


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

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

CONNAISSANCE
DES TEMPS

2 0 1 1


EDP
SCIENCES

BUREAU DES LONGITUDES

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

OBSERVATOIRE DE PARIS

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES 2011

CONNAISSANCE DES TEMPS

AUTRES PUBLICATIONS DU MÊME AUTEUR

Publications éditées par EDP Sciences

Annuaire du Bureau des longitudes. Guide de données astronomiques 2011.

Agenda astronomique pour 2011.

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 2011.

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

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

W. Thuillot

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

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/publi_officielle/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 de Soleil ;
- images astronomiques ;
- bases de données astrométriques.

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

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	I. iii
Préface	I. v
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 2011	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. 113
Ganymède	II. 115
Callisto	II. 116
Satellites de Saturne	II. 117
Coordonnées tangentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations	II. 118
Mimas	II. 118
Encelade	II. 124
Téthys	II. 128
Dioné	II. 131
Rhéa	II. 133
Titan	II. 134
Hypériorion	II. 135
Japet	II. 135
Satellites d'Uranus	II. 137
Coordonnées tangentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations	II. 138
Miranda	II. 138
Ariel	II. 142
Umbriel	II. 145
Titania	II. 147
Obéron	II. 148
Calendrier	II. 149
Composition de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides	II. 153
Composition du Bureau des longitudes	II. 155

PREMIÈRE PARTIE

INTRODUCTION AUX ÉPHÉMÉRIDES

Chapitre 1. Définitions et données astronomiques	I. 3
Chapitre 2. Échelles de temps	I. 39
Chapitre 3. Systèmes de référence	I. 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) $\times 10^{-8}$	
Aplatissement de la Terre, f	0.003 352 81 = 1/298.257	1/298.256 42 \pm 1/0.00001
Constante héliocentrique de la gravitation ⁽⁵⁾ , $GS = A^3 k^2 d^{-2}$	1.327 124 420 99(10) $\times 10^{20}$ m ³ s ⁻² $\pm 5 \times 10^{10}$ 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 $\times 10^{30}$ 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°	<i>a</i> (10 ³ km)	<i>e</i>	<i>I</i> (degrés)	<i>P</i> (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	(<i>e</i>)	Showalter (²)	1990
Atlas	XV	137.67	0.0012	0.003	(<i>e</i>)	Voyager 2	1980
Prométhée	XVI	139.38	0.0022	0.007	(<i>e</i>)	Voyager 2	1978
Pandore	XVII	141.71	0.0042	0.051	(<i>e</i>)	Voyager 2	1980
Épiméthée	XI	152.03	0.0099	0.326	(<i>e</i>)	Fountain/Larson	1978
Janus	X	152.03	0.0067	0.148	(<i>e</i>)	Dollfus	1966
Mimas	I	186.018	0.016/0.022	1.61/1.63	(<i>e</i>)	Herschel	1789
Encelade	II	238.409	0.003/0.006	0.008/0.02	(<i>e</i>)	Herschel	1789
Calypso	XIV	294.95	0.003	0.025	(<i>e</i>)	Voyager 2	1980
Télésto	XIII	294.98	0.002	0.025	(<i>e</i>)	Voyager 2	1980
Téthys	III	294.973	0.001	1.09	(<i>e</i>)	Cassini	1684
Dioné	IV	377.647	0.001/0.003	0.01/0.03	(<i>e</i>)	Cassini	1684
Hélène	XII	377.84	0.006/0.009	0.024	(<i>e</i>)	Lecacheux/Laques	1980
Rhée	V	527.228	0.0003/0.0016	0.30/0.38	(<i>e</i>)	Cassini	1672
Titan	VI	1 221.936	0.0286/0.0290	0.31/0.49	(<i>e</i>)	Huygens	1655
Hypériorion	VII	1 482.322	0.0736/0.1321	0.36/1.11	(<i>e</i>)	Bond/Lassel	1848
Japet	VIII	3 561.697	0.0270/0.0300	14.70/16.19	(<i>e</i>)	Cassini	1671
Phœbé	IX	12 925	0.14/0.19 18	150.0/152.6	(<i>e</i> ⁹)	548.57 Pickering	1898
Uranus							
Anneaux		42/51	0.0/0.008	0.06/0.0002	(<i>e</i> ¹)	Elliot et al.	1977
Cordélia	VI	49.752	0.0003	0.08	(<i>e</i>)	0.335 25 Voyager 2	1986
Ophélie	VII	53.764	0.0099	0.10	(<i>e</i>)	0.376 60 Voyager 2	1986
Bianca	VIII	59.165	0.0003	0.18	(<i>e</i>)	0.434 77 Voyager 2	1986
Cressida	IX	61.767	0.0002	0.04	(<i>e</i>)	0.463 75 Voyager 2	1986
Desdémone	X	62.658	0.0003	0.10	(<i>e</i>)	0.473 83 Voyager 2	1986
Juliette	XI	64.358	0.0000	0.05	(<i>e</i>)	0.493 24 Voyager 2	1986
Portia	XII	66.097	0.0005	0.03	(<i>e</i>)	0.513 37 Voyager 2	1986
Rosalinde	XIII	69.927	0.0006	0.09	(<i>e</i>)	0.558 63 Voyager 2	1986
Belinda	XIV	75.256	0.0003	0.03	(<i>e</i>)	0.623 68 Voyager 2	1986
Puck	XV	86.004	0.0004	0.32	(<i>e</i>)	0.761 97 Voyager 2	1985
Miranda	V	129.859	0.0013	4.35	(<i>e</i> ⁷)	1.413 72 Kuiper	1948
Ariel	I	190.925	0.0013	0.08	(<i>e</i> ⁷)	2.520 27 Lassell	1851
Umbriel	II	265.971	0.0039	0.13	(<i>e</i> ⁷)	4.143 85 Lassell	1851
Titania	III	436.253	0.0019	0.10	(<i>e</i> ⁷)	8.704 72 Herschel	1787
Obéron	IV	583.458	0.0015	0.16	(<i>e</i> 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	(<i>e</i>)	0.294 65 Voyager 2	1989
Thalassa	IV	50.069	0.000 16	0.54	(<i>e</i>)	0.311 64 Voyager 2	1989
Despina	V	52.531	0.000 14	0.52	(<i>e</i>)	0.334 90 Voyager 2	1989
Galatée	VI	61.945	0.000 12	0.53	(<i>e</i>)	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) (e)	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
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
Erriapo	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
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

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 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
Prospero	XVIII	16 113	0.327	146.34	173.57	320.15	1 952.61	1999	13/09/00	IAUC 7447
Sétébos	XIX	18 205	0.494	148.83	2.19	249.85	2 344.89	1999	13/09/00	IAUC 7450
Ferdinand	XXIV	20 598	0.426	167.28	164.88	225.13	2 824.28	2001	27/12/03	M2003-S105
Neptune										
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
Psamathee	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

1.4.3. Paramètres physiques

On donne dans la table 1.16, les masses au repos m du Soleil, des planètes et des systèmes formés par les planètes et leurs principaux satellites, ainsi que les quantités Gm , produits de la constante héliocentrique de la gravitation GS , par le rapport des masses des planètes ou des systèmes planète-satellites à la masse du Soleil m/S . Le système de Jupiter est composé de Jupiter et des quatre satellites galiléens ; celui de Saturne, de Saturne et de ses huit principaux satellites ; celui d'Uranus, d'Uranus et de ces cinq premiers satellites. Les masses des planètes sont évaluées en enlevant à la masse du système planète-satellites, la somme des masses connues des satellites du système (Table

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			

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 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),

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.

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. (suite).

