, et Greenbelt, MD, USA. L'ITRF2008 est caractérisé par les propriétés suivantes :

- L'origine est définie par le fait qu'il n'y a pas de translation entre l'ITRF2008 et la solution SLR ;
- L'échelle est définie par une échelle nulle entre l'ITRF2008 et la moyenne des échelles VLBI et SLR ;
- L'orientation est définie par alignement sur la solution ITRF2005 en utilisant un ensemble de 179 stations de référence réparties sur 131 sites, incluant 107 GPS, 27 VLBI, 15 SLR et 12 DORIS.

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 :

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

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 et 2006 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 UAI 2000 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 UAI 2000 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 étaient appelées respectivement *origine céleste des éphémérides* (CEO, Celestial Ephemeris Origin) et *origine terrestre des éphémérides* (TEO, Terrestrial Ephemeris Origin). Finalement, lors de sa vingt-sixième assemblée générale en 2006, l'UAI a adopté dans sa résolution B2 que la désignation «intermédiaire» soit utilisée pour décrire les systèmes de référence céleste et terrestre. Ainsi les origines non-tournantes pour le GCRS et l'ITRS sont nommées 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 (UAI, 2006).

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) :

$$\theta(UT1) = 2\pi (0.779\,057\,273\,2640 + 1.002\,737\,811\,911\,354\,48 \times (t - 2\,451\,545.0)), \quad (3.6.3)$$

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 ΔUT1 du paramètre UT1, telles que : $\Delta\text{UT1} = (1/k) \int_0^t m_3 dt$, k étant le facteur de proportionalité entre θ et UT1. Elles s'obtiennent par la détermination de UT1 – TAI à partir d'observations.

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 . ϖ_0 est l'origine des longitudes, ϖ 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 $\theta = \varpi\sigma$ et GST est l'angle $\varpi\gamma_v$.

3.6.4.2. Définition du CIP

Selon la résolution B1.7 de l'UAI (2000), 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

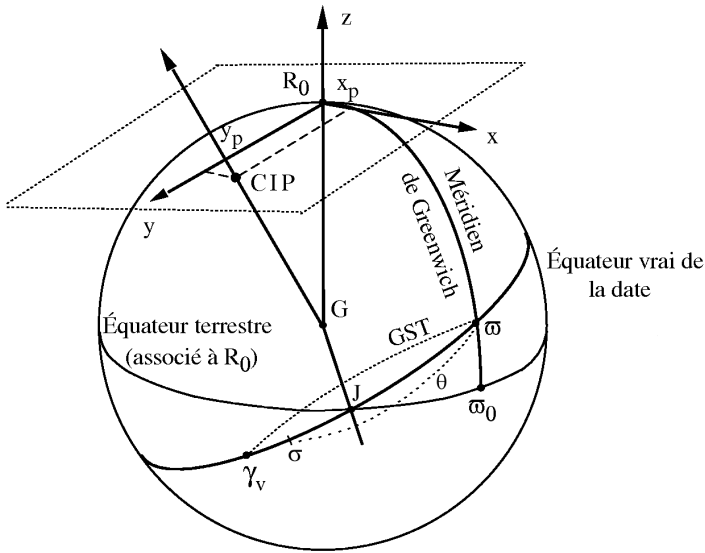
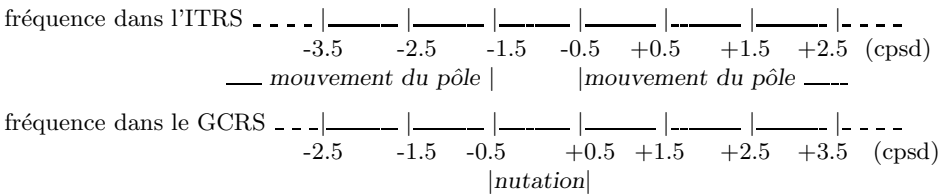


Fig. 3.6.1. Définition des paramètres d'orientation de la Terre.

que -0.5 cpsd).

Cette définition est résumée par le schéma suivant :



La résolution B1.8 de l'UAI (2000) 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 0h 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 (2000) 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).

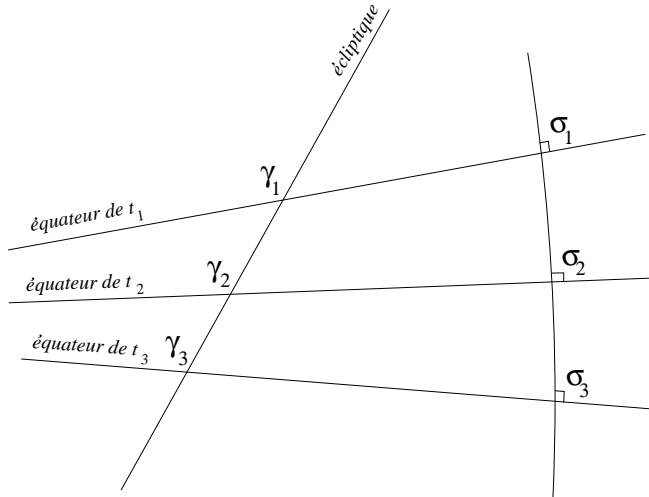


Fig. 3.6.2. Mouvement de l'origine non-tournante σ comparé à celui de l'équinoxe vrai de la date γ_v .

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 la direction du CIP. Avec les notations de la figure 3.6.3, la quantité $s = \sigma J - \gamma_0 J$ 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 :

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

Ou bien, à des termes en d^4 près :

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

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

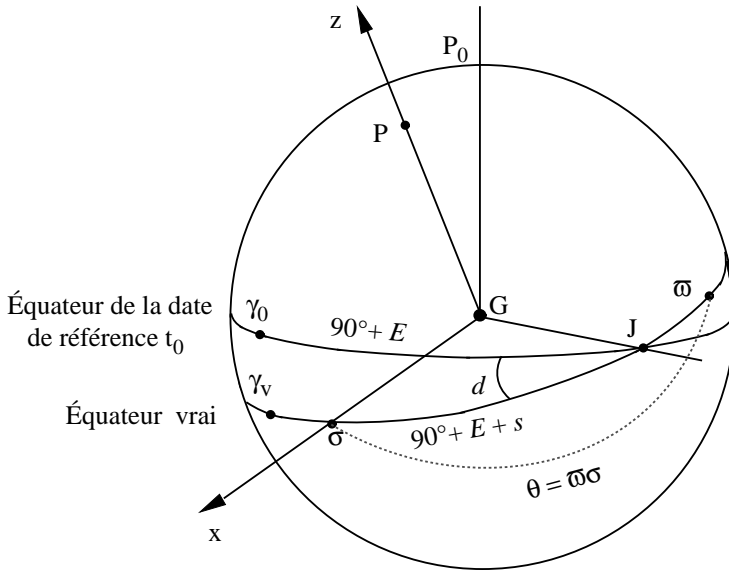


Fig. 3.6.3. Définition de l'origine "non-tournante".

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 :

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

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 : $\varpi J = \varpi_0 J$, c'est-à-dire $s' = \varpi J - \varpi_0 J = 0$ (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 :

$$\theta = \omega_3 (t - t_0), \tag{3.6.7}$$

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 (2000) 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 (UAI, 2000).

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 :

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

$(x, y)_{IERS}$ 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) :

$$\theta(d_u) = 2\pi (0.779\,057\,273\,2640 + 1.002\,737\,811\,911\,354\,48 T_u), \quad (3.6.17)$$

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 2000/2006 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) et Capitaine et al. (2005, table 5) pour la partie polynomiale :

$$\begin{aligned} X = & -0''.016\,617 + 2\,004''.191\,898t - 0''.429\,782\,9t^2 \\ & - 0''.198\,618\,34t^3 - 0''.000\,007\,578t^4 + 0''.000\,005\,928\,5t^5 \\ & + \sum_i [(a_{s,0})_i \sin(\text{ARGUMENT}) + (a_{c,0})_i \cos(\text{ARGUMENT})] \\ & + \sum_i [(a_{s,1})_i t \sin(\text{ARGUMENT}) + (a_{c,1})_i t \cos(\text{ARGUMENT})] \\ & + \sum_i [(a_{s,2})_i t^2 \sin(\text{ARGUMENT}) + (a_{c,2})_i t^2 \cos(\text{ARGUMENT})] + \dots, \end{aligned} \quad (3.6.18)$$

$$\begin{aligned} Y = & -0''.006\,951 - 0''.025\,896t - 22''.407\,274\,7t^2 \\ & + 0''.001\,900\,59t^3 + 0''.001\,112\,526t^4 + 0''.000\,000\,135\,8t^5 \\ & + \sum_i [(b_{c,0})_i \cos(\text{ARGUMENT}) + (b_{s,0})_i \sin(\text{ARGUMENT})] \\ & + \sum_i [(b_{c,1})_i t \cos(\text{ARGUMENT}) + (b_{s,1})_i t \sin(\text{ARGUMENT})] \\ & + \sum_i [(b_{c,2})_i t^2 \cos(\text{ARGUMENT}) + (b_{s,2})_i t^2 \sin(\text{ARGUMENT})] + \dots, \end{aligned} \quad (3.6.19)$$

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 3.1. 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, $dX = d\psi \sin \varepsilon$ et $dY = d\varepsilon$, diffusées par l'IERS par rapport au modèle UAI.

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 ; Wallace & Capitaine, 2006) :

$$\begin{aligned} s = & -XY/2 + 0''.000\,094 + 0''.003\,809t - 0''.000\,123t^2 - 0''.072\,574t^3 \\ & + 0''.000\,028t^4 + 0''.000\,016t^5 \\ & - 0''.002\,641 \sin \Omega - 0''.000\,064 \sin 2\Omega - 0''.000\,012 \sin(2\lambda_{\odot} + \Omega) - 0''.000\,011 \sin(2\lambda_{\odot} - \Omega) \\ & + 0''.000\,744t^2 \sin \Omega + 0''.000\,057t^2 \sin 2\lambda_{\odot} + 0''.000\,010t^2 \sin 2\lambda_{\mathcal{C}}, \end{aligned} \quad (3.6.20)$$

λ_{\odot} et $\lambda_{\mathcal{C}}$ 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.

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 (UAI, 2000) 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 :

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

$C''(t)$, 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

Table 3.1. 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	
.....																	

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 :

$$\begin{aligned} \text{GST} = & 0.014\,506'' + \theta + 4\,612.156\,534''t + 1.391\,5817''t^2 - 0.000\,000\,44''t^3 - 0.000\,029\,956''t^4 \\ & - 0.000\,000\,037''t^5 + \Delta\psi \cos \epsilon_A - \sum_k C'_k \sin \alpha_k - 0.000\,000\,87''t \sin \Omega. \end{aligned} \quad (3.6.23)$$

Les deux derniers termes de (3.6.23) sont des termes complémentaires à ajouter à l'expression classique de l'équation des équinoxes, $\Delta\psi \cos \epsilon_A$, 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 $\Delta\epsilon$ 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 $d\epsilon_{IAU2000}$. 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 2000/2006 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 $0.1 \mu\text{s}$:

$$\begin{aligned} \text{GMST00}(t_u, t) = & \text{UT1} + 24\,110.549\,3771 + 8\,639\,877.31737695 t_u + 307.477\,1023 t \\ & + 0.092\,772\,110 t^2 - 0.000\,000\,293 t^3 - 0.000\,001\,997 t^4 \\ & - 0.000\,000\,037 t^5, \end{aligned} \quad (3.6.24)$$

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 :

$$\begin{aligned} \text{GMST00}(t_u, t) = & \text{UT1} + 24\,110.549\,3771 + 8\,640\,184.794\,479\,25 t_u + 307.477\,1600 (t - t_u) \\ & + 0.092\,772\,110 t^2 - 0.000\,000\,293 t^3 - 0.000\,001\,997 t^4 \\ & - 0.000\,000\,037 t^5, \end{aligned} \quad (3.6.25)$$

à comparer avec la définition 1982 de UT1 :

$$\begin{aligned} \text{GMST82}(t_u) = & \text{UT1} + 24\,110.548\,41 + 8\,640\,184.812\,866 t_u \\ & + 0.093\,104 t_u^2 - 0.000\,0062 t_u^3. \end{aligned} \quad (3.6.26)$$

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. : 2003a, 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. : 2003b, ITRF2000 : From Theory to Implementation, *Proceedings of IAG V Hotine Marussi symposium*.
- Altamimi, Z., Collilieux, X., Legrand J., Garayt, B., Boucher, C. : 2007. ITRF2005 : A New release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters, *J. Geophys. Res.*, **112**, B09401, doi : 10.1029/2007JB004949.
- 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, Thorie du mouvement de l'ensemble des plantes. 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 rfrence spatio-temporels*, Saint-Petersbourg, (sous presse).
- Brzeźniński, 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.
- Capitaine, N., Wallace, P.T., Chapront, J. : 2003c, Expressions for IAU 2000 precession quantities *Astron. Astrophys.* **412**, 467.
- 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.
- Folkner, W.M., Williams, J.G., and Boggs, D.H. : 2009, The Planetary and Lunar Ephemeris DE 421, IPN Progress Report 42-178, August 15, 2009.
http://ipnpr.jpl.nasa.gov/progress_report/42-178/178C.pdf
- 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 Main.
- 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.
- IERS : 2009, The Second Realization of the International Celestial Reference Frame by Very Long Baseline Interferometry, *IERS technical note 35*, Fey A., Gordon, D., Jacobs, C. eds., Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main.
- 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., Kolaczek, B. : 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.
- Schwan, H. : 1983, *Veröffentlichungen Astronomisches Rechen-Institut Heidelberg* **30**, 47.
- 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-98-048**.
- 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).

UAI : 2006, Resolutions of the twenty-sixth General Assembly, *IAU Information Bull.* **99**.

UAI : 2010, Resolutions of the twenty-sixth General Assembly, *IAU Information Bull.* **105**.

Wallace, P., Capitaine, N. : 2006, Precession-nutation procedures consistent with IAU 2006 resolutions, *Astron. Astrophys.* **459**, 981.

van Leeuwen, F. : 2007, Hipparcos, the new reduction of raw data, *ASPL series*, Springer, doi : 10.1007/978-1-4020-6342-8.

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)
ET 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 l'attraction gravitationnelle des corps du système solaire (Lune, Soleil, planètes), ses interactions avec les couches fluides à la surface du globe ou dans la croûte (atmosphère, hydrosphère, cryosphère) et conditionnées par sa structure interne et sa rhéologie. Certaines composantes de ce mouvement de rotation sont modélisables avec une précision remarquable : ce sont les composantes résultant de l'attraction gravitationnelle de la Lune, du Soleil et, dans une bien moindre mesure, des planètes, exercée sur la forme de la Terre. Les mouvements réguliers des corps perturbateurs donnent naissance à des mouvements périodiques de l'axe de rotation terrestre par rapport à l'espace. En revanche, les effets de l'atmosphère, des océans, ou des redistributions de masse au sein de la Terre restent difficilement prédictibles, principalement à cause de notre connaissance seulement partielle des processus climatiques (friction des vents et des courants marins, déformation de la croûte sous la pression de l'atmosphère ou de l'océan, échanges de moment cinétique entre fluides de surface et Terre solide, ...) et des processus de couplages topographiques et électromagnétiques en profondeur au niveau des limites entre manteau, noyau liquide et graine solide.

L'observation astrométrique des corps célestes (par exemple de la Lune, des étoiles, etc.) depuis le sol s'effectue depuis des stations dont les coordonnées sont mesurées dans un repère de référence

terrestre. Les positions et mouvements des corps observés sont décrits dans un repère de référence céleste. L'orientation relative de ces deux repères au cours du temps varie suivant la rotation de la Terre, sans toutefois donner l'orientation de l'axe instantané de rotation. 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) permet la séparation entre variations lentes et rapides des angles d'orientation de la Terre, c'est-à-dire entre les changements d'orientation de l'axe de figure (mouvements dont les périodes s'étalent de quelques jours à plusieurs milliers d'années) et la rotation diurne. Les techniques d'observations astrométriques et géodésiques actuelles comme l'interférométrie radio à très longue base (VLBI, Very Long Baseline Interferometry), les systèmes de navigation globaux par satellites (GNSS, Global Navigation Satellite 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 l'axe du pôle intermédiaire à quelques dixièmes de millisecondes de degré près. Si les mouvements périodiques de l'axe du pôle intermédiaire dans le repère céleste, résultant essentiellement des forces de marées exercées par les corps du système solaire et connus sous le nom de *précession-nutation*, sont modélisés avec une précision de quelques dixièmes de millisecondes de degré, les techniques d'observations permettent de déterminer les écarts entre le pôle intermédiaire observé et le pôle intermédiaire modélisé. Elles permettent également de mesurer le vecteur joignant le pôle nord géographique au pôle intermédiaire, vecteur usuellement rapporté au repère terrestre et que l'on nomme *mouvement du pôle*.

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'orientation de l'axe de figure de la Terre dans l'espace subit des variations sous l'effet du couple gravitationnel externe sur la forme de la Terre et, dans une moindre mesure, sous l'effet des couches fluides à la surface du globe (charge, courants, marées) et de la rotation du noyau liquide. L'axe de figure décrit ainsi dans un repère céleste un cône d'ouverture $23^{\circ}26'$ en un peu moins de 26 000 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 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 l'axe de rotation de la Terre, alors considérée comme indéformable, doit 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 dans l'orientation de l'axe terrestre. Chandler, en 1891, découvre que ces variations apparemment annuelles se scindent en fait en une oscillation annuelle et une autre oscillation de période quatorze mois. Cette dernière oscillation, dite *oscillation de Chandler* dont l'amplitude est voisine de 150 millisecondes de degré (mas), est bien le mouvement libre prédit par Euler plus d'un siècle auparavant. Sa période est voisine de 433 jours et l'allongement par rapport aux 305 jours prédits par Euler 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 global de la Terre). Ce mouvement libre est normalement amorti en quelques dizaines d'années par friction. Le mécanisme d'entretien de ce mouvement, toujours observé de nos jours, mobilise encore la communauté géophysique. Il a été montré récemment que l'excitation du mouvement Chandler est d'origine atmosphérique et océanique.

Outre cette oscillation libre, 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 $\Omega_0 = 7.292\,115 \times 10^{-5}$ 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 ms ;
- 2) aux marées zonales, variations de l'ellipticité de la Terre, qui produisent des effets 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 une période annuelle et 0.2 ms sur une période semi-annuelle.

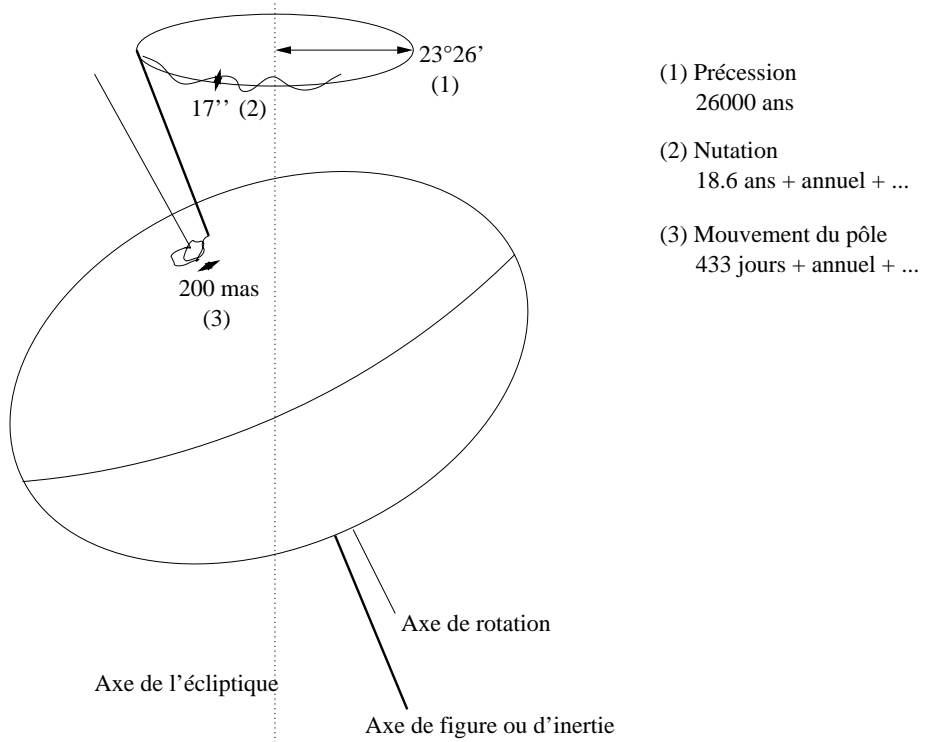


Fig. 4.1. Précession-nutation et mouvement du pôle.

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 :

$$\frac{d\mathbf{H}}{dt} = \mathbf{\Gamma} . \tag{4.1.1}$$

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

$$\boldsymbol{\omega} = \Omega_0 \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ 1 + m_3 \end{pmatrix} , \tag{4.1.2}$$

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 $[C]$, et d'un moment cinétique "relatif" \mathbf{h} :

$$\mathbf{H} = [C].\boldsymbol{\omega} + \mathbf{h}. \quad (4.1.3)$$

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, son tenseur d'inertie $[C]$ s'écrit :

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

où $A = B = 8.011 \times 10^{37}$ kg m² et $C = 8.037 \times 10^{37}$ kg m² sont les moments d'inertie principaux moyens de la Terre et les c_{ij} de petits incréments d'inertie dus aux déformations ou aux anomalies de masse.

En explicitant l'équation (4.1.1) dans le repère terrestre (repère 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 $\tilde{m} \equiv m_1 + im_2$, $\tilde{\Gamma} \equiv \Gamma_1 + i\Gamma_2$, $\tilde{h} \equiv h_1 + ih_2$ et $\tilde{c} \equiv c_{13} + ic_{23}$, on obtient les équations de Liouville linéarisées :

$$\begin{aligned} \tilde{m} + \frac{i}{e\Omega_0} \dot{\tilde{m}} &= \frac{i\tilde{\Gamma}}{Ae\Omega_0^2} - \frac{i\dot{\tilde{c}} - \Omega_0\tilde{c}}{Ae\Omega_0} - \frac{i\dot{\tilde{h}} - \Omega_0\tilde{h}}{Ae\Omega_0^2}, \\ m_3 &= \int \frac{\Gamma_3}{C\Omega_0} dt - \frac{c_{33}}{C} - \frac{h_3}{C\Omega_0} + C^{te}, \end{aligned} \quad (4.1.6)$$

où $e = (C - A)/A$ est l'appâtissement dynamique de la Terre, et $e\Omega_0$ n'est autre que 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 $\tilde{\chi}$ 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 \tilde{m} du pôle instantané de rotation et les coordonnées $\tilde{p} = x_p - iy_p$ (comptées par convention dans un repère indirect) du CIP dans le repère terrestre est :

$$\tilde{m} = \tilde{p} - \frac{i}{\Omega_0} \dot{\tilde{p}}. \quad (4.1.7)$$

4.1.3.3. La durée du jour

L'excès de la longueur du jour par rapport au jour solaire moyen (86 400 s) est :

$$\Delta LOD = -\frac{2\pi k}{\Omega_0} m_3, \quad (4.1.8)$$

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 :

$$\begin{aligned} \dot{\theta} + i\dot{\Psi} \sin \theta &= -\Omega_0 \tilde{m} e^{i\phi}, \\ \dot{\phi} + \dot{\Psi} \cos \theta &= \Omega_0 (1 + m_3), \end{aligned} \quad (4.1.9)$$

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. Ces deux angles sont reliés aux angles de nutation classiques ψ et ϵ suivant $\Delta\Psi \sin \theta = \Delta\psi \sin \epsilon$ et $\Delta\theta = -\Delta\epsilon$. La précession est constituée par la partie polynomiale des variations de Ψ et θ . Leur partie périodique constitue la nutation.

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) :

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

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.

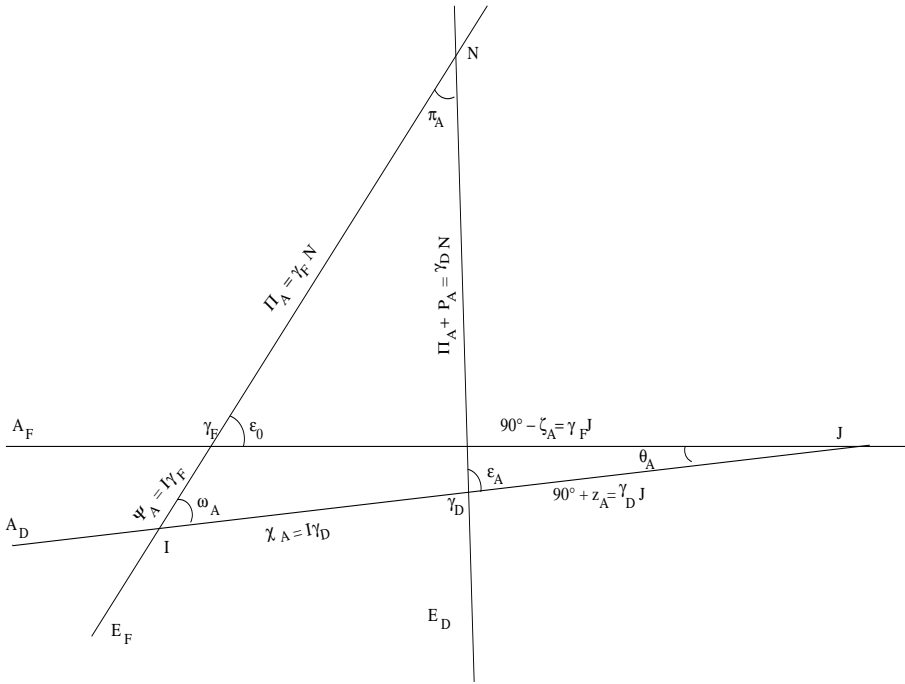


Fig. 4.2. Écliptiques E_F, E_D et équateurs moyens A_F, A_D aux époques σ_F, σ_D .

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 Franou, 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 :

$$\varepsilon_0 = 84381.40880'' = 23^\circ 26' 21.40880''. \quad (4.2.6)$$

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 UAI 2006

Le modèle de précession adopté par l'UAI en 2006 (résolution B1) est présenté dans Hilton et al. (2006). Il est issu des travaux de Capitaine, Wallace et Chapront (2003) et était désigné par P03 dans les éditions antérieures à 2009. Pour calculer les quantités liées à la précession de l'écliptique les auteurs 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

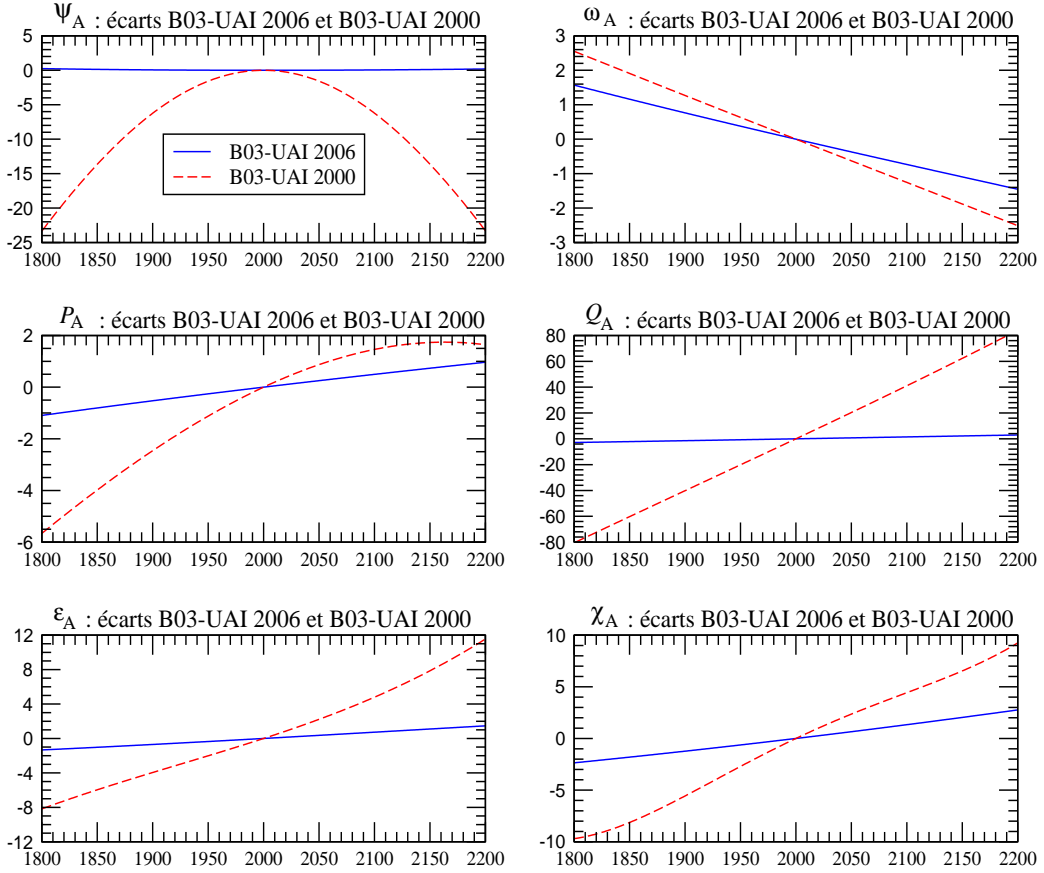


Fig. 4.3. Écarts entre les modèles B03 et UAI 2006 et entre les modèles B03 et UAI 2000, sur [1800, 2200], pour les variables ψ_A , ω_A , P_A , Q_A , ε_A et χ_A . L'unité est le mas (0.001").

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 UAI 2006. Ces polynômes peuvent aller jusqu'en t^3 pour UAI 2000, t^7 pour B03 et t^5 pour UAI 2006. 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 UAI 2006 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 UAI 2006 d'une part et B03 et 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 UAI 2006 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 .

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 :

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

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

Table 4.2.1. Coefficients des polynômes de la précession issus des formulaires UAI 2000, B03 (Bretagnon et al., 2003) et UAI 2006 (Hilton 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 UAI 2006	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 UAI 2006	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 UAI 2006	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 UAI 2006	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 - 0.5371	- 0.037 - 0.4797	- 0.001 0.0072		
UAI 2000 B03 UAI 2006	\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 UAI 2006	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 UAI 2006	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⁾ UAI 2006	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 UAI 2006	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	θ_A		20043.109	- 42.665	- 41.883				
B03			20041.90936	- 42.66980	- 41.82364	- 0.07291	- 0.01127	0.00036	0.00009
UAI 2006			20041.91903	- 42.94934	- 41.82264	- 0.07089	- 0.01274		
UAI 2000	ζ_A		23062.181	30.188	17.998				
B03		2.72767	23060.80472	30.23262	18.01752	- 0.05708	- 0.03040	- 0.00013	
UAI 2006		2.650545	23060.83227	29.88499	18.01828	- 0.05971	- 0.03173		
UAI 2000	z_A		23062.181	109.468	18.203				
B03		- 2.72767	23060.76070	109.56768	18.26676	- 0.28276	- 0.02486	- 0.00005	
UAI 2006		- 2.650545	23060.77181	109.27348	18.26837	- 0.28596	- 0.02904		

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 $C = (1 + e)A$ où e est l'*ellipticité dynamique* qui vaut environ $1/300$. (En astronomie, on note $H_d \equiv e/(1 + e)$, 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 e ; le moment de force est donc proportionnel à e . 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 $\mathbf{\Omega}$, $\mathbf{\Omega}_f$, $\mathbf{\Omega}_s$ du manteau, du noyau externe fluide et du noyau interne solide, sous la forme

$$\mathbf{\Omega} = \Omega_0(\mathbf{i}_3 + \mathbf{m}), \quad \mathbf{\Omega}_f = \mathbf{\Omega} + \Omega_0\mathbf{m}_f, \quad \mathbf{\Omega}_s = \mathbf{\Omega} + \Omega_0\mathbf{m}_s, \quad (4.3.4)$$

où $\Omega_0\mathbf{i}_3 \equiv \mathbf{\Omega}_0$ 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 $30 \mu\text{as}$ 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 e par Wahr et de l'estimation de e_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, $\tilde{m} = \tilde{m}(\sigma)e^{i\sigma\Omega_o t}$, $\tilde{m}_f = \tilde{m}_f(\sigma)e^{i\sigma\Omega_o t}$, $\tilde{c}_3 = c_3(\sigma)e^{i\sigma\Omega_o t}$, $\tilde{c}_3^f = c_3^f(\sigma)e^{i\sigma\Omega_o t}$ et l'équation s'écrit finalement

$$(\sigma - e)\tilde{m}(\sigma) + (1 + \sigma)(\tilde{c}_3(\sigma)/A) + (A_f/A)\tilde{m}_f(\sigma) = \tilde{\Gamma}(\sigma)/(iA\Omega_o^2). \quad (4.3.6)$$

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 e : $\tilde{\Gamma}(\sigma) = -ieA\tilde{\phi}(\sigma)$.

Pour la Terre rigide (pas de déformation, pas de noyau), la solution de (4.3.6) est immédiate :

$$\tilde{m}_R(\sigma) = \frac{e}{(e - \sigma)}\tilde{\phi}(\sigma). \quad (4.3.7)$$

L'équation de bilan du moment cinétique pour le noyau fluide a la forme :

$$(\sigma + (1 + e_f)\tilde{m}_f(\sigma) + \sigma[\tilde{m}(\sigma) - \tilde{c}_3^f(\sigma)]) - K^{CMB}\tilde{m}_f(\sigma) = 0. \quad (4.3.8)$$

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 *nutation 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 :

$$\frac{e_R - \sigma}{e + 1} \frac{e}{e_R} \left[1 + (1 + \sigma) \left(Q_0 + \sum_{\alpha=1}^4 \frac{Q_\alpha}{\sigma - s_\alpha} \right) \right] \quad (4.3.10)$$

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. Par la suite, Lambert & Mathews (2006) ont traité la totalité des termes non linéaires qui complètent les équations de Liouville linéarisées, et calculé leurs effets sur la précession et la nutation.

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 géopotential (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 géopotential ($C_{3,1}$ 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 $\tilde{p} \equiv x_p - iy_p = \mp i \tilde{p}(\sigma) e^{\pm \Theta_\omega(t)}$, 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 J_2 , 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.

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 :

$$\Omega = 72\,921\,151.467\,064 - 0.843\,994\,803 \Delta LOD,$$

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.

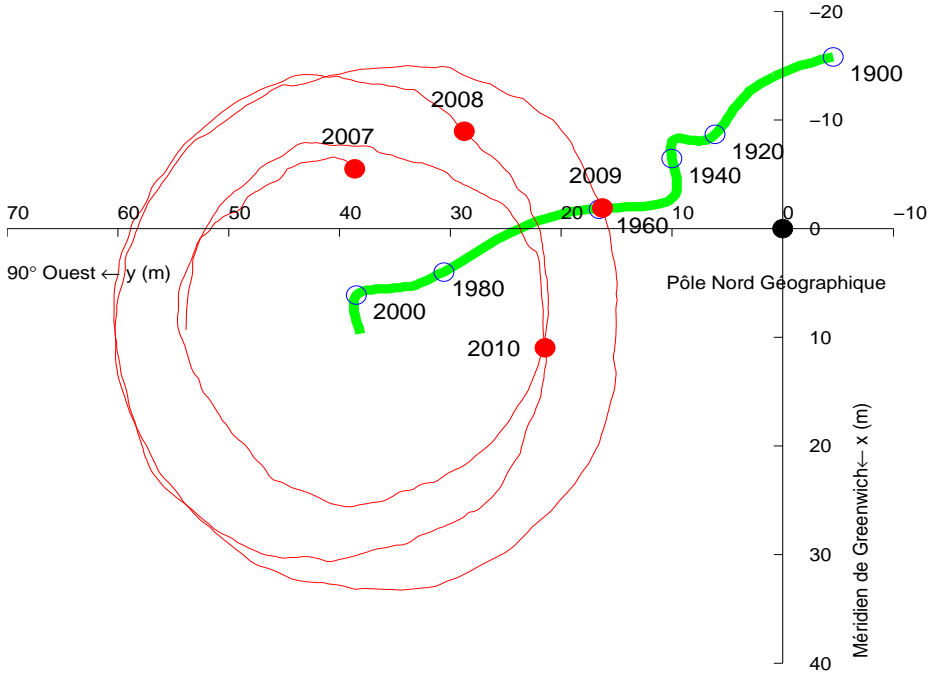


Fig. 4.4. Polhodie 2001-2004 et pôle moyen depuis 1900. L'unité est la seconde de degré.
L'axe des x est dirigé positivement vers le méridien de Greenwich, l'axe des y est dirigé positivement vers la direction 90° ouest.

4.4.2.3. 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 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).

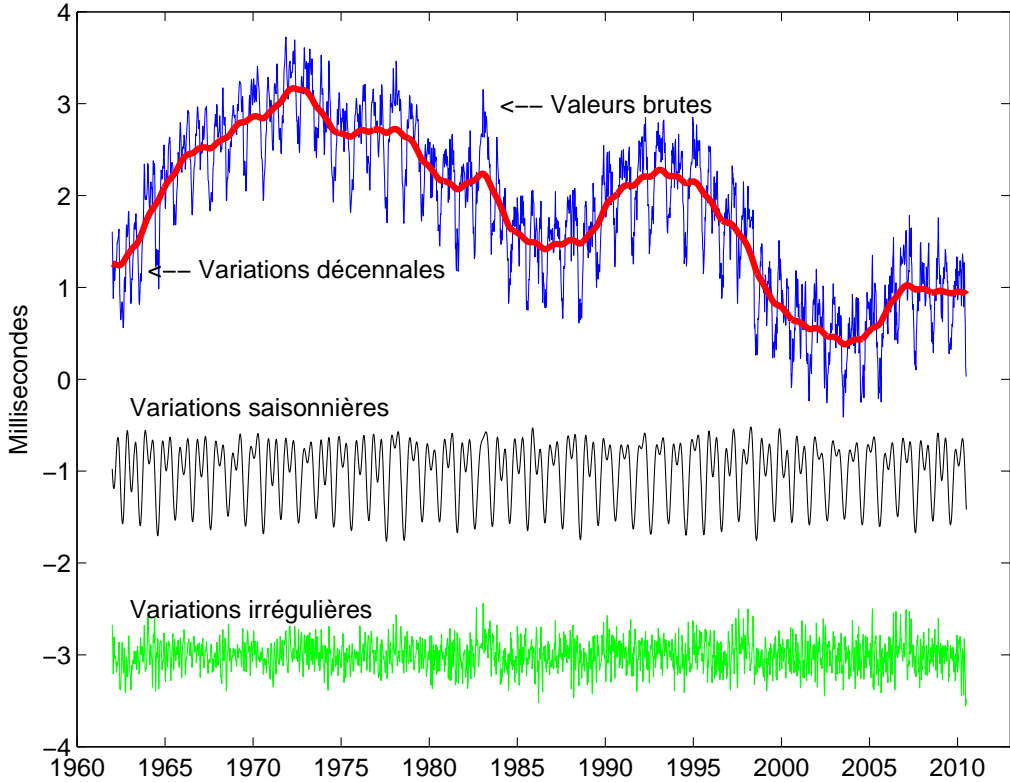


Fig. 4.5. Filtrage de ΔLOD , variations décennales, saisonnières et irrégulières.
L'unité est la milliseconde.

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 1^{er} 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

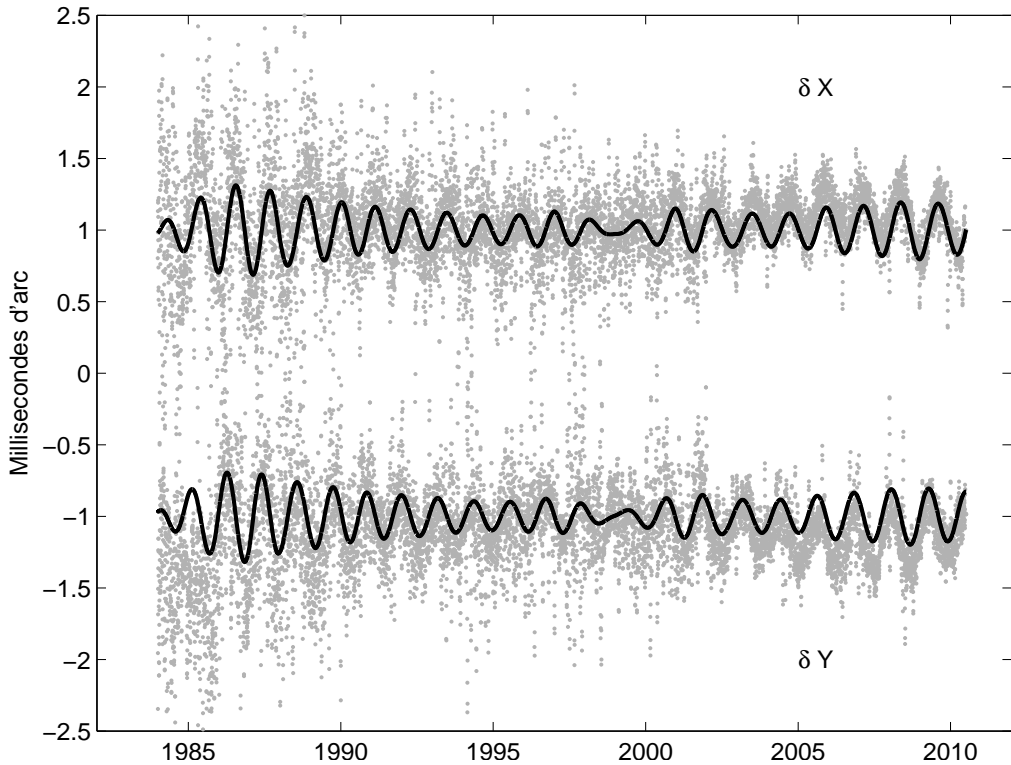


Fig. 4.6. Écart δX et δY du pôle céleste. La courbe en trait continu représente la FCN. L'unité est le mas.

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^{er} janvier 2006 à 0h UTC, soit à 1 heure temps légal en France. La prochaine se produira le 1^{er} janvier 2009 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 réfléchi 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 (Bougard 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.
- Hilton, J.L., Capitaine, N., Chapront, J., Ferrandiz, J.M., Fienga, A., Fukushima, T., Getino, J., Mathews, P., Simon, J.-L., Soffel, M., Vondrak, J., Wallace, P., Williams, J. : 2006, Report of the International Astronomic Union Division I Working Group on Precession and the Ecliptic, *Cel. Mech. Dyn. Astron.* **94**, 351.
- 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.
- Lambert, S., Mathews, P.M. : 2006, Second-order torque on the tidal redistribution and the Earth's rotation, *Astron. Astrophys.* **453**, 363.
- 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 :

$$\psi = (\text{Ox}, \text{Om}), \quad \phi = (\text{Om}, \text{OM}), \quad r = |\text{OM}|,$$

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.

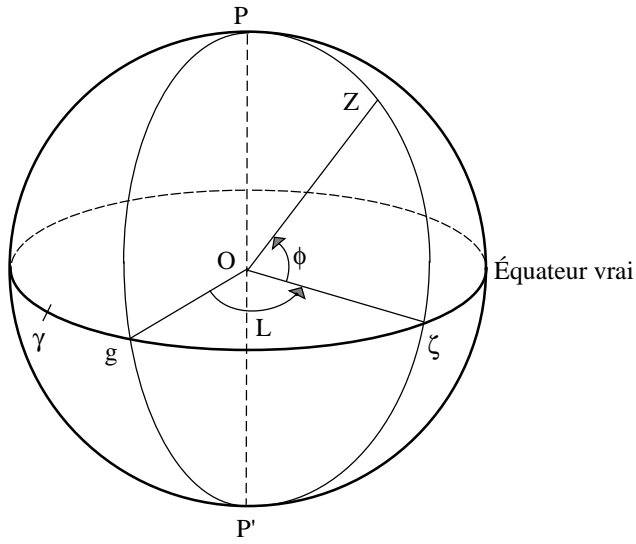


Fig. 5.1. Coordonnées astronomiques d'un lieu.

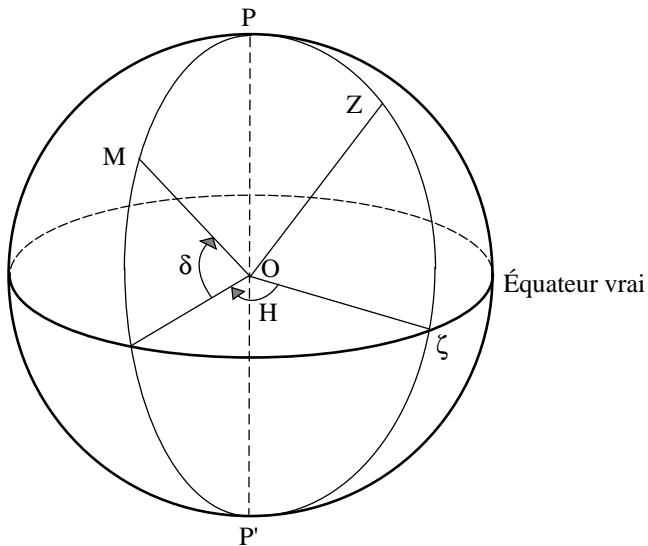


Fig. 5.2. Coordonnées horaires.

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).

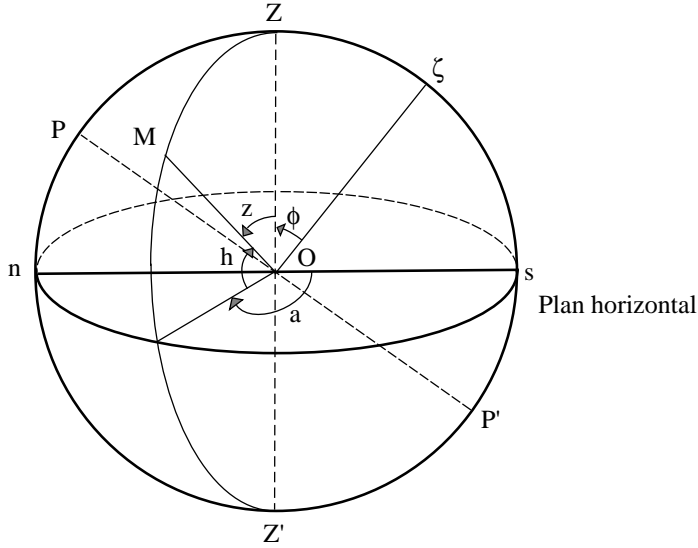


Fig. 5.3. Coordonnées horizontales.

- 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 et α_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 , α_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 ζ 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 :

$$\begin{aligned} \cos a \cos h &= \sin \phi \cos H \cos \delta - \cos \phi \sin \delta, \\ \sin a \cos h &= \sin H \cos \delta, \\ \sin h &= \cos \phi \cos H \cos \delta + \sin \phi \sin \delta, \end{aligned} \quad (5.28)$$

$$\begin{aligned} \cos H \cos \delta &= \sin \phi \cos a \cos h + \cos \phi \sin h, \\ \sin H \cos \delta &= \sin a \cos h, \\ \sin \delta &= -\cos \phi \cos a \cos h + \sin \phi \sin h. \end{aligned} \quad (5.29)$$

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 :

$$\begin{aligned} \gamma_F N_F &= \Omega_F, \\ \gamma_D N_D &= \Omega_D, \\ \varpi_F &= \gamma_F N_F + N_F P, \\ \varpi_D &= \gamma_D N_D + N_D P. \end{aligned}$$

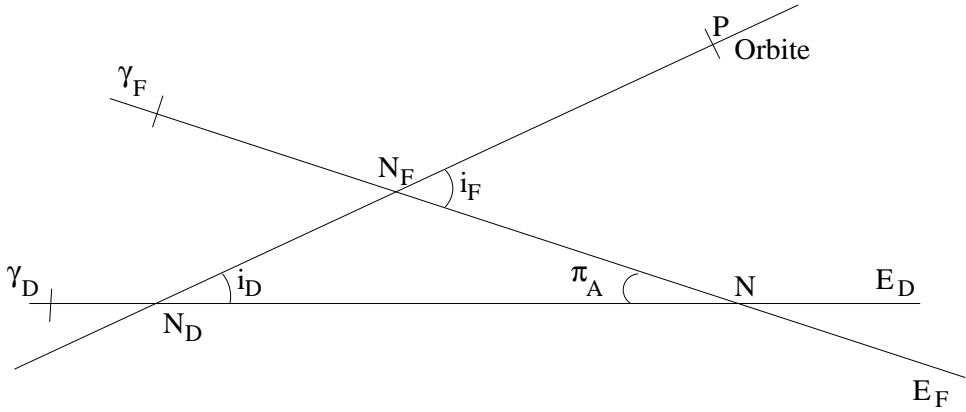


Fig. 5.4. Éléments d'une orbite.

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 $\gamma_1\gamma_2$.

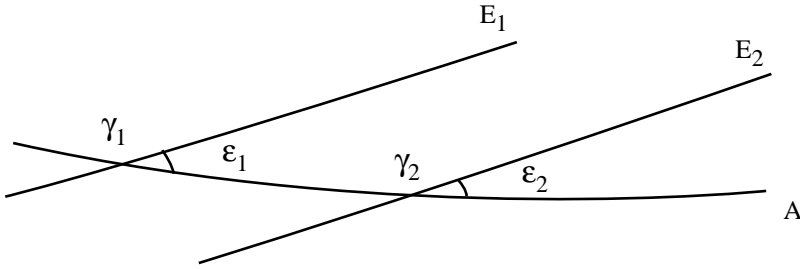


Fig. 5.5. Changement de repère.

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 RÉSOLUTIONS 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, azimut 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 :

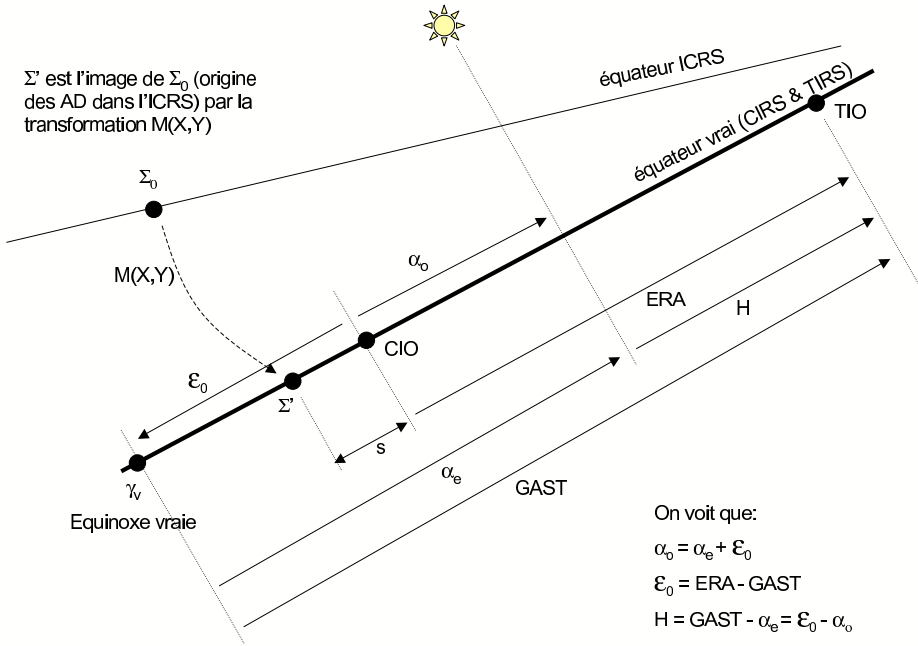


Fig. 5.6. Angles liés à l'origine non-tournante et angles classiques.

- 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 ϵ_0 , appelée *équation des origines*. Si

(α_o, δ_o) sont les coordonnées sphériques déduites du vecteur \mathbf{X}_{CIRS} , alors on a :

$$\alpha_o = \alpha_e + \mathcal{E}_0$$

Si on note ERA (Earth Rotation Angle), le décalage entre le CIO et le TIO (Terrestrial Intermediate Origin), origine du TIRS, alors

$$\mathcal{E}_0 = ERA - GST \quad (5.41)$$

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 \mathcal{E}_0 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 céleste 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., 2008) 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. 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. 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 petits 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 (notes 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.

Plante	Type des donnes	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. (2008).

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.

	Unit	DE405	EPM 04	DE414	INPOP06
Masse de Crs	$10^{-10} M_{\odot}$	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
Densit de la classe C		1.8	1.4	1.6 ± 0.22	1.93 ± 0.12
Densit de la classe S		2.4	3.5	2.07	2.13 ± 0.11
Densit 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. : 2008, INPOP06 : a new numerical planetary ephemeris. *A&A* **477**, 315.
- 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 d, 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

MODÈLES ORBITAUX DES SATELLITES NATURELS

V. LAINEY ET A. VIENNE

7.1. INTRODUCTION

Jusqu'au début des années quatre-vingt-dix, les modèles orbitaux des corps du système solaire étaient réalisés par des méthodes analytiques. La diversité des perturbations mises en jeu ainsi que la présence de nombreuses résonances nécessitaient de développer une théorie spécifique à chaque système de satellites. Aujourd'hui, l'avènement des méthodes numériques permet de développer de nombreux modèles à partir d'un ou de quelques outils numériques seulement. En particulier, le logiciel NOE (Numerical Orbit and Ephemerides) développé à l'IMCCE est désormais utilisé pour l'élaboration des éphémérides nouvelles et à venir. Toutefois, les méthodes analytiques restent encore utilisées lorsqu'une connaissance profonde de la dynamique du système est recherchée. Des méthodes hybrides tirant parti des points de vue analytique et numérique sont également utilisées.

La réalisation d'éphémérides se base sur l'ajustement d'un modèle dynamique du système étudié à des observations réalisées au sol ou depuis l'espace. Une éphéméride peut alors être construite par des méthodes d'interpolation ou d'approximation. Les paragraphes suivants décrivent chacune de ces étapes.

7.2. MODÈLE DYNAMIQUE

Le modèle dynamique comprend l'ensemble des perturbations physiques agissant sur le mouvement du(des) satellite(s) à l'étude. La force principale est l'attraction gravitationnelle de la planète.

Le corps central n'étant pas parfaitement sphérique, son potentiel gravitationnel est développé sous forme d'harmoniques sphériques :

$$U(r, \phi, \lambda) = \frac{GM}{r} \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{R_E}{r} \right)^n \sum_{p=1}^n P_n^{(p)}(\sin \phi) [c_{np} \cos p\lambda + s_{np} \sin p\lambda] \right\} \quad (7.1)$$

où r, ϕ, λ désignent respectivement la distance, la latitude et la longitude du satellite rapportées à un repère équatorial centré sur la planète. De même, M et R_E désignent la masse et le rayon équatorial de la planète. On distingue généralement la famille des satellites proches de celle des satellites dits éloignés, suivant que la première harmonique du développement ci-dessus a un effet respectivement plus fort ou plus faible que celui induit par l'attraction du Soleil. En particulier, les satellites proches ont généralement leur plan d'orbite proche du plan de l'équateur, à la différence des satellites éloignés.

Les perturbations de moindre importance comprennent l'attraction gravitationnelle d'autres satellites, du Soleil et celle d'autres planètes. Des effets supplémentaires sont également nécessaires pour décrire avec précision la dynamique de certains systèmes satellitaires, comme l'introduction de la non-sphéricité des satellites, les effets relativistes et les effets de marées entre les satellites et la planète.

La résolution du système différentiel composé des équations du mouvement des satellites peut être obtenue de différentes manières. Si la tendance actuelle tire pleinement profit des intégrateurs numériques, les modèles plus anciens utilisent une résolution analytique basée sur une méthode d'approximations successives (théorie des perturbations). Plus récemment, des méthodes dites synthétiques tirent bénéfice des deux méthodes précédentes en intégrant analytiquement les termes à convergence rapide, et numériquement les termes à convergence plus lente, voire problématique (*cf.* 7.4).

7.3. AJUSTEMENT AUX OBSERVATIONS

La résolution des équations différentielles, gouvernant l'évolution des mouvements orbitaux des satellites, nécessite l'utilisation d'un certain nombre de constantes et conditions initiales du système. Les constantes correspondent en général aux valeurs des masses et coefficients caractérisant l'aplatissement des corps présents, l'orientation des pôles nord de rotation dans l'espace, etc. Les conditions initiales, elles, sont les positions et vitesses (ou leur équivalent sous forme d'éléments képlériens) à une date origine. Au départ, ces différentes valeurs sont affectées d'une erreur causant des différences importantes entre les positions prédites par le modèle et celles que l'on peut observer dans la réalité. Il est donc indispensable d'ajuster les conditions initiales et parfois

Table 7.1. Référence et précision globale estimée des éphémérides de satellites.

Satellite	Références	Précision (")	globale (km)
Phobos	(Lainey et al. 2007)	0.01	3
Deimos		0.01	3
Io	(Lainey et al. 2004)	0.02	60
Europe		0.02	60
Ganymède		0.02	60
Callisto		0.02	60
Mimas	(Vienne & Duriez 1995)	0.02	130
Encelade	(Vienne & Duriez 1995)	0.02	130
Téthys	(Vienne & Duriez 1995)	0.015	100
Dione	(Vienne & Duriez 1995)	0.015	100
Rhéa	(Vienne & Duriez 1995)	0.015	100
Titan	(Vienne & Duriez 1995)	0.015	100
Hypérior	(Duriez & Vienne 1997)	0.03	200
Japet	(Vienne & Duriez 1995)	0.03	200
Ariel	(Lainey 2007)	0.10	120
Umbriel	(Arlot et al. 2006)	0.10	120
Titania		0.10	120
Obéron		0.10	120
Miranda		0.20	240

les valeurs des paramètres physiques, en se servant des observations astrométriques. Principalement, la méthode consiste à utiliser un développement linéaire au voisinage des valeurs de départ (ce qui suppose que celles-ci ne soient pas trop éloignées des valeurs réelles). Chaque observation à une date t fournissant une ou plusieurs coordonnées $\gamma(t)$ (par exemple l'ascension droite ou la déclinaison), on obtient alors une relation entre la différence de la coordonnée observée et celle calculée, et les variations à apporter aux valeurs de départ, comme l'indique l'équation ci-dessous :

$$\gamma(t)^{\text{observé}} - \gamma(t)^{\text{calculé}} \approx \sum_{l=1}^N \frac{\partial \gamma}{\partial c_l}(t) \Delta c_l, \tag{7.2}$$

où N désigne le nombre maximum de conditions initiales et de paramètres à ajuster (c_l). En règle général, le nombre d'observations dépassant largement le nombre de valeurs à ajuster, le système composé de l'ensemble des équations de la forme (7.2) est résolu par la méthode des moindres carrés. Quelques itérations par cette méthode sont nécessaires pour atteindre des valeurs optimales.

Notons que l'équation (7.2) suppose connues les valeurs des dérivées $\frac{\partial \gamma}{\partial c_l}(t)$ aux dates d'observations. Lorsque le modèle dynamique est intégré numériquement, un système différentiel, dit variationnel et dont les solutions sont précisément les termes $\frac{\partial \gamma}{\partial c_l}(t)$, est fréquemment intégré en

Table 7.2. Principaux termes dans la longitude moyenne de Io exprimés en sinus et dans la variable en excentricité-péricentre de Ganymède exprimé en exponentielle complexe (extrait de Lainey, Duriez, Vienne, 2006).

<i>Longitude moyenne de Io</i>				<i>Excentricité de Ganymède : $e_G \exp(\sqrt{-1}\varpi_G)$</i>			
Amplitude km	Période ans	Argument	Fréquence rad/an	Amplitude km	Période ans	Argument	Fréquence rad/an
81.3	1.27	$\nu + \varpi_2$	4.961862				
41.0	1.32	$\nu + \varpi_3$	4.760719	1529.9	135.2	ϖ_3	0.046487
37.9	5.64	Ψ	1.114249	825.5	536.5	ϖ_4	0.011711
23.3	1.33	$\nu + \varpi_4$	4.725944	634.4	1.3	ν	4.714232
17.6	1.10	$\nu + \varpi_1$	5.687351				
15.7	11.86	L_S	0.529648				

même temps que les équations du mouvement. Dans le cas où le modèle repose sur une intégration analytique, les solutions des équations du mouvement sont explicitement fonction des paramètres initiaux, de sorte que les dérivées partielles recherchées peuvent être obtenues par dérivation.

Ainsi, après cet ajustement aux observations, la théorie considérée est capable de fournir les éphémérides des corps correspondants. Leur précision, estimée à partir de la statistique des différences entre les positions observées et calculées, est donnée avec les références correspondantes dans la table 7.1.

Les éphémérides réalisées à partir du modèle numérique NOE sont notées *NOE – pla – an* où *pla* désigne le numéro de la planète considérée et *an* l'année de l'élaboration de l'éphéméride.

7.4. REPRÉSENTATION DES SOLUTIONS

L'intégration d'un modèle dynamique, après ajustement aux observations, peut donner directement les positions de chacun des corps, ou de façon équivalente, les valeurs des éléments d'orbites. Il s'agit souvent d'un simple relevé de positions pour des dates discrètes, ce qui n'est pas facilement exploitable. Par ailleurs, les dynamiciens souhaitent souvent effectuer des comparaisons entre les différents systèmes de satellites, comprendre les perturbations mises en jeu dans le système ou encore utiliser le modèle dans une autre étude théorique.

On est donc amené à représenter l'évolution temporelle de ces positions sous une forme analytique. C'est le cas des représentations du mouvement des quatre satellites galiléens de Jupiter et des huit principaux satellites de Saturne, qui ont la forme d'une théorie dite synthétique. C'est-à-dire qu'elles sont exprimées à l'aide de séries quasi-périodiques dont les arguments sont des

combinaisons linéaires entières d'arguments fondamentaux. Cette forme permet l'identification de toutes les perturbations significatives du système.

Une théorie synthétique se construit en trois étapes. Il faut d'abord définir un modèle physique et se donner un jeu de conditions initiales du système. La deuxième étape consiste à obtenir une solution (discrète) par intégration numérique des équations du mouvement. Enfin, la dernière phase est celle de l'analyse en fréquence qui permet d'écrire la solution sous une forme quasi-similaire aux théories analytiques.

Dans le cas du système de Saturne, la séparation entre le système différentiel à courte et à longue période a été faite analytiquement. La partie à courte période ne posant aucun problème, la partie à longue période de la solution est issue d'une intégration numérique. La forme quasi-périodique a ensuite été restituée grâce à une analyse en fréquence. Dans le système des satellites galiléens, la représentation possède une forme identique. Elle est entièrement synthétique puisqu'issue uniquement d'une intégration numérique des équations du mouvement. C'est encore une analyse harmonique qui a permis de retrouver la forme quasi-périodique et notamment de reconnaître les inégalités à courtes périodes, à longues périodes et le mode propre issu de la résonance laplacienne.

À titre d'exemple, nous donnons les principaux termes dans la longitude moyenne de Io et la variable en excentricité-péricentre de Ganymède (λ_I et $e_G \exp(\sqrt{-1}\varpi_G)$, table 7.2). Ces séries trigonométriques donnent pour chaque terme la combinaison entière correspondante des arguments fondamentaux du système. Nous notons par L_i la partie linéaire des longitudes moyennes des satellites et du Soleil, ϖ_i et Ω_i les modes propres des péricentres et des nœuds, ν la grande inégalité $L_1 - 2L_2$ ($= L_2 - 2L_3 + 180^\circ$) et Ψ l'argument de la libration de la résonance laplacienne (Lainey, Duriez, Vienne, 2006).

Enfin l'utilisateur des éphémérides n'est pas obligatoirement un mécanicien céleste. Il préfère alors une forme compacte des positions données. La solution retenue dans ce volume de la *Connaissance des Temps*, est d'utiliser une représentation à l'aide des polynômes de Tchebychev. Ce type de représentation est décrit en 8.4.2. Il a l'avantage d'être à la fois compact et d'utilisation facile.

7.6. BIBLIOGRAPHIE

- Arlot, J.E., Lainey, V., Thuillot, W. : 2006, Predictions of the mutual events of the uranian satellites occuring in 2006-2009, *Astron. Astrophys.*, **456**, 1173.
- Duriez L., Vienne A. : 1997, Theory of motion and ephemerides of Hyperion, *Astron. Astrophys.*, **324**, 366.
- Lainey, V. : 2008, A new dynamical model for the Uranian satellites, *P&SS* **56**, 1766.
- Lainey, V., Dehant, V., Pätzold, M. : 2007, First numerical ephemerides of the Martian moons, *Astron. Astrophys.*, **465**, 1075.
- Lainey, V., Duriez, V., Vienne, A. : 2004, New accurate ephemerides for the Galilean satellites of Jupiter. I. Numerical integration of elaborated equations of motion, *Astron. Astrophys.*, **420**, 1171.
- Lainey, V., Duriez, L., Vienne, A. : 2006, Synthetic representation of the Galilean satellites' orbital motions from L1 ephemerides , *Astron. Astrophys.*, **456**, 783.
- Laskar, J., Jacobson, R.A. : 1987, GUST86 - an analytical ephemeris of the Uranian satellites, *Astron. Astrophys.*, **188**, 212.
- Laskar, J. : 1986, A general theory for the Uranian satellites, *Astron. Astrophys.*, **166**, 349.
- Vienne, A., Duriez, L. : 1995, TASS1.6 : Ephemerides of the major Saturnian satellites, *Astron. Astrophys.*, **297**, 588.

CHAPITRE 8

EXPLICATIONS LIÉES AUX ÉPHÉMÉRIDES DE LA CONNAISSANCE DES TEMPS

J.-L. SIMON, J. NORMAND, M. BIRLAN ET D. HESTROFFER

8.1. PRÉSENTATION DES ÉPHÉMÉRIDES

8.1.1. 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 présenté sur le CD-ROM 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.

8.1.2. 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* ou 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. On pourra aussi tenir compte de la déviation relativiste des rayons lumineux.

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).

8.1.3. 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 coordonné 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'identifiera 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 $t - t_u = 66$ 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 des 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 CD-ROM est une fonction de TT.

Les éphémérides électroniques peuvent être calculées dans l'échelle de temps TT ou dans l'échelle UTC (sauf les coordonnées horizontales et les levers/couchers dont le calcul se fait seulement en UTC). La table 8.1 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.

Table 8.1. 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 – 2009	Jan. 1	65.184 s
2009	Jan. 1 –		66.184 s

8.1.4. 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 \mathcal{E}_0 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 Cérés, 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 tangentielles X et Y des satellites naturels, *aux heures* (TT) *les plus proches des plus grandes élongations est* pour les satellites de Mars (p. II. 98 – II. 107) et *aux heures* (TT) *les plus proches des plus grandes élongations 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 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.

8.1.5. Contenu du CD-ROM

Le CD-ROM 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. La série de polynômes de Tchebychev sur le CD-ROM remonte le temps jusqu'en 1963. Cette représentation est décrite en 8.4.2.

Enfin, on trouve sur le CD-ROM, les prédictions des *phénomènes* des satellites galiléens.

8.2. SOURCES DES ÉPHÉMÉRIDES

8.2.1. Soleil, Lune, Planètes et Pluton

À partir de l'édition 2007, les éphémérides du Soleil, de la Lune, des planètes et de la planète naine Pluton (résolution B6 de l'UAI, 2006), publiées dans la *Connaissance des Temps*, sont issues de la solution INPOP06 (Fienga et al., 2008) élaborée à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides. Cette solution est présentée dans le chapitre 6.

8.2.2. Cérès et petits corps

Les éphémérides de la planète naine Cérès et des petits corps Pallas, Junon et Vesta sont issues d'une intégration numérique effectuée à l'IMCCE (Rocher, 1984).

8.2.3. Satellites

Les théories utilisées pour la construction des éphémérides sont les suivantes :

- satellites de Mars : le modèle numérique NOE-4-06 (Lainey et al, 2007) ;
- satellites galiléens : la théorie L1 (Lainey et al, 2004) ;
- 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 Hypériorion ;
- cinq premiers satellites d'Uranus : la théorie LA07 (Lainey, 2007, Arlot et al, 2007).

8.3. 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 .

8.3.1. 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 :

$$\begin{array}{ccccccc} t_0 & f_0 & & & & & \\ & & \Delta_0^{(1)} & & & & \\ t_1 & f_1 & & \Delta_0^{(2)} & & & \\ & & \Delta_1^{(1)} & & \Delta_0^{(3)} & & \\ t_2 & f_2 & & \Delta_1^{(2)} & & & \\ & & \Delta_2^{(1)} & & & & \\ t_3 & f_3 & & & & & \\ \dots & \dots & & & & & \end{array} \tag{8.3.1}$$

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 :

$$f(t) = f_1 + m\Delta_1^{(1)} - \frac{m(1-m)}{4}(\Delta_0^{(2)} + \Delta_1^{(2)}) + \frac{m(1-m)(1-2m)}{12}\Delta_0^{(3)}. \tag{8.3.2}$$

8.3.2. Exemple

Calculer les coordonnées équatoriales apparentes de la Lune pour le 20 janvier 2012 à 8h 28m 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 :

20/01	α	$\Delta^1(\text{s})$	$\Delta^2(\text{s})$	$\Delta^3(\text{s})$	δ	$\Delta^1(\text{"})$	$\Delta^2(\text{"})$	$\Delta^3(\text{"})$
0h	17h 02m 31.681s				$-22^\circ 29' 09.30''$			
		916.21				46.93		
6h	17h 17m 47.891s		-2.32		$-22^\circ 28' 22.37''$		321.64	
		913.89		-1.40		368.57		-3.99
12h	17h 33m 01.781s		-3.72		$-22^\circ 22' 13.80''$		317.65	
		910.17				686.22		
18h	17h 48m 11.948s				$-22^\circ 10' 47.58''$			

On a $t_1 = 6\text{h}$ le pas de tabulation h est de 6 heures, soit 360 minutes ; la valeur de m est donc $m = 148/360 = 0.411\ 111\ 11$. L'application de la formule (8.3.2) au calcul de $\alpha(t)$ et $\delta(t)$, pour la date t indiquée, donne :

$$\alpha(t) = 17\text{h } 17\text{m } 47.89\text{s} + 375.71\text{s} + 0.37\text{s} - 0.005\text{s} = 17\text{h } 24\text{m } 3.96\text{s}$$

$$\delta(t) = -22^\circ 28' 22.37'' + 151.52'' - 38.69'' - 0.014'' = -22^\circ 26' 29.55''$$

Les valeurs données par les éphémérides électroniques sont :

$$\alpha(t) = 17\text{h } 24\text{m } 3.96\text{s}$$

$$\delta(t) = -22^\circ 26' 29.60''$$

8.3.3. 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).

8.4. UTILISATION DES ÉPHÉMÉRIDES ÉLECTRONIQUES

8.4.1. Le logiciel de calcul eCdT

On trouvera sur le CD-ROM une documentation complète sur le logiciel de calcul et son utilisation. Nous en donnons ici un bref résumé.

8.4.1.1. Description de l'interface graphique

- *Coordonnées locales*

Cette partie de la fenêtre principale (cf. fig. 8.1) 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.

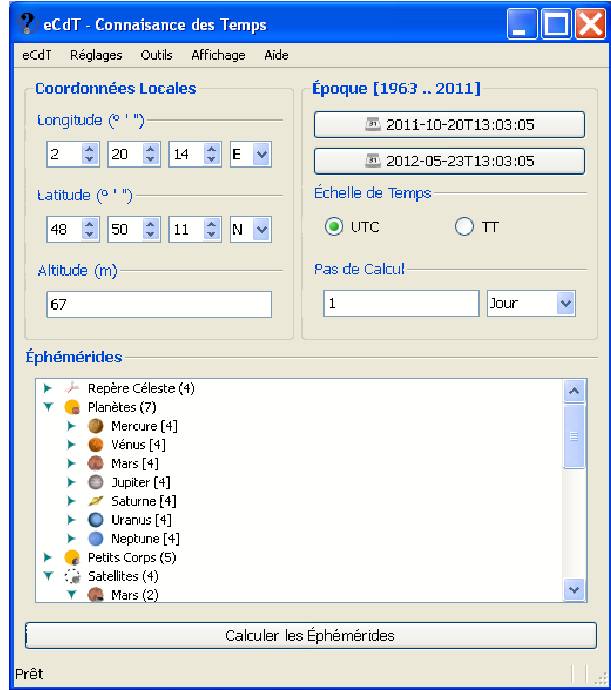


Fig. 8.1. Fenêtre principale.

- *Période de calcul*

Cette partie de la fenêtre principale (cf. fig. 8.1) 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.

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. 8.2).

- *Liste des éphémérides disponibles*

La partie du bas de la fenêtre principale (cf. fig. 8.1) 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, ou encore l'ensemble des éphémérides pour un objet en le sélectionnant.

• Lancement des calculs

Le bouton *Ephémérides* (cf. fig. 8.1) permet d'obtenir les éphémérides choisies précédemment.

8.4.1.2. Utilisation simple du logiciel

On utilise le logiciel de calcul d'éphémérides en effectuant les étapes suivantes :

- saisie ou sélection des coordonnées du lieu d'observation si nécessaire ;
- saisie des paramètres «Epoque de calcul» ;
- choix des éphémérides à calculer ;
- lancement des calculs.

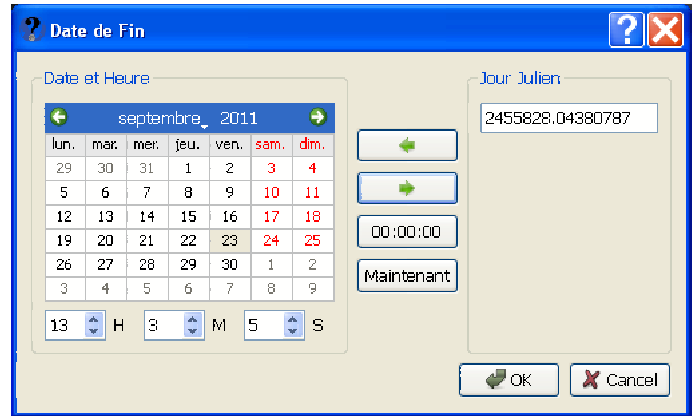


Fig. 8.2. Fenêtre pour choisir la date.

8.4.1.3. Autres possibilités

Outre le simple calcul d'éphémérides, le logiciel propose :

- une visualisation des coefficients utilisés pour représenter les coordonnées (cf. 8.4.2) ;
- 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) ;
- l'impression et la sauvegarde des résultats.

8.4.1.4. Disponibilité du logiciel

Actuellement le logiciel est disponible pour les systèmes d'opérations Microsoft Windows XP et Vista. Pour toute information complémentaire, ou mise à jour de fichiers et logiciel, consulter le site web de l'IMCCE à l'adresse <http://www.imcce.fr/fr/publications/logiciels/ecdt/>

8.4.2. 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 CD-ROM sont représentées sous formes de polynômes de Tchebychev. La représentation sous forme de polynômes de Tchebychev est utilisée pour les coordonnées du

Soleil, de la Lune, des planètes, des planètes naines, des petits corps ainsi que pour le Temps sidéral, l'équation des équinoxes, les nutations, l'angle de rotation de la Terre, l'équation des origines, les coordonnées du CIP et l'angle s . Il est possible de visualiser et d'utiliser soi-même les coefficients et il est donc utile de rappeler les caractéristiques de cette représentation.

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 :

$$y = a_0 + a_1 T_1(x) + \dots + a_n T_n(x), \quad (8.4.1)$$

où :

- x est un paramètre compris entre -1 et $+1$ qui se déduit de t par la relation :

$$x = -1 + 2(t - t_0)/DT; \quad (8.4.2)$$

- 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 :

$$T_p(x) = \cos(p \arccos x); \quad (8.4.3)$$

– soit par la relation de récurrence :

$$T_{p+1}(x) = 2xT_p(x) - T_{p-1}(x) \quad (8.4.4)$$

avec : $T_0(x) = 1; \quad T_1(x) = x.$

La précision des approximations en polynômes de Tchebychev données sur le CD-ROM 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 les tables 8.2 et 8.3, les caractéristiques des approximations en polynômes de Tchebychev avec les précisions de représentation.

8.5. 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 8.2, 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 8.4 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 8.2. Caractéristiques des représentations en polynômes de Tchebychev données sur le CD-ROM.

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} ''
	<i>s</i>	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

Table 8.2. (fin).

Astre	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	Précision de la représentation
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
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
Astéroïdes	Ascension droite	10	31	4×10^{-4} s
	Déclinaison	10	31	3×10^{-3} "
	Distance à la Terre	10	31	5×10^{-8} ua

Table 8.3. Caractéristiques des représentations en polynômes de Tchebychev pour les satellites, données sur le CD-ROM.

Satellite	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	Précision de la représentation
Phobos	Tangentielles (X, Y)	472	16	4.85×10^{-8} rad
Déimos	"	162	16	4.85×10^{-8} "
Io	Tangentielles (X, Y)	88	16	9.70×10^{-8} rad
Europe	"	24	4	9.70×10^{-8} "
Ganymède	"	16	4	9.70×10^{-8} "
Callisto	"	11	4	9.70×10^{-8} "
Mimas	Tangentielles (X, Y)	164	16	9.70×10^{-8} rad
Encelade	"	878	184	9.70×10^{-8} "
Théthys	"	224	64	7.27×10^{-8} "
Dioné	"	45	16	7.27×10^{-8} "
Rhéa	"	113	64	7.27×10^{-8} "
Titan	"	79	96	7.27×10^{-8} "
Hypérion	"	19	16	1.35×10^{-7} "
Japet	"	103	64	1.35×10^{-7} "
Miranda	Tangentielles (X, Y)	162	16	4.85×10^{-7} rad
Ariel	"	50	8	4.85×10^{-7} "
Umbriel	"	110	64	4.85×10^{-7} "
Titania	"	160	90	4.85×10^{-7} "
Obéron	"	40	16	9.70×10^{-7} "

Table 8.4. 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 astéroïdes	2''
Satellites de Mars	0''.01
Satellites galiléens de Jupiter	0''.02
Satellites de Saturne	de 0''.015 à 0''.03
Satellites d'Uranus	de 0''.1 à 0''.2

8.6. BIBLIOGRAPHIE

- Arlot, J.-E. : 1982, New constants for Sampson-Lieske theory of the Galilean satellites of Jupiter, *Astron. Astrophys.* **107**, 305.
- Arlot, J.-E., Lainey, V., Thuillot, W. : 2006, Predictions of the mutual events of the Uranian satellites occurring in 2006-2009 *Astron. Astrophys.* **456**, 1173.
- Bureau des longitudes : 1978, *Connaissance des Temps* pour l'an 1979, Gauthier-Villars d., 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. ds, EDP Sciences, Les Ulis.
- Duriez, L. , Vienne, A., : 1997, Theory of motion and ephemerides of Hyperion, *Astron. Astrophys.* **324**, 366.
- Fienga, A., Manche, H., Laskar, J., Gastineau, M. : 2008, INPOP06 : a new numerical planetary ephemeris. *Astron. Astrophys.* **477**, 315.
- Lainey, V., Arlot, J.-E., Vienne, A. : 2004, New accurate ephemerides for the Galilean satellites of Jupiter. II. Fitting the observations *Astron. Astrophys.* **427**, 371.
- Lainey, V., Dehant, V., Pätzold, M. : 2007, First numerical ephemerides of the Martian moons *Astron. Astrophys.* **465**, 1075.
- Lainey, V. : 2008, A new dynamical model for the Uranian satellites, *P&SS* **56**, 1766.
- 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-98-048**.
- Vienne, A., Duriez, L. : 1995, TASS1.6 : Ephemerides of the major Saturnian satellites, *Astron. Astrophys.* **297**, 588.