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
Naiade	III	5.0×10^{-14}	9.7×10^{-10}	6.6×10^6
Thalassa	IV	1.6×10^{-13}	3.1×10^{-9}	2.1×10^7
Despina	V	1.1×10^{-12}	2.1×10^{-8}	1.4×10^8
Galatée	VI	1.9×10^{-12}	3.6×10^{-8}	2.5×10^8
Larissa	VII	2.2×10^{-12}	4.2×10^{-8}	2.9×10^8
Protée	VIII	2.0×10^{-11}	3.9×10^{-7}	2.7×10^9
Triton	I	1.08×10^{-8}	2.09×10^{-4}	1.428×10^{12}
Néréide	II	1×10^{-11}	2×10^{-7}	1.4×10^9
Pluton				
Charon	I	0.733×10^{-9}	0.110	9.73×10^{10}

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

Nom	N°	a_s (km)	a_1 a_2 a_3 (km)	Masse (10^{21} kg)	ρ (10^3 kg/m ³)	m_v	Albédo géométrique
Terre							
Lune		1737.4±1	1737.4 - 1737.4 - 1737.4	73.476	3.34	-12.7	0.12
Mars							
Phobos	I	11.1±0.15	13.4 - 11.2 - 9.2	1.02×10^{-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. (suite).

Nom	N°	a_s (km)	a_1 a_2 a_3 (km)	Masse (10^{21} kg)	ρ (10^3 kg/m ³)	m_v	Albédo géométrique
Saturne							
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 : 2010, *Celest. Mech.* sous presse.
- 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 a été ajustée sur la valeur du TU en 1958 au lieu de l'être sur celle du TE). Nous retrouverons constamment dans la suite ce décalage intempestif qui n'a aucune justification scientifique et dont il faut bien s'accommoder.
- En 1976, l'augmentation de la précision des observations dans le système solaire, due en particulier à la précision des mesures de distances par radar, ainsi que l'amélioration des théories de mécanique céleste, grâce aux intégrations numériques rapides par ordinateur, ont conduit l'Union Astronomique Internationale (UAI) à définir des échelles de temps tenant compte d'effets relativistes. L'une d'elles est le *Temps dynamique barycentrique* (TDB), échelle de temps-coordonnée destinée à calculer les éphémérides des corps du système solaire dans un système d'axes ayant pour origine le barycentre du système solaire. L'autre est le *Temps dynamique terrestre* (TDT), très voisin du TE et destinée à l'établissement des éphémérides géocentriques apparentes des corps du système solaire. Le TDB et le TDT diffèrent par des termes périodiques et de Poisson de faible amplitude. Ces deux échelles ont été introduites dans le système UAI 1976, adopté à l'assemblée générale de l'UAI à Grenoble en 1976, et utilisées dans les éphémérides nationales à partir de 1984.
- Depuis son assemblée générale de Buenos-Aires en 1991, l'UAI a précisé à plusieurs reprises les définitions des échelles de temps dans un cadre relativiste :
 - À tout système de masses dans l'univers peut être associé un système de coordonnées spatio-temporelles centré au barycentre des masses considérées et ne présentant pas de rotation globale par rapport aux galaxies lointaines. La coordonnée temporelle de ce système est le temps-coordonnée correspondant (TC–), où le tiret figure à la place d'une lettre caractérisant le système

Table 2.1. Évolution des échelles de temps.

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

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

Les principales nouvelles échelles de temps ont été désignées par l'UAI.

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

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

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

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

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 2011 (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			

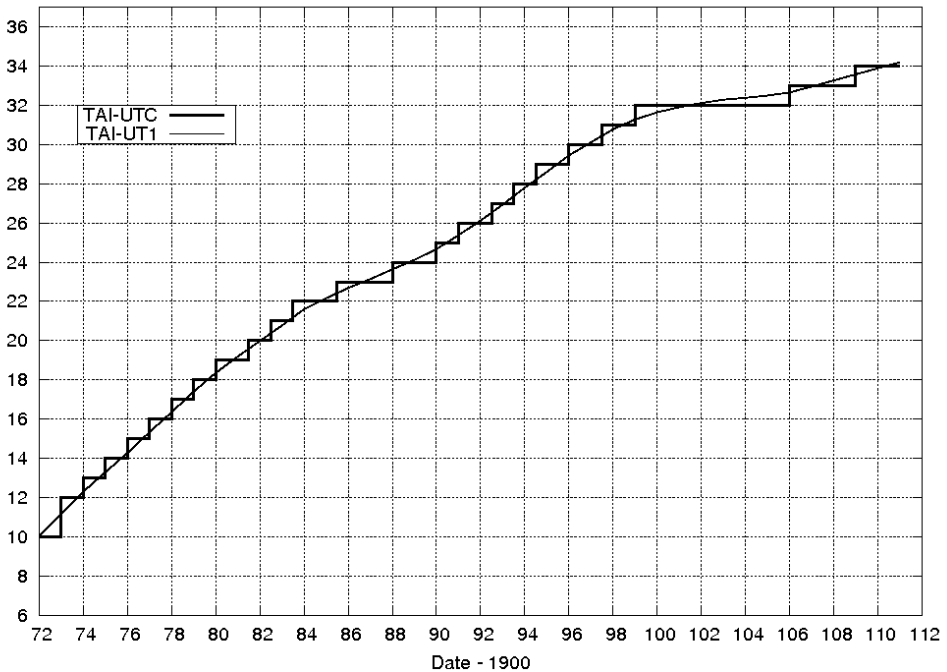


Fig. 2.1. Différence TAI – UTC et différence observée TAI – UT1, en secondes, de 1972 à 2011.

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	0.001321	1820.9330264	2.6248664	0.35	241	0	0.000674	1494.5316174	6.2705105	0.42
194	0	0.001297	2122.8392024	0.3826035	0.30	242	0	0.000673	106.6495477	3.8765124	5.89
195	0	0.001297	2354.3230505	3.0638052	0.27	243	0	0.000662	2515.8601720	1.7940584	0.25
196	0	0.001288	-199.0745017	3.9130229	3.16	244	0	0.000660	62.5670192	5.8640919	10.04
197	0	0.001284	1057.5406683	5.3065382	0.59	245	0	0.000647	1185.6218652	3.3971331	0.53
198	0	0.001278	7.1812653	4.7134865	87.49	246	0	0.000646	1140.3676996	3.8529595	0.55
199	0	0.001238	480.4209276	5.5033797	1.31	247	0	0.000641	8346.7156353	3.2107273	0.08
200	0	0.001176	27.7034994	3.3355190	22.68	248	0	0.000631	576.7611979	4.0265323	1.09
201	0	0.001169	604.0347246	5.8417190	1.04	249	0	0.000630	3.6027867	0.1563685	174.40
202	0	0.001155	-1.4227094	3.0427008	441.64	250	0	0.000618	2200.3914635	2.4664270	0.29
203	0	0.001145	605.8731054	1.1694839	1.04	251	0	0.000611	-14357.1324284	2.4249797	0.04
204	0	0.001077	17.5166060	1.8449131	35.87	252	0	0.000609	1017.7257680	0.4371223	0.62
205	0	0.001070	-15471.7609887	1.8276245	0.04	253	0	0.000607	-3.9617508	2.8390216	158.60
206	0	0.001039	554.0085789	2.7697535	1.13	254	0	0.000603	-6514.7619768	4.1400836	0.10
207	0	0.001004	-17.0672871	0.7550081	36.81	255	0	0.000601	41.2371097	3.9842254	15.24
208	0	0.000991	470.1116502	4.3870018	1.34	256	0	0.000576	1108.7285126	4.7602931	0.57
209	0	0.000987	-626.2300454	2.6564870	1.00	257	0	0.000575	1204.3574282	4.2164924	0.52
210	0	0.000979	554.7199336	5.4483760	1.13	258	0	0.000574	7214.0628666	1.7581909	0.09
211	0	0.000954	628.2095529	0.8682135	1.00	259	0	0.000567	363.4621025	1.6492647	1.73
212	0	0.000954	-628.4056171	0.9884809	1.00	260	0	0.000559	1119.0377900	5.7832364	0.56
213	0	0.000940	603.7244204	6.1974281	1.04	261	0	0.000553	1241.6588503	4.7721580	0.51
214	0	0.000908	13.1541962	2.5212575	47.77	262	0	0.000550	490.7302050	0.8640243	1.28
215	0	0.000907	3537.1887266	3.3701960	0.18	263	0	0.000531	648.9261398	1.6818888	0.97
216	0	0.000890	1391.6019110	5.6014983	0.45	264	0	0.000520	3930.2096962	4.7880029	0.16
217	0	0.000885	1171.2955318	3.2804149	0.54	265	0	0.000520	1034.4295065	2.4455978	0.61
218	0	0.000884	-155.1045223	1.0888317	4.05	266	0	0.000515	1863.5928455	3.9453459	0.34
219	0	0.000876	501.7508371	3.9699026	1.25	267	0	0.000509	84.6082835	3.0538746	7.43
220	0	0.000852	19.9072001	2.1896050	31.56	268	0	0.000495	734.2457780	3.8172858	0.86
221	0	0.000845	-43.3711738	4.7492452	14.49	269	0	0.000494	962.3688277	3.0226451	0.65
222	0	0.000819	866.2240324	5.9912478	0.73	270	0	0.000493	1842.2629359	1.6769393	0.34
223	0	0.000814	1765.4780540	4.6271226	0.36	271	0	0.000491	22.4344796	0.8783728	28.01
224	0	0.000806	1511.0466120	5.1428767	0.42	272	0	0.000486	-32.3505417	4.0616739	19.42
225	0	0.000806	30.9278323	6.0540644	20.32	273	0	0.000485	670.2560494	0.2105809	0.94
226	0	0.000798	14.8078724	5.9092251	42.43	274	0	0.000484	1726.7268202	3.2905891	0.36
227	0	0.000798	51.5463871	5.1519625	12.19	275	0	0.000481	574.9452732	4.3095920	1.09
228	0	0.000773	-413.6910434	0.0220678	1.52	276	0	0.000480	595.9570433	5.0313510	1.05
229	0	0.000764	-612.7655451	2.2363463	1.03	277	0	0.000480	575.7317038	1.1423486	1.09
230	0	0.000738	613.4997126	2.2426689	1.02	278	0	0.000478	126.5567479	5.4873146	4.96
231	0	0.000737	532.6786694	4.9238316	1.18	279	0	0.000472	-1256.9674818	5.1121333	0.50
232	0	0.000732	237.9164474	2.5018134	2.64	280	0	0.000472	-1.8159247	1.9997076	346.00
233	0	0.000726	542.9879468	6.0396069	1.16	281	0	0.000470	1202.9347188	1.4056112	0.52
234	0	0.000723	1725.6631536	6.0687196	0.36	282	0	0.000466	1256.2628582	4.9595816	0.50
235	0	0.000710	2876.6924424	5.6726177	0.22	283	0	0.000465	1725.3041108	0.3534963	0.36
236	0	0.000706	1255.9038153	2.8248489	0.50	284	0	0.000463	573.9157791	1.4112230	1.09
237	0	0.000704	1352.1751442	2.3009913	0.46	285	0	0.000461	617.9983076	0.5136693	1.02
238	0	0.000694	349.6032826	2.6683091	1.80	286	0	0.000458	1213.2439962	1.8801038	0.52
239	0	0.000689	468.6889408	6.2242711	1.34	287	0	0.000449	1160.9862544	4.1799896	0.54
240	0	0.000678	-548.1254919	6.2496667	1.15	288	0	0.000432	1685.8482533	1.1792564	0.37

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
289	0	0.000 432	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

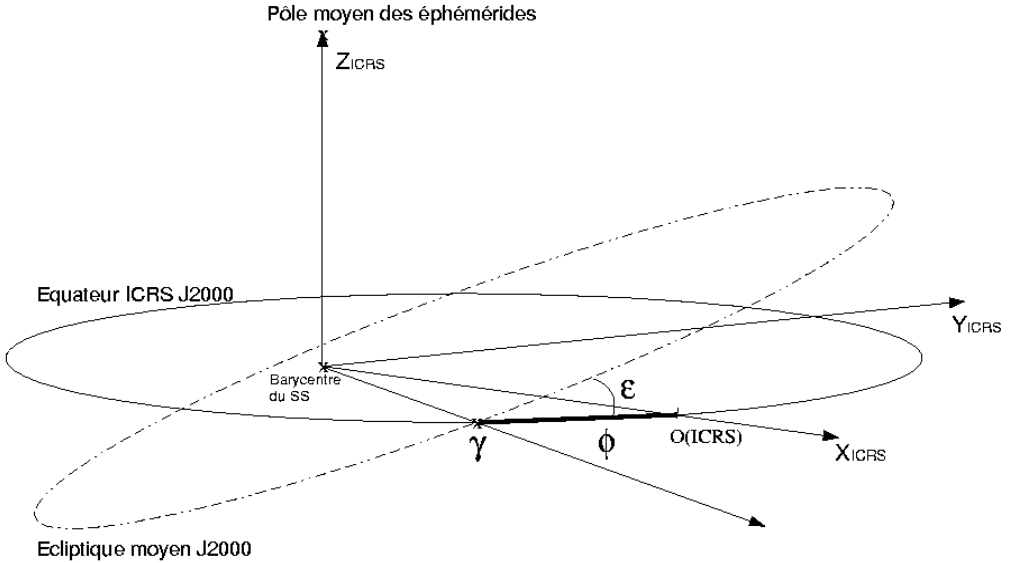


Fig. 3.3.1. Définition des axes et raccordement des systèmes de référence dynamiques à l'ICRS

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,

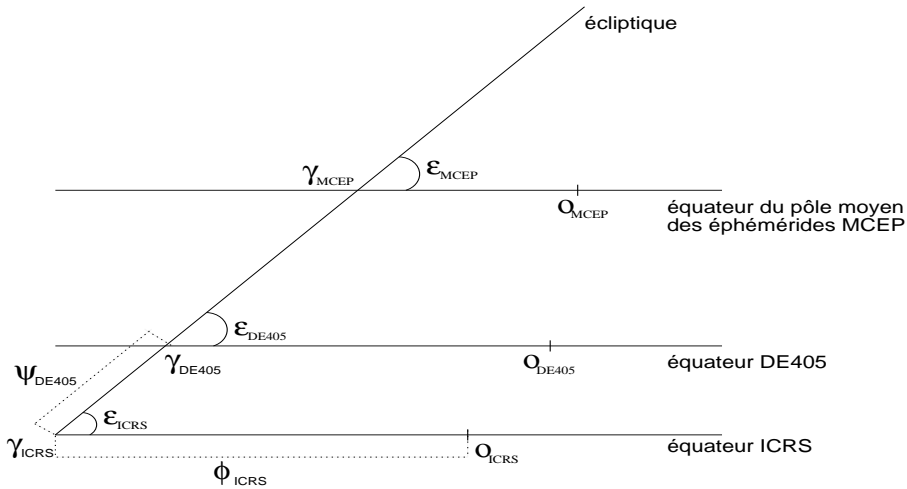


Fig. 3.3.2. Angles utilisés pour les raccords entre systèmes de référence (d'après Chapront et al., 2002).

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 :

$$\dot{X}_2 = \dot{X}_1 + \dot{T} + \dot{D}X_1 + \dot{R}X_1 \tag{3.5.5}$$

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.

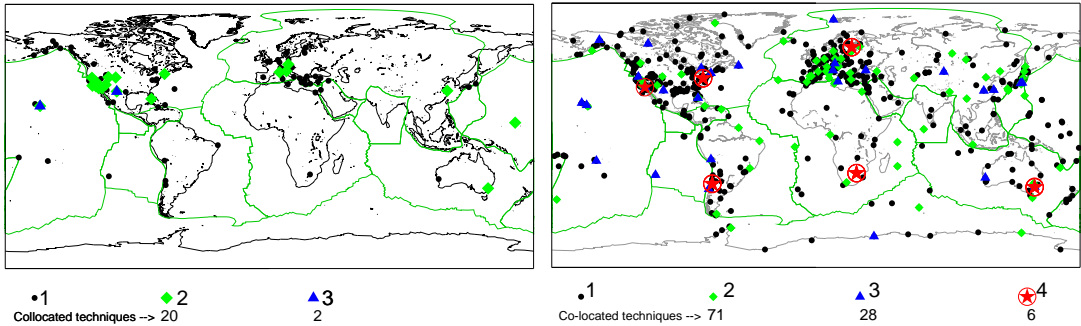


Fig. 3.5.1. Répartition des sites ITRF88 (gauche) et ITRF2008 (droite).