ÉPHÉMÉRIDES POUR L'ANNÉE 2012

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION

Temps sidéral GST	II. 4
Nutation en longitude $\Delta\psi$, nutation en obliquité $\Delta\epsilon$	II. 4

TEMPS SIDÉRAL 2012 à 0h TU, NUTATION 2012 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	36	18.93418	17.02468	-3.07874	Févr.	15	9	37	40.51387	17.56002	-2.84226
	1	6	40	15.48614	16.96894	-3.08860		16	9	41	37.07393	17.63684	-2.85976
	2	6	44	12.03899	16.92768	-3.11136		17	9	45	33.63497	17.72957	-2.85617
	3	6	48	8.59341	16.91228	-3.14301		18	9	49	30.19543	17.81281	-2.83110
	4	6	52	5.14988	16.93017	-3.17840		19	9	53	26.75396	17.86442	-2.78907
	5	6	56	1.70856	16.98423	-3.21172		20	9	57	23.30967	17.87016	-2.73796
	6	6	59	58.26930	17.07217	-3.23700		21	10	1	19.86234	17.82603	-2.68695
	7	7	3	54.83164	17.18603	-3.24894		22	10	5	16.41232	17.73792	-2.64436
	8	7	7	51.39473	17.31231	-3.24382		23	10	9	12.96042	17.61912	-2.61604
	9	7	11	47.95750	17.43340	-3.22063		24	10	13	9.50768	17.48662	-2.60460
	10	7	15	44.51881	17.53044	-3.18191		25	10	17	6.05515	17.35748	-2.60947
	11	7	19	41.07768	17.58772	-3.13395		26	10	21	2.60371	17.24611	-2.62752
	12	7	23	37.63362	17.59725	-3.08583		27	10	24	59.15397	17.16263	-2.65396
	13	7	27	34.18684	17.56213	-3.04752		28	10	28	55.70626	17.11231	-2.68318
14	7	31	30.73822	17.49694	-3.02729	29	10	32	52.26061	17.09557	-2.70946		
15	7	35	27.28918	17.42491	-3.02935	Mars	1	10	36	48.81675	17.10823	-2.72752	
16	7	39	23.84133	17.37221	-3.05246		2	10	40	45.37417	17.14176	-2.73304	
17	7	43	20.39603	17.36116	-3.08994		3	10	44	41.93210	17.18363	-2.72326	
18	7	47	16.95402	17.40406	-3.13119		4	10	48	38.48958	17.21812	-2.69768	
19	7	51	13.51522	17.49943	-3.16436		5	10	52	35.04555	17.22810	-2.65889	
20	7	55	10.07870	17.63192	-3.17948		6	10	56	31.59911	17.19846	-2.61310	
21	7	59	6.64289	17.77627	-3.17120		7	11	0	28.14974	17.12101	-2.56984	
22	8	3	3.20610	17.90441	-3.14022		8	11	4	24.69767	16.99957	-2.54012	
23	8	6	59.76690	17.99326	-3.09268		9	11	8	21.24402	16.85217	-2.53316	
24	8	10	56.32453	18.03036	-3.03807		10	11	12	17.79056	16.70768	-2.55256	
25	8	14	52.87900	18.01558	-2.98627	11	11	16	14.33912	16.59639	-2.59419		
26	8	18	49.43091	17.95906	-2.94522	12	11	20	10.89097	16.53891	-2.64730		
27	8	22	45.98125	17.87694	-2.91951	13	11	24	7.44636	16.53909	-2.69829		
28	8	26	42.53112	17.78709	-2.91031	14	11	28	4.00448	16.58408	-2.73533		
29	8	30	39.08152	17.70577	-2.91590	15	11	32	0.56389	16.65025	-2.75158		
30	8	34	35.63322	17.64586	-2.93252	16	11	35	57.12299	16.71117	-2.74611		
31	8	38	32.18676	17.61596	-2.95516	17	11	39	53.68038	16.74434	-2.72307		
Févr.	1	8	42	28.74239	17.62016	-2.97818	18	11	43	50.23519	16.73528	-2.68985	
	2	8	46	25.30006	17.65784	-2.99584	19	11	47	46.78712	16.67904	-2.65508	
	3	8	50	21.85945	17.72346	-3.00279	20	11	51	43.33641	16.57967	-2.62684	
	4	8	54	18.41989	17.80643	-2.99479	21	11	55	39.88373	16.44823	-2.61127	
	5	8	58	14.98046	17.89151	-2.96958	22	11	59	36.43004	16.30007	-2.61180	
	6	9	2	11.54004	17.96039	-2.92792	23	12	3	32.97634	16.15176	-2.62889	
	7	9	6	8.09753	17.99502	-2.87439	24	12	7	29.52355	16.01840	-2.66029	
	8	9	10	4.65213	17.98258	-2.81727	25	12	11	26.07238	15.91145	-2.70175	
9	9	14	1.20371	17.92065	-2.76722	26	12	15	22.62323	15.83761	-2.74779		
10	9	17	57.75293	17.82023	-2.73435	27	12	19	19.17620	15.79839	-2.79262		
11	9	21	54.30120	17.70415	-2.72500	28	12	23	15.73108	15.79044	-2.83083		
12	9	25	50.85025	17.60077	-2.73932	29	12	27	12.28741	15.80612	-2.85800		
13	9	29	47.40160	17.53516	-2.77103	30	12	31	8.84450	15.83425	-2.87121		
14	9	33	43.95615	17.52161	-2.80935	31	12	35	5.40151	15.86106	-2.86949		

TEMPS SIDÉRAL 2012 à 0h TU, NUTATION 2012 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	1	12	39	1.95751	15.87148	-2.85432	Mai	17	15	40	23.43065	14.66503	-3.87534
	2	12	42	58.51164	15.85120	-2.83010		18	15	44	19.98231	14.60447	-3.92695
	3	12	46	55.06326	15.78993	-2.80427		19	15	48	16.53587	14.57479	-3.98485
	4	12	50	51.61224	15.68565	-2.78663		20	15	52	13.09156	14.58015	-4.04349
	5	12	54	48.15923	15.54860	-2.78729		21	15	56	9.64935	14.61960	-4.09718
	6	12	58	44.70564	15.40223	-2.81332		22	16	0	6.20885	14.68718	-4.14089
	7	13	2	41.25342	15.27809	-2.86509		23	16	4	2.76945	14.77263	-4.17096
	8	13	6	37.80431	15.20481	-2.93470		24	16	7	59.33032	14.86272	-4.18567
	9	13	10	34.35914	15.19601	-3.00820		25	16	11	55.89060	14.94300	-4.18569
	10	13	14	30.91748	15.24452	-3.07083		26	16	15	52.44946	15.00001	-4.17419
	11	13	18	27.47785	15.32631	-3.11240		27	16	19	49.00626	15.02346	-4.15666
	12	13	22	24.03838	15.41071	-3.12993		28	16	23	45.56072	15.00870	-4.14043
	13	13	26	20.59741	15.47066	-3.12708		29	16	27	42.11303	14.95872	-4.13365
	14	13	30	17.15389	15.48884	-3.11162		30	16	31	38.66393	14.88570	-4.14386
	15	13	34	13.70744	15.45914	-3.09268		31	16	35	35.21472	14.81076	-4.17588
16	13	38	10.25829	15.38522	-3.07865	Juin	1	16	39	31.76703	14.76079	-4.22957	
17	13	42	6.80708	15.27772	-3.07589		2	16	43	28.32243	14.76136	-4.29838	
18	13	46	3.35472	15.15138	-3.08813		3	16	47	24.88182	14.82702	-4.36990	
19	13	49	59.90219	15.02232	-3.11633		4	16	51	21.44492	14.95338	-4.42951	
20	13	53	56.45042	14.90565	-3.15893		5	16	55	18.01026	15.11636	-4.46572	
21	13	57	53.00016	14.81361	-3.21227		6	16	59	14.57568	15.28077	-4.47462	
22	14	1	49.55190	14.75416	-3.27124		7	17	3	11.13918	15.41365	-4.46069	
23	14	5	46.10580	14.73017	-3.33009		8	17	7	7.69951	15.49480	-4.43401	
24	14	9	42.66173	14.73931	-3.38322		9	17	11	4.25641	15.51998	-4.40597	
25	14	13	39.21925	14.77457	-3.42594		10	17	15	0.81043	15.49790	-4.38597	
26	14	17	35.77772	14.82520	-3.45503	11	17	18	57.36254	15.44468	-4.37980		
27	14	21	32.33632	14.87798	-3.46924	12	17	22	53.91387	15.37865	-4.38955		
28	14	25	28.89418	14.91873	-3.46964	13	17	26	50.46546	15.31694	-4.41429		
29	14	29	25.45049	14.93417	-3.45976	14	17	30	47.01818	15.27352	-4.45087		
30	14	33	22.00463	14.91419	-3.44564	15	17	34	43.57261	15.25829	-4.49472		
Mai	1	14	37	18.55636	14.85469	-3.43544	16	17	38	40.12910	15.27651	-4.54039	
	2	14	41	15.10598	14.76073	-3.43829	17	17	42	36.68765	15.32861	-4.58224	
	3	14	45	11.65449	14.64864	-3.46219	18	17	46	33.24801	15.41008	-4.61504	
	4	14	49	8.20352	14.54494	-3.51096	19	17	50	29.80960	15.51180	-4.63463	
	5	14	53	4.75492	14.48012	-3.58147	20	17	54	26.37164	15.62096	-4.63864	
	6	14	57	1.31013	14.47743	-3.66298	21	17	58	22.93323	15.72271	-4.62706	
	7	15	0	57.86944	14.54188	-3.74020	22	18	2	19.49348	15.80248	-4.60256	
	8	15	4	54.43183	14.65661	-3.79908	23	18	6	16.05167	15.84870	-4.57036	
	9	15	8	50.99534	14.78975	-3.83216	24	18	10	12.60745	15.85545	-4.53763	
	10	15	12	47.55790	14.90733	-3.84042	25	18	14	9.16093	15.82453	-4.51236	
11	15	16	44.11799	14.98451	-3.83130	26	18	18	5.71274	15.76637	-4.50186		
12	15	20	40.67493	15.01036	-3.81507	27	18	22	2.26401	15.69942	-4.51105		
13	15	24	37.22886	14.98679	-3.80146	28	18	25	58.81620	15.64736	-4.54080		
14	15	28	33.78042	14.92462	-3.79785	29	18	29	55.37075	15.63407	-4.58680		
15	15	32	30.33057	14.83931	-3.80851	30	18	33	51.92874	15.67679	-4.63965		
16	15	36	26.88033	14.74758	-3.83476	Juill.	1	18	37	48.49037	15.77916	-4.68672	

TEMPS SIDÉRAL 2012 à 0h TU, NUTATION 2012 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.	2	18	41	45.05482	15.92755	-4.71586	Août	17	21	43	6.63596	16.48699	-4.22863
	3	18	45	41.62035	16.09371	-4.71963		18	21	47	3.18732	16.42145	-4.18070
	4	18	49	38.18490	16.24386	-4.69812		19	21	50	59.73639	16.31854	-4.14513
	5	18	53	34.74677	16.35029	-4.65860		20	21	54	56.28415	16.19415	-4.12881
	6	18	57	31.30515	16.39953	-4.61234		21	21	58	52.83202	16.07153	-4.13451
	7	19	1	27.86017	16.39381	-4.57055		22	22	2	49.38150	15.97536	-4.15953
	8	19	5	24.41267	16.34695	-4.54134		23	22	6	45.93378	15.92469	-4.19608
	9	19	9	20.96383	16.27818	-4.52860		24	22	10	42.48930	15.92718	-4.23324
	10	19	13	17.51483	16.20677	-4.53234		25	22	14	39.04770	15.97673	-4.25992
	11	19	17	14.06665	16.14881	-4.54969		26	22	18	35.60786	16.05507	-4.26786
	12	19	21	10.62000	16.11581	-4.57608		27	22	22	32.16822	16.13666	-4.25367
	13	19	25	7.17528	16.11427	-4.60604		28	22	26	28.72718	16.19543	-4.21962
	14	19	29	3.73258	16.14583	-4.63389		29	22	30	25.28352	16.21144	-4.17277
	15	19	33	0.29172	16.20739	-4.65429		30	22	34	21.83669	16.17551	-4.12288
	16	19	36	56.85222	16.29140	-4.66276		31	22	38	18.38686	16.09056	-4.07969
	17	19	40	53.41340	16.38632	-4.65628		Sept.	1	22	42	14.93483	15.96952
18	19	44	49.97436	16.47774	-4.63396	2	22		46	11.48172	15.83091	-4.03919	
19	19	48	46.53416	16.55033	-4.59757	3	22		50	8.02870	15.69391	-4.04521	
20	19	52	43.09199	16.59059	-4.55171	4	22		54	4.57677	15.57448	-4.06520	
21	19	56	39.64733	16.59012	-4.50341	5	22		58	1.12655	15.48320	-4.09383	
22	20	0	36.20015	16.54847	-4.46098	6	23		1	57.67835	15.42474	-4.12506	
23	20	4	32.75099	16.47453	-4.43231	7	23		5	54.23211	15.39839	-4.15310	
24	20	8	29.30093	16.38579	-4.42288	8	23		9	50.78751	15.39889	-4.17299	
25	20	12	25.85137	16.30512	-4.43410	9	23		13	47.34401	15.41741	-4.18104	
26	20	16	22.40371	16.25565	-4.46246	10	23		17	43.90090	15.44236	-4.17519	
27	20	20	18.95903	16.25474	-4.49987	11	23	21	40.45737	15.46035	-4.15529		
28	20	24	15.51769	16.30860	-4.53526	12	23	25	37.01256	15.45748	-4.12360		
29	20	28	12.07922	16.40933	-4.55740	13	23	29	33.56573	15.42157	-4.08496		
30	20	32	8.64233	16.53577	-4.55805	14	23	33	30.11642	15.34518	-4.04673		
31	20	36	5.20523	16.65895	-4.53465	15	23	37	26.66469	15.22913	-4.01779		
Août	1	20	40	1.76620	16.75054	-4.49115	16	23	41	23.21125	15.08505	-4.00654	
	2	20	43	58.32406	16.79131	-4.43665	17	23	45	19.75742	14.93468	-4.01816	
	3	20	47	54.87848	16.77592	-4.38224	18	23	49	16.30485	14.80494	-4.05213	
	4	20	51	51.42996	16.71247	-4.33768	19	23	53	12.85499	14.71936	-4.10161	
	5	20	55	47.97956	16.61804	-4.30908	20	23	57	9.40855	14.68981	-4.15517	
	6	20	59	44.52849	16.51278	-4.29824	21	0	1	5.96530	14.71230	-4.20047	
	7	21	3	41.07788	16.41508	-4.30330	22	0	5	2.52412	14.76876	-4.22807	
	8	21	7	37.62858	16.33877	-4.31991	23	0	8	59.08343	14.83326	-4.23385	
	9	21	11	34.18110	16.29216	-4.34253	24	0	12	55.64164	14.87967	-4.21951	
	10	21	15	30.73561	16.27818	-4.36528	25	0	16	52.19752	14.88803	-4.19140	
11	21	19	27.29201	16.29489	-4.38265	26	0	20	48.75045	14.84834	-4.15847		
12	21	23	23.84990	16.33611	-4.38998	27	0	24	45.30050	14.76136	-4.12994		
13	21	27	20.40867	16.39187	-4.38382	28	0	28	41.84827	14.63715	-4.11335		
14	21	31	16.96755	16.44918	-4.36255	29	0	32	38.39475	14.49186	-4.11322		
15	21	35	13.52561	16.49324	-4.32684	30	0	36	34.94106	14.34378	-4.13054		
16	21	39	10.08197	16.50954	-4.28012	Oct. 1	0	40	31.48823	14.20967	-4.16308		

TEMPS SIDÉRAL 2012 à 0h TU, NUTATION 2012 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long. s	nut. obl. s	Date	temps sidéral			nut. long. s	nut. obl. s		
	h	m	s				h	m	s				
Oct.	2	0	44	28.037 01	14.101 96	-4.206 21	Nov.	17	3	45	49.529 94	13.218 92	-5.403 67
	3	0	48	24.587 81	14.027 35	-4.254 04		18	3	49	46.091 91	13.326 95	-5.399 04
	4	0	52	21.140 70	13.986 70	-4.300 56		19	3	53	42.650 81	13.384 71	-5.383 00
	5	0	56	17.695 40	13.975 75	-4.340 43		20	3	57	39.206 45	13.389 07	-5.366 57
	6	1	0	14.251 41	13.986 29	-4.369 61		21	4	1	35.759 36	13.349 03	-5.358 75
	7	1	4	10.808 07	14.007 43	-4.385 71		22	4	5	32.310 55	13.280 64	-5.365 12
	8	1	8	7.364 62	14.026 71	-4.388 16		23	4	9	28.861 12	13.202 23	-5.387 64
	9	1	12	3.920 27	14.031 34	-4.378 47		24	4	13	25.412 13	13.130 99	-5.425 18
	10	1	16	0.474 31	14.009 61	-4.360 32		25	4	17	21.964 43	13.080 80	-5.474 29
	11	1	19	57.026 21	13.952 96	-4.339 64		26	4	21	18.518 58	13.060 92	-5.529 95
	12	1	23	53.575 81	13.858 69	-4.324 23		27	4	25	15.074 84	13.075 34	-5.586 45
13	1	27	50.123 48	13.732 91	-4.322 59	28	4	29	11.633 10	13.122 72	-5.638 12		
14	1	31	46.670 25	13.592 28	-4.341 82	29	4	33	8.193 01	13.196 87	-5.680 11		
15	1	35	43.217 67	13.462 31	-4.384 75	30	4	37	4.753 94	13.287 75	-5.709 06		
16	1	39	39.767 44	13.370 78	-4.447 61	Déc.	1	4	41	1.315 13	13.382 94	-5.723 50	
17	1	43	36.320 77	13.337 48	-4.520 08		2	4	44	57.875 78	13.469 43	-5.724 09	
18	1	47	32.877 85	13.365 43	-4.588 31		3	4	48	54.435 19	13.535 41	-5.713 62	
19	1	51	29.437 72	13.438 96	-4.639 98		4	4	52	50.992 79	13.571 97	-5.696 71	
20	1	55	25.998 65	13.529 88	-4.668 50		5	4	56	47.548 32	13.574 70	-5.679 38	
21	1	59	22.558 79	13.607 93	-4.674 42		6	5	0	44.101 88	13.545 04	-5.668 41	
22	2	3	19.116 72	13.649 77	-4.664 05		7	5	4	40.653 96	13.491 33	-5.670 36	
23	2	7	15.671 71	13.643 60	-4.646 70		8	5	8	37.205 53	13.429 27	-5.690 33	
24	2	11	12.223 76	13.589 44	-4.631 87		9	5	12	33.757 93	13.380 71	-5.730 19	
25	2	15	8.773 45	13.496 69	-4.627 28		10	5	16	30.312 64	13.369 93	-5.786 98	
26	2	19	5.321 72	13.380 61	-4.637 74	11	5	20	26.870 87	13.416 62	-5.852 04		
27	2	23	1.869 63	13.258 72	-4.664 84	12	5	24	23.432 99	13.527 05	-5.912 39		
28	2	26	58.418 21	13.147 66	-4.707 14	13	5	28	19.998 21	13.688 08	-5.954 66		
29	2	30	54.968 26	13.060 73	-4.760 80	14	5	32	16.564 65	13.869 06	-5.970 45		
30	2	34	51.520 30	13.006 22	-4.820 41	15	5	36	13.130 04	14.032 89	-5.959 92		
31	2	38	48.074 47	12.986 75	-4.880 00	16	5	40	9.692 57	14.150 13	-5.931 29		
Nov.	1	2	42	44.630 62	12.999 45	-4.933 96	17	5	44	6.251 49	14.208 12	-5.896 83	
	2	2	46	41.188 28	13.036 88	-4.977 79	18	5	48	2.807 06	14.211 44	-5.868 09	
	3	2	50	37.746 80	13.088 37	-5.008 65	19	5	51	59.360 27	14.176 16	-5.852 85	
	4	2	54	34.305 42	13.141 59	-5.025 60	20	5	55	55.912 36	14.122 71	-5.854 32	
	5	2	58	30.863 38	13.184 01	-5.029 76	21	5	59	52.464 55	14.070 60	-5.871 78	
	6	3	2	27.419 99	13.204 35	-5.024 22	22	6	3	49.017 76	14.035 35	-5.901 81	
	7	3	6	23.974 73	13.194 13	-5.013 98	23	6	7	45.572 64	14.027 31	-5.939 39	
	8	3	10	20.527 37	13.149 44	-5.005 61	24	6	11	42.129 49	14.051 52	-5.978 85	
	9	3	14	17.078 06	13.072 99	-5.006 63	25	6	15	38.688 30	14.107 83	-6.014 56	
	10	3	18	13.627 49	12.976 00	-5.024 25	26	6	19	35.248 78	14.191 41	-6.041 53	
11	3	22	10.176 91	12.878 66	-5.063 35	27	6	23	31.810 39	14.293 39	-6.055 99		
12	3	26	6.727 92	12.807 41	-5.123 98	28	6	27	28.372 40	14.401 95	-6.055 85		
13	3	30	3.282 08	12.787 65	-5.199 61	29	6	31	24.934 00	14.503 82	-6.041 15		
14	3	33	59.840 25	12.833 36	-5.277 78	30	6	35	21.494 40	14.586 20	-6.014 15		
15	3	37	56.402 07	12.938 88	-5.343 88	31	6	39	18.052 99	14.638 88	-5.979 20		
16	3	41	52.966 02	13.079 07	-5.386 92	32	6	43	14.609 41	14.656 17	-5.942 24		

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 2012 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	98	55	15.09107	- 9	28.92168	Févr.	15	144	15	32.48598	- 9	35.22200
	1	99	54	23.29531	- 9	28.99682		16	145	14	40.69022	- 9	35.41879
	2	100	53	31.49955	- 9	29.08527		17	146	13	48.89445	- 9	35.63015
	3	101	52	39.70378	- 9	29.19744		18	147	12	57.09869	- 9	35.83279
	4	102	51	47.90802	- 9	29.34016		19	148	12	5.30293	- 9	36.00640
	5	103	50	56.11226	- 9	29.51607		20	149	11	13.50716	- 9	36.13792
	6	104	50	4.31649	- 9	29.72307		21	150	10	21.71140	- 9	36.22368
	7	105	49	12.52073	- 9	29.95383		22	151	9	29.91564	- 9	36.26910
	8	106	48	20.72497	- 9	30.19598		23	152	8	38.11988	- 9	36.28637
	9	107	47	28.92921	- 9	30.43335		24	153	7	46.32411	- 9	36.29108
	10	108	46	37.13344	- 9	30.64864		25	154	6	54.52835	- 9	36.29889
	11	109	45	45.33768	- 9	30.82745		26	155	6	2.73259	- 9	36.32301
	12	110	44	53.54192	- 9	30.96245		27	156	5	10.93682	- 9	36.37272
	13	111	44	1.74615	- 9	31.05648		28	157	4	19.14106	- 9	36.45285
14	112	43	9.95039	- 9	31.12294	29	158	3	27.34530	- 9	36.56380		
15	113	42	18.15463	- 9	31.18314	Mars	1	159	2	35.54954	- 9	36.70172	
16	114	41	26.35887	- 9	31.26109		2	160	1	43.75377	- 9	36.85878	
17	115	40	34.56310	- 9	31.37727		3	161	0	51.95801	- 9	37.02348	
18	116	39	42.76734	- 9	31.54296		4	162	0	0.16225	- 9	37.18140	
19	117	38	50.97158	- 9	31.75678		5	162	59	8.36648	- 9	37.31681	
20	118	37	59.17581	- 9	32.00464		6	163	58	16.57072	- 9	37.41587	
21	119	37	7.38005	- 9	32.26336		7	164	57	24.77496	- 9	37.47107	
22	120	36	15.58429	- 9	32.50720		8	165	56	32.97920	- 9	37.48590	
23	121	35	23.78852	- 9	32.71497		9	166	55	41.18343	- 9	37.47694	
24	122	34	31.99276	- 9	32.87525		10	167	54	49.38767	- 9	37.47067	
25	123	33	40.19700	- 9	32.98794	11	168	53	57.59191	- 9	37.49487		
26	124	32	48.40124	- 9	33.06234	12	169	53	5.79614	- 9	37.56846		
27	125	31	56.60547	- 9	33.11327	13	170	52	14.00038	- 9	37.69495		
28	126	31	4.80971	- 9	33.15712	14	171	51	22.20462	- 9	37.86253		
29	127	30	13.01395	- 9	33.20881	15	172	50	30.40885	- 9	38.04954		
30	128	29	21.21818	- 9	33.28014	16	173	49	38.61309	- 9	38.23171		
31	129	28	29.42242	- 9	33.37901	17	174	48	46.81733	- 9	38.38839		
Févr.	1	130	27	37.62666	- 9	33.50917	18	175	47	55.02157	- 9	38.50633	
	2	131	26	45.83090	- 9	33.67005	19	176	47	3.22580	- 9	38.58099	
	3	132	25	54.03513	- 9	33.85656	20	177	46	11.43004	- 9	38.61607	
	4	133	25	2.23937	- 9	34.05898	21	178	45	19.63428	- 9	38.62174	
	5	134	24	10.44361	- 9	34.26332	22	179	44	27.83851	- 9	38.61208	
	6	135	23	18.64784	- 9	34.45278	23	180	43	36.04275	- 9	38.60230	
	7	136	22	26.85208	- 9	34.61081	24	181	42	44.24699	- 9	38.60624	
	8	137	21	35.05632	- 9	34.72564	25	182	41	52.45123	- 9	38.63442	
	9	138	20	43.26056	- 9	34.79508	26	183	41	0.65546	- 9	38.69298	
	10	139	19	51.46479	- 9	34.82920	27	184	40	8.85970	- 9	38.78330	
	11	140	18	59.66903	- 9	34.84899	28	185	39	17.06394	- 9	38.90231	
	12	141	18	7.87327	- 9	34.88043	29	186	38	25.26817	- 9	39.04299	
	13	142	17	16.07750	- 9	34.94655	30	187	37	33.47241	- 9	39.19509	
	14	143	16	24.28174	- 9	35.06045	31	188	36	41.67665	- 9	39.34597	

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2012 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	1	189	35	49.88089	- 9	39.48180	Mai	17	234	56	7.27579	- 9	44.18392
	2	190	34	58.08512	- 9	39.58945		18	235	55	15.48003	- 9	44.25466
	3	191	34	6.28936	- 9	39.65949		19	236	54	23.68427	- 9	44.35373
	4	192	33	14.49360	- 9	39.69006		20	237	53	31.88850	- 9	44.48496
	5	193	32	22.69783	- 9	39.69059		21	238	52	40.09274	- 9	44.64747
	6	194	31	30.90207	- 9	39.68259		22	239	51	48.29698	- 9	44.83577
	7	195	30	39.10631	- 9	39.69500		23	240	50	56.50122	- 9	45.04047
	8	196	29	47.31055	- 9	39.75409		24	241	50	4.70545	- 9	45.24940
	9	197	28	55.51478	- 9	39.87235		25	242	49	12.90969	- 9	45.44934
	10	198	28	3.71902	- 9	40.04317		26	243	48	21.11393	- 9	45.62790
	11	199	27	11.92326	- 9	40.24452		27	244	47	29.31816	- 9	45.77568
	12	200	26	20.12749	- 9	40.44822		28	245	46	37.52240	- 9	45.88839
	13	201	25	28.33173	- 9	40.62949		29	246	45	45.72664	- 9	45.96880
	14	202	24	36.53597	- 9	40.77242		30	247	44	53.93088	- 9	46.02808
	15	203	23	44.74021	- 9	40.87142		31	248	44	2.13511	- 9	46.08562
16	204	22	52.94444	- 9	40.92985	Juin	1	249	43	10.33935	- 9	46.16608	
17	205	22	1.14868	- 9	40.95749		2	250	42	18.54359	- 9	46.29292	
18	206	21	9.35292	- 9	40.96785		3	251	41	26.74782	- 9	46.47951	
19	207	20	17.55715	- 9	40.97572		4	252	40	34.95206	- 9	46.72176	
20	208	19	25.76139	- 9	40.99498		5	253	39	43.15630	- 9	46.99759	
21	209	18	33.96563	- 9	41.03684		6	254	38	51.36054	- 9	47.27471	
22	210	17	42.16987	- 9	41.10860		7	255	37	59.56477	- 9	47.52289	
23	211	16	50.37410	- 9	41.21290		8	256	37	7.76901	- 9	47.72358	
24	212	15	58.57834	- 9	41.34759		9	257	36	15.97325	- 9	47.87293	
25	213	15	6.78258	- 9	41.50624		10	258	35	24.17748	- 9	47.97893	
26	214	14	14.98681	- 9	41.67898	11	259	34	32.38172	- 9	48.05637		
27	215	13	23.19105	- 9	41.85369	12	260	33	40.58596	- 9	48.12207		
28	216	12	31.39529	- 9	42.01735	13	261	32	48.79020	- 9	48.19174		
29	217	11	39.59953	- 9	42.15778	14	262	31	56.99443	- 9	48.27821		
30	218	10	47.80376	- 9	42.26570	15	263	31	5.19867	- 9	48.39054		
Mai	1	219	9	56.00800	- 9	42.33737	16	264	30	13.40291	- 9	48.53357	
	2	220	9	4.21224	- 9	42.37743	17	265	29	21.60714	- 9	48.70768	
	3	221	8	12.41647	- 9	42.40086	18	266	28	29.81138	- 9	48.90873	
	4	222	7	20.62071	- 9	42.43202	19	267	27	38.01562	- 9	49.12835	
	5	223	6	28.82495	- 9	42.49887	20	268	26	46.21986	- 9	49.35479	
	6	224	5	37.02918	- 9	42.62274	21	269	25	54.42409	- 9	49.57442	
	7	225	4	45.23342	- 9	42.80820	22	270	25	2.62833	- 9	49.77388	
	8	226	3	53.43766	- 9	43.03977	23	271	24	10.83257	- 9	49.94255	
	9	227	3	1.64190	- 9	43.28821	24	272	23	19.03680	- 9	50.07500	
	10	228	2	9.84613	- 9	43.52235	25	273	22	27.24104	- 9	50.17288	
	11	229	1	18.05037	- 9	43.71942	26	274	21	35.44528	- 9	50.24580	
	12	230	0	26.25461	- 9	43.86938	27	275	20	43.64951	- 9	50.31065	
	13	230	59	34.45884	- 9	43.97401	28	276	19	51.85375	- 9	50.38919	
	14	231	58	42.66308	- 9	44.04323	29	277	19	0.05799	- 9	50.50332	
	15	232	57	50.86732	- 9	44.09123	30	278	18	8.26223	- 9	50.66885	
16	233	56	59.07156	- 9	44.13336	Juill. 1	279	17	16.46646	- 9	50.88909		

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2012 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.	2	280	16	24.67070	- 9 51.15155	Août	17	325	36	42.06561	- 9 57.47380
	3	281	15	32.87494	- 9 51.43028		18	326	35	50.26984	- 9 57.53992
	4	282	14	41.07917	- 9 51.69431		19	327	34	58.47408	- 9 57.57176
	5	283	13	49.28341	- 9 51.91821		20	328	34	6.67832	- 9 57.58391
	6	284	12	57.48765	- 9 52.08963		21	329	33	14.88256	- 9 57.59770
	7	285	12	5.69189	- 9 52.21063		22	330	32	23.08679	- 9 57.63578
	8	286	11	13.89612	- 9 52.29390		23	331	31	31.29103	- 9 57.71561
	9	287	10	22.10036	- 9 52.35708		24	332	30	39.49527	- 9 57.84422
	10	288	9	30.30460	- 9 52.41785		25	333	29	47.69950	- 9 58.01599
	11	289	8	38.50883	- 9 52.49098		26	334	28	55.90374	- 9 58.21416
	12	290	7	46.71307	- 9 52.58700		27	335	28	4.10798	- 9 58.41530
	13	291	6	54.91731	- 9 52.71190		28	336	27	12.31222	- 9 58.59548
	14	292	6	3.12155	- 9 52.86716		29	337	26	20.51645	- 9 58.73642
	15	293	5	11.32578	- 9 53.04995		30	338	25	28.72069	- 9 58.82970
	16	294	4	19.53002	- 9 53.25332		31	339	24	36.92493	- 9 58.87802
	17	295	3	27.73426	- 9 53.46670		Sept.	1	340	23	45.12916
18	296	2	35.93849	- 9 53.67686	2	341		22	53.33340	- 9 58.89233	
19	297	1	44.14273	- 9 53.86972	3	342		22	1.53764	- 9 58.89293	
20	298	0	52.34697	- 9 54.03291	4	343		21	9.74188	- 9 58.90965	
21	299	0	0.55121	- 9 54.15874	5	344		20	17.94611	- 9 58.95221	
22	299	59	8.75544	- 9 54.24678	6	345	19	26.15035	- 9 59.02488		
23	300	58	16.95968	- 9 54.30521	7	346	18	34.35459	- 9 59.12701		
24	301	57	25.16392	- 9 54.35007	8	347	17	42.55882	- 9 59.25377		
25	302	56	33.36815	- 9 54.40236	9	348	16	50.76306	- 9 59.39705		
26	303	55	41.57239	- 9 54.48329	10	349	15	58.96730	- 9 59.54624		
27	304	54	49.77663	- 9 54.60877	11	350	15	7.17154	- 9 59.68901		
28	305	53	57.98087	- 9 54.78451	12	351	14	15.37577	- 9 59.81265		
29	306	53	6.18510	- 9 55.00324	13	352	13	23.58001	- 9 59.90596		
30	307	52	14.38934	- 9 55.24555	14	353	12	31.78425	- 9 59.96212		
31	308	51	22.59358	- 9 55.48483	15	354	11	39.98848	- 9 59.98191		
Août	1	309	50	30.79781	- 9 55.69512	16	355	10	48.19272	- 9 59.97598	
	2	310	49	39.00205	- 9 55.85878	17	356	9	56.39696	- 9 59.96432	
	3	311	48	47.20629	- 9 55.97090	18	357	9	4.60120	- 9 59.97158	
	4	312	47	55.41053	- 9 56.03894	19	358	8	12.80543	-10 0.01939	
	5	313	47	3.61476	- 9 56.07857	20	359	7	21.00967	-10 0.11860	
	6	314	46	11.81900	- 9 56.10828	21	0	6	29.21391	-10 0.26555	
	7	315	45	20.02324	- 9 56.14494	22	1	5	37.41814	-10 0.44365	
	8	316	44	28.22747	- 9 56.20123	23	2	4	45.62238	-10 0.62911	
	9	317	43	36.43171	- 9 56.28477	24	3	3	53.82662	-10 0.79795	
	10	318	42	44.63595	- 9 56.39825	25	4	3	2.03086	-10 0.93189	
	11	319	41	52.84019	- 9 56.53989	26	5	2	10.23509	-10 1.02171	
	12	320	41	1.04442	- 9 56.70400	27	6	1	18.43933	-10 1.06817	
	13	321	40	9.24866	- 9 56.88146	28	7	0	26.64357	-10 1.08047	
	14	322	39	17.45290	- 9 57.06032	29	7	59	34.84780	-10 1.07344	
	15	323	38	25.65713	- 9 57.22701	30	8	58	43.05204	-10 1.06387	
	16	324	37	33.86137	- 9 57.36823	Oct. 1	9	57	51.25628	-10 1.06712	

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2012 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.	2	10	56	59.460 52	-10	1.094 60	Nov.	17	56	17	16.855 42	-10	6.093 68
	3	11	56	7.664 75	-10	1.152 46		18	57	16	25.059 66	-10	6.319 06
	4	12	55	15.868 99	-10	1.241 47		19	58	15	33.263 90	-10	6.498 30
	5	13	54	24.073 23	-10	1.357 72		20	59	14	41.468 13	-10	6.628 55
	6	14	53	32.277 46	-10	1.493 69		21	60	13	49.672 37	-10	6.718 07
	7	15	52	40.481 70	-10	1.639 38		22	61	12	57.876 61	-10	6.781 59
	8	16	51	48.685 94	-10	1.783 35	23	62	12	6.080 85	-10	6.835 94	
	9	17	50	56.890 17	-10	1.913 86	24	63	11	14.285 08	-10	6.896 88	
	10	18	50	5.094 41	-10	2.020 19	25	64	10	22.489 32	-10	6.977 13	
	11	19	49	13.298 65	-10	2.094 47	26	65	9	30.693 56	-10	7.085 19	
	12	20	48	21.502 89	-10	2.134 24	27	66	8	38.897 79	-10	7.224 73	
	13	21	47	29.707 12	-10	2.145 10	28	67	7	47.102 03	-10	7.394 52	
	14	22	46	37.911 36	-10	2.142 35	29	68	6	55.306 27	-10	7.588 85	
	15	23	45	46.115 60	-10	2.149 41	30	69	6	3.510 50	-10	7.798 52	
	16	24	44	54.319 83	-10	2.191 75	Déc.	1	70	5	11.714 74	-10	8.012 15
	17	25	44	2.524 07	-10	2.287 53		2	71	4	19.918 98	-10	8.217 78
18	26	43	10.728 31	-10	2.439 50	3		72	3	28.123 22	-10	8.404 58	
19	27	42	18.932 55	-10	2.633 27	4		73	2	36.327 45	-10	8.564 39	
20	28	41	27.136 78	-10	2.842 98	5		74	1	44.531 69	-10	8.693 16	
21	29	40	35.341 02	-10	3.040 86	6		75	0	52.735 93	-10	8.792 21	
22	30	39	43.545 26	-10	3.205 50	7	76	0	0.940 16	-10	8.869 20		
23	31	38	51.749 49	-10	3.326 08	8	76	59	9.144 40	-10	8.938 54		
24	32	37	59.953 73	-10	3.402 65	9	77	58	17.348 64	-10	9.020 29		
25	33	37	8.157 97	-10	3.443 81	10	78	57	25.552 88	-10	9.136 73		
26	34	36	16.362 21	-10	3.463 59	11	79	56	33.757 11	-10	9.305 90		
27	35	35	24.566 44	-10	3.478 04	12	80	55	41.961 35	-10	9.533 55		
28	36	34	32.770 68	-10	3.502 44	13	81	54	50.165 59	-10	9.807 59		
29	37	33	40.974 92	-10	3.548 98	14	82	53	58.369 82	-10	10.099 94		
30	38	32	49.179 15	-10	3.625 28	15	83	53	6.574 06	-10	10.376 51		
31	39	31	57.383 39	-10	3.733 73	16	84	52	14.778 30	-10	10.610 32		
Nov.	1	40	31	5.587 63	-10	3.871 69	17	85	51	22.982 54	-10	10.789 77	
	2	41	30	13.791 87	-10	4.032 32	18	86	50	31.186 77	-10	10.919 08	
	3	42	29	21.996 10	-10	4.205 86	19	87	49	39.391 01	-10	11.012 97	
	4	43	28	30.200 34	-10	4.380 97	20	88	48	47.595 25	-10	11.090 21	
	5	44	27	38.404 58	-10	4.546 16	21	89	47	55.799 48	-10	11.168 70	
	6	45	26	46.608 81	-10	4.691 09	22	90	47	4.003 72	-10	11.262 65	
	7	46	25	54.813 05	-10	4.807 97	23	91	46	12.207 96	-10	11.381 58	
	8	47	25	3.017 29	-10	4.893 23	24	92	45	20.412 20	-10	11.530 10	
	9	48	24	11.221 53	-10	4.949 36	25	93	44	28.616 43	-10	11.708 08	
	10	49	23	19.425 76	-10	4.986 65	26	94	43	36.820 67	-10	11.911 06	
	11	50	22	27.630 00	-10	5.023 63	27	95	42	45.024 91	-10	12.130 92	
	12	51	21	35.834 24	-10	5.084 57	28	96	41	53.229 14	-10	12.356 81	
	13	52	20	44.038 47	-10	5.192 77	29	97	41	1.433 38	-10	12.576 55	
	14	53	19	52.242 71	-10	5.361 04	30	98	40	9.637 62	-10	12.778 41	
	15	54	19	0.446 95	-10	5.584 17	31	99	39	17.841 86	-10	12.953 01	
	16	55	18	8.651 19	-10	5.839 10	32	100	38	26.046 09	-10	13.095 13	

SYSTEME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE

Coordonnées du CIP X et Y, angle s II. 16

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2012 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Janv.	0 247.16068	-3.42945	0.00495	Févr.	15 249.89813	-3.20060	0.00479
	1 247.19335	-3.43940	0.00496		16 249.98350	-3.21833	0.00480
	2 247.23174	-3.46227	0.00497		17 250.07526	-3.21500	0.00480
	3 247.28039	-3.49406	0.00499		18 250.16330	-3.19018	0.00478
	4 247.34228	-3.52962	0.00501		19 250.23881	-3.14836	0.00476
	5 247.41855	-3.56315	0.00503		20 250.29611	-3.09741	0.00473
	6 247.50833	-3.58868	0.00505		21 250.33357	-3.04651	0.00470
	7 247.60845	-3.60090	0.00505		22 250.35351	-3.00397	0.00467
	8 247.71356	-3.59607	0.00505		23 250.36120	-2.97567	0.00465
	9 247.81665	-3.57316	0.00503		24 250.36340	-2.96424	0.00465
	10 247.91022	-3.53471	0.00501		25 250.36689	-2.96912	0.00465
	11 247.98800	-3.48695	0.00498		26 250.37741	-2.98720	0.00466
	12 248.04679	-3.43900	0.00495		27 250.39900	-3.01371	0.00468
	13 248.08779	-3.40080	0.00493		28 250.43377	-3.04302	0.00469
	14 248.11679	-3.38065	0.00492		29 250.48191	-3.06943	0.00471
	15 248.14300	-3.38279	0.00492	Mars	1 250.54176	-3.08766	0.00472
	16 248.17684	-3.40599	0.00493		2 250.60995	-3.09337	0.00472
	17 248.22721	-3.44361	0.00495		3 250.68149	-3.08379	0.00472
	18 248.29902	-3.48506	0.00498		4 250.75015	-3.05840	0.00470
	19 248.39173	-3.51849	0.00500		5 250.80909	-3.01978	0.00468
	20 248.49925	-3.53391	0.00501		6 250.85230	-2.97411	0.00465
	21 248.61155	-3.52594	0.00500		7 250.87649	-2.93092	0.00462
	22 248.71747	-3.49525	0.00498		8 250.88313	-2.90123	0.00460
	23 248.80781	-3.44797	0.00495		9 250.87940	-2.89426	0.00460
	24 248.87758	-3.39355	0.00492		10 250.87674	-2.91364	0.00461
	25 248.92672	-3.34189	0.00489		11 250.88722	-2.95531	0.00464
	26 248.95922	-3.30093	0.00486		12 250.91908	-3.00851	0.00467
	27 248.98150	-3.27528	0.00485		13 250.97387	-3.05965	0.00470
	28 249.00065	-3.26614	0.00484		14 251.04653	-3.09690	0.00472
	29 249.02316	-3.27179	0.00484		15 251.12767	-3.11338	0.00473
	30 249.05415	-3.28850	0.00485		16 251.20679	-3.10813	0.00473
	31 249.09706	-3.31126	0.00487		17 251.27491	-3.08528	0.00471
Févr.	1 249.15353	-3.33444	0.00488		18 251.32626	-3.05220	0.00469
	2 249.22334	-3.35229	0.00489		19 251.35886	-3.01753	0.00467
	3 249.30429	-3.35947	0.00489		20 251.37429	-2.98933	0.00465
	4 249.39218	-3.35171	0.00489		21 251.37692	-2.97377	0.00464
	5 249.48095	-3.32675	0.00487		22 251.37285	-2.97429	0.00464
	6 249.56333	-3.28532	0.00485		23 251.36868	-2.99136	0.00465
	7 249.63212	-3.23198	0.00481		24 251.37042	-3.02277	0.00467
	8 249.68220	-3.17500	0.00478		25 251.38263	-3.06426	0.00470
	9 249.71257	-3.12503	0.00475		26 251.40800	-3.11038	0.00473
	10 249.72759	-3.09221	0.00473		27 251.44714	-3.15532	0.00475
	11 249.73632	-3.08288	0.00472		28 251.49874	-3.19367	0.00478
	12 249.75002	-3.09724	0.00473		29 251.55977	-3.22102	0.00479
	13 249.77870	-3.12903	0.00475		30 251.62578	-3.23441	0.00480
	14 249.82808	-3.16749	0.00477		31 251.69132	-3.23288	0.00480

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2012 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Avril	1	251.750 38	-3.217 88	0.004 79	Mai	17	253.791 51	-4.244 68	0.005 40
	2	251.797 24	-3.193 79	0.004 77		18	253.822 14	-4.296 38	0.005 43
	3	251.827 81	-3.168 04	0.004 76		19	253.865 04	-4.354 41	0.005 47
	4	251.841 25	-3.150 44	0.004 75		20	253.921 87	-4.413 20	0.005 50
	5	251.841 61	-3.151 10	0.004 75		21	253.992 27	-4.467 10	0.005 53
	6	251.838 19	-3.177 12	0.004 76		22	254.073 90	-4.511 04	0.005 56
	7	251.843 53	-3.228 91	0.004 80		23	254.162 66	-4.541 36	0.005 58
	8	251.869 06	-3.298 59	0.004 84		24	254.253 31	-4.556 33	0.005 59
	9	251.920 22	-3.372 23	0.004 88		25	254.340 11	-4.556 60	0.005 59
	10	251.994 20	-3.435 07	0.004 92		26	254.417 68	-4.545 32	0.005 58
	11	252.081 48	-3.476 89	0.004 95		27	254.481 93	-4.527 97	0.005 57
	12	252.169 87	-3.494 67	0.004 96		28	254.530 97	-4.511 88	0.005 56
	13	252.248 59	-3.492 04	0.004 95		29	254.565 97	-4.505 20	0.005 55
	14	252.310 73	-3.476 76	0.004 94		30	254.591 77	-4.515 48	0.005 56
	15	252.353 84	-3.457 94	0.004 93		31	254.616 74	-4.547 57	0.005 58
	16	252.379 34	-3.443 99	0.004 92	Juin	1	254.651 58	-4.601 37	0.005 61
	17	252.391 46	-3.441 26	0.004 92		2	254.706 47	-4.670 33	0.005 65
	18	252.396 04	-3.453 51	0.004 93		3	254.787 25	-4.742 09	0.005 70
	19	252.399 49	-3.481 72	0.004 95		4	254.892 21	-4.802 00	0.005 73
	20	252.407 84	-3.524 35	0.004 97		5	255.011 79	-4.838 55	0.005 75
	21	252.425 95	-3.577 74	0.005 00		6	255.132 02	-4.847 79	0.005 76
	22	252.457 00	-3.636 79	0.005 04		7	255.239 78	-4.834 17	0.005 75
	23	252.502 16	-3.695 77	0.005 08		8	255.327 00	-4.807 73	0.005 73
	24	252.560 51	-3.749 07	0.005 11		9	255.391 95	-4.779 88	0.005 71
	25	252.629 28	-3.791 98	0.005 13		10	255.438 10	-4.760 02	0.005 70
	26	252.704 21	-3.821 28	0.005 15		11	255.471 81	-4.753 94	0.005 69
	27	252.780 02	-3.835 71	0.005 16		12	255.500 39	-4.763 77	0.005 70
	28	252.851 10	-3.836 31	0.005 16		13	255.530 64	-4.788 59	0.005 72
	29	252.912 13	-3.826 60	0.005 15		14	255.568 13	-4.825 29	0.005 74
	30	252.959 09	-3.812 62	0.005 14		15	255.616 82	-4.869 27	0.005 76
Mai	1	252.990 32	-3.802 50	0.005 14		16	255.678 80	-4.915 12	0.005 79
	2	253.007 81	-3.805 40	0.005 14		17	255.754 27	-4.957 19	0.005 82
	3	253.018 03	-3.829 33	0.005 15		18	255.841 44	-4.990 24	0.005 84
	4	253.031 51	-3.878 14	0.005 18		19	255.936 71	-5.010 11	0.005 85
	5	253.060 40	-3.948 74	0.005 23		20	256.034 98	-5.014 39	0.005 85
	6	253.113 96	-4.030 40	0.005 27		21	256.130 35	-5.003 09	0.005 84
	7	253.194 25	-4.107 85	0.005 32		22	256.217 01	-4.978 84	0.005 83
	8	253.294 58	-4.167 01	0.005 36		23	256.290 35	-4.946 85	0.005 80
	9	253.402 30	-4.200 40	0.005 38		24	256.348 00	-4.914 29	0.005 78
	10	253.503 91	-4.208 95	0.005 38		25	256.390 63	-4.889 13	0.005 77
	11	253.589 50	-4.200 07	0.005 37		26	256.422 40	-4.878 72	0.005 76
	12	253.654 69	-4.184 02	0.005 36		27	256.450 61	-4.887 99	0.005 77
	13	253.700 22	-4.170 55	0.005 36		28	256.484 68	-4.917 84	0.005 78
	14	253.730 37	-4.167 02	0.005 35		29	256.534 13	-4.963 99	0.005 81
	15	253.751 28	-4.177 74	0.005 36		30	256.605 84	-5.017 05	0.005 84
	16	253.769 59	-4.204 04	0.005 37	Juill.	1	256.701 28	-5.064 39	0.005 87

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2012 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Juill.	2 256.815 09	-5.093 85	0.005 89	Août	17 259.562 82	-4.614 57	0.005 56
	3 256.936 02	-5.097 97	0.005 89		18 259.591 75	-4.566 73	0.005 53
	4 257.050 67	-5.076 79	0.005 88		19 259.605 79	-4.531 19	0.005 50
	5 257.147 98	-5.037 55	0.005 85		20 259.611 23	-4.514 89	0.005 49
	6 257.222 57	-4.991 50	0.005 82		21 259.617 31	-4.520 61	0.005 50
	7 257.275 27	-4.949 86	0.005 79		22 259.633 86	-4.545 68	0.005 51
	8 257.311 59	-4.920 76	0.005 78		23 259.668 47	-4.582 33	0.005 54
	9 257.339 14	-4.908 10	0.005 77		24 259.724 21	-4.619 65	0.005 56
	10 257.365 59	-4.911 91	0.005 77		25 259.798 71	-4.646 55	0.005 57
	11 257.397 36	-4.929 36	0.005 78		26 259.884 71	-4.654 74	0.005 58
	12 257.439 02	-4.955 87	0.005 80		27 259.972 07	-4.640 80	0.005 57
	13 257.493 19	-4.985 99	0.005 81		28 260.050 41	-4.606 98	0.005 55
	14 257.560 52	-5.014 04	0.005 83		29 260.111 77	-4.560 31	0.005 52
	15 257.639 82	-5.034 66	0.005 84		30 260.152 49	-4.510 54	0.005 48
	16 257.728 07	-5.043 38	0.005 85		31 260.173 70	-4.467 41	0.005 46
	17 257.820 71	-5.037 17	0.005 84	Sept.	1 260.180 51	-4.438 33	0.005 44
	18 257.912 00	-5.015 12	0.005 83		2 260.180 28	-4.426 93	0.005 43
	19 257.995 84	-4.978 97	0.005 80		3 260.180 64	-4.432 95	0.005 44
	20 258.066 85	-4.933 31	0.005 77		4 260.187 95	-4.452 96	0.005 45
	21 258.121 67	-4.885 17	0.005 74		5 260.206 42	-4.481 65	0.005 47
	22 258.160 09	-4.842 85	0.005 72		6 260.237 95	-4.512 98	0.005 48
	23 258.185 63	-4.814 26	0.005 70		7 260.282 25	-4.541 14	0.005 50
	24 258.205 23	-4.804 88	0.005 69		8 260.337 26	-4.561 19	0.005 51
	25 258.227 98	-4.816 17	0.005 70		9 260.399 47	-4.569 43	0.005 52
	26 258.263 08	-4.844 64	0.005 72		10 260.464 27	-4.563 76	0.005 51
	27 258.317 48	-4.882 20	0.005 74		11 260.526 35	-4.544 05	0.005 50
	28 258.393 67	-4.917 81	0.005 76		12 260.580 17	-4.512 51	0.005 48
	29 258.488 53	-4.940 22	0.005 77		13 260.620 86	-4.473 99	0.005 46
	30 258.593 68	-4.941 18	0.005 77		14 260.645 46	-4.435 83	0.005 43
	31 258.697 61	-4.918 08	0.005 76		15 260.654 25	-4.406 91	0.005 41
Août	1 258.789 03	-4.874 85	0.005 73		16 260.651 84	-4.395 66	0.005 41
	2 258.860 27	-4.820 55	0.005 69		17 260.646 87	-4.407 27	0.005 41
	3 258.909 17	-4.766 28	0.005 66		18 260.650 04	-4.441 25	0.005 43
	4 258.938 93	-4.721 81	0.005 63		19 260.670 72	-4.490 79	0.005 47
	5 258.956 32	-4.693 26	0.005 61		20 260.713 68	-4.544 47	0.005 50
	6 258.969 35	-4.682 46	0.005 61		21 260.777 36	-4.589 96	0.005 53
	7 258.985 34	-4.687 56	0.005 61		22 260.854 60	-4.617 79	0.005 54
	8 259.009 81	-4.704 25	0.005 62		23 260.935 10	-4.623 80	0.005 55
	9 259.046 07	-4.726 97	0.005 63		24 261.008 47	-4.609 67	0.005 54
	10 259.095 31	-4.749 86	0.005 65		25 261.066 74	-4.581 74	0.005 52
	11 259.156 77	-4.767 42	0.005 66		26 261.105 92	-4.548 92	0.005 50
	12 259.228 01	-4.774 95	0.005 66		27 261.126 27	-4.520 46	0.005 48
	13 259.305 07	-4.769 02	0.005 66		28 261.131 78	-4.503 88	0.005 47
	14 259.382 80	-4.747 97	0.005 64		29 261.128 86	-4.503 74	0.005 47
	15 259.455 29	-4.712 47	0.005 62		30 261.124 78	-4.521 05	0.005 48
	16 259.516 77	-4.665 93	0.005 59	Oct.	1 261.126 22	-4.553 59	0.005 50

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2012 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Oct. 2	261.138 11	-4.596 76	0.005 53	Nov. 17	263.307 21	-5.800 61	0.006 27
3	261.163 17	-4.644 67	0.005 56	18	263.405 06	-5.796 26	0.006 26
4	261.201 73	-4.691 30	0.005 59	19	263.482 95	-5.780 45	0.006 25
5	261.252 12	-4.731 32	0.005 61	20	263.539 59	-5.764 19	0.006 24
6	261.311 10	-4.760 67	0.005 63	21	263.578 55	-5.756 49	0.006 23
7	261.374 32	-4.776 95	0.005 64	22	263.606 20	-5.762 93	0.006 24
8	261.436 85	-4.779 59	0.005 64	23	263.629 81	-5.785 52	0.006 25
9	261.493 58	-4.770 06	0.005 63	24	263.656 24	-5.823 15	0.006 28
10	261.539 86	-4.752 05	0.005 62	25	263.690 99	-5.872 36	0.006 31
11	261.572 26	-4.731 46	0.005 61	26	263.737 79	-5.928 16	0.006 34
12	261.589 67	-4.716 10	0.005 60	27	263.798 22	-5.984 84	0.006 38
13	261.594 52	-4.714 48	0.005 60	28	263.871 78	-6.036 72	0.006 41
14	261.593 39	-4.733 71	0.005 61	29	263.956 01	-6.078 97	0.006 43
15	261.596 44	-4.776 64	0.005 64	30	264.046 94	-6.108 18	0.006 45
16	261.614 72	-4.839 56	0.005 68	Déc. 1	264.139 62	-6.122 89	0.006 46
17	261.656 13	-4.912 15	0.005 72	2	264.228 88	-6.123 75	0.006 46
18	261.721 91	-4.980 57	0.005 76	3	264.310 02	-6.113 52	0.006 45
19	261.805 87	-5.032 49	0.005 80	4	264.379 47	-6.096 81	0.006 44
20	261.896 82	-5.061 28	0.005 81	5	264.435 48	-6.079 65	0.006 43
21	261.982 71	-5.067 45	0.005 82	6	264.478 58	-6.068 80	0.006 42
22	262.054 24	-5.057 29	0.005 81	7	264.512 07	-6.070 86	0.006 42
23	262.106 71	-5.040 09	0.005 80	8	264.542 19	-6.090 92	0.006 43
24	262.140 07	-5.025 37	0.005 79	9	264.577 63	-6.130 88	0.006 46
25	262.158 06	-5.020 83	0.005 78	10	264.628 04	-6.187 82	0.006 49
26	262.166 73	-5.031 31	0.005 79	11	264.701 28	-6.253 10	0.006 53
27	262.173 04	-5.058 43	0.005 81	12	264.799 89	-6.313 74	0.006 57
28	262.183 61	-5.100 76	0.005 84	13	264.918 67	-6.356 37	0.006 60
29	262.203 74	-5.154 48	0.005 87	14	265.045 47	-6.372 53	0.006 61
30	262.236 75	-5.214 19	0.005 91	15	265.165 53	-6.362 36	0.006 60
31	262.283 70	-5.273 92	0.005 94	16	265.267 10	-6.334 03	0.006 58
Nov. 1	262.343 46	-5.328 05	0.005 98	17	265.345 13	-6.299 80	0.006 56
2	262.413 08	-5.372 09	0.006 00	18	265.401 41	-6.271 22	0.006 54
3	262.488 34	-5.403 17	0.006 02	19	265.442 28	-6.256 11	0.006 53
4	262.564 32	-5.420 35	0.006 03	20	265.475 89	-6.257 68	0.006 53
5	262.636 04	-5.424 71	0.006 04	21	265.509 98	-6.275 24	0.006 54
6	262.699 01	-5.419 36	0.006 03	22	265.550 73	-6.305 39	0.006 56
7	262.749 84	-5.409 27	0.006 02	23	265.602 29	-6.343 12	0.006 58
8	262.786 96	-5.401 01	0.006 02	24	265.666 66	-6.382 78	0.006 60
9	262.811 42	-5.402 10	0.006 02	25	265.743 82	-6.418 72	0.006 63
10	262.827 66	-5.419 77	0.006 03	26	265.831 84	-6.445 95	0.006 64
11	262.843 69	-5.458 91	0.006 05	27	265.927 22	-6.460 69	0.006 65
12	262.870 04	-5.519 62	0.006 09	28	266.025 26	-6.460 85	0.006 65
13	262.916 83	-5.595 40	0.006 14	29	266.120 69	-6.446 43	0.006 64
14	262.989 64	-5.673 77	0.006 19	30	266.208 40	-6.419 69	0.006 62
15	263.086 28	-5.740 16	0.006 23	31	266.284 32	-6.384 97	0.006 60
16	263.196 78	-5.783 53	0.006 26	32	266.346 17	-6.348 19	0.006 57

SOLEIL

Longitude, latitude, rayon vecteur	II. 22
Ascension droite et déclinaison apparentes, temps de passage ..	II. 26
Coordonnées rectangulaires (X, Y, Z)	II. 30

(1) Temps de passage au méridien des éphémérides (*cf.* § 8.1.3) dans l'échelle TT ou temps de passage au méridien de Greenwich dans l'échelle TU.

SOLEIL 2012 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	278 46 18.32	+6.47	0.983 354 42	Févr.	15	325 31 36.31	+2.94	0.987 574 29
	1	279 47 27.51	+6.41	0.983 329 81		16	326 32 13.36	+2.99	0.987 777 01
	2	280 48 36.55	+6.32	0.983 310 23		17	327 32 49.24	+3.03	0.987 982 96
	3	281 49 45.40	+6.21	0.983 295 94		18	328 33 23.92	+3.06	0.988 191 80
	4	282 50 54.05	+6.08	0.983 287 16		19	329 33 57.32	+3.07	0.988 403 22
	5	283 52 2.46	+5.93	0.983 284 10		20	330 34 29.35	+3.07	0.988 616 96
	6	284 53 10.64	+5.76	0.983 286 95		21	331 34 59.94	+3.03	0.988 832 84
	7	285 54 18.58	+5.60	0.983 295 91		22	332 35 29.01	+2.97	0.989 050 74
	8	286 55 26.27	+5.43	0.983 311 12		23	333 35 56.47	+2.88	0.989 270 58
	9	287 56 33.74	+5.27	0.983 332 70		24	334 36 22.24	+2.76	0.989 492 36
	10	288 57 41.00	+5.13	0.983 360 72		25	335 36 46.25	+2.61	0.989 716 10
	11	289 58 48.08	+5.00	0.983 395 19		26	336 37 8.44	+2.44	0.989 941 88
	12	290 59 55.00	+4.90	0.983 436 05		27	337 37 28.74	+2.25	0.990 169 78
	13	292 1 1.79	+4.83	0.983 483 16		28	338 37 47.11	+2.04	0.990 399 92
14	293 2 8.46	+4.79	0.983 536 32	29	339 38 3.51	+1.82	0.990 632 43		
15	294 3 15.03	+4.78	0.983 595 27	Mars	1	340 38 17.89	+1.59	0.990 867 46	
16	295 4 21.49	+4.80	0.983 659 69		2	341 38 30.24	+1.37	0.991 105 16	
17	296 5 27.82	+4.84	0.983 729 23		3	342 38 40.52	+1.15	0.991 345 69	
18	297 6 33.98	+4.91	0.983 803 53		4	343 38 48.74	+0.94	0.991 589 25	
19	298 7 39.92	+4.99	0.983 882 22		5	344 38 54.90	+0.75	0.991 836 01	
20	299 8 45.56	+5.07	0.983 964 99		6	345 38 59.01	+0.58	0.992 086 15	
21	300 9 50.82	+5.15	0.984 051 55		7	346 39 1.11	+0.44	0.992 339 81	
22	301 10 55.61	+5.21	0.984 141 69		8	347 39 1.23	+0.34	0.992 597 12	
23	302 11 59.81	+5.26	0.984 235 28		9	348 38 59.44	+0.26	0.992 858 10	
24	303 13 3.33	+5.29	0.984 332 26		10	349 38 55.80	+0.22	0.993 122 68	
25	304 14 6.07	+5.29	0.984 432 64		11	350 38 50.37	+0.21	0.993 390 71	
26	305 15 7.93	+5.25	0.984 536 51		12	351 38 43.22	+0.22	0.993 661 92	
27	306 16 8.82	+5.19	0.984 643 98		13	352 38 34.39	+0.24	0.993 935 96	
28	307 17 8.68	+5.09	0.984 755 20		14	353 38 23.90	+0.27	0.994 212 44	
29	308 18 7.43	+4.97	0.984 870 35	15	354 38 11.77	+0.30	0.994 490 93		
30	309 19 5.03	+4.82	0.984 989 60	16	355 37 57.99	+0.32	0.994 771 00		
31	310 20 1.42	+4.65	0.985 113 14	17	356 37 42.53	+0.32	0.995 052 26		
Févr.	1	311 20 56.56	+4.46	0.985 241 16	18	357 37 25.36	+0.31	0.995 334 34	
	2	312 21 50.43	+4.26	0.985 373 84	19	358 37 6.42	+0.27	0.995 616 92	
	3	313 22 43.00	+4.06	0.985 511 37	20	359 36 45.68	+0.20	0.995 899 73	
	4	314 23 34.25	+3.85	0.985 653 94	21	0 36 23.06	+0.10	0.996 182 55	
	5	315 24 24.18	+3.65	0.985 801 73	22	1 35 58.52	-0.02	0.996 465 20	
	6	316 25 12.81	+3.47	0.985 954 89	23	2 35 31.98	-0.18	0.996 747 58	
	7	317 26 0.14	+3.30	0.986 113 55	24	3 35 3.41	-0.35	0.997 029 61	
	8	318 26 46.20	+3.15	0.986 277 79	25	4 34 32.73	-0.55	0.997 311 24	
	9	319 27 31.04	+3.04	0.986 447 62	26	5 33 59.90	-0.76	0.997 592 50	
	10	320 28 14.69	+2.95	0.986 622 97	27	6 33 24.88	-0.98	0.997 873 42	
	11	321 28 57.20	+2.90	0.986 803 69	28	7 32 47.62	-1.21	0.998 154 07	
	12	322 29 38.60	+2.88	0.986 989 52	29	8 32 8.10	-1.43	0.998 434 55	
	13	323 30 18.92	+2.88	0.987 180 14	30	9 31 26.29	-1.65	0.998 714 96	
	14	324 30 58.16	+2.91	0.987 375 20	31	10 30 42.16	-1.86	0.998 995 46	

SOLEIL 2012 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2451545.0).

Date	longitude			latitude	rayon v.	Date	longitude			latitude	rayon v.		
	°	'	"	"	ua		°	'	"	"	ua		
Avril	1	11	29	55.72	-2.05	0.999 276 22	Mai	17	56	19	33.57	-4.81	1.011 335 56
	2	12	29	6.96	-2.22	0.999 557 41		18	57	17	22.64	-4.95	1.011 547 00
	3	13	28	15.88	-2.36	0.999 839 25		19	58	15	10.44	-5.10	1.011 754 01
	4	14	27	22.53	-2.46	1.000 121 95		20	59	12	56.94	-5.27	1.011 956 44
	5	15	26	26.94	-2.54	1.000 405 70		21	60	10	42.14	-5.45	1.012 154 17
	6	16	25	29.18	-2.58	1.000 690 64		22	61	8	25.99	-5.62	1.012 347 11
	7	17	24	29.33	-2.59	1.000 976 85		23	62	6	8.48	-5.79	1.012 535 23
	8	18	23	27.46	-2.57	1.001 264 30		24	63	3	49.59	-5.95	1.012 718 53
	9	19	22	23.67	-2.54	1.001 552 84		25	64	1	29.29	-6.09	1.012 897 06
	10	20	21	18.05	-2.50	1.001 842 22		26	64	59	7.56	-6.21	1.013 070 90
	11	21	20	10.64	-2.45	1.002 132 08		27	65	56	44.40	-6.31	1.013 240 18
	12	22	19	1.51	-2.41	1.002 422 04		28	66	54	19.80	-6.37	1.013 405 10
	13	23	17	50.69	-2.39	1.002 711 67		29	67	51	53.76	-6.40	1.013 565 85
	14	24	16	38.17	-2.39	1.003 000 56		30	68	49	26.29	-6.40	1.013 722 70
	15	25	15	23.97	-2.41	1.003 288 32		31	69	46	57.42	-6.37	1.013 875 94
16	26	14	8.06	-2.46	1.003 574 59	Juin	1	70	44	27.20	-6.30	1.014 025 86	
17	27	12	50.43	-2.54	1.003 859 06		2	71	41	55.69	-6.21	1.014 172 75	
18	28	11	31.05	-2.64	1.004 141 45		3	72	39	22.98	-6.10	1.014 316 84	
19	29	10	9.88	-2.78	1.004 421 53		4	73	36	49.15	-5.99	1.014 458 30	
20	30	8	46.89	-2.93	1.004 699 11		5	74	34	14.33	-5.87	1.014 597 19	
21	31	7	22.04	-3.11	1.004 974 05		6	75	31	38.63	-5.76	1.014 733 45	
22	32	5	55.30	-3.30	1.005 246 22		7	76	29	2.15	-5.67	1.014 866 91	
23	33	4	26.62	-3.50	1.005 515 58		8	77	26	24.97	-5.60	1.014 997 32	
24	34	2	55.98	-3.71	1.005 782 09		9	78	23	47.19	-5.55	1.015 124 37	
25	35	1	23.34	-3.92	1.006 045 77		10	79	21	8.85	-5.54	1.015 247 75	
26	35	59	48.67	-4.12	1.006 306 65	11	80	18	30.00	-5.56	1.015 367 12		
27	36	58	11.96	-4.31	1.006 564 83	12	81	15	50.68	-5.60	1.015 482 17		
28	37	56	33.18	-4.48	1.006 820 42	13	82	13	10.90	-5.66	1.015 592 60		
29	38	54	52.33	-4.63	1.007 073 57	14	83	10	30.69	-5.75	1.015 698 16		
30	39	53	9.39	-4.76	1.007 324 46	15	84	7	50.05	-5.86	1.015 798 60		
Mai	1	40	51	24.39	-4.85	1.007 573 32	16	85	5	8.97	-5.98	1.015 893 70	
	2	41	49	37.34	-4.91	1.007 820 37	17	86	2	27.47	-6.11	1.015 983 28	
	3	42	47	48.28	-4.93	1.008 065 88	18	86	59	45.52	-6.24	1.016 067 19	
	4	43	45	57.27	-4.93	1.008 310 07	19	87	57	3.11	-6.36	1.016 145 29	
	5	44	44	4.37	-4.89	1.008 553 16	20	88	54	20.24	-6.48	1.016 217 50	
	6	45	42	9.69	-4.83	1.008 795 25	21	89	51	36.87	-6.58	1.016 283 79	
	7	46	40	13.33	-4.76	1.009 036 36	22	90	48	52.99	-6.66	1.016 344 16	
	8	47	38	15.39	-4.68	1.009 276 38	23	91	46	8.58	-6.71	1.016 398 65	
	9	48	36	15.96	-4.60	1.009 515 09	24	92	43	23.62	-6.74	1.016 447 40	
	10	49	34	15.13	-4.54	1.009 752 17	25	93	40	38.09	-6.73	1.016 490 55	
	11	50	32	12.97	-4.50	1.009 987 26	26	94	37	51.99	-6.69	1.016 528 33	
	12	51	30	9.52	-4.48	1.010 219 99	27	95	35	5.32	-6.62	1.016 561 00	
	13	52	28	4.80	-4.49	1.010 449 96	28	96	32	18.10	-6.52	1.016 588 87	
	14	53	25	58.85	-4.53	1.010 676 81	29	97	29	30.35	-6.39	1.016 612 26	
	15	54	23	51.66	-4.60	1.010 900 22	30	98	26	42.12	-6.25	1.016 631 53	
	16	55	21	43.24	-4.69	1.011 119 90	Juill.	1	99	23	53.49	-6.09	1.016 646 99

SOLEIL 2012 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.	2	100 21 4.52	-5.93	1.016 658 92	Août	17	144 19 23.29	-3.87	1.012 446 60
	3	101 18 15.34	-5.77	1.016 667 52		18	145 17 6.52	-3.80	1.012 254 76
	4	102 15 26.03	-5.63	1.016 672 89		19	146 14 51.07	-3.69	1.012 057 93
	5	103 12 36.72	-5.50	1.016 675 02		20	147 12 36.87	-3.55	1.011 856 18
	6	104 9 47.51	-5.40	1.016 673 83		21	148 10 23.90	-3.39	1.011 649 69
	7	105 6 58.48	-5.33	1.016 669 13		22	149 8 12.11	-3.20	1.011 438 70
	8	106 4 9.73	-5.29	1.016 660 69		23	150 6 1.49	-2.99	1.011 223 50
	9	107 1 21.32	-5.28	1.016 648 27		24	151 3 52.01	-2.76	1.011 004 47
	10	107 58 33.30	-5.29	1.016 631 61		25	152 1 43.69	-2.54	1.010 782 00
	11	108 55 45.71	-5.33	1.016 610 44		26	152 59 36.55	-2.31	1.010 556 51
	12	109 52 58.59	-5.38	1.016 584 52		27	153 57 30.63	-2.10	1.010 328 39
	13	110 50 11.96	-5.45	1.016 553 63		28	154 55 25.98	-1.90	1.010 098 01
	14	111 47 25.84	-5.52	1.016 517 54		29	155 53 22.67	-1.73	1.009 865 68
	15	112 44 40.24	-5.60	1.016 476 05		30	156 51 20.78	-1.58	1.009 631 65
	16	113 41 55.15	-5.68	1.016 429 00		31	157 49 20.38	-1.47	1.009 396 12
	17	114 39 10.59	-5.75	1.016 376 22		Sept.	1	158 47 21.58	-1.38
18	115 36 26.54	-5.80	1.016 317 58	2	159 45 24.44		-1.32	1.008 920 87	
19	116 33 42.97	-5.84	1.016 253 01	3	160 43 29.05		-1.28	1.008 681 19	
20	117 30 59.88	-5.85	1.016 182 44	4	161 41 35.48		-1.27	1.008 440 06	
21	118 28 17.22	-5.84	1.016 105 91	5	162 39 43.77		-1.27	1.008 197 38	
22	119 25 34.98	-5.79	1.016 023 47	6	163 37 54.00		-1.28	1.007 953 03	
23	120 22 53.13	-5.72	1.015 935 26	7	164 36 6.20		-1.30	1.007 706 88	
24	121 20 11.65	-5.61	1.015 841 49	8	165 34 20.40		-1.32	1.007 458 78	
25	122 17 30.52	-5.47	1.015 742 41	9	166 32 36.63		-1.34	1.007 208 57	
26	123 14 49.74	-5.31	1.015 638 35	10	167 30 54.92		-1.34	1.006 956 08	
27	124 12 9.33	-5.13	1.015 529 66	11	168 29 15.28		-1.33	1.006 701 15	
28	125 9 29.30	-4.93	1.015 416 72	12	169 27 37.69	-1.29	1.006 443 61		
29	126 6 49.72	-4.73	1.015 299 90	13	170 26 2.17	-1.23	1.006 183 28		
30	127 4 10.64	-4.54	1.015 179 55	14	171 24 28.68	-1.14	1.005 920 03		
31	128 1 32.14	-4.35	1.015 055 97	15	172 22 57.19	-1.02	1.005 653 71		
Août	1	128 58 54.32	-4.18	1.014 929 39	16	173 21 27.66	-0.87	1.005 384 26	
	2	129 56 17.27	-4.04	1.014 799 95	17	174 20 0.03	-0.69	1.005 111 67	
	3	130 53 41.10	-3.92	1.014 667 71	18	175 18 34.24	-0.49	1.004 836 02	
	4	131 51 5.90	-3.83	1.014 532 65	19	176 17 10.23	-0.26	1.004 557 49	
	5	132 48 31.76	-3.77	1.014 394 65	20	177 15 47.94	-0.02	1.004 276 34	
	6	133 45 58.76	-3.74	1.014 253 60	21	178 14 27.33	+0.22	1.003 992 93	
	7	134 43 26.97	-3.73	1.014 109 30	22	179 13 8.38	+0.46	1.003 707 64	
	8	135 40 56.44	-3.74	1.013 961 58	23	180 11 51.08	+0.69	1.003 420 91	
	9	136 38 27.22	-3.77	1.013 810 23	24	181 10 35.44	+0.89	1.003 133 16	
	10	137 35 59.34	-3.81	1.013 655 05	25	182 9 21.48	+1.08	1.002 844 79	
	11	138 33 32.84	-3.85	1.013 495 86	26	183 8 9.24	+1.24	1.002 556 18	
	12	139 31 7.73	-3.88	1.013 332 47	27	184 6 58.77	+1.36	1.002 267 65	
	13	140 28 44.03	-3.92	1.013 164 70	28	185 5 50.13	+1.46	1.001 979 47	
	14	141 26 21.75	-3.94	1.012 992 37	29	186 4 43.38	+1.53	1.001 691 84	
	15	142 24 0.87	-3.94	1.012 815 33	30	187 3 38.58	+1.57	1.001 404 93	
	16	143 21 41.39	-3.92	1.012 633 44	Oct.	1	188 2 35.79	+1.59	1.001 118 81

SOLEIL 2012 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		
Oct.	2	189	1	35.08	+1.59	1.000 833 54	Nov.	17	234	51	56.00	+5.69	0.988 704 37
	3	190	0	36.50	+1.57	1.000 549 12		18	235	52	27.18	+5.84	0.988 487 19
	4	190	59	40.09	+1.55	1.000 265 51		19	236	52	59.64	+5.97	0.988 272 64
	5	191	58	45.91	+1.53	0.999 982 64		20	237	53	33.33	+6.06	0.988 061 12
	6	192	57	53.97	+1.51	0.999 700 41		21	238	54	8.21	+6.12	0.987 853 02
	7	193	57	4.31	+1.50	0.999 418 73		22	239	54	44.27	+6.15	0.987 648 69
	8	194	56	16.96	+1.51	0.999 137 46		23	240	55	21.50	+6.15	0.987 448 48
	9	195	55	31.92	+1.53	0.998 856 44		24	241	55	59.91	+6.11	0.987 252 67
	10	196	54	49.19	+1.58	0.998 575 53		25	242	56	39.49	+6.06	0.987 061 53
	11	197	54	8.78	+1.66	0.998 294 52		26	243	57	20.27	+5.99	0.986 875 26
	12	198	53	30.67	+1.77	0.998 013 25		27	244	58	2.25	+5.90	0.986 694 05
	13	199	52	54.82	+1.91	0.997 731 51		28	245	58	45.46	+5.81	0.986 518 03
	14	200	52	21.18	+2.07	0.997 449 16		29	246	59	29.91	+5.72	0.986 347 31
	15	201	51	49.70	+2.27	0.997 166 06		30	248	0	15.62	+5.64	0.986 181 93
	16	202	51	20.29	+2.49	0.996 882 19		1	249	1	2.62	+5.57	0.986 021 92
	17	203	50	52.87	+2.72	0.996 597 61		2	250	1	50.92	+5.51	0.985 867 25
18	204	50	27.36	+2.96	0.996 312 47	3	251	2	40.53	+5.47	0.985 717 87		
19	205	50	3.68	+3.20	0.996 027 06	4	252	3	31.47	+5.46	0.985 573 67		
20	206	49	41.76	+3.42	0.995 741 72	5	253	4	23.73	+5.48	0.985 434 53		
21	207	49	21.57	+3.63	0.995 456 87	6	254	5	17.31	+5.52	0.985 300 26		
22	208	49	3.06	+3.81	0.995 172 93	7	255	6	12.20	+5.60	0.985 170 66		
23	209	48	46.24	+3.96	0.994 890 32	8	256	7	8.39	+5.70	0.985 045 48		
24	210	48	31.12	+4.08	0.994 609 44	9	257	8	5.84	+5.82	0.984 924 45		
25	211	48	17.69	+4.16	0.994 330 65	10	258	9	4.49	+5.97	0.984 807 29		
26	212	48	6.00	+4.22	0.994 054 26	11	259	10	4.28	+6.13	0.984 693 72		
27	213	47	56.07	+4.24	0.993 780 55	12	260	11	5.11	+6.29	0.984 583 49		
28	214	47	47.94	+4.25	0.993 509 74	13	261	12	6.89	+6.45	0.984 476 46		
29	215	47	41.64	+4.23	0.993 242 00	14	262	13	9.48	+6.59	0.984 372 55		
30	216	47	37.23	+4.19	0.992 977 46	15	263	14	12.77	+6.71	0.984 271 84		
31	217	47	34.73	+4.15	0.992 716 20	16	264	15	16.65	+6.80	0.984 174 48		
Nov.	1	218	47	34.18	+4.10	0.992 458 26	17	265	16	21.00	+6.86	0.984 080 74	
	2	219	47	35.61	+4.05	0.992 203 66	18	266	17	25.76	+6.88	0.983 990 93	
	3	220	47	39.06	+4.01	0.991 952 34	19	267	18	30.86	+6.86	0.983 905 38	
	4	221	47	44.54	+3.99	0.991 704 26	20	268	19	36.24	+6.82	0.983 824 42	
	5	222	47	52.07	+3.98	0.991 459 31	21	269	20	41.86	+6.74	0.983 748 37	
	6	223	48	1.66	+4.00	0.991 217 38	22	270	21	47.72	+6.65	0.983 677 50	
	7	224	48	13.32	+4.04	0.990 978 31	23	271	22	53.77	+6.53	0.983 612 08	
	8	225	48	27.05	+4.11	0.990 741 93	24	272	24	0.03	+6.40	0.983 552 33	
	9	226	48	42.82	+4.21	0.990 508 03	25	273	25	6.47	+6.26	0.983 498 44	
	10	227	49	0.61	+4.34	0.990 276 39	26	274	26	13.10	+6.12	0.983 450 57	
	11	228	49	20.38	+4.50	0.990 046 78	27	275	27	19.93	+5.98	0.983 408 87	
	12	229	49	42.06	+4.68	0.989 818 98	28	276	28	26.97	+5.86	0.983 373 42	
	13	230	50	5.58	+4.88	0.989 592 83	29	277	29	34.21	+5.75	0.983 344 29	
	14	231	50	30.84	+5.09	0.989 368 22	30	278	30	41.69	+5.66	0.983 321 49	
	15	232	50	57.73	+5.30	0.989 145 17	31	279	31	49.40	+5.59	0.983 305 00	
	16	233	51	26.15	+5.50	0.988 923 81	32	280	32	57.37	+5.55	0.983 294 74	

SOLEIL 2012 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 38 54.537	-23 8 7.14	12 2 50.05	Févr.	15	21 51 48.943	-12 57 13.25	12 14 7.18
	1	18 43 19.806	-23 3 46.73	12 3 18.63		16	21 55 42.871	-12 36 40.41	12 14 4.18
	2	18 47 44.765	-22 58 58.70	12 3 46.88		17	21 59 36.098	-12 15 55.28	12 14 0.50
	3	18 52 9.385	-22 53 43.21	12 4 14.77		18	22 3 28.634	-11 54 58.32	12 13 56.12
	4	18 56 33.635	-22 48 0.41	12 4 42.27		19	22 7 20.486	-11 33 49.95	12 13 51.07
	5	19 0 57.489	-22 41 50.48	12 5 9.37		20	22 11 11.664	-11 12 30.61	12 13 45.36
	6	19 5 20.917	-22 35 13.60	12 5 36.02		21	22 15 2.179	-10 51 0.74	12 13 38.99
	7	19 9 43.895	-22 28 9.96	12 6 2.20		22	22 18 52.040	-10 29 20.77	12 13 31.97
	8	19 14 6.396	-22 20 39.76	12 6 27.90		23	22 22 41.260	-10 7 31.11	12 13 24.33
	9	19 18 28.397	-22 12 43.23	12 6 53.08		24	22 26 29.853	-9 45 32.20	12 13 16.06
	10	19 22 49.873	-22 4 20.56	12 7 17.73		25	22 30 17.832	-9 23 24.45	12 13 7.18
	11	19 27 10.804	-21 55 32.00	12 7 41.83		26	22 34 5.211	-9 1 8.28	12 12 57.71
	12	19 31 31.170	-21 46 17.78	12 8 5.35		27	22 37 52.006	-8 38 44.11	12 12 47.67
	13	19 35 50.951	-21 36 38.12	12 8 28.29		28	22 41 38.233	-8 16 12.34	12 12 37.06
14	19 40 10.132	-21 26 33.30	12 8 50.61	29	22 45 23.907	-7 53 33.38	12 12 25.90		
15	19 44 28.695	-21 16 3.56	12 9 12.31	Mars	1	22 49 9.045	-7 30 47.64	12 12 14.22	
16	19 48 46.626	-21 5 9.21	12 9 33.37		2	22 52 53.664	-7 7 55.51	12 12 2.03	
17	19 53 3.907	-20 53 50.53	12 9 53.76		3	22 56 37.781	-6 44 57.40	12 11 49.34	
18	19 57 20.524	-20 42 7.84	12 10 13.48		4	23 0 21.414	-6 21 53.69	12 11 36.18	
19	20 1 36.458	-20 30 1.50	12 10 32.50		5	23 4 4.583	-5 58 44.78	12 11 22.57	
20	20 5 51.690	-20 17 31.84	12 10 50.81	6	23 7 47.307	-5 35 31.03	12 11 8.52		
21	20 10 6.201	-20 4 39.23	12 11 8.39	7	23 11 29.608	-5 12 12.81	12 10 54.07		
22	20 14 19.973	-19 51 24.04	12 11 25.22	8	23 15 11.510	-4 48 50.49	12 10 39.24		
23	20 18 32.987	-19 37 46.64	12 11 41.29	9	23 18 53.036	-4 25 24.40	12 10 24.04		
24	20 22 45.227	-19 23 47.40	12 11 56.57	10	23 22 34.214	-4 1 54.90	12 10 8.51		
25	20 26 56.679	-19 9 26.71	12 12 11.07	11	23 26 15.070	-3 38 22.31	12 9 52.66		
26	20 31 7.332	-18 54 44.94	12 12 24.76	12	23 29 55.631	-3 14 46.99	12 9 36.53		
27	20 35 17.176	-18 39 42.48	12 12 37.64	13	23 33 35.920	-2 51 9.31	12 9 20.14		
28	20 39 26.203	-18 24 19.73	12 12 49.71	14	23 37 15.959	-2 27 29.63	12 9 3.50		
29	20 43 34.408	-18 8 37.06	12 13 0.94	15	23 40 55.769	-2 3 48.34	12 8 46.65		
30	20 47 41.787	-17 52 34.89	12 13 11.35	16	23 44 35.369	-1 40 5.82	12 8 29.59		
Févr.	31	20 51 48.336	-17 36 13.61	12 13 20.92	17	23 48 14.776	-1 16 22.46	12 8 12.36	
	1	20 55 54.053	-17 19 33.62	12 13 29.66	18	23 51 54.009	-0 52 38.65	12 7 54.96	
	2	20 59 58.939	-17 2 35.33	12 13 37.56	19	23 55 33.086	-0 28 54.78	12 7 37.42	
	3	21 4 2.994	-16 45 19.15	12 13 44.63	20	23 59 12.025	-0 5 11.23	12 7 19.75	
	4	21 8 6.219	-16 27 45.46	12 13 50.88	21	0 2 50.843	0 18 31.62	12 7 1.97	
	5	21 12 8.617	-16 9 54.69	12 13 56.30	22	0 6 29.560	0 42 13.39	12 6 44.10	
	6	21 16 10.193	-15 51 47.23	12 14 0.90	23	0 10 8.193	1 5 53.70	12 6 26.15	
	7	21 20 10.954	-15 33 23.47	12 14 4.69	24	0 13 46.759	1 29 32.18	12 6 8.15	
	8	21 24 10.906	-15 14 43.81	12 14 7.68	25	0 17 25.278	1 53 8.46	12 5 50.10	
	9	21 28 10.060	-14 55 48.63	12 14 9.88	26	0 21 3.766	2 16 42.17	12 5 32.04	
	10	21 32 8.427	-14 36 38.30	12 14 11.30	27	0 24 42.242	2 40 12.95	12 5 13.96	
	11	21 36 6.021	-14 17 13.23	12 14 11.96	28	0 28 20.721	3 3 40.43	12 4 55.90	
	12	21 40 2.856	-13 57 33.78	12 14 11.86	29	0 31 59.223	3 27 4.25	12 4 37.86	
	13	21 43 58.946	-13 37 40.36	12 14 11.03	30	0 35 37.763	3 50 24.05	12 4 19.88	
14	21 47 54.305	-13 17 33.38	12 14 9.46	31	0 39 16.360	4 13 39.46	12 4 1.96		

SOLEIL 2012 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	1	0	42	55.031	4	36	50.15	12	3	44.12	Mai	17	3	36	45.715	19	22	9.50	11	56	23.31
	2	0	46	33.794	4	59	55.76	12	3	26.39		18	3	40	44.466	19	35	26.93	11	56	25.79
	3	0	50	12.668	5	22	55.95	12	3	8.78		19	3	44	43.782	19	48	24.37	11	56	28.83
	4	0	53	51.674	5	45	50.38	12	2	51.31		20	3	48	43.652	20	1	1.54	11	56	32.41
	5	0	57	30.833	6	8	38.72	12	2	34.01		21	3	52	44.068	20	13	18.21	11	56	36.54
	6	1	1	10.168	6	31	20.67	12	2	16.90		22	3	56	45.017	20	25	14.11	11	56	41.19
	7	1	4	49.705	6	53	55.92	12	2	0.00		23	4	0	46.486	20	36	49.00	11	56	46.35
	8	1	8	29.468	7	16	24.15	12	1	43.34		24	4	4	48.462	20	48	2.64	11	56	52.01
	9	1	12	9.481	7	38	45.07	12	1	26.93		25	4	8	50.930	20	58	54.78	11	56	58.16
	10	1	15	49.766	8	0	58.36	12	1	10.81		26	4	12	53.875	21	9	25.21	11	57	4.78
	11	1	19	30.342	8	23	3.68	12	0	54.98		27	4	16	57.281	21	19	33.69	11	57	11.85
	12	1	23	11.227	8	45	0.68	12	0	39.47		28	4	21	1.133	21	29	20.00	11	57	19.37
	13	1	26	52.438	9	6	49.02	12	0	24.29		29	4	25	5.417	21	38	43.95	11	57	27.31
	14	1	30	33.989	9	28	28.35	12	0	9.46		30	4	29	10.118	21	47	45.32	11	57	35.67
	15	1	34	15.896	9	49	58.31	11	59	55.01		31	4	33	15.222	21	56	23.93	11	57	44.42
16	1	37	58.174	10	11	18.56	11	59	40.93	Juin	1	4	37	20.718	22	4	39.60	11	57	53.55	
17	1	41	40.836	10	32	28.73	11	59	27.24		2	4	41	26.593	22	12	32.18	11	58	3.05	
18	1	45	23.895	10	53	28.50	11	59	13.96		3	4	45	32.836	22	20	1.50	11	58	12.92	
19	1	49	7.364	11	14	17.50	11	59	1.09		4	4	49	39.433	22	27	7.43	11	58	23.12	
20	1	52	51.255	11	34	55.41	11	58	48.65		5	4	53	46.371	22	33	49.81	11	58	33.66	
21	1	56	35.578	11	55	21.86	11	58	36.64	6	4	57	53.634	22	40	8.52	11	58	44.52		
22	2	0	20.344	12	15	36.54	11	58	25.08	7	5	2	1.206	22	46	3.39	11	58	55.67		
23	2	4	5.562	12	35	39.09	11	58	13.97	8	5	6	9.071	22	51	34.29	11	59	7.12		
24	2	7	51.240	12	55	29.18	11	58	3.33	9	5	10	17.211	22	56	41.08	11	59	18.84		
25	2	11	37.386	13	15	6.47	11	57	53.15	10	5	14	25.608	23	1	23.65	11	59	30.81		
26	2	15	24.007	13	34	30.63	11	57	43.46	11	5	18	34.243	23	5	41.88	11	59	43.00		
27	2	19	11.110	13	53	41.32	11	57	34.24	12	5	22	43.096	23	9	35.68	11	59	55.41		
28	2	22	58.701	14	12	38.21	11	57	25.52	13	5	26	52.145	23	13	4.97	12	0	8.00		
29	2	26	46.787	14	31	20.98	11	57	17.30	14	5	31	1.369	23	16	9.66	12	0	20.75		
30	2	30	35.374	14	49	49.29	11	57	9.59	15	5	35	10.742	23	18	49.70	12	0	33.63		
Mai	1	2	34	24.470	15	8	2.83	11	57	2.39	16	5	39	20.241	23	21	5.05	12	0	46.63	
	2	2	38	14.081	15	26	1.28	11	56	55.72	17	5	43	29.840	23	22	55.65	12	0	59.71	
	3	2	42	4.217	15	43	44.35	11	56	49.57	18	5	47	39.511	23	24	21.48	12	1	12.85	
	4	2	45	54.889	16	1	11.72	11	56	43.96	19	5	51	49.227	23	25	22.53	12	1	26.02	
	5	2	49	46.106	16	18	23.13	11	56	38.90	20	5	55	58.961	23	25	58.78	12	1	39.19	
	6	2	53	37.881	16	35	18.29	11	56	34.40	21	6	0	8.684	23	26	10.23	12	1	52.34	
	7	2	57	30.222	16	51	56.92	11	56	30.47	22	6	4	18.367	23	25	56.89	12	2	5.43	
	8	3	1	23.139	17	8	18.74	11	56	27.11	23	6	8	27.981	23	25	18.79	12	2	18.45	
	9	3	5	16.635	17	24	23.46	11	56	24.33	24	6	12	37.500	23	24	15.93	12	2	31.35	
	10	3	9	10.716	17	40	10.78	11	56	22.14	25	6	16	46.897	23	22	48.37	12	2	44.13	
	11	3	13	5.383	17	55	40.39	11	56	20.54	26	6	20	56.146	23	20	56.15	12	2	56.74	
	12	3	17	0.639	18	10	51.98	11	56	19.54	27	6	25	5.222	23	18	39.31	12	3	9.18	
	13	3	20	56.483	18	25	45.27	11	56	19.12	28	6	29	14.105	23	15	57.93	12	3	21.40	
	14	3	24	52.916	18	40	19.95	11	56	19.30	29	6	33	22.772	23	12	52.08	12	3	33.40	
	15	3	28	49.934	18	54	35.74	11	56	20.05	30	6	37	31.204	23	9	21.86	12	3	45.15	
	16	3	32	47.536	19	8	32.35	11	56	21.39	Juill.	1	6	41	39.382	23	5	27.36	12	3	56.63

SOLEIL 2012 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						
Juill.	2	6	45	47.287	23	1	8.69	12	4	7.83	Août	17	9	47	10.988	13	21	14.87	12	3	57.84
	3	6	49	54.901	22	56	25.95	12	4	18.72		18	9	50	54.471	13	1	56.24	12	3	44.53
	4	6	54	2.206	22	51	19.26	12	4	29.30		19	9	54	37.452	12	42	25.27	12	3	30.71
	5	6	58	9.185	22	45	48.72	12	4	39.55		20	9	58	19.940	12	22	42.28	12	3	16.41
	6	7	2	15.823	22	39	54.45	12	4	49.46		21	10	2	1.945	12	2	47.60	12	3	1.63
	7	7	6	22.106	22	33	36.57	12	4	59.00		22	10	5	43.477	11	42	41.57	12	2	46.38
	8	7	10	28.018	22	26	55.22	12	5	8.17		23	10	9	24.547	11	22	24.51	12	2	30.67
	9	7	14	33.546	22	19	50.54	12	5	16.95		24	10	13	5.168	11	1	56.75	12	2	14.52
	10	7	18	38.675	22	12	22.69	12	5	25.33		25	10	16	45.351	10	41	18.62	12	1	57.93
	11	7	22	43.391	22	4	31.85	12	5	33.28		26	10	20	25.111	10	20	30.44	12	1	40.93
	12	7	26	47.677	21	56	18.20	12	5	40.79		27	10	24	4.461	9	59	32.54	12	1	23.52
	13	7	30	51.519	21	47	41.93	12	5	47.84		28	10	27	43.417	9	38	25.22	12	1	5.73
	14	7	34	54.902	21	38	43.26	12	5	54.43		29	10	31	21.996	9	17	8.78	12	0	47.58
	15	7	38	57.809	21	29	22.39	12	6	0.53		30	10	35	0.216	8	55	43.54	12	0	29.08
	16	7	43	0.224	21	19	39.55	12	6	6.13		31	10	38	38.099	8	34	9.77	12	0	10.26
	17	7	47	2.133	21	9	34.97	12	6	11.22		Sept.	1	10	42	15.664	8	12	27.77	11	59
18	7	51	3.520	20	59	8.88	12	6	15.78	2	10		45	52.935	7	50	37.84	11	59	31.72	
19	7	55	4.369	20	48	21.52	12	6	19.79	3	10		49	29.932	7	28	40.26	11	59	12.04	
20	7	59	4.667	20	37	13.15	12	6	23.25	4	10		53	6.678	7	6	35.35	11	58	52.13	
21	8	3	4.398	20	25	44.01	12	6	26.13	5	10		56	43.194	6	44	23.41	11	58	31.99	
22	8	7	3.551	20	13	54.36	12	6	28.44	6	11	0	19.500	6	22	4.75	11	58	11.65		
23	8	11	2.114	20	1	44.46	12	6	30.15	7	11	3	55.616	5	59	39.70	11	57	51.13		
24	8	15	0.079	19	49	14.57	12	6	31.26	8	11	7	31.561	5	37	8.57	11	57	30.45		
25	8	18	57.439	19	36	24.96	12	6	31.76	9	11	11	7.355	5	14	31.71	11	57	9.62		
26	8	22	54.186	19	23	15.89	12	6	31.65	10	11	14	43.015	4	51	49.45	11	56	48.67		
27	8	26	50.318	19	9	47.64	12	6	30.91	11	11	18	18.559	4	29	2.11	11	56	27.61		
28	8	30	45.831	18	56	0.49	12	6	29.55	12	11	21	54.005	4	6	10.05	11	56	6.46		
29	8	34	40.723	18	41	54.72	12	6	27.56	13	11	25	29.370	3	43	13.60	11	55	45.25		
30	8	38	34.993	18	27	30.60	12	6	24.96	14	11	29	4.672	3	20	13.12	11	55	23.98		
31	8	42	28.642	18	12	48.41	12	6	21.73	15	11	32	39.927	2	57	8.95	11	55	2.68		
Août	1	8	46	21.671	17	57	48.41	12	6	17.89	16	11	36	15.151	2	34	1.45	11	54	41.35	
	2	8	50	14.083	17	42	30.87	12	6	13.44	17	11	39	50.362	2	10	50.96	11	54	20.02	
	3	8	54	5.885	17	26	56.06	12	6	8.38	18	11	43	25.577	1	47	37.83	11	53	58.70	
	4	8	57	57.082	17	11	4.23	12	6	2.73	19	11	47	0.814	1	24	22.42	11	53	37.41	
	5	9	1	47.683	16	54	55.66	12	5	56.48	20	11	50	36.088	1	1	5.08	11	53	16.16	
	6	9	5	37.695	16	38	30.63	12	5	49.65	21	11	54	11.417	0	37	46.15	11	52	54.97	
	7	9	9	27.126	16	21	49.41	12	5	42.24	22	11	57	46.816	0	14	26.00	11	52	33.85	
	8	9	13	15.983	16	4	52.31	12	5	34.26	23	12	1	22.305	-	0	8	55.04	11	52	12.84
	9	9	17	4.274	15	47	39.63	12	5	25.72	24	12	4	57.901	-	0	32	16.61	11	51	51.94
	10	9	20	52.005	15	30	11.67	12	5	16.61	25	12	8	33.624	-	0	55	38.39	11	51	31.19
	11	9	24	39.182	15	12	28.74	12	5	6.96	26	12	12	9.497	-	1	19	0.03	11	51	10.60
	12	9	28	25.814	14	54	31.16	12	4	56.76	27	12	15	45.541	-	1	42	21.22	11	50	50.19
	13	9	32	11.904	14	36	19.25	12	4	46.02	28	12	19	21.782	-	2	5	41.62	11	50	30.00
	14	9	35	57.461	14	17	53.34	12	4	34.76	29	12	22	58.244	-	2	29	0.93	11	50	10.03
	15	9	39	42.490	13	59	13.75	12	4	22.97	30	12	26	34.952	-	2	52	18.82	11	49	50.33
	16	9	43	26.997	13	40	20.82	12	4	10.66	Oct.	1	12	30	11.932	-	3	15	34.96	11	49

SOLEIL 2012 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.	2 12 33 49.207	- 3 38 49.02	11 49 11.79	Nov.	17 15 30 46.779	-19 1 27.42	11 45 3.19
	3 12 37 26.802	- 4 2 0.67	11 48 53.01		18 15 34 55.675	-19 15 52.22	11 45 15.92
	4 12 41 4.739	- 4 25 9.56	11 48 34.57		19 15 39 5.376	-19 29 56.24	11 45 29.46
	5 12 44 43.042	- 4 48 15.34	11 48 16.51		20 15 43 15.873	-19 43 39.08	11 45 43.79
	6 12 48 21.731	- 5 11 17.67	11 47 58.84		21 15 47 27.157	-19 57 0.39	11 45 58.91
	7 12 52 0.827	- 5 34 16.17	11 47 41.59		22 15 51 39.221	-20 9 59.81	11 46 14.80
	8 12 55 40.351	- 5 57 10.47	11 47 24.78		23 15 55 52.056	-20 22 36.99	11 46 31.46
	9 12 59 20.323	- 6 20 0.22	11 47 8.43		24 16 0 5.653	-20 34 51.59	11 46 48.88
	10 13 3 0.761	- 6 42 45.03	11 46 52.55		25 16 4 20.002	-20 46 43.29	11 47 7.05
	11 13 6 41.685	- 7 5 24.52	11 46 37.17		26 16 8 35.093	-20 58 11.76	11 47 25.95
	12 13 10 23.111	- 7 27 58.31	11 46 22.31		27 16 12 50.913	-21 9 16.68	11 47 45.57
	13 13 14 5.057	- 7 50 26.00	11 46 7.97		28 16 17 7.449	-21 19 57.73	11 48 5.90
	14 13 17 47.541	- 8 12 47.21	11 45 54.18		29 16 21 24.686	-21 30 14.62	11 48 26.92
	15 13 21 30.577	- 8 35 1.54	11 45 40.94		30 16 25 42.609	-21 40 7.05	11 48 48.62
	16 13 25 14.182	- 8 57 8.60	11 45 28.28		Déc. 1 16 30 1.200	-21 49 34.71	11 49 10.97
	17 13 28 58.368	- 9 19 7.99	11 45 16.20		2 16 34 20.441	-21 58 37.32	11 49 33.97
18 13 32 43.148	- 9 40 59.32	11 45 4.72	3 16 38 40.312	-22 7 14.61	11 49 57.60		
19 13 36 28.532	-10 2 42.17	11 44 53.85	4 16 43 0.792	-22 15 26.30	11 50 21.82		
20 13 40 14.532	-10 24 16.15	11 44 43.59	5 16 47 21.861	-22 23 12.13	11 50 46.62		
21 13 44 1.158	-10 45 40.85	11 44 33.97	6 16 51 43.495	-22 30 31.84	11 51 11.98		
22 13 47 48.424	-11 6 55.87	11 44 25.00	7 16 56 5.670	-22 37 25.19	11 51 37.87		
23 13 51 36.344	-11 28 0.80	11 44 16.69	8 17 0 28.362	-22 43 51.97	11 52 4.27		
24 13 55 24.933	-11 48 55.27	11 44 9.06	9 17 4 51.545	-22 49 51.95	11 52 31.14		
25 13 59 14.208	-12 9 38.88	11 44 2.13	10 17 9 15.190	-22 55 24.94	11 52 58.45		
26 14 3 4.185	-12 30 11.26	11 43 55.91	11 17 13 39.267	-23 0 30.77	11 53 26.18		
27 14 6 54.883	-12 50 32.03	11 43 50.42	12 17 18 3.742	-23 5 9.28	11 53 54.28		
28 14 10 46.317	-13 10 40.80	11 43 45.67	13 17 22 28.578	-23 9 20.32	11 54 22.73		
29 14 14 38.503	-13 30 37.19	11 43 41.68	14 17 26 53.735	-23 13 3.76	11 54 51.47		
30 14 18 31.458	-13 50 20.82	11 43 38.46	15 17 31 19.173	-23 16 19.46	11 55 20.48		
31 14 22 25.195	-14 9 51.30	11 43 36.03	16 17 35 44.851	-23 19 7.32	11 55 49.71		
Nov.	1 14 26 19.728	-14 29 8.24	11 43 34.40	17 17 40 10.731	-23 21 27.22	11 56 19.13	
	2 14 30 15.069	-14 48 11.24	11 43 33.58	18 17 44 36.776	-23 23 19.08	11 56 48.70	
	3 14 34 11.228	-15 6 59.90	11 43 33.59	19 17 49 2.951	-23 24 42.82	11 57 18.39	
	4 14 38 8.216	-15 25 33.82	11 43 34.42	20 17 53 29.224	-23 25 38.39	11 57 48.15	
	5 14 42 6.041	-15 43 52.59	11 43 36.10	21 17 57 55.561	-23 26 5.75	11 58 17.97	
	6 14 46 4.711	-16 1 55.80	11 43 38.63	22 18 2 21.931	-23 26 4.88	11 58 47.80	
	7 14 50 4.232	-16 19 43.05	11 43 42.02	23 18 6 48.300	-23 25 35.78	11 59 17.61	
	8 14 54 4.611	-16 37 13.91	11 43 46.27	24 18 11 14.638	-23 24 38.45	11 59 47.37	
	9 14 58 5.852	-16 54 27.98	11 43 51.38	25 18 15 40.912	-23 23 12.93	12 0 17.05	
	10 15 2 7.957	-17 11 24.85	11 43 57.36	26 18 20 7.091	-23 21 19.23	12 0 46.62	
	11 15 6 10.929	-17 28 4.11	11 44 4.21	27 18 24 33.143	-23 18 57.42	12 1 16.05	
	12 15 10 14.768	-17 44 25.35	11 44 11.92	28 18 28 59.037	-23 16 7.56	12 1 45.30	
	13 15 14 19.471	-18 0 28.18	11 44 20.49	29 18 33 24.743	-23 12 49.71	12 2 14.35	
	14 15 18 25.033	-18 16 12.20	11 44 29.91	30 18 37 50.229	-23 9 3.97	12 2 43.16	
	15 15 22 31.446	-18 31 37.01	11 44 40.17	31 18 42 15.467	-23 4 50.43	12 3 11.72	
	16 15 26 38.699	-18 46 42.22	11 44 51.27	32 18 46 40.428	-23 0 9.20	12 3 39.98	

SOLEIL 2012 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	0.149 960 23	-0.891 669 77	-0.386 552 55	Févr.	15	0.814 146 94	-0.512 867 20	-0.222 339 78
	1	0.167 219 43	-0.889 058 98	-0.385 420 94		16	0.824 045 55	-0.499 719 64	-0.216 639 39
	2	0.184 425 10	-0.886 171 62	-0.384 169 57		17	0.833 691 67	-0.486 417 12	-0.210 871 83
	3	0.201 571 96	-0.883 008 86	-0.382 798 92		18	0.843 082 07	-0.472 963 75	-0.205 038 91
	4	0.218 654 80	-0.879 571 92	-0.381 309 52		19	0.852 213 64	-0.459 363 79	-0.199 142 53
	5	0.235 668 48	-0.875 862 11	-0.379 701 91		20	0.861 083 38	-0.445 621 61	-0.193 184 60
	6	0.252 607 93	-0.871 880 80	-0.377 976 64		21	0.869 688 43	-0.431 741 72	-0.187 167 10
	7	0.269 468 14	-0.867 629 39	-0.376 134 30		22	0.878 026 07	-0.417 728 70	-0.181 092 03
	8	0.286 244 18	-0.863 109 34	-0.374 175 48		23	0.886 093 76	-0.403 587 20	-0.174 961 41
	9	0.302 931 17	-0.858 322 14	-0.372 100 80		24	0.893 889 13	-0.389 321 95	-0.168 777 30
	10	0.319 524 29	-0.853 269 29	-0.369 910 88		25	0.901 409 94	-0.374 937 69	-0.162 541 73
	11	0.336 018 72	-0.847 952 30	-0.367 606 33		26	0.908 654 13	-0.360 439 19	-0.156 256 76
	12	0.352 409 70	-0.842 372 68	-0.365 187 79		27	0.915 619 79	-0.345 831 24	-0.149 924 44
	13	0.368 692 41	-0.836 531 96	-0.362 655 90		28	0.922 305 14	-0.331 118 62	-0.143 546 83
	14	0.384 862 04	-0.830 431 67	-0.360 011 31		29	0.928 708 53	-0.316 306 10	-0.137 125 96
	15	0.400 913 68	-0.824 073 39	-0.357 254 70	Mars	1	0.934 828 46	-0.301 398 46	-0.130 663 89
	16	0.416 842 40	-0.817 458 74	-0.354 386 80		2	0.940 663 52	-0.286 400 44	-0.124 162 64
	17	0.432 643 18	-0.810 589 44	-0.351 408 35		3	0.946 212 46	-0.271 316 79	-0.117 624 22
	18	0.448 310 95	-0.803 467 31	-0.348 320 19		4	0.951 474 15	-0.256 152 19	-0.111 050 65
	19	0.463 840 58	-0.796 094 29	-0.345 123 19		5	0.956 447 53	-0.240 911 30	-0.104 443 91
	20	0.479 226 92	-0.788 472 51	-0.341 818 32		6	0.961 131 70	-0.225 598 70	-0.097 805 96
	21	0.494 464 82	-0.780 604 24	-0.338 406 59		7	0.965 525 78	-0.210 218 93	-0.091 138 73
	22	0.509 549 15	-0.772 491 94	-0.334 889 13		8	0.969 628 99	-0.194 776 41	-0.084 444 14
	23	0.524 474 87	-0.764 138 27	-0.331 267 11		9	0.973 440 52	-0.179 275 53	-0.077 724 07
	24	0.539 237 02	-0.755 546 03	-0.327 541 79		10	0.976 959 58	-0.163 720 58	-0.070 980 40
	25	0.553 830 77	-0.746 718 19	-0.323 714 46		11	0.980 185 30	-0.148 115 89	-0.064 215 01
	26	0.568 251 41	-0.737 657 83	-0.319 786 49		12	0.983 116 80	-0.132 465 77	-0.057 429 81
	27	0.582 494 40	-0.728 368 13	-0.315 759 25		13	0.985 753 18	-0.116 774 62	-0.050 626 74
	28	0.596 555 31	-0.718 852 36	-0.311 634 15		14	0.988 093 51	-0.101 046 92	-0.043 807 79
	29	0.610 429 84	-0.709 113 87	-0.307 412 63		15	0.990 136 93	-0.085 287 25	-0.036 974 99
	30	0.624 113 85	-0.699 156 02	-0.303 096 15		16	0.991 882 65	-0.069 500 32	-0.030 130 41
	31	0.637 603 26	-0.688 982 25	-0.298 686 17		17	0.993 330 00	-0.053 690 92	-0.023 276 17
Févr.	1	0.650 894 16	-0.678 596 05	-0.294 184 17		18	0.994 478 42	-0.037 863 92	-0.016 414 41
	2	0.663 982 71	-0.668 000 93	-0.289 591 65		19	0.995 327 50	-0.022 024 27	-0.009 547 29
	3	0.676 865 19	-0.657 200 42	-0.284 910 13		20	0.995 876 97	-0.006 176 96	-0.002 677 00
	4	0.689 538 01	-0.646 198 10	-0.280 141 11		21	0.996 126 75	0.009 672 99	0.004 194 28
	5	0.701 997 66	-0.634 997 56	-0.275 286 11		22	0.996 076 90	0.025 520 53	0.011 064 37
	6	0.714 240 75	-0.623 602 35	-0.270 346 65		23	0.995 727 63	0.041 360 62	0.017 931 10
	7	0.726 263 95	-0.612 016 06	-0.265 324 25		24	0.995 079 33	0.057 188 24	0.024 792 29
	8	0.738 064 03	-0.600 242 21	-0.260 220 41		25	0.994 132 54	0.072 998 37	0.031 645 79
	9	0.749 637 79	-0.588 284 30	-0.255 036 62		26	0.992 887 91	0.088 786 07	0.038 489 48
	10	0.760 982 03	-0.576 145 82	-0.249 774 38		27	0.991 346 26	0.104 546 40	0.045 321 25
	11	0.772 093 54	-0.563 830 22	-0.244 435 18		28	0.989 508 52	0.120 274 51	0.052 139 03
	12	0.782 969 09	-0.551 340 99	-0.239 020 56		29	0.987 375 76	0.135 965 58	0.058 940 74
	13	0.793 605 38	-0.538 681 65	-0.233 532 04		30	0.984 949 14	0.151 614 86	0.065 724 37
	14	0.803 999 11	-0.525 855 82	-0.227 971 23		31	0.982 229 95	0.167 217 67	0.072 487 92

SOLEIL 2012 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	1	0.979 219 58	0.182 769 42	0.079 229 42	Mai	17	0.560 752 18	0.772 198 29	0.334 763 23
	2	0.975 919 51	0.198 265 59	0.085 946 95		18	0.546 632 65	0.780 904 98	0.338 537 29
	3	0.972 331 31	0.213 701 77	0.092 638 61		19	0.532 355 51	0.789 387 87	0.342 214 24
	4	0.968 456 60	0.229 073 66	0.099 302 57		20	0.517 925 08	0.797 644 44	0.345 793 00
	5	0.964 297 03	0.244 377 06	0.105 937 01		21	0.503 345 79	0.805 672 25	0.349 272 54
	6	0.959 854 27	0.259 607 90	0.112 540 16		22	0.488 622 12	0.813 468 96	0.352 651 89
	7	0.955 129 91	0.274 762 17	0.119 110 29		23	0.473 758 63	0.821 032 34	0.355 930 11
	8	0.950 125 52	0.289 835 93	0.125 645 64		24	0.458 759 95	0.828 360 30	0.359 106 31
	9	0.944 842 59	0.304 825 22	0.132 144 47		25	0.443 630 73	0.835 450 84	0.362 179 67
	10	0.939 282 57	0.319 726 03	0.138 604 99		26	0.428 375 67	0.842 302 11	0.365 149 41
	11	0.933 446 92	0.334 534 30	0.145 025 39		27	0.412 999 50	0.848 912 36	0.368 014 79
	12	0.927 337 14	0.349 245 85	0.151 403 83		28	0.397 506 95	0.855 280 01	0.370 775 16
	13	0.920 954 82	0.363 856 45	0.157 738 41		29	0.381 902 76	0.861 403 59	0.373 429 88
	14	0.914 301 67	0.378 361 79	0.164 027 25		30	0.366 191 62	0.867 281 77	0.375 978 38
	15	0.907 379 55	0.392 757 52	0.170 268 44		31	0.350 378 20	0.872 913 36	0.378 420 16
16	0.900 190 44	0.407 039 29	0.176 460 08	Juin	1	0.334 467 06	0.878 297 26	0.380 754 71	
17	0.892 736 47	0.421 202 74	0.182 600 28		2	0.318 462 70	0.883 432 50	0.382 981 58	
18	0.885 019 92	0.435 243 55	0.188 687 15		3	0.302 369 49	0.888 318 12	0.385 100 33	
19	0.877 043 22	0.449 157 41	0.194 718 84		4	0.286 191 71	0.892 953 19	0.387 110 50	
20	0.868 808 90	0.462 940 07	0.200 693 52		5	0.269 933 55	0.897 336 77	0.389 011 64	
21	0.860 319 66	0.476 587 32	0.206 609 39		6	0.253 599 17	0.901 467 83	0.390 803 26	
22	0.851 578 30	0.490 095 03	0.212 464 67		7	0.237 192 76	0.905 345 29	0.392 484 83	
23	0.842 587 73	0.503 459 14	0.218 257 64		8	0.220 718 55	0.908 968 02	0.394 055 85	
24	0.833 351 00	0.516 675 66	0.223 986 59		9	0.204 180 87	0.912 334 88	0.395 515 78	
25	0.823 871 23	0.529 740 71	0.229 649 87		10	0.187 584 18	0.915 444 71	0.396 864 14	
26	0.814 151 66	0.542 650 47	0.235 245 86	11	0.170 933 00	0.918 296 44	0.398 100 42		
27	0.804 195 60	0.555 401 26	0.240 772 99	12	0.154 231 98	0.920 889 00	0.399 224 21		
28	0.794 006 44	0.567 989 48	0.246 229 72	13	0.137 485 84	0.923 221 46	0.400 235 09		
29	0.783 587 64	0.580 411 65	0.251 614 58	14	0.120 699 37	0.925 292 92	0.401 132 69		
30	0.772 942 73	0.592 664 38	0.256 926 14	15	0.103 877 42	0.927 102 60	0.401 916 71		
Mai	1	0.762 075 25	0.604 744 46	0.262 162 99	16	0.087 024 91	0.928 649 82	0.402 586 87	
	2	0.750 988 80	0.616 648 76	0.267 323 82	17	0.070 146 80	0.929 933 99	0.403 142 94	
	3	0.739 686 96	0.628 374 31	0.272 407 33	18	0.053 248 09	0.930 954 63	0.403 584 75	
	4	0.728 173 25	0.639 918 24	0.277 412 27	19	0.036 333 83	0.931 711 37	0.403 912 16	
	5	0.716 451 17	0.651 277 80	0.282 337 43	20	0.019 409 08	0.932 203 95	0.404 125 10	
	6	0.704 524 09	0.662 450 29	0.287 181 60	21	−0.002 478 95	0.932 432 26	0.404 223 54	
	7	0.692 395 33	0.673 433 01	0.291 943 58	22	−0.014 451 48	0.932 396 31	0.404 207 53	
	8	0.680 068 13	0.684 223 25	0.296 622 14	23	−0.031 377 10	0.932 096 23	0.404 077 13	
	9	0.667 545 71	0.694 818 21	0.301 216 00	24	−0.048 292 84	0.931 532 30	0.403 832 50	
	10	0.654 831 34	0.705 215 04	0.305 723 90	25	−0.065 193 68	0.930 704 94	0.403 473 83	
	11	0.641 928 37	0.715 410 80	0.310 144 52	26	−0.082 074 63	0.929 614 71	0.403 001 36	
	12	0.628 840 25	0.725 402 54	0.314 476 56	27	−0.098 930 79	0.928 262 26	0.402 415 38	
	13	0.615 570 57	0.735 187 30	0.318 718 72	28	−0.115 757 36	0.926 648 39	0.401 716 22	
	14	0.602 123 03	0.744 762 13	0.322 869 70	29	−0.132 549 64	0.924 773 96	0.400 904 23	
	15	0.588 501 47	0.754 124 12	0.326 928 26	30	−0.149 303 06	0.922 639 92	0.399 979 80	
16	0.574 709 84	0.763 270 44	0.330 893 17	Juill.	1	−0.166 013 17	0.920 247 24	0.398 943 29	

SOLEIL 2012 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.	2	-0.182 675 64	0.917 596 88	0.397 795 09	Août	17	-0.822 429 70	0.541 755 29	0.234 858 94
	3	-0.199 286 21	0.914 689 79	0.396 535 55		18	-0.832 069 79	0.528 909 81	0.229 290 15
	4	-0.215 840 67	0.911 526 83	0.395 165 02		19	-0.841 471 06	0.515 912 61	0.223 655 75
	5	-0.232 334 83	0.908 108 85	0.393 683 81		20	-0.850 630 48	0.502 767 62	0.217 957 44
	6	-0.248 764 44	0.904 436 62	0.392 092 23		21	-0.859 545 21	0.489 478 90	0.212 196 97
	7	-0.265 125 18	0.900 510 92	0.390 390 61		22	-0.868 212 55	0.476 050 54	0.206 376 09
	8	-0.281 412 67	0.896 332 53	0.388 579 28		23	-0.876 629 99	0.462 486 70	0.200 496 57
	9	-0.297 622 45	0.891 902 30	0.386 658 61		24	-0.884 795 20	0.448 791 52	0.194 560 18
	10	-0.313 749 99	0.887 221 11	0.384 629 01		25	-0.892 705 98	0.434 969 14	0.188 568 66
	11	-0.329 790 70	0.882 289 97	0.382 490 91		26	-0.900 360 29	0.421 023 63	0.182 523 74
	12	-0.345 739 97	0.877 109 94	0.380 244 81		27	-0.907 756 17	0.406 959 03	0.176 427 13
	13	-0.361 593 16	0.871 682 21	0.377 891 23		28	-0.914 891 77	0.392 779 30	0.170 280 52
	14	-0.377 345 59	0.866 008 05	0.375 430 77		29	-0.921 765 26	0.378 488 35	0.164 085 55
	15	-0.392 992 61	0.860 088 82	0.372 864 05		30	-0.928 374 84	0.364 090 01	0.157 843 89
	16	-0.408 529 51	0.853 926 01	0.370 191 73		31	-0.934 718 74	0.349 588 09	0.151 557 17
	17	-0.423 951 62	0.847 521 20	0.367 414 54		Sept.	1	-0.940 795 13	0.334 986 40
18	-0.439 254 26	0.840 876 11	0.364 533 25	2	-0.946 602 20		0.320 288 72	0.138 855 13	
19	-0.454 432 75	0.833 992 57	0.361 548 67	3	-0.952 138 11		0.305 498 89	0.132 443 14	
20	-0.469 482 47	0.826 872 53	0.358 461 69	4	-0.957 401 03		0.290 620 79	0.125 992 77	
21	-0.484 398 82	0.819 518 10	0.355 273 24	5	-0.962 389 12		0.275 658 34	0.119 505 74	
22	-0.499 177 29	0.811 931 51	0.351 984 29	6	-0.967 100 57	0.260 615 54	0.112 983 82		
23	-0.513 813 45	0.804 115 10	0.348 595 88	7	-0.971 533 61	0.245 496 46	0.106 428 80		
24	-0.528 302 96	0.796 071 37	0.345 109 08	8	-0.975 686 51	0.230 305 23	0.099 842 50		
25	-0.542 641 63	0.787 802 89	0.341 524 99	9	-0.979 557 58	0.215 046 06	0.093 226 76		
26	-0.556 825 39	0.779 312 31	0.337 844 75	10	-0.983 145 20	0.199 723 22	0.086 583 49		
27	-0.570 850 32	0.770 602 35	0.334 069 50	11	-0.986 447 79	0.184 341 07	0.079 914 59		
28	-0.584 712 65	0.761 675 74	0.330 200 39	12	-0.989 463 84	0.168 904 05	0.073 222 00		
29	-0.598 408 73	0.752 535 23	0.326 238 57	13	-0.992 191 94	0.153 416 66	0.066 507 72		
30	-0.611 935 03	0.743 183 52	0.322 185 16	14	-0.994 630 75	0.137 883 53	0.059 773 76		
31	-0.625 288 11	0.733 623 29	0.318 041 29	15	-0.996 779 04	0.122 309 37	0.053 022 16		
Août	1	-0.638 464 56	0.723 857 15	0.313 808 05	16	-0.998 635 73	0.106 698 97	0.046 255 03	
	2	-0.651 461 02	0.713 887 65	0.309 486 52	17	-1.000 199 89	0.091 057 23	0.039 474 46	
	3	-0.664 274 08	0.703 717 32	0.305 077 77	18	-1.001 470 80	0.075 389 09	0.032 682 58	
	4	-0.676 900 31	0.693 348 68	0.300 582 89	19	-1.002 447 93	0.059 699 52	0.025 881 52	
	5	-0.689 336 22	0.682 784 25	0.296 002 97	20	-1.003 130 98	0.043 993 46	0.019 073 37	
	6	-0.701 578 30	0.672 026 61	0.291 339 14	21	-1.003 519 79	0.028 275 81	0.012 260 22	
	7	-0.713 622 97	0.661 078 39	0.286 592 55	22	-1.003 614 39	0.012 551 38	0.005 444 12	
	8	-0.725 466 67	0.649 942 31	0.281 764 42	23	-1.003 414 95	-0.003 175 09	-0.001 372 94	
	9	-0.737 105 80	0.638 621 16	0.276 855 96	24	-1.002 921 68	-0.018 899 00	-0.008 188 98	
	10	-0.748 536 80	0.627 117 82	0.271 868 47	25	-1.002 134 90	-0.034 615 80	-0.015 002 06	
	11	-0.759 756 08	0.615 435 28	0.266 803 26	26	-1.001 054 94	-0.050 321 04	-0.021 810 29	
	12	-0.770 760 11	0.603 576 60	0.261 661 68	27	-0.999 682 17	-0.066 010 35	-0.028 611 76	
	13	-0.781 545 38	0.591 544 94	0.256 445 15	28	-0.998 016 96	-0.081 679 37	-0.035 404 61	
	14	-0.792 108 39	0.579 343 55	0.251 155 10	29	-0.996 059 68	-0.097 323 81	-0.042 186 94	
	15	-0.802 445 71	0.566 975 81	0.245 793 02	30	-0.993 810 72	-0.112 939 36	-0.048 956 90	
	16	-0.812 553 92	0.554 445 19	0.240 360 44	Oct.	1	-0.991 270 47	-0.128 521 72	-0.055 712 59

SOLEIL 2012 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.	2	-0.988 439 35	-0.144 066 58	-0.062 452 11	Nov.	17	-0.568 996 41	-0.741 855 90	-0.321 604 19	
	3	-0.985 317 77	-0.159 569 59	-0.069 173 56		18	-0.554 552 74	-0.750 766 13	-0.325 466 43	
	4	-0.981 906 23	-0.175 026 37	-0.075 875 01		19	-0.539 939 86	-0.759 444 80	-0.329 228 44	
	5	-0.978 205 24	-0.190 432 50	-0.082 554 51		20	-0.525 162 49	-0.767 889 31	-0.332 889 10	
	6	-0.974 215 38	-0.205 783 54	-0.089 210 09		21	-0.510 225 32	-0.776 097 21	-0.336 447 35	
	7	-0.969 937 31	-0.221 074 98	-0.095 839 80		22	-0.495 133 01	-0.784 066 16	-0.339 902 19	
	8	-0.965 371 74	-0.236 302 30	-0.102 441 62		23	-0.479 890 16	-0.791 793 90	-0.343 252 60	
	9	-0.960 519 47	-0.251 460 92	-0.109 013 55		24	-0.464 501 39	-0.799 278 23	-0.346 497 63	
	10	-0.955 381 37	-0.266 546 23	-0.115 553 58		25	-0.448 971 28	-0.806 517 02	-0.349 636 32	
	11	-0.949 958 41	-0.281 553 56	-0.122 059 65		26	-0.433 304 42	-0.813 508 17	-0.352 667 73	
	12	-0.944 251 68	-0.296 478 19	-0.128 529 70		27	-0.417 505 37	-0.820 249 65	-0.355 590 96	
	13	-0.938 262 37	-0.311 315 35	-0.134 961 67		28	-0.401 578 71	-0.826 739 46	-0.358 405 12	
	14	-0.931 991 83	-0.326 060 19	-0.141 353 46		29	-0.385 529 05	-0.832 975 65	-0.361 109 31	
	15	-0.925 441 60	-0.340 707 85	-0.147 702 97		30	-0.369 360 99	-0.838 956 27	-0.363 702 67	
	16	-0.918 613 41	-0.355 253 44	-0.154 008 11		Déc.	1	-0.353 079 16	-0.844 679 44	-0.366 184 35
	17	-0.911 509 23	-0.369 692 11	-0.160 266 82			2	-0.336 688 22	-0.850 143 27	-0.368 553 51
	18	-0.904 131 23	-0.384 019 07	-0.166 477 06			3	-0.320 192 88	-0.855 345 94	-0.370 809 33
	19	-0.896 481 76	-0.398 229 66	-0.172 636 86			4	-0.303 597 88	-0.860 285 61	-0.372 951 01
	20	-0.888 563 34	-0.412 319 35	-0.178 744 31			5	-0.286 908 04	-0.864 960 51	-0.374 977 74
	21	-0.880 378 55	-0.426 283 77	-0.184 797 55			6	-0.270 128 21	-0.869 368 85	-0.376 888 77
	22	-0.871 930 07	-0.440 118 70	-0.190 794 79			7	-0.253 263 35	-0.873 508 92	-0.378 683 33
	23	-0.863 220 58	-0.453 820 03	-0.196 734 26			8	-0.236 318 48	-0.877 379 00	-0.380 360 69
	24	-0.854 252 79	-0.467 383 77	-0.202 614 24			9	-0.219 298 74	-0.880 977 43	-0.381 920 15
	25	-0.845 029 41	-0.480 805 99	-0.208 433 04			10	-0.202 209 39	-0.884 302 60	-0.383 361 03
	26	-0.835 553 16	-0.494 082 87	-0.214 188 98			11	-0.185 055 83	-0.887 352 96	-0.384 682 71
	27	-0.825 826 74	-0.507 210 58	-0.219 880 41			12	-0.167 843 63	-0.890 127 10	-0.385 884 60
	28	-0.815 852 89	-0.520 185 39	-0.225 505 68			13	-0.150 578 48	-0.892 623 75	-0.386 966 22
	29	-0.805 634 35	-0.533 003 55	-0.231 063 14			14	-0.133 266 17	-0.894 841 87	-0.387 927 15
	30	-0.795 173 86	-0.545 661 35	-0.236 551 15			15	-0.115 912 56	-0.896 780 62	-0.388 767 08
	31	-0.784 474 22	-0.558 155 07	-0.241 968 08			16	-0.098 523 51	-0.898 439 40	-0.389 485 78
	Nov.	1	-0.773 538 25	-0.570 481 03			-0.247 312 30	17	-0.081 104 81	-0.899 817 80
2		-0.762 368 81	-0.582 635 51	-0.252 582 16	18		-0.063 662 19	-0.900 915 63	-0.390 558 96	
3		-0.750 968 83	-0.594 614 82	-0.257 776 03	19		-0.046 201 26	-0.901 732 79	-0.390 913 32	
4		-0.739 341 28	-0.606 415 25	-0.262 892 29	20		-0.028 727 55	-0.902 269 30	-0.391 146 17	
5		-0.727 489 22	-0.618 033 10	-0.267 929 28	21		-0.011 246 52	-0.902 525 29	-0.391 257 54	
6		-0.715 415 76	-0.629 464 65	-0.272 885 39	22		0.006 236 46	-0.902 500 93	-0.391 247 50	
7		-0.703 124 11	-0.640 706 21	-0.277 758 99	23		0.023 716 07	-0.902 196 47	-0.391 116 11	
8		-0.690 617 56	-0.651 754 04	-0.282 548 45	24		0.041 187 02	-0.901 612 19	-0.390 863 48	
9		-0.677 899 50	-0.662 604 42	-0.287 252 15	25		0.058 644 10	-0.900 748 47	-0.390 489 73	
10		-0.664 973 44	-0.673 253 62	-0.291 868 47	26		0.076 082 12	-0.899 605 71	-0.389 995 01	
11		-0.651 843 04	-0.683 697 89	-0.296 395 79	27		0.093 495 90	-0.898 184 36	-0.389 379 48	
12		-0.638 512 10	-0.693 933 50	-0.300 832 52	28		0.110 880 34	-0.896 484 91	-0.388 643 34	
13		-0.624 984 64	-0.703 956 75	-0.305 177 09	29		0.128 230 31	-0.894 507 91	-0.387 786 78	
14		-0.611 264 86	-0.713 764 02	-0.309 427 97	30		0.145 540 73	-0.892 253 92	-0.386 810 03	
15		-0.597 357 17	-0.723 351 82	-0.313 583 69	31		0.162 806 51	-0.889 723 55	-0.385 713 33	
16		-0.583 266 13	-0.732 716 82	-0.317 642 87	32	0.180 022 56	-0.886 917 42	-0.384 496 95		

LUNE

Ascension droite et déclinaison apparentes, distance à la Terre II. 36

LUNE 2012 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	23 33 36.689	2 45 16.96	399 375.240	Janv. 11 0	8 48 13.987	13 19 56.85	380 807.753
	6 23 44 49.544	3 54 7.54	400 233.653		6 9 1 20.299	12 15 7.60	380 028.138
	12 23 56 1.320	5 2 6.85	401 020.463		12 9 14 22.949	11 7 45.21	379 277.646
	18 0 7 12.803	6 9 7.31	401 732.966		18 9 27 22.209	9 58 3.09	378 557.006
1 0	0 18 24.758	7 15 1.50	402 368.879	12 0	9 40 18.427	8 46 15.03	377 866.705
	6 0 29 37.930	8 19 42.07	402 926.345		6 9 53 12.024	7 32 35.17	377 207.004
	12 0 40 53.043	9 23 1.74	403 403.927		12 10 6 3.485	6 17 17.91	376 577.963
	18 0 52 10.794	10 24 53.22	403 800.610		18 10 18 53.353	5 0 37.93	375 979.464
2 0	1 3 31.852	11 25 9.17	404 115.796	13 0	10 31 42.221	3 42 50.11	375 411.240
	6 1 14 56.854	12 23 42.16	404 349.295		6 10 44 30.728	2 24 9.49	374 872.901
	12 1 26 26.404	13 20 24.65	404 501.318		12 10 57 19.547	1 4 51.31	374 363.969
	18 1 38 1.066	14 15 8.98	404 572.472		18 11 10 9.383	- 0 14 49.04	373 883.904
3 0	1 49 41.361	15 7 47.32	404 563.742	14 0	11 23 0.961	- 1 34 36.03	373 432.141
	6 2 1 27.760	15 58 11.67	404 476.483		6 11 35 55.021	- 2 54 13.96	373 008.114
	12 2 13 20.685	16 46 13.89	404 312.407		12 11 48 52.309	- 4 13 27.00	372 611.293
	18 2 25 20.496	17 31 45.66	404 073.564		18 12 1 53.568	- 5 31 59.16	372 241.209
4 0	2 37 27.492	18 14 38.55	403 762.326	15 0	12 14 59.531	- 6 49 34.27	371 897.479
	6 2 49 41.900	18 54 44.01	403 381.374		6 12 28 10.907	- 8 5 56.04	371 579.835
	12 3 2 3.876	19 31 53.43	402 933.669		12 12 41 28.376	- 9 20 48.02	371 288.142
	18 3 14 33.495	20 5 58.21	402 422.442		18 12 54 52.573	-10 33 53.61	371 022.419
5 0	3 27 10.749	20 36 49.79	401 851.163	16 0	13 8 24.078	-11 44 56.12	370 782.848
	6 3 39 55.544	21 4 19.73	401 223.522		6 13 22 3.404	-12 53 38.78	370 569.790
	12 3 52 47.699	21 28 19.83	400 543.406		12 13 35 50.983	-13 59 44.79	370 383.791
	18 4 5 46.941	21 48 42.15	399 814.868		18 13 49 47.151	-15 2 57.41	370 225.577
6 0	4 18 52.914	22 5 19.21	399 042.105	17 0	14 3 52.135	-16 3 0.02	370 096.060
	6 4 32 5.172	22 18 4.00	398 229.427		6 14 18 6.043	-16 59 36.27	369 996.326
	12 4 45 23.193	22 26 50.15	397 381.233		12 14 32 28.846	-17 52 30.16	369 927.622
	18 4 58 46.381	22 31 31.99	396 501.976		18 14 47 0.371	-18 41 26.21	369 891.343
7 0	5 12 14.079	22 32 4.71	395 596.138	18 0	15 1 40.292	-19 26 9.65	369 889.012
	6 5 25 45.576	22 28 24.38	394 668.197		6 15 16 28.123	-20 6 26.58	369 922.249
	12 5 39 20.121	22 20 28.11	393 722.599		12 15 31 23.217	-20 42 4.16	369 992.753
	18 5 52 56.940	22 8 14.09	392 763.729		18 15 46 24.772	-21 12 50.83	370 102.262
8 0	6 6 35.248	21 51 41.64	391 795.879	19 0	16 1 31.834	-21 38 36.52	370 252.523
	6 6 20 14.266	21 30 51.26	390 823.221		6 16 16 43.311	-21 59 12.80	370 445.258
	12 6 33 53.236	21 5 44.68	389 849.780		12 16 31 57.994	-22 14 33.08	370 682.124
	18 6 47 31.434	20 36 24.84	388 879.409		18 16 47 14.577	-22 24 32.75	370 964.673
9 0	7 1 8.189	20 2 55.87	387 915.763	20 0	17 2 31.681	-22 29 9.30	371 294.318
	6 7 14 42.888	19 25 23.11	386 962.280		6 17 17 47.891	-22 28 22.37	371 672.292
	12 7 28 14.995	18 43 53.01	386 022.159		12 17 33 1.781	-22 22 13.80	372 099.615
	18 7 41 44.053	17 58 33.10	385 098.344		18 17 48 11.948	-22 10 47.58	372 577.052
10 0	7 55 9.694	17 9 31.94	384 193.514	21 0	18 3 17.040	-21 54 9.80	373 105.091
	6 8 8 31.641	16 16 59.01	383 310.067		6 18 18 15.788	-21 32 28.55	373 683.904
	12 8 21 49.713	15 21 4.66	382 450.120		12 18 33 7.029	-21 5 53.75	374 313.331
	18 8 35 3.826	14 22 0.00	381 615.501		18 18 47 49.723	-20 34 36.96	374 992.850

LUNE 2012 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	19 2 22.972	-19 58 51.20	375 721.569	Févr.	2 0	4 0 23.901	21 30 37.67	401 009.957
	6	19 16 46.025	-19 18 50.71	376 498.208		6	4 13 18.662	21 48 57.46	400 263.594
	12	19 30 58.289	-18 34 50.73	377 321.098		12	4 26 19.736	22 3 34.10	399 451.317
	18	19 44 59.324	-17 47 7.24	378 188.173		18	4 39 26.797	22 14 21.27	398 576.896
	23 0	19 58 48.843	-16 55 56.78	379 096.982	3 0	4 52 39.453	22 21 13.12	397 644.435	
	6	20 12 26.700	-16 1 36.23	380 044.689	6	5 5 57.249	22 24 4.36	396 658.354	
	12	20 25 52.887	-15 4 22.60	381 028.093	12	5 19 19.674	22 22 50.36	395 623.371	
	18	20 39 7.518	-14 4 32.87	382 043.645	18	5 32 46.174	22 17 27.21	394 544.474	
	24 0	20 52 10.819	-13 2 23.83	383 087.465	4 0	5 46 16.153	22 7 51.85	393 426.899	
	6	21 5 3.114	-11 58 11.98	384 155.375	6	5 59 48.993	21 54 2.09	392 276.097	
	12	21 17 44.811	-10 52 13.40	385 242.922	12	6 13 24.060	21 35 56.70	391 097.707	
	18	21 30 16.395	-9 44 43.70	386 345.413	18	6 27 0.719	21 13 35.52	389 897.522	
	25 0	21 42 38.410	-8 35 57.90	387 457.950	5 0	6 40 38.344	20 46 59.42	388 681.449	
	6	21 54 51.451	-7 26 10.44	388 575.459	6	6 54 16.333	20 16 10.42	387 455.479	
	12	22 6 56.156	-6 15 35.16	389 692.734	12	7 7 54.118	19 41 11.66	386 225.638	
	18	22 18 53.193	-5 4 25.23	390 804.471	18	7 21 31.177	19 2 7.44	384 997.952	
	26 0	22 30 43.256	-3 52 53.21	391 905.306	6 0	7 35 7.043	18 19 3.24	383 778.404	
	6	22 42 27.058	-2 41 11.04	392 989.851	6	7 48 41.311	17 32 5.63	382 572.887	
	12	22 54 5.322	-1 29 30.05	394 052.736	12	8 2 13.649	16 41 22.37	381 387.160	
	18	23 5 38.781	-0 18 1.02	395 088.636	18	8 15 43.796	15 47 2.25	380 226.809	
	27 0	23 17 8.169	0 53 5.81	396 092.316	7 0	8 29 11.573	14 49 15.15	379 097.198	
	6	23 28 34.218	2 3 40.70	397 058.658	6	8 42 36.879	13 48 11.94	378 003.428	
	12	23 39 57.658	3 13 34.34	397 982.694	12	8 55 59.694	12 44 4.41	376 950.299	
	18	23 51 19.213	4 22 37.85	398 859.638	18	9 9 20.077	11 37 5.29	375 942.271	
	28 0	0 2 39.593	5 30 42.67	399 684.912	8 0	9 22 38.164	10 27 28.09	374 983.430	
	6	0 13 59.501	6 37 40.58	400 454.174	6	9 35 54.163	9 15 27.09	374 077.455	
	12	0 25 19.623	7 43 23.59	401 163.344	12	9 49 8.352	8 1 17.28	373 227.597	
	18	0 36 40.629	8 47 43.94	401 808.621	18	10 2 21.070	6 45 14.24	372 436.652	
	29 0	0 48 3.169	9 50 34.05	402 386.512	9 0	10 15 32.717	5 27 34.15	371 706.950	
	6	0 59 27.874	10 51 46.44	402 893.843	6	10 28 43.739	4 8 33.64	371 040.344	
	12	1 10 55.349	11 51 13.72	403 327.780	12	10 41 54.630	2 48 29.79	370 438.205	
	18	1 22 26.172	12 48 48.57	403 685.841	18	10 55 5.919	1 27 40.02	369 901.427	
	30 0	1 34 0.893	13 44 23.66	403 965.913	10 0	11 8 18.164	0 6 22.08	369 430.433	
	6	1 45 40.026	14 37 51.68	404 166.259	6	11 21 31.946	-1 15 6.08	369 025.193	
	12	1 57 24.049	15 29 5.27	404 285.531	12	11 34 47.856	-2 36 26.31	368 685.242	
	18	2 9 13.401	16 17 57.03	404 322.775	18	11 48 6.493	-3 57 20.34	368 409.709	
	31 0	2 21 8.473	17 4 19.49	404 277.439	11 0	12 1 28.447	-5 17 29.86	368 197.345	
	6	2 33 9.608	17 48 5.15	404 149.377	6	12 14 54.299	-6 36 36.51	368 046.560	
	12	2 45 17.097	18 29 6.43	403 938.851	12	12 28 24.601	-7 54 22.03	367 955.462	
	18	2 57 31.170	19 7 15.74	403 646.531	18	12 41 59.874	-9 10 28.24	367 921.897	
Févr.	1 0	3 9 51.998	19 42 25.46	403 273.498	12 0	12 55 40.594	-10 24 37.13	367 943.496	
	6	3 22 19.685	20 14 27.99	402 821.239	6	13 9 27.181	-11 36 30.96	368 017.714	
	12	3 34 54.267	20 43 15.80	402 291.641	12	13 23 19.988	-12 45 52.26	368 141.882	
	18	3 47 35.709	21 8 41.44	401 686.989	18	13 37 19.289	-13 52 23.99	368 313.245	

LUNE 2012 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	13 51 25.273	-14 55 49.54	368 529.009	Févr. 24 0	23 47 8.663	3 46 52.12	398 548.456
	6 14 5 38.027	-15 55 52.90	368 786.384		6 23 58 33.814	4 55 8.29	399 301.222
	12 14 19 57.532	-16 52 18.70	369 082.616		12 0 9 58.489	6 2 23.15	400 022.099
	18 14 34 23.653	-17 44 52.38	369 415.029		18 0 21 23.273	7 8 27.80	400 707.287
14 0	14 48 56.132	-18 33 20.24	369 781.055	25 0	0 32 48.734	8 13 13.55	401 352.990
	6 15 3 34.587	-19 17 29.60	370 178.259		6 0 44 15.423	9 16 31.98	401 955.441
	12 15 18 18.512	-19 57 8.94	370 604.367		12 0 55 43.872	10 18 14.85	402 510.930
	18 15 33 7.274	-20 32 7.98	371 057.278		18 1 7 14.587	11 18 14.15	403 015.831
15 0	15 48 0.127	-21 2 17.81	371 535.087	26 0	1 18 48.053	12 16 22.00	403 466.624
	6 16 2 56.214	-21 27 31.03	372 036.086		6 1 30 24.724	13 12 30.68	403 859.927
	12 16 17 54.585	-21 47 41.83	372 558.773		12 1 42 5.026	14 6 32.61	404 192.517
	18 16 32 54.213	-22 2 46.04	373 101.851		18 1 53 49.352	14 58 20.33	404 461.355
16 0	16 47 54.011	-22 12 41.24	373 664.224	27 0	2 5 38.060	15 47 46.47	404 663.611
	6 17 2 52.856	-22 17 26.75	374 244.987		6 2 17 31.469	16 34 43.77	404 796.686
	12 17 17 49.610	-22 17 3.66	374 843.416		12 2 29 29.858	17 19 5.06	404 858.235
	18 17 32 43.145	-22 11 34.79	375 458.949		18 2 41 33.460	18 0 43.27	404 846.186
17 0	17 47 32.365	-22 1 4.68	376 091.169	28 0	2 53 42.465	18 39 31.44	404 758.763
	6 18 2 16.229	-21 45 39.43	376 739.783		6 3 5 57.012	19 15 22.71	404 594.502
	12 18 16 53.766	-21 25 26.69	377 404.594		12 3 18 17.189	19 48 10.35	404 352.270
	18 18 31 24.096	-21 0 35.48	378 085.482		18 3 30 43.034	20 17 47.80	404 031.283
18 0	18 45 46.443	-20 31 16.06	378 782.370	29 0	3 43 14.530	20 44 8.65	403 631.118
	6 19 0 0.140	-19 57 39.79	379 495.200		6 3 55 51.605	21 7 6.71	403 151.731
	12 19 14 4.641	-19 19 59.00	380 223.904		12 4 8 34.135	21 26 36.05	402 593.464
	18 19 27 59.519	-18 38 26.77	380 968.377		18 4 21 21.945	21 42 31.00	401 957.063
19 0	19 41 44.469	-17 53 16.83	381 728.446	Mars 1 0	4 34 14.806	21 54 46.23	401 243.680
	6 19 55 19.302	-17 4 43.39	382 503.849		6 4 47 12.445	22 3 16.80	400 454.887
	12 20 8 43.943	-16 13 0.99	383 294.208		12 5 0 14.546	22 7 58.18	399 592.679
	18 20 21 58.419	-15 18 24.39	384 099.003		18 5 13 20.753	22 8 46.33	398 659.475
20 0	20 35 2.857	-14 21 8.45	384 917.558	2 0	5 26 30.680	22 5 37.74	397 658.126
	6 20 47 57.470	-13 21 28.03	385 749.015		6 5 39 43.916	21 58 29.48	396 591.908
	12 21 0 42.549	-12 19 37.86	386 592.327		12 5 53 0.031	21 47 19.25	395 464.524
	18 21 13 18.455	-11 15 52.53	387 446.239		18 6 6 18.588	21 32 5.45	394 280.094
21 0	21 25 45.606	-10 10 26.37	388 309.280	3 0	6 19 39.148	21 12 47.20	393 043.147
	6 21 38 4.473	-9 3 33.42	389 179.761		6 6 33 1.282	20 49 24.39	391 758.611
	12 21 50 15.569	-7 55 27.40	390 055.766		12 6 46 24.575	20 21 57.73	390 431.793
	18 22 2 19.440	-6 46 21.66	390 935.160		18 6 59 48.639	19 50 28.77	389 068.365
22 0	22 14 16.660	-5 36 29.15	391 815.584	4 0	7 13 13.119	19 14 59.95	387 674.337
	6 22 26 7.826	-4 26 2.44	392 694.467		6 7 26 37.699	18 35 34.61	386 256.030
	12 22 37 53.549	-3 15 13.67	393 569.036		12 7 40 2.110	17 52 17.03	384 820.048
	18 22 49 34.450	-2 4 14.60	394 436.326		18 7 53 26.136	17 5 12.44	383 373.238
23 0	23 1 11.160	-0 53 16.56	395 293.194	5 0	8 6 49.615	16 14 27.04	381 922.652
	6 23 12 44.308	0 17 29.52	396 136.340		6 8 20 12.446	15 20 8.01	380 475.506
	12 23 24 14.525	1 27 53.06	396 962.322		12 8 33 34.589	14 22 23.51	379 039.127
	18 23 35 42.436	2 37 43.87	397 767.579		18 8 46 56.067	13 21 22.70	377 620.901

LUNE 2012 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 6 0	9 0 16.963	12 17 15.75	376228.222	Mars 17 0	19 28 57.120	-18 22 26.39	382220.700
6	9 13 37.426	11 10 13.82	374868.429	6	19 42 31.573	-17 38 6.13	383217.100
12	9 26 57.660	10 0 29.03	373548.746	12	19 55 55.298	-16 50 33.32	384202.349
18	9 40 17.927	8 48 14.52	372276.220	18	20 9 8.408	-16 0 1.92	385175.240
7 0	9 53 38.541	7 33 44.36	371057.655	18 0	20 22 11.111	-15 6 45.83	386134.767
6	10 6 59.865	6 17 13.56	369899.549	6	20 35 3.693	-14 10 58.87	387080.102
12	10 20 22.303	4 58 58.03	368808.033	12	20 47 46.516	-13 12 54.69	388010.571
18	10 33 46.298	3 39 14.55	367788.806	18	21 0 20.001	-12 12 46.71	388925.622
8 0	10 47 12.320	2 18 20.72	366847.081	19 0	21 12 44.622	-11 10 48.10	389824.806
6	11 0 40.865	0 56 34.88	365987.531	6	21 25 0.896	-10 7 11.77	390707.748
12	11 14 12.443	-0 25 43.91	365214.242	12	21 37 9.377	-9 2 10.32	391574.119
18	11 27 47.568	-1 48 15.99	364530.671	18	21 49 10.646	-7 55 56.07	392423.614
9 0	11 41 26.754	-3 10 41.17	363939.617	20 0	22 1 5.303	-6 48 41.03	393255.924
6	11 55 10.501	-4 32 38.83	363443.190	6	22 12 53.966	-5 40 36.91	394070.719
12	12 8 59.286	-5 53 48.01	363042.805	12	22 24 37.262	-4 31 55.14	394867.620
18	12 22 53.552	-7 13 47.55	362739.168	18	22 36 15.822	-3 22 46.87	395646.185
10 0	12 36 53.696	-8 32 16.24	362532.285	21 0	22 47 50.279	-2 13 22.98	396405.886
6	12 51 0.057	-9 48 52.90	362421.476	6	22 59 21.264	-1 3 54.09	397146.098
12	13 5 12.905	-11 3 16.56	362405.396	12	23 10 49.402	0 5 29.40	397866.083
18	13 19 32.428	-12 15 6.62	362482.068	18	23 22 15.308	1 14 37.34	398564.980
11 0	13 33 58.721	-13 24 3.00	362648.926	22 0	23 33 39.588	2 23 19.78	399241.798
6	13 48 31.775	-14 29 46.32	362902.860	6	23 45 2.833	3 31 26.99	399895.405
12	14 3 11.468	-15 31 58.02	363240.269	12	23 56 25.619	4 38 49.41	400524.531
18	14 17 57.559	-16 30 20.61	363657.122	18	0 7 48.503	5 45 17.66	401127.760
12 0	14 32 49.680	-17 24 37.77	364149.019	23 0	0 19 12.024	6 50 42.54	401703.538
6	14 47 47.334	-18 14 34.55	364711.254	6	0 30 36.697	7 54 55.00	402250.173
12	15 2 49.900	-18 59 57.48	365338.881	12	0 42 3.014	8 57 46.17	402765.841
18	15 17 56.631	-19 40 34.78	366026.781	18	0 53 31.442	9 59 7.29	403248.597
13 0	15 33 6.670	-20 16 16.42	366769.721	24 0	1 5 2.418	10 58 49.79	403696.382
6	15 48 19.055	-20 46 54.23	367562.422	6	1 16 36.347	11 56 45.21	404107.039
12	16 3 32.741	-21 12 22.02	368399.609	12	1 28 13.606	12 52 45.26	404478.323
18	16 18 46.617	-21 32 35.55	369276.071	18	1 39 54.532	13 46 41.80	404807.922
14 0	16 33 59.527	-21 47 32.62	370186.707	25 0	1 51 39.428	14 38 26.84	405093.471
6	16 49 10.294	-21 57 12.98	371126.571	6	2 3 28.557	15 27 52.55	405332.570
12	17 4 17.747	-22 1 38.33	372090.908	12	2 15 22.138	16 14 51.29	405522.810
18	17 19 20.741	-22 0 52.23	373075.190	18	2 27 20.351	16 59 15.58	405661.785
15 0	17 34 18.183	-21 54 59.94	374075.143	26 0	2 39 23.328	17 40 58.19	405747.122
6	17 49 9.052	-21 44 8.37	375086.762	6	2 51 31.154	18 19 52.06	405776.500
12	18 3 52.418	-21 28 25.83	376106.335	12	3 3 43.868	18 55 50.41	405747.674
18	18 18 27.454	-21 8 1.95	377130.446	18	3 16 1.461	19 28 46.71	405658.499
16 0	18 32 53.448	-20 43 7.44	378155.985	27 0	3 28 23.876	19 58 34.70	405506.952
6	18 47 9.813	-20 13 53.95	379180.143	6	3 40 51.009	20 25 8.48	405291.161
12	19 1 16.084	-19 40 33.87	380200.414	12	3 53 22.710	20 48 22.45	405009.422
18	19 15 11.924	-19 3 20.21	381214.579	18	4 5 58.787	21 8 11.40	404660.230

LUNE 2012 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	28 0	4 18 39.007	21 24 30.50	404242.300	Avril	8 0	14 9 8.320	-15 48 40.78	358 393.702
	6	4 31 23.100	21 37 15.37	403754.589		6	14 24 24.762	-16 46 24.46	358 586.454
	12	4 44 10.764	21 46 22.07	403196.320		12	14 39 48.645	-17 39 46.79	358 891.912
	18	4 57 1.672	21 51 47.12	402567.007		18	14 55 19.155	-18 28 30.30	359 306.842
	29 0	5 9 55.475	21 53 27.58	401866.474	9 0	15 10 55.315	-19 12 19.45	359 827.285	
	6	5 22 51.812	21 51 20.99	401094.875	6	15 26 35.999	-19 51 0.85	360 448.615	
	12	5 35 50.312	21 45 25.47	400252.717	12	15 42 19.946	-20 24 23.47	361 165.612	
	18	5 48 50.608	21 35 39.68	399340.874	18	15 58 5.787	-20 52 18.77	361 972.534	
	30 0	6 1 52.337	21 22 2.85	398360.610	10 0	16 13 52.069	-21 14 40.84	362 863.202	
	6	6 14 55.153	21 4 34.82	397313.590	6	16 29 37.286	-21 31 26.41	363 831.074	
	12	6 27 58.732	20 43 16.00	396201.896	12	16 45 19.914	-21 42 34.83	364 869.335	
	18	6 41 2.780	20 18 7.41	395028.037	18	17 0 58.446	-21 48 8.04	365 970.969	
	31 0	6 54 7.035	19 49 10.70	393794.963	11 0	17 16 31.424	-21 48 10.37	367 128.848	
	6	7 7 11.278	19 16 28.13	392506.065	6	17 31 57.472	-21 42 48.44	368 335.799	
	12	7 20 15.336	18 40 2.59	391165.187	12	17 47 15.324	-21 32 10.88	369 584.679	
	18	7 33 19.083	17 59 57.60	389776.621	18	18 2 23.843	-21 16 28.12	370 868.440	
Avril	1 0	7 46 22.450	17 16 17.33	388345.108	12 0	18 17 22.045	-20 55 52.11	372 180.185	
	6	7 59 25.420	16 29 6.63	386875.829	6	18 32 9.104	-20 30 36.03	373 513.226	
	12	8 12 28.034	15 38 31.01	385374.399	12	18 46 44.363	-20 0 54.08	374 861.126	
	18	8 25 30.392	14 44 36.68	383846.845	18	19 1 7.333	-19 27 1.14	376 217.738	
	2 0	8 38 32.650	13 47 30.58	382299.593	13 0	19 15 17.689	-18 49 12.60	377 577.241	
	6	8 51 35.023	12 47 20.39	380739.437	6	19 29 15.261	-18 7 44.10	378 934.163	
	12	9 4 37.780	11 44 14.58	379173.512	12	19 43 0.026	-17 22 51.36	380 283.402	
	18	9 17 41.243	10 38 22.42	377609.253	18	19 56 32.096	-16 34 50.02	381 620.240	
	3 0	9 30 45.787	9 29 54.03	376054.358	14 0	20 9 51.699	-15 43 55.51	382 940.349	
	6	9 43 51.832	8 19 0.43	374516.734	6	20 22 59.171	-14 50 22.91	384 239.796	
	12	9 56 59.841	7 5 53.53	373004.446	12	20 35 54.938	-13 54 26.94	385 515.042	
	18	10 10 10.317	5 50 46.22	371525.651	18	20 48 39.502	-12 56 21.84	386 762.933	
	4 0	10 23 23.797	4 33 52.36	370088.541	15 0	21 1 13.430	-11 56 21.40	387 980.692	
	6	10 36 40.843	3 15 26.81	368701.264	6	21 13 37.339	-10 54 38.87	389 165.907	
	12	10 50 2.039	1 55 45.45	367371.853	12	21 25 51.888	-9 51 27.01	390 316.511	
	18	11 3 27.981	0 35 5.20	366108.146	18	21 37 57.766	-8 46 58.11	391 430.767	
	5 0	11 16 59.272	-0 46 16.02	364917.707	16 0	21 49 55.686	-7 41 23.96	392 507.247	
	6	11 30 36.509	-2 7 59.30	363807.745	6	22 1 46.372	-6 34 55.93	393 544.806	
	12	11 44 20.273	-3 29 44.78	362785.031	12	22 13 30.560	-5 27 44.95	394 542.562	
	18	11 58 11.119	-4 51 11.72	361855.821	18	22 25 8.986	-4 20 1.60	395 499.869	
	6 0	12 12 9.565	-6 11 58.59	361025.781	17 0	22 36 42.385	-3 11 56.09	396 416.291	
	6	12 26 16.072	-7 31 43.19	360299.920	6	22 48 11.486	-2 3 38.36	397 291.579	
	12	12 40 31.038	-8 50 2.77	359682.522	12	22 59 37.008	-0 55 18.07	398 125.640	
	18	12 54 54.775	-10 6 34.22	359177.097	18	23 10 59.655	0 12 55.36	398 918.513	
	7 0	13 9 27.501	-11 20 54.24	358786.338	18 0	23 22 20.120	1 20 52.68	399 670.345	
	6	13 24 9.316	-12 32 39.59	358512.087	6	23 33 39.074	2 28 24.83	400 381.364	
	12	13 39 0.195	-13 41 27.28	358355.313	12	23 44 57.170	3 35 22.87	401 051.854	
	18	13 53 59.971	-14 46 54.88	358316.111	18	23 56 15.038	4 41 37.98	401 682.133	

LUNE 2012 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 19	0 0 7 33.283	5 47 1.41	402 272.531	Avril 30	0 9 12 8.633	10 56 25.23	383 608.153
	6 0 18 52.484	6 51 24.50	402 823.368		6 9 24 48.922	9 51 19.40	382 110.523
	12 0 30 13.193	7 54 38.64	403 334.935		12 9 37 30.248	8 43 55.22	380 594.471
	18 0 41 35.929	8 56 35.26	403 807.479		18 9 50 13.174	7 34 22.38	379 065.972
20	0 0 53 1.179	9 57 5.84	404 241.183	Mai 1	0 10 2 58.303	6 22 51.26	377 531.398
	6 1 4 29.393	10 56 1.90	404 636.155		6 10 15 46.280	5 9 32.96	375 997.496
	12 1 16 0.986	11 53 15.02	404 992.416		12 10 28 37.783	3 54 39.36	374 471.350
	18 1 27 36.329	12 48 36.80	405 309.891		18 10 41 33.516	2 38 23.16	372 960.349
21	0 1 39 15.752	13 41 58.93	405 588.398	2	0 10 54 34.207	1 20 57.97	371 472.138
	6 1 50 59.539	14 33 13.18	405 827.648		6 11 7 40.597	0 2 38.33	370 014.571
	12 2 2 47.925	15 22 11.43	406 027.236		12 11 20 53.435	- 1 16 20.23	368 595.646
	18 2 14 41.096	16 8 45.67	406 186.647		18 11 34 13.466	- 2 35 41.14	367 223.445
22	0 2 26 39.186	16 52 48.08	406 305.249	3	0 11 47 41.423	- 3 55 6.83	365 906.061
	6 2 38 42.271	17 34 11.01	406 382.304		6 12 1 18.012	- 5 14 18.66	364 651.520
	12 2 50 50.377	18 12 47.05	406 416.970		12 12 15 3.903	- 6 32 56.96	363 467.701
	18 3 3 3.470	18 48 29.06	406 408.308		18 12 28 59.713	- 7 50 41.11	362 362.254
23	0 3 15 21.463	19 21 10.22	406 355.297	4	0 12 43 5.989	- 9 7 9.58	361 342.506
	6 3 27 44.211	19 50 44.04	406 256.837		6 12 57 23.188	-10 22 0.03	360 415.381
	12 3 40 11.520	20 17 4.44	406 111.771		12 13 11 51.666	-11 34 49.50	359 587.308
	18 3 52 43.141	20 40 5.78	405 918.896		18 13 26 31.649	-12 45 14.57	358 864.144
24	0 4 5 18.781	20 59 42.90	405 676.980	5	0 13 41 23.220	-13 52 51.59	358 251.085
	6 4 17 58.104	21 15 51.13	405 384.783		6 13 56 26.295	-14 57 16.93	357 752.604
	12 4 30 40.737	21 28 26.38	405 041.073		12 14 11 40.610	-15 58 7.33	357 372.383
	18 4 43 26.277	21 37 25.12	404 644.650		18 14 27 5.705	-16 55 0.18	357 113.258
25	0 4 56 14.298	21 42 44.43	404 194.367	6	0 14 42 40.913	-17 47 33.93	356 977.178
	6 5 9 4.359	21 44 22.00	403 689.154		6 14 58 25.356	-18 35 28.41	356 965.178
	12 5 21 56.013	21 42 16.17	403 128.040		12 15 14 17.946	-19 18 25.25	357 077.362
	18 5 34 48.812	21 36 25.91	402 510.178		18 15 30 17.396	-19 56 8.20	357 312.898
26	0 5 47 42.322	21 26 50.84	401 834.873	7	0 15 46 22.238	-20 28 23.48	357 670.038
	6 6 0 36.126	21 13 31.20	401 101.600		6 16 2 30.846	-20 55 0.04	358 146.137
	12 6 13 29.834	20 56 27.88	400 310.039		12 16 18 41.470	-21 15 49.80	358 737.696
	18 6 26 23.092	20 35 42.34	399 460.092		18 16 34 52.277	-21 30 47.75	359 440.412
27	0 6 39 15.587	20 11 16.66	398 551.913	8	0 16 51 1.394	-21 39 52.09	360 249.241
	6 6 52 7.054	19 43 13.47	397 585.928		6 17 7 6.951	-21 43 4.10	361 158.465
	12 7 4 57.282	19 11 35.96	396 562.866		12 17 23 7.132	-21 40 28.11	362 161.773
	18 7 17 46.116	18 36 27.84	395 483.775		18 17 39 0.212	-21 32 11.29	363 252.344
28	0 7 30 33.463	17 57 53.29	394 350.047	9	0 17 54 44.600	-21 18 23.39	364 422.928
	6 7 43 19.293	17 15 57.02	393 163.439		6 18 10 18.867	-20 59 16.43	365 665.940
	12 7 56 3.640	16 30 44.16	391 926.090		12 18 25 41.773	-20 35 4.37	366 973.540
	18 8 8 46.604	15 42 20.35	390 640.538		18 18 40 52.282	-20 6 2.74	368 337.726
29	0 8 21 28.349	14 50 51.63	389 309.737	10	0 18 55 49.568	-19 32 28.28	369 750.409
	6 8 34 9.105	13 56 24.53	387 937.065		6 19 10 33.017	-18 54 38.60	371 203.494
	12 8 46 49.160	12 59 6.03	386 526.335		12 19 25 2.223	-18 12 51.83	372 688.953
	18 8 59 28.867	11 59 3.61	385 081.800		18 19 39 16.975	-17 27 26.35	374 198.890

LUNE 2012 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 11 0	19 53 17.241	-16 38 40.51	375 725.602	Mai 22 0	4 43 36.177	21 36 3.37	404 640.679
	6 20 7 3.154	-15 46 52.41	377 261.633		6 4 56 26.884	21 41 9.73	404 240.683
	12 20 20 34.991	-14 52 19.76	378 799.815		12 5 9 19.589	21 42 33.35	403 801.767
	18 20 33 53.153	-13 55 19.71	380 333.317		18 5 22 13.749	21 40 12.62	403 323.905
12 0	20 46 58.148	-12 56 8.77	381 855.670	23 0	5 35 8.817	21 34 6.69	402 806.995
	6 20 59 50.572	-11 55 2.73	383 360.794		6 5 48 4.255	21 24 15.49	402 250.874
	12 21 12 31.095	-10 52 16.62	384 843.024		12 6 0 59.539	21 10 39.71	401 655.334
	18 21 25 0.439	-9 48 4.73	386 297.117		18 6 13 54.176	20 53 20.76	401 020.134
13 0	21 37 19.372	-8 42 40.57	387 718.267	24 0	6 26 47.710	20 32 20.81	400 345.026
	6 21 49 28.692	-7 36 16.95	389 102.106		6 6 39 39.729	20 7 42.70	399 629.769
	12 22 1 29.219	-6 29 5.96	390 444.705		12 6 52 29.874	19 39 29.96	398 874.153
	18 22 13 21.785	-5 21 19.06	391 742.570		18 7 5 17.849	19 7 46.72	398 078.022
14 0	22 25 7.227	-4 13 7.08	392 992.633	25 0	7 18 3.417	18 32 37.69	397 241.295
	6 22 36 46.380	-3 4 40.36	394 192.241		6 7 30 46.414	17 54 8.11	396 363.994
	12 22 48 20.073	-1 56 8.72	395 339.147		12 7 43 26.745	17 12 23.74	395 446.268
	18 22 59 49.127	-0 47 41.58	396 431.484		18 7 56 4.389	16 27 30.77	394 488.416
15 0	23 11 14.344	0 20 32.03	397 467.759	26 0	8 8 39.397	15 39 35.79	393 490.917
	6 23 22 36.514	1 28 23.37	398 446.823		6 8 21 11.893	14 48 45.81	392 454.452
	12 23 33 56.404	2 35 43.96	399 367.853		12 8 33 42.074	13 55 8.15	391 379.932
	18 23 45 14.759	3 42 25.52	400 230.334		18 8 46 10.205	12 58 50.51	390 268.518
16 0	23 56 32.299	4 48 19.94	401 034.027	27 0	8 58 36.617	12 0 0.87	389 121.652
	6 0 7 49.720	5 53 19.21	401 778.952		6 9 11 1.708	10 58 47.57	387 941.071
	12 0 19 7.686	6 57 15.43	402 465.358		12 9 23 25.935	9 55 19.26	386 728.833
	18 0 30 26.832	8 0 0.72	403 093.703		18 9 35 49.811	8 49 44.91	385 487.333
17 0	0 41 47.759	9 1 27.23	403 664.625	28 0	9 48 13.903	7 42 13.88	384 219.319
	6 0 53 11.032	10 1 27.12	404 178.919		6 10 0 38.828	6 32 55.91	382 927.907
	12 1 4 37.177	10 59 52.53	404 637.510		12 10 13 5.247	5 22 1.15	381 616.587
	18 1 16 6.680	11 56 35.59	405 041.434		18 10 25 33.862	4 9 40.24	380 289.233
18 0	1 27 39.983	12 51 28.39	405 391.806	29 0	10 38 5.410	2 56 4.32	378 950.103
	6 1 39 17.480	13 44 23.01	405 689.806		6 10 50 40.659	1 41 25.12	377 603.836
	12 1 50 59.514	14 35 11.53	405 936.650		12 11 3 20.401	0 25 54.98	376 255.445
	18 2 2 46.376	15 23 46.03	406 133.572		18 11 16 5.448	-0 50 13.07	374 910.302
19 0	2 14 38.300	16 9 58.63	406 281.806	30 0	11 28 56.624	-2 6 45.27	373 574.122
	6 2 26 35.461	16 53 41.52	406 382.563		6 11 41 54.753	-3 23 27.03	372 252.935
	12 2 38 37.971	17 34 47.00	406 437.017		12 11 55 0.657	-4 40 2.98	370 953.055
	18 2 50 45.880	18 13 7.51	406 446.289		18 12 8 15.141	-5 56 16.83	369 681.043
20 0	3 2 59.172	18 48 35.68	406 411.433	31 0	12 21 38.981	-7 11 51.41	368 443.660
	6 3 15 17.764	19 21 4.42	406 333.425		6 12 35 12.912	-8 26 28.66	367 247.818
	12 3 27 41.509	19 50 26.92	406 213.150		12 12 48 57.612	-9 39 49.61	366 100.523
	18 3 40 10.194	20 16 36.73	406 051.397		18 13 2 53.685	-10 51 34.49	365 008.805
21 0	3 52 43.545	20 39 27.86	405 848.852	Juin 1 0	13 17 1.642	-12 1 22.75	363 979.660
	6 4 5 21.229	20 58 54.77	405 606.092		6 13 31 21.881	-13 8 53.17	363 019.968
	12 4 18 2.858	21 14 52.48	405 323.587		12 13 45 54.668	-14 13 44.08	362 136.418
	18 4 30 47.999	21 27 16.59	405 001.699		18 14 0 40.114	-15 15 33.47	361 335.433

LUNE 2012 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	2 0 14 15 38.155	-16 13 59.27	360 623.085	Juin	13 0 0 29 39.965	7 55 2.63	400 938.242
	6 14 30 48.533	-17 8 39.65	360 005.019		6 0 41 4.734	8 56 55.23	401 720.503
	12 14 46 10.783	-17 59 13.29	359 486.375		12 0 52 31.011	9 57 16.75	402 432.660
	18 15 1 44.215	-18 45 19.77	359 071.711		18 1 3 59.400	10 55 59.95	403 074.452
	3 0 15 17 27.916	-19 26 39.91	358 764.942		14 0 1 15 30.466	11 52 57.59	403 645.946
	6 15 33 20.749	-20 2 56.19	358 569.273		6 1 27 4.732	12 48 2.44	404 147.513
	12 15 49 21.361	-20 33 53.12	358 487.150		12 1 38 42.676	13 41 7.25	404 579.806
	18 16 5 28.204	-20 59 17.56	358 520.217		18 1 50 24.727	14 32 4.72	404 943.741
	4 0 16 21 39.561	-21 18 59.09	358 669.286		15 0 2 2 11.263	15 20 47.54	405 240.473
	6 16 37 53.582	-21 32 50.23	358 934.316		6 2 14 2.608	16 7 8.39	405 471.375
	12 16 54 8.329	-21 40 46.63	359 314.409		12 2 25 59.026	16 50 59.94	405 638.012
	18 17 10 21.818	-21 42 47.15	359 807.816		18 2 38 0.720	17 32 14.88	405 742.120
	5 0 17 26 32.075	-21 38 53.91	360 411.953		16 0 2 50 7.827	18 10 45.97	405 785.583
	6 17 42 37.180	-21 29 12.14	361 123.434		6 3 2 20.419	18 46 26.08	405 770.407
	12 17 58 35.314	-21 13 50.07	361 938.110		12 3 14 38.497	19 19 8.20	405 698.702
	18 18 14 24.803	-20 52 58.63	362 851.123		18 3 27 1.994	19 48 45.55	405 572.655
	6 0 18 30 4.147	-20 26 51.16	363 856.966		17 0 3 39 30.771	20 15 11.60	405 394.507
	6 18 45 32.050	-19 55 43.04	364 949.545		6 3 52 4.619	20 38 20.14	405 166.537
	12 19 0 47.430	-19 19 51.32	366 122.257		12 4 4 43.264	20 58 5.36	404 891.036
	18 19 15 49.434	-18 39 34.35	367 368.064		18 4 17 26.365	21 14 21.90	404 570.286
	7 0 19 30 37.431	-17 55 11.34	368 679.573		18 0 4 30 13.524	21 27 4.94	404 206.548
	6 19 45 11.008	-17 7 2.08	370 049.110		6 4 43 4.288	21 36 10.24	403 802.037
	12 19 59 29.958	-16 15 26.54	371 468.805		12 4 55 58.159	21 41 34.22	403 358.908
	18 20 13 34.262	-15 20 44.66	372 930.666		18 5 8 54.602	21 43 14.01	402 879.243
	8 0 20 27 24.070	-14 23 16.05	374 426.651		19 0 5 21 53.052	21 41 7.47	402 365.034
	6 20 40 59.683	-13 23 19.82	375 948.739		6 5 34 52.930	21 35 13.29	401 818.176
	12 20 54 21.528	-12 21 14.43	377 488.995		12 5 47 53.647	21 25 30.96	401 240.453
	18 21 7 30.143	-11 17 17.55	379 039.629		18 6 0 54.623	21 12 0.80	400 633.533
	9 0 21 20 26.153	-10 11 46.04	380 593.050		20 0 6 13 55.290	20 54 44.00	399 998.959
	6 21 33 10.256	-9 4 55.85	382 141.915		6 6 26 55.108	20 33 42.57	399 338.153
	12 21 45 43.208	-7 57 2.03	383 679.170		12 6 39 53.576	20 8 59.34	398 652.407
	18 21 58 5.804	-6 48 18.76	385 198.088		18 6 52 50.235	19 40 37.95	397 942.887
	10 0 22 10 18.872	-5 38 59.33	386 692.299		21 0 7 5 44.684	19 8 42.79	397 210.641
	6 22 22 23.258	-4 29 16.20	388 155.816		6 7 18 36.580	18 33 18.98	396 456.598
	12 22 34 19.821	-3 19 21.09	389 583.056		12 7 31 25.650	17 54 32.32	395 681.580
	18 22 46 9.420	-2 9 24.96	390 968.853		18 7 44 11.689	17 12 29.22	394 886.314
	11 0 22 57 52.917	-0 59 38.16	392 308.471		22 0 7 56 54.567	16 27 16.65	394 071.441
	6 23 9 31.161	0 9 49.56	393 597.608		6 8 9 34.229	15 39 2.14	393 237.535
	12 23 21 4.992	1 18 48.99	394 832.405		12 8 22 10.695	14 47 53.65	392 385.116
	18 23 32 35.233	2 27 11.32	396 009.436		18 8 34 44.062	13 53 59.59	391 514.674
	12 0 23 44 2.690	3 34 48.17	397 125.712		23 0 8 47 14.500	12 57 28.72	390 626.682
	6 23 55 28.146	4 41 31.45	398 178.672		6 8 59 42.247	11 58 30.16	389 721.624
	12 0 6 52.360	5 47 13.33	399 166.172		12 9 12 7.615	10 57 13.35	388 800.016
	18 0 18 16.065	6 51 46.21	400 086.477		18 9 24 30.975	9 53 48.00	387 862.429

LUNE 2012 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	24 0	9 36 52.764	8 48 24.10	386909.512	Juill.	5 0	20 3 53.888	-16 2 29.71	370 125.315
	6	9 49 13.474	7 41 11.90	385942.021		6	20 18 6.153	-15 6 26.04	371 287.871
	12	10 1 33.650	6 32 21.92	384960.840		12	20 32 5.136	-14 7 29.76	372 508.235
	18	10 13 53.886	5 22 4.94	383967.006		18	20 45 50.966	-13 6 0.46	373 779.967
	25 0	10 26 14.820	4 10 32.02	382961.732	6 0	20 59 23.908	-12 2 17.34	375 096.349	
	6	10 38 37.130	2 57 54.54	381946.430	6	21 12 44.343	-10 56 39.04	376 450.450	
	12	10 51 1.529	1 44 24.20	380922.733	12	21 25 52.752	-9 49 23.52	377 835.187	
	18	11 3 28.758	0 30 13.07	379892.508	18	21 38 49.703	-8 40 47.99	379 243.384	
	26 0	11 15 59.585	-0 44 26.39	378857.879	7 0	21 51 35.827	-7 31 8.84	380 667.831	
	6	11 28 34.794	-1 59 21.28	377821.238	6	22 4 11.813	-6 20 41.60	382 101.341	
	12	11 41 15.181	-3 14 18.23	376785.252	12	22 16 38.389	-5 9 40.93	383 536.801	
	18	11 54 1.547	-4 29 3.34	375752.875	18	22 28 56.314	-3 58 20.66	384 967.224	
	27 0	12 6 54.691	-5 43 22.17	374727.344	8 0	22 41 6.368	-2 46 53.75	386 385.788	
	6	12 19 55.396	-6 56 59.71	373712.183	6	22 53 9.345	-1 35 32.40	387 785.886	
	12	12 33 4.424	-8 9 40.32	372711.194	12	23 5 6.042	-0 24 28.05	389 161.156	
	18	12 46 22.503	-9 21 7.76	371728.443	18	23 16 57.257	0 46 8.56	390 505.517	
	28 0	12 59 50.311	-10 31 5.19	370768.247	9 0	23 28 43.783	1 56 7.31	391 813.198	
	6	13 13 28.466	-11 39 15.17	369835.147	6	23 40 26.401	3 5 18.68	393 078.763	
	12	13 27 17.505	-12 45 19.72	368933.884	12	23 52 5.882	4 13 33.63	394 297.131	
	18	13 41 17.873	-13 49 0.37	368069.363	18	0 3 42.976	5 20 43.61	395 463.595	
	29 0	13 55 29.900	-14 49 58.29	367246.615	10 0	0 15 18.416	6 26 40.44	396 573.833	
	6	14 9 53.786	-15 47 54.42	366470.753	6	0 26 52.912	7 31 16.27	397 623.924	
	12	14 24 29.580	-16 42 29.58	365746.922	12	0 38 27.148	8 34 23.54	398 610.348	
	18	14 39 17.165	-17 33 24.75	365080.246	18	0 50 1.781	9 35 54.93	399 529.999	
	30 0	14 54 16.245	-18 20 21.26	364475.773	11 0	1 1 37.436	10 35 43.28	400 380.180	
	6	15 9 26.328	-19 3 1.05	363938.413	6	1 13 14.709	11 33 41.58	401 158.607	
	12	15 24 46.723	-19 41 7.00	363472.877	12	1 24 54.156	12 29 42.94	401 863.407	
	18	15 40 16.536	-20 14 23.19	363083.615	18	1 36 36.297	13 23 40.51	402 493.107	
Juill.	1 0	15 55 54.674	-20 42 35.26	362774.755	12 0	1 48 21.610	14 15 27.54	403 046.637	
	6	16 11 39.858	-21 5 30.71	362550.039	6	2 0 10.528	15 4 57.29	403 523.315	
	12	16 27 30.642	-21 22 59.19	362412.767	12	2 12 3.436	15 52 3.04	403 922.837	
	18	16 43 25.436	-21 34 52.74	362365.741	18	2 24 0.669	16 36 38.11	404 245.272	
	2 0	16 59 22.546	-21 41 6.06	362411.220	13 0	2 36 2.508	17 18 35.86	404 491.039	
	6	17 15 20.202	-21 41 36.58	362550.870	6	2 48 9.174	17 57 49.66	404 660.905	
	12	17 31 16.611	-21 36 24.63	362785.734	12	3 0 20.830	18 34 12.99	404 755.958	
	18	17 47 9.990	-21 25 33.36	363116.204	18	3 12 37.578	19 7 39.38	404 777.598	
	3 0	18 2 58.615	-21 9 8.76	363541.997	14 0	3 24 59.454	19 38 2.53	404 727.518	
	6	18 18 40.856	-20 47 19.44	364062.152	6	3 37 26.427	20 5 16.28	404 607.684	
	12	18 34 15.214	-20 20 16.48	364675.023	12	3 49 58.404	20 29 14.70	404 420.315	
	18	18 49 40.349	-19 48 13.15	365378.293	18	4 2 35.224	20 49 52.15	404 167.864	
	4 0	19 4 55.100	-19 11 24.62	366168.988	15 0	4 15 16.661	21 7 3.32	403 852.997	
	6	19 19 58.499	-18 30 7.61	367043.506	6	4 28 2.431	21 20 43.27	403 478.571	
	12	19 34 49.776	-17 44 40.11	367997.651	12	4 40 52.192	21 30 47.55	403 047.608	
	18	19 49 28.365	-16 55 20.99	369026.672	18	4 53 45.548	21 37 12.23	402 563.276	

LUNE 2012 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. 16	0	5 6 42.060	21 39 53.94	402028.864	Juill. 27	0	14 38 26.563	-17 19 53.04	369526.011
	6	5 19 41.249	21 38 49.97	401447.756		6	14 53 0.600	-18 6 7.56	369112.988
	12	5 32 42.608	21 33 58.32	400823.411		12	15 7 44.051	-18 48 19.65	368735.698
	18	5 45 45.609	21 25 17.71	400159.332		18	15 22 36.455	-19 26 14.74	368396.732
17	0	5 58 49.713	21 12 47.64	399459.050	28	0	15 37 37.192	-19 59 39.19	368098.771
	6	6 11 54.383	20 56 28.46	398726.094		6	15 52 45.486	-20 28 20.56	367844.551
	12	6 24 59.090	20 36 21.31	397963.967		12	16 8 0.408	-20 52 7.78	367636.832
	18	6 38 3.326	20 12 28.21	397176.129		18	16 23 20.886	-21 10 51.35	367478.361
18	0	6 51 6.613	19 44 52.02	396365.971	29	0	16 38 45.728	-21 24 23.61	367371.829
	6	7 4 8.512	19 13 36.44	395536.792		6	16 54 13.633	-21 32 38.82	367319.838
	12	7 17 8.631	18 38 45.99	394691.787		12	17 9 43.224	-21 35 33.39	367324.851
	18	7 30 6.630	18 0 26.00	393834.019		18	17 25 13.075	-21 33 5.93	367389.152
19	0	7 43 2.232	17 18 42.55	392966.414	30	0	17 40 41.739	-21 25 17.30	367514.805
	6	7 55 55.219	16 33 42.49	392091.736		6	17 56 7.785	-21 12 10.68	367703.614
	12	8 8 45.445	15 45 33.30	391212.583		12	18 11 29.824	-20 53 51.45	367957.076
	18	8 21 32.831	14 54 23.16	390331.375		18	18 26 46.539	-20 30 27.16	368276.354
20	0	8 34 17.367	14 0 20.82	389450.345	31	0	18 41 56.714	-20 2 7.38	368662.237
	6	8 46 59.114	13 3 35.58	388571.539		6	18 56 59.252	-19 29 3.51	369115.113
	12	8 59 38.203	12 4 17.26	387696.809		12	19 11 53.193	-18 51 28.62	369634.946
	18	9 12 14.830	11 2 36.13	386827.819		18	19 26 37.723	-18 9 37.17	370221.254
21	0	9 24 49.257	9 58 42.90	385966.047	Août 1	0	19 41 12.185	-17 23 44.82	370873.096
	6	9 37 21.805	8 52 48.66	385112.794		6	19 55 36.077	-16 34 8.19	371589.066
	12	9 49 52.854	7 45 4.84	384269.191		12	20 9 49.050	-15 41 4.59	372367.286
	18	10 2 22.838	6 35 43.21	383436.213		18	20 23 50.901	-14 44 51.81	373205.419
22	0	10 14 52.240	5 24 55.86	382614.695	2	0	20 37 41.566	-13 45 47.92	374100.667
	6	10 27 21.585	4 12 55.15	381805.348		6	20 51 21.109	-12 44 11.04	375049.799
	12	10 39 51.444	2 59 53.73	381008.780		12	21 4 49.707	-11 40 19.21	376049.161
	18	10 52 22.418	1 46 4.51	380225.515		18	21 18 7.639	-10 34 30.22	377094.709
23	0	11 4 55.141	0 31 40.68	379456.018	3	0	21 31 15.271	-9 27 1.49	378182.035
	6	11 17 30.270	-0 43 4.31	378700.717		6	21 44 13.047	-8 18 9.96	379306.402
	12	11 30 8.482	-1 57 56.73	377960.030		12	21 57 1.474	-7 8 12.00	380462.780
	18	11 42 50.467	-3 12 42.58	377234.387		18	22 9 41.108	-5 57 23.40	381645.887
24	0	11 55 36.920	-4 27 7.57	376524.255	4	0	22 22 12.550	-4 45 59.26	382850.227
	6	12 8 28.536	-5 40 57.10	375830.164		6	22 34 36.430	-3 34 14.00	384070.134
	12	12 21 26.001	-6 53 56.29	375152.730		12	22 46 53.404	-2 22 21.37	385299.816
	18	12 34 29.981	-8 5 49.95	374492.671		18	22 59 4.141	-1 10 34.41	386533.394
25	0	12 47 41.118	-9 16 22.59	373850.837	5	0	23 11 9.322	0 0 54.50	387764.949
	6	13 1 0.014	-10 25 18.46	373228.215		6	23 23 9.631	1 11 53.65	388988.560
	12	13 14 27.221	-11 32 21.52	372625.952		12	23 35 5.749	2 22 11.94	390198.345
	18	13 28 3.231	-12 37 15.52	372045.365		18	23 46 58.353	3 31 38.87	391388.501
26	0	13 41 48.461	-13 39 44.04	371487.944	6	0	23 58 48.111	4 40 4.48	392553.337
	6	13 55 43.241	-14 39 30.54	370955.361		6	0 10 35.676	5 47 19.33	393687.315
	12	14 9 47.798	-15 36 18.47	370449.466		12	0 22 21.686	6 53 14.45	394785.073
	18	14 24 2.244	-16 29 51.39	369972.285		18	0 34 6.759	7 57 41.28	395841.464

LUNE 2012 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	7 0 0 45 51.494	9 0 31.64	396851.577	Août	18 0 10 0 3.624	6 53 15.81	380496.898
	6 0 57 36.461	10 1 37.72	397810.766		6 10 12 48.184	5 42 5.78	379572.121
	12 1 9 22.208	11 0 51.97	398714.668		12 10 25 33.147	4 29 33.48	378681.951
	18 1 21 9.251	11 58 7.12	399559.229		18 10 38 18.977	3 15 52.71	377828.883
	8 0 1 32 58.074	12 53 16.15	400340.717		19 0 10 51 6.170	2 1 17.68	377015.079
	6 1 44 49.127	13 46 12.22	401055.739		6 11 3 55.248	0 46 3.04	376242.364
	12 1 56 42.825	14 36 48.66	401701.256		12 11 16 46.752	- 0 29 36.20	375512.227
	18 2 8 39.540	15 24 58.99	402274.589		18 11 29 41.241	- 1 45 24.67	374825.824
	9 0 2 20 39.604	16 10 36.84	402773.434		20 0 11 42 39.278	- 3 1 6.70	374183.990
	6 2 32 43.306	16 53 35.98	403195.867		6 11 55 41.430	- 4 16 26.32	373587.251
	12 2 44 50.885	17 33 50.34	403540.347		12 12 8 48.256	- 5 31 7.33	373035.842
	18 2 57 2.532	18 11 13.95	403805.723		18 12 22 0.304	- 6 44 53.31	372529.728
10 0	3 9 18.390	18 45 41.00	403991.233	21 0	12 35 18.096	- 7 57 27.69	372068.627
	6 3 21 38.545	19 17 5.82	404096.504		6 12 48 42.124	- 9 8 33.78	371652.039
	12 3 34 3.034	19 45 22.93	404121.554		12 13 2 12.839	-10 17 54.84	371279.274
	18 3 46 31.837	20 10 27.07	404066.784		18 13 15 50.640	-11 25 14.11	370949.484
11 0	3 59 4.884	20 32 13.18	403932.976	22 0	13 29 35.865	-12 30 14.93	370661.694
	6 4 11 42.048	20 50 36.49	403721.285		6 13 43 28.777	-13 32 40.75	370414.833
	12 4 24 23.155	21 5 32.54	403433.234		12 13 57 29.559	-14 32 15.30	370207.772
	18 4 37 7.981	21 16 57.21	403070.700		18 14 11 38.298	-15 28 42.62	370039.349
12 0	4 49 56.257	21 24 46.80	402635.906	23 0	14 25 54.980	-16 21 47.20	369908.405
	6 5 2 47.675	21 28 58.02	402131.407		6 14 40 19.477	-17 11 14.09	369813.809
	12 5 15 41.891	21 29 28.10	401560.077		12 14 54 51.546	-17 56 49.07	369754.486
	18 5 28 38.533	21 26 14.80	400925.091		18 15 9 30.818	-18 38 18.71	369729.441
13 0	5 41 37.207	21 19 16.43	400229.907	24 0	15 24 16.801	-19 15 30.59	369737.777
	6 5 54 37.503	21 8 31.96	399478.249		6 15 39 8.880	-19 48 13.41	369778.715
	12 6 7 39.006	20 54 1.00	398674.084		12 15 54 6.319	-20 16 17.13	369851.606
	18 6 20 41.302	20 35 43.84	397821.601		18 16 9 8.271	-20 39 33.14	369955.939
14 0	6 33 43.984	20 13 41.50	396925.182	25 0	16 24 13.791	-20 57 54.34	370091.347
	6 6 46 46.665	19 47 55.75	395989.382		6 16 39 21.850	-21 11 15.27	370257.607
	12 6 59 48.981	19 18 29.09	395018.898		12 16 54 31.351	-21 19 32.24	370454.639
	18 7 12 50.599	18 45 24.82	394018.541		18 17 9 41.155	-21 22 43.33	370682.496
15 0	7 25 51.226	18 8 46.98	392993.207	26 0	17 24 50.098	-21 20 48.45	370941.354
	6 7 38 50.613	17 28 40.42	391947.842		6 17 39 57.019	-21 13 49.36	371231.500
	12 7 51 48.556	16 45 10.73	390887.414		12 17 55 0.781	-21 1 49.62	371553.308
	18 8 4 44.906	15 58 24.28	389816.879		18 18 10 0.294	-20 44 54.58	371907.226
16 0	8 17 39.569	15 8 28.18	388741.148	27 0	18 24 54.536	-20 23 11.21	372293.745
	6 8 30 32.507	14 15 30.27	387665.051		6 18 39 42.568	-19 56 48.08	372713.379
	12 8 43 23.740	13 19 39.09	386593.311		12 18 54 23.553	-19 25 55.17	373166.633
	18 8 56 13.347	12 21 3.88	385530.504		18 19 8 56.764	-18 50 43.76	373653.981
17 0	9 9 1.462	11 19 54.55	384481.034	28 0	19 23 21.590	-18 11 26.23	374175.832
	6 9 21 48.276	10 16 21.64	383449.101		6 19 37 37.546	-17 28 15.96	374732.502
	12 9 34 34.036	9 10 36.29	382438.672		12 19 51 44.265	-16 41 27.10	375324.187
	18 9 47 19.037	8 2 50.25	381453.460		18 20 5 41.503	-15 51 14.44	375950.936

LUNE 2012 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	29 0	20 19 29.132	-14 57 53.28	376612.623	Sept.	9 0	5 23 57.197	21 13 6.68	402346.817
	6	20 33 7.131	-14 1 39.23	377308.925		6	5 36 46.797	21 7 48.74	401754.533
	12	20 46 35.580	-13 2 48.10	378039.300		12	5 49 37.684	20 58 51.93	401087.588
	18	20 59 54.650	-12 1 35.81	378802.968		18	6 2 29.564	20 46 15.91	400348.265
	30 0	21 13 4.593	-10 58 18.23	379598.896	10 0	6 15 22.151	20 30 0.88	399539.246	
	6	21 26 5.734	-9 53 11.12	380425.784	6	6 28 15.172	20 10 7.56	398663.600	
	12	21 38 58.458	-8 46 30.03	381282.059	12	6 41 8.371	19 46 37.22	397724.784	
	18	21 51 43.204	-7 38 30.25	382165.867	18	6 54 1.517	19 19 31.69	396726.622	
	31 0	22 4 20.452	-6 29 26.73	383075.074	11 0	7 6 54.409	18 48 53.40	395673.302	
	6	22 16 50.719	-5 19 34.04	384007.266	6	7 19 46.878	18 14 45.35	394569.354	
	12	22 29 14.547	-4 9 6.36	384959.757	12	7 32 38.792	17 37 11.16	393419.637	
	18	22 41 32.500	-2 58 17.42	385929.598	18	7 45 30.059	16 56 15.07	392229.314	
Sept.	1 0	22 53 45.154	-1 47 20.49	386913.586	12 0	7 58 20.633	16 12 1.93	391003.829	
	6	23 5 53.094	-0 36 28.39	387908.285	6	8 11 10.512	15 24 37.27	389748.880	
	12	23 17 56.907	0 34 6.56	388910.041	12	8 23 59.738	14 34 7.23	388470.390	
	18	23 29 57.181	1 44 12.48	389915.005	18	8 36 48.405	13 40 38.66	387174.472	
	2 0	23 41 54.495	2 53 37.99	390919.152	13 0	8 49 36.650	12 44 19.06	385867.392	
	6	23 53 49.420	4 2 12.15	391918.312	6	9 2 24.660	11 45 16.66	384555.531	
	12	0 5 42.515	5 9 44.46	392908.190	12	9 15 12.664	10 43 40.36	383245.343	
	18	0 17 34.323	6 16 4.87	393884.399	18	9 28 0.940	9 39 39.81	381943.307	
	3 0	0 29 25.369	7 21 3.74	394842.483	14 0	9 40 49.803	8 33 25.37	380655.886	
	6	0 41 16.156	8 24 31.82	395777.950	6	9 53 39.609	7 25 8.15	379389.473	
	12	0 53 7.163	9 26 20.26	396686.302	12	10 6 30.750	6 14 60.00	378150.342	
	18	1 4 58.846	10 26 20.56	397563.057	18	10 19 23.651	5 3 13.51	376944.601	
	4 0	1 16 51.630	11 24 24.57	398403.785	15 0	10 32 18.763	3 50 2.01	375778.138	
	6	1 28 45.913	12 20 24.46	399204.136	6	10 45 16.562	2 35 39.57	374656.571	
	12	1 40 42.057	13 14 12.73	399959.861	12	10 58 17.544	1 20 20.97	373585.202	
	18	1 52 40.393	14 5 42.16	400666.848	18	11 11 22.214	0 4 21.70	372568.971	
	5 0	2 4 41.215	14 54 45.83	401321.140	16 0	11 24 31.087	-1 12 2.11	371612.410	
	6	2 16 44.780	15 41 17.09	401918.965	6	11 37 44.676	-2 28 33.69	370719.608	
	12	2 28 51.303	16 25 9.57	402456.758	12	11 51 3.486	-3 44 55.70	369894.174	
	18	2 41 0.963	17 6 17.16	402931.182	18	12 4 28.007	-5 0 50.30	369139.212	
	6 0	2 53 13.894	17 44 34.03	403339.152	17 0	12 17 58.701	-6 15 59.18	368457.295	
	6	3 5 30.188	18 19 54.58	403677.854	6	12 31 36.001	-7 30 3.70	367850.451	
	12	3 17 49.897	18 52 13.53	403944.762	12	12 45 20.289	-8 42 44.95	367320.152	
	18	3 30 13.027	19 21 25.86	404137.657	18	12 59 11.897	-9 53 43.88	366867.320	
	7 0	3 42 39.546	19 47 26.82	404254.644	18 0	13 13 11.088	-11 2 41.38	366492.321	
	6	3 55 9.377	20 10 12.01	404294.161	6	13 27 18.049	-12 9 18.48	366194.989	
	12	4 7 42.408	20 29 37.31	404255.001	12	13 41 32.877	-13 13 16.42	365974.642	
	18	4 20 18.487	20 45 38.95	404136.315	18	13 55 55.575	-14 14 16.86	365830.107	
	8 0	4 32 57.430	20 58 13.54	403937.627	19 0	14 10 26.035	-15 12 2.00	365759.755	
	6	4 45 39.023	21 7 18.02	403658.844	6	14 25 4.034	-16 6 14.80	365761.539	
	12	4 58 23.026	21 12 49.78	403300.256	12	14 39 49.232	-16 56 39.11	365833.037	
	18	5 11 9.177	21 14 46.59	402862.553	18	14 54 41.160	-17 42 59.84	365971.497	

LUNE 2012 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. 20	0 15 9 39.227	-18 25 3.17	366 173.883	Oct. 1	0 1 1 38.214	10 3 52.05	398 179.034
	6 15 24 42.722	-19 2 36.67	366 436.933		6 1 13 31.020	11 1 53.21	398 904.374
	12 15 39 50.818	-19 35 29.48	366 757.202		12 1 25 25.750	11 57 56.34	399 605.313
	18 15 55 2.585	-20 3 32.41	367 131.117		18 1 37 22.697	12 51 53.22	400 278.972
21	0 16 10 17.002	-20 26 38.10	367 555.026	2	0 1 49 22.115	13 43 35.93	400 922.375
	6 16 25 32.977	-20 44 41.04	368 025.244		6 2 1 24.217	14 32 56.83	401 532.470
	12 16 40 49.367	-20 57 37.65	368 538.101		12 2 13 29.174	15 19 48.64	402 106.149
	18 16 56 4.999	-21 5 26.33	369 089.979		18 2 25 37.116	16 4 4.38	402 640.267
22	0 17 11 18.693	-21 8 7.39	369 677.355	3	0 2 37 48.127	16 45 37.42	403 131.668
	6 17 26 29.290	-21 5 43.06	370 296.830		6 2 50 2.250	17 24 21.50	403 577.202
	12 17 41 35.670	-20 58 17.36	370 945.160		12 3 2 19.482	18 0 10.72	403 973.752
	18 17 56 36.776	-20 45 56.03	371 619.278		18 3 14 39.780	18 32 59.56	404 318.256
23	0 18 11 31.634	-20 28 46.40	372 316.317	4	0 3 27 3.061	19 2 42.92	404 607.730
	6 18 26 19.366	-20 6 57.19	373 033.620		6 3 39 29.200	19 29 16.10	404 839.296
	12 18 40 59.205	-19 40 38.45	373 768.752		12 3 51 58.037	19 52 34.83	405 010.200
	18 18 55 30.501	-19 10 1.27	374 519.501		18 4 4 29.381	20 12 35.27	405 117.839
24	0 19 9 52.728	-18 35 17.71	375 283.882	5	0 4 17 3.009	20 29 14.05	405 159.787
	6 19 24 5.485	-17 56 40.59	376 060.132		6 4 29 38.675	20 42 28.26	405 133.811
	12 19 38 8.495	-17 14 23.33	376 846.701		12 4 42 16.111	20 52 15.43	405 037.903
	18 19 52 1.599	-16 28 39.79	377 642.237		18 4 54 55.036	20 58 33.60	404 870.292
25	0 20 5 44.750	-15 39 44.17	378 445.579	6	0 5 7 35.161	21 1 21.27	404 629.475
	6 20 19 18.007	-14 47 50.86	379 255.731		6 5 20 16.190	21 0 37.39	404 314.232
	12 20 32 41.522	-13 53 14.36	380 071.847		12 5 32 57.832	20 56 21.43	403 923.646
	18 20 45 55.537	-12 56 9.15	380 893.209		18 5 45 39.807	20 48 33.29	403 457.126
26	0 20 59 0.363	-11 56 49.65	381 719.199	7	0 5 58 21.845	20 37 13.35	402 914.421
	6 21 11 56.382	-10 55 30.15	382 549.281		6 6 11 3.699	20 22 22.45	402 295.638
	12 21 24 44.028	- 9 52 24.74	383 382.968		12 6 23 45.148	20 4 1.87	401 601.259
	18 21 37 23.782	- 8 47 47.32	384 219.806		18 6 36 25.998	19 42 13.33	400 832.155
27	0 21 49 56.162	- 7 41 51.50	385 059.340	8	0 6 49 6.092	19 16 58.98	399 989.596
	6 22 2 21.716	- 6 34 50.64	385 901.095		6 7 1 45.312	18 48 21.40	399 075.268
	12 22 14 41.014	- 5 26 57.83	386 744.553		12 7 14 23.579	18 16 23.58	398 091.274
	18 22 26 54.638	- 4 18 25.85	387 589.124		18 7 27 0.860	17 41 8.94	397 040.151
28	0 22 39 3.183	- 3 9 27.17	388 434.134	9	0 7 39 37.167	17 2 41.30	395 924.866
	6 22 51 7.246	- 2 0 14.00	389 278.801		6 7 52 12.560	16 21 4.90	394 748.826
	12 23 3 7.424	- 0 50 58.21	390 122.218		12 8 4 47.145	15 36 24.41	393 515.871
	18 23 15 4.305	0 18 8.58	390 963.342		18 8 17 21.079	14 48 44.94	392 230.279
29	0 23 26 58.473	1 26 55.07	391 800.980	10	0 8 29 54.566	13 58 12.05	390 896.750
	6 23 38 50.495	2 35 10.23	392 633.780		6 8 42 27.855	13 4 51.79	389 520.404
	12 23 50 40.923	3 42 43.33	393 460.223		12 8 55 1.245	12 8 50.68	388 106.763
	18 0 2 30.290	4 49 23.91	394 278.621		18 9 7 35.075	11 10 15.81	386 661.735
30	0 0 14 19.109	5 55 1.78	395 087.115	11	0 9 20 9.730	10 9 14.81	385 191.588
	6 0 26 7.865	6 59 27.02	395 883.677		6 9 32 45.632	9 5 55.92	383 702.927
	12 0 37 57.020	8 2 30.01	396 666.112		12 9 45 23.243	8 0 28.04	382 202.661
	18 0 49 47.003	9 4 1.38	397 432.066		18 9 58 3.057	6 53 0.75	380 697.963