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

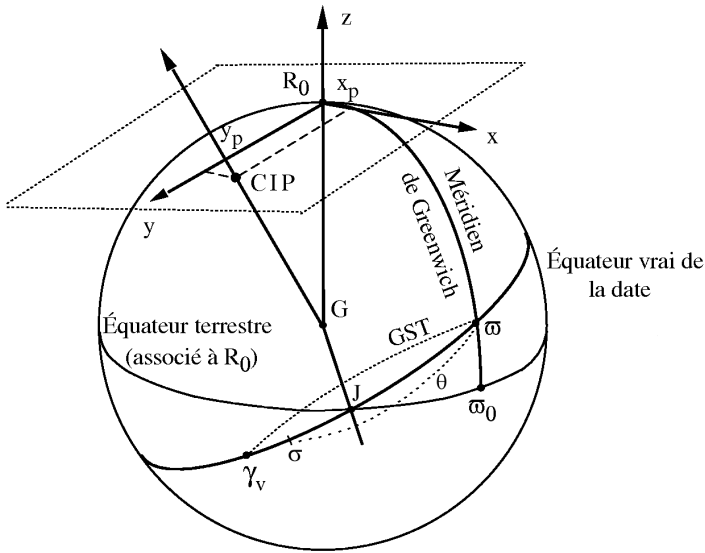
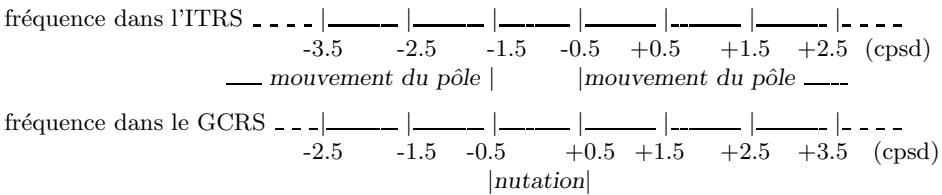


Fig. 3.6.1. D\u00e9finition des param\u00e8tres d'orientation de la Terre.

que -0.5 cpsd).

Cette d\u00e9finition est r\u00e9sum\u00e9e par le sch\u00e9ma suivant :



La r\u00e9solution B1.8 de l'UAI (2000) recommande que la transformation entre le GCRS et l'ITRS soit sp\u00e9cifi\u00e9e par la position du CIP dans le GCRS, la position du CIP dans l'ITRS et l'ERA. Cela am\u00e8ne \u00e0 utiliser, \u00e0 la place des quantit\u00e9s classiques de pr\u00e9cession-nutation, les cosinus directeurs, not\u00e9s X et Y , du CIP dans le GCRS qui expriment directement la direction de l'axe du p\u00f4le interm\u00e9diaire sur la sph\u00e8re c\u00e9leste sous une forme tr\u00e8s similaire \u00e0 celle exprimant usuellement la direction de cet axe dans le syst\u00e8me de r\u00e9f\u00e9rence terrestre.

3.6.4.3. Bases de la nouvelle d\u00e9finition du Temps universel UT1

Jusqu'au 1 janvier 2003, UT1 \u00e9tait d\u00e9fini, \u00e0 partir du temps sid\u00e9ral moyen \u00e0 0h UT1, par la relation de Aoki et al. (1982). Cette d\u00e9finition \u00e9tait adapt\u00e9e \u00e0 la d\u00e9termination de UT1 \u00e0 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).

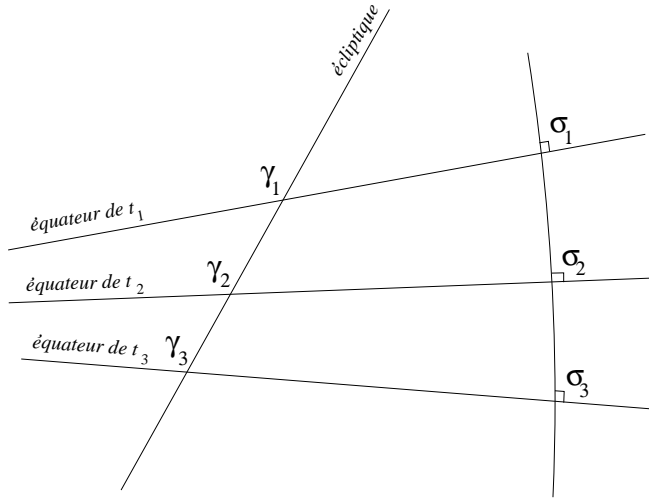


Fig. 3.6.2. Mouvement de l'origine non-tournante σ comparé à celui de l'équinoxe vrai de la date γ_v .

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

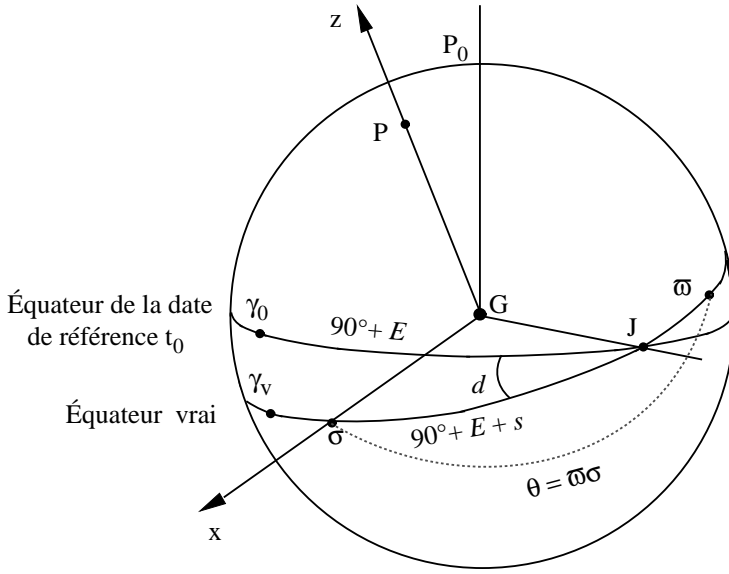


Fig. 3.6.3. Définition de l'origine "non-tournante".

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 :

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

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

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

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

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

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

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

$$\theta(d_u) = 2\pi (0.779\,057\,273\,2640 + 1.002\,737\,811\,911\,35448 T_u), \quad (3.6.17)$$

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.

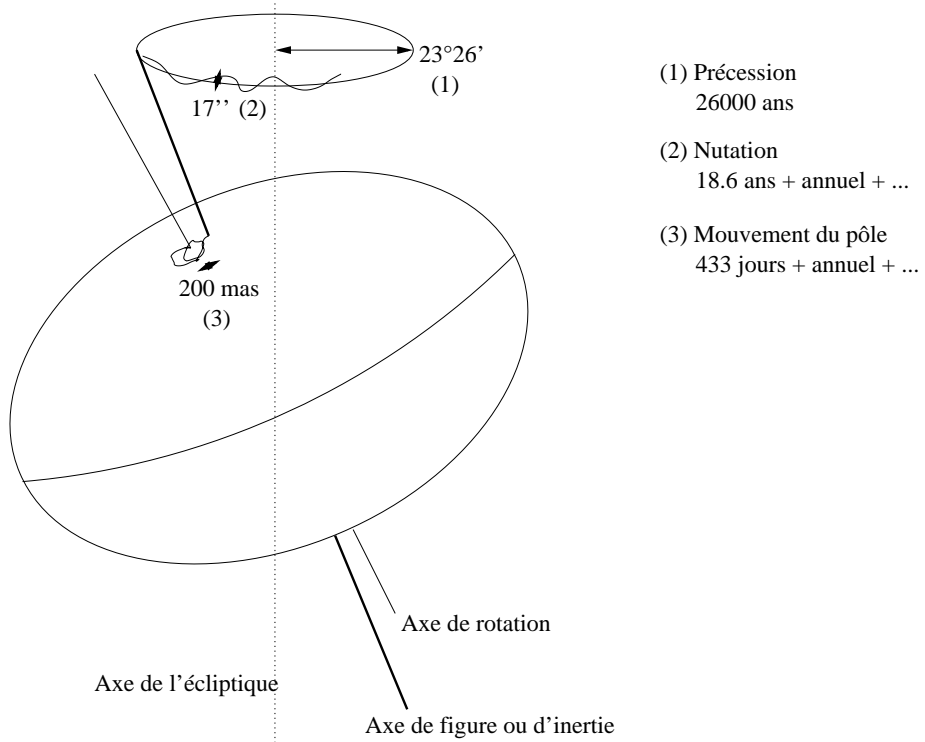


Fig. 4.1. Précession-nutation et mouvement du pôle.