LUNE 2012 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. 12 0	10 10 45.600	5 43 44.36	379 196.231	Oct. 23 0	20 46 59.333	-12 41 8.00	380 305.682
6	10 23 31.425	4 32 49.97	377 705.041	6	21 0 2.288	-11 41 58.68	381 446.494
12	10 36 21.107	3 20 29.49	376 232.093	12	21 12 55.163	-10 40 59.04	382 574.455
18	10 49 15.237	2 6 55.69	374 785.153	18	21 25 38.541	-9 38 23.01	383 687.036
13 0	11 2 14.420	0 52 22.23	373 371.996	24 0	21 38 13.047	-8 34 24.07	384 782.029
6	11 15 19.265	-0 22 56.32	372 000.336	6	21 50 39.340	-7 29 15.23	385 857.529
12	11 28 30.380	-1 38 44.48	370 677.762	12	22 2 58.101	-6 23 9.09	386 911.918
18	11 41 48.361	-2 54 45.83	369 411.664	18	22 15 10.028	-5 16 17.77	387 943.841
14 0	11 55 13.787	-4 10 43.05	368 209.164	25 0	22 27 15.828	-4 8 53.03	388 952.188
6	12 8 47.207	-5 26 17.96	367 077.042	6	22 39 16.207	-3 1 6.24	389 936.067
12	12 22 29.129	-6 41 11.56	366 021.667	12	22 51 11.870	-1 53 8.41	390 894.777
18	12 36 20.009	-7 55 4.11	365 048.924	18	23 3 3.514	-0 45 10.25	391 827.788
15 0	12 50 20.234	-9 7 35.26	364 164.156	26 0	23 14 51.823	0 22 37.81	392 734.706
6	13 4 30.115	-10 18 24.14	363 372.099	6	23 26 37.463	1 30 5.61	393 615.257
12	13 18 49.865	-11 27 9.55	362 676.832	12	23 38 21.083	2 37 3.21	394 469.249
18	13 33 19.591	-12 33 30.14	362 081.729	18	23 50 3.310	3 43 20.89	395 296.556
16 0	13 47 59.275	-13 37 4.58	361 589.427	27 0	0 1 44.742	4 48 49.10	396 097.089
6	14 2 48.762	-14 37 31.89	361 201.797	6	0 13 25.952	5 53 18.46	396 870.769
12	14 17 47.752	-15 34 31.58	360 919.930	12	0 25 7.481	6 56 39.76	397 617.511
18	14 32 55.787	-16 27 43.99	360 744.133	18	0 36 49.837	7 58 43.91	398 337.196
17 0	14 48 12.250	-17 16 50.57	360 673.934	28 0	0 48 33.492	8 59 22.00	399 029.657
6	15 3 36.361	-18 1 34.13	360 708.102	6	1 0 18.879	9 58 25.23	399 694.659
12	15 19 7.183	-18 41 39.09	360 844.677	12	1 12 6.392	10 55 44.98	400 331.881
18	15 34 43.628	-19 16 51.80	361 081.006	18	1 23 56.380	11 51 12.75	400 940.906
18 0	15 50 24.477	-19 47 0.70	361 413.794	29 0	1 35 49.148	12 44 40.24	401 521.209
6	16 6 8.399	-20 11 56.52	361 839.157	6	1 47 44.954	13 35 59.34	402 072.145
12	16 21 53.971	-20 31 32.42	362 352.686	12	1 59 44.005	14 25 2.14	402 592.947
18	16 37 39.716	-20 45 44.10	362 949.513	18	2 11 46.460	15 11 40.96	403 082.717
19 0	16 53 24.127	-20 54 29.76	363 624.384	30 0	2 23 52.423	15 55 48.41	403 540.426
6	17 9 5.704	-20 57 50.15	364 371.727	6	2 36 1.946	16 37 17.37	403 964.914
12	17 24 42.989	-20 55 48.42	365 185.732	12	2 48 15.030	17 16 1.07	404 354.892
18	17 40 14.594	-20 48 30.03	366 060.417	18	3 0 31.620	17 51 53.08	404 708.950
20 0	17 55 39.228	-20 36 2.53	366 989.703	31 0	3 12 51.614	18 24 47.37	405 025.558
6	18 10 55.724	-20 18 35.34	367 967.479	6	3 25 14.854	18 54 38.37	405 303.081
12	18 26 3.058	-19 56 19.57	368 987.663	12	3 37 41.142	19 21 20.94	405 539.787
18	18 41 0.358	-19 29 27.68	370 044.265	18	3 50 10.230	19 44 50.44	405 733.859
21 0	18 55 46.916	-18 58 13.28	371 131.436	Nov. 1 0	4 2 41.834	20 5 2.78	405 883.413
6	19 10 22.187	-18 22 50.84	372 243.517	6	4 15 15.637	20 21 54.38	405 986.512
12	19 24 45.789	-17 43 35.49	373 375.077	12	4 27 51.289	20 35 22.26	406 041.185
18	19 38 57.498	-17 0 42.74	374 520.951	18	4 40 28.422	20 45 24.00	406 045.446
22 0	19 52 57.234	-16 14 28.35	375 676.262	2 0	4 53 6.652	20 51 57.78	405 997.311
6	20 6 45.054	-15 25 8.10	376 836.452	6	5 5 45.586	20 55 2.37	405 894.827
12	20 20 21.137	-14 32 57.69	377 997.288	12	5 18 24.832	20 54 37.12	405 736.087
18	20 33 45.770	-13 38 12.60	379 154.880	18	5 31 4.004	20 50 41.99	405 519.257

LUNE 2012 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. 3 0	5 43 42.733	20 43 17.49	405242.599	Nov. 14 0	15 22 34.518	-18 48 43.29	357545.849
6	5 56 20.670	20 32 24.68	404904.496	6	15 38 31.961	-19 23 11.46	357393.799
12	6 8 57.497	20 18 5.14	404503.474	12	15 54 36.083	-19 52 25.14	357365.406
18	6 21 32.928	20 0 20.95	404038.232	18	16 10 45.292	-20 16 12.43	357460.227
4 0	6 34 6.721	19 39 14.68	403507.661	15 0	16 26 57.863	-20 34 24.22	357676.888
6	6 46 38.676	19 14 49.31	402910.874	6	16 43 11.975	-20 46 54.36	358013.110
12	6 59 8.645	18 47 8.24	402247.227	12	16 59 25.749	-20 53 39.83	358465.742
18	7 11 36.531	18 16 15.25	401516.348	18	17 15 37.300	-20 54 40.69	359030.818
5 0	7 24 2.291	17 42 14.46	400718.153	16 0	17 31 44.779	-20 50 0.10	359703.617
6	7 36 25.941	17 5 10.33	399852.880	6	17 47 46.416	-20 39 44.15	360478.729
12	7 48 47.551	16 25 7.59	398921.101	12	18 3 40.562	-20 24 1.61	361350.143
18	8 1 7.250	15 42 11.29	397923.750	18	18 19 25.722	-20 3 3.73	362311.322
6 0	8 13 25.224	14 56 26.75	396862.142	17 0	18 35 0.580	-19 37 3.84	363355.295
6	8 25 41.714	14 7 59.54	395737.988	6	18 50 24.021	-19 6 17.05	364474.747
12	8 37 57.017	13 16 55.52	394553.416	12	19 5 35.138	-18 30 59.87	365662.103
18	8 50 11.481	12 23 20.83	393310.985	18	19 20 33.236	-17 51 29.85	366909.622
7 0	9 2 25.507	11 27 21.89	392013.696	18 0	19 35 17.830	-17 8 5.26	368209.476
6	9 14 39.542	10 29 5.47	390665.001	6	19 49 48.634	-16 21 4.74	369553.831
12	9 26 54.082	9 28 38.66	389268.814	12	20 4 5.548	-15 30 47.04	370934.922
18	9 39 9.664	8 26 8.96	387829.511	18	20 18 8.639	-14 37 30.82	372345.118
8 0	9 51 26.866	7 21 44.29	386351.930	19 0	20 31 58.128	-13 41 34.36	373776.986
6	10 3 46.304	6 15 33.05	384841.367	6	20 45 34.364	-12 43 15.51	375223.343
12	10 16 8.628	5 7 44.19	383303.566	12	20 58 57.812	-11 42 51.49	376677.305
18	10 28 34.517	3 58 27.24	381744.705	18	21 12 9.027	-10 40 38.84	378132.322
9 0	10 41 4.676	2 47 52.40	380171.379	20 0	21 25 8.644	-9 36 53.39	379582.214
6	10 53 39.834	1 36 10.58	378590.568	6	21 37 57.357	-8 31 50.18	381021.195
12	11 6 20.733	0 23 33.50	377009.609	12	21 50 35.906	-7 25 43.51	382443.892
18	11 19 8.127	-0 49 46.30	375436.158	18	22 3 5.066	-6 18 46.92	383845.359
10 0	11 32 2.772	-2 3 35.34	373878.143	21 0	22 15 25.635	-5 11 13.25	385221.081
6	11 45 5.418	-3 17 39.22	372343.712	6	22 27 38.423	-4 3 14.65	386566.979
12	11 58 16.804	-4 31 42.52	370841.173	12	22 39 44.246	-2 55 2.65	387879.408
18	12 11 37.641	-5 45 28.81	369378.933	18	22 51 43.918	-1 46 48.20	389155.144
11 0	12 25 8.603	-6 58 40.64	367965.421	22 0	23 3 38.247	-0 38 41.74	390391.383
6	12 38 50.313	-8 10 59.55	366609.014	6	23 15 28.027	0 29 6.75	391585.718
12	12 52 43.329	-9 22 6.12	365317.953	12	23 27 14.035	1 36 27.72	392736.127
18	13 6 48.124	-10 31 40.05	364100.260	18	23 38 57.026	2 43 11.94	393840.953
12 0	13 21 5.070	-11 39 20.27	362963.649	23 0	23 50 37.735	3 49 10.51	394898.880
6	13 35 34.418	-12 44 45.08	361915.439	6	0 2 16.866	4 54 14.78	395908.915
12	13 50 16.280	-13 47 32.38	360962.462	12	0 13 55.095	5 58 16.30	396870.358
18	14 5 10.609	-14 47 19.85	360110.982	18	0 25 33.065	7 1 6.81	397782.781
13 0	14 20 17.180	-15 43 45.27	359366.612	24 0	0 37 11.384	8 2 38.19	398645.998
6	14 35 35.580	-16 36 26.82	358734.243	6	0 48 50.623	9 2 42.44	399460.042
12	14 51 5.189	-17 25 3.41	358217.972	12	1 0 31.310	10 1 11.67	400225.135
18	15 6 45.181	-18 9 15.07	357821.053	18	1 12 13.933	10 57 58.07	400941.659

LUNE 2012 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. 25 0	1 23 58.933	11 52 53.92	401 610.137	Déc. 6 0	10 25 16.477	4 18 38.90	387 698.868
6	1 35 46.704	12 45 51.56	402 231.198	6	10 37 23.267	3 10 32.36	386 347.834
12	1 47 37.587	13 36 43.44	402 805.556	12	10 49 33.544	2 1 25.04	384 963.065
18	1 59 31.871	14 25 22.11	403 333.983	18	11 1 48.078	0 51 26.92	383 548.582
26 0	2 11 29.789	15 11 40.22	403 817.287	7 0	11 14 7.664	- 0 19 11.54	382 108.851
6	2 23 31.515	15 55 30.60	404 256.287	6	11 26 33.113	- 1 30 19.23	380 648.783
12	2 35 37.167	16 36 46.23	404 651.793	12	11 39 5.248	- 2 41 44.40	379 173.727
18	2 47 46.797	17 15 20.32	405 004.585	18	11 51 44.895	- 3 53 14.55	377 689.461
27 0	3 0 0.400	17 51 6.32	405 315.396	8 0	12 4 32.880	- 5 4 36.39	376 202.172
6	3 12 17.908	18 23 57.99	405 584.893	6	12 17 30.016	- 6 15 35.81	374 718.435
12	3 24 39.192	18 53 49.44	405 813.664	12	12 30 37.091	- 7 25 57.80	373 245.182
18	3 37 4.066	19 20 35.17	406 002.206	18	12 43 54.861	- 8 35 26.44	371 789.665
28 0	3 49 32.286	19 44 10.10	406 150.911	9 0	12 57 24.035	- 9 43 44.88	370 359.411
6	4 2 3.558	20 4 29.67	406 260.060	6	13 11 5.254	-10 50 35.37	368 962.169
12	4 14 37.538	20 21 29.83	406 329.816	12	13 24 59.080	-11 55 39.28	367 605.852
18	4 27 13.843	20 35 7.12	406 360.220	18	13 39 5.974	-12 58 37.21	366 298.472
29 0	4 39 52.054	20 45 18.68	406 351.185	10 0	13 53 26.277	-13 59 9.03	365 048.063
6	4 52 31.724	20 52 2.28	406 302.504	6	14 8 0.187	-14 56 54.11	363 862.606
12	5 5 12.389	20 55 16.37	406 213.845	12	14 22 47.739	-15 51 31.48	362 749.943
18	5 17 53.572	20 55 0.05	406 084.760	18	14 37 48.787	-16 42 40.04	361 717.688
30 0	5 30 34.796	20 51 13.12	405 914.690	11 0	14 53 2.984	-17 29 58.92	360 773.142
6	5 43 15.591	20 43 56.05	405 702.975	6	15 8 29.767	-18 13 7.75	359 923.195
12	5 55 55.503	20 33 9.98	405 448.866	12	15 24 8.348	-18 51 47.04	359 174.239
18	6 8 34.104	20 18 56.68	405 151.535	18	15 39 57.714	-19 25 38.58	358 532.082
Déc. 1 0	6 21 10.999	20 1 18.57	404 810.093	12 0	15 55 56.626	-19 54 25.81	358 001.864
6	6 33 45.830	19 40 18.64	404 423.609	6	16 12 3.636	-20 17 54.23	357 587.980
12	6 46 18.290	19 16 0.44	403 991.121	12	16 28 17.109	-20 35 51.76	357 294.016
18	6 58 48.121	18 48 28.01	403 511.664	18	16 44 35.252	-20 48 9.08	357 122.688
2 0	7 11 15.122	18 17 45.90	402 984.288	13 0	17 0 56.151	-20 54 39.84	357 075.806
6	7 23 39.152	17 43 59.03	402 408.081	6	17 17 17.823	-20 55 20.89	357 154.233
12	7 36 0.131	17 7 12.75	401 782.195	12	17 33 38.255	-20 50 12.37	357 357.876
18	7 48 18.043	16 27 32.71	401 105.866	18	17 49 55.462	-20 39 17.65	357 685.681
3 0	8 0 32.938	15 45 4.89	400 378.447	14 0	18 6 7.531	-20 22 43.31	358 135.646
6	8 12 44.928	14 59 55.51	399 599.428	6	18 22 12.668	-20 0 38.87	358 704.848
12	8 24 54.188	14 12 11.02	398 768.466	12	18 38 9.236	-19 33 16.61	359 389.486
18	8 37 0.955	13 21 58.11	397 885.413	18	18 53 55.786	-19 0 51.15	360 184.931
4 0	8 49 5.526	12 29 23.65	396 950.339	15 0	19 9 31.077	-18 23 39.16	361 085.791
6	9 1 8.257	11 34 34.68	395 963.562	6	19 24 54.093	-17 41 58.91	362 085.986
12	9 13 9.556	10 37 38.44	394 925.675	12	19 40 4.044	-16 56 9.90	363 178.826
18	9 25 9.885	9 38 42.35	393 837.568	18	19 55 0.365	-16 6 32.45	364 357.099
5 0	9 37 9.757	8 37 54.02	392 700.457	16 0	20 9 42.703	-15 13 27.36	365 613.158
6	9 49 9.730	7 35 21.29	391 515.904	6	20 24 10.909	-14 17 15.57	366 939.013
12	10 1 10.406	6 31 12.23	390 285.840	12	20 38 25.015	-13 18 17.84	368 326.421
18	10 13 12.429	5 25 35.21	389 012.586	18	20 52 25.215	-12 16 54.59	369 766.976

LUNE 2012 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. 17	0 21 6 11.846	-11 13 25.63	371 252.189	Déc. 25	0 3 36 37.345	19 17 23.42	405 773.938
	6 21 19 45.365	-10 8 10.02	372 773.573		6 3 49 3.120	19 41 18.91	405 932.476
	12 21 33 6.329	- 9 1 26.02	374 322.718		12 4 1 32.267	20 2 1.47	406 037.214
	18 21 46 15.380	- 7 53 30.94	375 891.357		18 4 14 4.529	20 19 26.90	406 090.020
18	0 21 59 13.222	- 6 44 41.15	377 471.429	26	0 4 26 39.600	20 33 31.44	406 092.788
	6 22 12 0.610	- 5 35 12.06	379 055.137		6 4 39 17.125	20 44 11.86	406 047.413
	12 22 24 38.334	- 4 25 18.14	380 634.991		12 4 51 56.709	20 51 25.47	405 955.771
	18 22 37 7.209	- 3 15 12.93	382 203.855		18 5 4 37.927	20 55 10.20	405 819.696
19	0 22 49 28.063	- 2 5 9.11	383 754.977	27	0 5 17 20.324	20 55 24.60	405 640.969
	6 23 1 41.730	- 0 55 18.54	385 282.021		6 5 30 3.431	20 52 7.86	405 421.294
	12 23 13 49.042	0 14 7.68	386 779.082		12 5 42 46.771	20 45 19.87	405 162.289
	18 23 25 50.821	1 22 59.13	388 240.711		18 5 55 29.867	20 35 1.23	404 865.468
20	0 23 37 47.877	2 31 6.01	389 661.916	28	0 6 8 12.252	20 21 13.20	404 532.234
	6 23 49 41.002	3 38 19.06	391 038.176		6 6 20 53.477	20 3 57.75	404 163.869
	12 0 1 30.965	4 44 29.53	392 365.437		12 6 33 33.121	19 43 17.53	403 761.524
	18 0 13 18.510	5 49 29.06	393 640.110		18 6 46 10.797	19 19 15.85	403 326.219
21	0 0 25 4.353	6 53 9.67	394 859.065	29	0 6 58 46.160	18 51 56.62	402 858.838
	6 0 36 49.177	7 55 23.65	396 019.622		6 7 11 18.912	18 21 24.40	402 360.127
	12 0 48 33.632	8 56 3.60	397 119.537		12 7 23 48.809	17 47 44.26	401 830.702
	18 1 0 18.331	9 55 2.27	398 156.987		18 7 36 15.663	17 11 1.80	401 271.049
22	0 1 12 3.847	10 52 12.63	399 130.557	30	0 7 48 39.345	16 31 23.12	400 681.531
	6 1 23 50.711	11 47 27.76	400 039.213		6 8 0 59.788	15 48 54.70	400 062.400
	12 1 35 39.411	12 40 40.89	400 882.288		12 8 13 16.988	15 3 43.45	399 413.810
	18 1 47 30.385	13 31 45.32	401 659.459		18 8 25 31.005	14 15 56.60	398 735.824
23	0 1 59 24.023	14 20 34.48	402 370.723	31	0 8 37 41.959	13 25 41.68	398 028.440
	6 2 11 20.661	15 7 1.85	403 016.371		6 8 49 50.034	12 33 6.50	397 291.599
	12 2 23 20.580	15 51 1.06	403 596.968		12 9 1 55.471	11 38 19.10	396 525.213
	18 2 35 24.005	16 32 25.80	404 113.325		18 9 13 58.572	10 41 27.74	395 729.183
24	0 2 47 31.101	17 11 9.93	404 566.474	32	0 9 25 59.689	9 42 40.87	394 903.423
	6 2 59 41.971	17 47 7.44	404 957.643		6 9 37 59.232	8 42 7.10	394 047.883
	12 3 11 56.659	18 20 12.53	405 288.229		12 9 49 57.655	7 39 55.24	393 162.579
	18 3 24 15.144	18 50 19.63	405 559.774		18 10 1 55.464	6 36 14.24	392 247.612

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 2012 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2451545.0).

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.		
	° / ' "	° / ' "	ua		° / ' "	° / ' "	ua		
Janv.	0	203 48 11.66	2 55 4.93	0.42193082	Févr.	15	347 52 46.21	- 6 5 59.04	0.37043678
	1	207 7 13.11	2 32 36.23	0.42651825		16	352 20 14.29	- 5 48 51.71	0.36463373
	2	210 21 59.35	2 10 5.88	0.43089304		17	356 56 1.89	- 5 28 59.54	0.35886817
	3	213 32 50.83	1 47 37.70	0.43504540		18	1 40 26.26	- 5 6 16.51	0.35317880
	4	216 40 7.06	1 25 14.96	0.43896671		19	6 33 41.74	- 4 40 38.39	0.34760758
	5	219 44 6.69	1 3 0.48	0.44264938		20	11 35 58.83	- 4 12 3.32	0.34219949
	6	222 45 7.54	0 40 56.73	0.44608674		21	16 47 23.22	- 3 40 32.54	0.33700226
	7	225 43 26.61	0 19 5.82	0.44927297		22	22 7 54.72	- 3 6 11.10	0.33206593
	8	228 39 20.22	- 0 2 30.40	0.45220296		23	27 37 26.07	- 2 29 8.58	0.32744212
	9	231 33 4.01	- 0 23 50.29	0.45487229		24	33 15 41.89	- 1 49 39.71	0.32318312
	10	234 24 52.99	- 0 44 52.39	0.45727711		25	39 2 17.63	- 1 8 4.87	0.31934077
	11	237 15 1.67	- 1 5 35.40	0.45941413		26	44 56 38.70	- 0 24 50.29	0.31596509
	12	240 3 44.04	- 1 25 58.12	0.46128055		27	50 57 59.99	0 19 32.16	0.31310273
	13	242 51 13.70	- 1 45 59.42	0.46287402		28	57 5 25.72	1 4 25.53	0.31079537
14	245 37 43.86	- 2 5 38.25	0.46419257	29	63 17 49.87	1 49 8.89	0.30907810		
15	248 23 27.44	- 2 24 53.56	0.46523465	Mars	1	69 33 57.18	2 32 58.90	0.30797792	
16	251 8 37.10	- 2 43 44.33	0.46599904		2	75 52 24.81	3 15 11.67	0.30751256	
17	253 53 25.30	- 3 2 9.51	0.46648487		3	82 11 44.57	3 55 4.93	0.30768961	
18	256 38 4.37	- 3 20 8.03	0.46669160		4	88 30 25.58	4 32 0.03	0.30850617	
19	259 22 46.55	- 3 37 38.76	0.46661900		5	94 46 57.23	5 5 23.85	0.30994899	
20	262 7 44.01	- 3 54 40.49	0.46626714		6	100 59 52.18	5 34 50.16	0.31199512	
21	264 53 8.99	- 4 11 11.94	0.46563641		7	107 7 49.12	6 0 0.49	0.31461292	
22	267 39 13.74	- 4 27 11.70	0.46472754		8	113 9 35.11	6 20 44.34	0.31776349	
23	270 26 10.65	- 4 42 38.27	0.46354157		9	119 4 7.36	6 36 58.87	0.32140220	
24	273 14 12.28	- 4 57 29.96	0.46207989		10	124 50 34.27	6 48 48.08	0.32548034	
25	276 3 31.39	- 5 11 44.94	0.46034426	11	130 28 15.88	6 56 21.71	0.32994673		
26	278 54 21.02	- 5 25 21.19	0.45833684	12	135 56 43.59	6 59 54.00	0.33474911		
27	281 46 54.52	- 5 38 16.49	0.45606021	13	141 15 39.57	6 59 42.37	0.33983543		
28	284 41 25.59	- 5 50 28.37	0.45351743	14	146 24 55.62	6 56 6.26	0.34515486		
29	287 38 8.38	- 6 1 54.12	0.45071206	15	151 24 31.94	6 49 26.07	0.35065854		
30	290 37 17.46	- 6 12 30.75	0.44764824	16	156 14 35.82	6 40 2.32	0.35630021		
Févr.	31	293 39 7.96	- 6 22 14.96	0.44433075	17	160 55 20.24	6 28 15.02	0.36203654	
	1	296 43 55.53	- 6 31 3.12	0.44076504	18	165 27 2.68	6 14 23.17	0.36782735	
	2	299 51 56.43	- 6 38 51.23	0.43695738	19	169 50 3.96	5 58 44.50	0.37363568	
	3	303 3 27.58	- 6 45 34.93	0.43291490	20	174 4 47.24	5 41 35.25	0.37942779	
	4	306 18 46.55	- 6 51 9.42	0.42864571	21	178 11 37.26	5 23 10.13	0.38517301	
	5	309 38 11.61	- 6 55 29.46	0.42415901	22	182 10 59.62	5 3 42.32	0.39084367	
	6	313 2 1.76	- 6 58 29.37	0.41946524	23	186 3 20.24	4 43 23.51	0.39641486	
	7	316 30 36.68	- 7 0 2.98	0.41457619	24	189 49 5.00	4 22 24.03	0.40186422	
	8	320 4 16.78	- 7 0 3.65	0.40950519	25	193 28 39.37	4 0 52.89	0.40717181	
	9	323 43 23.11	- 6 58 24.26	0.40426725	26	197 2 28.19	3 38 57.97	0.41231981	
	10	327 28 17.29	- 6 54 57.23	0.39887928	27	200 30 55.57	3 16 46.11	0.41729239	
	11	331 19 21.44	- 6 49 34.59	0.39336023	28	203 54 24.73	2 54 23.23	0.42207548	
	12	335 16 57.97	- 6 42 8.00	0.38773137	29	207 13 17.96	2 31 54.41	0.42665663	
	13	339 21 29.45	- 6 32 28.93	0.38201641	30	210 27 56.62	2 9 24.08	0.43102479	
14	343 33 18.24	- 6 20 28.77	0.37624178	31	213 38 41.13	1 46 56.02	0.43517024		

MERCURE 2012 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2451545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.		
	°	'	"	°	'	"	ua		°	'	"	°	'	"	ua		
Avril	1	216	45	50.98	1	24	33.50	0.43908438	Mai	17	6	42	53.30	- 4	39	48.06	0.34743600
	2	219	49	44.79	1	2	19.33	0.44275966		18	11	45	27.42	- 4	11	7.51	0.34203360
	3	222	50	40.34	0	40	15.94	0.44618944		19	16	57	8.96	- 3	39	31.34	0.33684361
	4	225	48	54.64	0	18	25.46	0.44936790		20	22	17	57.49	- 3	5	4.73	0.33191610
	5	228	44	43.96	- 0	3	10.27	0.45228997		21	27	47	45.55	- 2	27	57.40	0.32730273
	6	231	38	23.92	- 0	24	29.62	0.45495125		22	33	26	17.48	- 1	48	24.28	0.32305582
	7	234	30	9.54	- 0	45	31.14	0.45734790		23	39	13	8.42	- 1	6	45.90	0.31922716
	8	237	20	15.28	- 1	6	13.54	0.45947665		24	45	7	43.47	- 0	23	28.68	0.31586670
	9	240	8	55.15	- 1	26	35.60	0.46133472		25	51	9	17.18	0	20	55.34	0.31302095
	10	242	56	22.72	- 1	46	36.22	0.46291975		26	57	16	53.43	1	5	49.05	0.31073142
	11	245	42	51.19	- 2	6	14.33	0.46422981		27	63	29	25.89	1	50	31.45	0.30903297
	12	248	28	33.47	- 2	25	28.89	0.46526335		28	69	45	39.04	2	34	19.12	0.30795232
	13	251	13	42.22	- 2	44	18.88	0.46601917		29	76	4	9.85	3	16	28.22	0.30750690
	14	253	58	29.90	- 3	2	43.25	0.46649639		30	82	23	29.97	3	56	16.52	0.30770398
	15	256	43	8.82	- 3	20	40.92	0.46669450		31	88	42	8.50	4	33	5.55	0.30854033
16	259	27	51.22	- 3	38	10.76	0.46661325	Juin	1	94	58	34.87	5	6	22.37	0.31000238	
17	262	12	49.30	- 3	55	11.57	0.46625276		2	101	11	21.90	5	35	40.98	0.31206690	
18	264	58	15.25	- 4	11	42.06	0.46561341		3	107	19	8.49	6	0	43.16	0.31470198	
19	267	44	21.37	- 4	27	40.82	0.46469593		4	113	20	42.00	6	21	18.67	0.31786853	
20	270	31	20.04	- 4	43	6.33	0.46350139		5	119	14	59.98	6	37	24.87	0.32152176	
21	273	19	23.81	- 4	57	56.91	0.46203118		6	125	1	11.18	6	49	5.97	0.32561287	
22	276	8	45.47	- 5	12	10.72	0.46028707		7	130	38	36.00	6	56	31.87	0.33009061	
23	278	59	38.05	- 5	25	45.74	0.45827124		8	136	6	46.20	6	59	56.93	0.33490271	
24	281	52	14.92	- 5	38	39.73	0.45598628		9	141	25	24.26	6	59	38.65	0.33999715	
25	284	46	49.80	- 5	50	50.23	0.45343526		10	146	34	22.26	6	55	56.51	0.34532312	
26	287	43	36.84	- 6	2	14.51	0.45062178	11	151	33	40.65	6	49	10.93	0.35083187		
27	290	42	50.64	- 6	12	49.57	0.44754997	12	156	23	26.90	6	39	42.43	0.35647722		
28	293	44	46.33	- 6	22	32.11	0.44422464	13	161	3	54.18	6	27	50.98	0.36221592		
29	296	49	39.59	- 6	31	18.48	0.44065127	14	165	35	20.08	6	13	55.56	0.36800789		
30	299	57	46.71	- 6	39	4.68	0.43683615	15	169	58	5.48	5	58	13.85	0.37381628		
Mai	1	303	9	24.60	- 6	45	46.31	0.43278644	16	174	12	33.65	5	41	2.03	0.37960743	
	2	306	24	50.88	- 6	51	18.58	0.42851028	17	178	19	9.33	5	22	34.78	0.38535080	
	3	309	44	23.83	- 6	55	36.24	0.42401691	18	182	18	18.15	5	3	5.22	0.39101877	
	4	313	8	22.46	- 6	58	33.59	0.41931681	19	186	10	26.05	4	42	45.01	0.39658654	
	5	316	37	6.51	- 7	0	4.44	0.41442181	20	189	55	58.87	4	21	44.42	0.40203182	
	6	320	10	56.38	- 7	0	2.13	0.40934530	21	193	35	22.09	4	0	12.44	0.40733473	
	7	323	50	13.15	- 6	58	19.54	0.40410234	22	197	9	0.53	3	38	16.90	0.41247753	
	8	327	35	18.45	- 6	54	49.07	0.39870989	23	200	37	18.25	3	16	4.63	0.41744444	
	9	331	26	34.43	- 6	49	22.72	0.39318700	24	204	0	38.47	2	53	41.49	0.42222144	
	10	335	24	23.50	- 6	41	52.18	0.38755497	25	207	19	23.44	2	31	12.57	0.42679612	
	11	339	29	8.21	- 6	32	8.88	0.38183763	26	210	33	54.49	2	8	42.27	0.43115750	
	12	343	41	10.94	- 6	20	4.22	0.37606148	27	213	44	32.00	1	46	14.34	0.43529588	
	13	348	0	53.54	- 6	5	29.74	0.37025591	28	216	51	35.46	1	23	52.04	0.43920270	
	14	352	28	36.89	- 5	48	17.43	0.36445336	29	219	55	23.44	1	1	38.17	0.44287043	
	15	357	4	40.33	- 5	28	20.05	0.35868943	30	222	56	13.70	0	39	35.16	0.44629246	
	16	1	49	21.06	- 5	5	31.66	0.35300297	Juill.	1	225	54	23.22	0	17	45.12	0.44946301

MERCURE 2012 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.	2	228	50	8.27	- 0	3	50.12	0.45237702	Août	17	27	58	5.37	- 2	26	46.01	0.32716819
	3	231	43	44.44	- 0	25	8.93	0.45503010		18	33	36	52.87	- 1	47	8.70	0.32293361
	4	234	35	26.72	- 0	46	9.88	0.45741845		19	39	23	58.43	- 1	5	26.89	0.31911884
	5	237	25	29.57	- 1	6	51.66	0.45953881		20	45	18	46.81	- 0	22	7.15	0.31577373
	6	240	14	6.98	- 1	27	13.07	0.46138840		21	51	20	32.26	0	22	18.31	0.31294469
	7	243	1	32.51	- 1	47	13.01	0.46296489		22	57	28	18.32	1	7	12.26	0.31067301
	8	245	47	59.34	- 2	6	50.40	0.46426635		23	63	40	58.37	1	51	53.56	0.30899333
	9	248	33	40.39	- 2	26	4.21	0.46529125		24	69	57	16.65	2	35	38.79	0.30793210
	10	251	18	48.29	- 2	44	53.42	0.46603840		25	76	15	49.90	3	17	44.11	0.30750645
	11	254	3	35.51	- 3	3	16.98	0.46650693		26	82	35	9.70	3	57	27.40	0.30772331
	12	256	48	14.36	- 3	21	13.80	0.46669634		27	88	53	45.09	4	34	10.31	0.30857914
	13	259	32	57.07	- 3	38	42.76	0.46660640		28	95	10	5.60	5	7	20.10	0.31006007
	14	262	17	55.83	- 3	55	42.65	0.46623721		29	101	22	44.17	5	36	31.02	0.31214256
	15	265	3	22.85	- 4	12	12.18	0.46558920		30	107	30	19.96	6	1	25.08	0.31479450
	16	267	49	30.42	- 4	28	9.93	0.46466309		31	113	31	40.62	6	21	52.29	0.31797657
	17	270	36	30.93	- 4	43	34.38	0.46345995		Sept.	1	119	25	44.03	6	37	50.23
18	273	24	36.94	- 4	58	23.85	0.46198120	2	125		11	39.30	6	49	23.31	0.32574744	
19	276	14	1.24	- 5	12	36.50	0.46022862	3	130		48	47.19	6	56	41.59	0.33023604	
20	279	4	56.87	- 5	26	10.28	0.45820440	4	136		16	39.81	6	59	59.52	0.33505738	
21	281	57	37.21	- 5	39	2.96	0.45591114	5	141		34	59.94	6	59	34.69	0.34015947	
22	284	52	15.99	- 5	51	12.07	0.45335193	6	146	43	39.93	6	55	46.63	0.34549156		
23	287	49	7.38	- 6	2	34.87	0.45053038	7	151	42	40.48	6	48	55.76	0.35100497		
24	290	48	25.99	- 6	13	8.36	0.44745066	8	156	32	9.25	6	39	22.59	0.35665360		
25	293	50	26.97	- 6	22	49.21	0.44411757	9	161	12	19.56	6	27	27.08	0.36239431		
26	296	55	26.02	- 6	31	33.77	0.44053665	10	165	43	29.09	6	13	28.16	0.36818711		
27	300	3	39.43	- 6	39	18.04	0.43671418	11	170	5	58.85	5	57	43.46	0.37399526		
28	303	15	24.16	- 6	45	57.60	0.43265737	12	174	20	12.12	5	40	29.13	0.37978519		
29	306	30	57.82	- 6	51	27.63	0.42837439	13	178	26	33.70	5	21	59.79	0.38552646		
30	309	50	38.74	- 6	55	42.89	0.42387452	14	182	25	29.23	5	2	28.52	0.39119154		
31	313	14	45.94	- 6	58	37.64	0.41916826	15	186	17	24.64	4	42	6.94	0.39675570		
Août	1	316	43	39.16	- 7	0	5.70	0.41426752	16	190	2	45.79	4	21	5.26	0.40219675	
	2	320	17	38.85	- 7	0	0.40	0.40918571	17	193	41	58.10	3	59	32.45	0.40749486	
	3	323	57	6.10	- 6	58	14.57	0.40393796	18	197	15	26.39	3	37	36.31	0.41263235	
	4	327	42	22.55	- 6	54	40.62	0.39854129	19	200	43	34.71	3	15	23.61	0.41759351	
	5	331	33	50.35	- 6	49	10.55	0.39301481	20	204	6	46.21	2	53	0.23	0.42236437	
	6	335	31	51.94	- 6	41	36.02	0.38737991	21	207	25	23.14	2	30	31.21	0.42693257	
	7	339	36	49.85	- 6	31	48.47	0.38166048	22	210	39	46.80	2	8	0.92	0.43128716	
	8	343	49	6.46	- 6	19	39.29	0.37588312	23	213	50	17.54	1	45	33.11	0.43541848	
	9	348	9	3.58	- 6	5	0.04	0.37007731	24	216	57	14.80	1	23	11.03	0.43931800	
	10	352	37	2.05	- 5	47	42.72	0.36427557	25	220	0	57.14	1	0	57.46	0.44297823	
	11	357	13	21.17	- 5	27	40.13	0.35851363	26	223	1	42.30	0	38	54.81	0.44639259	
	12	1	58	18.04	- 5	4	46.37	0.35283040	27	225	59	47.23	0	17	5.19	0.44955531	
	13	6	52	6.78	- 4	38	57.32	0.34726803	28	228	55	28.17	- 0	4	29.57	0.45246135	
	14	11	54	57.62	- 4	10	11.31	0.34187167	29	231	49	0.70	- 0	25	47.87	0.45510635	
	15	17	6	55.92	- 3	38	29.79	0.33668922	30	234	40	39.79	- 0	46	48.25	0.45748652	
	16	22	28	1.08	- 3	3	58.06	0.33177083	Oct.	1	237	30	39.89	- 1	7	29.42	0.45959862

MERCURE 2012 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		
Oct.	2	240	19	14.97	- 1	27	50.20	0.461 439 88	Nov.	17	51	31	39.35	0	23	40.18	0.312 867 39
	3	243	6	38.57	- 1	47	49.46	0.463 007 99		18	57	39	35.36	1	8	34.36	0.310 613 14
	4	245	53	3.88	- 2	7	26.15	0.464 301 02		19	63	52	23.21	1	53	14.60	0.308 951 81
	5	248	38	43.78	- 2	26	39.23	0.465 317 46		20	70	8	46.86	2	36	57.42	0.307 909 61
	6	251	23	50.93	- 2	45	27.67	0.466 056 13		21	76	27	22.88	3	18	59.02	0.307 503 35
	7	254	8	37.77	- 3	3	50.42	0.466 516 17		22	82	46	42.71	3	58	37.35	0.307 739 65
	8	256	53	16.61	- 3	21	46.41	0.466 697 08		23	89	5	15.39	4	35	14.21	0.308 614 66
	9	259	37	59.68	- 3	39	14.50	0.466 598 64		24	95	21	30.47	5	8	17.07	0.310 114 19
	10	262	22	59.17	- 3	56	13.48	0.466 220 98		25	101	34	1.07	5	37	20.39	0.312 214 44
	11	265	8	27.30	- 4	12	42.05	0.465 564 52		26	107	41	26.55	6	2	6.43	0.314 883 04
	12	267	54	36.34	- 4	28	38.81	0.464 629 99		27	113	42	34.87	6	22	25.43	0.318 080 50
13	270	41	38.70	- 4	44	2.21	0.463 418 48	28	119	36	24.21	6	38	15.20	0.321 761 73		
14	273	29	46.95	- 4	58	50.58	0.461 931 41	29	125	22	4.06	6	49	40.34	0.325 877 76		
15	276	19	13.88	- 5	13	2.06	0.460 170 58	30	130	58	55.52	6	56	51.05	0.330 377 23		
16	279	10	12.53	- 5	26	34.62	0.458 138 18	Déc.	1	136	26	31.03	7	0	1.91	0.335 207 85	
17	282	2	56.31	- 5	39	26.00	0.455 836 84		2	141	44	33.67	6	59	30.59	0.340 317 66	
18	284	57	38.95	- 5	51	33.72	0.453 269 65		3	146	52	56.08	6	55	36.63	0.345 655 97	
19	287	54	34.63	- 6	2	55.05	0.450 440 25		4	151	51	39.18	6	48	40.50	0.351 174 16	
20	290	53	57.98	- 6	13	26.97	0.447 352 81		5	156	40	50.83	6	39	2.69	0.356 826 21	
21	293	56	4.16	- 6	23	6.14	0.444 012 17		6	161	20	44.48	6	27	3.13	0.362 569 09	
22	297	1	8.89	- 6	31	48.92	0.440 423 88	7	165	51	37.95	6	13	0.71	0.368 362 91		
23	300	9	28.49	- 6	39	31.26	0.436 594 25	8	170	13	52.32	5	57	13.03	0.374 171 01		
24	303	21	19.92	- 6	46	8.76	0.432 530 51	9	174	27	50.94	5	39	56.18	0.379 959 93		
25	306	37	0.83	- 6	51	36.58	0.428 240 86	10	178	33	58.63	5	21	24.75	0.385 699 31		
26	309	56	49.56	- 6	55	49.45	0.423 734 63	11	182	32	41.05	5	1	51.77	0.391 361 72		
27	313	21	5.15	- 6	58	41.64	0.419 022 35	12	186	24	24.14	4	41	28.80	0.396 922 51		
28	316	50	7.37	- 7	0	6.94	0.414 115 97	13	190	9	33.74	4	20	26.04	0.402 359 55		
29	320	24	16.68	- 6	59	58.66	0.409 028 95	14	193	48	35.26	3	58	52.39	0.407 653 09		
30	324	3	54.19	- 6	58	9.63	0.403 776 47	15	197	21	53.51	3	36	55.64	0.412 785 52		
31	327	49	21.57	- 6	54	32.26	0.398 375 63	16	200	49	52.49	3	14	42.53	0.417 741 17		
Nov.	1	331	41	0.96	- 6	48	58.50	0.392 845 58	17	204	12	55.34	2	52	18.89	0.422 506 14	
	2	335	39	14.83	- 6	41	20.03	0.387 207 79	18	207	31	24.28	2	29	49.76	0.427 068 09	
	3	339	44	25.69	- 6	31	28.28	0.381 486 24	19	210	45	40.57	2	7	19.49	0.431 416 14	
	4	343	56	55.92	- 6	19	14.65	0.375 707 60	20	213	56	4.53	1	44	51.81	0.435 540 64	
	5	348	17	7.30	- 6	4	30.69	0.369 901 43	21	217	2	55.59	1	22	29.94	0.439 433 12	
	6	352	45	20.64	- 5	47	8.43	0.364 100 38	22	220	6	32.28	1	0	16.67	0.443 086 10	
	7	357	21	55.18	- 5	27	0.71	0.358 340 24	23	223	7	12.31	0	38	14.39	0.446 493 02	
	8	2	7	7.94	- 5	4	1.66	0.352 660 04	24	226	5	12.60	0	16	25.20	0.449 648 15	
	9	7	1	12.95	- 4	38	7.24	0.347 102 01	25	229	0	49.38	- 0	5	9.08	0.452 546 47	
	10	12	4	20.29	- 4	9	15.85	0.341 711 40	26	231	54	18.21	- 0	26	26.84	0.455 183 63	
	11	17	16	35.18	- 3	37	29.05	0.336 536 19	27	234	45	54.03	- 0	47	26.65	0.457 555 85	
	12	22	37	56.80	- 3	2	52.28	0.331 626 58	28	237	35	51.29	- 1	8	7.21	0.459 659 92	
	13	28	8	17.20	- 2	25	35.56	0.327 034 29	29	240	24	23.94	- 1	28	27.33	0.461 493 07	
	14	33	47	20.20	- 1	45	54.15	0.322 811 63	30	243	11	45.50	- 1	48	25.91	0.463 053 00	
	15	39	34	40.34	- 1	4	8.94	0.319 010 33	31	245	58	9.16	- 2	8	1.87	0.464 337 82	
	16	45	29	42.09	- 0	20	46.71	0.315 680 16	32	248	43	47.80	- 2	27	14.20	0.465 346 00	

VÉNUS 2012 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	1	8	58.13	-	3	17	12.14	0.72646785	Avril	1	149	19	8.38	3	14	27.46	0.71868412		
	2	4	19	54.13	-	3	14	4.38	0.72625525		3	152	34	9.18	3	17	34.65	0.71877457		
	4	7	30	55.70	-	3	10	20.65	0.72603351		5	155	49	7.89	3	20	3.75	0.71887940		
	6	10	42	2.93	-	3	6	1.57	0.72580331		7	159	4	3.83	3	21	54.30	0.71899829		
	8	13	53	15.89	-	3	1	7.87	0.72556536		9	162	18	56.28	3	23	5.98	0.71913084		
	10	17	4	34.67	-	2	55	40.39	0.72532038		11	165	33	44.56	3	23	38.60	0.71927663		
	12	20	15	59.36	-	2	49	40.09	0.72506913		13	168	48	27.99	3	23	32.09	0.71943519		
	14	23	27	30.03	-	2	43	8.00	0.72481239		15	172	3	5.90	3	22	46.53	0.71960601		
	16	26	39	6.77	-	2	36	5.28	0.72455095		17	175	17	37.65	3	21	22.13	0.71978855		
	18	29	50	49.66	-	2	28	33.18	0.72428562		19	178	32	2.61	3	19	19.22	0.71998222		
	20	33	2	38.78	-	2	20	33.05	0.72401722		21	181	46	20.20	3	16	38.26	0.72018639		
	22	36	14	34.22	-	2	12	6.31	0.72374659		23	185	0	29.87	3	13	19.83	0.72040042		
	24	39	26	36.08	-	2	3	14.50	0.72347457		25	188	14	31.09	3	9	24.64	0.72062363		
	26	42	38	44.43	-	1	53	59.21	0.72320201		27	191	28	23.40	3	4	53.52	0.72085530		
	28	45	50	59.38	-	1	44	22.15	0.72292976		29	194	42	6.36	2	59	47.42	0.72109470		
	Févr.	30	49	3	21.00	-	1	34	25.07		0.72265868	Mai	1	197	55	39.60	2	54	7.38	0.72134107
		1	52	15	49.39	-	1	24	9.79		0.72238961		3	201	9	2.78	2	47	54.56	0.72159363
		3	55	28	24.64	-	1	13	38.23		0.72212340		5	204	22	15.62	2	41	10.22	0.72185158
5		58	41	6.81	-	1	2	52.34	0.72186089	7	207		35	17.90	2	33	55.71	0.72211411		
7		61	53	55.99	-	0	51	54.12	0.72160291	9	210		48	9.45	2	26	12.49	0.72238040		
9		65	6	52.23	-	0	40	45.63	0.72135027	11	214		0	50.16	2	18	2.08	0.72264960		
11		68	19	55.60	-	0	29	28.97	0.72110377	13	217		13	19.96	2	9	26.08	0.72292088		
13		71	33	6.11	-	0	18	6.28	0.72086420	15	220		25	38.86	2	0	26.18	0.72319339		
15		74	46	23.81	-	0	6	39.70	0.72063232	17	223		37	46.90	1	51	4.13	0.72346628		
17		77	59	48.68	0	4	48.57	0.72040885	19	226	49		44.20	1	41	21.73	0.72373870			
19		81	13	20.71	0	16	16.35	0.72019453	21	230	1		30.91	1	31	20.84	0.72400981			
21		84	26	59.87	0	27	41.43	0.71999002	23	233	13		7.24	1	21	3.38	0.72427876			
23		87	40	46.07	0	39	1.61	0.71979599	25	236	24		33.44	1	10	31.29	0.72454474			
25		90	54	39.23	0	50	14.71	0.71961305	27	239	35		49.82	0	59	46.57	0.72480691			
27		94	8	39.22	1	1	18.54	0.71944179	29	242	46		56.72	0	48	51.22	0.72506448			
Mars		29	97	22	45.88	1	12	10.96	0.71928277	Juin	31		245	57	54.51	0	37	47.29	0.72531664	
		2	100	36	59.01	1	22	49.85	0.71913648		2		249	8	43.63	0	26	36.82	0.72556263	
		4	103	51	18.39	1	33	13.12	0.71900342		4		252	19	24.52	0	15	21.89	0.72580170	
	6	107	5	43.74	1	43	18.73	0.71888399	6		255	29	57.65	0	4	4.56	0.72603310			
	8	110	20	14.77	1	53	4.72	0.71877859	8		258	40	23.54	-	0	7	13.09	0.72625613		
	10	113	34	51.13	2	2	29.15	0.71868756	10		261	50	42.71	-	0	18	29.01	0.72647011		
	12	116	49	32.44	2	11	30.18	0.71861119	12		265	0	55.70	-	0	29	41.14	0.72667439		
	14	120	4	18.28	2	20	6.02	0.71854972	14		268	11	3.08	-	0	40	47.46	0.72686833		
	16	123	19	8.19	2	28	14.98	0.71850337	16		271	21	5.40	-	1	51	45.96	0.72705134		
	18	126	34	1.69	2	35	55.46	0.71847228	18		274	31	3.24	-	1	2	34.65	0.72722286		
	20	129	48	58.23	2	43	5.94	0.71845655	20		277	40	57.18	-	1	13	11.59	0.72738238		
	22	133	3	57.28	2	49	45.02	0.71845623	22		280	50	47.79	-	1	23	34.88	0.72752939		
	24	136	18	58.22	2	55	51.37	0.71847132	24		284	0	35.65	-	1	33	42.65	0.72766344		
	26	139	34	0.46	3	1	23.81	0.71850178	26		287	10	21.31	-	1	43	33.09	0.72778414		
	28	142	49	3.34	3	6	21.26	0.71854750	28		290	20	5.33	-	1	53	4.43	0.72789110		
	30	146	4	6.21	3	10	42.76	0.71860835	30		293	29	48.26	-	2	2	14.98	0.72798400		

VÉNUS 2012 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		
	°	'	"	°	'	"			°	'	"	°	'	"			
Juill.	2	296	39	30.62	- 2	11	3.08	0.728 062 55	Oct.	2	83	18	41.00	0	23	40.52	0.720 054 09
	4	299	49	12.91	- 2	19	27.17	0.728 126 51		4	86	32	25.00	0	35	2.70	0.719 854 18
	6	302	58	55.62	- 2	27	25.73	0.728 175 68		6	89	46	16.05	0	46	18.56	0.719 665 20
	8	306	8	39.22	- 2	34	57.34	0.728 209 92		8	93	0	14.06	0	57	25.93	0.719 487 75
	10	309	18	24.16	- 2	42	0.64	0.728 229 11		10	96	14	18.85	1	8	22.64	0.719 322 41
	12	312	28	10.86	- 2	48	34.36	0.728 233 18		12	99	28	30.25	1	19	6.56	0.719 169 69
	14	315	37	59.71	- 2	54	37.31	0.728 222 13		14	102	42	48.05	1	29	35.60	0.719 030 10
	16	318	47	51.08	- 3	0	8.39	0.728 195 99		16	105	57	11.98	1	39	47.69	0.718 904 09
	18	321	57	45.33	- 3	5	6.59	0.728 154 82		18	109	11	41.74	1	49	40.85	0.718 792 05
	20	325	7	42.76	- 3	9	31.01	0.728 098 75		20	112	26	17.02	1	59	13.12	0.718 694 35
22	328	17	43.69	- 3	13	20.81	0.728 027 94	22	115	40	57.43	2	8	22.62	0.718 611 32		
24	331	27	48.38	- 3	16	35.29	0.727 942 61	24	118	55	42.57	2	17	7.56	0.718 543 20		
26	334	37	57.08	- 3	19	13.83	0.727 843 01	26	122	10	31.99	2	25	26.21	0.718 490 23		
28	337	48	10.02	- 3	21	15.92	0.727 729 44	28	125	25	25.21	2	33	16.92	0.718 452 57		
30	340	58	27.41	- 3	22	41.15	0.727 602 24	30	128	40	21.71	2	40	38.15	0.718 430 35		
Août	1	344	8	49.43	- 3	23	29.22	0.727 461 79	Nov.	1	131	55	20.93	2	47	28.45	0.718 423 63
	3	347	19	16.26	- 3	23	39.95	0.727 308 51		3	135	10	22.30	2	53	46.48	0.718 432 44
	5	350	29	48.05	- 3	23	13.25	0.727 142 86		5	138	25	25.20	2	59	31.00	0.718 456 75
	7	353	40	24.94	- 3	22	9.16	0.726 965 36		7	141	40	28.99	3	4	40.88	0.718 496 47
	9	356	51	7.06	- 3	20	27.81	0.726 776 53		9	144	55	33.02	3	9	15.13	0.718 551 47
	11	0	1	54.52	- 3	18	9.46	0.726 576 96		11	148	10	36.62	3	13	12.85	0.718 621 59
	13	3	12	47.43	- 3	15	14.47	0.726 367 24		13	151	25	39.08	3	16	33.30	0.718 706 58
	15	6	23	45.89	- 3	11	43.32	0.726 148 02		15	154	40	39.72	3	19	15.84	0.718 806 17
	17	9	34	49.99	- 3	7	36.60	0.725 919 97		17	157	55	37.83	3	21	19.97	0.718 920 05
	19	12	45	59.82	- 3	2	55.00	0.725 683 78		19	161	10	32.70	3	22	45.32	0.719 047 84
21	15	57	15.47	- 2	57	39.31	0.725 440 19	21	164	25	23.64	3	23	31.65	0.719 189 12		
23	19	8	37.04	- 2	51	50.46	0.725 189 94	23	167	40	9.95	3	23	38.85	0.719 343 44		
25	22	20	4.59	- 2	45	29.45	0.724 933 81	25	170	54	50.96	3	23	6.96	0.719 510 31		
27	25	31	38.22	- 2	38	37.40	0.724 672 58	27	174	9	26.03	3	21	56.13	0.719 689 18		
29	28	43	18.01	- 2	31	15.52	0.724 407 07	29	177	23	54.50	3	20	6.65	0.719 879 48		
Sept.	31	31	55	4.06	- 2	23	25.12	0.724 138 09	Déc.	1	180	38	15.79	3	17	38.93	0.720 080 60
	2	35	6	56.45	- 2	15	7.61	0.723 866 49		3	183	52	29.31	3	14	33.53	0.720 291 89
	4	38	18	55.27	- 2	6	24.47	0.723 593 12		5	187	6	34.55	3	10	51.10	0.720 512 68
	6	41	31	0.62	- 1	57	17.29	0.723 318 82		7	190	20	31.00	3	6	32.43	0.720 742 26
	8	44	43	12.59	- 1	47	47.73	0.723 044 46		9	193	34	18.22	3	1	38.43	0.720 979 90
	10	47	55	31.27	- 1	37	57.52	0.722 770 90		11	196	47	55.81	2	56	10.10	0.721 224 85
	12	51	7	56.75	- 1	27	48.46	0.722 498 99		13	200	1	23.42	2	50	8.58	0.721 476 32
	14	54	20	29.12	- 1	17	22.44	0.722 229 59		15	203	14	40.74	2	43	35.08	0.721 733 51
	16	57	33	8.47	- 1	6	41.39	0.721 963 55		17	206	27	47.54	2	36	30.93	0.721 995 63
	18	60	45	54.87	- 0	55	47.29	0.721 701 72		19	209	40	43.62	2	28	57.55	0.722 261 82
20	63	58	48.38	- 0	44	42.19	0.721 444 92	21	212	53	28.85	2	20	56.43	0.722 531 27		
22	67	11	49.06	- 0	33	28.18	0.721 193 97	23	216	6	3.14	2	12	29.15	0.722 803 12		
24	70	24	56.96	- 0	22	7.37	0.720 949 66	25	219	18	26.49	2	3	37.38	0.723 076 51		
26	73	38	12.11	- 0	10	41.91	0.720 712 78	27	222	30	38.91	1	54	22.83	0.723 305 60		
28	76	51	34.51	0	0	46.02	0.720 484 07	29	225	42	40.50	1	44	47.31	0.723 624 53		
30	80	5	4.15	0	12	14.23	0.720 264 27	31	228	54	31.40	1	34	52.64	0.723 897 44		

MARS 2012 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	135	30	59.81	1	50	39.44	1.655 127 94	Juill.	2	218	9	55.01	0	21	51.45	1.579 412 19			
	4	137	17	3.22	1	50	50.62	1.656 888 93		6	220	6	44.70	0	18	8.92	1.574 751 32			
	8	139	2	53.73	1	50	55.48	1.658 497 29		10	222	4	16.28	0	14	23.78	1.570 012 56			
	12	140	48	32.53	1	50	54.04	1.659 951 79		14	224	2	30.82	0	10	36.26	1.565 201 02			
	16	142	34	0.81	1	50	46.33	1.661 251 33		18	226	1	29.38	0	6	46.56	1.560 321 96			
	20	144	19	19.79	1	50	32.40	1.662 394 93		22	228	1	12.98	0	2	54.92	1.555 380 83			
	24	146	4	30.64	1	50	12.29	1.663 381 75		26	230	1	42.61	-	0	0	58.42	1.550 383 26		
	28	147	49	34.57	1	49	46.01	1.664 211 05		30	232	2	59.26	-	0	4	53.20	1.545 335 04		
Févr.	1	149	34	32.77	1	49	13.63	1.664 882 21	Août	3	234	5	3.83	-	0	8	49.16	1.540 242 17		
	5	151	19	26.43	1	48	35.16	1.665 394 76		7	236	7	57.24	-	0	12	46.01	1.535 110 78		
		9	153	4	16.75	1	47	50.67		1.665 748 30		11	238	11	40.32	-	0	16	43.47	1.529 947 22
		13	154	49	4.92	1	47	0.17		1.665 942 59		15	240	16	13.89	-	0	20	41.23	1.524 757 97
		17	156	33	52.14	1	46	3.72		1.665 977 48		19	242	21	38.71	-	0	24	38.96	1.519 549 72
	21	158	18	39.59	1	45	1.36	1.665 852 96		23	244	27	55.47	-	0	28	36.35	1.514 329 28		
	25	160	3	28.47	1	43	53.13	1.665 569 12		27	246	35	4.83	-	0	32	33.03	1.509 103 65		
Mars	29	161	48	19.98	1	42	39.08	1.665 126 17	Sept.	31	248	43	7.36	-	0	36	28.66	1.503 879 98		
	4	163	33	15.31	1	41	19.25	1.664 524 45		4	250	52	3.59	-	0	40	22.87	1.498 665 54		
	8	165	18	15.65	1	39	53.69	1.663 764 40		8	253	1	53.97	-	0	44	15.26	1.493 467 75		
	12	167	3	22.21	1	38	22.44	1.662 846 60		12	255	12	38.86	-	0	48	5.44	1.488 294 19		
	16	168	48	36.17	1	36	45.56	1.661 771 72		16	257	24	18.56	-	0	51	53.01	1.483 152 52		
	20	170	33	58.74	1	35	3.10	1.660 540 59		20	259	36	53.27	-	0	55	37.54	1.478 050 53		
	24	172	19	31.13	1	33	15.11	1.659 154 14		24	261	50	23.11	-	0	59	18.60	1.472 996 11		
	28	174	5	14.51	1	31	21.64	1.657 613 43		28	264	4	48.11	-	1	2	55.76	1.467 997 23		
Avril	1	175	51	10.12	1	29	22.75	1.655 919 63	Oct.	2	266	20	8.17	-	1	6	28.56	1.463 061 93		
	5	177	37	19.13	1	27	18.51	1.654 074 05		6	268	36	23.13	-	1	9	56.55	1.458 198 32		
		9	179	23	42.77	1	25	8.97		1.652 078 12		10	270	53	32.68	-	1	13	19.26	1.453 414 53
		13	181	10	22.23	1	22	54.19		1.649 933 41		14	273	11	36.43	-	1	16	36.23	1.448 718 72
		17	182	57	18.73	1	20	34.24		1.647 641 59		18	275	30	33.84	-	1	19	46.98	1.444 119 05
	21	184	44	33.48	1	18	9.20	1.645 204 49		22	277	50	24.29	-	1	22	51.04	1.439 623 66		
	25	186	32	7.68	1	15	39.13	1.642 624 07		26	280	11	6.99	-	1	25	47.95	1.435 240 67		
Mai	29	188	20	2.55	1	13	4.11	1.639 902 41	Nov.	30	282	32	41.06	-	1	28	37.22	1.430 978 10		
	3	190	8	19.29	1	10	24.23	1.637 041 75		3	284	55	5.47	-	1	31	18.40	1.426 843 93		
	7	191	56	59.12	1	7	39.56	1.634 044 43		7	287	18	19.06	-	1	33	51.02	1.422 845 99		
	11	193	46	3.26	1	4	50.19	1.630 912 99		11	289	42	20.54	-	1	36	14.64	1.418 991 99		
	15	195	35	32.90	1	1	56.22	1.627 650 06		15	292	7	8.48	-	1	38	28.81	1.415 289 50		
	19	197	25	29.27	0	58	57.74	1.624 258 46		19	294	32	41.33	-	1	40	33.12	1.411 745 88		
	23	199	15	53.56	0	55	54.87	1.620 741 12		23	296	58	57.40	-	1	42	27.14	1.408 368 28		
	27	201	6	46.99	0	52	47.70	1.617 101 16		27	299	25	54.85	-	1	44	10.50	1.405 163 61		
	31	202	58	10.75	0	49	36.36	1.613 341 81	Déc.	1	301	53	31.73	-	1	45	42.83	1.402 138 52		
Juin	4	204	50	6.05	0	46	20.96	1.609 466 49		5	304	21	45.96	-	1	47	3.79	1.399 299 36		
		8	206	42	34.06	0	43	1.64		1.605 478 76		9	306	50	35.33	-	1	48	13.06	1.396 652 15
		12	208	35	35.98	0	39	38.53		1.601 382 36		13	309	19	57.51	-	1	49	10.36	1.394 202 57
		16	210	29	12.99	0	36	11.78		1.597 181 16		17	311	49	50.08	-	1	49	55.43	1.391 955 94
		20	212	23	26.24	0	32	41.52	1.592 879 24		21	314	20	10.48	-	1	50	28.06	1.389 917 17	
	24	214	18	16.91	0	29	7.94	1.588 480 81		25	316	50	56.07	-	1	50	48.06	1.388 090 77		
	28	216	13	46.12	0	25	31.19	1.583 990 27		29	319	22	4.11	-	1	50	55.28	1.386 480 79		

JUPITER, SATURNE, URANUS, NEPTUNE 2012 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 40 50 41.60	- 1 7 31.46	4.972 5207	Janv.	0 202 33 23.02	2 29 14.01	9.691 9405
	16 42 17 52.84	- 1 6 30.06	4.975 2141		16 203 4 26.13	2 29 15.12	9.696 4998
Févr.	1 43 44 58.20	- 1 5 26.17	4.978 0398	Févr.	1 203 35 27.51	2 29 15.51	9.701 0449
	17 45 11 57.43	- 1 4 19.83	4.980 9958		17 204 6 27.18	2 29 15.16	9.705 5752
Mars	4 46 38 50.25	- 1 3 11.11	4.984 0801	Mars	4 204 37 25.14	2 29 14.09	9.710 0904
	20 48 5 36.39	- 1 2 0.06	4.987 2907		20 205 8 21.42	2 29 12.29	9.714 5898
Avril	5 49 32 15.62	- 1 0 46.75	4.990 6257	Avril	5 205 39 16.01	2 29 9.77	9.719 0728
	21 50 58 47.68	- 0 59 31.22	4.994 0829		21 206 10 8.92	2 29 6.53	9.723 5390
Mai	7 52 25 12.35	- 0 58 13.54	4.997 6600	Mai	7 206 41 0.16	2 29 2.57	9.727 9880
	23 53 51 29.42	- 0 56 53.77	5.001 3548		23 207 11 49.73	2 28 57.89	9.732 4193
Juin	8 55 17 38.64	- 0 55 31.97	5.005 1646	Juin	8 207 42 37.64	2 28 52.50	9.736 8329
	24 56 43 39.83	- 0 54 8.21	5.009 0870		24 208 13 23.89	2 28 46.40	9.741 2284
Juill.	10 58 9 32.77	- 0 52 42.56	5.013 1191	Juill.	10 208 44 8.49	2 28 39.59	9.745 6056
	26 59 35 17.26	- 0 51 15.08	5.017 2583		26 209 14 51.44	2 28 32.07	9.749 9644
Août	11 61 0 53.13	- 0 49 45.84	5.021 5015	Août	11 209 45 32.77	2 28 23.85	9.754 3046
	27 62 26 20.17	- 0 48 14.90	5.025 8458		27 210 16 12.47	2 28 14.93	9.758 6261
Sept.	12 63 51 38.21	- 0 46 42.34	5.030 2880	Sept.	12 210 46 50.57	2 28 5.31	9.762 9288
	28 65 16 47.06	- 0 45 8.22	5.034 8253		28 211 17 27.08	2 27 54.99	9.767 2121
Oct.	14 66 41 46.56	- 0 43 32.61	5.039 4547	Oct.	14 211 48 2.01	2 27 43.98	9.771 4758
	30 68 6 36.54	- 0 41 55.60	5.044 1732		30 212 18 35.37	2 27 32.27	9.775 7194
Nov.	15 69 31 16.85	- 0 40 17.24	5.048 9778	Nov.	15 212 49 7.18	2 27 19.88	9.779 9425
Déc.	1 70 55 47.35	- 0 38 37.60	5.053 8654	Déc.	1 213 19 37.44	2 27 6.80	9.784 1447
	17 72 20 7.90	- 0 36 56.77	5.058 8331		17 213 50 6.16	2 26 53.04	9.788 3255

URANUS				NEPTUNE			
Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.
	° / ' "	° / ' "	ua		° / ' "	° / ' "	ua
Janv.	0 3 26 5.63	- 0 43 41.03	20.076 3068	Janv.	0 330 7 52.87	- 0 33 25.99	30.002 4706
Févr.	1 3 46 40.86	- 0 43 35.43	20.074 8878	Févr.	1 330 19 25.17	- 0 33 46.27	30.001 4407
Mars	4 4 7 16.18	- 0 43 29.75	20.073 4271	Mars	4 330 30 57.44	- 0 34 6.52	30.000 4098
Avril	5 4 27 51.58	- 0 43 23.97	20.071 9265	Avril	5 330 42 29.68	- 0 34 26.75	29.999 3795
Mai	7 4 48 27.09	- 0 43 18.09	20.070 3876	Mai	7 330 54 1.90	- 0 34 46.96	29.998 3505
Juin	8 5 9 2.71	- 0 43 12.12	20.068 8102	Juin	8 331 5 34.11	- 0 35 7.15	29.997 3221
Juill.	10 5 29 38.47	- 0 43 6.05	20.067 1937	Juill.	10 331 17 6.31	- 0 35 27.31	29.996 2934
Août	11 5 50 14.36	- 0 42 59.89	20.065 5371	Août	11 331 28 38.50	- 0 35 47.45	29.995 2636
Sept.	12 6 10 50.37	- 0 42 53.64	20.063 8393	Sept.	12 331 40 10.65	- 0 36 7.57	29.994 2327
Oct.	14 6 31 26.49	- 0 42 47.29	20.062 1014	Oct.	14 331 51 42.77	- 0 36 27.66	29.993 2026
Nov.	15 6 52 2.72	- 0 42 40.85	20.060 3245	Nov.	15 332 3 14.86	- 0 36 47.73	29.992 1747
Déc.	17 7 12 39.05	- 0 42 34.31	20.058 5101	Déc.	17 332 14 46.92	- 0 37 7.77	29.991 1505

MERCURE 2012 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 10 24.599	-21 53 14.58	1.166 167 29	Févr.	15	22 17 19.967	-12 26 36.52	1.336 182 73
	1	17 16 3.870	-22 7 55.76	1.182 566 37		16	22 24 12.859	-11 41 44.23	1.324 337 59
	2	17 21 49.753	-22 21 53.54	1.198 340 49		17	22 31 3.842	-10 55 39.87	1.311 463 27
	3	17 27 41.686	-22 35 3.72	1.213 495 99		18	22 37 52.461	-10 8 27.98	1.297 522 72
	4	17 33 39.171	-22 47 22.52	1.228 040 38		19	22 44 38.174	-9 20 13.99	1.282 481 72
	5	17 39 41.760	-22 58 46.60	1.241 981 97		20	22 51 20.347	-8 31 4.32	1.266 310 42
	6	17 45 49.053	-23 9 12.92	1.255 329 57		21	22 57 58.235	-7 41 6.52	1.248 985 20
	7	17 52 0.691	-23 18 38.76	1.268 092 24		22	23 4 30.972	-6 50 29.40	1.230 490 65
	8	17 58 16.347	-23 27 1.65	1.280 279 09		23	23 10 57.564	-5 59 23.12	1.210 821 89
	9	18 4 35.725	-23 34 19.35	1.291 899 05		24	23 17 16.875	-5 7 59.26	1.189 986 90
	10	18 10 58.555	-23 40 29.81	1.302 960 81		25	23 23 27.627	-4 16 30.91	1.168 008 99
	11	18 17 24.591	-23 45 31.15	1.313 472 60		26	23 29 28.396	-3 25 12.65	1.144 929 00
	12	18 23 53.604	-23 49 21.64	1.323 442 18		27	23 35 17.616	-2 34 20.52	1.120 807 28
	13	18 30 25.385	-23 51 59.70	1.332 876 69		28	23 40 53.595	-1 44 11.93	1.095 725 02
14	18 36 59.741	-23 53 23.85	1.341 782 63	29	23 46 14.530	-0 55 5.48	1.069 784 96		
15	18 43 36.490	-23 53 32.74	1.350 165 79	Mars	1	23 51 18.535	-0 7 20.72	1.043 111 06	
16	18 50 15.462	-23 52 25.12	1.358 031 21		2	23 56 3.674	-0 38 42.07	1.015 847 32	
17	18 56 56.499	-23 49 59.83	1.365 383 17		3	0 0 28.001	1 22 42.25	0.988 155 50	
18	19 3 39.448	-23 46 15.79	1.372 225 13		4	0 4 29.601	2 4 19.12	0.960 212 02	
19	19 10 24.165	-23 41 12.00	1.378 559 73		5	0 8 6.644	2 43 12.29	0.932 204 20	
20	19 17 10.511	-23 34 47.54	1.384 388 76	6	0 11 17.431	3 19 1.98	0.904 326 06		
21	19 23 58.355	-23 27 1.52	1.389 713 10	7	0 14 0.442	3 51 29.36	0.876 774 04		
22	19 30 47.572	-23 17 53.14	1.394 532 74	8	0 16 14.394	4 20 16.83	0.849 742 89		
23	19 37 38.042	-23 7 21.62	1.398 846 70	9	0 17 58.286	4 45 8.34	0.823 421 93		
24	19 44 29.654	-22 55 26.24	1.402 652 97	10	0 19 11.451	5 5 49.69	0.797 991 83		
25	19 51 22.303	-22 42 6.32	1.405 948 47	11	0 19 53.602	5 22 8.86	0.773 621 99		
26	19 58 15.891	-22 27 21.22	1.408 728 97	12	0 20 4.880	5 33 56.37	0.750 468 38		
27	20 5 10.327	-22 11 10.34	1.410 989 03	13	0 19 45.888	5 41 5.70	0.728 672 00		
28	20 12 5.523	-21 53 33.16	1.412 721 87	14	0 18 57.731	5 43 33.76	0.708 357 54		
29	20 19 1.399	-21 34 29.15	1.413 919 37	15	0 17 42.032	5 41 21.40	0.689 632 46		
30	20 25 57.876	-21 13 57.87	1.414 571 91	16	0 16 0.939	5 34 33.81	0.672 586 11		
Févr.	31	20 32 54.881	-20 51 58.92	1.414 668 35	17	0 13 57.110	5 23 20.95	0.657 289 09	
	1	20 39 52.341	-20 28 31.94	1.414 195 91	18	0 11 33.671	5 7 57.76	0.643 792 76	
	2	20 46 50.188	-20 3 36.64	1.413 140 12	19	0 8 54.151	4 48 44.16	0.632 128 84	
3	20 53 48.353	-19 37 12.81	1.411 484 69	20	0 6 2.389	4 26 4.79	0.622 309 48		
4	21 0 46.768	-19 9 20.28	1.409 211 47	21	0 3 2.425	4 0 28.50	0.614 327 53		
5	21 7 45.361	-18 39 59.00	1.406 300 36	22	23 59 58.372	3 32 27.46	0.608 157 34		
6	21 14 44.059	-18 9 9.02	1.402 729 20	23	23 56 54.287	3 2 36.11	0.603 756 03		
7	21 21 42.782	-17 36 50.48	1.398 473 75	24	23 53 54.049	2 31 29.97	0.601 065 22		
8	21 28 41.446	-17 3 3.70	1.393 507 58	25	23 51 1.247	1 59 44.43	0.600 013 17		
9	21 35 39.953	-16 27 49.14	1.387 802 09	26	23 48 19.094	1 27 53.50	0.600 517 25		
10	21 42 38.194	-15 51 7.47	1.381 326 51	27	23 45 50.363	0 56 28.88	0.602 486 56		
11	21 49 36.041	-15 12 59.62	1.374 047 94	28	23 43 37.360	0 25 59.17	0.605 824 56		
12	21 56 33.343	-14 33 26.80	1.365 931 51	29	23 41 41.909	-0 3 10.68	0.610 431 65		
13	22 3 29.918	-13 52 30.60	1.356 940 65	30	23 40 5.371	-0 30 39.55	0.616 207 45		
14	22 10 25.547	-13 10 13.01	1.347 037 36	31	23 38 48.676	-0 56 10.24	0.623 052 80		

MERCURE 2012 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	1	23 37 52.369	- 1 19 29.28	0.630 871 48	Mai	17	2 49 29.062	14 56 41.04	1.263 869 56
	2	23 37 16.657	- 1 40 26.62	0.639 571 40		18	2 57 12.935	15 40 23.99	1.274 226 24
	3	23 37 1.469	- 1 58 55.26	0.649 065 59		19	3 5 7.127	16 23 48.32	1.283 795 13
	4	23 37 6.504	- 2 14 50.85	0.659 272 79		20	3 13 11.650	17 6 44.62	1.292 491 46
	5	23 37 31.286	- 2 28 11.22	0.670 117 75		21	3 21 26.422	17 49 2.74	1.300 228 51
	6	23 38 15.202	- 2 38 56.03	0.681 531 35		22	3 29 51.244	18 30 31.83	1.306 919 40
	7	23 39 17.548	- 2 47 6.37	0.693 450 52		23	3 38 25.790	19 11 0.42	1.312 479 30
	8	23 40 37.553	- 2 52 44.47	0.705 818 00		24	3 47 9.588	19 50 16.58	1.316 827 99
	9	23 42 14.410	- 2 55 53.40	0.718 582 10		25	3 56 2.010	20 28 8.09	1.319 892 66
	10	23 44 7.298	- 2 56 36.88	0.731 696 37		26	4 5 2.268	21 4 22.63	1.321 610 85
	11	23 46 15.395	- 2 54 59.05	0.745 119 24		27	4 14 9.415	21 38 48.13	1.321 933 23
	12	23 48 37.897	- 2 51 4.33	0.758 813 67		28	4 23 22.352	22 11 13.02	1.320 826 13
	13	23 51 14.026	- 2 44 57.31	0.772 746 76		29	4 32 39.849	22 41 26.52	1.318 273 41
	14	23 54 3.041	- 2 36 42.61	0.786 889 36		30	4 42 0.564	23 9 18.98	1.314 277 66
	15	23 57 4.244	- 2 26 24.83	0.801 215 72		31	4 51 23.081	23 34 42.12	1.308 860 42
16	0 0 16.979	- 2 14 8.52	0.815 703 07	Juin	1	5 0 45.935	23 57 29.22	1.302 061 50	
17	0 3 40.641	- 1 59 58.10	0.830 331 29		2	5 10 7.657	24 17 35.30	1.293 937 40	
18	0 7 14.672	- 1 43 57.86	0.845 082 56		3	5 19 26.798	24 34 57.12	1.284 559 03	
19	0 10 58.564	- 1 26 11.95	0.859 941 06		4	5 28 41.967	24 49 33.19	1.274 008 83	
20	0 14 51.857	- 1 6 44.37	0.874 892 61		5	5 37 51.853	25 1 23.71	1.262 377 74	
21	0 18 54.136	- 0 45 38.96	0.889 924 47	6	5 46 55.245	25 10 30.36	1.249 762 09		
22	0 23 5.034	- 0 22 59.42	0.905 024 99	7	5 55 51.045	25 16 56.21	1.236 260 72		
23	0 27 24.230	0 1 10.70	0.920 183 42	8	6 4 38.276	25 20 45.46	1.221 972 42		
24	0 31 51.444	0 26 47.98	0.935 389 61	9	6 13 16.081	25 22 3.27	1.206 993 80		
25	0 36 26.438	0 53 49.12	0.950 633 81	10	6 21 43.722	25 20 55.59	1.191 417 64		
26	0 41 9.017	1 22 10.94	0.965 906 39	11	6 30 0.572	25 17 28.93	1.175 331 70		
27	0 45 59.022	1 51 50.35	0.981 197 66	12	6 38 6.101	25 11 50.23	1.158 817 87		
28	0 50 56.334	2 22 44.34	0.996 497 59	13	6 45 59.874	25 4 6.73	1.141 951 74		
29	0 56 0.871	2 54 49.95	1.011 795 62	14	6 53 41.531	24 54 25.82	1.124 802 44		
30	1 1 12.584	3 28 4.29	1.027 080 35	15	7 1 10.781	24 42 54.96	1.107 432 67		
Mai	1	1 6 31.463	4 2 24.48	1.042 339 35	16	7 8 27.388	24 29 41.63	1.089 898 98	
	2	1 11 57.529	4 37 47.67	1.057 558 84	17	7 15 31.163	24 14 53.24	1.072 252 03	
	3	1 17 30.837	5 14 10.98	1.072 723 41	18	7 22 21.951	23 58 37.11	1.054 537 13	
	4	1 23 11.473	5 51 31.49	1.087 815 74	19	7 28 59.626	23 41 0.42	1.036 794 63	
	5	1 28 59.556	6 29 46.23	1.102 816 19	20	7 35 24.080	23 22 10.25	1.019 060 44	
	6	1 34 55.228	7 8 52.09	1.117 702 52	21	7 41 35.218	23 2 13.49	1.001 366 57	
	7	1 40 58.659	7 48 45.87	1.132 449 49	22	7 47 32.948	22 41 16.92	0.983 741 55	
	8	1 47 10.041	8 29 24.14	1.147 028 51	23	7 53 17.182	22 19 27.17	0.966 210 97	
	9	1 53 29.585	9 10 43.28	1.161 407 29	24	7 58 47.823	21 56 50.74	0.948 797 92	
	10	1 59 57.520	9 52 39.37	1.175 549 49	25	8 4 4.771	21 33 34.01	0.931 523 40	
	11	2 6 34.091	10 35 8.22	1.189 414 37	26	8 9 7.908	21 9 43.29	0.914 406 75	
	12	2 13 19.553	11 18 5.24	1.202 956 46	27	8 13 57.104	20 45 24.78	0.897 465 99	
	13	2 20 14.164	12 1 25.47	1.216 125 25	28	8 18 32.210	20 20 44.63	0.880 718 25	
	14	2 27 18.184	12 45 3.45	1.228 864 96	29	8 22 53.057	19 55 48.97	0.864 180 04	
	15	2 34 31.860	13 28 53.19	1.241 114 31	30	8 26 59.452	19 30 43.90	0.847 867 59	
	16	2 41 55.421	14 12 48.13	1.252 806 55	Juill.	1	8 30 51.180	19 5 35.53	0.831 797 12

MERCURE 2012 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.	2	8 34	28.000	18 40	29.99		0.815 985 14	Août	17	8 31	56.100	17 57	40.67		0.915 565 31
	3	8 37	49.650	18 15	33.46		0.800 448 67		18	8 36	30.214	17 57	13.01		0.942 147 99
	4	8 40	55.841	17 50	52.15		0.785 205 51		19	8 41	28.959	17 54	13.02		0.968 978 54
	5	8 43	46.266	17 26	32.38		0.770 274 47		20	8 46	50.904	17 48	33.51		0.995 905 22
	6	8 46	20.599	17 2	40.53		0.755 675 65		21	8 52	34.443	17 40	8.59		1.022 770 55
	7	8 48	38.499	16 39	23.08		0.741 430 70		22	8 58	37.807	17 28	53.90		1.049 414 01
	8	8 50	39.616	16 16	46.65		0.727 563 05		23	9 4	59.087	17 14	46.81		1.075 675 25
	9	8 52	23.596	15 54	57.94		0.714 098 25		24	9 11	36.261	16 57	46.54		1.101 397 69
	10	8 53	50.088	15 34	3.79		0.701 064 16		25	9 18	27.237	16 37	54.27		1.126 432 34
	11	8 54	58.758	15 14	11.10		0.688 491 24		26	9 25	29.888	16 15	13.14		1.150 641 54
	12	8 55	49.298	14 55	26.85		0.676 412 71		27	9 32	42.096	15 49	48.19		1.173 902 28
13	8 56	21.447	14 37	58.00		0.664 864 76	28	9 40	1.803	15 21	46.19		1.196 108 82		
14	8 56	35.005	14 21	51.50		0.653 886 65	29	9 47	27.048	14 51	15.38		1.217 174 58		
15	8 56	29.858	14 7	14.14		0.643 520 83	30	9 54	56.002	14 18	25.24		1.237 032 96		
16	8 56	5.999	13 54	12.48		0.633 812 92	31	10 2	26.997	13 43	26.17		1.255 637 26		
17	8 55	23.559	13 42	52.76		0.624 811 64	Sept.	1	10 9	58.547	13 6	29.15		1.272 959 78	
18	8 54	22.830	13 33	20.69		0.616 568 67		2	10 17	29.354	12 27	45.47		1.288 990 14	
19	8 53	4.298	13 25	41.37		0.609 138 39		3	10 24	58.310	11 47	26.44		1.303 733 25	
20	8 51	28.671	13 19	59.06		0.602 577 45		4	10 32	24.494	11 5	43.17		1.317 206 90	
21	8 49	36.906	13 16	17.00		0.596 944 24		5	10 39	47.158	10 22	46.40		1.329 439 36	
22	8 47	30.230	13 14	37.27		0.592 298 28	6	10 47	5.714	9 38	46.35		1.340 466 95		
23	8 45	10.160	13 15	0.57		0.588 699 34	7	10 54	19.719	8 53	52.63		1.350 331 87		
24	8 42	38.508	13 17	26.10		0.586 206 55	8	11 1	28.854	8 8	14.18		1.359 080 23		
25	8 39	57.378	13 21	51.44		0.584 877 34	9	11 8	32.909	7 21	59.26		1.366 760 41		
26	8 37	9.152	13 28	12.48		0.584 766 35	10	11 15	31.768	6 35	15.43		1.373 421 65		
27	8 34	16.461	13 36	23.41		0.585 924 25	11	11 22	25.387	5 48	9.60		1.379 112 96		
28	8 31	22.142	13 46	16.81		0.588 396 69	12	11 29	13.789	5 0	48.04		1.383 882 23		
29	8 28	29.186	13 57	43.70		0.592 223 21	13	11 35	57.045	4 13	16.41		1.387 775 66		
30	8 25	40.676	14 10	33.76		0.597 436 36	14	11 42	35.265	3 25	39.85		1.390 837 24		
31	8 22	59.718	14 24	35.55		0.604 060 94	15	11 49	8.592	2 38	2.96		1.393 108 50		
Août	1	8 20	29.373	14 39	36.72		0.612 113 49	16	11 55	37.192	1 50	29.91		1.394 628 32	
	2	8 18	12.589	14 55	24.27		0.621 601 93	17	12 2	1.246	1 3	4.46		1.395 432 87	
	3	8 16	12.143	15 11	44.83		0.632 525 41	18	12 8	20.948	0 15	49.98		1.395 555 61	
	4	8 14	30.590	15 28	24.84		0.644 874 39	19	12 14	36.499	- 0 31	10.45		1.395 027 31	
	5	8 13	10.223	15 45	10.78		0.658 630 71	20	12 20	48.100	- 1 17	54.06		1.393 876 16	
	6	8 12	13.048	16 1	49.26		0.673 767 85	21	12 26	55.955	- 2 4	18.33		1.392 127 85	
	7	8 11	40.767	16 18	7.15		0.690 251 08	22	12 33	0.263	- 2 50	20.95		1.389 805 65	
	8	8 11	34.779	16 33	51.61		0.708 037 61	23	12 39	1.219	- 3 35	59.79		1.386 930 56	
	9	8 11	56.180	16 48	50.12		0.727 076 65	24	12 44	59.016	- 4 21	12.91		1.383 521 37	
	10	8 12	45.778	17 2	50.48		0.747 309 26	25	12 50	53.836	- 5 5	58.50		1.379 594 82	
	11	8 14	4.104	17 15	40.77		0.768 668 22	26	12 56	45.859	- 5 50	14.88		1.375 165 71	
12	8 15	51.430	17 27	9.35		0.791 077 62	27	13 2	35.254	- 6 34	0.48		1.370 246 99		
13	8 18	7.782	17 37	4.89		0.814 452 47	28	13 8	22.181	- 7 17	13.81		1.364 849 91		
14	8 20	52.956	17 45	16.29		0.838 698 26	29	13 14	6.792	- 7 59	53.45		1.358 984 10		
15	8 24	6.526	17 51	32.85		0.863 710 51	30	13 19	49.226	- 8 41	58.06		1.352 657 71		
16	8 27	47.855	17 55	44.24		0.889 374 52	Oct.	1	13 25	29.611	- 9 23	26.31		1.345 877 50	

MERCURE 2012 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.	2	13 31 8.060	-10 4 16.90	1.338 648 91	Nov.	17	15 37 21.181	-19 12 54.35	0.676 623 96	
	3	13 36 44.673	-10 44 28.58	1.330 976 23		18	15 32 8.366	-18 33 54.89	0.678 184 24	
	4	13 42 19.535	-11 24 0.06	1.322 862 62		19	15 27 3.047	-17 55 20.50	0.682 894 43	
	5	13 47 52.715	-12 2 50.09	1.314 310 25		20	15 22 15.281	-17 18 20.26	0.690 716 38	
	6	13 53 24.263	-12 40 57.36	1.305 320 35		21	15 17 54.048	-16 43 59.73	0.701 525 54	
	7	13 58 54.213	-13 18 20.59	1.295 893 33		22	15 14 6.704	-16 13 15.63	0.715 120 02	
	8	14 4 22.578	-13 54 58.44	1.286 028 81		23	15 10 58.672	-15 46 52.03	0.731 235 56	
	9	14 9 49.349	-14 30 49.54	1.275 725 76		24	15 8 33.376	-15 25 18.39	0.749 563 88	
	10	14 15 14.495	-15 5 52.47	1.264 982 51		25	15 6 52.373	-15 8 49.51	0.769 771 93	
	11	14 20 37.958	-15 40 5.79	1.253 796 89		26	15 5 55.631	-14 57 27.04	0.791 519 65	
	12	14 25 59.656	-16 13 27.95	1.242 166 28		27	15 5 41.870	-14 51 1.81	0.814 474 88	
	13	14 31 19.472	-16 45 57.39	1.230 087 74		28	15 6 8.911	-14 49 16.55	0.838 324 64	
	14	14 36 37.259	-17 17 32.43	1.217 558 10		29	15 7 14.000	-14 51 48.55	0.862 782 73	
	15	14 41 52.829	-17 48 11.34	1.204 574 13		30	15 8 54.068	-14 58 11.93	0.887 594 10	
	16	14 47 5.956	-18 17 52.28	1.191 132 68		Déc.	1	15 11 5.944	-15 7 59.51	0.912 536 48
	17	14 52 16.362	-18 46 33.33	1.177 230 85		2	15 13 46.503	-15 20 44.13	0.937 420 08	
18	14 57 23.720	-19 14 12.42	1.162 866 22	3	15 16 52.764	-15 35 59.67	0.962 085 83			
19	15 2 27.642	-19 40 47.39	1.148 037 02	4	15 20 21.958	-15 53 21.58	0.986 402 80			
20	15 7 27.676	-20 6 15.90	1.132 742 41	5	15 24 11.552	-16 12 27.26	1.010 265 15			
21	15 12 23.301	-20 30 35.45	1.116 982 70	6	15 28 19.268	-16 32 56.17	1.033 588 98			
22	15 17 13.915	-20 53 43.37	1.100 759 65	7	15 32 43.075	-16 54 29.85	1.056 309 24			
23	15 21 58.831	-21 15 36.81	1.084 076 89	8	15 37 21.176	-17 16 51.84	1.078 376 80			
24	15 26 37.264	-21 36 12.67	1.066 940 29	9	15 42 11.995	-17 39 47.55	1.099 755 83			
25	15 31 8.318	-21 55 27.61	1.049 358 54	10	15 47 14.150	-18 3 4.08	1.120 421 50			
26	15 35 30.977	-22 13 17.99	1.031 343 77	11	15 52 26.437	-18 26 30.06	1.140 357 94			
27	15 39 44.089	-22 29 39.86	1.012 912 29	12	15 57 47.807	-18 49 55.50	1.159 556 57			
28	15 43 46.354	-22 44 28.87	0.994 085 51	13	16 3 17.346	-19 13 11.59	1.178 014 62			
29	15 47 36.306	-22 57 40.24	0.974 890 99	14	16 8 54.259	-19 36 10.57	1.195 733 92			
30	15 51 12.305	-23 9 8.66	0.955 363 67	15	16 14 37.856	-19 58 45.61	1.212 719 87			
31	15 54 32.520	-23 18 48.26	0.935 547 32	16	16 20 27.538	-20 20 50.66	1.228 980 59			
Nov.	1	15 57 34.924	-23 26 32.48	0.915 496 15	17	16 26 22.783	-20 42 20.34	1.244 526 15		
	2	16 0 17.290	-23 32 14.01	0.895 276 79	18	16 32 23.140	-21 3 9.92	1.259 368 02		
	3	16 2 37.198	-23 35 44.71	0.874 970 30	19	16 38 28.217	-21 23 15.14	1.273 518 54		
	4	16 4 32.052	-23 36 55.49	0.854 674 58	20	16 44 37.669	-21 42 32.22	1.286 990 54		
	5	16 5 59.119	-23 35 36.36	0.834 506 78	21	16 50 51.192	-22 0 57.75	1.299 797 02		
	6	16 6 55.594	-23 31 36.39	0.814 605 78	22	16 57 8.520	-22 18 28.66	1.311 950 94		
	7	16 7 18.693	-23 24 43.87	0.795 134 60	23	17 3 29.414	-22 35 2.16	1.323 464 97		
	8	16 7 5.796	-23 14 46.68	0.776 282 26	24	17 9 53.659	-22 50 35.69	1.334 351 41		
	9	16 6 14.631	-23 1 32.80	0.758 264 89	25	17 16 21.062	-23 5 6.93	1.344 622 00		
	10	16 4 43.512	-22 44 51.30	0.741 325 54	26	17 22 51.448	-23 18 33.73	1.354 287 89		
	11	16 2 31.629	-22 24 33.65	0.725 731 99	27	17 29 24.653	-23 30 54.09	1.363 359 48		
	12	15 59 39.360	-22 0 35.61	0.711 771 88	28	17 36 0.527	-23 42 6.17	1.371 846 45		
	13	15 56 8.585	-21 32 59.43	0.699 744 71	29	17 42 38.931	-23 52 8.22	1.379 757 64		
	14	15 52 2.944	-21 1 56.34	0.689 950 10	30	17 49 19.732	-24 0 58.61	1.387 101 04		
	15	15 47 27.974	-20 27 48.81	0.682 672 60	31	17 56 2.804	-24 8 35.82	1.393 883 73		
	16	15 42 31.064	-19 51 12.10	0.678 163 86	32	18 2 48.027	-24 14 58.38	1.400 111 87		