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.

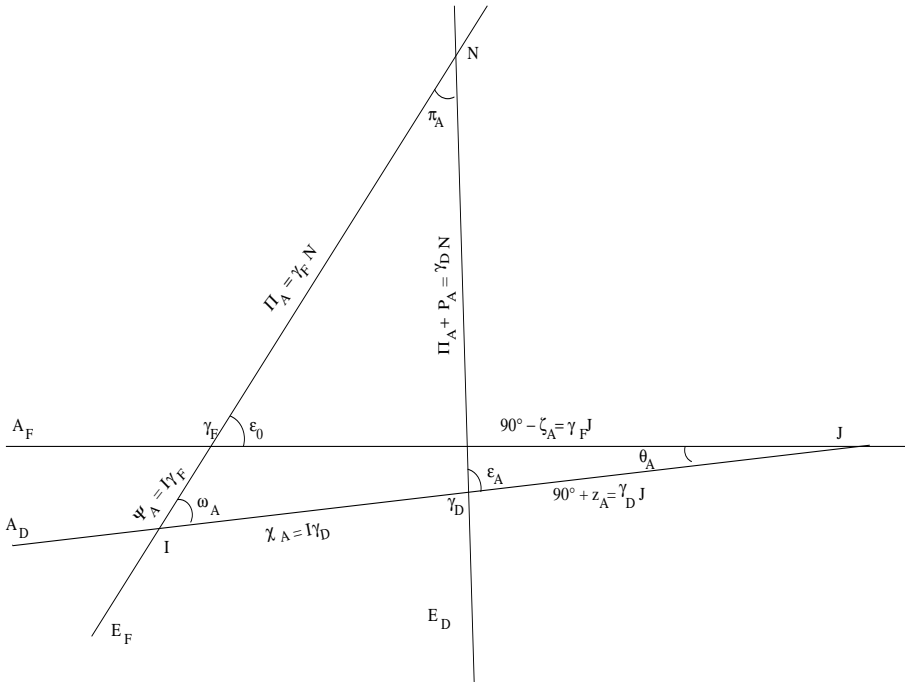


Fig. 4.2. Écliptiques E_F, E_D et équateurs moyens A_F, A_D aux époques σ_F, σ_D .

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 :

$$\begin{aligned} \delta(\psi_A) &= -2.9965''/\text{millier d'années juliennes} \\ \delta(\omega_A) &= -0.2524''/\text{millier d'années juliennes} \\ \epsilon_0 &= 84381.448'' = 23^\circ 26' 21.448'' \end{aligned} \tag{4.2.3}$$

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 :

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

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

Les quantités liées à la précession de l'équateur ψ et ω sont les séries de Poisson données par SMART97. À partir de π_A, Π_A, ψ et ω on peut calculer toutes les autres quantités de la précession (Bretagnon et al., 1997). Finalement les variables $\psi, \omega, \mathcal{P}, \varepsilon$ 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

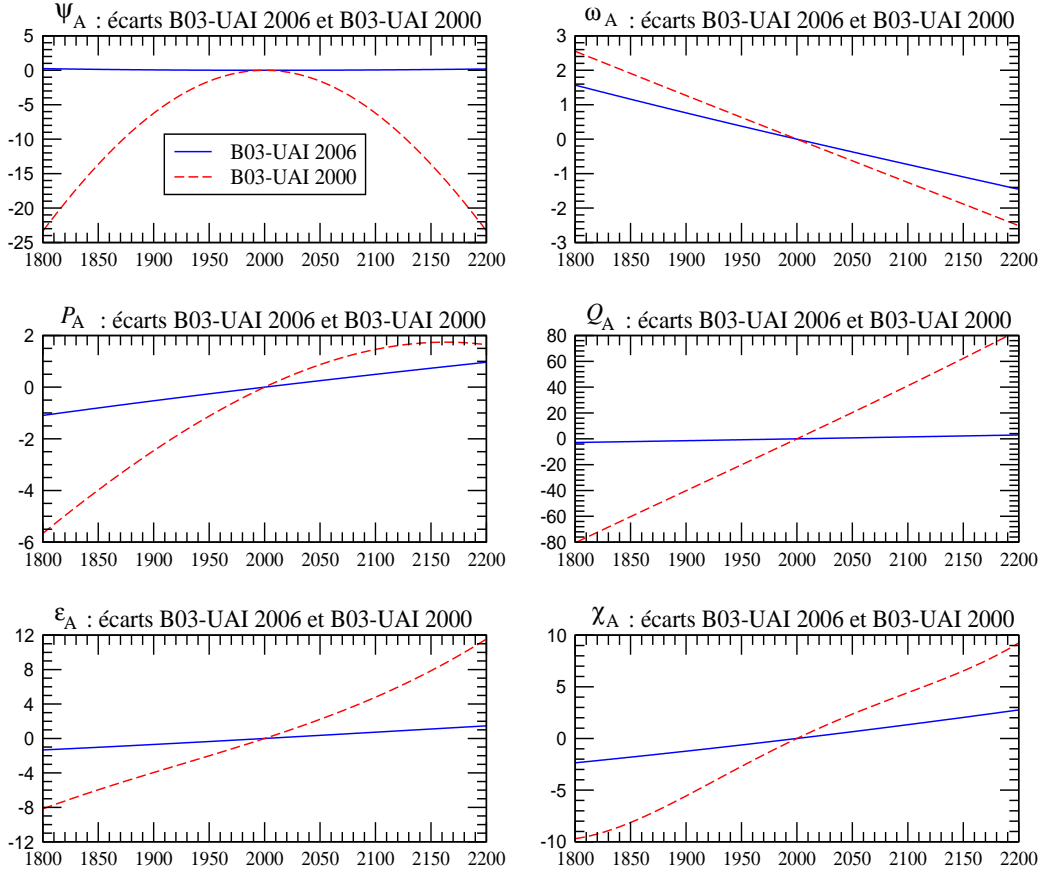


Fig. 4.3. Écarts entre les modèles B03 et UAI 2006 et entre les modèles B03 et UAI 2000, sur [1800, 2200], pour les variables ψ_A , ω_A , P_A , Q_A , ε_A et χ_A . L'unité est le mas (0.001").

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.

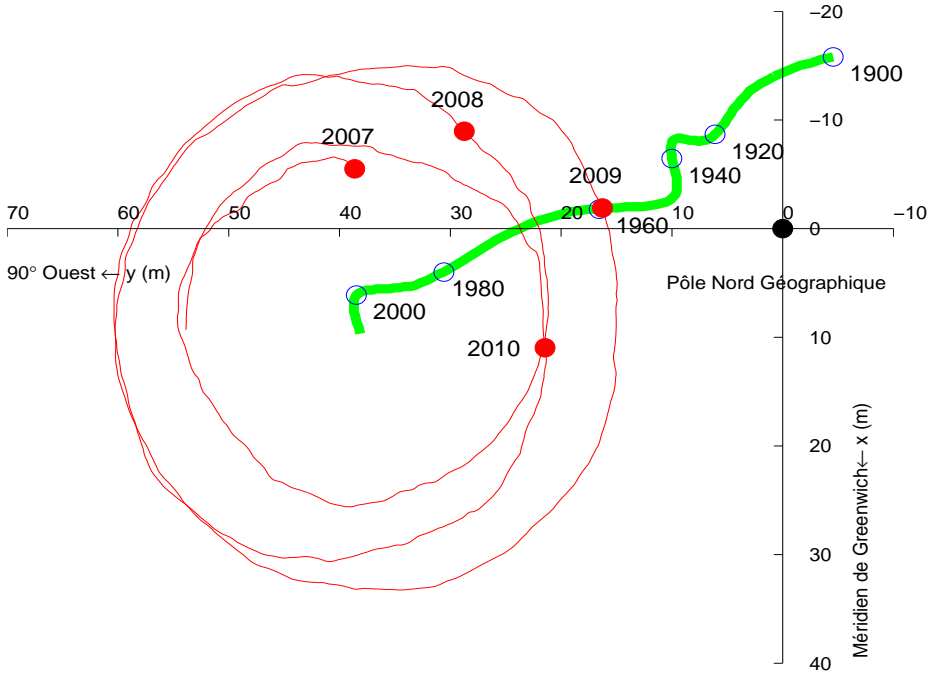


Fig. 4.4. Polhodie 2001-2004 et pôle moyen depuis 1900. L'unité est la seconde de degré.
L'axe des x est dirigé positivement vers le méridien de Greenwich, l'axe des y est dirigé positivement vers la direction 90° ouest.

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).

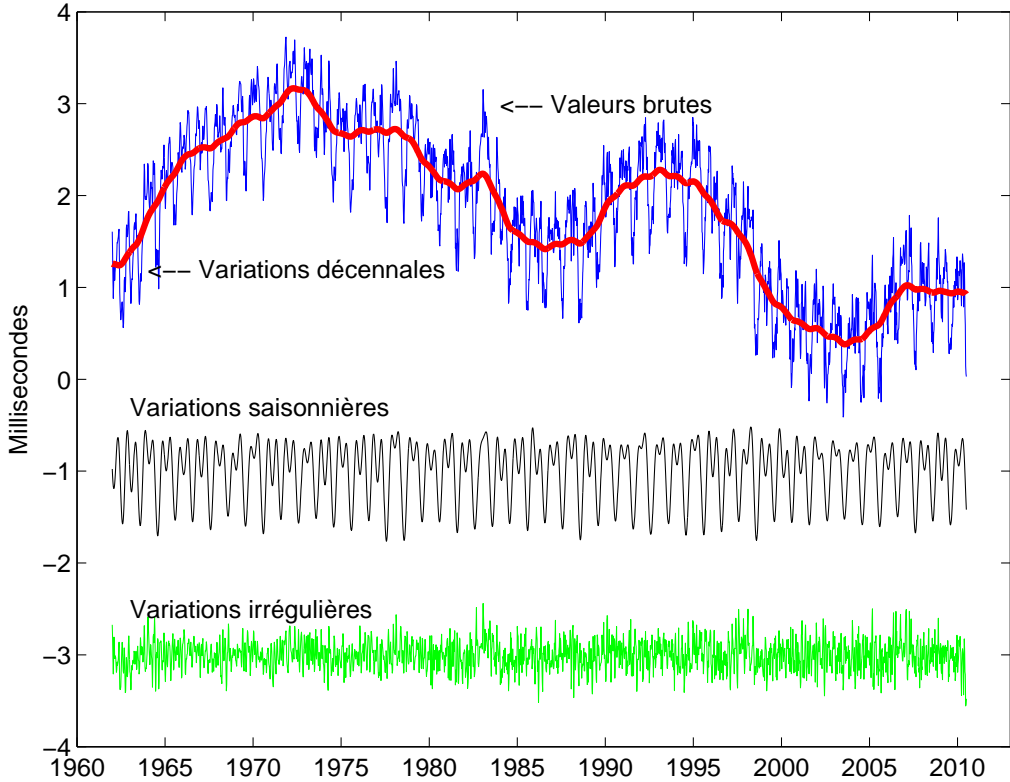


Fig. 4.5. Filtrage de ΔLOD , variations décennales, saisonnières et irrégulières. L'unité est la milliseconde.

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

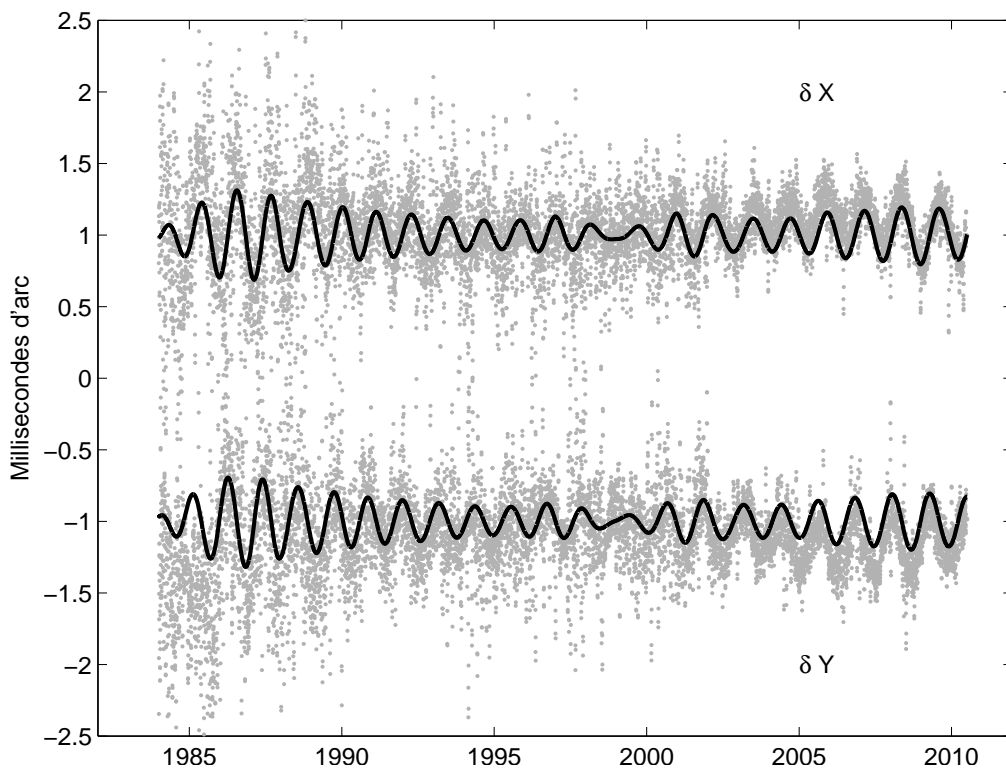


Fig. 4.6. Écart δX et δY du pôle céleste. La courbe en trait continu représente la FCN. L'unité est le mas.

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 :

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

où m est la projection de M sur le plan (Ox, Oy) . Sauf mention spéciale, le sens positif pour ψ est le sens direct défini par l'axe Oz ; ϕ est compté positivement vers l'axe Oz . Les deux groupes de coordonnées sont liés par les relations :

$$\begin{aligned} x &= r \cos \psi \cos \phi, \\ y &= r \sin \psi \cos \phi, \\ z &= r \sin \phi. \end{aligned} \tag{5.1}$$

Pour r égal à 1, (x, y, z) sont les cosinus directeurs de la direction OM ; ψ et ϕ seront appelés les coordonnées polaires de la direction OM .

¹ Ces paragraphes sont largement inspirés du chapitre 4.5 de l'*Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997), rédigé par M. Chapront-Touzé.

5.1.2. Transformation des coordonnées sous l'effet d'une rotation des axes

Toutes les transformations faisant passer d'un système d'axes à un autre, sans changement du centre O , se ramènent à des produits de trois rotations élémentaires $R_1(\theta_1)$, $R_2(\theta_2)$, $R_3(\theta_3)$ respectivement autour des axes Ox , Oy , Oz , θ_1 , θ_2 , θ_3 désignant les angles des rotations.