VÉNUS 2012 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	2	25.143	-18	47	22.81	1.29766681	Févr.	15	0	29	9.932	3	3	50.33	1.01263474
	1	21	7	22.297	-18	25	51.84	1.29212869		16	0	33	20.411	3	35	4.72	1.00576694
	2	21	12	17.987	-18	3	50.84	1.28656026		17	0	37	30.563	4	6	14.61	0.99887227
	3	21	17	12.209	-17	41	20.56	1.28096171		18	0	41	40.413	4	37	19.30	0.99195060
	4	21	22	4.965	-17	18	21.80	1.27533326		19	0	45	49.984	5	8	18.09	0.98500180
	5	21	26	56.259	-16	54	55.33	1.26967512		20	0	49	59.299	5	39	10.30	0.97802574
	6	21	31	46.095	-16	31	1.94	1.26398751		21	0	54	8.380	6	9	55.23	0.97102235
	7	21	36	34.482	-16	6	42.41	1.25827069		22	0	58	17.245	6	40	32.18	0.96399160
	8	21	41	21.427	-15	41	57.55	1.25252487		23	1	2	25.915	7	11	0.48	0.95693351
	9	21	46	6.942	-15	16	48.14	1.24675029		24	1	6	34.406	7	41	19.44	0.94984817
	10	21	50	51.042	-14	51	14.95	1.24094716		25	1	10	42.735	8	11	28.38	0.94273573
	11	21	55	33.742	-14	25	18.78	1.23511567		26	1	14	50.914	8	41	26.63	0.93559639
	12	22	0	15.061	-13	59	0.40	1.22925595		27	1	18	58.957	9	11	13.53	0.92843041
	13	22	4	55.021	-13	32	20.57	1.22336808		28	1	23	6.874	9	40	48.40	0.92123809
14	22	9	33.644	-13	5	20.07	1.21745208	29	1	27	14.673	10	10	10.59	0.91401978		
15	22	14	10.957	-12	37	59.65	1.21150788	Mars	1	1	31	22.362	10	39	19.43	0.90677587	
16	22	18	46.988	-12	10	20.08	1.20553535		2	1	35	29.944	11	8	14.27	0.89950683	
17	22	23	21.763	-11	42	22.14	1.19953429		3	1	39	37.423	11	36	54.46	0.89221312	
18	22	27	55.311	-11	14	6.59	1.19350447		4	1	43	44.799	12	5	19.36	0.88489532	
19	22	32	27.659	-10	45	34.23	1.18744557		5	1	47	52.072	12	33	28.32	0.87755400	
20	22	36	58.833	-10	16	45.85	1.18135730		6	1	51	59.239	13	1	20.72	0.87018984	
21	22	41	28.860	-9	47	42.23	1.17523933		7	1	56	6.298	13	28	55.92	0.86280353	
22	22	45	57.765	-9	18	24.19	1.16909139		8	2	0	13.246	13	56	13.33	0.85539582	
23	22	50	25.573	-8	48	52.51	1.16291321		9	2	4	20.080	14	23	12.35	0.84796744	
24	22	54	52.311	-8	19	7.98	1.15670462		10	2	8	26.796	14	49	52.40	0.84051911	
25	22	59	18.007	-7	49	11.39	1.15046548	11	2	12	33.391	15	16	12.93	0.83305152		
26	23	3	42.689	-7	19	3.51	1.14419575	12	2	16	39.856	15	42	13.38	0.82556524		
27	23	8	6.385	-6	48	45.12	1.13789543	13	2	20	46.183	16	7	53.20	0.81806078		
28	23	12	29.126	-6	18	16.98	1.13156458	14	2	24	52.357	16	33	11.86	0.81053859		
29	23	16	50.941	-5	47	39.86	1.12520330	15	2	28	58.360	16	58	8.79	0.80299903		
30	23	21	11.861	-5	16	54.52	1.11881173	16	2	33	4.170	17	22	43.45	0.79544245		
31	23	25	31.917	-4	46	1.70	1.11239005	17	2	37	9.761	17	46	55.29	0.78786916		
Févr.	1	23	29	51.138	-4	15	2.16	1.10593845	18	2	41	15.103	18	10	43.79	0.78027950	
	2	23	34	9.555	-3	43	56.65	1.09945716	19	2	45	20.163	18	34	8.41	0.77267381	
	3	23	38	27.198	-3	12	45.91	1.09294644	20	2	49	24.904	18	57	8.65	0.76505247	
	4	23	42	44.098	-2	41	30.66	1.08640657	21	2	53	29.283	19	19	43.98	0.75741591	
	5	23	47	0.284	-2	10	11.66	1.07983786	22	2	57	33.255	19	41	53.94	0.74976461	
	6	23	51	15.787	-1	38	49.61	1.07324065	23	3	1	36.770	20	3	38.04	0.74209910	
	7	23	55	30.638	-1	7	25.24	1.06661530	24	3	5	39.773	20	24	55.83	0.73442000	
	8	23	59	44.867	-0	35	59.26	1.05996217	25	3	9	42.202	20	45	46.86	0.72672798	
9	0	3	58.508	-0	4	32.37	1.05328161	26	3	13	43.994	21	6	10.71	0.71902380		
10	0	8	11.594	0	26	54.76	1.04657393	27	3	17	45.077	21	26	6.96	0.71130826		
11	0	12	24.162	0	58	21.44	1.03983937	28	3	21	45.377	21	45	35.23	0.70358228		
12	0	16	36.245	1	29	47.00	1.03307812	29	3	25	44.813	22	4	35.12	0.69584681		
13	0	20	47.879	2	1	10.79	1.02629026	30	3	29	43.299	22	23	6.29	0.68810291		
14	0	24	59.098	2	32	32.12	1.01947582	31	3	33	40.747	22	41	8.39	0.68035171		

VÉNUS 2012 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	1	3	37	37.059	22	58	41.10	0.672 594 42	Mai	17	5	32	51.912	27	10	13.54	0.345 532 88
	2	3	41	32.136	23	15	44.12	0.664 832 35		18	5	32	33.211	27	3	17.35	0.340 446 62
	3	3	45	25.873	23	32	17.15	0.657 066 93		19	5	32	3.891	26	55	43.91	0.335 543 62
	4	3	49	18.162	23	48	19.95	0.649 299 67		20	5	31	23.942	26	47	32.40	0.330 832 76
	5	3	53	8.892	24	3	52.27	0.641 532 17		21	5	30	33.407	26	38	42.04	0.326 323 09
	6	3	56	57.949	24	18	53.90	0.633 766 15		22	5	29	32.387	26	29	12.11	0.322 023 79
	7	4	0	45.217	24	33	24.68	0.626 003 35		23	5	28	21.043	26	19	1.98	0.317 944 15
	8	4	4	30.577	24	47	24.45	0.618 245 55		24	5	26	59.610	26	8	11.18	0.314 093 49
	9	4	8	13.904	25	0	53.10	0.610 494 50		25	5	25	28.391	25	56	39.39	0.310 481 11
	10	4	11	55.070	25	13	50.53	0.602 751 90		26	5	23	47.769	25	44	26.55	0.307 116 23
	11	4	15	33.939	25	26	16.66	0.595 019 44		27	5	21	58.208	25	31	32.85	0.304 007 87
	12	4	19	10.370	25	38	11.43	0.587 298 75		28	5	20	0.252	25	17	58.82	0.301 164 81
	13	4	22	44.214	25	49	34.77	0.579 591 44		29	5	17	54.530	25	3	45.36	0.298 595 48
	14	4	26	15.315	26	0	26.67	0.571 899 18		30	5	15	41.751	24	48	53.79	0.296 307 82
	15	4	29	43.513	26	10	47.11	0.564 223 67		31	5	13	22.704	24	33	25.89	0.294 309 26
16	4	33	8.637	26	20	36.11	0.556 566 67	Juin	1	5	10	58.251	24	17	23.91	0.292 606 52	
17	4	36	30.511	26	29	53.68	0.548 930 06		2	5	8	29.317	24	0	50.62	0.291 205 51	
18	4	39	48.950	26	38	39.88	0.541 315 80		3	5	5	56.887	23	43	49.28	0.290 111 23	
19	4	43	3.762	26	46	54.79	0.533 725 98		4	5	3	21.986	23	26	23.63	0.289 327 63	
20	4	46	14.745	26	54	38.48	0.526 162 83		5	5	0	45.664	23	8	37.88	0.288 857 48	
21	4	49	21.692	27	1	51.07	0.518 628 71		6	4	58	8.987	22	50	36.61	0.288 702 37	
22	4	52	24.384	27	8	32.66	0.511 126 15		7	4	55	33.014	22	32	24.75	0.288 862 63	
23	4	55	22.595	27	14	43.38	0.503 657 83		8	4	52	58.784	22	14	7.46	0.289 337 41	
24	4	58	16.092	27	20	23.37	0.496 226 62		9	4	50	27.301	21	55	50.10	0.290 124 67	
25	5	1	4.632	27	25	32.74	0.488 835 56		10	4	47	59.523	21	37	38.10	0.291 221 32	
26	5	3	47.965	27	30	11.65	0.481 487 92	11	4	45	36.351	21	19	36.88	0.292 623 25		
27	5	6	25.832	27	34	20.21	0.474 187 14	12	4	43	18.619	21	1	51.77	0.294 325 41		
28	5	8	57.968	27	37	58.54	0.466 936 93	13	4	41	7.088	20	44	27.91	0.296 321 94		
29	5	11	24.102	27	41	6.74	0.459 741 20	14	4	39	2.444	20	27	30.17	0.298 606 23		
30	5	13	43.955	27	43	44.90	0.452 604 13	15	4	37	5.292	20	11	3.10	0.301 171 01		
Mai	1	5	15	57.246	27	45	53.08	0.445 530 16	16	4	35	16.157	19	55	10.86	0.304 008 45	
	2	5	18	3.687	27	47	31.31	0.438 524 03	17	4	33	35.483	19	39	57.19	0.307 110 27	
	3	5	20	2.993	27	48	39.58	0.431 590 74	18	4	32	3.640	19	25	25.37	0.310 467 84	
	4	5	21	54.874	27	49	17.85	0.424 735 60	19	4	30	40.919	19	11	38.21	0.314 072 24	
	5	5	23	39.047	27	49	26.06	0.417 964 17	20	4	29	27.545	18	58	38.04	0.317 914 40	
	6	5	25	15.229	27	49	4.06	0.411 282 28	21	4	28	23.675	18	46	26.72	0.321 985 14	
	7	5	26	43.142	27	48	11.69	0.404 695 92	22	4	27	29.410	18	35	5.63	0.326 275 29	
	8	5	28	2.514	27	46	48.73	0.398 211 28	23	4	26	44.797	18	24	35.76	0.330 775 71	
	9	5	29	13.076	27	44	54.86	0.391 834 68	24	4	26	9.836	18	14	57.65	0.335 477 38	
	10	5	30	14.571	27	42	29.72	0.385 572 60	25	4	25	44.489	18	6	11.48	0.340 371 42	
	11	5	31	6.746	27	39	32.88	0.379 431 70	26	4	25	28.682	17	58	17.09	0.345 449 13	
	12	5	31	49.365	27	36	3.83	0.373 418 85	27	4	25	22.312	17	51	14.01	0.350 702 04	
	13	5	32	22.201	27	32	2.01	0.367 541 13	28	4	25	25.252	17	45	1.47	0.356 121 86	
	14	5	32	45.047	27	27	26.78	0.361 805 92	29	4	25	37.356	17	39	38.51	0.361 700 56	
	15	5	32	57.716	27	22	17.46	0.356 220 83	30	4	25	58.460	17	35	3.92	0.367 430 27	
16	5	33	0.048	27	16	33.31	0.350 793 76	Juill.	1	4	26	28.387	17	31	16.31	0.373 303 37	

VÉNUS 2012 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.	2	4	27	6.946	17	28	14.13	0.37931237	Août	17	6	37	22.516	20	0	1.64	0.72030995
	3	4	27	53.938	17	25	55.68	0.38544996		18	6	41	31.183	20	0	22.32	0.72811380
	4	4	28	49.154	17	24	19.16	0.39170903		19	6	45	41.607	20	0	19.05	0.73590978
	5	4	29	52.378	17	23	22.66	0.39808260		20	6	49	53.710	19	59	51.26	0.74369732
	6	4	31	3.391	17	23	4.18	0.40456396		21	6	54	7.419	19	58	58.39	0.75147591
	7	4	32	21.969	17	23	21.69	0.41114661		22	6	58	22.663	19	57	39.90	0.75924512
	8	4	33	47.887	17	24	13.13	0.41782435		23	7	2	39.372	19	55	55.32	0.76700453
	9	4	35	20.918	17	25	36.43	0.42459126		24	7	6	57.480	19	53	44.18	0.77475378
	10	4	37	0.840	17	27	29.51	0.43144173		25	7	11	16.921	19	51	6.05	0.78249243
	11	4	38	47.430	17	29	50.30	0.43837045		26	7	15	37.631	19	48	0.51	0.79022007
	12	4	40	40.470	17	32	36.74	0.44537239		27	7	19	59.545	19	44	27.20	0.79793621
	13	4	42	39.747	17	35	46.81	0.45244281		28	7	24	22.602	19	40	25.74	0.80564031
	14	4	44	45.053	17	39	18.51	0.45957723		29	7	28	46.742	19	35	55.82	0.81333176
	15	4	46	56.186	17	43	9.86	0.46677143		30	7	33	11.904	19	30	57.11	0.82100989
	16	4	49	12.948	17	47	18.95	0.47402145		31	7	37	38.030	19	25	29.35	0.82867398
	17	4	51	35.148	17	51	43.87	0.48132354		Sept.	1	7	42	5.064	19	19	32.29
18	4	54	2.603	17	56	22.78	0.48867422	2	7		46	32.947	19	13	5.73	0.84395700	
19	4	56	35.134	18	1	13.86	0.49607020	3	7		51	1.625	19	6	9.50	0.85157435	
20	4	59	12.571	18	6	15.35	0.50350843	4	7		55	31.040	18	58	43.47	0.85917454	
21	5	1	54.748	18	11	25.53	0.51098609	5	8		0	1.136	18	50	47.53	0.86675681	
22	5	4	41.511	18	16	42.72	0.51850053	6	8	4	31.857	18	42	21.62	0.87432042		
23	5	7	32.710	18	22	5.29	0.52604931	7	8	9	3.148	18	33	25.71	0.88186465		
24	5	10	28.206	18	27	31.66	0.53363012	8	8	13	34.954	18	23	59.79	0.88938882		
25	5	13	27.864	18	33	0.29	0.54124082	9	8	18	7.222	18	14	3.90	0.89689227		
26	5	16	31.559	18	38	29.70	0.54887937	10	8	22	39.897	18	3	38.07	0.90437439		
27	5	19	39.170	18	43	58.42	0.55654384	11	8	27	12.930	17	52	42.40	0.91183458		
28	5	22	50.581	18	49	25.06	0.56423232	12	8	31	46.270	17	41	17.00	0.91927229		
29	5	26	5.682	18	54	48.24	0.57194296	13	8	36	19.867	17	29	22.00	0.92668701		
30	5	29	24.366	19	0	6.63	0.57967393	14	8	40	53.675	17	16	57.56	0.93407829		
31	5	32	46.527	19	5	18.91	0.58742335	15	8	45	27.648	17	4	3.86	0.94144573		
Août	1	5	36	12.064	19	10	23.81	0.59518937	16	8	50	1.745	16	50	41.11	0.94878904	
	2	5	39	40.878	19	15	20.08	0.60297010	17	8	54	35.926	16	36	49.52	0.95610799	
	3	5	43	12.871	19	20	6.51	0.61076368	18	8	59	10.155	16	22	29.34	0.96340244	
	4	5	46	47.948	19	24	41.93	0.61856825	19	9	3	44.397	16	7	40.85	0.97067234	
	5	5	50	26.013	19	29	5.21	0.62638200	20	9	8	18.622	15	52	24.32	0.97791766	
	6	5	54	6.974	19	33	15.26	0.63420319	21	9	12	52.800	15	36	40.06	0.98513842	
	7	5	57	50.737	19	37	11.03	0.64203016	22	9	17	26.904	15	20	28.39	0.99233459	
	8	6	1	37.208	19	40	51.54	0.64986134	23	9	22	0.910	15	3	49.65	0.99950614	
	9	6	5	26.297	19	44	15.80	0.65769521	24	9	26	34.796	14	46	44.17	1.00665299	
	10	6	9	17.913	19	47	22.90	0.66553037	25	9	31	8.543	14	29	12.32	1.01377497	
	11	6	13	11.965	19	50	11.94	0.67336549	26	9	35	42.133	14	11	14.47	1.02087188	
	12	6	17	8.364	19	52	42.07	0.68119930	27	9	40	15.554	13	52	50.99	1.02794344	
	13	6	21	7.022	19	54	52.48	0.68903061	28	9	44	48.794	13	34	2.28	1.03498931	
	14	6	25	7.852	19	56	42.37	0.69685832	29	9	49	21.843	13	14	48.77	1.04200910	
	15	6	29	10.767	19	58	11.00	0.70468140	30	9	53	54.693	12	55	10.89	1.04900238	
	16	6	33	15.683	19	59	17.65	0.71249889	Oct.	1	9	58	27.337	12	35	9.08	1.05596869

VÉNUS 2012 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.	2	10	2	59.771	12	14	43.84	1.062 907 54	Nov.	17	13	30	38.986	- 7	33	27.57	1.347 261 48	
	3	10	7	31.988	11	53	55.65	1.069 818 44		18	13	35	16.635	- 8	0	28.16	1.352 613 20	
	4	10	12	3.985	11	32	45.01	1.076 700 87		19	13	39	55.022	- 8	27	19.98	1.357 927 69	
	5	10	16	35.759	11	11	12.47	1.083 554 35		20	13	44	34.180	- 8	54	2.27	1.363 205 20	
	6	10	21	7.309	10	49	18.55	1.090 378 36		21	13	49	14.139	- 9	20	34.25	1.368 445 92	
	7	10	25	38.632	10	27	3.81	1.097 172 44		22	13	53	54.931	- 9	46	55.15	1.373 650 00	
	8	10	30	9.730	10	4	28.83	1.103 936 10		23	13	58	36.588	-10	13	4.21	1.378 817 53	
	9	10	34	40.604	9	41	34.17	1.110 668 88		24	14	3	19.139	-10	39	0.66	1.383 948 57	
	10	10	39	11.257	9	18	20.43	1.117 370 33		25	14	8	2.616	-11	4	43.71	1.389 043 14	
	11	10	43	41.692	8	54	48.21	1.124 040 02		26	14	12	47.045	-11	30	12.59	1.394 101 20	
	12	10	48	11.916	8	30	58.11	1.130 677 55		27	14	17	32.456	-11	55	26.52	1.399 122 70	
	13	10	52	41.936	8	6	50.75	1.137 282 57		28	14	22	18.873	-12	20	24.70	1.404 107 55	
	14	10	57	11.759	7	42	26.76	1.143 854 78		29	14	27	6.320	-12	45	6.35	1.409 055 63	
	15	11	1	41.397	7	17	46.76	1.150 393 98		30	14	31	54.822	-13	9	30.67	1.413 966 79	
	16	11	6	10.862	6	52	51.38	1.156 900 06		Déc.	1	14	36	44.398	-13	33	36.86	1.418 840 85
	17	11	10	40.166	6	27	41.26	1.163 372 99			2	14	41	35.069	-13	57	24.12	1.423 677 61
18	11	15	9.324	6	2	17.05	1.169 812 85	3	14		46	26.852	-14	20	51.64	1.428 476 85		
19	11	19	38.350	5	36	39.40	1.176 219 76	4	14		51	19.765	-14	43	58.62	1.433 238 33		
20	11	24	7.263	5	10	48.97	1.182 593 88	5	14		56	13.822	-15	6	44.25	1.437 961 79		
21	11	28	36.079	4	44	46.41	1.188 935 36	6	15		1	9.036	-15	29	7.73	1.442 646 97		
22	11	33	4.820	4	18	32.37	1.195 244 29	7	15		6	5.419	-15	51	8.26	1.447 293 58		
23	11	37	33.509	3	52	7.50	1.201 520 73	8	15		11	2.981	-16	12	45.04	1.451 901 33		
24	11	42	2.172	3	25	32.44	1.207 764 70	9	15		16	1.730	-16	33	57.29	1.456 469 93		
25	11	46	30.835	2	58	47.86	1.213 976 13	10	15		21	1.671	-16	54	44.21	1.460 999 15		
26	11	50	59.528	2	31	54.41	1.220 154 92	11	15		26	2.805	-17	15	5.05	1.465 488 75		
27	11	55	28.278	2	4	52.75	1.226 300 90	12	15		31	5.132	-17	34	59.03	1.469 938 60		
28	11	59	57.117	1	37	43.55	1.232 413 88	13	15		36	8.646	-17	54	25.38	1.474 348 68		
29	12	4	26.074	1	10	27.48	1.238 493 62	14	15		41	13.338	-18	13	23.34	1.478 719 05		
30	12	8	55.180	0	43	5.24	1.244 539 83	15	15		46	19.198	-18	31	52.17	1.483 049 91		
31	12	13	24.466	0	15	37.51	1.250 552 23	16	15		51	26.213	-18	49	51.10	1.487 341 53		
Nov.	1	12	17	53.960	- 0	11	55.00	1.256 530 48	17	15	56	34.371	-19	7	19.41	1.491 594 24		
	2	12	22	23.694	- 0	39	31.58	1.262 474 25	18	16	1	43.660	-19	24	16.37	1.495 808 37		
	3	12	26	53.698	- 1	7	11.52	1.268 383 19	19	16	6	54.066	-19	40	41.28	1.499 984 26		
	4	12	31	24.002	- 1	34	54.08	1.274 256 93	20	16	12	5.575	-19	56	33.46	1.504 122 19		
	5	12	35	54.635	- 2	2	38.54	1.280 095 11	21	16	17	18.169	-20	11	52.25	1.508 222 44		
	6	12	40	25.629	- 2	30	24.16	1.285 897 36	22	16	22	31.829	-20	26	36.98	1.512 285 21		
	7	12	44	57.013	- 2	58	10.20	1.291 663 32	23	16	27	46.534	-20	40	47.03	1.516 310 69		
	8	12	49	28.818	- 3	25	55.91	1.297 392 60	24	16	33	2.258	-20	54	21.78	1.520 299 03		
	9	12	54	1.075	- 3	53	40.54	1.303 084 86	25	16	38	18.974	-21	7	20.63	1.524 250 34		
	10	12	58	33.813	- 4	21	23.34	1.308 739 75	26	16	43	36.652	-21	19	42.99	1.528 164 70		
	11	13	3	7.064	- 4	49	3.54	1.314 356 96	27	16	48	55.260	-21	31	28.30	1.532 042 16		
	12	13	7	40.859	- 5	16	40.39	1.319 936 24	28	16	54	14.761	-21	42	36.02	1.535 882 74		
	13	13	12	15.226	- 5	44	13.13	1.325 477 42	29	16	59	35.120	-21	53	5.61	1.539 686 43		
	14	13	16	50.195	- 6	11	40.99	1.330 980 45	30	17	4	56.294	-22	2	56.58	1.543 453 16		
	15	13	21	25.794	- 6	39	3.20	1.336 445 35	31	17	10	18.244	-22	12	8.44	1.547 182 85		
	16	13	26	2.049	- 7	6	18.99	1.341 872 29	32	17	15	40.924	-22	20	40.74	1.550 875 38		

MARS 2012 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	11	27	21.390	6	41	28.68	1.048	527	07				
	1	11	28	18.509	6	37	10.68	1.039	588	25				
	2	11	29	13.776	6	33	4.92	1.030	683	77				
	3	11	30	7.156	6	29	11.65	1.021	815	84				
	4	11	30	58.616	6	25	31.10	1.012	986	68				
	5	11	31	48.119	6	22	3.51	1.004	198	53				
	6	11	32	35.629	6	18	49.14	0.995	453	63				
	7	11	33	21.108	6	15	48.24	0.986	754	27				
	8	11	34	4.517	6	13	1.07	0.978	102	77				
	9	11	34	45.814	6	10	27.89	0.969	501	45				
	10	11	35	24.957	6	8	8.97	0.960	952	73				
	11	11	36	1.902	6	6	4.60	0.952	459	08				
	12	11	36	36.605	6	4	15.03	0.944	023	05				
	13	11	37	9.020	6	2	40.54	0.935	647	33				
14	11	37	39.102	6	1	21.39	0.927	334	76					
15	11	38	6.804	6	0	17.84	0.919	088	30					
16	11	38	32.081	5	59	30.13	0.910	911	11					
17	11	38	54.887	5	58	58.51	0.902	806	51					
18	11	39	15.175	5	58	43.20	0.894	777	98					
19	11	39	32.900	5	58	44.42	0.886	829	15					
20	11	39	48.016	5	59	2.37	0.878	963	78					
21	11	40	0.482	5	59	37.23	0.871	185	75					
22	11	40	10.255	6	0	29.16	0.863	498	98					
23	11	40	17.297	6	1	38.29	0.855	907	45					
24	11	40	21.575	6	3	4.73	0.848	415	14					
25	11	40	23.056	6	4	48.54	0.841	026	02					
26	11	40	21.713	6	6	49.78	0.833	744	04					
27	11	40	17.520	6	9	8.47	0.826	573	10					
28	11	40	10.456	6	11	44.63	0.819	517	12					
29	11	40	0.499	6	14	38.22	0.812	579	95					
30	11	39	47.633	6	17	49.21	0.805	765	47					
31	11	39	31.841	6	21	17.55	0.799	077	53					
Févr.	1	11	39	13.111	6	25	3.15	0.792	519	98				
	2	11	38	51.434	6	29	5.91	0.786	096	65				
	3	11	38	26.801	6	33	25.68	0.779	811	37				
	4	11	37	59.210	6	38	2.31	0.773	667	95				
	5	11	37	28.660	6	42	55.61	0.767	670	18				
	6	11	36	55.152	6	48	5.36	0.761	821	84				
	7	11	36	18.693	6	53	31.32	0.756	126	69				
	8	11	35	39.294	6	59	13.20	0.750	588	53				
	9	11	34	56.968	7	5	10.68	0.745	211	16				
	10	11	34	11.735	7	11	23.41	0.739	998	45				
	11	11	33	23.621	7	17	50.97	0.734	954	33				
	12	11	32	32.655	7	24	32.90	0.730	082	80				
	13	11	31	38.877	7	31	28.70	0.725	387	93				
	14	11	30	42.330	7	38	37.80	0.720	873	82				
Févr.	15	11	29	43.066	7	45	59.59	0.716	544	60				
	16	11	28	41.146	7	53	33.41	0.712	404	35				
	17	11	27	36.638	8	1	18.51	0.708	457	05				
	18	11	26	29.620	8	9	14.12	0.704	706	60				
	19	11	25	20.180	8	17	19.40	0.701	156	70				
	20	11	24	8.415	8	25	33.44	0.697	810	87				
	21	11	22	54.432	8	33	55.31	0.694	672	40				
	22	11	21	38.347	8	42	24.01	0.691	744	31				
	23	11	20	20.285	8	50	58.52	0.689	029	35				
	24	11	19	0.377	8	59	37.77	0.686	530	00				
	25	11	17	38.761	9	8	20.69	0.684	248	44				
26	11	16	15.583	9	17	6.19	0.682	186	56					
27	11	14	50.992	9	25	53.17	0.680	345	95					
28	11	13	25.142	9	34	40.52	0.678	727	96					
29	11	11	58.190	9	43	27.14	0.677	333	59					
Mars	1	11	10	30.297	9	52	11.93	0.676	163	60				
	2	11	9	1.628	10	0	53.81	0.675	218	45				
	3	11	7	32.348	10	9	31.70	0.674	498	32				
	4	11	6	2.622	10	18	4.55	0.674	003	10				
	5	11	4	32.618	10	26	31.35	0.673	732	42				
	6	11	3	2.501	10	34	51.10	0.673	685	68				
	7	11	1	32.437	10	43	2.84	0.673	862	03				
	8	11	0	2.590	10	51	5.64	0.674	260	45				
	9	10	58	33.122	10	58	58.61	0.674	879	77				
	10	10	57	4.194	11	6	40.87	0.675	718	70				
	11	10	55	35.966	11	14	11.59	0.676	775	84				
12	10	54	8.595	11	21	29.98	0.678	049	66					
13	10	52	42.236	11	28	35.28	0.679	538	52					
14	10	51	17.042	11	35	26.76	0.681	240	58					
15	10	49	53.161	11	42	3.75	0.683	153	79					
16	10	48	30.740	11	48	25.58	0.685	275	90					
17	10	47	9.922	11	54	31.68	0.687	604	37					
18	10	45	50.847	12	0	21.47	0.690	136	43					
19	10	44	33.648	12	5	54.44	0.692	869	06					
20	10	43	18.454	12	11	10.13	0.695	798	97					
21	10	42	5.387	12	16	8.14	0.698	922	66					
22	10	40	54.562	12	20	48.12	0.702	236	43					
23	10	39	46.087	12	25	9.78	0.705	736	37					
24	10	38	40.062	12	29	12.87	0.709	418	40					
25	10	37	36.576	12	32	57.21	0.713	278	33					
26	10	36	35.711	12	36	22.68	0.717	311	80					
27	10	35	37.540	12	39	29.21	0.721	514	39					
28	10	34	42.127	12	42	16.76	0.725	881	60					
29	10	33	49.528	12	44	45.35	0.730	408	88					
30	10	32	59.789	12	46	55.04	0.735	091	63					
31	10	32	12.949	12	48	45.92	0.739	925	25					

MARS 2012 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	1	10 31 29.038	12 50 18.11	0.744 905 14	Mai	17	10 46 1.105	9 29 8.76	1.068 132 71
	2	10 30 48.079	12 51 31.78	0.750 026 72		18	10 47 9.507	9 20 15.44	1.076 110 84
	3	10 30 10.089	12 52 27.11	0.755 285 45		19	10 48 19.403	9 11 13.40	1.084 095 98
	4	10 29 35.076	12 53 4.30	0.760 676 90		20	10 49 30.763	9 2 2.76	1.092 086 46
	5	10 29 3.044	12 53 23.56	0.766 196 73		21	10 50 43.556	8 52 43.67	1.100 080 59
	6	10 28 33.991	12 53 25.13	0.771 840 76		22	10 51 57.751	8 43 16.27	1.108 076 74
	7	10 28 7.913	12 53 9.24	0.777 604 98		23	10 53 13.316	8 33 40.68	1.116 073 29
	8	10 27 44.798	12 52 36.13	0.783 485 55		24	10 54 30.222	8 23 57.05	1.124 068 67
	9	10 27 24.636	12 51 46.05	0.789 478 79		25	10 55 48.436	8 14 5.53	1.132 061 34
	10	10 27 7.409	12 50 39.23	0.795 581 15		26	10 57 7.929	8 4 6.25	1.140 049 80
	11	10 26 53.100	12 49 15.94	0.801 789 15		27	10 58 28.668	7 53 59.36	1.148 032 64
	12	10 26 41.689	12 47 36.39	0.808 099 31		28	10 59 50.626	7 43 45.00	1.156 008 50
	13	10 26 33.154	12 45 40.83	0.814 508 18		29	11 1 13.771	7 33 23.30	1.163 976 09
	14	10 26 27.473	12 43 29.47	0.821 012 27		30	11 2 38.077	7 22 54.40	1.171 934 22
	15	10 26 24.622	12 41 2.56	0.827 608 08		31	11 4 3.516	7 12 18.43	1.179 881 83
16	10 26 24.574	12 38 20.30	0.834 292 09	Juin	1	11 5 30.061	7 1 35.50	1.187 817 97	
17	10 26 27.304	12 35 22.92	0.841 060 78		2	11 6 57.687	6 50 45.75	1.195 741 83	
18	10 26 32.781	12 32 10.66	0.847 910 62		3	11 8 26.369	6 39 49.30	1.203 652 73	
19	10 26 40.974	12 28 43.75	0.854 838 10		4	11 9 56.083	6 28 46.26	1.211 550 13	
20	10 26 51.850	12 25 2.42	0.861 839 73		5	11 11 26.805	6 17 36.75	1.219 433 57	
21	10 27 5.372	12 21 6.92	0.868 912 05		6	11 12 58.514	6 6 20.89	1.227 302 61	
22	10 27 21.503	12 16 57.49	0.876 051 64		7	11 14 31.187	5 54 58.77	1.235 156 84	
23	10 27 40.204	12 12 34.39	0.883 255 13		8	11 16 4.809	5 43 30.49	1.242 995 78	
24	10 28 1.431	12 7 57.86	0.890 519 20		9	11 17 39.363	5 31 56.12	1.250 818 89	
25	10 28 25.143	12 3 8.16	0.897 840 60		10	11 19 14.836	5 20 15.74	1.258 625 58	
26	10 28 51.293	11 58 5.54	0.905 216 15	11	11 20 51.215	5 8 29.43	1.266 415 17		
27	10 29 19.835	11 52 50.27	0.912 642 75	12	11 22 28.487	4 56 37.26	1.274 186 95		
28	10 29 50.722	11 47 22.58	0.920 117 38	13	11 24 6.641	4 44 39.30	1.281 940 17		
29	10 30 23.905	11 41 42.74	0.927 637 11	14	11 25 45.665	4 32 35.65	1.289 674 04		
30	10 30 59.337	11 35 50.98	0.935 199 12	15	11 27 25.547	4 20 26.39	1.297 387 77		
Mai	1	10 31 36.966	11 29 47.54	0.942 800 70	16	11 29 6.275	4 8 11.61	1.305 080 53	
	2	10 32 16.746	11 23 32.67	0.950 439 28	17	11 30 47.837	3 55 51.41	1.312 751 51	
	3	10 32 58.627	11 17 6.58	0.958 112 43	18	11 32 30.220	3 43 25.89	1.320 399 86	
	4	10 33 42.561	11 10 29.49	0.965 817 91	19	11 34 13.413	3 30 55.15	1.328 024 75	
	5	10 34 28.502	11 3 41.61	0.973 553 63	20	11 35 57.402	3 18 19.29	1.335 625 34	
	6	10 35 16.405	10 56 43.14	0.981 317 72	21	11 37 42.174	3 5 38.44	1.343 200 80	
	7	10 36 6.225	10 49 34.27	0.989 108 45	22	11 39 27.717	2 52 52.70	1.350 750 32	
	8	10 36 57.917	10 42 15.20	0.996 924 22	23	11 41 14.018	2 40 2.18	1.358 273 10	
	9	10 37 51.439	10 34 46.08	1.004 763 47	24	11 43 1.065	2 27 7.01	1.365 768 39	
	10	10 38 46.752	10 27 7.09	1.012 624 67	25	11 44 48.844	2 14 7.29	1.373 235 51	
	11	10 39 43.817	10 19 18.36	1.020 506 27	26	11 46 37.346	2 1 3.15	1.380 673 81	
	12	10 40 42.598	10 11 20.03	1.028 406 68	27	11 48 26.559	1 47 54.68	1.388 082 73	
	13	10 41 43.062	10 3 12.23	1.036 324 26	28	11 50 16.472	1 34 42.01	1.395 461 82	
	14	10 42 45.176	9 54 55.08	1.044 257 35	29	11 52 7.075	1 21 25.24	1.402 810 71	
	15	10 43 48.909	9 46 28.70	1.052 204 25	30	11 53 58.359	1 8 4.48	1.410 129 14	
	16	10 44 54.229	9 37 53.22	1.060 163 28	Juill.	1	11 55 50.313	0 54 39.84	1.417 417 00

MARS 2012 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.	2 11 57 42.927	0 41 11.44	1.42467423	Août	17 13 35 10.040	-10 16 45.74	1.72246474
	3 11 59 36.192	0 27 39.39	1.43190087		18 13 37 31.575	-10 31 10.35	1.72810638
	4 12 1 30.099	0 14 3.79	1.43909701		19 13 39 53.758	-10 45 33.19	1.73371100
	5 12 3 24.641	0 0 24.75	1.44626272		20 13 42 16.590	-10 59 54.12	1.73927835
	6 12 5 19.814	-0 13 17.64	1.45339802		21 13 44 40.075	-11 14 12.98	1.74480825
	7 12 7 15.615	-0 27 3.30	1.46050291		22 13 47 4.216	-11 28 29.62	1.75030056
	8 12 9 12.042	-0 40 52.14	1.46757727		23 13 49 29.012	-11 42 43.91	1.75575528
	9 12 11 9.095	-0 54 44.09	1.47462093		24 13 51 54.466	-11 56 55.68	1.76117247
	10 12 13 6.775	-1 8 39.07	1.48163368		25 13 54 20.577	-12 11 4.77	1.76655232
	11 12 15 5.079	-1 22 36.99	1.48861521		26 13 56 47.345	-12 25 11.04	1.77189507
	12 12 17 4.009	-1 36 37.77	1.49556523		27 13 59 14.769	-12 39 14.31	1.77720109
	13 12 19 3.562	-1 50 41.31	1.50248336		28 14 1 42.849	-12 53 14.42	1.78247078
	14 12 21 3.739	-2 4 47.52	1.50936923		29 14 4 11.588	-13 7 11.21	1.78770457
	15 12 23 4.537	-2 18 56.29	1.51622243		30 14 6 40.987	-13 21 4.51	1.79290293
	16 12 25 5.954	-2 33 7.52	1.52304255		31 14 9 11.050	-13 34 54.18	1.79806628
	17 12 27 7.990	-2 47 21.10	1.52982914		Sept.	1 14 11 41.784	-13 48 40.05
18 12 29 10.642	-3 1 36.92	1.53658173	2 14 14 13.194	-14 2 21.99		1.80828961	
19 12 31 13.906	-3 15 54.86	1.54329986	3 14 16 45.287	-14 15 59.84		1.81335025	
20 12 33 17.781	-3 30 14.79	1.54998306	4 14 19 18.068	-14 29 33.46		1.81837724	
21 12 35 22.264	-3 44 36.59	1.55663086	5 14 21 51.544	-14 43 2.71		1.82337078	
22 12 37 27.353	-3 59 0.15	1.56324283	6 14 24 25.719	-14 56 27.42	1.82833102		
23 12 39 33.045	-4 13 25.33	1.56981856	7 14 27 0.599	-15 9 47.45	1.83325806		
24 12 41 39.339	-4 27 52.02	1.57635773	8 14 29 36.189	-15 23 2.63	1.83815197		
25 12 43 46.233	-4 42 20.09	1.58286007	9 14 32 12.491	-15 36 12.80	1.84301280		
26 12 45 53.725	-4 56 49.42	1.58932541	10 14 34 49.510	-15 49 17.79	1.84784053		
27 12 48 1.814	-5 11 19.90	1.59575367	11 14 37 27.249	-16 2 17.43	1.85263513		
28 12 50 10.497	-5 25 51.38	1.60214487	12 14 40 5.710	-16 15 11.55	1.85739654		
29 12 52 19.771	-5 40 23.76	1.60849915	13 14 42 44.897	-16 27 59.97	1.86212463		
30 12 54 29.634	-5 54 56.89	1.61481669	14 14 45 24.812	-16 40 42.50	1.86681926		
31 12 56 40.083	-6 9 30.63	1.62109779	15 14 48 5.456	-16 53 18.97	1.87148026		
Août	1 12 58 51.117	-6 24 4.88	1.62734275	16 14 50 46.834	-17 5 49.19	1.87610745	
	2 13 1 2.736	-6 38 39.49	1.63355190	17 14 53 28.946	-17 18 12.99	1.88070066	
	3 13 3 14.943	-6 53 14.35	1.63972553	18 14 56 11.795	-17 30 30.18	1.88525975	
	4 13 5 27.740	-7 7 49.35	1.64586388	19 14 58 55.381	-17 42 40.60	1.88978468	
	5 13 7 41.133	-7 22 24.39	1.65196716	20 15 1 39.703	-17 54 44.06	1.89427546	
	6 13 9 55.127	-7 36 59.35	1.65803548	21 15 4 24.760	-18 6 40.38	1.89873227	
	7 13 12 9.727	-7 51 34.13	1.66406889	22 15 7 10.546	-18 18 29.37	1.90315533	
	8 13 14 24.939	-8 6 8.62	1.67006740	23 15 9 57.060	-18 30 10.85	1.90754501	
	9 13 16 40.767	-8 20 42.71	1.67603096	24 15 12 44.298	-18 41 44.62	1.91190172	
	10 13 18 57.216	-8 35 16.27	1.68195949	25 15 15 32.256	-18 53 10.48	1.91622596	
	11 13 21 14.290	-8 49 49.19	1.68785287	26 15 18 20.935	-19 4 28.25	1.92051822	
	12 13 23 31.993	-9 4 21.34	1.69371096	27 15 21 10.332	-19 15 37.73	1.92477904	
	13 13 25 50.327	-9 18 52.58	1.69953357	28 15 24 0.450	-19 26 38.73	1.92900895	
	14 13 28 9.296	-9 33 22.78	1.70532050	29 15 26 51.288	-19 37 31.08	1.93320845	
	15 13 30 28.903	-9 47 51.81	1.71107152	30 15 29 42.849	-19 48 14.60	1.93737802	
	16 13 32 49.150	-10 2 19.51	1.71678636	Oct. 1 15 32 35.133	-19 58 49.11	1.94151809	

MARS 2012 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.	2 15 35 28.142	-20 9 14.43	1.945 629 05	Nov.	17 17 59 38.249	-24 33 0.54	2.106 365 26	
	3 15 38 21.876	-20 19 30.40	1.949 711 25		18 18 2 57.556	-24 33 6.82	2.109 328 85	
	4 15 41 16.335	-20 29 36.82	1.953 764 97		19 18 6 17.105	-24 32 56.98	2.112 272 61	
	5 15 44 11.518	-20 39 33.54	1.957 790 47		20 18 9 36.877	-24 32 30.98	2.115 197 01	
	6 15 47 7.423	-20 49 20.35	1.961 787 95		21 18 12 56.854	-24 31 48.76	2.118 102 58	
	7 15 50 4.050	-20 58 57.09	1.965 757 59		22 18 16 17.019	-24 30 50.25	2.120 989 84	
	8 15 53 1.394	-21 8 23.56	1.969 699 52		23 18 19 37.354	-24 29 35.44	2.123 859 35	
	9 15 55 59.453	-21 17 39.58	1.973 613 83		24 18 22 57.844	-24 28 4.27	2.126 711 63	
	10 15 58 58.225	-21 26 44.97	1.977 500 57		25 18 26 18.473	-24 26 16.74	2.129 547 22	
	11 16 1 57.704	-21 35 39.52	1.981 359 75		26 18 29 39.224	-24 24 12.81	2.132 366 61	
	12 16 4 57.889	-21 44 23.06	1.985 191 32		27 18 33 0.081	-24 21 52.48	2.135 170 28	
	13 16 7 58.773	-21 52 55.40	1.988 995 21		28 18 36 21.027	-24 19 15.74	2.137 958 67	
	14 16 11 0.355	-22 1 16.35	1.992 771 30		29 18 39 42.047	-24 16 22.59	2.140 732 19	
	15 16 14 2.628	-22 9 25.74	1.996 519 45		30 18 43 3.122	-24 13 13.02	2.143 491 24	
	16 16 17 5.587	-22 17 23.38	2.000 239 56		Déc.	1 18 46 24.238	-24 9 47.05	2.146 236 13
	17 16 20 9.225	-22 25 9.12	2.003 931 55			2 18 49 45.377	-24 6 4.68	2.148 967 18
18 16 23 13.532	-22 32 42.78	2.007 595 46	3 18 53 6.523	-24 2 5.92		2.151 684 63		
19 16 26 18.497	-22 40 4.21	2.011 231 43	4 18 56 27.660	-23 57 50.80		2.154 388 68		
20 16 29 24.107	-22 47 13.22	2.014 839 72	5 18 59 48.774	-23 53 19.33		2.157 079 49		
21 16 32 30.348	-22 54 9.65	2.018 420 69	6 19 3 9.848	-23 48 31.53		2.159 757 16		
22 16 35 37.208	-23 0 53.30	2.021 974 80	7 19 6 30.869	-23 43 27.45	2.162 421 75			
23 16 38 44.677	-23 7 24.02	2.025 502 54	8 19 9 51.823	-23 38 7.11	2.165 073 25			
24 16 41 52.743	-23 13 41.62	2.029 004 47	9 19 13 12.695	-23 32 30.56	2.167 711 57			
25 16 45 1.396	-23 19 45.94	2.032 481 15	10 19 16 33.474	-23 26 37.87	2.170 336 62			
26 16 48 10.629	-23 25 36.82	2.035 933 14	11 19 19 54.144	-23 20 29.09	2.172 948 21			
27 16 51 20.431	-23 31 14.11	2.039 360 98	12 19 23 14.691	-23 14 4.32	2.175 546 18			
28 16 54 30.794	-23 36 37.65	2.042 765 21	13 19 26 35.096	-23 7 23.64	2.178 130 39			
29 16 57 41.708	-23 41 47.31	2.046 146 32	14 19 29 55.340	-23 0 27.15	2.180 700 77			
30 17 0 53.165	-23 46 42.95	2.049 504 77	15 19 33 15.405	-22 53 14.96	2.183 257 34			
31 17 4 5.153	-23 51 24.42	2.052 841 00	16 19 36 35.271	-22 45 47.16	2.185 800 26			
Nov.	1 17 7 17.662	-23 55 51.58	2.056 155 38	17 19 39 54.921	-22 38 3.84	2.188 329 78		
	2 17 10 30.680	-24 0 4.32	2.059 448 26	18 19 43 14.338	-22 30 5.10	2.190 846 25		
	3 17 13 44.196	-24 4 2.49	2.062 719 95	19 19 46 33.510	-22 21 51.03	2.193 350 10		
	4 17 16 58.196	-24 7 45.96	2.065 970 69	20 19 49 52.423	-22 13 21.76	2.195 841 77		
	5 17 20 12.669	-24 11 14.61	2.069 200 72	21 19 53 11.066	-22 4 37.38	2.198 321 73		
	6 17 23 27.602	-24 14 28.31	2.072 410 21	22 19 56 29.428	-21 55 38.03	2.200 790 43		
	7 17 26 42.981	-24 17 26.93	2.075 599 28	23 19 59 47.497	-21 46 23.82	2.203 248 33		
	8 17 29 58.792	-24 20 10.36	2.078 768 02	24 20 3 5.263	-21 36 54.88	2.205 695 87		
	9 17 33 15.023	-24 22 38.47	2.081 916 47	25 20 6 22.716	-21 27 11.36	2.208 133 47		
	10 17 36 31.661	-24 24 51.16	2.085 044 59	26 20 9 39.846	-21 17 13.38	2.210 561 54		
	11 17 39 48.691	-24 26 48.32	2.088 152 32	27 20 12 56.643	-21 7 1.08	2.212 980 44		
	12 17 43 6.100	-24 28 29.86	2.091 239 55	28 20 16 13.099	-20 56 34.62	2.215 390 52		
	13 17 46 23.875	-24 29 55.68	2.094 306 14	29 20 19 29.204	-20 45 54.13	2.217 792 11		
	14 17 49 41.996	-24 31 5.73	2.097 351 99	30 20 22 44.950	-20 34 59.76	2.220 185 47		
	15 17 53 0.447	-24 31 59.93	2.100 377 07	31 20 26 0.330	-20 23 51.67	2.222 570 83		
	16 17 56 19.205	-24 32 38.22	2.103 381 43	32 20 29 15.338	-20 12 29.98	2.224 948 38		

JUPITER 2012 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	1	54	58.093	10	27	27.27	4.52780476	Févr.	15	2	10	27.365	12	4	14.20	5.25126074
	1	1	55	2.096	10	28	9.19	4.54284940		16	2	11	2.295	12	7	31.41	5.26625924
	2	1	55	6.891	10	28	55.41	4.55798853		17	2	11	37.746	12	10	50.82	5.28117150
	3	1	55	12.475	10	29	45.92	4.57321731		18	2	12	13.712	12	14	12.39	5.29599427
	4	1	55	18.846	10	30	40.68	4.58853095		19	2	12	50.185	12	17	36.04	5.31072428
	5	1	55	25.999	10	31	39.68	4.60392474		20	2	13	27.156	12	21	1.71	5.32535829
	6	1	55	33.930	10	32	42.88	4.61939407		21	2	14	4.620	12	24	29.35	5.33989312
	7	1	55	42.633	10	33	50.26	4.63493438		22	2	14	42.568	12	27	58.89	5.35432562
	8	1	55	52.104	10	35	1.76	4.65054121		23	2	15	20.996	12	31	30.29	5.36865276
	9	1	56	2.336	10	36	17.36	4.66621020		24	2	15	59.897	12	35	3.48	5.38287160
	10	1	56	13.324	10	37	37.00	4.68193704		25	2	16	39.264	12	38	38.41	5.39697927
	11	1	56	25.061	10	39	0.65	4.69717151		26	2	17	19.091	12	42	15.05	5.41097305
	12	1	56	37.543	10	40	28.26	4.71354746		27	2	17	59.372	12	45	53.34	5.42485028
	13	1	56	50.766	10	41	59.78	4.72942274		28	2	18	40.099	12	49	33.23	5.43860844
14	1	57	4.725	10	43	35.19	4.74533924	29	2	19	21.264	12	53	14.66	5.45224506		
15	1	57	19.418	10	45	14.46	4.76129282	Mars	1	2	20	2.861	12	56	57.60	5.46575782	
16	1	57	34.842	10	46	57.55	4.77727929		2	2	20	44.882	13	0	41.97	5.47914444	
17	1	57	50.994	10	48	44.43	4.79329442		3	2	21	27.317	13	4	27.73	5.49240277	
18	1	58	7.870	10	50	35.09	4.80933390		4	2	22	10.161	13	8	14.83	5.50553075	
19	1	58	25.465	10	52	29.48	4.82539336		5	2	22	53.403	13	12	3.20	5.51852641	
20	1	58	43.774	10	54	27.55	4.84146835		6	2	23	37.038	13	15	52.78	5.53138791	
21	1	59	2.789	10	56	29.27	4.85755438		7	2	24	21.058	13	19	43.53	5.54411345	
22	1	59	22.503	10	58	34.56	4.87364692		8	2	25	5.457	13	23	35.38	5.55670132	
23	1	59	42.910	11	0	43.39	4.88974144		9	2	25	50.230	13	27	28.29	5.56914987	
24	2	0	4.001	11	2	55.67	4.90583344		10	2	26	35.375	13	31	22.22	5.58145740	
25	2	0	25.770	11	5	11.36	4.92191848	11	2	27	20.887	13	35	17.14	5.59362219		
26	2	0	48.212	11	7	30.41	4.93799220	12	2	28	6.763	13	39	13.03	5.60564246		
27	2	1	11.320	11	9	52.76	4.95405033	13	2	28	52.999	13	43	9.83	5.61751633		
28	2	1	35.088	11	12	18.36	4.97008873	14	2	29	39.587	13	47	7.53	5.62924183		
29	2	1	59.510	11	14	47.16	4.98610335	15	2	30	26.521	13	51	6.06	5.64081694		
30	2	2	24.578	11	17	19.12	5.00209023	16	2	31	13.795	13	55	5.38	5.65223960		
Févr.	31	2	2	50.286	11	19	54.17	5.01804553	17	2	32	1.401	13	59	5.43	5.66350775	
	1	2	3	16.626	11	22	32.28	5.03396550	18	2	32	49.334	14	3	6.16	5.67461931	
	2	2	3	43.590	11	25	13.39	5.04984650	19	2	33	37.587	14	7	7.52	5.68557227	
	3	2	4	11.171	11	27	57.43	5.06568498	20	2	34	26.154	14	11	9.45	5.69636465	
	4	2	4	39.360	11	30	44.36	5.08147747	21	2	35	15.031	14	15	11.92	5.70699454	
	5	2	5	8.148	11	33	34.11	5.09722064	22	2	36	4.212	14	19	14.87	5.71746010	
	6	2	5	37.526	11	36	26.63	5.11291124	23	2	36	53.692	14	23	18.27	5.72775958	
	7	2	6	7.487	11	39	21.84	5.12854614	24	2	37	43.467	14	27	22.08	5.73789132	
	8	2	6	38.022	11	42	19.69	5.14412228	25	2	38	33.529	14	31	26.26	5.74785374	
	9	2	7	9.125	11	45	20.12	5.15963668	26	2	39	23.875	14	35	30.77	5.75764537	
	10	2	7	40.788	11	48	23.07	5.17508639	27	2	40	14.497	14	39	35.57	5.76726482	
	11	2	8	13.009	11	51	28.50	5.19046850	28	2	41	5.388	14	43	40.61	5.77671077	
	12	2	8	45.782	11	54	36.37	5.20578002	29	2	41	56.543	14	47	45.87	5.78598202	
	13	2	9	19.102	11	57	46.64	5.22101797	30	2	42	47.954	14	51	51.29	5.79507744	
14	2	9	52.965	12	0	59.26	5.23617925	31	2	43	39.615	14	55	56.82	5.80399598		

JUPITER 2012 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	1	2	44	31.518	15	0	2.43	5.812 736 68	Mai	17	3	27	18.041	17	59	54.33	6.010 016 24
	2	2	45	23.657	15	4	8.07	5.821 298 68		18	3	28	15.922	18	3	27.08	6.009 689 05
	3	2	46	16.026	15	8	13.69	5.829 681 19		19	3	29	13.819	18	6	58.52	6.009 162 61
	4	2	47	8.619	15	12	19.24	5.837 883 50		20	3	30	11.727	18	10	28.63	6.008 437 06
	5	2	48	1.432	15	16	24.69	5.845 904 97		21	3	31	9.640	18	13	57.40	6.007 512 57
	6	2	48	54.463	15	20	30.00	5.853 744 98		22	3	32	7.552	18	17	24.82	6.006 389 42
	7	2	49	47.707	15	24	35.14	5.861 402 90		23	3	33	5.457	18	20	50.86	6.005 067 96
	8	2	50	41.164	15	28	40.11	5.868 878 04		24	3	34	3.349	18	24	15.51	6.003 548 61
	9	2	51	34.830	15	32	44.87	5.876 169 65		25	3	35	1.220	18	27	38.73	6.001 831 86
	10	2	52	28.699	15	36	49.41	5.883 276 83		26	3	35	59.065	18	31	0.52	5.999 918 31
11	2	53	22.767	15	40	53.69	5.890 198 60	27	3	36	56.877	18	34	20.84	5.997 808 59		
12	2	54	17.027	15	44	57.67	5.896 933 92	28	3	37	54.652	18	37	39.68	5.995 503 43		
13	2	55	11.473	15	49	1.31	5.903 481 68	29	3	38	52.384	18	40	57.01	5.993 003 60		
14	2	56	6.099	15	53	4.57	5.909 840 78	30	3	39	50.070	18	44	12.81	5.990 309 95		
15	2	57	0.901	15	57	7.40	5.916 010 14	31	3	40	47.705	18	47	27.07	5.987 423 33		
16	2	57	55.873	16	1	9.77	5.921 988 70	Juin	1	3	41	45.288	18	50	39.79	5.984 344 63	
17	2	58	51.012	16	5	11.64	5.927 775 47		2	3	42	42.815	18	53	50.96	5.981 074 72	
18	2	59	46.314	16	9	12.98	5.933 369 52		3	3	43	40.284	18	57	0.59	5.977 614 39	
19	3	0	41.773	16	13	13.76	5.938 769 98		4	3	44	37.690	19	0	8.67	5.973 964 35	
20	3	1	37.386	16	17	13.95	5.943 976 06		5	3	45	35.027	19	3	15.21	5.970 125 20	
21	3	2	33.148	16	21	13.52	5.948 987 05	6	3	46	32.289	19	6	20.18	5.966 097 42		
22	3	3	29.054	16	25	12.45	5.953 802 31	7	3	47	29.470	19	9	23.56	5.961 881 42		
23	3	4	25.098	16	29	10.72	5.958 421 29	8	3	48	26.563	19	12	25.33	5.957 477 51		
24	3	5	21.276	16	33	8.28	5.962 843 52	9	3	49	23.564	19	15	25.47	5.952 886 04		
25	3	6	17.580	16	37	5.12	5.967 068 60	10	3	50	20.468	19	18	23.96	5.948 107 35		
26	3	7	14.005	16	41	1.20	5.971 096 23	11	3	51	17.272	19	21	20.80	5.943 141 83		
27	3	8	10.544	16	44	56.48	5.974 926 16	12	3	52	13.971	19	24	15.96	5.937 989 93		
28	3	9	7.191	16	48	50.95	5.978 558 25	13	3	53	10.561	19	27	9.45	5.932 652 17		
29	3	10	3.940	16	52	44.55	5.981 992 42	14	3	54	7.037	19	30	1.26	5.927 129 14		
30	3	11	0.785	16	56	37.27	5.985 228 66	15	3	55	3.393	19	32	51.39	5.921 421 49		
Mai	1	3	11	57.721	17	0	29.05	5.988 267 05	16	3	55	59.625	19	35	39.83	5.915 529 95	
	2	3	12	54.744	17	4	19.88	5.991 107 71	17	3	56	55.725	19	38	26.58	5.909 455 32	
	3	3	13	51.850	17	8	9.73	5.993 750 84	18	3	57	51.688	19	41	11.63	5.903 198 47	
	4	3	14	49.037	17	11	58.57	5.996 196 64	19	3	58	47.506	19	43	54.98	5.896 760 35	
	5	3	15	46.302	17	15	46.39	5.998 445 31	20	3	59	43.173	19	46	36.62	5.890 141 98	
	6	3	16	43.643	17	19	33.19	6.000 496 96	21	4	0	38.681	19	49	16.53	5.883 344 48	
	7	3	17	41.058	17	23	18.96	6.002 351 65	22	4	1	34.023	19	51	54.71	5.876 369 04	
	8	3	18	38.540	17	27	3.67	6.004 009 29	23	4	2	29.191	19	54	31.15	5.869 216 93	
	9	3	19	36.084	17	30	47.32	6.005 469 68	24	4	3	24.180	19	57	5.82	5.861 889 49	
	10	3	20	33.683	17	34	29.87	6.006 732 56	25	4	4	18.984	19	59	38.72	5.854 388 15	
11	3	21	31.333	17	38	11.28	6.007 797 58	26	4	5	13.597	20	2	9.85	5.846 714 38		
12	3	22	29.029	17	41	51.52	6.008 664 42	27	4	6	8.016	20	4	39.19	5.838 869 69		
13	3	23	26.765	17	45	30.56	6.009 332 74	28	4	7	2.235	20	7	6.74	5.830 855 61		
14	3	24	24.538	17	49	8.39	6.009 802 27	29	4	7	56.252	20	9	32.52	5.822 673 70		
15	3	25	22.344	17	52	44.97	6.010 072 79	30	4	8	50.063	20	11	56.53	5.814 325 46		
16	3	26	20.180	17	56	20.29	6.010 144 15	Juill.	1	4	9	43.662	20	14	18.79	5.805 812 35	

JUPITER 2012 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.	2	4	10	37.043	20	16	39.29	5.797 135 73	Août	17	4	45	41.459	21	32	53.74	5.247 477 35
	3	4	11	30.200	20	18	58.04	5.788 296 88		18	4	46	16.869	21	33	54.12	5.233 003 90
	4	4	12	23.126	20	21	15.03	5.779 296 96		19	4	46	51.710	21	34	52.96	5.218 461 94
	5	4	13	15.812	20	23	30.26	5.770 137 06		20	4	47	25.973	21	35	50.25	5.203 854 77
	6	4	14	8.253	20	25	43.70	5.760 818 23		21	4	47	59.653	21	36	46.01	5.189 185 71
	7	4	15	0.444	20	27	55.35	5.751 341 49		22	4	48	32.743	21	37	40.26	5.174 458 16
	8	4	15	52.379	20	30	5.21	5.741 707 89		23	4	49	5.238	21	38	33.00	5.159 675 48
	9	4	16	44.054	20	32	13.27	5.731 918 54		24	4	49	37.130	21	39	24.28	5.144 841 02
	10	4	17	35.462	20	34	19.54	5.721 974 60		25	4	50	8.411	21	40	14.10	5.129 958 09
	11	4	18	26.599	20	36	24.02	5.711 877 31		26	4	50	39.074	21	41	2.49	5.115 029 94
	12	4	19	17.458	20	38	26.71	5.701 627 99		27	4	51	9.110	21	41	49.45	5.100 059 72
	13	4	20	8.033	20	40	27.64	5.691 228 03		28	4	51	38.510	21	42	34.99	5.085 050 57
	14	4	20	58.316	20	42	26.79	5.680 678 90		29	4	52	7.265	21	43	19.12	5.070 005 53
	15	4	21	48.300	20	44	24.18	5.669 982 15		30	4	52	35.368	21	44	1.83	5.054 927 63
	16	4	22	37.976	20	46	19.81	5.659 139 39		31	4	53	2.812	21	44	43.13	5.039 819 90
	17	4	23	27.337	20	48	13.68	5.648 152 34		Sept.	1	4	53	29.590	21	45	23.02
18	4	24	16.374	20	50	5.80	5.637 022 79	2	4		53	55.696	21	46	1.50	5.009 527 10	
19	4	25	5.079	20	51	56.16	5.625 752 63	3	4		54	21.122	21	46	38.61	4.994 348 24	
20	4	25	53.442	20	53	44.76	5.614 343 85	4	4		54	45.862	21	47	14.34	4.979 152 02	
21	4	26	41.456	20	55	31.60	5.602 798 50	5	4		55	9.909	21	47	48.71	4.963 941 75	
22	4	27	29.113	20	57	16.67	5.591 118 75	6	4		55	33.253	21	48	21.75	4.948 720 81	
23	4	28	16.407	20	58	59.98	5.579 306 84	7	4		55	55.887	21	48	53.46	4.933 492 72	
24	4	29	3.332	21	0	41.52	5.567 365 04	8	4		56	17.802	21	49	23.86	4.918 261 05	
25	4	29	49.883	21	2	21.30	5.555 295 69	9	4		56	38.988	21	49	52.96	4.903 029 51	
26	4	30	36.054	21	3	59.33	5.543 101 13	10	4		56	59.437	21	50	20.77	4.887 801 87	
27	4	31	21.840	21	5	35.64	5.530 783 67	11	4	57	19.139	21	50	47.30	4.872 582 01		
28	4	32	7.235	21	7	10.24	5.518 345 61	12	4	57	38.086	21	51	12.55	4.857 373 92		
29	4	32	52.232	21	8	43.14	5.505 789 18	13	4	57	56.268	21	51	36.53	4.842 181 68		
30	4	33	36.824	21	10	14.36	5.493 116 55	14	4	58	13.677	21	51	59.24	4.827 009 50		
31	4	34	21.001	21	11	43.90	5.480 329 78	15	4	58	30.306	21	52	20.68	4.811 861 70		
Août	1	4	35	4.756	21	13	11.77	5.467 430 87	16	4	58	46.149	21	52	40.84	4.796 742 69	
	2	4	35	48.081	21	14	37.96	5.454 421 78	17	4	59	1.199	21	52	59.73	4.781 656 97	
	3	4	36	30.968	21	16	2.46	5.441 304 40	18	4	59	15.454	21	53	17.37	4.766 609 11	
	4	4	37	13.411	21	17	25.29	5.428 080 65	19	4	59	28.909	21	53	33.76	4.751 603 67	
	5	4	37	55.405	21	18	46.43	5.414 752 46	20	4	59	41.560	21	53	48.94	4.736 645 19	
	6	4	38	36.942	21	20	5.91	5.401 321 83	21	4	59	53.401	21	54	2.91	4.721 738 15	
	7	4	39	18.015	21	21	23.73	5.387 790 83	22	5	0	4.428	21	54	15.69	4.706 886 97	
	8	4	39	58.619	21	22	39.91	5.374 161 61	23	5	0	14.634	21	54	27.29	4.692 095 97	
	9	4	40	38.744	21	23	54.46	5.360 436 41	24	5	0	24.013	21	54	37.71	4.677 369 40	
	10	4	41	18.383	21	25	7.40	5.346 617 56	25	5	0	32.560	21	54	46.95	4.662 711 46	
	11	4	41	57.527	21	26	18.73	5.332 707 46	26	5	0	40.272	21	54	55.00	4.648 126 30	
	12	4	42	36.166	21	27	28.48	5.318 708 63	27	5	0	47.144	21	55	1.86	4.633 618 02	
	13	4	43	14.292	21	28	36.66	5.304 623 64	28	5	0	53.174	21	55	7.53	4.619 190 77	
	14	4	43	51.893	21	29	43.26	5.290 455 18	29	5	0	58.360	21	55	12.01	4.604 848 67	
	15	4	44	28.962	21	30	48.31	5.276 206 04	30	5	1	2.698	21	55	15.30	4.590 595 91	
	16	4	45	5.487	21	31	51.80	5.261 879 10	Oct.	1	5	1	6.188	21	55	17.41	4.576 436 70

JUPITER 2012 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.	2	5	1	8.826	21	55	18.36	4.562 375 35	Nov.	17	4	48	31.707	21	35	36.32	4.101 718 70	
	3	5	1	10.609	21	55	18.14	4.548 416 21		18	4	47	59.812	21	34	45.81	4.097 372 23	
	4	5	1	11.536	21	55	16.78	4.534 563 73		19	4	47	27.536	21	33	54.47	4.093 324 32	
	5	5	1	11.602	21	55	14.27	4.520 822 40		20	4	46	54.905	21	33	2.32	4.089 576 90	
	6	5	1	10.805	21	55	10.62	4.507 196 82		21	4	46	21.944	21	32	9.38	4.086 131 72	
	7	5	1	9.142	21	55	5.83	4.493 691 64		22	4	45	48.681	21	31	15.69	4.082 990 40	
	8	5	1	6.611	21	54	59.91	4.480 311 58		23	4	45	15.140	21	30	21.27	4.080 154 43	
	9	5	1	3.209	21	54	52.84	4.467 061 44		24	4	44	41.349	21	29	26.17	4.077 625 18	
	10	5	0	58.936	21	54	44.64	4.453 946 08		25	4	44	7.334	21	28	30.42	4.075 403 93	
	11	5	0	53.789	21	54	35.29	4.440 970 45		26	4	43	33.122	21	27	34.09	4.073 491 84	
	12	5	0	47.771	21	54	24.78	4.428 139 55		27	4	42	58.737	21	26	37.20	4.071 889 98	
	13	5	0	40.881	21	54	13.11	4.415 458 46		28	4	42	24.205	21	25	39.80	4.070 599 31	
	14	5	0	33.124	21	54	0.26	4.402 932 34		29	4	41	49.552	21	24	41.96	4.069 620 71	
	15	5	0	24.504	21	53	46.25	4.390 566 35		30	4	41	14.803	21	23	43.70	4.068 954 94	
	16	5	0	15.026	21	53	31.08	4.378 365 67		Déc.	1	4	40	39.983	21	22	45.08	4.068 602 70
	17	5	0	4.697	21	53	14.75	4.366 335 42			2	4	40	5.116	21	21	46.13	4.068 564 56
18	4	59	53.522	21	52	57.29	4.354 480 64	3	4		39	30.229	21	20	46.92	4.068 841 00		
19	4	59	41.506	21	52	38.70	4.342 806 20	4	4		38	55.346	21	19	47.47	4.069 432 41		
20	4	59	28.655	21	52	18.99	4.331 316 85	5	4		38	20.495	21	18	47.83	4.070 339 05		
21	4	59	14.974	21	51	58.16	4.320 017 17	6	4		37	45.702	21	17	48.06	4.071 561 09		
22	4	59	0.469	21	51	36.19	4.308 911 60	7	4	37	10.994	21	16	48.19	4.073 098 58			
23	4	58	45.149	21	51	13.08	4.298 004 47	8	4	36	36.399	21	15	48.28	4.074 951 44			
24	4	58	29.021	21	50	48.82	4.287 300 04	9	4	36	1.946	21	14	48.39	4.077 119 45			
25	4	58	12.097	21	50	23.41	4.276 802 49	10	4	35	27.665	21	13	48.59	4.079 602 24			
26	4	57	54.385	21	49	56.84	4.266 515 94	11	4	34	53.582	21	12	48.93	4.082 399 24			
27	4	57	35.899	21	49	29.12	4.256 444 51	12	4	34	19.728	21	11	49.50	4.085 509 65			
28	4	57	16.647	21	49	0.25	4.246 592 26	13	4	33	46.127	21	10	50.36	4.088 932 39			
29	4	56	56.643	21	48	30.25	4.236 963 26	14	4	33	12.806	21	9	51.58	4.092 666 09			
30	4	56	35.898	21	47	59.12	4.227 561 56	15	4	32	39.789	21	8	53.22	4.096 709 05			
31	4	56	14.424	21	47	26.88	4.218 391 21	16	4	32	7.101	21	7	55.32	4.101 059 31			
Nov.	1	4	55	52.232	21	46	53.53	4.209 456 23	17	4	31	34.765	21	6	57.93	4.105 714 65		
	2	4	55	29.334	21	46	19.08	4.200 760 67	18	4	31	2.809	21	6	1.11	4.110 672 66		
	3	4	55	5.743	21	45	43.55	4.192 308 54	19	4	30	31.255	21	5	4.92	4.115 930 79		
	4	4	54	41.473	21	45	6.93	4.184 103 84	20	4	30	0.131	21	4	9.40	4.121 486 36		
	5	4	54	16.536	21	44	29.24	4.176 150 57	21	4	29	29.458	21	3	14.63	4.127 336 59		
	6	4	53	50.947	21	43	50.47	4.168 452 67	22	4	28	59.259	21	2	20.68	4.133 478 63		
	7	4	53	24.721	21	43	10.64	4.161 014 09	23	4	28	29.557	21	1	27.60	4.139 909 56		
	8	4	52	57.876	21	42	29.75	4.153 838 73	24	4	28	0.371	21	0	35.46	4.146 626 36		
	9	4	52	30.428	21	41	47.80	4.146 930 47	25	4	27	31.722	20	59	44.33	4.153 625 97		
	10	4	52	2.397	21	41	4.81	4.140 293 13	26	4	27	3.627	20	58	54.26	4.160 905 25		
	11	4	51	33.804	21	40	20.77	4.133 930 48	27	4	26	36.105	20	58	5.31	4.168 461 01		
	12	4	51	4.671	21	39	35.73	4.127 846 23	28	4	26	9.172	20	57	17.54	4.176 289 99		
	13	4	50	35.021	21	38	49.69	4.122 043 93	29	4	25	42.845	20	56	31.00	4.184 388 90		
	14	4	50	4.877	21	38	2.70	4.116 526 99	30	4	25	17.140	20	55	45.73	4.192 754 37		
	15	4	49	34.262	21	37	14.79	4.111 298 58	31	4	24	52.071	20	55	1.79	4.201 383 03		
	16	4	49	3.198	21	36	25.99	4.106 361 60	32	4	24	27.654	20	54	19.21	4.210 271 43		

SATURNE 2012 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	13	48	21.969	- 8	35	2.09	9.971 871 43	Févr.	15	13	53	19.068	- 8	49	56.98	9.228 266 83
	1	13	48	36.730	- 8	36	9.96	9.956 129 32		16	13	53	16.294	- 8	49	25.10	9.213 418 79
	2	13	48	51.163	- 8	37	15.80	9.940 301 29		17	13	53	13.124	- 8	48	51.14	9.198 705 84
	3	13	49	5.263	- 8	38	19.61	9.924 391 70		18	13	53	9.560	- 8	48	15.10	9.184 133 19
	4	13	49	19.030	- 8	39	21.36	9.908 404 90		19	13	53	5.601	- 8	47	36.99	9.169 706 08
	5	13	49	32.459	- 8	40	21.07	9.892 345 23		20	13	53	1.250	- 8	46	56.82	9.155 429 72
	6	13	49	45.547	- 8	41	18.72	9.876 217 01		21	13	52	56.507	- 8	46	14.60	9.141 309 30
	7	13	49	58.291	- 8	42	14.30	9.860 024 54		22	13	52	51.376	- 8	45	30.35	9.127 349 92
	8	13	50	10.688	- 8	43	7.79	9.843 772 11		23	13	52	45.862	- 8	44	44.10	9.113 556 60
	9	13	50	22.732	- 8	43	59.18	9.827 463 99		24	13	52	39.967	- 8	43	55.86	9.099 934 27
	10	13	50	34.421	- 8	44	48.45	9.811 104 43		25	13	52	33.698	- 8	43	5.69	9.086 487 75
	11	13	50	45.749	- 8	45	35.58	9.794 697 68		26	13	52	27.059	- 8	42	13.60	9.073 221 75
	12	13	50	56.715	- 8	46	20.56	9.778 248 00		27	13	52	20.054	- 8	41	19.62	9.060 140 85
	13	13	51	7.314	- 8	47	3.37	9.761 759 70		28	13	52	12.687	- 8	40	23.80	9.047 249 56
14	13	51	17.545	- 8	47	43.99	9.745 237 12	29	13	52	4.963	- 8	39	26.15	9.034 552 26		
15	13	51	27.407	- 8	48	22.44	9.728 684 72	Mars	1	13	51	56.886	- 8	38	26.72	9.022 053 20	
16	13	51	36.897	- 8	48	58.70	9.712 107 04		2	13	51	48.460	- 8	37	25.52	9.009 756 57	
17	13	51	46.015	- 8	49	32.77	9.695 508 77		3	13	51	39.690	- 8	36	22.59	8.997 666 40	
18	13	51	54.757	- 8	50	4.66	9.678 894 72		4	13	51	30.578	- 8	35	17.95	8.985 786 64	
19	13	52	3.121	- 8	50	34.37	9.662 269 82		5	13	51	21.128	- 8	34	11.62	8.974 121 09	
20	13	52	11.103	- 8	51	1.87	9.645 639 18		6	13	51	11.346	- 8	33	3.62	8.962 673 48	
21	13	52	18.698	- 8	51	27.17	9.629 007 97		7	13	51	1.236	- 8	31	53.99	8.951 447 39	
22	13	52	25.902	- 8	51	50.25	9.612 381 50		8	13	50	50.803	- 8	30	42.75	8.940 446 36	
23	13	52	32.713	- 8	52	11.09	9.595 765 10		9	13	50	40.053	- 8	29	29.93	8.929 673 87	
24	13	52	39.126	- 8	52	29.67	9.579 164 18		10	13	50	28.994	- 8	28	15.57	8.919 133 39	
25	13	52	45.141	- 8	52	46.00	9.562 584 09	11	13	50	17.633	- 8	26	59.72	8.908 828 42		
26	13	52	50.757	- 8	53	0.07	9.546 030 19	12	13	50	5.975	- 8	25	42.42	8.898 762 51		
27	13	52	55.973	- 8	53	11.89	9.529 507 80	13	13	49	54.028	- 8	24	23.72	8.888 939 27		
28	13	53	0.791	- 8	53	21.47	9.513 022 17	14	13	49	41.794	- 8	23	3.66	8.879 362 36		
29	13	53	5.209	- 8	53	28.80	9.496 578 52	15	13	49	29.280	- 8	21	42.26	8.870 035 42		
30	13	53	9.229	- 8	53	33.91	9.480 181 98	16	13	49	16.489	- 8	20	19.55	8.860 962 12		
31	13	53	12.849	- 8	53	36.80	9.463 837 69	17	13	49	3.426	- 8	18	55.57	8.852 146 03		
Févr.	1	13	53	16.071	- 8	53	37.48	9.447 550 68	18	13	48	50.098	- 8	17	30.36	8.843 590 67	
	2	13	53	18.893	- 8	53	35.95	9.431 325 98	19	13	48	36.511	- 8	16	3.94	8.835 299 46	
	3	13	53	21.316	- 8	53	32.22	9.415 168 54	20	13	48	22.673	- 8	14	36.36	8.827 275 68	
	4	13	53	23.338	- 8	53	26.30	9.399 083 27	21	13	48	8.592	- 8	13	7.67	8.819 522 49	
	5	13	53	24.958	- 8	53	18.19	9.383 075 00	22	13	47	54.278	- 8	11	37.92	8.812 042 87	
	6	13	53	26.176	- 8	53	7.88	9.367 148 52	23	13	47	39.738	- 8	10	7.16	8.804 839 69	
	7	13	53	26.990	- 8	52	55.38	9.351 308 56	24	13	47	24.983	- 8	8	35.45	8.797 915 61	
	8	13	53	27.401	- 8	52	40.68	9.335 559 79	25	13	47	10.022	- 8	7	2.84	8.791 273 16	
	9	13	53	27.408	- 8	52	23.78	9.319 906 87	26	13	46	54.863	- 8	5	29.39	8.784 914 68	
	10	13	53	27.013	- 8	52	4.70	9.304 354 45	27	13	46	39.515	- 8	3	55.15	8.778 842 37	
	11	13	53	26.218	- 8	51	43.43	9.288 907 23	28	13	46	23.987	- 8	2	20.17	8.773 058 24	
	12	13	53	25.024	- 8	51	20.01	9.273 569 97	29	13	46	8.286	- 8	0	44.51	8.767 564 16	
	13	13	53	23.433	- 8	50	54.45	9.258 347 50	30	13	45	52.421	- 7	59	8.20	8.762 361 86	
	14	13	53	21.448	- 8	50	26.77	9.243 244 78	31	13	45	36.399	- 7	57	31.30	8.757 452 87	

SATURNE 2012 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	1	13 45 20.230	- 7 55 53.85	8.752 838 60	Mai	17	13 32 50.257	- 6 45 58.87	8.863 746 83
	2	13 45 3.920	- 7 54 15.89	8.748 520 29		18	13 32 37.040	- 6 44 52.23	8.872 801 30
	3	13 44 47.478	- 7 52 37.48	8.744 499 04		19	13 32 24.078	- 6 43 47.31	8.882 103 69
	4	13 44 30.913	- 7 50 58.64	8.740 775 82		20	13 32 11.377	- 6 42 44.17	8.891 650 65
	5	13 44 14.234	- 7 49 19.44	8.737 351 48		21	13 31 58.944	- 6 41 42.83	8.901 438 68
	6	13 43 57.452	- 7 47 39.93	8.734 226 81		22	13 31 46.785	- 6 40 43.33	8.911 464 19
	7	13 43 40.576	- 7 46 0.16	8.731 402 56		23	13 31 34.905	- 6 39 45.69	8.921 723 45
	8	13 43 23.616	- 7 44 20.21	8.728 879 49		24	13 31 23.308	- 6 38 49.93	8.932 212 64
	9	13 43 6.583	- 7 42 40.13	8.726 658 40		25	13 31 11.999	- 6 37 56.09	8.942 927 83
	10	13 42 49.484	- 7 40 59.97	8.724 740 10		26	13 31 0.983	- 6 37 4.17	8.953 865 03
	11	13 42 32.325	- 7 39 19.78	8.723 125 43		27	13 30 50.264	- 6 36 14.20	8.965 020 13
	12	13 42 15.114	- 7 37 39.61	8.721 815 19		28	13 30 39.846	- 6 35 26.19	8.976 388 99
	13	13 41 57.857	- 7 35 59.49	8.720 810 12		29	13 30 29.734	- 6 34 40.16	8.987 967 41
	14	13 41 40.563	- 7 34 19.47	8.720 110 85		30	13 30 19.933	- 6 33 56.14	8.999 751 16
	15	13 41 23.241	- 7 32 39.60	8.719 717 86		31	13 30 10.448	- 6 33 14.15	9.011 736 02
16	13 41 5.901	- 7 30 59.93	8.719 631 50	Juin	1	13 30 1.284	- 6 32 34.22	9.023 917 77	
17	13 40 48.552	- 7 29 20.52	8.719 851 94		2	13 29 52.447	- 6 31 56.36	9.036 292 28	
18	13 40 31.206	- 7 27 41.42	8.720 379 19		3	13 29 43.939	- 6 31 20.62	9.048 855 49	
19	13 40 13.872	- 7 26 2.69	8.721 213 08		4	13 29 35.764	- 6 30 47.00	9.061 603 44	
20	13 39 56.562	- 7 24 24.41	8.722 353 27		5	13 29 27.923	- 6 30 15.51	9.074 532 28	
21	13 39 39.285	- 7 22 46.61	8.723 799 25		6	13 29 20.416	- 6 29 46.16	9.087 638 21	
22	13 39 22.052	- 7 21 9.38	8.725 550 32		7	13 29 13.244	- 6 29 18.94	9.100 917 47	
23	13 39 4.873	- 7 19 32.76	8.727 605 62		8	13 29 6.409	- 6 28 53.87	9.114 366 25	
24	13 38 47.756	- 7 17 56.80	8.729 964 12		9	13 28 59.914	- 6 28 30.94	9.127 980 71	
25	13 38 30.711	- 7 16 21.57	8.732 624 64		10	13 28 53.762	- 6 28 10.17	9.141 756 89	
26	13 38 13.746	- 7 14 47.10	8.735 585 82	11	13 28 47.957	- 6 27 51.57	9.155 690 75		
27	13 37 56.869	- 7 13 13.45	8.738 846 16	12	13 28 42.503	- 6 27 35.16	9.169 778 14		
28	13 37 40.089	- 7 11 40.66	8.742 404 02	13	13 28 37.403	- 6 27 20.96	9.184 014 84		
29	13 37 23.413	- 7 10 8.77	8.746 257 60	14	13 28 32.662	- 6 27 8.99	9.198 396 50		
30	13 37 6.849	- 7 8 37.82	8.750 404 98	15	13 28 28.281	- 6 26 59.25	9.212 918 74		
Mai	1	13 36 50.407	- 7 7 7.86	8.754 844 12	16	13 28 24.264	- 6 26 51.77	9.227 577 08	
	2	13 36 34.093	- 7 5 38.92	8.759 572 89	17	13 28 20.613	- 6 26 46.54	9.242 366 96	
	3	13 36 17.918	- 7 4 11.06	8.764 589 06	18	13 28 17.328	- 6 26 43.58	9.257 283 78	
	4	13 36 1.891	- 7 2 44.32	8.769 890 36	19	13 28 14.412	- 6 26 42.88	9.272 322 86	
	5	13 35 46.020	- 7 1 18.77	8.775 474 54	20	13 28 11.864	- 6 26 44.44	9.287 479 48	
	6	13 35 30.315	- 6 59 54.44	8.781 339 36	21	13 28 9.685	- 6 26 48.26	9.302 748 84	
	7	13 35 14.783	- 6 58 31.40	8.787 482 66	22	13 28 7.875	- 6 26 54.34	9.318 126 15	
	8	13 34 59.429	- 6 57 9.67	8.793 902 29	23	13 28 6.435	- 6 27 2.66	9.333 606 53	
	9	13 34 44.259	- 6 55 49.30	8.800 596 19	24	13 28 5.365	- 6 27 13.22	9.349 185 14	
	10	13 34 29.278	- 6 54 30.31	8.807 562 22	25	13 28 4.665	- 6 27 26.01	9.364 857 12	
	11	13 34 14.491	- 6 53 12.73	8.814 798 23	26	13 28 4.337	- 6 27 41.03	9.380 617 62	
	12	13 33 59.905	- 6 51 56.58	8.822 301 93	27	13 28 4.380	- 6 27 58.28	9.396 461 85	
	13	13 33 45.527	- 6 50 41.92	8.830 070 93	28	13 28 4.797	- 6 28 17.76	9.412 385 09	
	14	13 33 31.365	- 6 49 28.77	8.838 102 67	29	13 28 5.588	- 6 28 39.46	9.428 382 69	
	15	13 33 17.427	- 6 48 17.18	8.846 394 48	30	13 28 6.754	- 6 29 3.40	9.444 450 12	
	16	13 33 3.722	- 6 47 7.20	8.854 943 52	Juill. 1	13 28 8.295	- 6 29 29.57	9.460 582 98	

SATURNE 2012 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.	2 13 28 10.207	- 6 29 57.95	9.47677700	Août	17 13 35 55.185	- 7 27 28.81	10.21506905
	3 13 28 12.489	- 6 30 28.54	9.49302801		18 13 36 12.693	- 7 29 23.64	10.22946207
	4 13 28 15.138	- 6 31 1.30	9.50933195		19 13 36 30.471	- 7 31 19.80	10.24372467
	5 13 28 18.151	- 6 31 36.23	9.52568479		20 13 36 48.517	- 7 33 17.26	10.25785326
	6 13 28 21.527	- 6 32 13.29	9.54208251		21 13 37 6.828	- 7 35 16.02	10.27184436
	7 13 28 25.265	- 6 32 52.48	9.55852106		22 13 37 25.402	- 7 37 16.05	10.28569461
	8 13 28 29.366	- 6 33 33.80	9.57499634		23 13 37 44.237	- 7 39 17.33	10.29940080
	9 13 28 33.831	- 6 34 17.23	9.59150417		24 13 38 3.328	- 7 41 19.85	10.31295985
	10 13 28 38.660	- 6 35 2.78	9.60804031		25 13 38 22.673	- 7 43 23.58	10.32636883
	11 13 28 43.852	- 6 35 50.44	9.62460046		26 13 38 42.265	- 7 45 28.50	10.33962497
	12 13 28 49.409	- 6 36 40.21	9.64118028		27 13 39 2.099	- 7 47 34.56	10.35272557
	13 13 28 55.330	- 6 37 32.08	9.65777537		28 13 39 22.171	- 7 49 41.74	10.36566808
	14 13 29 1.613	- 6 38 26.04	9.67438132		29 13 39 42.475	- 7 51 49.99	10.37844996
	15 13 29 8.258	- 6 39 22.08	9.69099366		30 13 40 3.007	- 7 53 59.30	10.39106875
	16 13 29 15.262	- 6 40 20.19	9.70760791		31 13 40 23.765	- 7 56 9.63	10.40352199
	17 13 29 22.624	- 6 41 20.34	9.72421956		Sept.	1 13 40 44.745	- 7 58 20.95
18 13 29 30.340	- 6 42 22.51	9.74082407	2 13 41 5.947	- 8 0 33.26		10.42792186	
19 13 29 38.410	- 6 43 26.69	9.75741690	3 13 41 27.369	- 8 2 46.53		10.43986346	
20 13 29 46.829	- 6 44 32.85	9.77399349	4 13 41 49.007	- 8 5 0.76		10.45162941	
21 13 29 55.596	- 6 45 40.96	9.79054930	5 13 42 10.860	- 8 7 15.91		10.46321712	
22 13 30 4.708	- 6 46 51.01	9.80707979	6 13 42 32.924	- 8 9 31.98	10.47462396		
23 13 30 14.164	- 6 48 2.97	9.82358050	7 13 42 55.197	- 8 11 48.94	10.48584729		
24 13 30 23.963	- 6 49 16.84	9.84004701	8 13 43 17.675	- 8 14 6.77	10.49688448		
25 13 30 34.102	- 6 50 32.58	9.85647500	9 13 43 40.353	- 8 16 25.44	10.50773287		
26 13 30 44.582	- 6 51 50.20	9.87286028	10 13 44 3.229	- 8 18 44.93	10.51838981		
27 13 30 55.400	- 6 53 9.68	9.88919875	11 13 44 26.297	- 8 21 5.20	10.52885265		
28 13 31 6.553	- 6 54 31.01	9.90548647	12 13 44 49.553	- 8 23 26.22	10.53911877		
29 13 31 18.039	- 6 55 54.15	9.92171963	13 13 45 12.993	- 8 25 47.97	10.54918552		
30 13 31 29.852	- 6 57 19.10	9.93789455	14 13 45 36.613	- 8 28 10.41	10.55905029		
31 13 31 41.988	- 6 58 45.82	9.95400767	15 13 46 0.410	- 8 30 33.51	10.56871051		
Août	1 13 31 54.443	- 7 0 14.27	9.97005550	16 13 46 24.379	- 8 32 57.24	10.57816363	
	2 13 32 7.213	- 7 1 44.43	9.98603461	17 13 46 48.519	- 8 35 21.58	10.58740724	
	3 13 32 20.294	- 7 3 16.26	10.00194157	18 13 47 12.827	- 8 37 46.52	10.59643900	
	4 13 32 33.686	- 7 4 49.75	10.01777294	19 13 47 37.300	- 8 40 12.03	10.60525675	
	5 13 32 47.386	- 7 6 24.89	10.03352525	20 13 48 1.935	- 8 42 38.11	10.61385847	
	6 13 33 1.394	- 7 8 1.65	10.04919497	21 13 48 26.727	- 8 45 4.71	10.62224234	
	7 13 33 15.709	- 7 9 40.04	10.06477852	22 13 48 51.670	- 8 47 31.83	10.63040665	
	8 13 33 30.329	- 7 11 20.02	10.08027230	23 13 49 16.758	- 8 49 59.41	10.63834986	
	9 13 33 45.251	- 7 13 1.60	10.09567266	24 13 49 41.986	- 8 52 27.44	10.64607051	
	10 13 34 0.474	- 7 14 44.74	10.11097592	25 13 50 7.349	- 8 54 55.86	10.65356723	
	11 13 34 15.995	- 7 16 29.44	10.12617841	26 13 50 32.842	- 8 57 24.66	10.66083868	
	12 13 34 31.810	- 7 18 15.67	10.14127640	27 13 50 58.462	- 8 59 53.79	10.66788356	
	13 13 34 47.917	- 7 20 3.40	10.15626621	28 13 51 24.205	- 9 2 23.25	10.67470057	
	14 13 35 4.312	- 7 21 52.61	10.17114410	29 13 51 50.069	- 9 4 53.00	10.68128841	
	15 13 35 20.991	- 7 23 43.27	10.18590636	30 13 52 16.052	- 9 7 23.03	10.68764575	
	16 13 35 37.950	- 7 25 35.35	10.20054925	Oct. 1 13 52 42.151	- 9 9 53.33	10.69377127	

SATURNE 2012 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.	2	13 53 8.364	- 9 12 23.87	10.69966358	Nov.	17	14 14 5.537	-11 5 11.38	10.70292018	
	3	13 53 34.687	- 9 14 54.64	10.70532131		18	14 14 32.384	-11 7 26.17	10.69709643	
	4	13 54 1.117	- 9 17 25.62	10.71074308		19	14 14 59.134	-11 9 40.06	10.69103008	
	5	13 54 27.649	- 9 19 56.79	10.71592747		20	14 15 25.782	-11 11 53.01	10.68472278	
	6	13 54 54.281	- 9 22 28.12	10.72087309		21	14 15 52.324	-11 14 5.00	10.67817620	
	7	13 55 21.006	- 9 24 59.58	10.72557855		22	14 16 18.757	-11 16 16.02	10.67139202	
	8	13 55 47.821	- 9 27 31.15	10.73004248		23	14 16 45.079	-11 18 26.05	10.66437192	
	9	13 56 14.722	- 9 30 2.79	10.73426351		24	14 17 11.285	-11 20 35.07	10.65711755	
	10	13 56 41.702	- 9 32 34.48	10.73824028		25	14 17 37.372	-11 22 43.08	10.64963060	
	11	13 57 8.759	- 9 35 6.19	10.74197147		26	14 18 3.337	-11 24 50.06	10.64191272	
	12	13 57 35.888	- 9 37 37.88	10.74545579		27	14 18 29.176	-11 26 56.00	10.63396558	
	13	13 58 3.085	- 9 40 9.53	10.74869197		28	14 18 54.885	-11 29 0.88	10.62579086	
	14	13 58 30.347	- 9 42 41.11	10.75167883		29	14 19 20.458	-11 31 4.69	10.61739023	
	15	13 58 57.672	- 9 45 12.61	10.75441527		30	14 19 45.890	-11 33 7.39	10.60876537	
	16	13 59 25.055	- 9 47 44.01	10.75690034		Déc.	1	14 20 11.177	-11 35 8.98	10.59991800
	17	13 59 52.495	- 9 50 15.29	10.75913326		2	14 20 36.313	-11 37 9.43	10.59084983	
18	14 0 19.985	- 9 52 46.44	10.76111341	3	14 21 1.293	-11 39 8.70	10.58156261			
19	14 0 47.521	- 9 55 17.42	10.76284038	4	14 21 26.112	-11 41 6.79	10.57205812			
20	14 1 15.096	- 9 57 48.22	10.76431393	5	14 21 50.766	-11 43 3.66	10.56233818			
21	14 1 42.704	-10 0 18.78	10.76553393	6	14 22 15.249	-11 44 59.29	10.55240466			
22	14 2 10.337	-10 2 49.09	10.76650036	7	14 22 39.557	-11 46 53.66	10.54225948			
23	14 2 37.993	-10 5 19.10	10.76721324	8	14 23 3.688	-11 48 46.75	10.53190464			
24	14 3 5.666	-10 7 48.78	10.76767265	9	14 23 27.636	-11 50 38.55	10.52134221			
25	14 3 33.353	-10 10 18.12	10.76787867	10	14 23 51.400	-11 52 29.05	10.51057441			
26	14 4 1.052	-10 12 47.09	10.76783138	11	14 24 14.974	-11 54 18.24	10.49960356			
27	14 4 28.759	-10 15 15.68	10.76753087	12	14 24 38.353	-11 56 6.10	10.48843220			
28	14 4 56.471	-10 17 43.88	10.76697720	13	14 25 1.533	-11 57 52.63	10.47706304			
29	14 5 24.186	-10 20 11.65	10.76617045	14	14 25 24.504	-11 59 37.79	10.46549899			
30	14 5 51.900	-10 22 39.00	10.76511068	15	14 25 47.260	-12 1 21.57	10.45374316			
31	14 6 19.609	-10 25 5.90	10.76379793	16	14 26 9.794	-12 3 3.91	10.44179876			
Nov.	1	14 6 47.309	-10 27 32.33	10.76223227	17	14 26 32.101	-12 4 44.81	10.42966909		
	2	14 7 14.996	-10 29 58.27	10.76041374	18	14 26 54.176	-12 6 24.23	10.41735751		
	3	14 7 42.664	-10 32 23.70	10.75834241	19	14 27 16.016	-12 8 2.16	10.40486737		
	4	14 8 10.309	-10 34 48.58	10.75601838	20	14 27 37.619	-12 9 38.59	10.39220198		
	5	14 8 37.926	-10 37 12.90	10.75344173	21	14 27 58.981	-12 11 13.52	10.37936468		
	6	14 9 5.510	-10 39 36.62	10.75061261	22	14 28 20.099	-12 12 46.93	10.36635876		
	7	14 9 33.056	-10 41 59.72	10.74753116	23	14 28 40.969	-12 14 18.82	10.35318753		
	8	14 10 0.559	-10 44 22.16	10.74419759	24	14 29 1.588	-12 15 49.18	10.33985428		
	9	14 10 28.016	-10 46 43.93	10.74061213	25	14 29 21.952	-12 17 18.00	10.32636228		
	10	14 10 55.423	-10 49 5.00	10.73677509	26	14 29 42.057	-12 18 45.26	10.31271484		
	11	14 11 22.775	-10 51 25.34	10.73268682	27	14 30 1.896	-12 20 10.95	10.29891524		
	12	14 11 50.071	-10 53 44.95	10.72834782	28	14 30 21.467	-12 21 35.06	10.28496680		
	13	14 12 17.306	-10 56 3.80	10.72375870	29	14 30 40.763	-12 22 57.57	10.27087280		
	14	14 12 44.477	-10 58 21.90	10.71892028	30	14 30 59.780	-12 24 18.46	10.25663659		
	15	14 13 11.577	-11 0 39.21	10.71383355	31	14 31 18.513	-12 25 37.71	10.24226149		
	16	14 13 38.599	-11 2 55.72	10.70849973	32	14 31 36.958	-12 26 55.29	10.22775088		

URANUS 2012 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 0 4 10.869	- 0 20 8.51	20.191 514 1	Févr.	15 0 9 57.567	0 19 4.26	20.857 157 8
	1 0 4 14.783	- 0 19 40.47	20.208 578 2		16 0 10 8.224	0 20 15.04	20.867 459 9
	2 0 4 18.881	- 0 19 11.24	20.225 593 7		17 0 10 18.981	0 21 26.44	20.877 530 8
	3 0 4 23.161	- 0 18 40.85	20.242 555 6		18 0 10 29.834	0 22 38.42	20.887 367 6
	4 0 4 27.623	- 0 18 9.29	20.259 459 0		19 0 10 40.779	0 23 50.97	20.896 967 5
	5 0 4 32.266	- 0 17 36.56	20.276 299 0		20 0 10 51.813	0 25 4.05	20.906 327 6
	6 0 4 37.088	- 0 17 2.69	20.293 070 9		21 0 11 2.933	0 26 17.66	20.915 445 3
	7 0 4 42.087	- 0 16 27.67	20.309 769 9		22 0 11 14.135	0 27 31.77	20.924 318 0
	8 0 4 47.262	- 0 15 51.54	20.326 391 6		23 0 11 25.420	0 28 46.37	20.932 943 4
	9 0 4 52.609	- 0 15 14.29	20.342 931 2		24 0 11 36.785	0 30 1.45	20.941 319 2
	10 0 4 58.128	- 0 14 35.94	20.359 384 5		25 0 11 48.228	0 31 17.00	20.949 443 3
	11 0 5 3.814	- 0 13 56.52	20.375 746 8		26 0 11 59.747	0 32 33.01	20.957 313 9
	12 0 5 9.667	- 0 13 16.03	20.392 013 8		27 0 12 11.341	0 33 49.45	20.964 929 0
	13 0 5 15.685	- 0 12 34.49	20.408 181 0		28 0 12 23.007	0 35 6.33	20.972 287 1
14 0 5 21.869	- 0 11 51.88	20.424 244 1	29 0 12 34.742	0 36 23.62	20.979 386 4		
15 0 5 28.217	- 0 11 8.23	20.440 198 4	Mars	1 0 12 46.543	0 37 41.30	20.986 225 7	
16 0 5 34.731	- 0 10 23.51	20.456 039 4		2 0 12 58.408	0 38 59.35	20.992 803 4	
17 0 5 41.410	- 0 9 37.74	20.471 762 6		3 0 13 10.332	0 40 17.75	20.999 118 4	
18 0 5 48.255	- 0 8 50.92	20.487 363 1		4 0 13 22.313	0 41 36.48	21.005 169 6	
19 0 5 55.262	- 0 8 3.05	20.502 836 4		5 0 13 34.346	0 42 55.51	21.010 955 8	
20 0 6 2.430	- 0 7 14.16	20.518 177 7		6 0 13 46.428	0 44 14.82	21.016 476 3	
21 0 6 9.756	- 0 6 24.27	20.533 382 2		7 0 13 58.556	0 45 34.39	21.021 730 0	
22 0 6 17.236	- 0 5 33.40	20.548 445 1		8 0 14 10.728	0 46 54.21	21.026 716 1	
23 0 6 24.867	- 0 4 41.58	20.563 361 9		9 0 14 22.943	0 48 14.26	21.031 433 8	
24 0 6 32.646	- 0 3 48.81	20.578 128 1		10 0 14 35.200	0 49 34.54	21.035 882 3	
25 0 6 40.571	- 0 2 55.13	20.592 739 0		11 0 14 47.498	0 50 55.05	21.040 060 6	
26 0 6 48.640	- 0 2 0.53	20.607 190 6		12 0 14 59.837	0 52 15.79	21.043 967 6	
27 0 6 56.853	- 0 1 5.02	20.621 478 5		13 0 15 12.214	0 53 36.73	21.047 602 5	
28 0 7 5.209	- 0 0 8.62	20.635 598 9		14 0 15 24.627	0 54 57.86	21.050 964 0	
29 0 7 13.705	0 0 48.67	20.649 547 7	15 0 15 37.070	0 56 19.16	21.054 051 3		
30 0 7 22.342	0 1 46.84	20.663 321 2	16 0 15 49.541	0 57 40.59	21.056 863 3		
31 0 7 31.116	0 2 45.87	20.676 915 7	17 0 16 2.035	0 59 2.13	21.059 399 1		
Févr.	1 0 7 40.026	0 3 45.76	20.690 327 7	18 0 16 14.549	1 0 23.75	21.061 657 9	
	2 0 7 49.070	0 4 46.49	20.703 553 7	19 0 16 27.079	1 1 45.44	21.063 639 1	
	3 0 7 58.245	0 5 48.04	20.716 590 4	20 0 16 39.624	1 3 7.17	21.065 342 0	
	4 0 8 7.548	0 6 50.40	20.729 434 6	21 0 16 52.181	1 4 28.94	21.066 766 4	
	5 0 8 16.976	0 7 53.54	20.742 083 1	22 0 17 4.748	1 5 50.73	21.067 911 9	
	6 0 8 26.525	0 8 57.44	20.754 532 8	23 0 17 17.323	1 7 12.53	21.068 778 4	
	7 0 8 36.193	0 10 2.07	20.766 780 8	24 0 17 29.905	1 8 34.33	21.069 365 9	
	8 0 8 45.976	0 11 7.43	20.778 824 2	25 0 17 42.492	1 9 56.11	21.069 674 5	
	9 0 8 55.872	0 12 13.49	20.790 660 2	26 0 17 55.081	1 11 17.86	21.069 704 5	
	10 0 9 5.880	0 13 20.25	20.802 285 9	27 0 18 7.670	1 12 39.56	21.069 456 3	
	11 0 9 15.998	0 14 27.69	20.813 698 4	28 0 18 20.255	1 14 1.21	21.068 930 4	
	12 0 9 26.227	0 15 35.82	20.824 894 9	29 0 18 32.834	1 15 22.76	21.068 127 4	
	13 0 9 36.565	0 16 44.63	20.835 872 2	30 0 18 45.403	1 16 44.21	21.067 048 0	
	14 0 9 47.013	0 17 54.11	20.846 627 5	31 0 18 57.959	1 18 5.54	21.065 692 9	

URANUS 2012 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	1	0	19	10.499	1	19	26.71	21.0640632	Mai	17	0	27	49.317	2	14	41.66	20.7157357
	2	0	19	23.018	1	20	47.72	21.0621596		18	0	27	58.484	2	15	39.22	20.7029980
	3	0	19	35.513	1	22	8.53	21.0599834		19	0	28	7.529	2	16	35.96	20.6900835
	4	0	19	47.984	1	23	29.13	21.0575356		20	0	28	16.451	2	17	31.87	20.6769956
	5	0	20	0.426	1	24	49.52	21.0548174		21	0	28	25.248	2	18	26.94	20.6637380
	6	0	20	12.841	1	26	9.67	21.0518298		22	0	28	33.916	2	19	21.16	20.6503143
	7	0	20	25.227	1	27	29.60	21.0485739		23	0	28	42.454	2	20	14.52	20.6367282
	8	0	20	37.584	1	28	49.30	21.0450507		24	0	28	50.860	2	21	6.99	20.6229837
	9	0	20	49.910	1	30	8.76	21.0412612		25	0	28	59.129	2	21	58.57	20.6090845
	10	0	21	2.204	1	31	27.96	21.0372061		26	0	29	7.261	2	22	49.23	20.5950347
	11	0	21	14.461	1	32	46.89	21.0328864		27	0	29	15.251	2	23	38.96	20.5808383
	12	0	21	26.676	1	34	5.51	21.0283029		28	0	29	23.100	2	24	27.75	20.5664992
	13	0	21	38.847	1	35	23.79	21.0234566		29	0	29	30.805	2	25	15.59	20.5520215
	14	0	21	50.969	1	36	41.72	21.0183484		30	0	29	38.365	2	26	2.48	20.5374093
	15	0	22	3.040	1	37	59.28	21.0129795		31	0	29	45.781	2	26	48.41	20.5226665
16	0	22	15.056	1	39	16.44	21.0073512	Juin	1	0	29	53.054	2	27	33.39	20.5077972	
17	0	22	27.017	1	40	33.20	21.0014649		2	0	30	0.182	2	28	17.42	20.4928051	
18	0	22	38.921	1	41	49.54	20.9953220		3	0	30	7.166	2	29	0.50	20.4776941	
19	0	22	50.766	1	43	5.46	20.9889243		4	0	30	14.005	2	29	42.63	20.4624678	
20	0	23	2.550	1	44	20.94	20.9822735		5	0	30	20.695	2	30	23.78	20.4471299	
21	0	23	14.272	1	45	35.97	20.9753714		6	0	30	27.234	2	31	3.95	20.4316839	
22	0	23	25.930	1	46	50.54	20.9682202		7	0	30	33.617	2	31	43.09	20.4161335	
23	0	23	37.521	1	48	4.65	20.9608219		8	0	30	39.843	2	32	21.20	20.4004823	
24	0	23	49.042	1	49	18.26	20.9531788		9	0	30	45.910	2	32	58.27	20.3847339	
25	0	24	0.491	1	50	31.37	20.9452931		10	0	30	51.816	2	33	34.29	20.3688924	
26	0	24	11.866	1	51	43.95	20.9371673	11	0	30	57.562	2	34	9.25	20.3529616		
27	0	24	23.161	1	52	55.99	20.9288039	12	0	31	3.146	2	34	43.16	20.3369456		
28	0	24	34.375	1	54	7.47	20.9202055	13	0	31	8.569	2	35	16.01	20.3208486		
29	0	24	45.505	1	55	18.36	20.9113747	14	0	31	13.831	2	35	47.80	20.3046749		
30	0	24	56.547	1	56	28.66	20.9023141	15	0	31	18.930	2	36	18.53	20.2884288		
Mai	1	0	25	7.499	1	57	38.33	20.8930267	16	0	31	23.866	2	36	48.20	20.2721148	
	2	0	25	18.360	1	58	47.38	20.8835150	17	0	31	28.636	2	37	16.79	20.2557374	
	3	0	25	29.129	1	59	55.79	20.8737820	18	0	31	33.241	2	37	44.30	20.2393011	
	4	0	25	39.804	2	1	3.57	20.8638304	19	0	31	37.678	2	38	10.73	20.2228107	
	5	0	25	50.387	2	2	10.71	20.8536629	20	0	31	41.946	2	38	36.05	20.2062707	
	6	0	26	0.877	2	3	17.21	20.8432820	21	0	31	46.042	2	39	0.27	20.1896860	
	7	0	26	11.272	2	4	23.06	20.8326904	22	0	31	49.964	2	39	23.37	20.1730613	
	8	0	26	21.569	2	5	28.25	20.8218904	23	0	31	53.712	2	39	45.33	20.1564015	
	9	0	26	31.765	2	6	32.76	20.8108845	24	0	31	57.284	2	40	6.17	20.1397113	
	10	0	26	41.855	2	7	36.55	20.7996751	25	0	32	0.680	2	40	25.86	20.1229956	
	11	0	26	51.836	2	8	39.60	20.7882646	26	0	32	3.900	2	40	44.41	20.1062591	
	12	0	27	1.706	2	9	41.90	20.7766558	27	0	32	6.944	2	41	1.83	20.0895066	
	13	0	27	11.461	2	10	43.42	20.7648514	28	0	32	9.814	2	41	18.13	20.0727429	
	14	0	27	21.101	2	11	44.17	20.7528541	29	0	32	12.511	2	41	33.30	20.0559724	
	15	0	27	30.624	2	12	44.13	20.7406670	30	0	32	15.036	2	41	47.36	20.0391997	
	16	0	27	40.030	2	13	43.30	20.7282932	Juill.	1	0	32	17.388	2	42	0.32	20.0224291

URANUS 2012 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.	2	0	32	19.566	2	42	12.16	20.0056650	Août	17	0	30	51.262	2	31	15.08	19.3196140
	3	0	32	21.570	2	42	22.88	19.9889116		18	0	30	45.561	2	30	36.95	19.3082228
	4	0	32	23.395	2	42	32.45	19.9721730		19	0	30	39.720	2	29	57.95	19.2970489
	5	0	32	25.041	2	42	40.88	19.9554534		20	0	30	33.745	2	29	18.12	19.2860961
	6	0	32	26.506	2	42	48.14	19.9387570		21	0	30	27.638	2	28	37.46	19.2753682
	7	0	32	27.789	2	42	54.24	19.9220882		22	0	30	21.404	2	27	56.02	19.2648687
	8	0	32	28.893	2	42	59.17	19.9054512		23	0	30	15.046	2	27	13.81	19.2546009
	9	0	32	29.817	2	43	2.95	19.8888507		24	0	30	8.569	2	26	30.87	19.2445681
	10	0	32	30.562	2	43	5.59	19.8722911		25	0	30	1.974	2	25	47.20	19.2347733
	11	0	32	31.129	2	43	7.08	19.8557771		26	0	29	55.263	2	25	2.82	19.2252194
	12	0	32	31.519	2	43	7.43	19.8393134		27	0	29	48.438	2	24	17.73	19.2159092
	13	0	32	31.732	2	43	6.65	19.8229047		28	0	29	41.498	2	23	31.95	19.2068454
	14	0	32	31.767	2	43	4.73	19.8065560		29	0	29	34.447	2	22	45.48	19.1980307
	15	0	32	31.626	2	43	1.69	19.7902719		30	0	29	27.285	2	21	58.34	19.1894676
	16	0	32	31.307	2	42	57.52	19.7740575		31	0	29	20.017	2	21	10.53	19.1811586
	17	0	32	30.810	2	42	52.21	19.7579176		Sept.	1	0	29	12.645	2	20	22.10
18	0	32	30.134	2	42	45.77	19.7418571	2	0		29	5.173	2	19	33.05	19.1653138	
19	0	32	29.279	2	42	38.19	19.7258811	3	0		28	57.605	2	18	43.41	19.1577830	
20	0	32	28.244	2	42	29.46	19.7099944	4	0		28	49.946	2	17	53.22	19.1505169	
21	0	32	27.030	2	42	19.60	19.6942020	5	0		28	42.197	2	17	2.48	19.1435180	
22	0	32	25.637	2	42	8.60	19.6785089	6	0	28	34.364	2	16	11.24	19.1367890		
23	0	32	24.067	2	41	56.48	19.6629199	7	0	28	26.448	2	15	19.50	19.1303323		
24	0	32	22.321	2	41	43.24	19.6474397	8	0	28	18.453	2	14	27.29	19.1241504		
25	0	32	20.402	2	41	28.90	19.6320731	9	0	28	10.380	2	13	34.61	19.1182460		
26	0	32	18.313	2	41	13.48	19.6168245	10	0	28	2.233	2	12	41.50	19.1126213		
27	0	32	16.055	2	40	56.99	19.6016985	11	0	27	54.013	2	11	47.96	19.1072787		
28	0	32	13.631	2	40	39.44	19.5866994	12	0	27	45.724	2	10	54.02	19.1022205		
29	0	32	11.040	2	40	20.85	19.5718312	13	0	27	37.368	2	9	59.68	19.0974489		
30	0	32	8.283	2	40	1.21	19.5570982	14	0	27	28.948	2	9	4.98	19.0929661		
31	0	32	5.360	2	39	40.52	19.5425043	15	0	27	20.467	2	8	9.92	19.0887740		
Août	1	0	32	2.269	2	39	18.78	19.5280535	16	0	27	11.931	2	7	14.55	19.0848745	
	2	0	31	59.010	2	38	55.97	19.5137496	17	0	27	3.344	2	6	18.88	19.0812694	
	3	0	31	55.586	2	38	32.12	19.4995967	18	0	26	54.711	2	5	22.96	19.0779601	
	4	0	31	51.996	2	38	7.23	19.4855987	19	0	26	46.039	2	4	26.83	19.0749479	
	5	0	31	48.244	2	37	41.30	19.4717597	20	0	26	37.332	2	3	30.51	19.0722339	
	6	0	31	44.332	2	37	14.37	19.4580838	21	0	26	28.593	2	2	34.02	19.0698190	
	7	0	31	40.262	2	36	46.44	19.4445751	22	0	26	19.824	2	1	37.39	19.0677038	
	8	0	31	36.037	2	36	17.53	19.4312378	23	0	26	11.029	2	0	40.64	19.0658889	
	9	0	31	31.658	2	35	47.65	19.4180762	24	0	26	2.210	1	59	43.76	19.0643747	
	10	0	31	27.127	2	35	16.82	19.4050945	25	0	25	53.368	1	58	46.79	19.0631615	
	11	0	31	22.446	2	34	45.04	19.3922969	26	0	25	44.507	1	57	49.73	19.0622496	
	12	0	31	17.616	2	34	12.34	19.3796877	27	0	25	35.631	1	56	52.61	19.0616393	
	13	0	31	12.637	2	33	38.70	19.3672710	28	0	25	26.743	1	55	55.46	19.0613306	
	14	0	31	7.511	2	33	4.16	19.3550511	29	0	25	17.849	1	54	58.30	19.0613239	
	15	0	31	2.239	2	32	28.70	19.3430322	30	0	25	8.953	1	54	1.17	19.0616191	
	16	0	30	56.823	2	31	52.34	19.3312185	Oct.	1	0	25	0.059	1	53	4.09	19.0622166

URANUS 2012 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.	2	0	24	51.172	1	52	7.09	19.063	1162	Nov.	17	0	19	10.722	1	16	29.62	19.412	2929	
	3	0	24	42.296	1	51	10.20	19.064	3182		18	0	19	6.041	1	16	1.54	19.425	6899	
	4	0	24	33.434	1	50	13.45	19.065	8226		19	0	19	1.516	1	15	34.50	19.439	2780	
	5	0	24	24.590	1	49	16.85	19.067	6292		20	0	18	57.150	1	15	8.50	19.453	0524	
	6	0	24	15.767	1	48	20.43	19.069	7379		21	0	18	52.945	1	14	43.57	19.467	0085	
	7	0	24	6.967	1	47	24.21	19.072	1487		22	0	18	48.903	1	14	19.72	19.481	1415	
	8	0	23	58.195	1	46	28.21	19.074	8612		23	0	18	45.028	1	13	56.96	19.495	4469	
	9	0	23	49.452	1	45	32.44	19.077	8750		24	0	18	41.322	1	13	35.31	19.509	9199	
	10	0	23	40.742	1	44	36.93	19.081	1897		25	0	18	37.787	1	13	14.79	19.524	5561	
	11	0	23	32.068	1	43	41.69	19.084	8048		26	0	18	34.425	1	12	55.41	19.539	3507	
	12	0	23	23.434	1	42	46.76	19.088	7195		27	0	18	31.238	1	12	37.18	19.554	2992	
	13	0	23	14.844	1	41	52.15	19.092	9332		28	0	18	28.227	1	12	20.11	19.569	3971	
	14	0	23	6.303	1	40	57.89	19.097	4448		29	0	18	25.393	1	12	4.20	19.584	6396	
	15	0	22	57.817	1	40	4.03	19.102	2532		30	0	18	22.737	1	11	49.46	19.600	0223	
	16	0	22	49.391	1	39	10.60	19.107	3570		Déc.	1	0	18	20.259	1	11	35.90	19.615	5405
	17	0	22	41.030	1	38	17.63	19.112	7546			2	0	18	17.959	1	11	23.50	19.631	1895
18	0	22	32.739	1	37	25.15	19.118	4443	3	0		18	15.839	1	11	12.28	19.646	9647		
19	0	22	24.519	1	36	33.18	19.124	4239	4	0		18	13.897	1	11	2.24	19.662	8613		
20	0	22	16.374	1	35	41.73	19.130	6912	5	0		18	12.136	1	10	53.38	19.678	8746		
21	0	22	8.305	1	34	50.81	19.137	2439	6	0		18	10.557	1	10	45.71	19.694	9998		
22	0	22	0.314	1	34	0.44	19.144	0796	7	0		18	9.160	1	10	39.24	19.711	2320		
23	0	21	52.404	1	33	10.62	19.151	1958	8	0		18	7.949	1	10	33.97	19.727	5662		
24	0	21	44.578	1	32	21.39	19.158	5899	9	0		18	6.925	1	10	29.93	19.743	9974		
25	0	21	36.840	1	31	32.76	19.166	2595	10	0		18	6.091	1	10	27.13	19.760	5204		
26	0	21	29.194	1	30	44.75	19.174	2019	11	0		18	5.449	1	10	25.58	19.777	1298		
27	0	21	21.643	1	29	57.40	19.182	4147	12	0		18	5.000	1	10	25.29	19.793	8203		
28	0	21	14.193	1	29	10.73	19.190	8951	13	0		18	4.744	1	10	26.26	19.810	5863		
29	0	21	6.847	1	28	24.77	19.199	6407	14	0		18	4.679	1	10	28.47	19.827	4219		
30	0	20	59.609	1	27	39.54	19.208	6487	15	0		18	4.805	1	10	31.92	19.844	3215		
31	0	20	52.480	1	26	55.06	19.217	9165	16	0		18	5.118	1	10	36.60	19.861	2793		
Nov.	1	0	20	45.466	1	26	11.34	19.227	4414	17	0	18	5.620	1	10	42.49	19.878	2895		
	2	0	20	38.567	1	25	28.41	19.237	2205	18	0	18	6.309	1	10	49.60	19.895	3465		
	3	0	20	31.786	1	24	46.28	19.247	2511	19	0	18	7.187	1	10	57.93	19.912	4448		
	4	0	20	25.125	1	24	4.97	19.257	5303	20	0	18	8.255	1	11	7.49	19.929	5790		
	5	0	20	18.587	1	23	24.48	19.268	0551	21	0	18	9.513	1	11	18.28	19.946	7436		
	6	0	20	12.173	1	22	44.83	19.278	8224	22	0	18	10.963	1	11	30.30	19.963	9334		
	7	0	20	5.886	1	22	6.03	19.289	8292	23	0	18	12.604	1	11	43.57	19.981	1432		
	8	0	19	59.729	1	21	28.11	19.301	0722	24	0	18	14.437	1	11	58.07	19.998	3678		
	9	0	19	53.704	1	20	51.07	19.312	5481	25	0	18	16.461	1	12	13.80	20.015	6021		
	10	0	19	47.815	1	20	14.95	19.324	2535	26	0	18	18.675	1	12	30.76	20.032	8410		
	11	0	19	42.066	1	19	39.76	19.336	1848	27	0	18	21.078	1	12	48.95	20.050	0796		
	12	0	19	36.461	1	19	5.53	19.348	3383	28	0	18	23.669	1	13	8.34	20.067	3128		
	13	0	19	31.005	1	18	32.30	19.360	7099	29	0	18	26.447	1	13	28.94	20.084	5358		
	14	0	19	25.702	1	18	0.08	19.373	2957	30	0	18	29.409	1	13	50.74	20.101	7435		
	15	0	19	20.553	1	17	28.89	19.386	0911	31	0	18	32.556	1	14	13.72	20.118	9311		
	16	0	19	15.560	1	16	58.74	19.399	0917	32	0	18	35.885	1	14	37.88	20.136	0938		

NEPTUNE 2012 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	4	46.740	-12	22	52.27	30.6261112	Févr.	15	22	10	44.973	-11	50	8.53	30.9850500
	1	22	4	52.986	-12	22	17.98	30.6392707		16	22	10	53.691	-11	49	20.70	30.9864996
	2	22	4	59.327	-12	21	43.18	30.6522346		17	22	11	2.419	-11	48	32.82	30.9876595
	3	22	5	5.761	-12	21	7.86	30.6649994		18	22	11	11.153	-11	47	44.93	30.9885291
	4	22	5	12.288	-12	20	32.05	30.6775617		19	22	11	19.890	-11	46	57.03	30.9891080
	5	22	5	18.906	-12	19	55.74	30.6899182		20	22	11	28.626	-11	46	9.13	30.9893960
	6	22	5	25.613	-12	19	18.94	30.7020655		21	22	11	37.359	-11	45	21.26	30.9893931
	7	22	5	32.407	-12	18	41.68	30.7140005		22	22	11	46.086	-11	44	33.41	30.9890993
	8	22	5	39.286	-12	18	3.97	30.7257201		23	22	11	54.807	-11	43	45.59	30.9885149
	9	22	5	46.248	-12	17	25.83	30.7372212		24	22	12	3.520	-11	42	57.80	30.9876404
	10	22	5	53.288	-12	16	47.25	30.7485010		25	22	12	12.225	-11	42	10.06	30.9864763
	11	22	6	0.405	-12	16	8.27	30.7595563		26	22	12	20.920	-11	41	22.36	30.9850233
	12	22	6	7.596	-12	15	28.88	30.7703843		27	22	12	29.604	-11	40	34.72	30.9832823
	13	22	6	14.860	-12	14	49.09	30.7809820		28	22	12	38.275	-11	39	47.15	30.9812541
14	22	6	22.196	-12	14	8.89	30.7913464	29	22	12	46.931	-11	38	59.66	30.9789399		
15	22	6	29.604	-12	13	28.29	30.8014745	Mars	1	22	12	55.570	-11	38	12.28	30.9763407	
16	22	6	37.083	-12	12	47.29	30.8113632		2	22	13	4.190	-11	41	25.01	30.9734577	
17	22	6	44.634	-12	12	5.88	30.8210095		3	22	13	12.788	-11	36	37.86	30.9702922	
18	22	6	52.256	-12	11	24.08	30.8304104		4	22	13	21.361	-11	35	50.87	30.9668457	
19	22	6	59.947	-12	10	41.91	30.8395628		5	22	13	29.906	-11	35	4.04	30.9631195	
20	22	7	7.705	-12	9	59.39	30.8484637		6	22	13	38.420	-11	34	17.38	30.9591152	
21	22	7	15.525	-12	9	16.53	30.8571103		7	22	13	46.901	-11	33	30.91	30.9548342	
22	22	7	23.405	-12	8	33.36	30.8654998		8	22	13	55.346	-11	32	44.63	30.9502780	
23	22	7	31.340	-12	7	49.89	30.8736296		9	22	14	3.757	-11	31	58.53	30.9454480	
24	22	7	39.328	-12	7	6.14	30.8814973		10	22	14	12.132	-11	31	12.62	30.9403458	
25	22	7	47.367	-12	6	22.11	30.8891005	11	22	14	20.471	-11	30	26.89	30.9349726		
26	22	7	55.454	-12	5	37.81	30.8964372	12	22	14	28.775	-11	29	41.35	30.9293298		
27	22	8	3.589	-12	4	53.24	30.9035054	13	22	14	37.043	-11	28	56.03	30.9234186		
28	22	8	11.771	-12	4	8.40	30.9103034	14	22	14	45.271	-11	28	10.93	30.9172405		
29	22	8	19.999	-12	3	23.30	30.9168295	15	22	14	53.457	-11	27	26.08	30.9107969		
30	22	8	28.272	-12	2	37.95	30.9230821	16	22	15	1.596	-11	26	41.50	30.9040895		
Févr.	31	22	8	36.588	-12	1	52.37	30.9290599	17	22	15	9.686	-11	25	57.21	30.8971198	
	1	22	8	44.945	-12	1	6.55	30.9347615	18	22	15	17.724	-11	25	13.23	30.8898897	
	2	22	8	53.342	-12	0	20.51	30.9401859	19	22	15	25.707	-11	24	29.55	30.8824012	
	3	22	9	1.776	-11	59	34.28	30.9453317	20	22	15	33.634	-11	23	46.19	30.8746565	
	4	22	9	10.244	-11	58	47.87	30.9501982	21	22	15	41.503	-11	23	3.15	30.8666579	
	5	22	9	18.745	-11	58	1.28	30.9547842	22	22	15	49.314	-11	22	20.43	30.8584077	
	6	22	9	27.273	-11	57	14.55	30.9590891	23	22	15	57.065	-11	21	38.05	30.8499086	
	7	22	9	35.827	-11	56	27.69	30.9631119	24	22	16	4.755	-11	20	56.00	30.8411632	
	8	22	9	44.404	-11	55	40.69	30.9668520	25	22	16	12.385	-11	20	14.29	30.8321743	
	9	22	9	53.001	-11	54	53.58	30.9703086	26	22	16	19.952	-11	19	32.94	30.8229448	
	10	22	10	1.617	-11	54	6.36	30.9734809	27	22	16	27.455	-11	18	51.95	30.8134776	
	11	22	10	10.252	-11	53	19.01	30.9763682	28	22	16	34.892	-11	18	11.34	30.8037759	
	12	22	10	18.906	-11	52	31.55	30.9789696	29	22	16	42.261	-11	17	31.12	30.7938427	
	13	22	10	27.578	-11	51	43.97	30.9812842	30	22	16	49.559	-11	16	51.31	30.7836812	
14	22	10	36.267	-11	50	56.29	30.9833113	31	22	16	56.785	-11	16	11.92	30.7732947		

NEPTUNE 2012 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	1	22 17 3.936	-11 15 32.96	30.762 686 5	Mai	17	22 20 50.344	-10 55 26.22	30.096 628 1
	2	22 17 11.009	-11 14 54.44	30.751 859 8		18	22 20 52.652	-10 55 14.96	30.079 809 6
	3	22 17 18.003	-11 14 16.39	30.740 818 0		19	22 20 54.839	-10 55 4.39	30.062 962 4
	4	22 17 24.915	-11 13 38.79	30.729 564 5		20	22 20 56.905	-10 54 54.51	30.046 091 5
	5	22 17 31.744	-11 13 1.64	30.718 102 6		21	22 20 58.850	-10 54 45.34	30.029 202 1
	6	22 17 38.492	-11 12 24.95	30.706 435 5		22	22 21 0.672	-10 54 36.86	30.012 299 0
	7	22 17 45.159	-11 11 48.72	30.694 566 3		23	22 21 2.371	-10 54 29.10	29.995 387 3
	8	22 17 51.744	-11 11 12.93	30.682 498 2		24	22 21 3.946	-10 54 22.05	29.978 472 1
	9	22 17 58.249	-11 10 37.60	30.670 234 2		25	22 21 5.397	-10 54 15.72	29.961 558 4
	10	22 18 4.671	-11 10 2.75	30.657 777 3		26	22 21 6.721	-10 54 10.12	29.944 651 2
	11	22 18 11.008	-11 9 28.39	30.645 130 6		27	22 21 7.918	-10 54 5.25	29.927 755 5
	12	22 18 17.257	-11 8 54.56	30.632 297 2		28	22 21 8.988	-10 54 1.10	29.910 876 3
	13	22 18 23.413	-11 8 21.26	30.619 280 5		29	22 21 9.932	-10 53 57.67	29.894 018 3
	14	22 18 29.476	-11 7 48.50	30.606 083 7		30	22 21 10.749	-10 53 54.95	29.877 186 4
	15	22 18 35.442	-11 7 16.30	30.592 710 5		31	22 21 11.442	-10 53 52.93	29.860 385 3
16	22 18 41.310	-11 6 44.66	30.579 164 5	Juin	1	22 21 12.012	-10 53 51.60	29.843 619 6	
17	22 18 47.080	-11 6 13.57	30.565 449 5		2	22 21 12.461	-10 53 50.95	29.826 893 6	
18	22 18 52.752	-11 5 43.04	30.551 569 4		3	22 21 12.791	-10 53 50.97	29.810 211 8	
19	22 18 58.324	-11 5 13.08	30.537 528 1		4	22 21 13.002	-10 53 51.68	29.793 578 5	
20	22 19 3.796	-11 4 43.67	30.523 329 9		5	22 21 13.092	-10 53 53.09	29.776 997 7	
21	22 19 9.169	-11 4 14.84	30.508 978 9	6	22 21 13.060	-10 53 55.21	29.760 473 8		
22	22 19 14.441	-11 3 46.58	30.494 479 4	7	22 21 12.903	-10 53 58.05	29.744 011 1		
23	22 19 19.612	-11 3 18.90	30.479 835 7	8	22 21 12.620	-10 54 1.61	29.727 613 8		
24	22 19 24.679	-11 2 51.81	30.465 052 2	9	22 21 12.212	-10 54 5.89	29.711 286 5		
25	22 19 29.643	-11 2 25.33	30.450 133 3	10	22 21 11.678	-10 54 10.87	29.695 033 6		
26	22 19 34.501	-11 1 59.46	30.435 083 6	11	22 21 11.021	-10 54 16.56	29.678 859 9		
27	22 19 39.251	-11 1 34.21	30.419 907 6	12	22 21 10.240	-10 54 22.93	29.662 769 9		
28	22 19 43.892	-11 1 9.60	30.404 609 7	13	22 21 9.339	-10 54 29.99	29.646 768 6		
29	22 19 48.421	-11 0 45.63	30.389 194 6	14	22 21 8.317	-10 54 37.72	29.630 860 5		
30	22 19 52.838	-11 0 22.31	30.373 666 7	15	22 21 7.177	-10 54 46.12	29.615 050 5		
Mai	1	22 19 57.141	-10 59 59.63	30.358 030 6	16	22 21 5.918	-10 54 55.18	29.599 343 3	
	2	22 20 1.329	-10 59 37.61	30.342 290 8	17	22 21 4.542	-10 55 4.91	29.583 743 8	
	3	22 20 5.403	-10 59 16.23	30.326 451 6	18	22 21 3.049	-10 55 15.31	29.568 256 8	
	4	22 20 9.364	-10 58 55.48	30.310 517 5	19	22 21 1.440	-10 55 26.37	29.552 886 9	
	5	22 20 13.214	-10 58 35.37	30.294 492 6	20	22 20 59.713	-10 55 38.10	29.537 638 9	
	6	22 20 16.952	-10 58 15.88	30.278 381 0	21	22 20 57.870	-10 55 50.49	29.522 517 6	
	7	22 20 20.580	-10 57 57.03	30.262 187 0	22	22 20 55.909	-10 56 3.55	29.507 527 6	
	8	22 20 24.095	-10 57 38.83	30.245 914 3	23	22 20 53.831	-10 56 17.27	29.492 673 4	
	9	22 20 27.495	-10 57 21.31	30.229 567 2	24	22 20 51.637	-10 56 31.64	29.477 959 5	
	10	22 20 30.778	-10 57 4.48	30.213 149 8	25	22 20 49.327	-10 56 46.65	29.463 390 4	
	11	22 20 33.939	-10 56 48.34	30.196 666 2	26	22 20 46.903	-10 57 2.30	29.448 970 3	
	12	22 20 36.980	-10 56 32.91	30.180 120 9	27	22 20 44.368	-10 57 18.56	29.434 703 4	
	13	22 20 39.897	-10 56 18.18	30.163 518 3	28	22 20 41.724	-10 57 35.41	29.420 593 8	
	14	22 20 42.692	-10 56 4.15	30.146 863 0	29	22 20 38.974	-10 57 52.85	29.406 645 3	
	15	22 20 45.365	-10 55 50.82	30.130 159 7	30	22 20 36.120	-10 58 10.86	29.392 861 8	
	16	22 20 47.915	-10 55 38.17	30.113 413 1	Juill. 1	22 20 33.164	-10 58 29.45	29.379 246 7	

NEPTUNE 2012 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.	2 22 20 30.106	-10 58 48.60	29.3658038	Août	17 22 16 41.345	-11 21 27.76	28.9909193
	3 22 20 26.946	-10 59 8.34	29.3525364		18 22 16 35.160	-11 22 3.51	28.9890349
	4 22 20 23.683	-10 59 28.66	29.3394480		19 22 16 28.956	-11 22 39.32	28.9874453
	5 22 20 20.316	-10 59 49.57	29.3265423		20 22 16 22.736	-11 23 15.18	28.9861512
	6 22 20 16.845	-11 0 11.06	29.3138226		21 22 16 16.505	-11 23 51.06	28.9851530
	7 22 20 13.272	-11 0 33.11	29.3012927		22 22 16 10.265	-11 24 26.94	28.9844511
	8 22 20 9.598	-11 0 55.72	29.2889562		23 22 16 4.022	-11 25 2.80	28.9840454
	9 22 20 5.825	-11 1 18.86	29.2768168		24 22 15 57.777	-11 25 38.63	28.9839360
	10 22 20 1.957	-11 1 42.52	29.2648784		25 22 15 51.534	-11 26 14.42	28.9841227
	11 22 19 57.995	-11 2 6.69	29.2531446		26 22 15 45.294	-11 26 50.17	28.9846050
	12 22 19 53.941	-11 2 31.35	29.2416193		27 22 15 39.058	-11 27 25.88	28.9853827
	13 22 19 49.799	-11 2 56.50	29.2303061		28 22 15 32.825	-11 28 1.54	28.9864553
	14 22 19 45.568	-11 3 22.14	29.2192087		29 22 15 26.598	-11 28 37.14	28.9878224
	15 22 19 41.251	-11 3 48.24	29.2083307		30 22 15 20.377	-11 29 12.68	28.9894834
	16 22 19 36.848	-11 4 14.82	29.1976759		31 22 15 14.165	-11 29 48.13	28.9914381
	17 22 19 32.362	-11 4 41.86	29.1872477		Sept.	1 22 15 7.965	-11 30 23.47
18 22 19 27.791	-11 5 9.36	29.1770495	2 22 15 1.780	-11 30 58.69		28.9962262	
19 22 19 23.138	-11 5 37.32	29.1670848	3 22 14 55.614	-11 31 33.75		28.9990588	
20 22 19 18.403	-11 6 5.72	29.1573570	4 22 14 49.470	-11 32 8.66		29.0021832	
21 22 19 13.587	-11 6 34.55	29.1478691	5 22 14 43.351	-11 32 43.38		29.0055988	
22 22 19 8.693	-11 7 3.80	29.1386243	6 22 14 37.259	-11 33 17.92	29.0093051		
23 22 19 3.722	-11 7 33.46	29.1296255	7 22 14 31.198	-11 33 52.25	29.0133013		
24 22 18 58.677	-11 8 3.49	29.1208755	8 22 14 25.169	-11 34 26.38	29.0175866		
25 22 18 53.563	-11 8 33.88	29.1123767	9 22 14 19.173	-11 35 0.28	29.0221604		
26 22 18 48.383	-11 9 4.61	29.1041318	10 22 14 13.213	-11 35 33.97	29.0270216		
27 22 18 43.139	-11 9 35.67	29.0961429	11 22 14 7.290	-11 36 7.42	29.0321692		
28 22 18 37.835	-11 10 7.05	29.0884122	12 22 14 1.406	-11 36 40.62	29.0376021		
29 22 18 32.472	-11 10 38.73	29.0809418	13 22 13 55.562	-11 37 13.57	29.0433190		
30 22 18 27.051	-11 11 10.73	29.0737334	14 22 13 49.760	-11 37 46.25	29.0493185		
31 22 18 21.572	-11 11 43.04	29.0667890	15 22 13 44.003	-11 38 18.64	29.0555990		
Août	1 22 18 16.035	-11 12 15.66	29.0601105	16 22 13 38.292	-11 38 50.73	29.0621589	
	2 22 18 10.441	-11 12 48.58	29.0536996	17 22 13 32.634	-11 39 22.49	29.0689962	
	3 22 18 4.792	-11 13 21.79	29.0475583	18 22 13 27.030	-11 39 53.89	29.0761087	
	4 22 17 59.088	-11 13 55.26	29.0416883	19 22 13 21.486	-11 40 24.92	29.0834942	
	5 22 17 53.335	-11 14 28.99	29.0360918	20 22 13 16.005	-11 40 55.57	29.0911502	
	6 22 17 47.534	-11 15 2.94	29.0307705	21 22 13 10.588	-11 41 25.83	29.0990739	
	7 22 17 41.689	-11 15 37.11	29.0257265	22 22 13 5.238	-11 41 55.70	29.1072627	
	8 22 17 35.803	-11 16 11.47	29.0209616	23 22 12 59.954	-11 42 25.18	29.1157138	
	9 22 17 29.879	-11 16 46.01	29.0164776	24 22 12 54.736	-11 42 54.27	29.1244244	
	10 22 17 23.919	-11 17 20.72	29.0122764	25 22 12 49.586	-11 43 22.97	29.1333915	
	11 22 17 17.925	-11 17 55.60	29.0083596	26 22 12 44.505	-11 43 51.25	29.1426124	
	12 22 17 11.899	-11 18 30.63	29.0047290	27 22 12 39.494	-11 44 19.12	29.1520841	
	13 22 17 5.842	-11 19 5.80	29.0013861	28 22 12 34.556	-11 44 46.55	29.1618040	
	14 22 16 59.758	-11 19 41.11	28.9983323	29 22 12 29.694	-11 45 13.52	29.1717691	
	15 22 16 53.645	-11 20 16.55	28.9955691	30 22 12 24.910	-11 45 40.02	29.1819767	
	16 22 16 47.507	-11 20 52.10	28.9930977	Oct. 1 22 12 20.207	-11 46 6.04	29.1924238	

NEPTUNE 2012 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.				Nov.				
2	22 12 15.589	-11 46 31.55	29.2031077	17	22 10 38.993	-11 55 3.88	29.8842926	
3	22 12 11.058	-11 46 56.56	29.2140255	18	22 10 39.804	-11 54 58.69	29.9015165	
4	22 12 6.614	-11 47 21.05	29.2251741	19	22 10 40.745	-11 54 52.78	29.9187616	
5	22 12 2.261	-11 47 45.02	29.2365506	20	22 10 41.814	-11 54 46.16	29.9360225	
6	22 11 57.999	-11 48 8.47	29.2481519	21	22 10 43.011	-11 54 38.83	29.9532938	
7	22 11 53.829	-11 48 31.38	29.2599748	22	22 10 44.339	-11 54 30.76	29.9705704	
8	22 11 49.752	-11 48 53.76	29.2720160	23	22 10 45.797	-11 54 21.97	29.9878470	
9	22 11 45.770	-11 49 15.60	29.2842722	24	22 10 47.386	-11 54 12.45	30.0051186	
10	22 11 41.884	-11 49 36.89	29.2967400	25	22 10 49.107	-11 54 2.18	30.0223801	
11	22 11 38.093	-11 49 57.63	29.3094158	26	22 10 50.959	-11 53 51.19	30.0396267	
12	22 11 34.401	-11 50 17.80	29.3222959	27	22 10 52.944	-11 53 39.46	30.0568532	
13	22 11 30.808	-11 50 37.38	29.3353766	28	22 10 55.061	-11 53 27.01	30.0740548	
14	22 11 27.318	-11 50 56.36	29.3486539	29	22 10 57.309	-11 53 13.83	30.0912267	
15	22 11 23.933	-11 51 14.73	29.3621236	30	22 10 59.686	-11 52 59.95	30.1083638	
16	22 11 20.658	-11 51 32.45	29.3757814	Déc.	1	22 11 2.193	-11 52 45.36	30.1254613
17	22 11 17.495	-11 51 49.53	29.3896229	2	22 11 4.826	-11 52 30.07	30.1425143	
18	22 11 14.447	-11 52 5.96	29.4036434	3	22 11 7.586	-11 52 14.09	30.1595179	
19	22 11 11.513	-11 52 21.75	29.4178382	4	22 11 10.471	-11 51 57.42	30.1764671	
20	22 11 8.693	-11 52 36.90	29.4322025	5	22 11 13.480	-11 51 40.06	30.1933571	
21	22 11 5.986	-11 52 51.42	29.4467315	6	22 11 16.613	-11 51 22.01	30.2101829	
22	22 11 3.393	-11 53 5.31	29.4614205	7	22 11 19.870	-11 51 3.28	30.2269393	
23	22 11 0.912	-11 53 18.56	29.4762648	8	22 11 23.251	-11 50 43.84	30.2436214	
24	22 10 58.546	-11 53 31.16	29.4912598	9	22 11 26.756	-11 50 23.71	30.2602241	
25	22 10 56.295	-11 53 43.10	29.5064008	10	22 11 30.387	-11 50 2.87	30.2767420	
26	22 10 54.162	-11 53 54.38	29.5216832	11	22 11 34.145	-11 49 41.33	30.2931700	
27	22 10 52.147	-11 54 4.97	29.5371026	12	22 11 38.029	-11 49 19.09	30.3095027	
28	22 10 50.254	-11 54 14.88	29.5526544	13	22 11 42.037	-11 48 56.17	30.3257347	
29	22 10 48.483	-11 54 24.09	29.5683341	14	22 11 46.168	-11 48 32.60	30.3418607	
30	22 10 46.837	-11 54 32.59	29.5841371	15	22 11 50.417	-11 48 8.38	30.3578754	
31	22 10 45.316	-11 54 40.39	29.6000589	16	22 11 54.781	-11 47 43.54	30.3737737	
Nov.				17	22 11 59.258	-11 47 18.07	30.3895507	
1	22 10 43.921	-11 54 47.49	29.6160951	18	22 12 3.848	-11 46 51.99	30.4052014	
2	22 10 42.653	-11 54 53.88	29.6322409	19	22 12 8.549	-11 46 25.28	30.4207212	
3	22 10 41.510	-11 54 59.58	29.6484918	20	22 12 13.363	-11 45 57.94	30.4361057	
4	22 10 40.494	-11 55 4.57	29.6648431	21	22 12 18.287	-11 45 29.99	30.4513504	
5	22 10 39.604	-11 55 8.86	29.6812900	22	22 12 23.323	-11 45 1.41	30.4664511	
6	22 10 38.840	-11 55 12.44	29.6978279	23	22 12 28.470	-11 44 32.21	30.4814034	
7	22 10 38.203	-11 55 15.33	29.7144518	24	22 12 33.727	-11 44 2.41	30.4962034	
8	22 10 37.691	-11 55 17.50	29.7311569	25	22 12 39.092	-11 43 32.01	30.5108468	
9	22 10 37.307	-11 55 18.96	29.7479380	26	22 12 44.565	-11 43 1.02	30.5253298	
10	22 10 37.052	-11 55 19.70	29.7647903	27	22 12 50.142	-11 42 29.46	30.5396483	
11	22 10 36.926	-11 55 19.69	29.7817084	28	22 12 55.822	-11 41 57.34	30.5537985	
12	22 10 36.933	-11 55 18.93	29.7986870	29	22 13 1.603	-11 41 24.66	30.5677764	
13	22 10 37.074	-11 55 17.42	29.8157206	30	22 13 7.483	-11 40 51.45	30.5815783	
14	22 10 37.351	-11 55 15.15	29.8328037	31	22 13 13.460	-11 40 17.70	30.5952004	
15	22 10 37.764	-11 55 12.12	29.8499305	32	22 13 19.531	-11 39 43.43	30.6086388	
16	22 10 38.312	-11 55 8.36	29.8670954					

PLUTON ET ASTÉROÏDES

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

PLUTON 2012 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 18 30 7.591	-19 20 0.57	33.134218 36	Juill.	2 18 33 55.697	-19 20 55.66	31.242667 34
	4 18 30 43.804	-19 19 54.86	33.131994 62		6 18 33 30.191	-19 21 43.77	31.249911 00
	8 18 31 19.801	-19 19 46.82	33.125122 72		10 18 33 4.930	-19 22 33.45	31.261767 09
	12 18 31 55.453	-19 19 36.57	33.113654 37		14 18 32 40.061	-19 23 24.58	31.278209 20
	16 18 32 30.633	-19 19 24.24	33.097646 40		18 18 32 15.735	-19 24 17.00	31.299187 24
	20 18 33 5.210	-19 19 10.01	33.077161 24		22 18 31 52.107	-19 25 10.52	31.324619 56
Févr.	24 18 33 39.047	-19 18 54.05	33.052286 97	26 18 31 29.327	-19 26 4.99	31.354387 28	
	28 18 34 12.005	-19 18 36.59	33.023154 01	30 18 31 7.533	-19 27 0.24	31.388338 16	
	1 18 34 43.957	-19 18 17.83	32.989927 72	Août	3 18 30 46.850	-19 27 56.12	31.426307 35
	5 18 35 14.784	-19 17 57.99	32.952792 62		7 18 30 27.391	-19 28 52.49	31.468135 06
	9 18 35 44.377	-19 17 37.28	32.911942 68	11 18 30 9.274	-19 29 49.20	31.513657 01	
	13 18 36 12.637	-19 17 15.89	32.867571 26	15 18 29 52.615	-19 30 46.08	31.562686 94	
17 18 36 39.458	-19 16 54.05	32.819873 89	19 18 29 37.526	-19 31 42.96	31.615011 35		
21 18 37 4.733	-19 16 32.02	32.769071 19	23 18 29 24.111	-19 32 39.67	31.670383 46		
25 18 37 28.361	-19 16 10.03	32.715419 65	27 18 29 12.458	-19 33 36.04	31.728532 30		
Mars	29 18 37 50.253	-19 15 48.34	32.659201 41	Sept.	31 18 29 2.634	-19 34 31.93	31.789185 89
	4 18 38 10.335	-19 15 27.18	32.600708 48		4 18 28 54.700	-19 35 27.20	31.852083 81
	8 18 38 28.544	-19 15 6.75	32.540233 51		8 18 28 48.713	-19 36 21.71	31.916964 77
	12 18 38 44.827	-19 14 47.26	32.478059 14		12 18 28 44.729	-19 37 15.28	31.983552 34
	16 18 38 59.130	-19 14 28.92	32.414463 13		16 18 28 42.796	-19 38 7.76	32.051549 54
	20 18 39 11.400	-19 14 11.96	32.349743 46		20 18 28 42.952	-19 38 58.98	32.120634 77
Avril	24 18 39 21.591	-19 13 56.60	32.284224 84	24 18 28 45.214	-19 39 48.80	32.190473 76	
	28 18 39 29.676	-19 13 43.02	32.218244 42	28 18 28 49.581	-19 40 37.10	32.260744 69	
	1 18 39 35.642	-19 13 31.41	32.152137 88	Oct.	2 18 28 56.047	-19 41 23.74	32.331145 97
	5 18 39 39.492	-19 13 21.90	32.086229 89		6 18 29 4.601	-19 42 8.59	32.401380 25
	9 18 39 41.236	-19 13 14.62	32.020825 29	10 18 29 15.231	-19 42 51.52	32.471144 29	
	13 18 39 40.886	-19 13 9.71	31.956214 89	14 18 29 27.917	-19 43 32.39	32.540122 83	
17 18 39 38.455	-19 13 7.30	31.892704 25	18 18 29 42.628	-19 44 11.05	32.607986 58		
21 18 39 33.967	-19 13 7.51	31.830614 16	22 18 29 59.312	-19 44 47.42	32.674405 61		
25 18 39 27.466	-19 13 10.44	31.770264 62	26 18 30 17.903	-19 45 21.41	32.739077 17		
Mai	29 18 39 19.009	-19 13 16.13	31.711962 24	Nov.	30 18 30 38.331	-19 45 52.93	32.801725 79
	3 18 39 8.670	-19 13 24.63	31.655991 25		3 18 31 0.527	-19 46 21.90	32.862087 69
	7 18 38 56.527	-19 13 35.95	31.602606 39		7 18 31 24.417	-19 46 48.23	32.919900 88
	11 18 38 42.659	-19 13 50.10	31.552042 31		11 18 31 49.924	-19 47 11.83	32.974901 22
	15 18 38 27.144	-19 14 7.12	31.504541 56		15 18 32 16.959	-19 47 32.66	33.026820 63
	19 18 38 10.076	-19 14 27.01	31.460351 95		19 18 32 45.417	-19 47 50.68	33.075402 80
Juin	23 18 37 51.561	-19 14 49.73	31.419708 92	23 18 33 15.181	-19 48 5.88	33.120429 21	
	27 18 37 31.722	-19 15 15.23	31.382823 95	27 18 33 46.136	-19 48 18.27	33.161716 38	
	31 18 37 10.689	-19 15 43.43	31.349877 13	Déc.	1 18 34 18.168	-19 48 27.83	33.199097 39
	4 18 36 48.597	-19 16 14.24	31.321012 59		5 18 34 51.163	-19 48 34.57	33.232413 65
	8 18 36 25.573	-19 16 47.60	31.296351 74	9 18 35 25.006	-19 48 38.52	33.261511 40	
	12 18 36 1.746	-19 17 23.43	31.276019 11	13 18 35 59.571	-19 48 39.70	33.286242 48	
16 18 35 37.253	-19 18 1.63	31.260137 25	17 18 36 34.722	-19 48 38.21	33.306478 15		
20 18 35 12.243	-19 18 42.10	31.248807 98	21 18 37 10.315	-19 48 34.13	33.322136 45		
24 18 34 46.874	-19 19 24.69	31.242103 00	25 18 37 46.209	-19 48 27.58	33.333172 78		
28 18 34 21.306	-19 20 9.26	31.240056 98	29 18 38 22.273	-19 48 18.65	33.339561 27		

CÉRÈS 2012 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 ua	Date	asc. droite			déclinaison			distance ua		
	h	m	s	°	'	"			h	m	s	°	'	"			
Janv.	0	23	53	40.630	-11	1	25.21	3.010 744 46	Juill.	2	4	6	52.666	16	33	39.72	3.535 928 36
	4	23	57	14.057	-10	23	48.88	3.062 427 27		6	4	13	1.276	16	54	19.20	3.500 064 72
	8	0	0	58.383	-9	45	32.48	3.113 230 16		10	4	19	7.926	17	13	59.55	3.462 521 73
	12	0	4	52.862	-9	6	40.04	3.163 041 57		14	4	25	12.224	17	32	41.02	3.423 327 49
	16	0	8	56.860	-8	27	14.99	3.211 759 33		18	4	31	13.709	17	50	24.12	3.382 522 27
Févr.	20	0	13	9.838	-7	47	20.57	3.259 274 08	Août	22	4	37	11.873	18	7	9.67	3.340 161 69
	24	0	17	31.274	-7	7	0.33	3.305 464 52		26	4	43	6.204	18	22	58.81	3.296 317 61
	28	0	22	0.605	-6	26	18.19	3.350 212 40		30	4	48	56.237	18	37	53.03	3.251 069 82
	1	0	26	37.259	-5	45	18.05	3.393 420 36		3	4	54	41.549	18	51	54.01	3.204 487 32
	5	0	31	20.705	-5	4	3.41	3.435 011 12		7	5	0	21.665	19	5	3.63	3.156 621 30
Mars	9	0	36	10.481	-4	22	37.39	3.474 923 91	Sept.	11	5	5	55.994	19	17	24.00	3.107 521 84
	13	0	41	6.222	-7	7	2.63	3.513 106 09		15	5	11	23.853	19	28	57.57	3.057 252 89
	17	0	46	7.644	-2	59	21.70	3.549 495 14		19	5	16	44.492	19	39	47.19	3.005 895 08
	21	0	51	14.461	-2	17	37.51	3.584 014 72		23	5	21	57.145	19	49	56.08	2.953 549 47
	25	0	56	26.342	-1	35	53.34	3.616 591 44		27	5	27	1.096	19	59	27.79	2.900 326 93
Avril	29	1	1	42.937	-0	54	12.47	3.647 169 54	Oct.	31	5	31	55.660	20	8	26.11	2.846 328 71
	4	1	7	3.921	-0	12	37.94	3.675 711 50		4	5	36	40.081	20	16	55.12	2.791 642 12
	8	1	12	29.016	0	28	47.54	3.702 194 85		8	5	41	13.465	20	24	59.24	2.736 356 84
	12	1	17	58.021	1	10	1.61	3.726 605 52		12	5	45	34.799	20	32	43.32	2.680 578 67
	16	1	23	30.807	1	51	2.06	3.748 917 05		16	5	49	42.985	20	40	12.60	2.624 434 45
Mai	20	1	29	7.226	2	31	46.32	3.769 087 31	Nov.	20	5	53	36.894	20	47	32.61	2.568 076 34
	24	1	34	47.077	3	12	11.51	3.787 076 63		24	5	57	15.461	20	54	49.06	2.511 670 30
	28	1	40	30.129	3	52	14.77	3.802 860 43		28	6	0	37.656	21	2	7.70	2.455 375 37
	1	1	46	16.161	4	31	53.44	3.816 430 62		2	6	3	42.366	21	9	34.48	2.399 341 33
	5	1	52	4.981	5	11	5.10	3.827 793 18		6	6	6	28.334	21	17	15.54	2.343 727 06
Juin	9	1	57	56.462	5	49	47.69	3.836 961 94	Déc.	10	6	8	54.195	21	25	17.11	2.288 711 45
	13	2	3	50.540	6	27	59.30	3.843 938 03		14	6	10	58.529	21	33	45.30	2.234 500 33
	17	2	9	47.125	7	5	37.72	3.848 704 12		18	6	12	39.948	21	42	45.87	2.181 329 65
	21	2	15	46.060	7	42	40.50	3.851 244 26		22	6	13	57.245	21	52	23.84	2.129 452 90
	25	2	21	47.152	8	19	5.25	3.851 556 40		26	6	14	49.378	22	2	43.38	2.079 115 72
Juillet	29	2	27	50.201	8	54	49.73	3.849 653 07	Nov.	30	6	15	15.348	22	13	47.87	2.030 558 02
	3	2	33	55.027	9	29	51.96	3.845 560 33		3	6	15	14.187	22	25	39.68	1.984 030 06
	7	2	40	1.503	10	4	10.28	3.839 311 67		7	6	14	45.064	22	38	19.87	1.939 801 40
	11	2	46	9.562	10	37	43.17	3.830 928 12		11	6	13	47.401	22	51	47.78	1.898 163 41
	15	2	52	19.104	11	10	28.93	3.820 409 87		15	6	12	21.044	23	6	0.66	1.859 428 25
Août	19	2	58	29.952	11	42	25.70	3.807 757 80	Déc.	19	6	10	26.494	23	20	53.42	1.823 908 12
	23	3	4	41.881	12	13	31.68	3.792 985 15		23	6	8	4.886	23	36	18.95	1.791 885 20
	27	3	10	54.648	12	43	45.28	3.776 119 37		27	6	5	17.834	23	52	8.55	1.763 611 13
	31	3	17	8.020	13	13	5.16	3.757 201 20		1	6	2	7.458	24	8	12.17	1.739 320 41
	4	3	23	21.814	13	41	30.28	3.736 278 40		5	5	58	36.457	24	24	18.66	1.719 231 97
Sept.	8	3	29	35.899	14	8	59.77	3.713 386 88	Janv.	9	5	54	48.176	24	40	16.23	1.703 545 32
	12	3	35	50.109	14	35	32.69	3.688 541 20		13	5	50	46.670	24	55	53.08	1.692 431 38
	16	3	42	4.189	15	1	8.00	3.661 755 01		17	5	46	36.720	25	10	58.22	1.686 009 39
	20	3	48	17.823	15	25	44.85	3.633 054 19		21	5	42	23.503	25	25	22.71	1.684 317 44
	24	3	54	30.667	15	49	22.60	3.602 478 77		25	5	38	12.190	25	39	0.29	1.687 325 58
28	4	0	42.381	16	12	0.90	3.570 083 05	29	5	34	7.755	25	51	47.41	1.694 956 49		

PALLAS 2012 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2451545.0).

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Janv.	0 20 56 33.156	- 2 26 37.71	4.06103109	Juill.	2 0 30 10.687	5 39 39.33	2.93007252
	4 21 1 33.844	- 2 26 41.71	4.09333238		6 0 32 41.449	5 32 4.30	2.86527474
	8 21 6 37.575	- 2 25 17.32	4.12326405		10 0 34 59.248	5 21 57.94	2.80069137
	12 21 11 43.974	- 2 22 28.28	4.15076330		14 0 37 3.175	5 9 10.42	2.73652811
	16 21 16 52.730	- 2 18 18.04	4.17576578		18 0 38 52.304	4 53 31.96	2.67301854
	20 21 22 3.544	- 2 12 49.99	4.19819464	22 0 40 25.741	4 34 53.22	2.61041925	
	24 21 27 16.076	- 2 6 7.79	4.21796868	26 0 41 42.678	4 13 5.74	2.54900113	
Févr.	28 21 32 29.950	- 1 58 15.57	4.23502296	30 0 42 42.411	3 48 2.08	2.48903369	
	1 21 37 44.807	- 1 49 17.60	4.24931791	Août 3 0 43 24.275	3 19 35.55	2.43077606	
	5 21 43 0.333	- 1 39 18.07	4.26083059	7 0 43 47.565	2 47 40.16	2.37449253	
		9 21 48 16.272	- 1 28 20.98	4.26954745	11 0 43 51.597	2 12 11.34	2.32047292
	13 21 53 32.421	- 1 16 30.01	4.27545280	15 0 43 35.841	1 33 7.16	2.26903134	
	17 21 58 48.586	- 1 3 48.78	4.27851666	19 0 42 59.998	0 50 29.08	2.22049668	
	21 22 4 4.527	- 0 50 21.22	4.27870509	23 0 42 4.104	0 4 22.82	2.17519848	
	25 22 9 19.962	- 0 36 11.65	4.27600060	27 0 40 48.543	- 0 45 1.43	2.13344457	
Mars	29 22 14 34.618	- 0 21 24.50	4.27040898	Sept.	31 0 39 13.963	- 1 37 29.41	2.09551167
	4 22 19 48.258	- 0 6 4.10	4.26195188		4 0 37 21.216	- 2 32 42.70	2.06166042
	8 22 25 0.688	0 9 45.43	4.25066003		8 0 35 11.452	- 3 30 17.88	2.03214593
	12 22 30 11.769	0 26 0.30	4.23656190		12 0 32 46.234	- 4 29 46.02	2.00720808
	16 22 35 21.362	0 42 36.74	4.21966885		16 0 30 7.596	- 5 30 32.86	1.98705601
	20 22 40 29.270	0 59 30.64	4.19998796	20 0 27 18.073	- 6 31 59.59	1.97184956	
	24 22 45 35.248	1 16 37.49	4.17754306	24 0 24 20.591	- 7 33 24.89	1.96167379	
Avril	28 22 50 39.050	1 33 52.70	4.15237900	28 0 21 18.245	- 8 34 7.28	1.95654110	
	1 22 55 40.451	1 51 11.74	4.12455580	Oct. 2 0 18 14.155	- 9 33 26.45	1.95641316	
	5 23 0 39.264	2 8 30.29	4.09414185	6 0 15 11.500	-10 30 43.72	1.96121268	
		9 23 5 35.345	2 25 44.28	4.06120291	10 0 12 13.496	-11 25 23.08	1.97081994
	13 23 10 28.550	2 42 49.69	4.02578584	14 0 9 23.360	-12 16 52.28	1.98506773	
	17 23 15 18.657	2 59 42.01	3.98793249	18 0 6 44.235	-13 4 44.06	2.00373448	
	21 23 20 5.383	3 16 16.31	3.94770152	22 0 4 19.010	-13 48 37.72	2.02653630	
	25 23 24 48.432	3 32 27.50	3.90517204	26 0 2 10.083	-14 28 19.82	2.05314825	
Mai	29 23 29 27.519	3 48 10.54	3.86043765	Nov.	30 0 0 19.351	-15 3 42.94	2.08323692
	3 23 34 2.384	4 3 20.50	3.81360025		3 23 58 48.312	-15 34 44.18	2.11647321
	7 23 38 32.801	4 17 52.65	3.76475871		7 23 57 38.140	-16 1 24.39	2.15252942
	11 23 42 58.537	4 31 42.20	3.71399334		11 23 56 49.727	-16 23 47.59	2.19107723
	15 23 47 19.260	4 44 43.73	3.66137850		15 23 56 23.714	-16 42 0.59	2.23178123
	19 23 51 34.557	4 56 51.26	3.60700732	19 23 56 20.416	-16 56 13.33	2.27429034	
	23 23 55 43.987	5 7 58.60	3.55099368	23 23 56 39.733	-17 6 38.28	2.31825952	
	27 23 59 47.106	5 17 59.46	3.49346704	27 23 57 21.245	-17 13 28.82	2.36337488	
Juin	31 24 3 43.487	5 26 47.60	3.43456615	Déc. 1 23 58 24.376	-17 16 58.11	2.40935339	
	4 0 7 32.729	5 34 16.88	3.37442705	5 23 59 48.478	-17 17 18.85	2.45593503	
		8 0 11 14.408	5 40 20.89	3.31316940	9 0 1 32.877	-17 14 43.22	2.50287473
	12 0 14 47.977	5 44 52.44	3.25090881	13 0 3 36.888	-17 9 23.15	2.54993245	
	16 0 18 12.789	5 47 43.63	3.18778250	17 0 5 59.765	-17 1 30.92	2.59686301	
	20 0 21 28.155	5 48 46.24	3.12395138	21 0 8 40.596	-16 51 19.10	2.64343540	
	24 0 24 33.374	5 47 51.92	3.05959513	25 0 11 38.401	-16 38 59.46	2.68945205	
	28 0 27 27.768	5 44 52.36	2.99490533	29 0 14 52.240	-16 24 42.55	2.73474574	

JUNON 2012 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 15 27 0.299	-10 7 34.11	3.88224782	Juill.	2 15 34 8.085	- 2 30 9.99	2.60354541	
	4 15 31 43.131	-10 14 37.81	3.84109042		6 15 32 54.231	- 2 39 35.65	2.64488316	
	8 15 36 19.848	-10 20 23.89	3.79795543		10 15 31 59.168	- 2 50 45.35	2.68856001	
	12 15 40 49.940	-10 24 51.19	3.75294465		14 15 31 23.093	- 3 3 31.49	2.73432952	
	16 15 45 12.851	-10 27 58.43	3.70615351		18 15 31 6.069	- 3 17 46.05	2.78193610	
	20 15 49 27.923	-10 29 44.32	3.65768285		22 15 31 8.005	- 3 33 20.66	2.83111553	
	24 15 53 34.419	-10 30 7.80	3.60765831		26 15 31 28.625	- 3 50 6.66	2.88159908	
Févr.	28 15 57 31.594	-10 29 8.25	3.55623385	Août	30 15 32 7.462	- 4 7 55.45	2.93312747	
	1 16 1 18.749	-10 26 45.44	3.50357464		3 15 33 3.921	- 4 26 38.95	2.98546980	
	5 16 4 55.206	-10 22 59.34	3.44984569		7 15 34 17.414	- 4 46 9.91	3.03842351	
		9 16 8 20.285	-10 17 49.98		3.39520762	11 15 35 47.413	- 5 6 21.51	3.09179347
	13 16 11 33.258	-10 11 17.38	3.33981473		15 15 37 33.395	- 5 27 7.07	3.14538030	
17 16 14 33.293	-10 3 21.65	3.28382895	19 15 39 34.820	- 5 48 19.97	3.19898083			
21 16 17 19.484	- 9 54 3.34	3.22744065	23 15 41 51.085	- 6 9 53.65	3.25238962			
25 16 19 50.956	- 9 43 23.65	3.17086785	27 15 44 21.506	- 6 31 41.78	3.30541438			
	29 16 22 6.903	- 9 31 24.29	3.11434036	Sept.	31 15 47 5.383	- 6 53 38.65	3.35789235	
Mars	4 16 24 6.584	- 9 18 7.36	3.05808830		4 15 50 2.091	- 7 15 39.17	3.40968473	
	8 16 25 49.297	- 9 3 35.24	3.00233784		8 15 53 11.098	- 7 37 38.59	3.46065691	
	12 16 27 14.337	- 8 47 50.55	2.94730807		12 15 56 31.916	- 7 59 32.24	3.51066896	
	16 16 28 20.938	- 8 30 56.34	2.89322715		16 16 0 4.066	- 8 21 15.49	3.55957494	
	20 16 29 8.344	- 8 12 56.61	2.84035292	20 16 3 47.039	- 8 42 43.69	3.60722407		
	24 16 29 35.941	- 7 53 56.50	2.78896738	24 16 7 40.262	- 9 3 52.38	3.65347836		
Avril	28 16 29 43.313	- 7 34 2.13	2.73935852	Oct.	28 16 11 43.166	- 9 24 37.55	3.69822740	
	1 16 29 30.237	- 7 13 20.45	2.69180868		2 16 15 55.260	- 9 44 55.62	3.74138097	
	5 16 28 56.675	- 6 51 59.16	2.64658830		6 16 20 16.133	-10 4 43.16	3.78284963	
		9 16 28 2.739	- 6 30 6.66		2.60395249	10 16 24 45.412	-10 23 56.80	3.82253816
13 16 26 48.631	- 6 7 52.23	2.56415537	14 16 29 22.727	-10 42 33.14	3.86034346			
17 16 25 14.763	- 5 45 26.73	2.52746971	18 16 34 7.674	-11 0 28.80	3.89615639			
21 16 23 21.912	- 5 23 2.45	2.49417171	22 16 38 59.784	-11 17 40.52	3.92987881			
25 16 21 11.245	- 5 0 52.69	2.46451910	26 16 43 58.584	-11 34 5.44	3.96144121			
	29 16 18 44.288	- 4 39 11.29	2.43873855	Nov.	30 16 49 3.669	-11 49 41.01	3.99079120	
Mai	3 16 16 2.876	- 4 18 12.30	2.41701748		3 16 54 14.697	-12 4 24.78	4.01787640	
	7 16 13 9.051	- 3 58 9.47	2.39950170		7 16 59 31.351	-12 18 14.32	4.04263858	
	11 16 10 4.973	- 3 39 16.41	2.38631157		11 17 4 53.313	-12 31 7.24	4.06501187	
	15 16 6 53.008	- 3 21 46.83	2.37755809		15 17 10 20.227	-12 43 1.19	4.08492358	
	19 16 3 35.808	- 3 3 54.02	2.37332293	19 17 15 51.661	-12 53 54.03	4.10231192		
	23 16 0 16.222	- 2 51 49.94	2.37363956	23 17 21 27.173	-13 3 43.98	4.11714358		
	27 15 56 57.172	- 2 39 44.64	2.37848653	27 17 27 6.383	-13 12 29.53	4.12940260		
Juin	31 15 53 41.515	- 2 29 45.88	2.38778745	Déc.	1 17 32 48.966	-13 20 9.25	4.13907293	
	4 15 50 31.902	- 2 21 58.90	2.40141884		5 17 38 34.613	-13 26 41.78	4.14613285	
		8 15 47 30.689	- 2 16 26.98		2.41923466	9 17 44 23.015	-13 32 5.83	4.15055322
	12 15 44 40.044	- 2 13 11.98	2.44108281		13 17 50 13.822	-13 36 20.25	4.15229944	
	16 15 42 2.008	- 2 12 14.14	2.46678809	17 17 56 6.605	-13 39 24.15	4.15134547		
	20 15 39 38.418	- 2 13 31.65	2.49614095	21 18 2 0.925	-13 41 17.04	4.14769543		
	24 15 37 30.825	- 2 17 0.74	2.52889935	25 18 7 56.399	-13 41 58.65	4.14137060		
	28 15 35 40.440	- 2 22 35.84	2.56479449	29 18 13 52.697	-13 41 28.82	4.13239227		

VESTA 2012 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2451545.0).

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	22	33	17.434	-15	16	7.08	2.79281180	Juill.	2	3	42	27.921	14	26	52.18	3.16184140
	4	22	39	45.267	-14	35	23.29	2.83814927		6	3	48	53.055	14	46	58.48	3.12833556
	8	22	46	15.732	-13	53	56.48	2.88230590		10	3	55	14.457	15	5	50.15	3.09332680
	12	22	52	48.490	-13	11	49.84	2.92523669		14	4	1	31.677	15	23	27.03	3.05683706
	16	22	59	23.304	-12	29	6.26	2.96689599		18	4	7	44.186	15	39	49.18	3.01890194
	20	23	6	0.004	-11	45	48.75	3.00722359		22	4	13	51.407	15	54	56.99	2.97957302
	24	23	12	38.398	-11	2	0.86	3.04614617		26	4	19	52.757	16	8	51.22	2.93891795
	28	23	19	18.231	-10	17	46.69	3.08359537		30	4	25	47.703	16	21	33.04	2.89701120
Févr.	1	23	25	59.245	-9	33	10.29	3.11952198	Août	3	4	31	35.745	16	33	3.78	2.85391575
	5	23	32	41.228	-8	48	15.46	3.15389162		7	4	37	16.314	16	43	24.87	2.80967832
	9	23	39	24.033	-8	3	5.62	3.18667984		11	4	42	48.704	16	52	37.87	2.76434729
	13	23	46	7.598	-7	17	43.80	3.21786276		15	4	48	12.103	17	0	44.67	2.71798699
	17	23	52	51.911	-6	32	13.07	3.24740114		19	4	53	25.631	17	7	47.55	2.67067987
	21	23	59	36.929	-5	46	36.99	3.27524204		23	4	58	28.389	17	13	49.22	2.62252935
	25	24	6	22.543	-5	0	59.50	3.30133735		27	5	3	19.531	17	18	52.73	2.57364819
Mars	29	24	13	8.622	-4	15	24.55	3.32565594	Sept.	31	5	7	58.238	17	23	1.33	2.52413966
	4	0	19	55.060	-3	29	55.79	3.34818145		4	5	12	23.598	17	26	18.43	2.47409548
	8	0	26	41.796	-2	44	36.52	3.36890811		8	5	16	34.537	17	28	47.67	2.42361325
	12	0	33	28.840	-1	59	29.64	3.38783275		12	5	20	29.860	17	30	33.08	2.37280981
	16	0	40	16.248	-1	14	37.99	3.40493559		16	5	24	8.283	17	31	39.09	2.32182559
	20	0	47	4.037	-0	30	4.83	3.42018187		20	5	27	28.509	17	32	10.49	2.27082803
	24	0	53	52.148	-0	14	6.26	3.43354140		24	5	30	29.328	17	32	12.30	2.21998555
	28	1	0	40.495	0	57	51.74	3.44499896		28	5	33	9.580	17	31	49.58	2.16951268
Avril	1	1	7	28.996	1	41	8.30	3.45455374	Oct.	2	5	35	28.023	17	31	7.42	2.11954008
	5	1	14	17.600	2	23	53.00	3.46221585		6	5	37	23.293	17	30	11.09	2.07026386
	9	1	21	6.316	3	6	3.27	3.46799909		10	5	38	53.959	17	29	5.99	2.02189091
	13	1	27	55.202	3	47	36.66	3.47190098		14	5	39	58.610	17	27	57.62	1.97465783
	17	1	34	44.267	4	28	30.38	3.47390174		18	5	40	35.974	17	26	51.41	1.92883230
	21	1	41	33.439	5	8	41.37	3.47398515		22	5	40	45.097	17	25	52.47	1.88469771
	25	1	48	22.607	5	48	6.63	3.47214923		26	5	40	25.314	17	25	5.33	1.84252789
Mai	29	1	55	11.650	6	26	43.40	3.46840543	Nov.	30	5	39	36.142	17	24	34.03	1.80259099
	3	2	2	0.468	7	4	29.21	3.46277668		3	5	38	17.303	17	24	22.15	1.76516496
	7	2	8	49.015	7	41	22.01	3.45529018		7	5	36	28.864	17	24	32.73	1.73054377
	11	2	15	37.290	8	17	19.88	3.44595799		11	5	34	11.392	17	25	8.26	1.69903658
	15	2	22	25.245	8	52	20.62	3.43477248		15	5	31	26.129	17	26	10.57	1.67096225
	19	2	29	12.736	9	26	21.86	3.42172901		19	5	28	15.201	17	27	40.74	1.64662306
	23	2	35	59.568	9	59	21.31	3.40683607		23	5	24	41.488	17	29	39.21	1.62627443
	27	2	42	45.528	10	31	16.91	3.39011586		27	5	20	48.402	17	32	6.09	1.61012682
	31	2	49	30.413	11	2	6.95	3.37160257	Déc.	1	5	16	39.834	17	35	1.49	1.59835843
Juin	4	2	56	14.069	11	31	50.05	3.35133512		5	5	12	20.150	17	38	25.76	1.59111564
	8	3	2	56.386	12	0	25.02	3.32933860		9	5	7	54.148	17	42	19.66	1.58850868
	12	3	9	37.205	12	27	50.52	3.30561784		13	5	3	27.004	17	46	44.45	1.59060275
	16	3	16	16.258	12	54	5.07	3.28017924		17	4	59	4.161	17	51	41.94	1.59739670
	20	3	22	53.214	13	19	7.38	3.25304242	21	4	54	50.892	17	57	14.28	1.60880296	
	24	3	29	27.708	13	42	56.40	3.22424133		25	4	50	51.920	18	3	23.90	1.62467072
	28	3	35	59.382	14	5	31.44	3.19382339		29	4	47	11.322	18	10	13.35	1.64481139

SATELLITES DE MARS

Coordonnées tangentielles (X,Y)
aux heures les plus proches des plus grandes élongations *est*

PHOBOS	II. 98
DÉIMOS	II. 106

PHOBOS 2012

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est*

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.	31 23	11.663	-3.389	Janv.	16 6	12.140	-1.737	Janv.	31 14	14.981	-6.061
Janv.	1 7	11.433	-4.884		16 14	13.169	-3.820		31 22	13.935	-7.652
	1 14	11.146	-1.854		16 22	13.126	-5.603	Févr.	1 5	15.000	-4.274
	1 22	11.767	-3.607		17 5	12.399	-2.002		1 13	15.035	-6.315
	2 6	11.438	-5.079		17 13	13.321	-4.078		1 20	14.047	-2.195
	2 13	11.334	-2.080		17 21	13.158	-5.831		2 4	15.184	-4.563
	2 21	11.862	-3.826		18 4	12.651	-2.270		2 12	15.070	-6.564
	3 5	11.432	-5.273		18 12	13.462	-4.334		2 19	14.353	-2.501
	3 12	11.516	-2.309		18 20	13.176	-6.056		3 3	15.352	-4.849
	3 20	11.948	-4.046		19 3	12.894	-2.540		3 11	15.086	-6.807
	4 4	11.416	-5.464		19 11	13.591	-4.591		3 18	14.645	-2.807
	4 11	11.690	-2.540		19 19	13.181	-6.278		4 2	15.502	-5.132
	4 19	12.025	-4.264		20 2	13.127	-2.812		4 10	15.082	-7.043
	5 3	11.390	-5.653		20 10	13.707	-4.846		4 17	14.924	-3.113
	5 10	11.856	-2.774		20 18	13.171	-6.495		5 1	15.635	-5.411
	5 18	12.092	-4.483		21 1	13.351	-3.086		5 9	15.057	-7.272
	6 2	11.353	-5.840		21 9	13.811	-5.100		5 16	15.188	-3.418
	6 9	12.015	-3.008		21 17	13.146	-6.709		6 0	15.748	-5.686
	6 17	12.149	-4.700		22 0	13.565	-3.360		6 8	15.010	-7.494
	7 1	11.304	-6.023		22 8	13.902	-5.352		6 15	15.435	-3.723
	7 8	12.166	-3.244		22 16	13.106	-6.917		6 23	15.841	-5.956
	7 16	12.196	-4.916		22 23	13.768	-3.635		7 7	14.941	-7.708
	7 23	11.385	-1.558		23 7	13.978	-5.601		7 14	15.665	-4.025
	8 7	12.307	-3.481		23 15	13.050	-7.120		7 22	15.914	-6.220
	8 15	12.232	-5.131		23 22	13.959	-3.911		8 6	14.850	-7.912
	8 22	11.614	-1.801		24 6	14.040	-5.847		8 13	15.877	-4.324
	9 6	12.440	-3.719		24 13	13.030	-1.950		8 21	15.965	-6.478
	9 14	12.258	-5.345		24 21	14.137	-4.186		9 4	14.816	-2.137
	9 21	11.837	-2.047		25 5	14.086	-6.090		9 12	16.071	-4.621
	10 5	12.563	-3.956		25 12	13.317	-2.237		9 20	15.994	-6.730
	10 13	12.271	-5.556		25 20	14.303	-4.461		10 3	15.142	-2.453
	10 20	12.053	-2.295		26 4	14.117	-6.329		10 11	16.244	-4.913
	11 4	12.677	-4.194		26 11	13.594	-2.526		10 19	16.000	-6.974
	11 12	12.273	-5.764		26 19	14.454	-4.734		11 2	15.451	-2.769
	11 19	12.261	-2.545		27 3	14.131	-6.564		11 10	16.396	-5.200
	12 3	12.780	-4.432		27 10	13.860	-2.817		11 18	15.982	-7.209
	12 11	12.263	-5.970		27 18	14.591	-5.005		12 1	15.743	-3.083
	12 18	12.461	-2.797		28 2	14.128	-6.794		12 9	16.527	-5.483
	13 2	12.872	-4.669		28 9	14.114	-3.109		12 17	15.939	-7.435
	13 10	12.241	-6.172		28 17	14.714	-5.274		13 0	16.016	-3.395
	13 17	12.652	-3.051		29 1	14.108	-7.018		13 8	16.634	-5.759
	14 1	12.954	-4.905		29 8	14.356	-3.401		13 16	15.872	-7.652
	14 9	12.206	-6.371		29 16	14.820	-5.540		13 23	16.270	-3.704
	14 16	12.834	-3.307		30 0	14.069	-7.236		14 7	16.718	-6.029
	15 0	13.023	-5.140		30 7	14.585	-3.693		14 15	15.780	-7.860
	15 8	12.157	-6.566		30 15	14.909	-5.803		14 22	16.502	-4.010
	15 15	13.007	-3.563		30 23	14.011	-7.448		15 6	16.777	-6.291
	15 23	13.081	-5.372		31 6	14.800	-3.984		15 14	15.661	-8.056

PHOBOS 2012

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est*

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	"	"
Févr.	15 21	16.713	-4.311	Mars	2 4	16.686	-1.685	Mars	17 12	17.636	-5.535
	16 5	16.811	-6.544		2 12	18.016	-4.248		17 19	16.872	-1.309
	16 12	15.571	-2.045		2 20	17.830	-6.451		18 3	17.914	-3.662
	16 20	16.900	-4.607		3 3	16.970	-1.985		18 11	17.444	-5.698
	17 4	16.819	-6.789		3 11	18.108	-4.507		18 18	17.033	-1.564
	17 11	15.903	-2.365		3 19	17.723	-6.648		19 2	17.883	-3.875
	17 19	17.064	-4.897		4 2	17.226	-2.278		19 10	17.227	-5.851
	18 3	16.801	-7.024		4 10	18.170	-4.757		19 17	17.165	-1.813
	18 10	16.214	-2.683		4 18	17.585	-6.834		20 1	17.824	-4.080
	18 18	17.202	-5.180		5 1	17.453	-2.565		20 9	16.985	-5.996
	19 2	16.755	-7.250		5 9	18.200	-4.998		20 16	17.268	-2.056
	19 9	16.504	-2.997		5 17	17.418	-7.008		21 0	17.738	-4.276
	19 17	17.314	-5.456		6 0	17.650	-2.845		21 8	16.719	-6.130
	20 1	16.681	-7.465		6 8	18.199	-5.229		21 15	17.342	-2.291
	20 8	16.770	-3.307		6 16	17.220	-7.170		21 23	17.625	-4.464
	20 16	17.399	-5.724		6 23	17.817	-3.118		22 7	16.429	-6.256
	21 0	16.578	-7.669		7 7	18.167	-5.449		22 14	17.388	-2.520
	21 7	17.011	-3.612		7 15	16.993	-7.320		22 22	17.486	-4.644
	21 15	17.457	-5.983		7 22	17.953	-3.383		23 6	16.118	-6.372
	21 23	16.448	-7.860		8 6	18.104	-5.658		23 13	17.407	-2.742
	22 6	17.228	-3.911		8 14	16.737	-7.458		23 21	17.322	-4.815
	22 14	17.487	-6.233		8 21	18.058	-3.639		24 4	16.198	-0.678
	22 22	16.288	-8.040		9 5	18.010	-5.857		24 12	17.399	-2.957
23 5	17.419	-4.204	9 12	16.850	-1.394	24 20	17.134	-4.979			
23 13	17.488	-6.473	9 20	18.133	-3.887	25 3	16.345	-0.923			
23 20	16.230	-1.901	10 4	17.886	-6.046	25 11	17.365	-3.166			
24 4	17.582	-4.489	10 11	17.089	-1.675	25 19	16.922	-5.134			
24 12	17.459	-6.703	10 19	18.176	-4.126	26 2	16.466	-1.162			
24 19	16.548	-2.215	11 3	17.732	-6.224	26 10	17.306	-3.367			
25 3	17.717	-4.768	11 10	17.297	-1.949	26 18	16.689	-5.281			
25 11	17.401	-6.922	11 18	18.189	-4.356	27 1	16.561	-1.395			
25 18	16.840	-2.524	12 2	17.548	-6.391	27 9	17.221	-3.562			
26 2	17.824	-5.037	12 9	17.476	-2.216	27 17	16.435	-5.421			
26 10	17.313	-7.129	12 17	18.170	-4.576	28 0	16.630	-1.624			
26 17	17.107	-2.829	13 1	17.336	-6.546	28 8	17.113	-3.750			
27 1	17.901	-5.298	13 8	17.624	-2.476	28 16	16.161	-5.552			
27 9	17.195	-7.324	13 16	18.122	-4.787	28 23	16.673	-1.847			
27 16	17.346	-3.127	14 0	17.096	-6.691	29 7	16.982	-3.930			
28 0	17.948	-5.549	14 7	17.742	-2.729	29 15	15.868	-5.676			
28 8	17.046	-7.508	14 15	18.044	-4.989	29 22	16.693	-2.065			
28 15	17.558	-3.419	14 23	16.830	-6.825	30 6	16.829	-4.104			
28 23	17.964	-5.790	15 6	17.830	-2.974	30 14	15.557	-5.793			
29 7	16.867	-7.679	15 14	17.936	-5.181	30 21	16.688	-2.277			
29 14	17.740	-3.703	15 22	16.538	-6.948	31 5	16.655	-4.271			
29 22	17.950	-6.021	16 5	17.887	-3.211	31 12	15.455	-0.316			
Mars	1 6	16.659	-7.838	16 13	17.800	-5.363	Avril	31 20	16.660	-2.483	
	1 13	17.893	-3.979	16 20	16.683	-1.048		1 4	16.461	-4.432	
	1 21	17.906	-6.241	17 4	17.915	-3.441		1 11	15.573	-0.548	

PHOBOS 2012

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est*

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	1 19	16.609	-2.683	Avril	17 2	13.689	-0.107	Mai	2 10	13.001	-3.051
	2 3	16.247	-4.585		17 10	14.719	-2.038		2 18	12.118	-4.479
	2 10	15.668	-0.775		17 18	14.514	-3.791		3 1	12.773	-1.546
	2 18	16.537	-2.878		18 1	13.752	-0.314		3 9	12.860	-3.205
	3 2	16.015	-4.732		18 9	14.644	-2.223		3 17	11.880	-4.592
	3 9	15.740	-0.998		18 17	14.310	-3.938		4 0	12.730	-1.725
	3 17	16.444	-3.068		19 0	13.799	-0.519		4 8	12.709	-3.355
	4 1	15.767	-4.873		19 8	14.556	-2.404		4 15	11.746	-0.137
	4 8	15.790	-1.216		19 16	14.095	-4.080		4 23	12.677	-1.900
	4 16	16.330	-3.251		19 23	13.830	-0.721		5 7	12.550	-3.500
	5 0	15.502	-5.006		20 7	14.453	-2.580		5 14	11.791	-0.326
5 7	15.818	-1.430	20 15	13.869	-4.218	5 22	12.613	-2.072			
5 15	16.198	-3.429	20 22	13.845	-0.920	6 6	12.383	-3.641			
5 23	15.222	-5.133	21 6	14.337	-2.753	6 13	11.824	-0.513			
6 6	15.825	-1.640	21 14	13.633	-4.350	6 21	12.538	-2.242			
6 14	16.047	-3.602	21 21	13.845	-1.116	7 5	12.209	-3.778			
6 22	14.928	-5.254	22 5	14.209	-2.921	7 12	11.847	-0.699			
7 5	15.812	-1.845	22 13	13.388	-4.477	7 20	12.455	-2.407			
7 13	15.878	-3.768	22 20	13.831	-1.309	8 4	12.027	-3.910			
7 21	14.621	-5.368	23 4	14.068	-3.086	8 11	11.859	-0.882			
8 4	15.778	-2.046	23 12	13.134	-4.599	8 19	12.362	-2.569			
8 12	15.693	-3.929	23 19	13.803	-1.499	9 3	11.838	-4.038			
8 19	14.638	-0.204	24 3	13.916	-3.246	9 10	11.860	-1.063			
9 3	15.726	-2.242	24 11	12.872	-4.716	9 18	12.260	-2.728			
9 11	15.492	-4.083	24 18	13.762	-1.686	10 2	11.643	-4.162			
9 18	14.721	-0.422	25 2	13.753	-3.401	10 9	11.851	-1.242			
10 2	15.655	-2.434	25 9	12.689	-0.024	10 17	12.150	-2.883			
10 10	15.276	-4.233	25 17	13.707	-1.869	11 1	11.442	-4.281			
10 17	14.784	-0.637	26 1	13.579	-3.552	11 8	11.832	-1.418			
11 1	15.567	-2.620	26 8	12.745	-0.222	11 16	12.032	-3.035			
11 9	15.046	-4.376	26 16	13.640	-2.049	12 0	11.235	-4.396			
11 16	14.827	-0.848	27 0	13.396	-3.698	12 7	11.803	-1.592			
12 0	15.462	-2.802	27 7	12.787	-0.419	12 15	11.905	-3.183			
12 8	14.803	-4.514	27 15	13.561	-2.225	12 23	11.023	-4.506			
12 15	14.852	-1.056	27 23	13.203	-3.840	13 6	11.765	-1.763			
12 23	15.340	-2.979	28 6	12.816	-0.613	13 14	11.772	-3.327			
13 7	14.546	-4.646	28 14	13.470	-2.398	13 21	10.831	-0.231			
13 14	14.859	-1.259	28 22	13.002	-3.977	14 5	11.718	-1.931			
13 22	15.203	-3.151	29 5	12.832	-0.805	14 13	11.630	-3.467			
14 6	14.278	-4.773	29 13	13.368	-2.567	14 20	10.872	-0.411			
14 13	14.849	-1.460	29 21	12.792	-4.110	15 4	11.662	-2.097			
14 21	15.052	-3.319	30 4	12.835	-0.994	15 12	11.483	-3.604			
15 5	14.000	-4.893	30 12	13.256	-2.732	15 19	10.904	-0.591			
15 12	14.821	-1.656	30 20	12.575	-4.238	16 3	11.598	-2.259			
15 20	14.886	-3.481	Mai 1 3	12.826	-1.181	16 11	11.328	-3.736			
16 4	13.711	-5.008	1 11	13.133	-2.894	16 18	10.926	-0.768			
16 11	14.778	-1.849	1 19	12.350	-4.361	17 2	11.525	-2.419			
16 19	14.706	-3.639	2 2	12.806	-1.365	17 10	11.168	-3.864			