Sous l'effet d'une rotation élémentaire $R_i(\theta_i)$, le système d'axes (Ox, Oy, Oz) est transformé en (Ox', Oy', Oz') et les coordonnées (x', y', z') d'un point M dans le système d'axes (Ox', Oy', Oz') s'expriment en fonction de ses coordonnées (x, y, z) dans le système d'axes (Ox, Oy, Oz) par la relation matricielle :

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = R_i(\theta_i) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}. \quad (5.2)$$

Pour $i = 1$ (rotation autour de l'axe Ox), les axes font entre eux les angles :

$$(Ox, Ox') = 0, \quad (Oy, Oy') = (Oz, Oz') = \theta_1,$$

et

$$R_1(\theta_1) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_1 & \sin \theta_1 \\ 0 & -\sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{pmatrix}. \quad (5.3)$$

Pour $i = 2$ (rotation autour de l'axe Oy), les axes font entre eux les angles :

$$(Oy, Oy') = 0, \quad (Ox, Ox') = (Oz, Oz') = \theta_2,$$

et

$$R_2(\theta_2) = \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & 0 & -\sin \theta_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_2 & 0 & \cos \theta_2 \end{pmatrix}. \quad (5.4)$$

Pour $i = 3$ (rotation autour de l'axe Oz), les axes font entre eux les angles :

$$(Oz, Oz') = 0, \quad (Ox, Ox') = (Oy, Oy') = \theta_3,$$

et

$$R_3(\theta_3) = \begin{pmatrix} \cos \theta_3 & \sin \theta_3 & 0 \\ -\sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (5.5)$$

5.2. COORDONNÉES USUELLES

5.2.1. Coordonnées liées à un repère de référence céleste

5.2.1.1 Définitions

On se reportera aux paragraphes 3.2.1 et 3.3.2 pour avoir de plus amples informations sur certains des concepts dont nous allons rappeler les définitions.

Sphère céleste : Sphère de rayon arbitraire dont le centre est celui du système de référence considéré, par exemple le barycentre du système solaire pour un BRS (Barycentric Reference System), le centre de masse de la Terre pour un GRS (Geocentric Reference System), etc. On considère sur la sphère céleste des grands cercles particuliers appelés écliptiques ou équateurs.

Équateur céleste vrai : Grand cercle de la sphère céleste dont le plan est perpendiculaire à la direction du pôle céleste des éphémérides (CEP, Celestial Ephemeris Pole). On l'appelle également équateur vrai de la date.

Équateur moyen de la date : Se déduit de l'équateur vrai de la date par une transformation donnée par la théorie de la nutation (cf. 4.3). On passe de l'équateur moyen d'une date à l'équateur moyen d'une autre date par une transformation fournie par la théorie de la précession (cf. 4.2). Le plan de l'équateur moyen d'une date donnée constitue un plan fixe qui peut être utilisé comme plan de référence d'un système inertiel ou d'un BRS (cf. 3.3.2).

Écliptique moyen de la date : Plan perpendiculaire au moment cinétique moyen du barycentre Terre-Lune dans son mouvement héliocentrique. Il existe deux sortes d'écliptiques moyens de la date (cf. 3.3.2), l'*écliptique moyen inertiel de la date* et l'*écliptique moyen rotationnel de la date*.

Les plans des écliptiques moyens, inertiel ou rotationnel, d'une date donnée sont des plans fixes qui peuvent être utilisés comme plan de référence d'un système inertiel ou d'un BRS.

Obliquité de l'écliptique : C'est l'inclinaison de l'écliptique moyen, soit inertiel soit rotationnel, sur l'équateur moyen à une date donnée.

Équinoxe dynamique vrai de la date : C'est le nœud ascendant de l'écliptique moyen de la date sur l'équateur vrai de la date.

Équinoxe dynamique moyen de la date : C'est le nœud ascendant de l'écliptique moyen de la date sur l'équateur moyen de la date.

Dans chaque cas (moyen ou vrai), il existe deux équinoxes dynamiques, l'un *inertiel*, l'autre *rotationnel*, selon l'écliptique moyen, inertiel ou rotationnel, utilisé (cf. 3.3.2).

5.2.1.2. Coordonnées écliptiques et équatoriales

On a vu en 3.3.2 que les repères de référence célestes sont caractérisés par un plan de référence et une direction origine dans ce plan (en général l'équinoxe); leur est aussi associé un système de constantes fondamentales (masses planétaires, obliquité de l'écliptique à une date de référence,

précession-nutation). À ces repères sont rattachées des coordonnées. Ces coordonnées sont dites *équatoriales* quand le plan de référence est l'équateur et *écliptiques* quand le plan de référence est l'écliptique. On distingue les coordonnées *équatoriales vraies* (rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date), *équatoriales moyennes de la date* (rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens de la date), *écliptiques vraies* (rapportées à l'équinoxe vrai et à l'écliptique moyen de la date), *écliptiques moyennes de la date* (rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens de la date). On passe de telles coordonnées à des coordonnées moyennes de la date par une transformation faisant intervenir des quantités issues de la théorie de la précession, puis à des coordonnées vraies de la date par une transformation faisant intervenir des quantités issues de la théorie de la nutation (*cf.* 4.2 et 4.3).

En coordonnées polaires, les coordonnées équatoriales sont l'ascension droite, la déclinaison et la distance ; les coordonnées écliptiques sont la longitude, la latitude et la distance. La distance r est parfois remplacée par la parallaxe π , définie par :

$$\sin \pi = \frac{a_T}{r}, \quad (5.6)$$

où a_T est le rayon équatorial terrestre. La distance et la parallaxe ne dépendent pas du plan et de l'équinoxe de référence.

5.2.1.3. Coordonnées astronomiques

Un point à la surface de la Terre est rattaché à un repère céleste géocentrique par sa *longitude astronomique* L et sa *latitude astronomique* ϕ , coordonnées polaires de la direction OZ parallèle à la verticale du lieu, rapportées à l'équateur vrai de la date du repère céleste et à une origine g de ce plan, (Fig. 5.1). Ici, la verticale d'un lieu, ou direction du *zénith*, est la direction opposée à la pesanteur en ce lieu. En première approximation, g est l'intersection de l'équateur vrai de la date et du *méridien céleste de Greenwich*, en désignant par méridien (céleste) d'un lieu le demi-grand cercle de la sphère céleste géocentrique limité par la direction OP du pôle céleste vrai, la direction opposée OP' et la direction parallèle à la verticale du lieu. La direction Og a pour ascension droite vraie le temps sidéral vrai de Greenwich GST (Greenwich Sidereal Time). L'Union Astronomique Internationale recommande de compter les longitudes de 0° à 180° est ou ouest. Dans cet ouvrage, les longitudes sont comptées de -180° à 180° positivement vers l'ouest.

La longitude et la latitude astronomiques d'un point à la surface de la Terre, ainsi définies, subissent au cours du temps des variations faibles dues au mouvement du pôle (*cf.* 4.4) et à des mouvements de l'écorce terrestre.

5.2.1.4. Coordonnées horaires et coordonnées horizontales

On définit également deux autres types de coordonnées pour un point à la surface de la Terre rapportées à un repère céleste.

- Les *coordonnées horaires*, angle horaire H et déclinaison δ , d'une direction OM pour un lieu donné, sont les coordonnées polaires de la direction rapportées au plan équatorial vrai de la date et à la direction origine O ζ , intersection de ce plan et du méridien du lieu (Fig. 5.2). L'angle horaire est compté positivement dans le sens rétrograde.

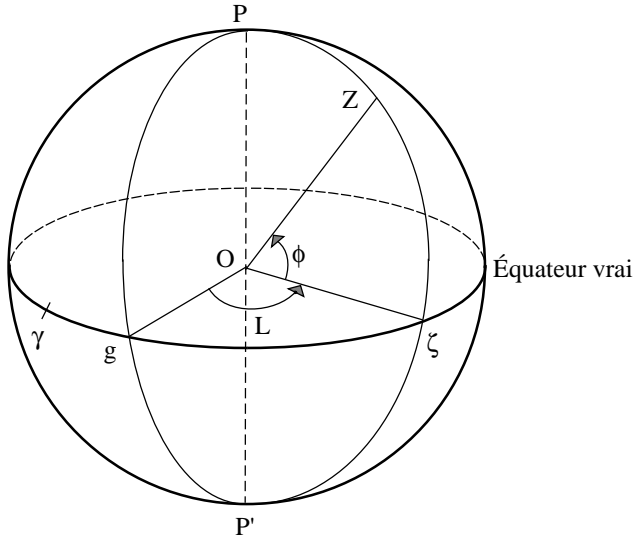


Fig. 5.1. Coordonnées astronomiques d'un lieu.