PHOBOS 2012

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est*

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	17 17	10.939	-0.944	Juin	2 1	10.079	-3.408	Juin	17 8	8.589	-1.438
	18 1	11.445	-2.575		2 9	9.301	-4.576		17 16	9.010	-2.917
	18 9	11.001	-3.987		2 16	9.994	-2.107		18 0	8.688	-4.152
	18 16	10.943	-1.118		3 0	9.970	-3.535		18 7	8.595	-1.589
	19 0	11.357	-2.727		3 7	9.227	-0.668		18 15	8.950	-3.046
	19 8	10.829	-4.107		3 15	9.954	-2.258		18 23	8.568	-4.250
	19 15	10.938	-1.289		3 23	9.856	-3.659		19 6	8.595	-1.737
	19 23	11.261	-2.877		4 6	9.258	-0.832		19 14	8.885	-3.173
	20 7	10.652	-4.222		4 14	9.907	-2.407		19 22	8.444	-4.344
	20 14	10.925	-1.459		4 22	9.737	-3.779		20 5	8.589	-1.883
	20 22	11.159	-3.023		5 5	9.281	-0.995		20 13	8.816	-3.297
	21 6	10.469	-4.333		5 13	9.855	-2.552		20 21	8.316	-4.435
	21 13	10.903	-1.625		5 21	9.613	-3.895		21 4	8.579	-2.027
	21 21	11.049	-3.166		6 4	9.298	-1.156		21 12	8.741	-3.417
	22 5	10.282	-4.440		6 12	9.796	-2.695		21 20	8.185	-4.521
	22 12	10.874	-1.790		6 20	9.485	-4.007		22 3	8.563	-2.168
	22 20	10.933	-3.305		7 3	9.308	-1.315		22 11	8.663	-3.534
	23 4	10.091	-4.542		7 11	9.732	-2.834		22 19	8.052	-4.604
	23 11	10.836	-1.952		7 19	9.352	-4.116		23 2	8.541	-2.308
	23 19	10.811	-3.440		8 2	9.311	-1.473		23 10	8.580	-3.647
	24 2	10.003	-0.471		8 10	9.662	-2.971		23 18	7.915	-4.683
	24 10	10.791	-2.111		8 18	9.214	-4.221		24 1	8.515	-2.445
	24 18	10.683	-3.572		9 1	9.308	-1.628		24 9	8.494	-3.757
	25 1	10.037	-0.644		9 9	9.586	-3.104		24 16	7.864	-1.078
	25 9	10.738	-2.267		9 17	9.073	-4.321		25 0	8.483	-2.579
25 17	10.549	-3.699	10 0	9.298	-1.781	25 8	8.403	-3.864			
26 0	10.063	-0.814	10 8	9.505	-3.235	25 15	7.890	-1.227			
26 8	10.679	-2.421	10 16	8.929	-4.418	25 23	8.447	-2.710			
26 16	10.410	-3.823	10 23	9.282	-1.932	26 7	8.309	-3.968			
26 23	10.080	-0.983	11 7	9.419	-3.362	26 14	7.910	-1.375			
27 7	10.612	-2.571	11 15	8.780	-4.510	26 22	8.406	-2.839			
27 15	10.265	-3.943	11 22	9.260	-2.080	27 6	8.210	-4.067			
27 22	10.090	-1.150	12 6	9.328	-3.485	27 13	7.925	-1.520			
28 6	10.539	-2.719	12 14	8.628	-4.599	27 21	8.361	-2.965			
28 14	10.116	-4.059	12 21	9.233	-2.226	28 5	8.109	-4.163			
28 21	10.092	-1.315	13 5	9.232	-3.605	28 12	7.935	-1.664			
29 5	10.459	-2.863	13 12	8.505	-0.819	28 20	8.311	-3.089			
29 13	9.961	-4.171	13 20	9.199	-2.370	29 4	8.004	-4.256			
29 20	10.087	-1.478	14 4	9.132	-3.722	29 11	7.939	-1.806			
30 4	10.373	-3.004	14 11	8.535	-0.976	29 19	8.257	-3.209			
30 12	9.802	-4.278	14 19	9.160	-2.511	30 3	7.896	-4.344			
30 19	10.074	-1.639	15 3	9.027	-3.835	30 10	7.939	-1.946			
31 3	10.281	-3.142	15 10	8.559	-1.132	30 18	8.199	-3.326			
31 11	9.639	-4.382	15 18	9.115	-2.649	Juill.	1 2	7.785	-4.430		
31 18	10.054	-1.797	16 2	8.918	-3.944		1 9	7.934	-2.083		
Juin	1 2	10.183	-3.277	16 9	8.577	-1.286	1 17	8.137	-3.440		
	1 10	9.472	-4.481	16 17	9.065	-2.784	2 1	7.671	-4.511		
	1 17	10.027	-1.954	17 1	8.805	-4.050	2 8	7.925	-2.219		

PHOBOS 2012

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est*

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	"	"
Juill.	2 16	8.071	-3.551	Juill.	17 23	6.733	-1.570	Août	2 7	6.617	-3.420
	3 0	7.554	-4.589		18 7	7.237	-2.961		2 15	6.415	-4.396
	3 7	7.910	-2.352		18 15	7.147	-4.105		2 22	6.285	-2.278
	3 15	8.001	-3.659		18 22	6.752	-1.702		3 6	6.583	-3.514
	3 23	7.435	-4.662		19 6	7.208	-3.073		3 14	6.343	-4.458
	4 6	7.892	-2.483		19 14	7.072	-4.188		3 21	6.290	-2.393
	4 14	7.927	-3.764		19 21	6.767	-1.833		4 5	6.547	-3.605
	4 22	7.313	-4.732		20 5	7.175	-3.183		4 13	6.269	-4.516
	5 5	7.868	-2.611		20 13	6.994	-4.268		4 20	6.292	-2.506
	5 13	7.850	-3.865		20 20	6.778	-1.962		5 4	6.509	-3.692
5 20	7.267	-1.282	21 4	7.138	-3.289	5 12	6.194	-4.572			
6 4	7.841	-2.736	21 12	6.913	-4.344	5 19	6.292	-2.617			
6 12	7.770	-3.963	21 19	6.786	-2.088	6 3	6.468	-3.777			
6 19	7.290	-1.424	22 3	7.099	-3.393	6 11	6.117	-4.623			
7 3	7.809	-2.859	22 11	6.830	-4.416	6 18	6.288	-2.725			
7 11	7.686	-4.057	22 18	6.790	-2.212	7 2	6.425	-3.858			
7 18	7.309	-1.563	23 2	7.057	-3.494	7 10	6.038	-4.672			
8 2	7.774	-2.980	23 10	6.745	-4.485	7 17	6.281	-2.831			
8 10	7.599	-4.148	23 17	6.791	-2.335	8 1	6.380	-3.936			
8 17	7.323	-1.701	24 1	7.011	-3.592	8 9	5.958	-4.716			
9 1	7.734	-3.098	24 9	6.658	-4.551	8 16	6.272	-2.934			
9 9	7.510	-4.236	24 16	6.787	-2.454	9 0	6.332	-4.012			
9 16	7.333	-1.837	25 0	6.963	-3.687	9 8	5.877	-4.758			
10 0	7.691	-3.212	25 8	6.569	-4.613	9 15	6.261	-3.034			
10 8	7.417	-4.319	25 15	6.781	-2.572	9 23	6.283	-4.084			
10 15	7.339	-1.971	25 23	6.912	-3.778	10 7	5.794	-4.795			
10 23	7.644	-3.324	26 7	6.478	-4.671	10 14	6.246	-3.132			
11 7	7.321	-4.400	26 14	6.771	-2.687	10 22	6.232	-4.153			
11 14	7.340	-2.103	26 22	6.858	-3.867	11 5	5.772	-1.968			
11 22	7.593	-3.433	27 6	6.385	-4.726	11 13	6.230	-3.227			
12 6	7.223	-4.477	27 13	6.758	-2.800	11 21	6.178	-4.218			
12 13	7.337	-2.233	27 21	6.802	-3.952	12 4	5.790	-2.082			
12 21	7.539	-3.538	28 5	6.290	-4.777	12 12	6.211	-3.319			
13 5	7.123	-4.550	28 12	6.742	-2.910	12 20	6.123	-4.280			
13 12	7.330	-2.360	28 20	6.743	-4.034	13 3	5.806	-2.195			
13 20	7.481	-3.641	29 3	6.212	-1.671	13 11	6.189	-3.409			
14 4	7.019	-4.619	29 11	6.723	-3.018	13 19	6.066	-4.339			
14 11	7.319	-2.485	29 19	6.682	-4.113	14 2	5.820	-2.305			
14 19	7.421	-3.740	30 2	6.234	-1.797	14 10	6.165	-3.495			
15 3	6.914	-4.684	30 10	6.700	-3.123	14 18	6.008	-4.395			
15 10	7.304	-2.608	30 18	6.618	-4.189	15 1	5.831	-2.414			
15 18	7.357	-3.837	31 1	6.251	-1.920	15 9	6.140	-3.579			
16 2	6.807	-4.746	31 9	6.675	-3.225	15 17	5.948	-4.447			
16 9	7.285	-2.728	31 17	6.552	-4.261	16 0	5.839	-2.520			
16 17	7.290	-3.929	Août 1 0	6.266	-2.042	16 8	6.112	-3.659			
17 0	6.709	-1.436	1 8	6.647	-3.324	16 16	5.887	-4.496			
17 8	7.263	-2.846	1 16	6.485	-4.330	16 23	5.845	-2.624			
17 16	7.220	-4.019	1 23	6.277	-2.161	17 7	6.082	-3.737			

PHOBOS 2012

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est*

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	17 15	5.824	-4.541	Sept.	1 22	5.477	-3.044	Sept.	17 6	5.352	-3.999
	17 22	5.848	-2.725		2 6	5.634	-3.973		17 14	5.073	-4.432
	18 6	6.050	-3.812		2 14	5.335	-4.574		17 21	5.207	-3.300
	18 14	5.760	-4.583		2 21	5.479	-3.125		18 5	5.334	-4.033
	18 21	5.849	-2.823		3 5	5.607	-4.026		18 13	5.031	-4.433
	19 5	6.016	-3.884		3 13	5.280	-4.594		18 20	5.215	-3.360
	19 13	5.694	-4.622		3 20	5.480	-3.204		19 4	5.315	-4.064
	19 20	5.848	-2.920		4 4	5.578	-4.075		19 12	4.988	-4.432
	20 4	5.981	-3.952		4 12	5.225	-4.610		19 19	5.221	-3.418
	20 12	5.628	-4.657		4 19	5.480	-3.280		20 3	5.296	-4.091
	20 19	5.845	-3.013		5 3	5.549	-4.122		20 11	4.945	-4.426
	21 3	5.944	-4.018		5 11	5.169	-4.623		20 18	5.226	-3.473
	21 11	5.560	-4.689		5 18	5.478	-3.353		21 2	5.275	-4.115
	21 18	5.840	-3.104		6 2	5.518	-4.165		21 10	4.901	-4.418
	22 2	5.905	-4.080		6 10	5.112	-4.633		21 17	5.230	-3.524
	22 10	5.491	-4.718		6 17	5.474	-3.424		22 1	5.254	-4.136
	22 17	5.832	-3.192		7 1	5.486	-4.205		22 9	4.856	-4.407
	23 1	5.865	-4.139		7 9	5.055	-4.640		22 16	5.233	-3.573
	23 9	5.421	-4.743		7 16	5.470	-3.491		23 0	5.232	-4.154
	23 16	5.823	-3.278		8 0	5.453	-4.242		23 7	4.838	-2.768
	24 0	5.823	-4.195		8 7	5.064	-2.540		23 15	5.235	-3.619
	24 7	5.370	-2.195		8 15	5.463	-3.556		23 23	5.209	-4.168
	24 15	5.812	-3.361		8 23	5.419	-4.275		24 6	4.864	-2.839
	24 23	5.779	-4.247		9 6	5.085	-2.628		24 14	5.236	-3.661
25 6	5.390	-2.299	9 14	5.456	-3.617	24 22	5.185	-4.180			
25 14	5.798	-3.440	9 22	5.384	-4.306	25 5	4.889	-2.906			
25 22	5.735	-4.297	10 5	5.104	-2.713	25 13	5.236	-3.701			
26 5	5.408	-2.400	10 13	5.447	-3.676	25 21	5.161	-4.188			
26 13	5.783	-3.517	10 21	5.348	-4.333	26 4	4.913	-2.971			
26 21	5.689	-4.343	11 4	5.122	-2.796	26 12	5.235	-3.737			
27 4	5.423	-2.499	11 12	5.437	-3.731	26 20	5.135	-4.193			
27 12	5.767	-3.591	11 20	5.311	-4.357	27 3	4.936	-3.033			
27 20	5.641	-4.386	12 3	5.138	-2.876	27 11	5.233	-3.770			
28 3	5.437	-2.596	12 11	5.425	-3.784	27 19	5.109	-4.195			
28 11	5.749	-3.663	12 19	5.273	-4.377	28 2	4.958	-3.093			
28 19	5.593	-4.425	13 2	5.153	-2.954	28 10	5.231	-3.800			
29 2	5.448	-2.691	13 10	5.413	-3.833	28 18	5.082	-4.193			
29 10	5.729	-3.731	13 18	5.235	-4.395	29 1	4.978	-3.149			
29 18	5.543	-4.462	14 1	5.166	-3.028	29 9	5.227	-3.827			
30 1	5.458	-2.783	14 9	5.399	-3.879	29 17	5.055	-4.189			
30 9	5.707	-3.796	14 17	5.196	-4.409	30 0	4.998	-3.202			
30 17	5.493	-4.495	15 0	5.178	-3.100	30 8	5.223	-3.851			
31 0	5.466	-2.872	15 8	5.384	-3.923	30 16	5.027	-4.181			
31 8	5.684	-3.858	15 16	5.155	-4.420	30 23	5.017	-3.253			
31 16	5.441	-4.524	15 23	5.189	-3.170	Oct. 1 7	5.217	-3.872			
31 23	5.472	-2.959	16 7	5.369	-3.962	1 15	4.998	-4.171			
Sept. 1 7	5.660	-3.917	16 15	5.115	-4.428	1 22	5.035	-3.300			
1 15	5.388	-4.551	16 22	5.199	-3.236	2 6	5.211	-3.889			

PHOBOS 2012

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est*

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	"	"
Oct.	2	14	4.968	-4.157	Oct.	17	21	5.017	-3.254	Nov.	2	5	5.306	-3.209
	2	21	5.052	-3.345		18	5	5.204	-3.630		2	13	5.100	-3.133
	3	5	5.204	-3.903		18	13	4.975	-3.707		2	20	5.121	-3.019
	3	13	4.938	-4.140		18	20	5.043	-3.275		3	4	5.315	-3.180
	3	20	5.068	-3.386		19	4	5.206	-3.621		3	12	5.083	-3.079
	4	4	5.196	-3.915		19	12	4.953	-3.670		3	19	5.154	-3.015
	4	12	4.906	-4.120		19	19	5.067	-3.292		4	3	5.322	-3.148
	4	19	5.084	-3.424		20	3	5.207	-3.609		4	11	5.065	-3.022
	5	3	5.187	-3.922		20	11	4.930	-3.629		4	18	5.185	-3.008
	5	11	4.874	-4.097		20	18	5.091	-3.307		5	2	5.327	-3.113
5	18	5.098	-3.459	21	2	5.207	-3.594	5	10	5.044	-2.963			
6	2	5.178	-3.927	21	10	4.906	-3.586	5	17	5.214	-2.998			
6	10	4.842	-4.071	21	17	5.114	-3.318	6	1	5.332	-3.076			
6	17	5.111	-3.491	22	1	5.205	-3.576	6	9	5.023	-2.901			
7	1	5.167	-3.929	22	9	4.881	-3.541	6	16	5.243	-2.985			
7	9	4.809	-4.043	22	16	5.136	-3.326	7	0	5.334	-3.036			
7	16	5.124	-3.520	23	0	5.203	-3.555	7	8	4.999	-2.837			
8	0	5.156	-3.927	23	8	4.855	-3.492	7	15	5.270	-2.968			
8	8	4.775	-4.011	23	15	5.157	-3.331	7	23	5.335	-2.993			
8	15	5.136	-3.546	23	23	5.200	-3.531	8	7	4.975	-2.771			
8	23	5.144	-3.922	24	7	4.828	-3.441	8	14	5.296	-2.949			
9	6	4.748	-2.927	24	14	5.177	-3.333	8	22	5.335	-2.947			
9	14	5.147	-3.569	24	22	5.195	-3.504	9	6	4.949	-2.703			
9	22	5.131	-3.915	25	6	4.799	-3.388	9	13	5.321	-2.926			
10	5	4.782	-2.975	25	13	5.196	-3.332	9	21	5.333	-2.898			
10	13	5.157	-3.588	25	21	5.190	-3.474	10	4	4.929	-2.713			
10	21	5.117	-3.904	26	4	4.825	-2.937	10	12	5.344	-2.901			
11	4	4.814	-3.021	26	12	5.213	-3.327	10	20	5.330	-2.847			
11	12	5.166	-3.605	26	20	5.183	-3.441	11	3	4.976	-2.712			
11	20	5.102	-3.890	27	3	4.866	-2.958	11	11	5.366	-2.872			
12	3	4.845	-3.064	27	11	5.230	-3.319	11	19	5.324	-2.794			
12	11	5.174	-3.618	27	19	5.175	-3.405	12	2	5.022	-2.708			
12	19	5.087	-3.873	28	2	4.905	-2.977	12	10	5.386	-2.841			
13	2	4.876	-3.103	28	10	5.246	-3.309	12	18	5.318	-2.738			
13	10	5.181	-3.628	28	18	5.166	-3.367	13	1	5.067	-2.701			
13	18	5.070	-3.852	29	1	4.944	-2.992	13	9	5.404	-2.807			
14	1	4.906	-3.139	29	9	5.260	-3.295	13	17	5.309	-2.680			
14	9	5.188	-3.635	29	17	5.155	-3.325	14	0	5.110	-2.691			
14	17	5.053	-3.829	30	0	4.981	-3.004	14	8	5.421	-2.770			
15	0	4.935	-3.173	30	8	5.274	-3.278	14	16	5.299	-2.619			
15	8	5.193	-3.638	30	16	5.144	-3.281	14	23	5.152	-2.677			
15	16	5.035	-3.803	30	23	5.018	-3.012	15	7	5.437	-2.730			
15	23	4.963	-3.203	31	7	5.286	-3.258	15	15	5.286	-2.556			
16	7	5.198	-3.639	31	15	5.130	-3.234	15	22	5.192	-2.661			
16	15	5.016	-3.774	31	22	5.053	-3.018	16	6	5.450	-2.687			
16	22	4.990	-3.230	Nov.	1	6	5.297	-3.235	16	14	5.272	-2.492		
17	6	5.202	-3.636		1	14	5.116	-3.185	16	21	5.231	-2.641		
17	14	4.996	-3.742		1	21	5.088	-3.020	17	5	5.462	-2.642		

PHOBOS 2012

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongation *est*

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	"	"
Nov.	17	13	5.257	-2.424	Déc.	2	13	5.383	-1.609	Déc.	17	13	5.430	-0.731
	17	20	5.268	-2.618		2	20	5.436	-2.084		17	20	5.573	-1.444
	18	4	5.472	-2.594		3	4	5.622	-1.885		18	4	5.713	-1.090
	18	12	5.239	-2.355		3	12	5.360	-1.529		18	12	5.396	-0.646
	18	19	5.304	-2.593		3	19	5.471	-2.038		18	19	5.602	-1.382
	19	3	5.481	-2.544		4	3	5.627	-1.818		19	3	5.709	-1.013
	19	11	5.219	-2.285		4	11	5.334	-1.448		19	11	5.361	-0.560
	19	18	5.339	-2.564		4	18	5.503	-1.990		19	18	5.628	-1.318
	20	2	5.487	-2.491		5	2	5.629	-1.750		20	2	5.702	-0.935
	20	10	5.198	-2.212		5	10	5.305	-1.366		20	10	5.322	-0.473
	20	17	5.371	-2.533		5	17	5.533	-1.940		20	17	5.651	-1.252
	21	1	5.492	-2.435		6	1	5.628	-1.680		21	1	5.693	-0.855
	21	9	5.174	-2.137		6	9	5.275	-1.283		21	9	5.281	-0.387
	21	16	5.402	-2.499		6	16	5.562	-1.887		21	16	5.672	-1.184
	22	0	5.494	-2.378		7	0	5.626	-1.609		22	0	5.681	-0.775
	22	8	5.148	-2.061		7	8	5.241	-1.198		22	7	5.258	-1.441
	22	15	5.431	-2.462		7	15	5.587	-1.832		22	15	5.690	-1.115
	22	23	5.495	-2.318		7	23	5.620	-1.536		22	23	5.666	-0.693
23	7	5.120	-1.983	8	7	5.206	-1.113	23	6	5.305	-1.387			
23	14	5.459	-2.422	8	14	5.611	-1.774	23	14	5.706	-1.044			
23	22	5.493	-2.255	8	22	5.613	-1.461	23	22	5.648	-0.611			
24	6	5.091	-1.904	9	5	5.210	-1.900	24	5	5.350	-1.331			
24	13	5.484	-2.379	9	13	5.632	-1.714	24	13	5.718	-0.971			
24	21	5.490	-2.191	9	21	5.603	-1.384	24	21	5.628	-0.528			
25	4	5.090	-2.349	10	4	5.259	-1.859	25	4	5.393	-1.273			
25	12	5.508	-2.334	10	12	5.651	-1.652	25	12	5.729	-0.897			
25	20	5.484	-2.124	10	20	5.590	-1.307	25	20	5.605	-0.444			
26	3	5.139	-2.326	11	3	5.307	-1.816	26	3	5.433	-1.213			
26	11	5.530	-2.286	11	11	5.668	-1.588	26	11	5.736	-0.821			
26	19	5.477	-2.056	11	19	5.575	-1.227	26	19	5.580	-0.359			
27	2	5.187	-2.300	12	2	5.352	-1.770	27	2	5.471	-1.151			
27	10	5.549	-2.236	12	10	5.682	-1.522	27	10	5.741	-0.745			
27	18	5.467	-1.986	12	18	5.557	-1.147	27	18	5.551	-0.275			
28	1	5.233	-2.271	13	1	5.394	-1.721	28	1	5.506	-1.087			
28	9	5.567	-2.183	13	9	5.693	-1.455	28	9	5.743	-0.667			
28	17	5.455	-1.914	13	17	5.537	-1.066	28	17	5.520	-0.190			
29	0	5.278	-2.239	14	0	5.435	-1.671	29	0	5.539	-1.021			
29	8	5.582	-2.128	14	8	5.702	-1.385	29	8	5.742	-0.588			
29	16	5.440	-1.840	14	16	5.514	-0.983	29	16	5.487	-0.104			
29	23	5.320	-2.205	14	23	5.473	-1.617	29	23	5.568	-0.953			
30	7	5.596	-2.070	15	7	5.709	-1.314	30	7	5.738	-0.508			
30	15	5.424	-1.764	15	15	5.488	-0.900	30	15	5.450	-0.019			
30	22	5.361	-2.167	15	22	5.509	-1.562	30	22	5.595	-0.884			
Déc.	1	6	5.607	-2.011	16	6	5.713	-1.241	31	6	5.732	-0.427		
	1	14	5.405	-1.687	16	14	5.460	-0.816	31	14	5.411	0.067		
1	21	5.399	-2.127	16	21	5.542	-1.504	31	21	5.620	-0.813			
2	5	5.616	-1.949	17	5	5.714	-1.166	Janv.	1	5	5.722	-0.346		

DÉIMOS 2012

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est*

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.	31	6	28.735	-9.462	Févr.	29	20	45.126	-13.492	Avril	30	10	33.499	-7.730
Janv.	1	13	28.957	-11.516	Mars	2	2	45.096	-12.228	Mai	1	16	33.131	-6.784
	2	19	29.343	-10.849		3	9	45.389	-15.040		2	22	32.628	-5.835
	4	1	29.613	-10.124		4	15	45.558	-13.835		4	5	32.429	-7.833
	5	8	29.805	-12.227		5	21	45.555	-12.583		5	11	32.094	-6.923
	6	14	30.235	-11.558		7	4	45.481	-15.260		6	17	31.631	-5.987
	7	20	30.539	-10.814		8	10	45.675	-14.062		8	0	31.391	-7.945
	9	2	30.722	-10.018		9	16	45.715	-12.829		9	6	31.094	-7.053
	10	9	31.173	-12.290		10	22	45.586	-11.544		10	12	30.657	-6.139
	11	15	31.521	-11.548		12	5	45.491	-14.187		11	19	30.398	-8.055
	12	21	31.745	-10.729		13	11	45.561	-12.959		13	1	30.122	-7.179
	14	4	32.154	-13.064		14	17	45.468	-11.710		14	7	29.721	-6.289
	15	10	32.555	-12.306		15	23	45.214	-10.417		15	14	29.440	-8.156
	16	16	32.822	-11.483		17	6	45.115	-13.012		16	20	29.191	-7.307
	17	23	33.182	-13.863		18	12	45.061	-11.779		18	2	28.812	-6.423
	19	5	33.629	-13.098		19	18	44.837	-10.527		19	9	28.524	-8.263
	20	11	33.955	-12.271		21	0	44.460	-9.249		20	15	28.296	-7.420
	21	18	34.233	-14.682		22	7	44.389	-11.788		21	21	27.937	-6.560
	23	0	34.744	-13.922		23	13	44.213	-10.572		23	4	27.651	-8.356
	24	6	35.123	-13.077		24	19	43.867	-9.328		24	10	27.434	-7.533
	25	12	35.373	-12.177		26	2	43.508	-11.754		25	16	27.100	-6.682
	26	19	35.878	-14.752		27	8	43.367	-10.568		26	23	26.812	-8.447
	28	1	36.317	-13.915		28	14	43.072	-9.378		28	5	26.615	-7.638
	29	7	36.629	-12.995		29	20	42.616	-8.157		29	11	26.290	-6.794
	30	14	37.009	-15.600		31	3	42.358	-10.551		30	18	26.016	-8.534
	31	20	37.520	-14.750	Avril	1	9	42.110	-9.390	Juin	1	0	25.826	-7.728
Févr.	2	2	37.888	-13.830		2	15	41.702	-8.227		2	6	25.518	-6.903
	3	8	38.130	-12.842		3	22	41.230	-10.510		3	13	25.255	-8.606
	4	15	38.694	-15.581		5	4	41.025	-9.402		4	19	25.073	-7.819
	5	21	39.136	-14.660		6	10	40.675	-8.277		6	1	24.776	-6.993
	7	3	39.433	-13.657		7	16	40.165	-7.139		7	8	24.526	-8.678
	8	10	39.820	-16.393		8	23	39.868	-9.410		8	14	24.353	-7.892
	9	16	40.323	-15.456		10	5	39.561	-8.324		9	20	24.060	-7.078
	10	22	40.690	-14.461		11	11	39.111	-7.235		11	3	23.834	-8.735
	12	4	40.914	-13.383		12	18	38.657	-9.415		12	9	23.659	-7.958
	13	11	41.419	-16.218		14	0	38.403	-8.382		13	15	23.377	-7.152
	14	17	41.851	-15.205		15	6	38.000	-7.320		14	22	23.167	-8.782
	15	23	42.133	-14.132		16	12	37.453	-6.261		16	4	22.999	-8.016
	17	6	42.381	-16.899		17	19	37.223	-8.433		17	10	22.716	-7.208
	18	12	42.864	-15.885		19	1	36.865	-7.420		18	17	22.532	-8.826
	19	18	43.211	-14.805		20	7	36.370	-6.387		19	23	22.361	-8.057
	21	0	43.398	-13.656		21	14	36.036	-8.499		21	5	22.082	-7.262
	22	7	43.693	-16.473		22	20	35.731	-7.517		22	12	21.923	-8.851
	23	13	44.083	-15.379		24	2	35.275	-6.519		23	18	21.749	-8.094
	24	19	44.326	-14.237		25	9	34.871	-8.571		25	0	21.471	-7.297
	26	1	44.409	-13.021		26	15	34.601	-7.618		26	7	21.337	-8.872
	27	8	44.715	-15.852		27	21	34.196	-6.656		27	13	21.164	-8.116
	28	14	45.001	-14.693		29	4	33.728	-8.643		28	19	20.880	-7.323

DÉIMOS 2012

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est*

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date				Date				Date			
Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	Mois	j	h	"
Juin	30	2	20.779	Août	29	19	14.440	Oct.	29	14	13.323
Juill.	1	8	20.596		31	2	14.336		30	20	13.286
	2	15	20.323	Sept.	1	8	14.303	Nov.	1	3	13.375
	3	21	20.239		2	14	14.179		2	9	13.388
	5	3	20.054		3	21	14.141		3	16	13.405
	6	10	19.815		5	3	14.076		4	22	13.468
	7	16	19.722		6	10	13.956		6	4	13.446
	8	22	19.528		7	16	13.950		7	11	13.524
	10	5	19.325		8	22	13.859		8	17	13.553
	11	11	19.224		10	5	13.803		10	0	13.554
	12	17	19.019		11	11	13.767		11	6	13.634
	14	0	18.858		12	17	13.646		12	12	13.624
	15	6	18.741		14	0	13.656		13	19	13.688
	16	12	18.531		15	6	13.591		15	1	13.730
	17	19	18.404		16	13	13.527		16	8	13.711
	19	1	18.278		17	19	13.516		17	14	13.806
	20	7	18.053		19	1	13.417		18	20	13.813
	21	14	17.970		20	8	13.425		20	3	13.850
	22	20	17.829		21	14	13.379		21	9	13.909
	24	3	17.609		22	21	13.316		22	15	13.882
	25	9	17.551		24	3	13.325		23	22	13.971
	26	15	17.394		25	9	13.249		25	4	13.997
	27	22	17.222		26	16	13.255		26	11	13.998
	29	4	17.144		27	22	13.230		27	17	14.077
	30	10	16.975		29	5	13.170		28	23	14.065
	31	17	16.846		30	11	13.196		30	6	14.119
Août	1	23	16.754	Oct.	1	17	13.138	Déc.	1	12	14.162
	3	5	16.565		3	0	13.147		2	19	14.121
	4	12	16.487		4	6	13.141		4	1	14.219
	5	18	16.373		5	13	13.084		5	7	14.228
	7	1	16.179		6	19	13.129		6	14	14.235
	8	7	16.138		8	1	13.086		7	20	14.298
	9	13	16.005		9	8	13.102		9	2	14.275
	10	20	15.864		10	14	13.109		10	9	14.324
	12	2	15.800		11	21	13.060		11	15	14.358
	13	8	15.648		13	3	13.118		12	22	14.308
	14	15	15.558		14	9	13.091		14	4	14.396
	15	21	15.475		15	16	13.112		15	10	14.394
	17	3	15.298		16	22	13.134		16	17	14.388
	18	10	15.266		18	5	13.090		17	23	14.442
	19	16	15.156		19	11	13.161		19	5	14.411
	20	23	15.025		20	17	13.148		20	12	14.444
	22	5	14.980		22	0	13.171		21	18	14.468
	23	11	14.849		23	6	13.209		23	0	14.406
	24	18	14.775		24	13	13.163		24	7	14.477
	26	0	14.706		25	19	13.251		25	13	14.473
	27	6	14.549		27	1	13.249		26	20	14.437
	28	13	14.533		28	8	13.273		28	2	14.490

DÉIMOS 2012

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongation *est*

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.	29	8	14.453	-1.803	Déc.	31	21	14.478	-1.265	Janv.	3	10	14.453	-0.709
	30	15	14.458	-1.089	Janv.	2	3	14.416	-1.443		4	16	14.447	-0.900

SATELLITES DE JUPITER

Coordonnées tangentielles (X,Y)
aux heures les plus proches des plus grandes élongations

IO	II. 110
EUROPE	II. 114
GANYMÈDE	II. 116
CALLISTO	II. 117

IO 2012

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	118.352	47.778	Févr.	10	22	104.518	39.644	Mars	22	15	96.374	33.219	
	2	2	-118.458	-47.113		11	19	-104.185	-39.763		23	12	-95.479	-33.062	
	2	23	117.968	47.040		12	16	104.274	39.858		24	10	95.933	32.468	
	3	20	-117.767	-47.306		13	13	-103.602	-39.845		25	7	-95.315	-32.401	
	4	17	117.072	47.144		14	11	103.542	39.000		26	4	95.920	32.659	
	5	15	-117.019	-46.425		15	8	-103.181	-39.102		27	1	-95.009	-32.492	
	6	12	116.606	46.375		16	5	103.330	39.216		27	23	95.518	31.921	
	7	9	-116.408	-46.632		17	2	-102.639	-39.189		28	20	-94.877	-31.840	
	8	6	115.794	46.497		18	0	102.609	38.363		29	17	95.510	32.107	
	9	4	-115.589	-45.726		18	21	-102.228	-38.449		30	14	-94.584	-31.931	
	10	1	115.259	45.702		19	18	102.430	38.581		Avril	31	12	95.142	31.379
	10	22	-115.054	-45.949		20	15	-101.717	-38.539			1	9	-94.488	-31.288
	11	19	114.521	45.838		21	13	101.729	37.737			2	6	95.140	31.560
	12	17	-114.184	-45.023		22	10	-101.320	-37.805			3	3	-94.202	-31.376
	13	14	113.926	45.022		23	7	101.576	37.954			4	1	94.812	30.844
	14	11	-113.720	-45.259		24	4	-100.843	-37.899			4	22	-94.139	-30.742
	15	8	113.263	45.174		25	2	100.894	37.118			5	19	94.812	31.019
	16	6	-112.801	-44.316		25	23	-100.463	-37.170			6	16	-93.863	-30.829
17	3	112.622	44.340	26	20	100.768	37.335	7	14	94.518		30.313			
18	0	-112.404	-44.565	27	17	-100.011	-37.264	8	11	-93.836		-30.204			
18	21	112.023	44.503	Mars	28	14	100.112	37.351	9	8		94.522	30.484		
19	18	-111.459	-44.584		29	12	-99.651	-36.543	10	5		-93.565	-30.287		
20	16	111.343	43.656		1	9	100.006	36.724	11	3	94.269	29.789			
21	13	-111.118	-43.869		2	6	-99.229	-36.640	12	0	-93.572	-29.670			
22	10	110.811	43.832		3	4	99.374	35.907	12	21	94.273	29.954			
23	7	-110.234	-43.899		4	1	-98.892	-35.926	13	18	-93.309	-29.752			
24	5	110.103	42.975		4	22	99.289	36.121	14	16	94.055	29.268			
25	2	-109.861	-43.173		5	19	-98.490	-36.023	15	13	-93.352	-29.143			
25	23	109.626	43.159		6	17	98.687	35.315	16	10	94.061	29.428			
26	20	-109.040	-43.216		7	14	-98.177	-35.317	17	7	-93.093	-29.222			
27	18	108.897	42.297		8	11	98.618	35.526	18	5	93.884	28.754			
28	15	-108.643	-42.480		9	8	-97.799	-35.416	19	2	-93.171	-28.621			
29	12	108.478	42.490	10	6	98.044	34.730	19	23	93.890	28.908				
30	9	-107.875	-42.533	11	3	-97.513	-34.718	20	20	-92.918	-28.699				
31	7	107.737	41.624	12	0	97.991	34.939	21	18	93.748	28.242				
Févr.	1	4	-107.462	-41.792	12	21	-97.151	-34.815	22	15	-93.035	-28.106			
	2	1	107.365	41.823	13	19	97.451	34.155	23	12	93.754	28.392			
	2	22	-106.750	-41.854	14	16	-96.892	-34.126	24	9	-92.785	-28.181			
	3	20	106.616	40.956	15	13	97.409	34.358	25	7	93.653	27.736			
	4	17	-106.326	-41.109	16	10	-96.549	-34.223	26	4	-92.935	-27.595			
	5	14	106.293	41.163	17	8	96.899	33.585	27	1	93.659	27.881			
	6	11	-105.659	-41.178	18	5	-96.322	-33.543	27	22	-92.691	-27.668			
	7	9	105.546	40.297	19	2	96.869	33.785	28	20	93.593	27.232			
	8	6	-105.231	-40.432	19	23	-95.991	-33.638	29	17	-92.879	-27.089			
	9	3	105.262	40.507	20	21	96.396	33.024	30	14	93.598	27.373			
	10	0	-104.611	-40.509	21	18	-95.794	-32.968	Mai	1	11	-92.638	-27.161		

IO 2012

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	"	"
Mai	2	9	93.573	26.734	Juin	12	2	95.710	21.577	Juill.	22	20	102.960	16.230
	3	6	-92.859	-26.588		13	0	-95.292	-20.699		23	17	-103.061	-16.228
	4	3	93.578	26.871		13	21	96.096	20.997		24	14	103.180	16.415
	5	0	-92.622	-26.658		14	18	-95.640	-20.891		25	12	-103.360	-15.596
	5	22	93.586	26.238		15	15	96.124	21.118		26	9	103.808	15.835
	6	19	-92.882	-26.092		16	13	-95.759	-20.248		27	6	-103.970	-15.844
	7	16	93.590	26.371		17	10	96.536	20.540		28	3	104.062	16.031
	8	14	-92.656	-25.388		18	7	-96.122	-20.442		29	1	-104.270	-15.211
	9	11	93.638	25.747		19	4	96.571	20.663		29	22	104.694	15.448
	10	8	-92.940	-25.599		20	2	-96.265	-19.801		30	19	-104.921	-15.470
11	5	93.641	25.876	20	23	97.014	20.087	Août	31	16	104.980	15.656		
12	3	-92.750	-24.904	21	20	-96.639	-19.996		1	14	-105.220	-14.836		
13	0	93.722	25.257	22	17	97.059	20.213		2	11	105.614	15.072		
13	21	-93.040	-25.112	23	15	-96.806	-19.358		3	8	-105.907	-15.105		
14	18	93.725	25.383	24	12	97.527	19.637		4	5	105.942	15.292		
15	16	-92.883	-24.423	25	9	-97.197	-19.556		5	3	-106.200	-14.471		
16	13	93.846	24.772	26	6	97.582	19.767		6	0	106.573	14.706		
17	10	-93.174	-24.627	27	4	-97.387	-18.919		6	21	-106.934	-14.751		
18	7	93.849	24.895	28	1	98.077	19.192		7	18	106.940	14.939		
19	5	-93.053	-23.946	28	22	-97.792	-19.120		8	16	-107.218	-14.116		
20	2	94.002	24.289	29	19	98.146	19.326	9	13	107.565	14.351			
20	23	-93.351	-24.147	30	17	-98.003	-18.485	10	10	-107.996	-14.408			
21	20	94.005	24.410	Juill.	1	14	98.663	18.752	11	7	107.982	14.599		
22	18	-93.261	-23.472		2	11	-98.428	-18.689	12	5	-108.265	-13.773		
23	15	94.197	23.810		3	8	98.745	18.891	13	2	108.596	14.009		
24	12	-93.563	-23.670	4	6	-98.658	-18.055	13	23	-109.096	-14.079			
25	9	94.201	23.929	5	3	99.285	18.317	14	20	109.058	14.272			
26	7	-93.507	-23.001	6	0	-99.100	-18.263	15	17	-109.380	-14.322			
27	4	94.424	23.333	6	21	99.386	18.461	16	15	109.656	13.681			
28	1	-93.816	-23.198	7	19	-99.347	-17.630	17	12	-110.230	-13.764			
28	22	94.429	23.451	8	16	99.945	17.886	18	9	110.176	13.960			
29	20	-93.791	-22.534	9	13	-99.814	-17.843	19	6	-110.565	-14.023			
30	17	94.689	22.860	10	10	100.064	18.038	20	4	110.752	13.367			
31	14	-94.104	-22.729	11	8	-100.076	-17.210	21	1	-111.399	-13.464			
Juin	1	11	94.697	22.977	12	5	100.642	17.462	21	22	111.326	13.663		
	2	9	-94.110	-22.070	13	2	-100.564	-17.428	22	19	-111.791	-13.742		
	3	6	94.987	22.389	13	23	100.784	17.621	23	17	111.874	13.069		
	4	3	-94.433	-22.264	14	21	-100.839	-16.796	24	14	-112.598	-13.180		
	5	0	94.998	22.507	15	18	101.377	17.044	25	11	112.514	13.384		
	5	22	-94.468	-21.610	16	15	-101.358	-17.021	26	8	-113.048	-13.477		
	6	19	95.322	21.922	17	12	101.541	17.211	27	6	113.027	12.788		
	7	16	-94.796	-21.803	18	10	-101.644	-16.389	28	3	-113.825	-12.914		
	8	13	95.338	22.040	19	7	102.149	16.633	29	0	113.728	13.123		
	9	11	-94.860	-21.152	20	4	-102.188	-16.620	29	21	-114.340	-13.231		
10	8	95.690	21.458	21	1	102.342	16.809	30	19	114.199	12.526			
11	5	-95.201	-21.346	21	23	-102.482	-15.988	31	16	-115.077	-12.667			

IO 2012

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	"	"
Sept.	1	13	114.975	12.882	Oct.	12	6	130.243	12.523	Nov.	21	22	140.704	17.502
	2	10	-115.658	-13.005		13	3	-131.587	-12.858		22	19	-141.949	-18.027
	3	8	115.396	12.283		14	0	130.901	13.112		23	16	140.720	18.250
	4	5	-116.352	-12.441		14	21	-132.005	-13.431		24	14	-141.700	-17.615
	5	2	116.243	12.660		15	19	131.449	12.647		25	11	140.855	17.880
	5	23	-117.007	-12.801		16	16	-132.868	-13.008		26	8	-142.154	-18.424
	6	21	116.606	12.061		17	13	132.218	13.272		27	5	140.992	18.648
	7	18	-117.644	-12.235		18	10	-133.398	-13.617		28	2	-142.002	-19.156
	8	15	117.536	12.462		19	8	132.570	12.802		29	0	140.809	18.240
	9	12	-118.373	-12.620		20	5	-134.071	-13.190		29	21	-142.168	-18.806
10	9	117.886	12.813	21	2	133.459	13.464	Déc.	30	18	141.062	19.028		
11	7	-118.949	-12.054	21	23	-134.709	-13.835		1	15	-142.127	-19.554		
12	4	118.841	12.287	22	20	133.741	14.080		2	12	140.711	19.734		
13	1	-119.762	-12.463	23	18	-135.177	-13.402		3	10	-141.979	-19.163		
13	22	119.274	12.664	24	15	134.605	13.685		4	7	140.941	19.385		
14	20	-120.262	-11.896	25	12	-135.931	-14.083		5	4	-142.050	-19.926		
15	17	120.162	12.138	26	9	135.003	14.337		6	1	140.705	20.104		
16	14	-121.157	-12.332	27	7	-136.177	-13.642		6	23	-141.600	-19.493		
17	11	120.681	12.542	28	4	135.644	13.935		7	20	140.617	19.710		
18	9	-121.575	-11.766	29	1	-137.041	-14.359		8	17	-141.781	-20.267		
19	6	121.481	12.014	29	22	136.163	14.622	9	14	140.501	20.441			
20	3	-122.561	-12.229	30	19	-137.308	-15.025	10	11	-141.351	-20.951			
21	0	122.091	12.448	31	17	136.560	14.207	11	9	140.107	20.001			
21	21	-122.966	-12.646	Nov.	1	14	-138.033	-14.660	12	6	-141.315	-20.571		
22	19	122.801	11.920		2	11	137.198	14.931	13	3	140.107	20.741		
23	16	-123.958	-12.154	3	8	-138.414	-15.360	14	0	-141.000	-21.262			
24	13	123.506	12.383	4	6	137.341	14.502	14	21	139.485	21.381			
25	10	-124.455	-12.602	5	3	-138.882	-14.981	15	19	-140.669	-20.834			
26	8	124.104	11.853	6	0	138.101	15.260	16	16	139.525	20.998			
27	5	-125.347	-12.110	6	21	-139.377	-15.715	17	13	-140.460	-21.528			
28	2	124.908	12.348	7	18	138.258	15.963	18	10	139.023	21.642			
28	23	-125.938	-12.588	8	16	-139.586	-15.320	19	8	-139.843	-21.050			
29	21	125.390	11.817	9	13	138.848	15.605	20	5	138.771	21.208			
30	18	-126.711	-12.096	10	10	-140.195	-16.086	21	2	-139.750	-21.748			
Oct.	1	15	126.298	12.344	11	7	139.128	16.340	21	23	138.383	21.854		
	2	12	-127.401	-12.606	12	4	-140.198	-16.795	22	20	-139.051	-22.338		
	3	10	126.640	11.811	13	2	139.436	15.961	23	18	137.854	21.370		
	4	7	-128.048	-12.113	13	23	-140.842	-16.468	24	15	-138.873	-21.915		
	5	4	127.655	12.371	14	20	139.833	16.726	25	12	137.586	22.017		
	6	1	-128.840	-12.657	15	17	-140.963	-17.205	26	9	-138.284	-22.504		
	6	22	128.092	12.890	16	15	139.842	16.322	27	7	136.790	21.480		
	7	20	-129.340	-12.163	17	12	-141.318	-16.854	28	4	-137.852	-22.032		
	8	17	128.978	12.431	18	9	140.362	17.116	29	1	136.635	22.126		
	9	14	-130.238	-12.741	19	6	-141.547	-17.618	29	22	-137.374	-22.618		
10	11	129.520	12.984	20	3	140.262	17.840	30	19	135.881	22.662			
11	9	-130.582	-12.245	21	1	-141.603	-17.239	31	17	-136.695	-22.094			

IO 2012

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	14	135.556	22.183	Janv.	2	11	-136.325	-22.676	Janv.	3	8	134.916	22.715

EUROPE 2012

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	13	-187.586	-76.742	Mars	21	14	151.505	53.562	Juin	9	16	-152.371	-35.428	
	3	8	187.538	76.775		23	8	-153.342	-54.161		11	10	150.761	34.849	
	5	3	-185.417	-75.174		25	3	150.719	52.890		13	5	-153.021	-34.947	
	6	21	185.169	75.921		26	22	-152.653	-52.873		15	0	151.519	33.727	
	8	16	-183.406	-74.457		28	17	149.939	51.558		16	19	-153.600	-33.790	
	10	11	182.994	74.324		Avril	30	11	-152.078		-52.260	18	13	152.352	33.282
	12	5	-181.414	-73.718			1	6	149.369		50.934	20	8	-154.420	-33.336
	14	0	180.817	73.496			3	1	-151.448		-50.971	22	3	153.151	32.150
	15	18	-179.328	-72.908	4		19	148.739	50.277	23	21	-155.111	-32.857		
	17	13	178.658	72.641	6		14	-151.054	-50.394	25	16	154.173	31.734		
	19	8	-177.391	-71.375	8		9	148.280	49.020	27	11	-156.018	-31.742		
	21	3	176.470	70.999	10	3	-150.556	-49.759	29	5	155.155	31.308			
	22	21	-175.518	-70.604	11	22	147.847	48.405	Juill.	1	0	-156.888	-31.295		
	24	16	174.533	70.188	13	17	-150.262	-48.556		2	19	156.208	30.208		
	26	10	-173.661	-69.817	15	12	147.451	47.147		4	14	-157.816	-30.171		
	28	5	172.510	69.319	17	6	-149.937	-47.954		6	8	157.388	29.815		
	Févr.	30	0	-171.803	-68.273	19	1	147.214	46.572	8	3	-158.866	-29.755		
31		19	170.528	67.715	20	20	-149.697	-46.745	9	21	158.461	29.402			
2		13	-170.182	-67.539	22	14	146.908	45.963	11	16	-159.888	-29.332			
4		8	168.747	66.902	24	9	-149.545	-46.174	13	11	159.838	28.348			
6		2	-168.468	-66.739	26	4	146.833	44.771	15	6	-161.040	-28.242			
7		21	166.982	66.070	27	23	-149.361	-44.959	17	0	161.112	27.972			
9		16	-166.873	-65.268	29	17	146.718	44.200	18	19	-162.261	-27.858			
11		11	165.181	64.503	Mai	1	12	-149.374	-44.416	20	14	162.493	26.911		
13		5	-165.390	-64.521		3	7	146.704	43.004	22	9	-163.407	-26.761		
15		0	163.654	63.728		5	1	-149.289	-43.842	24	3	163.973	26.576		
16	18	-163.916	-63.763	6		20	146.775	42.467	25	22	-164.827	-26.420			
18	13	162.044	62.901	8	15	-149.416	-42.677	27	16	165.440	26.250				
20	8	-162.528	-62.331	10	10	146.815	41.264	29	11	-166.127	-26.074				
22	3	160.556	61.419	12	4	-149.490	-42.129	31	6	167.031	25.222				
23	21	-161.279	-61.625	13	23	147.070	40.759	Août	2	1	-167.571	-25.027			
25	16	159.194	60.653	15	18	-149.671	-40.956		3	19	168.712	24.945			
27	10	-159.925	-60.853	17	12	147.252	40.223		5	14	-169.086	-24.732			
29	5	157.813	59.863	19	7	-149.900	-40.431		7	8	170.282	24.662			
Mars	2	0	-158.876	-59.522	21	2	147.606		39.074	9	3	-170.596	-24.449		
3	19	156.598	58.450	22	21	-150.133	-39.250	10	22	172.163	23.695				
5	13	-157.744	-58.802	24	15	147.973	38.569	12	17	-172.206	-23.446				
7	8	155.445	57.715	26	10	-150.519	-38.749	14	11	173.952	23.470				
9	3	-156.724	-57.460	28	5	148.373	37.411	16	6	-173.931	-23.225				
10	22	154.269	56.296	29	23	-150.839	-38.215	18	1	175.764	22.513				
12	16	-155.801	-56.788	Juin	31	18	148.926	36.936	19	19	-175.566	-23.016			
14	11	153.343	55.616		2	13	-151.345	-37.081	21	14	177.767	22.354			
16	5	-154.844	-56.095		4	7	149.394	36.434	23	9	-177.403	-22.079			
18	0	152.339	54.892		6	2	-151.828	-36.574	25	3	179.782	22.228			
19	19	-154.102	-54.811		7	21	150.112	35.323	26	22	-179.259	-21.944			

EUROPE 2012

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	28	16	181.694	22.113	Oct.	12	2	-206.037	-21.732	Nov.	25	11	227.196	30.424
	30	11	-181.109	-21.839		13	21	210.752	21.734		27	5	-222.901	-30.793
Sept.	1	6	183.911	21.281	15	16	-208.021	-21.376	29	0	227.381	31.424		
	3	1	-183.020	-20.970	17	10	212.845	22.353	30	18	-222.904	-31.746		
	4	19	186.032	21.250	19	5	-210.052	-22.008	Déc.	2	13	227.321	32.413	
	6	14	-185.087	-20.952	20	23	214.846	23.046		4	7	-222.679	-32.670	
8	8	188.157	21.267	22	18	-211.956	-22.695	6	2	227.028	33.351			
10	3	-187.071	-20.965	24	12	216.687	23.779	7	21	-222.311	-32.586			
11	22	190.382	20.510	26	7	-213.741	-23.438	9	15	226.477	34.254			
13	16	-189.050	-21.022	28	2	218.541	23.659	11	10	-221.763	-33.444			
15	11	192.704	20.629	29	20	-215.373	-24.230	13	4	225.705	35.088			
17	6	-191.227	-20.303	31	15	220.268	24.508	14	23	-220.999	-34.244			
19	0	194.915	20.777	Nov.	2	9	-216.861	-25.070	16	17	224.678	35.866		
20	19	-193.391	-20.469		4	4	221.851	25.419	18	12	-220.014	-34.977		
22	14	197.134	20.140		5	23	-218.199	-24.982	20	7	223.551	35.636		
24	8	-195.475	-20.679	7	17	223.220	26.351	22	1	-218.833	-35.638			
26	3	199.493	20.403	9	12	-219.505	-25.912	23	20	222.259	36.295			
27	22	-197.537	-20.069	11	6	224.411	27.332	25	14	-217.451	-36.219			
Oct.	29	16	201.841	20.735	13	1	-220.615	-26.869	27	9	220.789	36.859		
	1	11	-199.763	-20.399	14	19	225.373	28.319	29	3	-215.899	-36.719		
	3	5	204.065	21.105	16	14	-221.515	-27.845	30	22	219.114	37.345		
5	0	-201.936	-20.787	18	8	226.127	29.337	Janv.	1	16	-214.176	-37.132		
6	18	206.254	21.547	20	3	-222.202	-28.831		3	11	217.296	37.733		
8	13	-204.022	-21.230	21	22	226.763	29.391		5	6	-212.450	-36.569		
10	8	208.514	21.158	23	16	-222.661	-29.817		7	0	215.291	38.037		

GANYMÈDE 2012

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.	29	17	-303.191	-122.157	Mai	3	8	237.142	68.457	Sept.	6	0	-296.168	-32.552
Janv.	2	7	300.548	120.882		6	22	-235.972	-66.903		9	14	300.095	32.354
	5	21	-296.144	-118.965		10	13	237.341	65.599		13	4	-303.008	-31.914
	9	11	293.563	117.628		14	3	-236.411	-64.080		16	18	307.070	31.853
	13	1	-289.230	-115.674		17	17	237.897	63.271		20	8	-309.998	-31.567
	16	15	286.815	114.317		21	7	-237.204	-61.784		23	22	314.195	31.663
	20	5	-282.569	-112.327		24	22	238.859	60.488		27	12	-317.099	-31.536
	23	19	280.420	111.009		28	12	-238.465	-59.057	Oct.	1	2	321.376	31.818
	27	9	-276.219	-108.966	Juin	1	2	240.188	58.233		4	16	-324.150	-31.847
	30	23	274.354	107.696		4	16	-240.021	-56.843		8	6	328.388	32.320
Févr.	3	13	-270.331	-105.656		8	7	241.961	55.534		11	19	-331.113	-33.196
	7	3	268.679	104.419		11	21	-241.980	-54.176		15	9	335.106	33.861
	10	17	-264.894	-102.404		15	11	244.116	53.374		18	23	-337.766	-34.278
	14	8	263.446	100.640		19	1	-244.288	-52.037		22	13	341.442	35.120
	17	22	-259.972	-98.698		22	16	246.686	50.764		26	2	-343.820	-36.409
	21	12	258.707	97.506		26	6	-247.015	-49.441		29	16	347.100	37.407
	25	2	-255.513	-95.621		29	20	249.612	48.697	Nov.	2	6	-349.156	-38.192
	28	16	254.473	94.455	Juill.	3	10	-250.173	-47.414		5	20	352.000	39.327
Mars	3	6	-251.483	-92.611		7	1	252.851	46.160		9	9	-353.447	-40.935
	6	20	250.704	91.480		10	15	-253.717	-44.924		12	23	355.866	42.182
	10	11	-247.920	-89.152		14	5	256.554	44.207		16	13	-356.572	-43.156
	14	1	247.510	88.114		17	19	-257.716	-43.037		20	2	358.483	45.184
	17	15	-244.846	-86.306		21	9	260.610	42.323		23	16	-358.479	-46.162
	21	5	244.702	85.315		24	23	-262.035	-41.217		27	6	359.674	47.478
	24	19	-242.236	-83.534		28	14	265.133	40.002		30	19	-359.036	-49.123
	28	10	242.333	82.085	Août	1	4	-266.726	-38.952	Déc.	4	9	359.452	50.366
Avril	1	0	-240.163	-80.360		4	18	270.081	38.327		7	22	-358.128	-51.898
	4	14	240.419	79.429		8	8	-271.855	-37.339		11	12	357.808	53.001
	8	4	-238.513	-77.761		11	22	275.422	36.785		15	2	-355.815	-53.682
	11	19	238.911	76.331		15	12	-277.352	-35.860		18	15	354.768	55.266
	15	9	-237.298	-74.726		19	2	281.095	35.382		22	5	-352.238	-55.757
	18	23	237.893	73.811		22	16	-283.284	-34.552		25	19	350.577	56.410
	22	13	-236.436	-72.232		26	6	287.081	34.157		29	8	-347.438	-57.340
	26	4	237.291	70.852		29	20	-289.560	-33.437	Janv.	1	22	345.409	57.750
	29	18	-236.032	-69.304	Sept.	2	10	293.433	33.136		5	12	-341.680	-57.730

CALLISTO 2012

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 8	-528.642	-209.700	Mai 14 22	-414.992	-110.582	Sept. 26 12	-552.741	-53.832
9 16	518.246	204.440	23 9	421.648	106.094	Oct. 4 20	575.201	55.486
18 2	-500.383	-196.420	31 19	-419.253	-100.265	13 4	-581.278	-56.911
26 10	491.087	190.899	Juin 9 5	428.161	96.315	21 12	602.872	60.431
Févr. 3 20	-475.185	-182.988	17 16	-427.353	-90.361	29 19	-606.073	-64.023
12 5	467.840	177.220	26 2	438.385	86.552	Nov. 7 3	624.493	69.226
20 15	-453.992	-169.563	Juill. 4 13	-439.198	-80.888	15 10	-622.993	-73.996
29 1	449.130	163.847	12 23	452.498	77.290	23 17	635.747	80.499
Mars 8 11	-437.450	-156.546	21 9	-454.778	-72.347	Déc. 2 0	-627.942	-85.280
16 21	434.945	151.241	29 19	470.456	69.084	10 7	633.969	91.297
25 8	-425.526	-143.994	Août 7 5	-474.320	-64.673	18 14	-619.563	-94.697
Avril 2 18	425.390	139.075	15 14	492.192	62.295	26 21	619.227	98.955
11 4	-417.856	-132.499	24 0	-497.572	-58.661	Janv. 4 4	-599.926	-100.058
19 14	420.171	127.949	Sept. 1 9	517.688	57.108	12 12	594.830	101.454
28 1	-414.457	-121.291	9 18	-524.052	-54.933			
Mai 6 11	418.911	116.964	18 3	545.895	54.573			

SATELLITES DE SATURNE

Coordonnées tangentielles (X,Y)
aux heures les plus proches des plus grandes élongations

MIMAS	II. 120
ENCELADE	II. 126
TÉTHYS	II. 130
DIONÉ	II. 133
RHÉA	II. 135
TITAN	II. 136
HYPÉRIION	II. 137
JAPET	II. 137

MIMAS 2012

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.	31 21	25.292	1.628	Janv.	22 2	-26.760	-1.240	Févr.	12 7	27.558	1.600
	Janv. 1 8	-25.849	-1.815		22 13	26.212	2.286		12 18	-27.526	-1.663
	1 20	25.336	0.978		23 1	-26.654	-0.521		13 6	27.483	0.817
	2 7	-26.032	-1.184		23 12	26.466	1.583		13 17	-27.571	-0.884
	2 18	25.227	2.059		23 23	-26.772	-1.685		14 4	27.585	2.073
3 6	-25.935	-0.533	24 11	26.418	0.855	14 15	-27.433	-2.131			
3 17	25.458	1.416	24 22	-26.848	-0.969	15 3	27.700	1.297			
4 4	-26.037	-1.599	25 9	26.477	2.042	15 14	-27.668	-1.360			
4 16	25.397	0.751	25 20	-26.669	-2.129	16 2	27.500	0.502			
5 3	-26.116	-0.951	26 8	26.618	1.321	16 13	-27.588	-0.568			
5 14	25.463	1.853	26 19	-26.930	-1.419	17 0	27.801	1.774			
6 1	-25.931	-2.014	27 7	26.454	0.579	17 11	-27.648	-1.835			
6 13	25.589	1.194	27 18	-26.891	-0.688	17 23	27.791	0.983			
7 0	-26.188	-1.371	28 5	26.701	1.784	18 10	-27.760	-1.048			
7 12	25.421	0.514	28 16	-26.898	-1.869	18 21	27.786	2.246			
7 23	-26.162	-0.708	29 4	26.727	1.047	19 9	-27.554	-0.244			
8 10	25.664	1.637	29 15	-27.044	-1.142	19 20	27.966	1.464			
8 21	-26.149	-1.793	30 2	26.668	2.245	20 7	-27.814	-1.528			
9 9	25.683	0.961	30 14	-26.889	-0.397	20 19	27.829	0.662			
9 20	-26.301	-1.133	31 1	26.883	1.516	21 6	-27.799	-0.727			
10 7	25.622	2.078	Févr.	31 12	-27.083	-1.598	21 17	28.024	1.941		
10 19	-26.168	-0.455		1 0	26.791	0.764	22 4	-27.749	-2.005		
11 6	25.829	1.409		1 11	-27.112	-0.855	22 16	28.078	1.145		
11 17	-26.330	-1.560		1 22	26.922	1.982	23 3	-27.928	-1.211		
12 5	25.740	0.718		2 9	-27.006	-2.053	23 14	27.967	2.412		
12 16	-26.375	-0.884	2 21	27.020	1.236	24 2	-27.784	-0.399			
13 3	25.858	1.856	3 8	-27.223	-1.316	24 13	28.211	1.625			
13 14	-26.247	-1.987	3 19	26.846	2.443	25 0	-27.937	-1.694			
14 2	25.957	1.170	4 7	-27.134	-0.559	25 12	28.137	0.817			
14 13	-26.472	-1.316	4 18	27.133	1.707	25 23	-27.987	-0.886			
15 0	25.771	2.300	5 5	-27.218	-1.777	26 10	28.228	2.101			
15 12	-26.409	-0.625	5 17	27.111	0.946	26 21	-27.827	-2.173			
15 23	26.057	1.622	6 4	-27.317	-1.024	27 9	28.344	1.299			
16 10	-26.458	-1.749	6 15	27.129	2.174	27 20	-28.072	-1.373			
16 22	26.046	0.920	7 3	-27.108	-0.253	28 8	28.140	0.481			
17 9	-26.575	-1.062	7 14	27.297	1.421	28 19	-27.992	-0.553			
17 20	26.041	2.073	8 1	-27.384	-1.490	29 6	28.435	1.779			
18 8	-26.401	-0.356	8 13	27.155	0.646	29 17	-28.036	-1.858			
18 19	26.218	1.377	9 0	-27.362	-0.721	Mars	1 5	28.421	0.965		
19 6	-26.629	-1.500	9 11	27.367	1.893		1 16	-28.152	-1.044		
19 18	26.095	0.661	9 22	-27.336	-1.955	2 3	28.410	2.252			
20 5	-26.636	-0.797	10 10	27.414	1.124	2 15	-27.941	-0.215			
20 16	26.273	1.833	10 21	-27.502	-1.192	3 2	28.586	1.448			
21 3	-26.571	-1.939	11 8	27.321	2.361	3 13	-28.192	-1.534			
21 15	26.339	1.122	11 20	-27.358	-0.410	4 1	28.441	0.624			

MIMAS 2012

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	"	"
Mars	4 12	-28.176	-0.709	Mars	25 17	29.378	0.778	Avril	15 21	-28.553	-2.044
	4 23	28.635	1.925		26 4	-28.684	-0.975		16 9	29.799	0.824
	5 10	-28.111	-2.021		26 15	29.391	2.079		16 20	-28.781	-1.214
	5 22	28.680	1.108		27 3	-28.447	-0.120		17 7	29.645	2.090
	6 9	-28.292	-1.202		27 14	29.522	1.253		17 19	-28.663	-0.372
	6 20	28.568	2.396		28 1	-28.693	-1.473		18 6	29.842	1.280
	7 8	-28.143	-0.367		28 13	29.325	0.413		18 17	-28.672	-1.701
	7 19	28.803	1.589		29 0	-28.659	-0.624		19 5	29.711	0.458
	8 6	-28.287	-1.694		29 11	29.549	1.722		19 16	-28.762	-0.867
	8 18	28.716	0.762		29 22	-28.576	-1.965		20 3	29.767	1.729
	9 5	-28.335	-0.864		30 10	29.542	0.889		20 15	-28.504	-0.026
	9 16	28.810	2.064		30 21	-28.746	-1.125		21 2	29.826	0.916
	10 3	-28.159	-2.181		31 8	29.460	2.182		21 13	-28.731	-1.356
	10 15	28.913	1.245		31 20	-28.572	-0.271		22 0	29.577	2.168
	11 2	-28.407	-1.359		Avril 1 7	29.642	1.360		22 12	-28.681	-0.521
11 13	28.702	2.531	1 18	-28.707	-1.621	22 23	29.824	1.366			
12 1	-28.320	-0.519	2 6	29.497	0.522	23 10	-28.571	-1.837			
12 12	28.994	1.723	2 17	-28.737	-0.774	23 22	29.746	0.553			
12 23	-28.355	-1.851	3 4	29.627	1.823	24 9	-28.728	-1.012			
13 11	28.963	0.895	3 15	-28.541	-2.109	24 20	29.706	1.809			
13 22	-28.468	-1.018	4 3	29.671	0.994	25 8	-28.539	-0.178			
14 9	28.959	2.194	4 14	-28.776	-1.273	25 19	29.817	1.004			
14 21	-28.245	-0.171	5 1	29.495	2.278	26 6	-28.647	-1.495			
15 8	29.118	1.375	5 13	-28.667	-0.422	26 18	29.602	0.192			
15 19	-28.493	-1.514	6 0	29.728	1.460	27 5	-28.665	-0.669			
16 7	28.952	0.539	6 11	-28.688	-1.765	27 16	29.770	1.449			
16 18	-28.470	-0.672	6 23	29.634	0.627	28 3	-28.436	-1.969			
17 5	29.157	1.849	7 10	-28.784	-0.922	28 15	29.744	0.644			
17 16	-28.395	-2.006	7 21	29.669	1.918	29 2	-28.662	-1.154			
18 4	29.181	1.020	8 9	-28.535	-0.070	29 13	29.607	1.884			
18 15	-28.572	-1.171	8 20	29.764	1.095	30 1	-28.543	-0.329			
19 2	29.080	2.316	9 7	-28.775	-1.418	30 12	29.770	1.089			
19 14	-28.412	-0.322	9 19	29.531	0.260	30 23	-28.529	-1.631			
20 1	29.293	1.497	10 6	-28.730	-0.571	Mai 1 11	29.608	0.286			
20 12	-28.551	-1.667	10 17	29.778	1.555	1 22	-28.618	-0.815			
21 0	29.181	0.661	11 4	-28.637	-1.906	2 9	29.678	1.528			
21 11	-28.592	-0.824	11 16	29.735	0.728	2 21	-28.362	0.007			
21 22	29.290	1.968	12 3	-28.799	-1.069	3 8	29.706	0.732			
22 9	-28.405	-2.157	12 14	29.675	2.007	3 19	-28.563	-1.294			
22 21	29.367	1.140	13 2	-28.614	-0.221	4 6	29.470	1.956			
23 8	-28.648	-1.323	13 13	29.821	1.190	4 18	-28.515	-0.479			
23 19	29.170	2.430	14 0	-28.740	-1.561	5 5	29.686	1.172			
24 7	-28.550	-0.473	14 12	29.640	0.361	5 16	-28.379	-1.763			
24 18	29.437	1.613	14 23	-28.762	-0.720	6 4	29.579	0.379			
25 5	-28.579	-1.818	15 10	29.791	1.644	6 15	-28.539	-0.959			

MIMAS 2012

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	"	"	
Mai	7	2	29.549	1.604	Mai	28	7	-27.913	-1.190	Juin	18	12	27.987	0.514	
	7	14	-28.355	-0.146		28	18	28.736	1.567		18	23	-26.966	-1.426	
	8	1	29.631	0.819		29	6	-27.904	-0.429		19	11	27.832	-0.183	
	8	12	-28.432	-1.430		29	17	28.923	0.831		19	22	-27.157	-0.723	
	9	0	29.392	0.029		30	4	-27.674	-1.631		20	9	27.803	0.916	
	9	11	-28.457	-0.626		30	16	28.797	0.089		20	21	-27.035	-0.016	
	9	22	29.566	1.253		31	3	-27.868	-0.881		21	8	27.835	0.224	
	10	9	-28.196	-1.891		31	14	28.743	1.243		21	19	-26.978	-1.145	
	10	21	29.515	0.470		Juin	1	2	-27.733		-0.125	22	7	27.568	-0.466
	11	8	-28.428	-1.099			1	13	28.805		0.509	22	18	-27.055	-0.445
	11	19	29.384	1.679		2	0	-27.704	-1.324		23	5	27.719	0.628	
12	7	-28.318	-0.298	2	12	28.557	-0.227	23	17	-26.820	0.255				
12	18	29.521	0.905	2	23	-27.773	-0.577	24	4	27.639	-0.059				
13	5	-28.269	-1.563	3	10	28.696	0.922	24	15	-26.948	-0.868				
13	17	29.339	0.125	3	22	-27.515	0.173	25	2	27.486	1.025				
14	4	-28.366	-0.771	4	9	28.635	0.192	25	14	-26.911	-0.173				
14	15	29.410	1.332	4	20	-27.684	-1.021	26	1	27.592	0.345				
15	3	-28.124	0.026	5	7	28.469	1.329	26	12	-26.715	-1.283				
15	14	29.416	0.560	5	19	-27.630	-0.277	27	0	27.402	-0.336				
16	1	-28.285	-1.237	6	6	28.596	0.607	27	11	-26.876	-0.596				
16	12	29.182	1.751	6	17	-27.466	-1.456	27	22	27.427	0.744				
17	0	-28.250	-0.447	7	5	28.416	-0.118	28	10	-26.728	0.093				
17	11	29.377	0.989	7	16	-27.615	-0.722	28	21	27.423	0.068				
17	22	-28.074	-1.693	8	3	28.439	1.016	29	8	-26.714	-1.013				
18	10	29.253	0.220	8	15	-27.440	0.016	29	19	27.143	1.138				
18	21	-28.246	-0.914	9	2	28.446	0.297	30	7	-26.763	-0.330				
19	8	29.219	1.411	9	13	-27.471	-1.158	30	18	27.326	0.468				
19	20	-28.080	-0.128	10	0	28.165	1.418	Juill.	1	6	-26.507	0.353			
20	7	29.284	0.650	10	12	-27.499	-0.428		1	17	27.213	-0.203			
20	18	-28.112	-1.371	10	23	28.359	0.708		2	4	-26.672	-0.746			
21	6	29.033	-0.114	11	11	-27.205	0.303	2	15	27.110	0.865				
21	17	-28.153	-0.594	11	22	28.248	-0.006	3	3	-26.612	-0.068				
22	4	29.198	1.073	12	9	-27.429	-0.865	3	14	27.184	0.198				
22	16	-27.858	0.186	12	20	28.154	1.112	4	1	-26.456	-1.156				
23	3	29.134	0.316	13	8	-27.338	-0.140	4	13	26.965	-0.467				
23	14	-28.095	-1.053	13	19	28.230	0.405	5	0	-26.591	-0.485				
24	1	28.994	1.489	14	6	-27.231	-1.293	5	11	27.036	0.596				
24	13	-28.006	-0.280	14	18	28.002	-0.303	5	23	-26.424	0.187				
25	0	29.119	0.740	15	5	-27.341	-0.576	6	10	27.003	-0.066				
25	11	-27.907	-1.503	15	16	28.094	0.810	6	21	-26.444	-0.896				
25	23	28.930	-0.013	16	4	-27.133	0.143	7	8	26.770	0.990				
26	10	-28.025	-0.739	16	15	28.054	0.108	7	20	-26.472	-0.229				
26	21	28.986	1.158	17	2	-27.217	-1.006	8	7	26.923	0.334				
27	9	-27.810	0.029	17	13	27.841	1.210	8	19	-26.201	0.437				
27	20	28.985	0.412	18	1	-27.209	-0.293	9	6	26.785	-0.323				

MIMAS 2012

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.	9	17	-26.394	-0.640	Juill.	30	22	25.739	0.071	Août	21	3	-24.983	-0.533	
	10	4	26.724	0.729		31	9	-25.427	-1.036		21	14	24.614	0.606	
	10	16	-26.317	0.022		31	21	25.563	-0.549		22	2	-24.967	0.062	
	11	3	26.772	0.076		Août	1	8	-25.602		-0.417	22	13	24.714	0.007
	11	14	-26.193	-1.045			1	19	25.579		0.467	23	0	-24.782	-0.923
	12	2	26.532	-0.574		2	7	-25.498	0.203		23	12	24.543	-0.591	
	12	13	-26.308	-0.389	2	18	25.587	-0.151	23		23	-24.943	-0.332		
	13	0	26.640	0.473	3	5	-25.437	-0.811	24		10	24.577	0.409		
	13	12	-26.127	0.267	3	17	25.318	-0.766	24		22	-24.838	0.262		
	13	23	26.585	-0.175	4	4	-25.517	-0.195	25		9	24.588	-0.189		
	14	10	-26.175	-0.795	4	15	25.491	0.246	25		20	-24.802	-0.723		
	14	21	26.389	0.866	5	3	-25.319	0.420	26		8	24.330	-0.784		
	15	9	-26.186	-0.144	5	14	25.405	-0.369	26		19	-24.875	-0.133		
	15	20	26.519	0.222	6	1	-25.416	-0.591	27		6	24.514	0.215		
	16	7	-25.920	-1.194	6	12	25.276	0.641	27		18	-24.684	0.458		
	16	19	26.363	-0.421	7	0	-25.401	0.022	28		5	24.438	-0.381		
17	6	-26.121	-0.550	7	11	25.374	0.029	28	16	-24.796	-0.526				
17	17	26.335	0.617	7	22	-25.197	-0.982	29	3	24.318	0.619				
18	5	-26.030	0.097	8	10	25.196	-0.582	29	15	-24.782	0.064				
18	16	26.364	-0.023	8	21	-25.364	-0.374	30	2	24.425	0.024				
19	3	-25.933	-0.950	9	8	25.223	0.426	30	13	-24.602	-0.916				
19	15	26.108	-0.660	9	20	-25.257	0.236	31	1	24.263	-0.571				
20	2	-26.032	-0.309	10	7	25.228	-0.183	31	12	-24.763	-0.331				
20	13	26.246	0.374	10	18	-25.208	-0.767	31	23	24.292	0.429				
21	1	-25.842	0.332	11	6	24.959	-0.789	Sept.	1	11	-24.663	0.258			
21	12	26.175	-0.262	11	17	-25.283	-0.161		1	22	24.312	-0.165			
21	23	-25.911	-0.711	12	4	25.141	0.215		2	9	-24.630	-0.723			
22	10	26.008	0.767	12	16	-25.085	0.445		2	21	24.064	-0.757			
22	22	-25.910	-0.073	13	3	25.055	-0.391		3	8	-24.704	-0.137			
23	9	26.123	0.135	13	14	-25.190	-0.555		3	19	24.241	0.243			
23	20	-25.670	-1.106	14	1	24.934	0.613		4	7	-24.519	0.449			
24	8	25.954	-0.495	14	13	-25.174	0.049		4	18	24.175	-0.351			
24	19	-25.855	-0.475	15	0	25.031	0.008		5	5	-24.631	-0.532			
25	6	25.951	0.530	15	11	-24.981	-0.944		5	16	24.050	0.650			
25	18	-25.756	0.157	15	23	24.855	-0.595		6	4	-24.620	0.054			
26	5	25.967	-0.098	16	10	-25.144	-0.346		6	15	24.166	0.058			
26	16	-25.680	-0.873	16	21	24.888	0.407		7	2	-24.444	-0.924			
27	4	25.702	-0.723	17	9	-25.037	0.255		7	14	24.015	-0.536			
27	15	-25.767	-0.245	17	20	24.894	-0.195		8	1	-24.606	-0.342			
28	2	25.861	0.298	18	7	-24.996	-0.737		8	12	24.037	0.467			
28	14	-25.571	0.383	18	19	24.629	-0.795	9	0	-24.510	0.244				
29	1	25.780	-0.326	19	6	-25.069	-0.140	9	11	24.068	-0.126				
29	12	-25.657	-0.643	19	17	24.814	0.205	9	22	-24.479	-0.736				
29	23	25.636	0.692	20	5	-24.873	0.457	10	10	23.832	-0.718				
30	11	-25.647	-0.018	20	16	24.731	-0.395	10	21	-24.556	-0.153				

MIMAS 2012

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	"	"
Sept.	11	8	24.000	0.286	Oct.	2	13	-24.170	-0.836	Oct.	23	18	23.199	0.954
	11	20	-24.377	0.432		3	1	23.343	-0.539		24	6	-24.116	0.054
	12	7	23.946	-0.308		3	12	-24.260	-0.247		24	17	23.317	0.324
	12	18	-24.488	-0.549		3	23	23.472	0.496		25	4	-24.093	-0.986
	13	5	23.812	0.698		4	11	-24.099	0.346		25	16	23.172	-0.313
	13	17	-24.481	0.035		4	22	23.461	-0.110		26	3	-24.192	-0.371
	14	4	23.939	0.106		5	9	-24.208	-0.655		26	14	23.260	0.778
	14	15	-24.308	-0.944		5	20	23.289	0.926		27	2	-24.043	0.252
	15	3	23.801	-0.488		6	8	-24.215	-0.062		27	13	23.296	0.140
	15	14	-24.473	-0.363		6	19	23.460	0.322		28	0	-24.160	-0.798
	16	1	23.812	0.521		7	6	-24.047	-1.062		28	11	23.084	1.232
	16	13	-24.382	0.222		7	18	23.367	-0.287		28	23	-24.177	-0.175
	17	0	23.855	-0.073		8	5	-24.221	-0.473		29	10	23.300	0.598
	17	11	-24.352	-0.760		8	16	23.338	0.756		29	21	-24.021	-1.226
	17	23	23.634	-0.667		9	4	-24.147	0.124		30	9	23.252	-0.047
18	10	-24.432	-0.177	9	15	23.426	0.147	30	20	-24.203	-0.605			
18	21	23.790	0.344	10	2	-24.118	-0.883	31	7	23.185	1.057			
19	9	-24.259	0.408	10	14	23.251	-0.466	31	19	-24.138	0.026			
19	20	23.749	-0.251	11	1	-24.211	-0.288	Nov.	1	6	23.317	0.413		
20	7	-24.370	-0.577	11	12	23.365	0.585		1	17	-24.122	-1.037		
20	18	23.604	0.762	12	0	-24.055	0.312	2	5	23.185	-0.239			
21	6	-24.368	0.008	12	11	23.370	-0.030	2	16	-24.222	-0.407			
21	17	23.745	0.168	12	22	-24.165	-0.702	3	3	23.264	0.877			
22	4	-24.196	-0.975	13	9	23.184	1.022	3	15	-24.073	0.231			
22	16	23.621	-0.429	13	21	-24.177	-0.101	4	2	23.312	0.224			
23	3	-24.364	-0.393	14	8	23.370	0.411	4	13	-24.198	-0.842			
23	14	23.621	0.588	14	19	-24.011	-1.115	5	1	23.096	-0.435			
24	2	-24.279	0.193	15	7	23.293	-0.209	5	12	-24.215	-0.204			
24	13	23.678	-0.009	15	18	-24.189	-0.518	5	23	23.320	0.691			
25	0	-24.248	-0.794	16	5	23.250	0.852	6	10	-24.067	-1.278			
25	12	23.471	-0.607	16	17	-24.119	0.088	6	22	23.285	0.030			
25	23	-24.333	-0.210	17	4	23.353	0.234	7	9	-24.250	-0.642			
26	10	23.614	0.415	17	15	-24.092	-0.934	7	20	23.209	1.160			
26	22	-24.166	0.378	18	3	23.193	-0.390	8	8	-24.184	0.004			
27	9	23.588	-0.185	18	14	-24.189	-0.330	8	19	23.355	0.501			
27	20	-24.276	-0.613	19	1	23.294	0.680	9	6	-24.177	-1.083			
28	7	23.430	0.838	19	13	-24.037	0.280	9	18	23.234	-0.169			
28	19	-24.279	-0.025	20	0	23.315	0.055	10	5	-24.277	-0.437			
29	6	23.585	0.240	20	11	-24.149	-0.750	10	16	23.305	0.974			
29	17	-24.109	-1.015	20	22	23.115	1.125	11	4	-24.127	0.218			
30	5	23.476	-0.362	21	10	-24.164	-0.140	11	15	23.366	0.304			
30	16	-24.280	-0.431	21	21	23.317	0.503	12	2	-24.263	-0.881			
Oct.	1	3	23.462	0.668	22	8	-24.002	-1.170	12	14	23.160	-0.373		
	1	15	-24.201	0.160	22	20	23.254	-0.128	13	1	-24.279	-0.225		
	2	2	23.534	0.066	23	7	-24.183	-0.562	13	12	23.378	0.781		

MIMAS 2012

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. 13 23	-24.142	-1.326	Nov. 30 23	-24.466	0.012	Déc. 17 22	-24.924	-0.388
14 11	23.354	0.102	Déc. 1 10	23.690	0.719	18 9	24.094	1.323
14 22	-24.323	-0.672	1 21	-24.510	-1.167	18 20	-24.748	-1.644
15 9	23.272	1.260	2 9	23.589	-0.014	19 8	24.173	0.540
15 21	-24.255	-0.007	2 20	-24.595	-0.458	19 19	-24.979	-0.884
16 8	23.429	0.583	3 7	23.663	1.223	20 6	23.976	1.849
16 19	-24.261	-1.122	3 19	-24.425	0.262	20 18	-24.947	-0.109
17 7	23.318	-0.106	4 6	23.744	0.491	21 5	24.238	1.070
17 18	-24.358	-0.457	4 17	-24.617	-0.931	21 16	-24.926	-1.383
18 5	23.385	1.066	5 5	23.554	-0.254	22 4	24.221	0.273
18 17	-24.205	0.218	5 16	-24.614	-0.209	22 15	-25.064	-0.608
19 4	23.456	0.377	6 3	23.782	0.999	23 2	24.185	1.602
19 15	-24.355	-0.910	6 14	-24.533	-1.407	23 14	-24.938	0.180
20 3	23.258	-0.321	7 2	23.773	0.254	24 1	24.352	0.807
20 14	-24.367	-0.235	7 13	-24.697	-0.687	24 12	-25.075	-1.112
21 1	23.475	0.865	8 0	23.702	1.510	25 0	24.239	-0.004
21 12	-24.244	-1.365	8 12	-24.604	0.047	25 11	-25.118	-0.322
22 0	23.459	0.165	8 23	23.875	0.767	25 22	24.366	1.343
22 11	-24.423	-0.691	9 10	-24.673	-1.168	26 9	-24.978	-1.618
22 22	23.376	1.354	9 22	23.775	0.009	26 21	24.437	0.533
23 10	-24.349	-0.005	10 9	-24.748	-0.433	27 8	-25.192	-0.829
23 21	23.541	0.656	10 20	23.860	1.282	27 19	24.264	1.880
24 8	-24.372	-1.151	11 8	-24.565	0.312	28 7	-25.140	-0.025
24 20	23.437	-0.054	11 19	23.942	0.525	28 18	24.518	1.073
25 7	-24.464	-0.465	12 6	-24.786	-0.918	29 5	-25.159	-1.340
25 18	23.505	1.150	12 18	23.749	-0.245	29 17	24.491	0.249
26 6	-24.304	0.231	13 5	-24.771	-0.170	30 4	-25.278	-0.536
26 17	23.582	0.440	13 16	23.991	1.044	30 15	24.483	1.615
27 4	-24.473	-0.928	14 3	-24.717	-1.405	31 3	-25.128	0.281
27 16	23.390	-0.280	14 15	23.981	0.274	31 14	24.639	0.793
28 3	-24.479	-0.231	15 2	-24.870	-0.658	Janv. 1 1	-25.308	-1.051
28 14	23.609	0.939	15 13	23.924	1.565	1 13	24.513	-0.046
29 1	-24.375	-1.393	16 1	-24.763	0.102	2 0	-25.329	-0.231
29 13	23.599	0.217	16 12	24.096	0.797	2 11	24.672	1.340
30 0	-24.548	-0.697	16 23	-24.863	-1.150			
30 11	23.518	1.438	17 11	23.992	0.013			

ENCELADE 2012

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.	31	11	32.811	0.716	Janv.	31	7	-34.759	-0.461	Mars	2	3	36.289	0.345
Janv.	1	3	-33.009	-1.315		31	23	34.577	1.368		2	19	-36.517	-0.971
	1	20	32.865	0.534	Févr.	1	16	-34.803	-0.259		3	12	36.296	0.131
	2	12	-33.113	-1.137		2	8	34.696	1.169		4	4	-36.585	-0.759
	3	5	32.904	0.349		3	1	-34.832	-0.055		4	20	36.358	1.707
	3	21	-33.206	-0.956		3	17	34.799	0.967		5	13	-36.630	-0.546
	4	14	32.929	0.162		4	9	-34.880	-1.588		6	5	36.485	1.495
	5	6	-33.284	-0.773		5	2	34.883	0.764		6	22	-36.656	-0.333
	5	22	32.980	1.613		5	18	-35.023	-1.388		7	14	36.589	1.284
	6	15	-33.349	-0.587		6	11	34.949	0.561		8	7	-36.659	-0.119
	7	7	33.110	1.433		7	3	-35.147	-1.186		8	23	36.675	1.071
	8	0	-33.398	-0.399		7	20	34.998	0.354		9	15	-36.687	-1.686
	8	16	33.227	1.250		8	12	-35.254	-0.983		10	8	36.737	0.858
	9	9	-33.434	-0.210		9	5	35.028	0.147		11	0	-36.810	-1.475
	10	1	33.330	1.065		9	21	-35.342	-0.777		11	17	36.779	0.645
	10	18	-33.454	-0.019		10	13	35.059	1.701		12	9	-36.910	-1.264
	11	10	33.418	0.877		11	6	-35.412	-0.573		13	2	36.798	0.430
	12	2	-33.554	-1.485		11	22	35.204	1.498		13	18	-36.990	-1.051
	12	19	33.490	0.687		12	15	-35.464	-0.365		14	11	36.795	0.217
	13	11	-33.681	-1.299		13	7	35.333	1.293		15	3	-37.047	-0.839
	14	4	33.548	0.496		14	0	-35.497	-0.157		15	19	36.822	1.785
	14	20	-33.794	-1.111		14	16	35.442	1.087		16	12	-37.082	-0.625
	15	13	33.591	0.303		15	9	-35.510	0.054		17	4	36.940	1.575
	16	5	-33.892	-0.921		16	1	35.534	0.881		17	21	-37.094	-0.411
	16	22	33.619	0.109		16	17	-35.626	-1.504		18	13	37.037	1.363
	17	14	-33.972	-0.730		17	10	35.605	0.671		19	6	-37.084	-0.198
	18	6	33.686	1.603		18	2	-35.756	-1.298		19	22	37.110	1.150
	18	23	-34.040	-0.536		18	19	35.657	0.462		20	14	-37.079	-1.755
	19	15	33.824	1.414		19	11	-35.866	-1.090		21	7	37.161	0.937
	20	8	-34.091	-0.340		20	4	35.689	0.250		21	23	-37.192	-1.545
	21	0	33.945	1.222		20	20	-35.959	-0.882		22	16	37.187	0.725
	21	17	-34.128	-0.143		21	13	35.700	0.039		23	8	-37.282	-1.333
	22	9	34.050	1.030		22	5	-36.032	-0.671		24	1	37.193	0.512
	23	2	-34.147	0.056		22	21	35.808	1.612		24	17	-37.348	-1.122
	23	18	34.140	0.834		23	14	-36.083	-0.460		25	10	37.174	0.300
	24	10	-34.275	-1.450		24	6	35.938	1.403		26	2	-37.391	-0.910
	25	3	34.214	0.636		24	23	-36.114	-0.248		26	18	37.172	1.851
	25	19	-34.404	-1.256		25	15	36.050	1.193		27	11	-37.409	-0.700
	26	12	34.271	0.436		26	8	-36.125	-0.037		28	3	37.277	1.641
	27	4	-34.518	-1.061		27	0	36.140	0.982		28	20	-37.406	-0.488
	27	21	34.310	0.235		27	16	-36.191	-1.604		29	12	37.359	1.431
	28	13	-34.615	-0.863		28	9	36.210	0.770		30	5	-37.378	-0.278
	29	6	34.334	0.033		29	1	-36.321	-1.394		30	21	37.417	1.220
	29	22	-34.696	-0.663		29	18	36.259	0.557		31	13	-37.347	-1.815
	30	14	34.439	1.565	Mars	1	10	-36.430	-1.183	Avril	1	6	37.452	1.012

ENCELADE 2012

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	1	22	-37.442	-1.605	Mai	2	18	37.425	1.427	Juin	2	14	-36.220	-1.037
	2	15	37.463	0.801		3	11	-37.253	-0.345		3	6	36.180	1.850
	3	7	-37.515	-1.397		4	3	37.407	1.232		3	23	-36.122	-0.861
	4	0	37.451	0.592		4	19	-37.270	-1.781		4	15	36.161	1.676
	4	16	-37.564	-1.188		5	12	37.368	1.039		5	8	-36.004	-0.688
	5	9	37.415	0.383		6	4	-37.290	-1.590		6	0	36.123	1.501
	6	1	-37.591	-0.981		6	21	37.304	0.846		6	17	-35.869	-0.514
	6	17	37.383	1.908		7	13	-37.287	-1.398		7	9	36.065	1.328
	7	10	-37.593	-0.773		8	6	37.220	0.655		8	1	-35.820	-1.838
	8	2	37.471	1.701		8	22	-37.262	-1.207		8	18	35.988	1.154
	8	19	-37.571	-0.566		9	15	37.113	0.465		9	10	-35.800	-1.666
	9	11	37.535	1.494		10	7	-37.214	-1.017		10	3	35.894	0.983
	10	4	-37.526	-0.359		10	23	37.119	1.879		10	19	-35.761	-1.494
	10	20	37.577	1.288		11	16	-37.144	-0.828		11	12	35.781	0.812
	11	12	-37.465	-1.868		12	8	37.134	1.690		12	4	-35.705	-1.323
	12	5	37.594	1.082		13	1	-37.054	-0.640		12	21	35.651	0.640
12	21	-37.543	-1.663	13	17	37.126	1.502	13	13	-35.629	-1.152			
13	14	37.587	0.877	14	10	-36.941	-0.453	14	5	35.565	1.944			
14	6	-37.597	-1.459	15	2	37.096	1.315	14	22	-35.538	-0.983			
14	23	37.557	0.672	15	18	-36.906	-1.849	15	14	35.545	1.775			
15	15	-37.629	-1.255	16	11	37.043	1.129	16	7	-35.428	-0.813			
16	8	37.502	0.470	17	3	-36.915	-1.663	16	23	35.511	1.607			
17	0	-37.636	-1.051	17	20	36.970	0.943	17	16	-35.301	-0.644			
17	16	37.443	1.961	18	12	-36.901	-1.478	18	8	35.457	1.439			
18	9	-37.620	-0.848	19	5	36.876	0.759	19	1	-35.156	-0.476			
19	1	37.512	1.759	19	21	-36.866	-1.294	19	17	35.389	1.272			
19	18	-37.580	-0.646	20	14	36.763	0.575	20	9	-35.135	-1.775			
20	10	37.557	1.556	21	6	-36.810	-1.112	21	2	35.303	1.104			
21	3	-37.517	-0.446	21	22	36.708	1.947	21	18	-35.103	-1.608			
21	19	37.578	1.355	22	15	-36.733	-0.929	22	11	35.199	0.937			
22	12	-37.430	-0.246	23	7	36.712	1.766	23	3	-35.054	-1.443			
23	4	37.577	1.155	24	0	-36.635	-0.748	23	20	35.079	0.771			
23	20	-37.486	-1.721	24	16	36.695	1.584	24	12	-34.989	-1.277			
24	13	37.552	0.955	25	9	-36.517	-0.567	25	5	34.943	0.606			
25	5	-37.522	-1.522	26	1	36.659	1.405	25	21	-34.906	-1.111			
25	22	37.506	0.757	26	17	-36.414	-1.925	26	13	34.875	1.886			
26	14	-37.533	-1.324	27	10	36.602	1.225	27	6	-34.809	-0.946			
27	7	37.436	0.559	28	2	-36.416	-1.746	27	22	34.849	1.723			
27	23	-37.523	-1.126	28	19	36.525	1.046	28	15	-34.694	-0.781			
28	16	37.342	0.363	29	11	-36.396	-1.567	29	7	34.807	1.559			
29	8	-37.489	-0.929	30	4	36.427	0.867	30	0	-34.566	-0.618			
30	0	37.393	1.816	30	20	-36.357	-1.390	30	16	34.747	1.397			
30	17	-37.434	-0.734	31	13	36.309	0.691	Juill.	1	8	-34.426	-1.894		
Mai	1	9	37.419	1.622	Juin	1	5	-36.298	-1.213	2	1	34.673	1.234	
	2	2	-37.355	-0.539		1	21	36.181	2.025	2	17	-34.406	-1.733	

ENCELADE 2012

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.	3 10	34.583	1.071	Août	3 6	-32.691	-0.933	Sept.	3 2	31.510	1.141
	4 2	-34.370	-1.571		3 22	32.737	1.687		3 19	-31.178	-0.204
	4 19	34.480	0.909		4 15	-32.600	-0.776		4 11	31.472	0.983
	5 11	-34.316	-1.411		5 7	32.711	1.532		5 3	-31.132	-1.526
	6 4	34.361	0.746		6 0	-32.500	-0.618		5 20	31.424	0.825
	6 20	-34.250	-1.249		6 16	32.673	1.378		6 12	-31.131	-1.370
	7 13	34.227	0.584		7 9	-32.387	-0.460		7 5	31.366	0.665
	8 5	-34.168	-1.088		8 1	32.623	1.222		7 21	-31.121	-1.214
	8 21	34.156	1.849		8 17	-32.268	-1.733		8 14	31.296	0.505
	9 14	-34.073	-0.927		9 10	32.559	1.067		9 6	-31.100	-1.056
	10 6	34.127	1.691		10 2	-32.256	-1.579		9 23	31.217	0.344
	10 23	-33.961	-0.765		10 19	32.485	0.910		10 15	-31.068	-0.897
	11 15	34.085	1.532		11 11	-32.231	-1.425		11 8	31.127	0.182
	12 8	-33.836	-0.604		12 4	32.399	0.753		12 0	-31.025	-0.737
	13 0	34.028	1.373		12 20	-32.194	-1.270		12 16	31.107	1.514
	13 17	-33.697	-0.443		13 13	32.302	0.595		13 9	-30.970	-0.577
14 9	33.957	1.213	14 5	-32.145	-1.116	14 1	31.111	1.357			
15 1	-33.666	-1.713	14 22	32.193	0.437	14 18	-30.907	-0.415			
15 18	33.871	1.054	15 14	-32.084	-0.959	15 10	31.105	1.199			
16 10	-33.633	-1.555	16 6	32.111	1.713	16 3	-30.834	-0.252			
17 3	33.772	0.894	16 23	-32.012	-0.802	16 19	31.089	1.040			
17 19	-33.585	-1.397	17 15	32.099	1.560	17 12	-30.751	-0.089			
18 12	33.658	0.735	18 8	-31.929	-0.644	18 4	31.062	0.881			
19 4	-33.523	-1.239	19 0	32.077	1.407	18 20	-30.723	-1.445			
19 21	33.534	0.576	19 17	-31.833	-0.486	19 13	31.025	0.719			
20 13	-33.446	-1.081	20 9	32.042	1.251	20 5	-30.733	-1.286			
21 5	33.438	1.834	21 2	-31.727	-0.327	20 22	30.978	0.557			
21 22	-33.358	-0.922	21 18	31.997	1.096	21 14	-30.733	-1.126			
22 14	33.416	1.679	22 10	-31.651	-1.621	22 7	30.921	0.393			
23 7	-33.255	-0.763	23 3	31.940	0.939	22 23	-30.724	-0.966			
23 23	33.379	1.522	23 19	-31.644	-1.467	23 16	30.854	0.229			
24 16	-33.142	-0.605	24 12	31.871	0.782	24 8	-30.704	-0.804			
25 8	33.328	1.367	25 4	-31.625	-1.312	25 1	30.778	0.064			
26 1	-33.014	-0.445	25 21	31.792	0.624	25 17	-30.673	-0.640			
26 17	33.265	1.210	26 13	-31.594	-1.156	26 9	30.773	1.433			
27 9	-32.945	-1.712	27 6	31.702	0.465	27 2	-30.632	-0.475			
28 2	33.189	1.053	27 22	-31.552	-0.999	27 18	30.790	1.273			
28 18	-32.920	-1.557	28 15	31.603	0.306	28 11	-30.580	-0.311			
29 11	33.101	0.895	29 7	-31.498	-0.843	29 3	30.796	1.111			
30 3	-32.882	-1.403	29 23	31.557	1.606	29 20	-30.520	-0.144			
30 20	32.999	0.737	30 16	-31.434	-0.684	Oct.	30 12	30.791	0.948		
31 12	-32.831	-1.246	31 8	31.552	1.451		1 5	-30.449	0.024		
Août	1 5	32.886	0.579	Sept.	1 1		-31.360	-0.525	1 21	30.777	0.784
	1 21	-32.767	-1.090		1 17		31.536	1.296	2 13	-30.436	-1.374
	2 14	32.760	0.421		2 10		-31.275	-0.365	3 6	30.752	0.619

ENCELADE 2012

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date				Date				Date			
Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	Mois	j	h	"
Oct.	3	22	-30.459	Nov.	3	2	-30.373	Déc.	3	6	-30.885
	4	15	30.718		3	19	30.546		3	22	31.096
	5	7	-30.471		4	11	-30.392		4	15	-30.904
	6	0	30.674		5	4	30.508		5	7	31.172
	6	16	-30.473		5	20	-30.400		6	0	-30.913
	7	9	30.620		6	12	30.555		6	16	31.239
	8	1	-30.466		7	5	-30.399		7	9	-30.909
	8	18	30.556		7	21	30.609		8	1	31.294
	9	10	-30.449		8	14	-30.387		8	17	-30.919
	10	2	30.567		9	6	30.653		9	10	31.338
	10	19	-30.422		9	23	-30.365		10	2	-31.012
	11	11	30.595		10	15	30.687		10	19	31.371
	12	4	-30.384		11	8	-30.334		11	11	-31.096
	12	20	30.614		12	0	30.712		12	4	31.392
	13	13	-30.336		12	16	-30.369		12	20	-31.168
	14	5	30.622		13	9	30.726		13	13	31.403
	14	22	-30.279		14	1	-30.431		14	5	-31.229
	15	14	30.621		14	18	30.730		14	22	31.401
	16	6	-30.277		15	10	-30.482		15	14	-31.278
	16	23	30.610		16	3	30.723		16	6	31.474
	17	15	-30.314		16	19	-30.525		16	23	-31.317
	18	8	30.588		17	12	30.706		17	15	31.568
	19	0	-30.340		18	4	-30.556		18	8	-31.342
	19	17	30.558		18	20	30.680		19	0	31.653
	20	9	-30.356		19	13	-30.577		19	17	-31.356
	21	2	30.517		20	5	30.756		20	9	31.726
	21	18	-30.361		20	22	-30.587		21	2	-31.358
	22	11	30.467		21	14	30.823		21	18	31.789
	23	3	-30.357		22	7	-30.586		22	10	-31.431
	23	19	30.492		22	23	30.879		23	3	31.838
	24	12	-30.343		23	16	-30.575		23	19	-31.533
	25	4	30.534		24	8	30.924		24	12	31.876
	25	21	-30.320		25	1	-30.553		25	4	-31.622
	26	13	30.565		25	17	30.960		25	21	31.900
	27	6	-30.286		26	9	-30.623		26	13	-31.700
	27	22	30.587		27	2	30.985		27	6	31.912
	28	15	-30.241		27	18	-30.696		27	22	-31.765
	29	7	30.599		28	11	30.999		28	14	31.953
	29	23	-30.255		29	3	-30.760		29	7	-31.818
	30	16	30.601		29	20	31.002		29	23	32.065
	31	8	-30.303		30	12	-30.811		30	16	-31.858
Nov.	1	1	30.593	Déc.	1	5	30.994		31	8	32.165
	1	17	-30.343		1	21	-30.854	Janv.	1	1	-31.886
	2	10	30.573		2	13	31.008				

TÉTHYS 2012

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.	31	23	-40.734	-2.094	Févr.	12	11	43.781	1.408	Mars	25	22	-46.204	-1.915
Janv.	1	22	40.828	1.615		13	9	-43.801	-2.419		26	21	46.143	1.365
	2	21	-40.850	-1.146		14	8	43.931	1.879		27	19	-46.244	-2.376
	3	19	40.916	2.056		15	7	-43.992	-1.358		28	18	46.271	1.830
	4	18	-41.024	-1.588		16	5	44.001	2.348		29	17	-46.211	-1.296
	5	17	41.022	1.097		17	4	-44.153	-1.830		30	15	46.318	2.289
	6	15	-41.119	-2.034		18	3	44.158	1.282		31	14	-46.350	-1.763
	7	14	41.206	1.542		19	1	-44.234	-2.299	Avril	1	12	46.284	2.742
	8	13	-41.212	-1.065		20	0	44.330	1.756		2	11	-46.408	-2.222
	9	11	41.313	1.989		20	23	-44.358	-1.227		3	10	46.381	1.674
	10	10	-41.404	-1.513		21	21	44.422	2.227		4	8	-46.384	-2.674
	11	9	41.390	1.009		22	20	-44.539	-1.699		5	7	46.446	2.131
	12	7	-41.523	-1.965		23	19	44.516	1.151		6	6	-46.433	-1.610
	13	6	41.591	1.460		24	17	-44.638	-2.171		7	4	46.427	2.584
	14	5	-41.589	-0.976		25	16	44.706	1.625		8	3	-46.507	-2.065
	15	3	41.717	1.913		26	15	-44.693	-1.089		9	2	46.425	1.523
	16	2	-41.801	-1.430		27	13	44.818	2.097		10	0	-46.501	-2.515
	17	0	41.765	2.365		28	12	-44.894	-1.564		10	23	46.506	1.978
	17	23	-41.938	-1.885		29	10	44.853	2.566		11	22	-46.448	-1.457
	18	22	41.985	1.373	Mars	1	9	-45.016	-2.039		12	20	46.507	2.429
	19	20	-41.996	-2.340		2	8	45.046	1.484		13	19	-46.538	-1.910
	20	19	42.131	1.831		3	6	-45.060	-2.508		14	17	46.428	2.870
	21	18	-42.202	-1.336		4	5	45.179	1.957		15	16	-46.548	-2.358
	22	16	42.198	2.289		5	4	-45.212	-1.424		16	15	46.502	1.827
	23	15	-42.358	-1.796		6	2	45.232	2.426		17	13	-46.476	-2.798
	24	14	42.387	1.278		7	1	-45.358	-1.898		18	12	46.524	2.274
	25	12	-42.434	-2.256		8	0	45.341	1.341		19	11	-46.497	-1.760
	26	11	42.553	1.739		8	22	-45.423	-2.367		20	9	46.461	2.713
	27	10	-42.600	-1.235		9	21	45.494	1.813		21	8	-46.524	-2.204
	28	8	42.641	2.202		10	20	-45.492	-1.279		22	7	46.435	1.679
	29	7	-42.775	-1.698		11	18	45.567	2.281		23	5	-46.468	-2.640
	30	6	42.789	1.172		12	17	-45.656	-1.751		24	4	46.469	2.122
	31	4	-42.871	-2.163		13	16	45.591	1.194		25	3	-46.394	-1.615
Févr.	1	3	42.974	1.638		14	14	-45.738	-2.219		26	1	46.422	2.557
	2	2	-42.995	-1.125		15	13	45.763	1.666		27	0	-46.437	-2.055
	3	0	43.081	2.104		16	11	-45.742	-2.683		27	23	46.300	1.534
	3	23	-43.191	-1.593		17	10	45.854	2.134		28	21	-46.396	-2.489
	4	22	43.178	1.057		18	9	-45.901	-1.600		29	20	46.350	1.973
	5	20	-43.310	-2.063		19	7	45.868	2.599		30	18	-46.277	-2.917
	6	19	43.384	1.526		20	6	-46.001	-2.068	Mai	1	17	46.316	2.406
	7	18	-43.381	-1.010		21	5	45.981	1.517		2	16	-46.287	-1.911
	8	16	43.515	1.995		22	3	-46.023	-2.530		3	14	46.204	2.831
	9	15	-43.596	-1.480		23	2	46.090	1.984		4	13	-46.264	-2.342
	10	13	43.566	2.462		24	1	-46.087	-1.448		5	12	46.165	1.830
	11	12	-43.738	-1.951		24	23	46.124	2.446		6	10	-46.162	-2.765

TÉTHYS 2012

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	"	"	
Mai	7	9	46.147	2.261	Juin	18	20	-43.750	-2.654	Juill.	31	8	40.716	1.933	
	8	8	-46.079	-1.770		19	19	43.680	2.198		Août	1	7	-40.594	-1.491
	9	6	46.051	2.683		20	18	-43.549	-1.750			2	5	40.590	2.333
	10	5	-46.072	-2.198		21	16	43.534	2.592			3	4	-40.556	-1.895
	11	4	45.924	1.694		22	15	-43.493	-2.150			4	2	40.383	2.731
	12	2	-45.983	-2.618		23	14	43.309	1.690	5	1	-40.437	-2.297		
	13	1	45.928	2.123		24	12	-43.357	-2.545	6	0	40.351	1.854		
	13	23	-45.810	-3.030		25	11	43.258	2.090	6	22	-40.235	-2.697		
	14	22	45.847	2.542		26	9	-43.139	-2.933	7	21	40.238	2.258		
	15	21	-45.820	-2.059		27	8	43.130	2.484	8	20	-40.197	-1.818		
	16	19	45.684	2.953		28	7	-43.072	-2.045	9	18	40.044	2.659		
	17	18	-45.747	-2.477		29	5	42.919	2.873	10	17	-40.088	-2.223		
	18	17	45.655	1.988		30	4	-42.952	-2.438	11	16	40.004	1.777		
	19	15	-45.591	-2.888		Juill.	1	3	42.833	1.988	12	14	-39.900	-2.629	
	20	14	45.591	2.403			2	1	-42.750	-2.826	13	13	39.902	2.185	
21	13	-45.519	-1.928	3	0	42.718	2.383	14	12	-39.857	-1.744				
22	11	45.445	2.812	3	23	-42.647	-1.943	15	10	39.720	2.591				
23	10	-45.462	-2.343	4	21	42.522	2.772	16	9	-39.760	-2.154				
24	9	45.334	1.858	5	20	-42.540	-2.337	17	8	39.675	1.703				
25	7	-45.326	-2.752	6	19	42.408	1.890	18	6	-39.587	-2.563				
26	6	45.285	2.271	7	17	-42.351	-2.727	19	5	39.581	2.115				
27	5	-45.180	-1.803	8	16	42.308	2.285	20	4	-39.542	-1.673				
28	3	45.155	2.678	9	15	-42.218	-1.845	21	2	39.411	2.526				
29	2	-45.140	-2.215	10	13	42.127	2.676	22	1	-39.455	-2.088				
30	1	44.972	1.733	11	12	-42.126	-2.240	23	0	39.366	1.631				
30	23	-45.021	-2.621	12	11	41.984	1.795	23	22	-39.291	-2.501				
Juin	31	22	44.938	2.145	13	9	-41.951	-2.633	24	21	39.284	2.051			
	1	20	-44.818	-3.018	14	8	41.899	2.191	25	20	-39.247	-1.602			
	2	19	44.826	2.549	15	7	-41.795	-1.752	26	18	39.124	2.467			
	3	18	-44.781	-2.091	16	5	41.734	2.583	27	17	-39.172	-2.022			
	4	16	44.631	2.946	17	4	-41.715	-2.149	28	16	39.080	1.565			
	5	15	-44.677	-2.494	18	3	41.566	1.702	29	14	-39.018	-2.441			
	6	14	44.563	2.026	19	1	-41.558	-2.544	30	13	39.011	1.990			
	7	12	-44.491	-2.889	20	0	41.494	2.100	31	12	-38.973	-1.535			
	8	11	44.466	2.428	20	23	-41.381	-1.663	Sept.	1	10	38.862	2.412		
	9	10	-44.393	-1.971	21	21	41.342	2.495		2	9	-38.908	-1.960		
	10	8	44.286	2.824	22	20	-41.317	-2.062	3	8	38.823	1.500			
	11	7	-44.304	-2.373	23	19	41.156	1.613	4	6	-38.762	-2.385			
	12	6	44.164	1.910	24	17	-41.175	-2.458	5	5	38.764	1.929			
	13	4	-44.131	-2.769	25	16	41.095	2.014	6	4	-38.722	-1.471			
	14	3	44.085	2.311	26	15	-40.983	-1.576	7	2	38.624	2.357			
15	2	-43.977	-1.858	27	13	40.957	2.411	8	1	-38.667	-1.903				
16	0	43.923	2.706	28	12	-40.931	-1.978	9	0	38.590	1.437				
16	23	-43.903	-2.258	29	11	40.759	1.528	9	22	-38.532	-2.333				
17	22	43.746	1.799	30	9	-40.799	-2.376	10	21	38.538	1.870				

TÉTHYS 2012

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date				Date				Date			
Mois	j	h		Mois	j	h		Mois	j	h	
			X				Y				Y
Sept.	11	20	-38.503	Oct.	19	14	-37.664	Nov.	26	9	-38.182
	12	18	38.405		20	13	37.699		27	8	38.171
	13	17	-38.455		21	12	-37.705		28	6	-38.174
	14	16	38.380		22	10	37.627		29	5	38.246
	15	14	-38.328		23	9	-37.717		30	4	-38.278
	16	13	38.336		24	8	37.677	Déc.	1	2	38.243
	17	12	-38.308		25	6	-37.649		2	1	-38.359
	18	10	38.211		26	5	37.692		3	0	38.351
	19	9	-38.270		27	4	-37.703		3	22	-38.361
	20	8	38.195		28	2	37.629		4	21	38.437
	21	6	-38.153		29	1	-37.722		5	20	-38.471
	22	5	38.159		30	0	37.690		6	18	38.444
	23	4	-38.140		30	22	-37.661		7	17	-38.565
	24	2	38.046		31	21	37.715		8	16	38.554
	25	1	-38.109	Nov.	1	20	-37.726		9	14	-38.581
	26	0	38.040		2	18	37.661		10	13	38.652
	26	22	-38.000		3	17	-37.754		11	12	-38.692
	27	21	38.013		4	16	37.731		12	10	38.672
	28	20	-37.996		5	14	-37.707		13	9	-38.798
	29	18	37.909		6	13	37.762		14	8	38.784
	30	17	-37.972		7	12	-37.781		15	6	-38.827
Oct.	1	16	37.913		8	10	37.718		16	5	38.895
	2	14	-37.873		9	9	-37.819		17	4	-38.934
	3	13	37.895		10	8	37.798		18	2	38.932
	4	12	-37.880		11	6	-37.782		19	1	-39.052
	5	10	37.799		12	5	37.838		20	0	39.040
	6	9	-37.865		13	4	-37.866		20	22	-39.097
	7	8	37.813		14	2	37.804		21	21	39.165
	8	6	-37.773		15	1	-37.914		22	20	-39.200
	9	5	37.804		16	0	37.891		23	18	39.217
	10	4	-37.791		16	22	-37.886		24	17	-39.332
	11	2	37.715		17	21	37.944		25	16	39.320
	12	1	-37.789		18	20	-37.977		26	14	-39.389
	13	0	37.737		19	18	37.920		27	13	39.462
	13	22	-37.706		20	17	-38.035		28	12	-39.485
	14	21	37.735		21	16	38.017		29	10	39.526
	15	20	-37.736		22	14	-38.016		30	9	-39.637
	16	18	37.655		23	13	38.083		31	8	39.618
	17	17	-37.740		24	12	-38.111	Janv.	1	6	-39.710
	18	16	37.691		25	10	38.069		2	5	39.774

DIONÉ 2012

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.	31	7	52.107	0.996	Mars	1	21	-57.761	-0.837	Mai	2	10	59.316	1.728
Janv.	1	16	-52.323	-0.707		3	6	57.712	0.720		3	19	-59.327	-1.396
	3	0	52.300	1.897		4	14	-57.977	-1.790		5	4	59.166	1.299
	4	9	-52.586	-1.606		5	23	57.965	1.677		6	12	-59.220	-2.256
	5	18	52.579	1.518		7	8	-58.203	-1.326		7	21	59.096	2.158
	7	3	-52.837	-1.216		8	17	58.165	1.217		9	6	-59.130	-1.834
	8	12	52.820	1.126		10	2	-58.357	-0.861		10	15	58.972	1.738
	9	21	-53.049	-0.821		11	11	58.296	0.752		12	0	-58.962	-1.414
	11	6	53.021	0.726		12	19	-58.548	-1.810		13	9	58.775	1.320
	12	14	-53.288	-1.738		14	4	58.531	1.701		14	17	-58.826	-2.258
	13	23	53.294	1.646		15	13	-58.736	-1.350		16	2	58.681	2.165
	15	8	-53.571	-1.339		16	22	58.694	1.234		17	11	-58.684	-1.848
	16	17	53.560	1.243		18	7	-58.855	-0.886		18	20	58.519	1.754
	18	2	-53.809	-0.931		19	15	58.791	2.175		20	5	-58.480	-1.441
	19	11	53.791	0.834		21	0	-59.026	-1.826		21	14	58.284	1.347
	20	19	-54.018	-1.860		22	9	58.985	1.714		22	22	-58.318	-2.270
	22	4	54.043	1.767		23	18	-59.172	-1.360		24	7	58.152	2.181
	23	13	-54.322	-1.449		25	3	59.104	1.249		25	16	-58.148	-1.867
	24	22	54.330	1.349		26	12	-59.241	-0.895		27	1	57.960	1.782
	26	7	-54.585	-1.032		27	20	59.178	2.181		28	10	-57.908	-1.469
	27	16	54.569	0.927		29	5	-59.385	-1.830		29	19	57.705	1.387
	29	1	-54.800	-0.607		30	14	59.323	1.717		31	3	-57.709	-2.287
	30	9	54.796	1.870		31	23	-59.481	-1.368	Juin	1	12	57.551	2.202
	31	18	-55.099	-1.547	Avril	2	8	59.390	1.255		2	21	-57.512	-1.898
Févr.	2	3	55.101	1.446		3	17	-59.497	-0.907		4	6	57.334	1.813
	3	12	-55.366	-1.118		5	1	59.438	2.180		5	15	-57.259	-1.512
	4	21	55.356	1.013		6	10	-59.609	-1.826		7	0	57.052	1.428
	6	6	-55.585	-0.680		7	19	59.535	1.721		8	8	-57.037	-2.315
	7	14	55.563	1.964		9	4	-59.649	-1.370		9	17	56.867	2.234
	8	23	-55.865	-1.631		10	13	59.547	1.264		11	2	-56.826	-1.935
	10	8	55.868	1.528		11	21	-59.634	-2.278		12	11	56.637	1.854
	11	17	-56.137	-1.190		13	6	59.564	2.169		13	20	-56.557	-1.560
	13	2	56.125	1.084		14	15	-59.700	-1.826		15	5	56.350	1.478
	14	11	-56.355	-0.744		16	0	59.599	1.717		16	13	-56.306	-2.354
	15	20	56.326	0.635		17	9	-59.685	-1.377		17	22	56.135	2.273
	17	4	-56.608	-1.700		18	18	59.557	1.270		19	7	-56.090	-1.981
	18	13	56.621	1.591		20	2	-59.637	-2.268		20	16	55.900	1.906
	19	22	-56.876	-1.252		21	11	59.545	2.163		22	1	-55.820	-1.613
	21	7	56.867	1.139		22	20	-59.646	-1.824		23	10	55.613	1.538
	22	16	-57.087	-0.797		24	5	59.525	1.720		24	18	-55.537	-2.397
	24	1	57.046	0.684		25	14	-59.580	-1.384		26	3	55.371	2.325
	25	9	-57.326	-1.751		26	23	59.421	1.282		27	12	-55.322	-2.038
	26	18	57.321	1.642		28	7	-59.503	-2.259		28	21	55.141	1.964
	28	3	-57.576	-1.295		29	16	59.383	2.159		30	6	-55.058	-1.677
	29	12	57.553	1.183	Mai	1	1	-59.454	-1.824	Juill.	1	15	54.863	1.602

DIONÉ 2012

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date				Date				Date			
Mois	j	h	''	Mois	j	h	''	Mois	j	h	''
Juill.	2	23	-54.747	Sept.	2	14	49.816	Nov.	3	5	-48.362
	4	8	54.590		3	23	-49.791		4	14	48.341
	5	17	-54.541		5	8	49.670		5	23	-48.422
	7	2	54.372		6	17	-49.632		7	8	48.391
	8	11	-54.293		8	2	49.504		8	17	-48.458
	9	20	54.107		9	11	-49.449		10	2	48.423
	11	5	-54.003		10	19	49.352		11	11	-48.472
	12	14	53.798		12	4	-49.356		12	19	48.441
	13	22	-53.769	13	13	49.256	14		4	-48.546	
	15	7	53.596	14	22	-49.244	15		13	48.545	
	16	16	-53.539	16	7	49.139	16		22	-48.634	
	18	1	53.360	17	16	-49.109	18		7	48.627	
	19	10	-53.264	19	1	49.000	19		16	-48.704	
	20	19	53.082	20	9	-48.968	21		1	48.686	
	22	3	-52.994	21	18	48.891	22		10	-48.750	
Août	23	12	52.845	Oct.	23	3	-48.904	Déc.	23	18	48.745
	24	21	-52.794		24	12	48.824		25	3	-48.874
	26	6	52.628		25	21	-48.820		26	12	48.881
	27	15	-52.555		27	6	48.732		27	21	-48.989
	29	0	52.380		28	15	-48.714		29	6	48.993
	30	9	-52.282		30	0	48.617		30	15	-49.084
	31	17	52.111		1	8	-48.621		2	0	49.078
	2	2	-52.072		2	17	48.552		3	8	-49.168
	3	11	51.931	4	2	-48.585	4		17	49.188	
	4	20	-51.866	5	11	48.514	6		2	-49.333	
	6	5	51.714	6	20	-48.527	7		11	49.351	
	7	14	-51.637	8	5	48.452	8		20	-49.473	
	8	23	51.466	9	14	-48.453	10		5	49.489	
	10	7	-51.392	10	23	48.370	11		14	-49.587	
	11	16	51.250	12	7	-48.400	12		23	49.602	
13	1	-51.224	13	16	48.345	14	7	-49.725			
14	10	51.079	15	1	-48.394	15	16	49.769			
15	19	-51.023	16	10	48.338	17	1	-49.917			
17	4	50.877	17	19	-48.366	18	10	49.947			
18	13	-50.795	19	4	48.311	19	19	-50.082			
19	22	50.645	20	13	-48.319	21	4	50.105			
21	6	-50.607	21	22	48.261	22	13	-50.218			
22	15	50.484	23	6	-48.310	23	21	50.237			
24	0	-50.455	24	15	48.274	25	6	-50.415			
25	9	50.323	26	0	-48.340	26	15	50.462			
26	18	-50.271	27	9	48.296	28	0	-50.622			
28	3	50.137	28	18	-48.346	29	9	50.662			
29	12	-50.062	30	3	48.298	30	18	-50.802			
30	20	49.933	31	12	-48.329	1	3	50.831			
Sept.	1	5	-49.926	Nov.	1	21	48.279	Janv.	2	11	-50.964

RHÉA 2012

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.	30	17	-72.871	-1.482	Avril	10	8	83.232	1.809	Juill.	20	22	-74.201	-2.624
Janv.	1	23	73.032	1.778		12	14	-83.349	-1.966		23	5	73.885	1.925
	4	6	-73.370	-0.907		14	20	83.263	2.222		25	11	-73.679	-2.096
	6	12	73.586	1.202		17	2	-83.337	-2.387		27	17	73.318	2.347
	8	18	-73.942	-1.403		19	9	83.233	1.507		29	23	-73.109	-2.517
	11	0	74.128	1.703		21	15	-83.295	-1.673	Août	1	6	72.793	1.829
	13	6	-74.477	-1.915		23	21	83.170	1.926		3	12	-72.603	-1.999
	15	13	74.706	1.094		26	3	-83.205	-2.081		5	18	72.266	2.259
	17	19	-75.080	-1.304		28	9	83.044	2.331		8	0	-72.074	-2.439
	20	1	75.284	1.601		30	15	-83.012	-2.481		10	7	71.772	1.743
	22	7	-75.655	-1.805	Mai	2	22	82.819	1.644		12	13	-71.608	-1.929
	24	14	75.874	0.967		5	4	-82.809	-1.803		14	19	71.290	2.192
	26	20	-76.252	-1.171		7	10	82.593	2.044		17	2	-71.124	-1.418
	29	2	76.486	1.466		9	16	-82.542	-2.203		19	8	70.847	1.683
	31	8	-76.859	-1.668		11	22	82.301	2.446		21	14	-70.695	-1.874
Févr.	2	15	77.040	0.806		14	4	-82.207	-2.593		23	20	70.413	2.141
	4	21	-77.452	-1.007		16	11	81.928	1.785		26	3	-70.272	-1.369
	7	3	77.674	1.301		18	17	-81.834	-1.947		28	9	70.009	1.641
	9	9	-78.052	-1.492		20	23	81.576	2.181		30	15	-69.899	-1.836
	11	15	78.241	1.786		23	5	-81.440	-2.336	Sept.	1	21	69.621	2.116
	13	22	-78.606	-0.817		25	11	81.127	2.576		4	4	-69.522	-1.332
	16	4	78.834	1.094		27	17	-80.973	-2.725		6	10	69.288	1.615
	18	10	-79.206	-1.291		30	0	80.664	1.950		8	16	-69.196	-1.822
	20	16	79.393	1.580	Juin	1	6	-80.496	-2.101		10	23	68.948	1.108
	22	22	-79.754	-1.767		3	12	80.179	2.344		13	5	-68.888	-1.318
	25	5	79.917	0.868		5	18	-80.004	-2.497		15	11	68.674	1.609
	27	11	-80.265	-1.057		8	0	79.632	2.726		17	17	-68.607	-1.816
	29	17	80.461	1.340		10	7	-79.436	-1.896		20	0	68.409	1.102
Mars	2	23	-80.800	-1.524		12	13	79.105	2.135		22	6	-68.362	-1.319
	5	5	80.926	1.801		14	19	-78.912	-2.285		24	12	68.185	1.615
	7	11	-81.242	-1.985		17	1	78.542	2.523		26	19	-68.132	-0.811
	9	18	81.373	1.078		19	7	-78.315	-2.681		29	1	67.974	1.111
	12	0	-81.683	-1.253		21	14	77.959	1.944	Oct.	1	7	-67.973	-1.333
	14	6	81.799	1.528		23	20	-77.749	-2.104		3	13	67.800	1.641
	16	12	-82.079	-1.711		26	2	77.380	2.344		5	20	-67.803	-0.820
	18	18	82.166	1.973		28	8	-77.163	-2.499		8	2	67.672	1.131
	21	0	-82.401	-2.149		30	14	76.774	2.740		10	8	-67.691	-1.366
	23	7	82.466	1.243	Juill.	2	21	-76.550	-1.940		12	15	67.549	0.612
	25	13	-82.716	-1.415		5	3	76.199	2.184		14	21	-67.599	-0.848
	27	19	82.768	1.681		7	9	-75.987	-2.348		17	3	67.490	1.166
	30	1	-82.951	-1.847		9	15	75.592	2.582		19	9	-67.536	-1.402
Avril	1	7	82.969	2.113		11	22	-75.365	-1.802		21	16	67.448	0.641
	3	13	-83.134	-2.277		14	4	75.022	2.047		23	22	-67.513	-0.881
	5	20	83.101	1.379		16	10	-74.814	-2.208		26	4	67.441	1.208
	8	2	-83.268	-1.550		18	16	74.438	2.453		28	11	-67.511	-0.351

RHÉA 2012

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. 30 17	67.457	0.675	Nov. 24 14	-68.249	-0.448	Déc. 19 11	69.834	0.220
Nov. 1 23	-67.571	-0.925	26 20	68.281	0.798	21 17	-70.118	-0.491
4 5	67.503	1.260	29 3	-68.474	0.136	24 0	70.220	-0.431
6 12	-67.631	-0.378	Déc. 1 9	68.527	0.207	26 6	-70.523	0.166
8 18	67.607	0.715	3 15	-68.758	-0.477	28 12	70.662	0.198
11 0	-67.739	-0.976	5 21	68.799	0.832	30 18	-70.971	-0.472
13 7	67.714	0.157	8 4	-69.041	0.133	Janv. 2 1	71.088	-0.488
15 13	-67.882	-0.416	10 10	69.124	0.220	4 7	-71.435	0.211
17 19	67.877	0.759	12 16	-69.375	-0.497	6 13	71.585	0.149
20 1	-68.041	-1.018	14 22	69.446	0.846			
22 8	68.067	0.188	17 5	-69.729	0.137			

TITAN 2012

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. 25 17	164.047	3.718	Mai 1 3	188.540	5.688	Sept. 5 18	157.576	4.530
Janv. 2 14	-173.089	-2.322	8 23	-195.033	-4.350	13 16	-162.767	-2.549
10 16	168.248	3.975	17 1	186.289	5.721	21 19	155.176	3.581
18 14	-177.814	-1.744	24 21	-191.880	-4.437	29 16	-160.887	-2.342
26 16	172.888	3.309	Juin 1 23	182.794	5.825	Oct. 7 19	153.643	3.404
Févr. 3 13	-182.803	-1.695	9 19	-187.689	-4.605	15 17	-159.939	-1.545
11 14	177.646	3.979	17 21	178.482	6.021	23 20	153.011	2.575
19 11	-187.662	-2.212	25 17	-182.914	-4.866	31 18	-159.946	-0.769
27 13	182.107	3.658	Juill. 3 20	173.767	5.685	Nov. 8 20	153.301	2.506
Mars 6 9	-191.913	-2.551	11 16	-178.000	-4.621	16 19	-160.912	0.031
14 11	185.800	3.947	19 19	169.055	5.493	24 21	154.529	1.643
22 7	-195.084	-2.736	27 16	-173.293	-3.903	Déc. 2 19	-162.839	0.129
30 8	188.290	4.880	Août 4 18	164.646	5.453	10 21	156.655	1.497
Avril 7 4	-196.764	-3.568	12 15	-169.072	-3.941	18 20	-165.668	1.122
15 6	189.242	4.924	20 18	160.766	4.922	26 22	159.643	0.359
23 2	-196.743	-3.600	28 15	-165.517	-3.503	Janv. 3 20	-169.327	1.484

HYPÉRION 2012

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.	24	21	216.973	0.237	Avril	30	6	252.459	2.429	Sept.	5	14	212.722	2.356
Janv.	4	15	-190.490	-2.066	Mai	10	23	-213.072	-4.020		16	8	-176.894	-2.162
	15	4	225.869	-0.011		21	12	249.312	3.298		27	3	209.010	1.738
	25	21	-197.064	-2.446	Juin	1	6	-207.726	-4.781	Oct.	7	21	-174.115	-0.809
Févr.	5	10	234.123	-0.235		11	19	241.976	3.619		18	16	207.203	0.847
	16	3	-204.613	-2.103		22	14	-201.432	-4.852		29	9	-173.927	-0.275
	26	15	242.467	0.295	Juill.	3	4	233.758	3.603	Nov.	9	5	206.999	0.433
Mars	8	7	-210.413	-2.390		13	23	-193.831	-4.083		19	20	-175.301	1.099
	18	20	250.182	1.091		24	14	226.166	3.598		30	17	209.451	0.031
	29	13	-214.237	-2.937	Août	4	10	-186.652	-3.524	Déc.	11	7	-178.243	2.061
Avril	9	1	252.995	1.534		15	1	218.666	3.114		22	4	214.236	-0.510
	19	18	-215.752	-3.696		25	21	-181.301	-3.152	Janv.	1	18	-183.603	3.086

JAPET 2012

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.	30	6	473.333	-114.272	Juin	4	10	523.545	-118.089	Nov.	12	18	438.455	-107.951
Févr.	7	12	-513.039	131.957	Juill.	13	5	-495.916	117.063	Déc.	22	19	-463.500	123.668
Mars	18	13	534.606	-128.815	Août	23	5	459.852	-105.063					
Avril	25	15	-548.749	134.230	Oct.	2	3	-447.992	112.077					

SATELLITES D'URANUS

Coordonnées tangentielles (X,Y)
aux heures les plus proches des plus grandes élongations

MIRANDA	II. 140
ARIEL	II. 144
UMBRIEL	II. 147
TITANIA	II. 149
OBÉRON	II. 150

MIRANDA 2012

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	"	"
Déc.	31	8	3.680	-6.440	Févr.	1	4	-3.653	5.552	Mars	3	23	3.738	-5.771
	1	1	-3.670	6.388		1	21	3.663	-5.520		4	16	-3.730	5.713
Janv.	1	18	3.679	-6.360	2	14	-3.652	5.464	5	9	3.744	-5.685		
	2	11	-3.669	6.304	3	7	3.660	-5.429	6	2	-3.736	5.630		
	3	4	3.677	-6.277	4	0	-3.650	5.372	6	19	3.750	-5.598		
	3	21	-3.667	6.219	4	17	3.658	-5.337	7	12	-3.742	5.544		
4	14	3.676	-6.194	5	9	-3.651	6.338	8	5	3.755	-5.510			
5	7	-3.665	6.133	6	2	3.663	-6.312	8	22	-3.747	5.457			
6	0	3.675	-6.109	6	19	-3.656	6.258	9	15	3.759	-5.422			
6	17	-3.662	6.047	7	12	3.669	-6.233	10	8	-3.752	5.368			
7	10	3.672	-6.021	8	5	-3.661	6.177	11	1	3.764	-5.334			
8	3	-3.660	5.963	8	22	3.674	-6.153	11	18	-3.757	5.277			
8	20	3.669	-5.932	9	15	-3.666	6.096	12	11	3.768	-5.247			
9	13	-3.656	5.875	10	8	3.679	-6.071	13	4	-3.760	5.185			
10	6	3.665	-5.843	11	1	-3.670	6.014	13	21	3.772	-5.156			
10	23	-3.653	5.787	11	18	3.683	-5.987	14	14	-3.763	5.093			
11	16	3.660	-5.754	12	11	-3.674	5.934	15	7	3.776	-5.064			
12	9	-3.649	5.697	13	4	3.687	-5.902	16	0	-3.766	5.001			
13	2	3.656	-5.664	13	21	-3.678	5.850	16	17	3.779	-4.970			
13	19	-3.645	5.604	14	14	3.690	-5.817	17	10	-3.768	4.908			
14	12	3.652	-5.576	15	7	-3.682	5.765	18	3	3.781	-4.875			
15	4	-3.642	6.559	16	0	3.692	-5.732	18	20	-3.771	4.816			
15	21	3.654	-6.536	16	17	-3.685	5.678	19	12	3.786	-5.892			
16	14	-3.645	6.480	17	10	3.695	-5.646	20	5	-3.780	5.844			
17	7	3.657	-6.457	18	3	-3.687	5.589	20	22	3.796	-5.810			
18	0	-3.647	6.402	18	20	3.698	-5.561	21	15	-3.791	5.761			
18	17	3.660	-6.377	19	13	-3.689	5.499	22	8	3.805	-5.729			
19	10	-3.650	6.321	20	6	3.700	-5.472	23	1	-3.800	5.676			
20	3	3.662	-6.294	20	23	-3.690	5.409	23	18	3.814	-5.645			
20	20	-3.652	6.242	21	16	3.702	-5.382	24	11	-3.809	5.590			
21	13	3.663	-6.211	22	9	-3.691	5.321	25	4	3.823	-5.562			
22	6	-3.654	6.160	23	2	3.703	-5.290	25	21	-3.817	5.503			
22	23	3.664	-6.128	23	19	-3.692	5.230	26	14	3.832	-5.476			
23	16	-3.655	6.076	24	12	3.703	-5.197	27	7	-3.825	5.417			
24	9	3.665	-6.046	25	5	-3.693	5.140	28	0	3.840	-5.388			
25	2	-3.656	5.990	25	22	3.703	-5.103	28	17	-3.832	5.331			
25	19	3.665	-5.961	26	14	-3.694	6.127	29	10	3.847	-5.298			
26	12	-3.656	5.903	27	7	3.708	-6.095	30	3	-3.839	5.242			
27	5	3.666	-5.877	28	0	-3.703	6.046	30	20	3.854	-5.207			
27	22	-3.656	5.816	28	17	3.716	-6.017	31	13	-3.846	5.153			
28	15	3.666	-5.790	29	10	-3.710	5.964	Avril	1	6	3.859	-5.116		
29	8	-3.655	5.728	Mars	1	3	3.723		-5.936	1	23	-3.852	5.062	
30	1	3.666	-5.701		1	20	-3.717		5.881	2	16	3.865	-5.024	
30	18	-3.654	5.642		2	13	3.731		-5.855	3	9	-3.858	4.968	
31	11	3.665	-5.611		3	6	-3.723		5.797	4	2	3.870	-4.934	

MIRANDA 2012

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	4	19	-3.863	4.872	Mai	6	14	4.059	-5.165	Juin	7	9	-4.220	5.480
	5	12	3.875	-4.840		7	7	-4.053	5.112		8	2	4.239	-5.442
	6	5	-3.867	4.777		8	0	4.068	-5.074		8	19	-4.233	5.391
	6	22	3.880	-4.746		8	17	-4.063	5.018		9	12	4.251	-5.352
	7	15	-3.870	4.681		9	10	4.077	-4.984		10	5	-4.246	5.301
	8	8	3.884	-4.650		10	3	-4.071	4.923		10	22	4.262	-5.262
	9	1	-3.873	4.585		10	20	4.086	-4.890		11	15	-4.257	5.209
	9	17	3.891	-5.702		11	13	-4.079	4.828		12	8	4.273	-5.170
	10	10	-3.885	5.651		12	6	4.094	-4.796		13	1	-4.267	5.114
	11	3	3.902	-5.617		12	23	-4.085	4.733		13	18	4.283	-5.080
	11	20	-3.897	5.567		13	16	4.101	-4.699		14	11	-4.276	5.018
12	13	3.913	-5.532	14	9	-4.091	4.636	15	4	4.292	-4.985			
13	6	-3.908	5.481	15	2	4.107	-4.600	15	21	-4.284	4.923			
13	23	3.923	-5.446	15	19	-4.097	4.541	16	14	4.300	-4.889			
14	16	-3.919	5.394	16	12	4.111	-4.500	17	7	-4.290	4.827			
15	9	3.933	-5.359	17	5	-4.102	4.442	18	0	4.307	-4.791			
16	2	-3.928	5.304	17	22	4.116	-4.400	18	17	-4.297	4.730			
16	19	3.943	-5.274	18	15	-4.107	4.341	19	10	4.312	-4.691			
17	12	-3.937	5.213	19	7	4.120	-5.519	20	3	-4.303	4.633			
18	5	3.952	-5.184	20	0	-4.116	5.467	20	20	4.317	-4.590			
18	22	-3.945	5.123	20	17	4.133	-5.432	21	13	-4.307	4.533			
19	15	3.961	-5.093	21	10	-4.129	5.377	22	6	4.320	-4.489			
20	8	-3.953	5.033	22	3	4.146	-5.346	22	23	-4.311	4.430			
21	1	3.969	-5.000	22	20	-4.141	5.287	23	16	4.323	-4.389			
21	18	-3.960	4.940	23	13	4.158	-5.256	24	9	-4.313	4.326			
22	11	3.975	-4.905	24	6	-4.152	5.196	25	2	4.324	-4.287			
23	4	-3.967	4.849	24	23	4.169	-5.164	25	18	-4.316	5.502			
23	21	3.981	-4.810	25	16	-4.162	5.106	26	11	4.334	-5.470			
24	14	-3.974	4.754	26	9	4.180	-5.071	27	4	-4.327	5.411			
25	7	3.987	-4.714	27	2	-4.172	5.013	27	21	4.345	-5.379			
26	0	-3.979	4.657	27	19	4.189	-4.976	28	14	-4.338	5.319			
26	17	3.992	-4.620	28	12	-4.181	4.921	29	7	4.356	-5.285			
27	10	-3.984	4.558	29	5	4.196	-4.880	30	0	-4.347	5.229			
28	3	3.997	-4.523	29	22	-4.189	4.826	30	17	4.365	-5.191			
28	20	-3.988	4.458	30	15	4.204	-4.785	Juill.	1	10	-4.356	5.135		
29	12	4.001	-5.607	Juin	31	8	-4.197	4.727	2	3	4.373	-5.095		
30	5	-3.996	5.550	1	1	4.211	-4.690	2	20	-4.364	5.041			
30	22	4.014	-5.522	1	18	-4.203	4.628	3	13	4.379	-4.999			
Mai	1	15	-4.009	5.464	2	11	4.216	-4.592	4	6	-4.371	4.944		
	2	8	4.027	-5.434	3	4	-4.208	4.528	4	23	4.385	-4.902		
	3	1	-4.021	5.380	3	21	4.222	-4.494	5	16	-4.376	4.844		
3	18	4.038	-5.345	4	14	-4.212	4.427	6	9	4.390	-4.806			
4	11	-4.032	5.291	5	7	4.227	-4.393	7	2	-4.381	4.743			
5	4	4.049	-5.255	6	0	-4.215	4.326	7	19	4.394	-4.707			
5	21	-4.043	5.203	6	17	4.230	-4.289	8	12	-4.383	4.642			

MIRANDA 2012

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.	9	5	4.397	-4.607	Août	10	0	-4.462	5.005	Sept.	10	19	4.443	-5.441
	9	22	-4.385	4.541		10	17	4.473	-4.967		11	12	-4.429	5.389
	10	15	4.399	-4.504		11	10	-4.461	4.903		12	5	4.437	-5.345
	11	8	-4.385	4.438		12	3	4.471	-4.866		12	22	-4.424	5.290
	12	1	4.399	-4.399		12	20	-4.458	4.801		13	15	4.431	-5.247
	12	18	-4.386	4.337		13	13	4.469	-4.764		14	8	-4.417	5.189
	13	10	4.400	-5.590		14	6	-4.453	4.700		15	1	4.425	-5.150
	14	3	-4.392	5.540		14	23	4.465	-4.661		15	18	-4.409	5.087
	14	20	4.410	-5.499		15	16	-4.448	4.596		16	11	4.416	-5.050
	15	13	-4.402	5.448		16	8	4.459	-5.863		17	4	-4.399	4.985
	16	6	4.418	-5.408		17	1	-4.449	5.814		17	21	4.407	-4.947
	16	23	-4.411	5.354		17	18	4.464	-5.772		18	14	-4.388	4.885
	17	16	4.426	-5.315		18	11	-4.454	5.723		19	6	4.402	-6.136
	18	9	-4.418	5.259		19	4	4.468	-5.680		19	23	-4.389	6.084
	19	2	4.433	-5.224		19	21	-4.458	5.629		20	16	4.402	-6.045
19	19	-4.424	5.162	20	14	4.471	-5.589	21	9	-4.390	5.996			
20	12	4.439	-5.128	21	7	-4.461	5.534	22	2	4.401	-5.953			
21	5	-4.429	5.065	22	0	4.473	-5.495	22	19	-4.389	5.905			
21	22	4.443	-5.030	22	17	-4.462	5.438	23	12	4.399	-5.861			
22	15	-4.432	4.969	23	10	4.474	-5.402	24	5	-4.386	5.811			
23	8	4.447	-4.930	24	3	-4.461	5.340	24	22	4.395	-5.770			
24	1	-4.434	4.870	24	20	4.474	-5.305	25	15	-4.382	5.715			
24	18	4.448	-4.829	25	13	-4.460	5.243	26	8	4.391	-5.676			
25	11	-4.436	4.772	26	6	4.472	-5.206	27	1	-4.377	5.619			
26	4	4.448	-4.727	26	23	-4.457	5.147	27	18	4.386	-5.582			
26	21	-4.437	4.670	27	16	4.469	-5.105	28	11	-4.370	5.522			
27	14	4.447	-4.625	28	9	-4.453	5.047	29	4	4.379	-5.485			
28	7	-4.435	4.566	29	2	4.464	-5.004	29	21	-4.362	5.424			
29	0	4.446	-4.525	29	19	-4.449	4.948	30	14	4.371	-5.385			
29	17	-4.433	4.461	30	12	4.457	-4.902	Oct.	1	7	-4.353	5.329		
30	10	4.442	-4.421	31	5	-4.442	4.846	2	0	4.361	-5.285			
31	2	-4.435	5.670	31	22	4.449	-4.799	2	17	-4.344	5.229			
Août	31	19	4.451	-5.637	Sept.	1	15	-4.434	4.741	3	10	4.350	-5.184	
	1	12	-4.442	5.579		2	7	4.444	-6.004	4	3	-4.333	5.130	
	2	5	4.458	-5.545		3	0	-4.434	5.950	4	20	4.338	-5.083	
	2	22	-4.448	5.486		3	17	4.447	-5.914	5	12	-4.324	6.295	
	3	15	4.464	-5.450		4	10	-4.436	5.858	6	5	4.334	-6.254	
	4	8	-4.453	5.395		5	3	4.449	-5.824	6	22	-4.323	6.205	
	5	1	4.469	-5.354		5	20	-4.437	5.766	7	15	4.333	-6.168	
	5	18	-4.457	5.300		6	13	4.450	-5.731	8	8	-4.321	6.114	
	6	11	4.471	-5.257		7	6	-4.436	5.673	9	1	4.330	-6.078	
	7	4	-4.461	5.204		7	23	4.449	-5.635	9	18	-4.317	6.022	
	7	21	4.473	-5.161		8	16	-4.435	5.582	10	11	4.327	-5.986	
	8	14	-4.462	5.106		9	9	4.447	-5.538	11	4	-4.312	5.931	
	9	7	4.473	-5.063		10	2	-4.433	5.486	11	21	4.322	-5.893	

MIRANDA 2012

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.	12 14	-4.306	5.838	Nov.	9 3	4.161	-6.435	Déc.	6 17	-4.033	5.820
	13 7	4.316	-5.798		9 20	-4.150	6.389		7 10	4.040	-5.781
	14 0	-4.300	5.747		10 13	4.159	-6.348		8 3	-4.025	5.727
	14 17	4.308	-5.701		11 6	-4.147	6.300		8 20	4.033	-5.687
	15 10	-4.293	5.651		11 23	4.155	-6.262		9 13	-4.018	5.633
	16 3	4.299	-5.605		12 16	-4.142	6.210		10 6	4.025	-5.591
	16 20	-4.284	5.554		13 9	4.151	-6.173		10 23	-4.010	5.541
	17 13	4.289	-5.510		14 2	-4.137	6.120		11 16	4.016	-5.494
	18 6	-4.274	5.455		14 19	4.146	-6.083		12 9	-4.001	5.446
	18 23	4.279	-5.412		15 12	-4.131	6.030		13 2	4.006	-5.398
	19 16	-4.263	5.355		16 5	4.140	-5.990		13 19	-3.992	5.349
	20 9	4.268	-5.316		16 22	-4.124	5.938		14 11	3.996	-6.444
	21 2	-4.250	5.254		17 15	4.133	-5.896		15 4	-3.986	6.400
	21 19	4.255	-5.216		18 8	-4.118	5.848		15 21	3.995	-6.360
	22 11	-4.241	6.393		19 1	4.124	-5.802		16 14	-3.985	6.314
23 4	4.252	-6.357	19 18	-4.110	5.754	17 7	3.995	-6.277			
23 21	-4.239	6.308	20 11	4.115	-5.707	18 0	-3.984	6.226			
24 14	4.250	-6.268	21 4	-4.101	5.658	18 17	3.994	-6.190			
25 7	-4.235	6.219	21 21	4.105	-5.615	19 10	-3.982	6.139			
26 0	4.246	-6.177	22 14	-4.091	5.561	20 3	3.992	-6.101			
26 17	-4.232	6.131	23 7	4.095	-5.519	20 20	-3.979	6.053			
27 10	4.240	-6.086	24 0	-4.080	5.463	21 13	3.989	-6.012			
28 3	-4.227	6.040	24 17	4.085	-5.423	22 6	-3.976	5.964			
28 20	4.234	-5.995	25 10	-4.068	5.365	22 23	3.985	-5.921			
29 13	-4.221	5.946	26 2	4.075	-6.494	23 16	-3.973	5.876			
30 6	4.228	-5.905	26 19	-4.062	6.444	24 9	3.981	-5.830			
30 23	-4.214	5.851	27 12	4.073	-6.407	25 2	-3.969	5.785			
31 16	4.220	-5.812	28 5	-4.060	6.361	25 19	3.976	-5.738			
Nov.	1 9	-4.205	5.756	28 22	4.071	-6.319	26 12	-3.964	5.691		
	2 2	4.212	-5.718	29 15	-4.057	6.274	27 5	3.971	-5.649		
	2 19	-4.195	5.660	Déc.	30 8	4.067	-6.231	27 22	-3.959	5.597	
	3 12	4.202	-5.622		1 1	-4.055	6.187	28 15	3.965	-5.556	
	4 5	-4.185	5.564		1 18	4.062	-6.142	29 8	-3.953	5.502	
	4 22	4.191	-5.523		2 11	-4.051	6.097	30 1	3.960	-5.463	
	5 15	-4.174	5.470		3 4	4.058	-6.053	30 18	-3.946	5.408	
	6 8	4.180	-5.424		3 21	-4.045	6.005	Janv.	31 11	3.953	-5.367
	7 1	-4.162	5.372		4 14	4.052	-5.965		1 4	-3.939	5.312
	7 18	4.167	-5.325		5 7	-4.040	5.912		1 21	3.946	-5.270
	8 10	-4.152	6.476		6 0	4.046	-5.874				

ARIEL 2012

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.	30 19	4.520	-9.537	Févr.	25 13	-4.593	8.265	Avril	22 7	5.028	-7.140
	1 2	-4.480	8.830		26 19	4.606	-8.509		23 13	-5.031	7.354
Janv.	2 8	4.490	-9.066	28 2	-4.602	7.774	24 19	5.046	-7.624		
	3 14	-4.482	9.257	29 8	4.621	-8.022	26 2	-5.052	6.832		
	4 20	4.486	-9.478	Mars	1 14	-4.621	8.226	27 8	5.075	-7.104	
	6 3	-4.475	8.774		2 20	4.632	-8.461	28 14	-5.077	7.332	
7 9	4.486	-9.018	4 3	-4.632	7.726	Mai	29 20	5.092	-7.595		
8 15	-4.477	9.197	5 9	4.651	-7.984		1 3	-5.100	6.799		
9 21	4.483	-9.430	6 15	-4.650	8.175		2 9	5.122	-7.082		
11 4	-4.472	8.718	7 21	4.662	-8.424	3 15	-5.123	7.299			
12 10	4.484	-8.962	9 4	-4.664	7.680	4 22	5.139	-6.542			
13 16	-4.477	9.148	10 10	4.683	-7.937	6 4	-5.147	6.767			
14 22	4.481	-9.370	11 16	-4.682	8.139	7 10	5.169	-7.052			
16 5	-4.475	8.671	12 23	4.693	-7.428	8 16	-5.170	7.281			
17 11	4.485	-8.906	14 5	-4.699	7.644	9 23	5.186	-6.506			
18 17	-4.479	9.091	15 11	4.716	-7.893	11 5	-5.195	6.746			
19 23	4.484	-9.321	16 17	-4.716	8.096	12 11	5.215	-7.024			
21 6	-4.478	8.614	18 0	4.730	-7.392	13 17	-5.217	7.254			
22 12	4.491	-8.858	19 6	-4.734	7.597	15 0	5.234	-6.485			
23 18	-4.483	9.037	20 12	4.754	-7.858	16 6	-5.240	6.714			
25 0	4.490	-9.264	21 18	-4.750	8.055	17 12	5.263	-7.007			
26 7	-4.486	8.566	23 1	4.769	-7.348	18 18	-5.262	7.230			
27 13	4.498	-8.802	24 7	-4.774	7.562	20 1	5.281	-6.454			
28 19	-4.493	8.987	25 13	4.790	-7.816	21 7	-5.288	6.696			
30 1	4.497	-9.212	26 19	-4.790	8.023	22 13	5.308	-6.979			
Févr.	31 8	-4.497	8.510	28 2	4.808	-7.308	23 19	-5.309	7.215		
	1 14	4.509	-8.752	29 8	-4.813	7.521	25 2	5.326	-6.428		
	2 20	-4.502	8.935	30 14	4.830	-7.783	26 8	-5.334	6.669		
	4 3	4.511	-8.266	31 20	-4.827	7.985	27 14	5.354	-6.963		
	5 9	-4.510	8.461	Avril	2 3	4.851	-7.272	28 20	-5.352	7.193	
6 15	4.523	-8.698	3 9		-4.853	7.485	30 3	5.373	-6.408		
7 21	-4.517	8.886	4 15	4.871	-7.745	31 9	-5.377	6.648			
9 4	4.527	-8.217	5 22	-4.870	6.966	Juin	1 15	5.399	-6.940		
10 10	-4.528	8.409	7 4	4.892	-7.236		2 21	-5.397	7.179		
11 16	4.539	-8.651	8 10	-4.898	7.451		4 4	5.415	-6.385		
12 22	-4.533	8.833	9 16	4.913	-7.714	5 10	-5.423	6.629			
14 5	4.547	-8.167	10 23	-4.914	6.926	6 16	5.440	-6.924			
15 11	-4.546	8.363	12 5	4.937	-7.202	7 22	-5.440	7.159			
16 17	4.559	-8.600	13 11	-4.940	7.420	9 5	5.458	-6.366			
17 23	-4.552	8.789	14 17	4.957	-7.680	10 11	-5.463	6.611			
19 6	4.569	-8.115	16 0	-4.959	6.895	11 17	5.483	-6.906			
20 12	-4.569	8.314	17 6	4.982	-7.166	12 23	-5.480	7.148			
21 18	4.581	-8.557	18 12	-4.986	7.387	14 6	5.499	-6.343			
23 1	-4.575	7.815	19 18	5.001	-7.654	15 12	-5.503	6.594			
24 7	4.593	-8.073	21 1	-5.006	6.858	16 18	5.521	-6.894			

ARIEL 2012

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	"	"
Juin	18 0	-5.520	7.132	Août	13 17	5.764	-7.369	Oct.	9 10	-5.523	7.547
	19 7	5.536	-6.329		14 23	-5.751	7.620		10 16	5.525	-7.852
	20 13	-5.541	6.574		16 6	5.761	-6.789		11 22	-5.508	8.098
	21 19	5.560	-6.880		17 12	-5.755	7.047		13 4	5.503	-8.394
	23 1	-5.556	7.125		18 18	5.763	-7.365		14 11	-5.486	7.526
	24 8	5.573	-6.307		20 0	-5.748	7.622		15 17	5.489	-7.835
	25 14	-5.576	6.565	21 7	5.756	-6.779	16 23	-5.471	8.082		
	26 20	5.595	-6.863	22 13	-5.748	7.048	18 5	5.469	-8.372		
	28 2	-5.592	7.112	23 19	5.757	-7.358	19 12	-5.446	7.511		
	29 9	5.605	-6.298	25 1	-5.743	7.617	20 18	5.451	-7.811		
	Juill.	30 15	-5.609	6.545	26 8	5.746	-6.779	22 0	-5.434	8.061	
		1 21	5.627	-6.858	27 14	-5.739	7.037	23 6	5.431	-8.355	
3 3		-5.623	7.099	28 20	5.746	-7.360	24 12	-5.409	8.584		
4 10		5.636	-6.280	30 2	-5.732	7.610	25 19	5.412	-7.795		
5 16		-5.639	6.539	31 8	5.733	-7.921	27 1	-5.396	8.034		
6 22		5.656	-6.840	Sept.	1 15	-5.724	7.038	28 7	5.395	-8.328	
8 4		-5.653	7.098		2 21	5.732	-7.349	29 13	-5.372	8.565	
9 11		5.663	-6.263		4 3	-5.718	7.614	30 20	5.374	-7.764	
10 17		-5.666	6.524		5 9	5.718	-7.913	Nov.	1 2	-5.358	8.015
11 23		5.683	-6.838		6 16	-5.706	7.029		2 8	5.357	-8.297
13 5		-5.678	7.083		7 22	5.714	-7.351	3 14	-5.336	8.534	
14 11		5.689	-7.393	9 4	-5.700	7.601	4 21	5.335	-7.745		
15 18	-5.688	6.510	10 10	5.701	-7.916	6 3	-5.320	7.979			
17 0	5.706	-6.826	11 17	-5.683	7.018	7 9	5.321	-8.275			
18 6	-5.701	7.083	12 23	5.692	-7.341	8 15	-5.300	8.500			
19 12	5.710	-7.382	14 5	-5.678	7.602	9 22	5.297	-7.712			
20 19	-5.710	6.506	15 11	5.678	-7.903	11 4	-5.284	7.956			
22 1	5.725	-6.816	16 18	-5.659	7.018	12 10	5.284	-8.237			
23 7	-5.720	7.073	18 0	5.666	-7.330	13 16	-5.266	8.474			
24 13	5.729	-7.383	19 6	-5.653	7.591	14 23	5.260	-7.677			
25 20	-5.723	6.492	20 12	5.654	-7.903	16 5	-5.248	7.920			
27 2	5.742	-6.814	21 18	-5.632	8.146	17 11	5.250	-8.209			
28 8	-5.734	7.067	23 1	5.639	-7.327	18 17	-5.230	8.432			
29 14	5.744	-7.375	24 7	-5.623	7.580	19 23	5.227	-8.710			
30 21	-5.737	6.489	25 13	5.626	-7.890	21 6	-5.213	7.883			
Août	1 3	5.752	-6.804	26 19	-5.606	8.142	22 12	5.217	-8.169		
	2 9	-5.747	7.064	28 2	5.605	-7.312	23 18	-5.199	8.400		
	3 15	5.754	-7.373	29 8	-5.594	7.573	25 0	5.194	-8.666		
	4 22	-5.744	6.477	30 14	5.594	-7.878	26 7	-5.182	7.851		
	6 4	5.760	-6.801	Oct.	1 20	-5.575	8.126	27 13	5.184	-8.129	
	7 10	-5.752	7.059		3 3	5.572	-7.304	28 19	-5.169	8.356	
	8 16	5.763	-7.371		4 9	-5.558	7.559	30 1	5.166	-8.629	
	9 22	-5.747	7.624		5 15	5.563	-7.867	Déc.	1 8	-5.150	7.808
	11 5	5.763	-6.791		6 21	-5.541	8.114		2 14	5.157	-8.091
	12 11	-5.756	7.056		8 3	5.538	-8.407		3 20	-5.139	8.315

ARIEL 2012

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date				Date				Date						
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Déc.	5	2	5.139	-8.582	Déc.	16	11	-5.076	7.682	Déc.	27	19	5.051	-7.860
	6	9	-5.124	7.770		17	17	5.084	-7.956		29	1	-5.040	8.086
	7	15	5.128	-8.048		18	23	-5.071	8.181		30	7	5.042	-8.342
	8	21	-5.115	8.272		20	5	5.071	-8.445		31	14	-5.030	7.542
	10	3	5.113	-8.538		21	12	-5.058	7.634	Janv.	1	20	5.040	-7.817
	11	10	-5.099	7.723		22	18	5.066	-7.913		3	2	-5.029	8.030
	12	16	5.105	-8.005		24	0	-5.054	8.129		4	8	5.032	-8.298
	13	22	-5.091	8.228		25	6	5.055	-8.395		5	15	-5.021	7.489
	15	4	5.092	-8.490		26	13	-5.042	7.592					

UMBRIEL 2012

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.	30 17	6.284	-13.238	Avril	2 1	-6.775	10.643	Juill.	4 8	7.839	-9.933
Janv.	1 19	-6.276	12.837		4 3	6.773	-10.576		6 10	-7.894	9.517
	3 21	6.257	-12.777		6 5	-6.823	10.184		8 12	7.873	-9.443
	5 22	-6.269	13.133		8 7	6.819	-10.101		10 13	-7.923	9.986
	8 0	6.250	-13.066		10 8	-6.872	10.556		12 15	7.900	-9.893
	10 2	-6.269	12.700		12 10	6.870	-10.476		14 17	-7.954	9.505
	12 4	6.247	-12.618		14 12	-6.926	10.097		16 19	7.927	-9.398
	14 5	-6.265	12.988		16 14	6.919	-10.002		18 20	-7.975	9.969
	16 7	6.247	-12.915		18 15	-6.976	10.478		20 22	7.951	-9.868
	18 9	-6.271	12.555		20 17	6.971	-10.378		23 0	-7.998	9.481
	20 11	6.250	-12.461		22 19	-7.029	10.022		25 2	7.968	-9.364
	22 13	-6.275	12.107		24 21	7.025	-9.908		27 3	-8.014	9.958
	24 14	6.255	-12.757		26 22	-7.080	10.403		29 5	7.988	-9.839
	26 16	-6.285	12.418		29 0	7.077	-10.301		31 7	-8.026	9.461
	28 18	6.268	-12.312	Mai	1 2	-7.135	9.947	Août	2 8	7.999	-10.313
Févr.	30 20	-6.294	11.968		3 4	7.132	-9.822		4 10	-8.036	9.937
	1 22	6.277	-11.853		5 6	-7.186	9.471		6 12	8.011	-9.821
	3 23	-6.310	12.283		7 7	7.185	-10.228		8 14	-8.039	9.436
	6 1	6.296	-12.167		9 9	-7.240	9.872		10 15	8.015	-10.303
	8 3	-6.326	11.833		11 11	7.242	-9.759		12 17	-8.044	9.913
	10 5	6.314	-11.714		13 13	-7.292	9.394		14 19	8.018	-9.806
	12 6	-6.344	12.148		15 14	7.292	-10.168		16 20	-8.039	10.383
	14 8	6.337	-12.033		17 16	-7.346	9.808		18 22	8.017	-10.296
	16 10	-6.367	11.696		19 18	7.349	-9.698		21 0	-8.035	9.879
	18 12	6.361	-11.589		21 20	-7.396	9.320		23 2	8.007	-9.798
	20 13	-6.389	12.013		23 22	7.400	-9.223		25 3	-8.027	10.354
	22 15	6.388	-11.906		25 23	-7.448	9.738		27 5	8.000	-10.280
	24 17	-6.419	11.567		28 1	7.454	-9.650		29 7	-8.011	9.853
	26 19	6.420	-11.467		30 3	-7.500	9.254		31 8	7.984	-10.756
	28 21	-6.446	11.099	Juin	1 5	7.501	-9.170	Sept.	2 10	-7.999	10.318
Mars	1 22	6.448	-11.797		3 6	-7.549	9.679		4 12	7.966	-10.269
	4 0	-6.481	11.434		5 8	7.555	-9.608		6 13	-7.978	10.787
	6 2	6.484	-11.350		7 10	-7.598	9.191		8 15	7.945	-10.732
	8 4	-6.515	10.977		9 12	7.598	-9.124		10 17	-7.957	10.293
	10 6	6.520	-10.894		11 13	-7.648	9.625		12 19	7.917	-10.236
	12 7	-6.552	11.307		13 15	7.647	-9.568		14 20	-7.931	10.752
	14 9	6.558	-11.248		15 17	-7.693	9.138		16 22	7.892	-10.706
	16 11	-6.593	10.852		17 19	7.687	-9.074		19 0	-7.901	10.257
	18 13	6.597	-10.784		19 20	-7.739	9.585		21 1	7.856	-11.158
	20 14	-6.634	11.199		21 22	7.732	-9.526		23 3	-7.874	10.724
	22 16	6.637	-11.139		24 0	-7.780	9.092		25 5	7.824	-10.656
	24 18	-6.680	10.740		26 1	7.767	-9.976		27 6	-7.838	11.181
	26 20	6.683	-10.681		28 3	-7.823	9.548		29 8	7.790	-11.110
	28 22	-6.724	10.278		30 5	7.807	-9.478	Oct.	1 10	-7.802	10.683
	30 23	6.723	-11.036	Juill.	2 7	-7.857	9.065		3 12	7.748	-10.600

UMBRIEL 2012

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.	5 13	-7.767	11.142	Nov.	7 16	-7.420	11.768	Déc.	10 20	-7.136	11.277
	7 15	7.711	-11.047		9 18	7.382	-11.660		12 22	7.102	-11.209
	9 17	-7.722	10.640		11 20	-7.377	11.258		14 23	-7.111	11.644
	11 18	7.671	-11.482		13 22	7.340	-11.167		17 1	7.077	-11.578
	13 20	-7.684	11.092		15 23	-7.337	11.653		19 3	-7.090	11.146
	15 22	7.630	-10.978		18 1	7.302	-11.562		21 5	7.054	-11.064
	17 23	-7.641	11.520		20 3	-7.297	11.149		23 6	-7.070	11.516
	20 1	7.589	-11.412		22 4	7.262	-11.956		25 8	7.036	-11.428
	22 3	-7.596	11.028		24 6	-7.260	11.531		27 10	-7.054	11.009
	24 5	7.544	-10.901		26 8	7.229	-11.460		29 12	7.018	-10.921
26 6	-7.553	11.454	28 9	-7.223	11.905	31 13	-7.041	11.380			
28 8	7.506	-11.334	30 11	7.192	-11.842	Janv.	2 15	7.007	-11.271		
30 10	-7.505	10.945	Déc.	2 13	-7.195		4 17	-7.030	10.883		
Nov.	1 11	7.463		-11.751	4 15		7.161	-11.340	6 19	6.997	-10.767
	3 13	-7.465		11.364	6 16		-7.162	11.776			
	5 15	7.422		-11.249	8 18	7.130	-11.715				

TITANIA 2012

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.	29	10	10.296	-21.323	Mai	3	22	-11.757	15.950	Sept.	7	4	13.098	-16.673
Janv.	2	19	-10.295	20.983		8	6	11.860	-16.149		11	12	-13.050	17.283
	7	3	10.279	-21.069		12	15	-11.952	15.934		15	20	13.011	-17.534
	11	12	-10.289	20.825		17	0	12.036	-15.454		20	5	-12.950	17.290
	15	20	10.267	-20.861		21	8	-12.137	15.901		24	13	12.906	-17.556
	20	5	-10.298	20.615		25	17	12.220	-15.438		28	21	-12.832	18.055
	24	14	10.287	-20.081		30	1	-12.314	15.895	Oct.	3	6	12.778	-17.547
	28	22	-10.324	20.413	Juin	3	10	12.394	-15.417		7	14	-12.711	18.072
Févr.	2	7	10.328	-19.877		7	19	-12.493	15.241		11	22	12.631	-18.301
	6	16	-10.377	19.688		12	3	12.551	-15.416		16	7	-12.569	18.030
	11	0	10.384	-19.676		16	12	-12.654	15.246		20	15	12.486	-18.266
	15	9	-10.450	19.510		20	20	12.705	-15.443		24	23	-12.420	18.706
	19	18	10.465	-18.902		25	5	-12.797	15.263		29	8	12.335	-18.186
	24	3	-10.538	18.723		29	13	12.845	-15.463	Nov.	2	16	-12.280	18.692
	28	11	10.572	-18.755	Juill.	3	22	-12.923	15.362		7	0	12.179	-18.806
Mars	3	20	-10.641	18.602		8	6	12.961	-15.483		11	9	-12.137	18.589
	8	5	10.690	-17.973		12	15	-13.031	15.403		15	17	12.039	-18.700
	12	14	-10.767	17.839		16	23	13.056	-15.535		20	1	-11.997	19.163
	16	22	10.824	-17.840		21	8	-13.113	15.435		24	10	11.911	-18.561
	21	7	-10.907	17.701		25	16	13.137	-15.611		28	18	-11.872	19.083
	25	16	10.980	-17.133		30	0	-13.163	16.278	Déc.	3	3	11.791	-18.394
	30	0	-11.052	17.587	Août	3	9	13.183	-15.652		7	11	-11.765	18.926
Avril	3	9	11.144	-17.025		7	17	-13.198	16.342		11	20	11.690	-18.236
	7	18	-11.218	16.848		12	1	13.199	-16.469		16	4	-11.672	18.741
	12	2	11.313	-16.935		16	10	-13.203	16.385		20	13	11.619	-18.091
	16	11	-11.395	16.757		20	18	13.199	-16.590		24	21	-11.592	18.583
	20	20	11.492	-16.260		25	3	-13.170	16.432		29	6	11.561	-17.900
	25	4	-11.572	16.675		29	11	13.165	-16.635	Janv.	2	14	-11.544	18.399
	29	13	11.678	-16.204	Sept.	2	19	-13.121	17.250		6	23	11.523	-17.714

OBÉRON 2012

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.	30	10	-13.653	28.484	Mai	6	17	15.721	-21.261	Sept.	11	15	-17.345	22.864
Janv.	6	4	13.663	-27.899		13	11	-15.891	21.156		18	8	17.257	-23.160
	12	22	-13.623	27.603		20	5	16.115	-20.749		25	1	-17.128	23.769
	19	15	13.675	-27.634	Juin	26	23	-16.262	20.693	Oct.	1	18	17.016	-24.017
	26	10	-13.657	26.817		2	16	16.487	-20.933		8	11	-16.849	24.568
Févr.	2	3	13.749	-26.890		9	10	-16.604	20.823		15	4	16.740	-24.767
	8	22	-13.758	25.990		16	4	16.834	-20.546		21	22	-16.547	24.670
	15	16	13.886	-25.648		22	22	-16.918	20.423		28	15	16.439	-24.848
	22	10	-13.928	25.259		29	15	17.127	-20.829	Nov.	4	8	-16.230	25.249
	29	4	14.080	-24.932	Juill.	6	9	-17.181	20.622		11	2	16.143	-24.861
Mars	6	22	-14.165	24.535		13	2	17.354	-21.142		17	19	-15.938	25.190
	13	16	14.332	-24.261		19	20	-17.378	20.929		24	12	15.867	-25.404
	20	11	-14.450	23.343		26	13	17.498	-21.445	Déc.	1	6	-15.685	25.003
	27	5	14.627	-23.018	Août	2	7	-17.504	21.219		7	23	15.632	-25.270
Avril	2	23	-14.784	22.740		9	0	17.566	-21.770		14	17	-15.484	24.838
	9	17	14.967	-22.412		15	18	-17.537	21.558		21	11	15.449	-24.470
	16	11	-15.142	22.183		22	11	17.540	-22.022		28	4	-15.355	24.609
	23	5	15.336	-21.780		29	4	-17.487	22.555	Janv.	3	22	15.340	-24.249
	29	23	-15.517	21.663	Sept.	4	21	17.435	-22.975		10	16	-15.291	23.812

CALENDRIER

Notations :

D : Date, jour du mois.

JOUR : Jour de la semaine.

JJ : Jour Julien à 12h.

JDA : Jour de l'année.

CALENDRIER 2012

JANVIER

D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			0
1	Dim	2455928	1
2	Lun	5929	2
3	Mar	5930	3
4	Mer	5931	4
5	Jeu	5932	5
6	Ven	5933	6
7	Sam	5934	7
8	Dim	5935	8
9	Lun	5936	9
10	Mar	5937	10
11	Mer	5938	11
12	Jeu	5939	12
13	Ven	5940	13
14	Sam	5941	14
15	Dim	5942	15
16	Lun	5943	16
17	Mar	5944	17
18	Mer	5945	18
19	Jeu	5946	19
20	Ven	5947	20
21	Sam	5948	21
22	Dim	5949	22
23	Lun	5950	23
24	Mar	5951	24
25	Mer	5952	25
26	Jeu	5953	26
27	Ven	5954	27
28	Sam	5955	28
29	Dim	5956	29
30	Lun	5957	30
31	Mar	5958	31

FÉVRIER

D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			31
1	Mer	2455959	32
2	Jeu	5960	33
3	Ven	5961	34
4	Sam	5962	35
5	Dim	5963	36
6	Lun	5964	37
7	Mar	5965	38
8	Mer	5966	39
9	Jeu	5967	40
10	Ven	5968	41
11	Sam	5969	42
12	Dim	5970	43
13	Lun	5971	44
14	Mar	5972	45
15	Mer	5973	46
16	Jeu	5974	47
17	Ven	5975	48
18	Sam	5976	49
19	Dim	5977	50
20	Lun	5978	51
21	Mar	5979	52
22	Mer	5980	53
23	Jeu	5981	54
24	Ven	5982	55
25	Sam	5983	56
26	Dim	5984	57
27	Lun	5985	58
28	Mar	5986	59
29	Mer	5987	60

MARS

D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			60
1	Jeu	2455988	61
2	Ven	5989	62
3	Sam	5990	63
4	Dim	5991	64
5	Lun	5992	65
6	Mar	5993	66
7	Mer	5994	67
8	Jeu	5995	68
9	Ven	5996	69
10	Sam	5997	70
11	Dim	5998	71
12	Lun	5999	72
13	Mar	6000	73
14	Mer	6001	74
15	Jeu	6002	75
16	Ven	6003	76
17	Sam	6004	77
18	Dim	6005	78
19	Lun	6006	79
20	Mar	6007	80
21	Mer	6008	81
22	Jeu	6009	82
23	Ven	6010	83
24	Sam	6011	84
25	Dim	6012	85
26	Lun	6013	86
27	Mar	6014	87
28	Mer	6015	88
29	Jeu	6016	89
30	Ven	6017	90
31	Sam	6018	91

AVRIL

D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			91
1	Dim	2456019	92
2	Lun	6020	93
3	Mar	6021	94
4	Mer	6022	95
5	Jeu	6023	96
6	Ven	6024	97
7	Sam	6025	98
8	Dim	6026	99
9	Lun	6027	100
10	Mar	6028	101
11	Mer	6029	102
12	Jeu	6030	103
13	Ven	6031	104
14	Sam	6032	105
15	Dim	6033	106
16	Lun	6034	107
17	Mar	6035	108
18	Mer	6036	109
19	Jeu	6037	110
20	Ven	6038	111
21	Sam	6039	112
22	Dim	6040	113
23	Lun	6041	114
24	Mar	6042	115
25	Mer	6043	116
26	Jeu	6044	117
27	Ven	6045	118
28	Sam	6046	119
29	Dim	6047	120
30	Lun	6048	121

MAI

D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			121
1	Mar	2456049	122
2	Mer	6050	123
3	Jeu	6051	124
4	Ven	6052	125
5	Sam	6053	126
6	Dim	6054	127
7	Lun	6055	128
8	Mar	6056	129
9	Mer	6057	130
10	Jeu	6058	131
11	Ven	6059	132
12	Sam	6060	133
13	Dim	6061	134
14	Lun	6062	135
15	Mar	6063	136
16	Mer	6064	137
17	Jeu	6065	138
18	Ven	6066	139
19	Sam	6067	140
20	Dim	6068	141
21	Lun	6069	142
22	Mar	6070	143
23	Mer	6071	144
24	Jeu	6072	145
25	Ven	6073	146
26	Sam	6074	147
27	Dim	6075	148
28	Lun	6076	149
29	Mar	6077	150
30	Mer	6078	151
31	Jeu	6079	152

JUIN

D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			152
1	Ven	2456080	153
2	Sam	6081	154
3	Dim	6082	155
4	Lun	6083	156
5	Mar	6084	157
6	Mer	6085	158
7	Jeu	6086	159
8	Ven	6087	160
9	Sam	6088	161
10	Dim	6089	162
11	Lun	6090	163
12	Mar	6091	164
13	Mer	6092	165
14	Jeu	6093	166
15	Ven	6094	167
16	Sam	6095	168
17	Dim	6096	169
18	Lun	6097	170
19	Mar	6098	171
20	Mer	6099	172
21	Jeu	6100	173
22	Ven	6101	174
23	Sam	6102	175
24	Dim	6103	176
25	Lun	6104	177
26	Mar	6105	178
27	Mer	6106	179
28	Jeu	6107	180
29	Ven	6108	181
30	Sam	6109	182

CALENDRIER 2012

JUILLET				AOÛT				SEPTEMBRE			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			182	0			213	0			244
1	Dim	2456110	183	1	Mer	2456141	214	1	Sam	2456172	245
2	Lun	6111	184	2	Jeu	6142	215	2	Dim	6173	246
3	Mar	6112	185	3	Ven	6143	216	3	Lun	6174	247
4	Mer	6113	186	4	Sam	6144	217	4	Mar	6175	248
5	Jeu	6114	187	5	Dim	6145	218	5	Mer	6176	249
6	Ven	6115	188	6	Lun	6146	219	6	Jeu	6177	250
7	Sam	6116	189	7	Mar	6147	220	7	Ven	6178	251
8	Dim	6117	190	8	Mer	6148	221	8	Sam	6179	252
9	Lun	6118	191	9	Jeu	6149	222	9	Dim	6180	253
10	Mar	6119	192	10	Ven	6150	223	10	Lun	6181	254
11	Mer	6120	193	11	Sam	6151	224	11	Mar	6182	255
12	Jeu	6121	194	12	Dim	6152	225	12	Mer	6183	256
13	Ven	6122	195	13	Lun	6153	226	13	Jeu	6184	257
14	Sam	6123	196	14	Mar	6154	227	14	Ven	6185	258
15	Dim	6124	197	15	Mer	6155	228	15	Sam	6186	259
16	Lun	6125	198	16	Jeu	6156	229	16	Dim	6187	260
17	Mar	6126	199	17	Ven	6157	230	17	Lun	6188	261
18	Mer	6127	200	18	Sam	6158	231	18	Mar	6189	262
19	Jeu	6128	201	19	Dim	6159	232	19	Mer	6190	263
20	Ven	6129	202	20	Lun	6160	233	20	Jeu	6191	264
21	Sam	6130	203	21	Mar	6161	234	21	Ven	6192	265
22	Dim	6131	204	22	Mer	6162	235	22	Sam	6193	266
23	Lun	6132	205	23	Jeu	6163	236	23	Dim	6194	267
24	Mar	6133	206	24	Ven	6164	237	24	Lun	6195	268
25	Mer	6134	207	25	Sam	6165	238	25	Mar	6196	269
26	Jeu	6135	208	26	Dim	6166	239	26	Mer	6197	270
27	Ven	6136	209	27	Lun	6167	240	27	Jeu	6198	271
28	Sam	6137	210	28	Mar	6168	241	28	Ven	6199	272
29	Dim	6138	211	29	Mer	6169	242	29	Sam	6200	273
30	Lun	6139	212	30	Jeu	6170	243	30	Dim	6201	274
31	Mar	6140	213	31	Ven	6171	244				
OCTOBRE				NOVEMBRE				DÉCEMBRE			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			274	0			305	0			335
1	Lun	2456202	275	1	Jeu	2456233	306	1	Sam	2456263	336
2	Mar	6203	276	2	Ven	6234	307	2	Dim	6264	337
3	Mer	6204	277	3	Sam	6235	308	3	Lun	6265	338
4	Jeu	6205	278	4	Dim	6236	309	4	Mar	6266	339
5	Ven	6206	279	5	Lun	6237	310	5	Mer	6267	340
6	Sam	6207	280	6	Mar	6238	311	6	Jeu	6268	341
7	Dim	6208	281	7	Mer	6239	312	7	Ven	6269	342
8	Lun	6209	282	8	Jeu	6240	313	8	Sam	6270	343
9	Mar	6210	283	9	Ven	6241	314	9	Dim	6271	344
10	Mer	6211	284	10	Sam	6242	315	10	Lun	6272	345
11	Jeu	6212	285	11	Dim	6243	316	11	Mar	6273	346
12	Ven	6213	286	12	Lun	6244	317	12	Mer	6274	347
13	Sam	6214	287	13	Mar	6245	318	13	Jeu	6275	348
14	Dim	6215	288	14	Mer	6246	319	14	Ven	6276	349
15	Lun	6216	289	15	Jeu	6247	320	15	Sam	6277	350
16	Mar	6217	290	16	Ven	6248	321	16	Dim	6278	351
17	Mer	6218	291	17	Sam	6249	322	17	Lun	6279	352
18	Jeu	6219	292	18	Dim	6250	323	18	Mar	6280	353
19	Ven	6220	293	19	Lun	6251	324	19	Mer	6281	354
20	Sam	6221	294	20	Mar	6252	325	20	Jeu	6282	355
21	Dim	6222	295	21	Mer	6253	326	21	Ven	6283	356
22	Lun	6223	296	22	Jeu	6254	327	22	Sam	6284	357
23	Mar	6224	297	23	Ven	6255	328	23	Dim	6285	358
24	Mer	6225	298	24	Sam	6256	329	24	Lun	6286	359
25	Jeu	6226	299	25	Dim	6257	330	25	Mar	6287	360
26	Ven	6227	300	26	Lun	6258	331	26	Mer	6288	361
27	Sam	6228	301	27	Mar	6259	332	27	Jeu	6289	362
28	Dim	6229	302	28	Mer	6260	333	28	Ven	6290	363
29	Lun	6230	303	29	Jeu	6261	334	29	Sam	6291	364
30	Mar	6231	304	30	Ven	6262	335	30	Dim	6292	365
31	Mer	6232	305					31	Lun	6293	366

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 : Daniel HESTROFFER

Directeur adjoint : Valéry LAINEY

CORPS DES ASTRONOMES ET DES ASTRONOMES ADJOINTS

Astronomes : Jean-Eudes ARLOT,
William THUILLOT,
Patrick ROCHER,
Daniel HESTROFFER,

Astronomes adjoints : Pascal DESCAMPS,
Valéry LAINEY,
Jérémy VAUBAILLON,
Florent DELEFLIE.

CORPS DES CHERCHEURS DU CNRS

Directeurs de recherche : Jacques LASKAR.

Chargés de recherche : François COLAS,
Alain ALBOUY,
David SAUZIN,
Philippe ROBUTEL.

CORPS DES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS DES UNIVERSITÉS

Professeurs : Alain CHENCINER,
Alain VIENNE.

Maîtres de conférences : Laurent NIEDERMAN,
Jacques FEJOZ,
Marc FOUCHARD,
Nicolas RAMBAUX,
Stéfan RENNER.

CORPS DES INGÉNIEURS ET TECHNICIENS DU CNRS

Ingénieurs de recherche : Mickaël GASTINEAU,
Jérôme BERTHIER,
Frédéric VACHIER,
Pédro DAVID.

Ingénieurs d'études : Christian RUATTI,
Mirel BIRLAN,
Mokhtar SADJI,
Alrick DIAS,
Hervé MANCHE.

Assistants ingénieurs : Isabelle NICOLAS,
Stéphane VAILLANT.

**CORPS DES INGÉNIEURS ET TECHNICIENS
DE RECHERCHE ET DE FORMATION**

Assistants ingénieurs : Sylvie LEMAÎTRE-POTTIER.

Techniciens : Philippe DUHAMEL,
Yohann GOMINET,
Agnès PATU,
Camille BARON,
Cécile VENEAU.

ÉTUDIANTS pour l'année 2011

Thésitifs : Vincent ROBERT,
David BANCELIN,
Laurène BEAUVALET,
Thierry COMBOT,
Lucie MAQUET,
Lei ZHAO,
Radwan TAJEDDINE,
Farida BAIKOLDA,
Marcel POPESCU,
Xu XINGBO.

BUREAU DES LONGITUDES

23, QUAI DE CONTI, 75006 PARIS

Bureau pour l'année 2011

Président : Nicole CAPITAINE
Vice-Président : Pierre BAÜER
Secrétaire : Pascal WILLIS

MEMBRES TITULAIRES

Jean-François DENISSE (*), membre de l'Académie des sciences, ancien président du CNES.

Jean KOVALEVSKY (*), membre de l'Académie des sciences, observatoire de la Côte d'Azur.

Bernard GUINOT, astronome honoraire, observatoire de Paris, correspondant 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, membre de l'Académie des sciences, institut de physique du globe de Paris.

Suzanne DÉBARBAT, astronome titulaire honoraire, observatoire de Paris.

Jean-Paul POIRIER, membre de l'Académie des sciences, institut de physique du globe de Paris.

Claude AUDOIN, directeur de recherche au CNRS, chercheur associé à l'observatoire de Paris.

François BARRIER, astronome honoraire, observatoire de la Côte d'Azur.

André LEBEAU, professeur, ancien président du CNES.

Pierre BAÜER, directeur de recherche au CNRS, centre national de recherches météorologiques.

MEMBRES EN SERVICE EXTRAORDINAIRE

Bruno FRACHON, directeur général du Service hydrographique et océanographique de la Marine.

Jean-Philippe LAGRANGE, directeur technique adjoint de l'Institut géographique national.

Pascale DELÉCLUSE, directrice adjointe de la recherche à Météo France.

Daniel HESTROFFER (°), astronome, 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, professeur, ancien directeur de l'observatoire de Genève.
- Jean-Claude PECKER, membre de l'Académie des sciences, professeur au Collège de France.
- Pierre MERLIN, professeur, université de Paris I, président de l'institut d'urbanisme et d'aménagement de la Sorbonne.
- Raymond MICHARD, astronome titulaire honoraire, ancien président de l'observatoire de Paris.
- Gilbert AMAT, professeur honoraire, université de Paris VI.
- Michel LEFEBVRE, ingénieur honoraire CNES, Groupe de recherches de géodésie spatiale, observatoire Midi-Pyrénées.
- Claude BOUCHER, ingénieur général des Ponts et Chaussées, Conseil général des Ponts et Chaussées.
- Jean CHAPRONT, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Paris.
- Jean-Claude DUPLESSY, directeur de recherche au CNRS, laboratoire des sciences du climat et de l'environnement.
- Jean-Eudes ARLOT, directeur de recherche au CNRS, IMCCE.
- François MIGNARD, directeur de recherche au CNRS, observatoire de la Côte d'Azur.
- Victor BRUMBERG, professeur, Institut d'astronomie appliquée, Saint-Pétersbourg.
- Jean-Louis SIMON, astronome, Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.
- Georges BALMINO, ingénieur émérite CNES, ancien directeur exécutif du GRGS, observatoire Midi-Pyrénées.
- Michel CRÉPON, directeur de recherche au CNRS, institut Pierre Simon Laplace.
- Pascal WILLIS, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, IPGP.
- Sylvio FERRAZ-MELLO, professeur, université de São Paulo.
- Elisa Felicitas ARIAS, physicien chercheur principal, Bureau international des poids et mesures.
- Catherine TURON, astronome, observatoire de Paris.
- Christophe SOTIN, professeur, université de Nantes.
- José ACHACHE, professeur, directeur du secrétariat du "Group on Earth observation".
- Catherine DE BERGH, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Paris.
- Yves DESNOËS, ingénieur général de l'Armement, ancien directeur général du Service hydrographique et océanographique de la Marine.
- Frédérique RÉMY, directeur de recherche au CNRS, observatoire Midi-Pyrénées.
- Chantal BALKOWSKI, astronome, observatoire de Paris.
- Anny CAZENAVE, directrice-adjointe du LEGOS, observatoire Midi-Pyrénées.
- Véronique DEHANT, chef de section, observatoire royal de Belgique.
- Noël DIMARCQ, directeur du SYRTE, observatoire de Paris.
- Annie SOURIAU, sismologue émérite l'observatoire Midi-Pyrénées.
- Michel DIAMENT, institut de physique du globe de Paris.
- Alessandro MORBIDELLI, astronome à l'observatoire de la Côte d'Azur.

Secrétaire administratif : Michel TELLIER

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

2 0 1 2

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. On y trouve aussi 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 donne 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 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 2008, les éphémérides utilisées pour le calcul des positions des satellites des planètes Mars, Jupiter et Uranus sont désormais calculées à partir d'une nouvelle approche entièrement numérique basée sur le logiciel NOE (Numerical Orbit and Ephemerides) développé à l'IMCCE. Ce nouveau modèle dynamique et les éphémérides associées font l'objet du chapitre 7.

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 334^e d'une éphéméride qui a paru sans interruption depuis sa création.



38 euros

978-2-7598-0679-9

www.edpsciences.org



EDP
SCIENCES