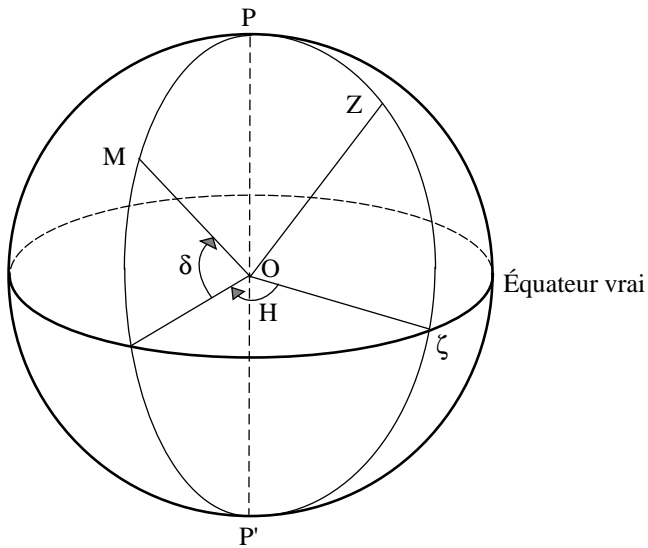


Fig. 5.2. Coordonnées horaires.

La déclinaison ne dépend pas du lieu. On passe de l'angle horaire H d'une direction OM pour un lieu Z à son angle horaire H' pour un lieu Z' par :

$$H' - H = L - L',$$

les longitudes L et L' des deux lieux étant comptées positivement vers l'ouest. Pour un lieu de

longitude astronomique L , l'angle horaire H d'une direction est lié à son ascension droite vraie α_V par la relation :

$$H = \text{GST} - \alpha_V - L, \quad (5.7)$$

Le temps sidéral vrai de Greenwich GST à la date t est donné par la formule (3.6.23).

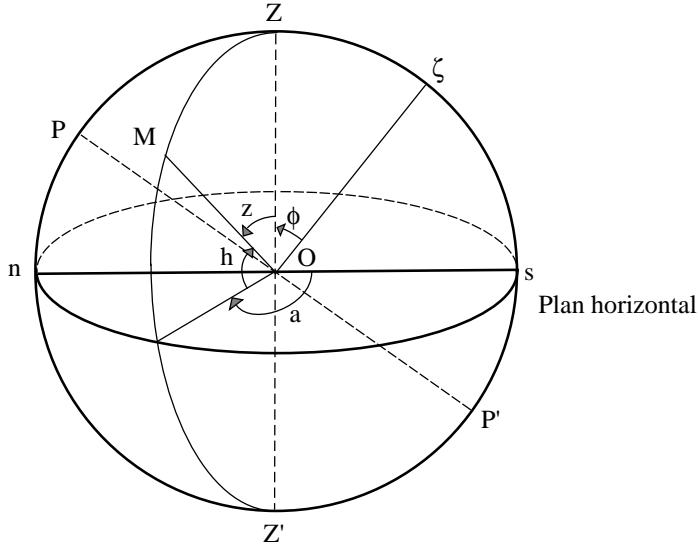


Fig. 5.3. Coordonnées horizontales.

- Les *coordonnées horizontales*, azimut a et hauteur h , d'une direction OM pour un lieu donné (Fig. 5.3), sont les coordonnées polaires de la direction rapportées au plan passant par O et perpendiculaire à l'axe OZ qui définit son orientation (plan horizontal). On appelle *vertical* tout demi-grand cercle de la sphère céleste limité par OZ et la direction opposée OZ' . Pour les astronomes, la direction origine dans le plan horizontal est la direction sud Os , intersection de ce plan et du vertical contenant la direction du pôle céleste sud P' . Pour les marins, la direction origine est On , intersection du plan horizontal et du vertical contenant la direction du pôle céleste nord P . L'azimut est compté positivement dans le sens rétrograde. On utilise parfois la distance zénithale z , à ne pas confondre avec la troisième coordonnée cartésienne, définie par :

$$z = 90^\circ - h. \quad (5.10)$$

Les différents systèmes de coordonnées correspondant à un repère de référence céleste donné sont récapitulés dans la table 5.1.

On trouvera dans la table 5.2 les noms que peuvent prendre certaines de ces coordonnées lorsqu'on ajoute aux coordonnées géométriques de l'astre des termes d'aberration. On pourra se reporter pour plus de détails au chapitre 4 de l'ouvrage *Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997). Les dénominations ainsi que les corrections appliquées correspondent

Table 5.1. Les coordonnées célestes usuelles.

Coordonnées	Plan de référence	Origine	Direction de Oz	Coordonnées polaires
écliptiques moyennes d'une date de référence (ex. J2000)	écliptique moyen de la date de référence	équinoxe moyen de la date de référence	pôle nord de l'écliptique	longitude λ sens positif = sens direct latitude β $-90^\circ < \beta < 90^\circ$
écliptiques moyennes de la date	écliptique moyen de la date	équinoxe moyen de la date		
écliptiques vraies	écliptique moyen de la date	équinoxe vrai de la date		
équatoriales moyennes d'une date de référence (ex. J2000)	équateur céleste moyen de la date de référence	équinoxe moyen de la date de référence	pôle céleste nord	ascension droite α sens positif = sens direct déclinaison δ $-90^\circ < \delta < 90^\circ$
équatoriales moyennes de la date	équateur céleste moyen de la date	équinoxe moyen de la date		
équatoriales vraies	équateur céleste vrai de la date	équinoxe vrai de la date		
horaires d'un lieu	équateur céleste vrai de la date	intersection du méridien du lieu et du plan de référence	pôle céleste nord	angle horaire H sens positif = sens rétrograde déclinaison δ $-90^\circ < \delta < 90^\circ$
horizontales d'un lieu	plan horizontal du lieu	direction sud (astronomes) direction nord (marins)	zénith du lieu	azimut a sens positif = sens rétrograde hauteur h $-90^\circ < h < 90^\circ$

à celles présentes sur les serveurs d'éphémérides de l'IMCCE et dans le support informatique accompagnant *La Connaissance des temps*.

5.2.2. Coordonnées liées à un repère de référence terrestre

Un repère de référence terrestre est représenté par l'équateur terrestre A_0 , associé au pôle terrestre P_0 , et par une origine que l'on peut définir par exemple comme l'intersection du méridien terrestre origine et de l'équateur terrestre. Le méridien terrestre a une définition analogue au méridien céleste en remplaçant le pôle céleste par le pôle terrestre. Les coordonnées d'un point ou d'une direction

Table 5.2. Coordonnées célestes incluant des termes d'aberration. On notera ici σ_F , une époque de référence, en général J2000 et t , toute date autre.

Coordonnées	Plan de référence	Aberrations
géométriques à σ_F	équiptique ou équateur à σ_F	pas d'aberration
astrométriques à σ_F	équiptique ou équateur à σ_F	calcul du temps de lumière
moyennes à la date t	équiptique ou équateur moyen à t	astrométriques à σ_F + précession de σ_F à t
apparentes à la date t	équiptique 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 équiptiques

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 équiptiques dans le même repère de référence. On pourra être dans l'un des cas suivants :

- coordonnées équatoriales vraies et équiptiques vraies,
- coordonnées équatoriales moyennes pour l'époque σ_F et équiptiques 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 équiptiques 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 écliptiques moyennes de deux dates

Il s'agit du passage des coordonnées écliptiques rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date de référence σ_F aux coordonnées écliptiques rapportées à l'écliptique 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 écliptiques moyennes de la date et les coordonnées écliptiques vraies

Pour les coordonnées écliptiques 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 écliptiques 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 :

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

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 $\gamma_1\gamma_2$.

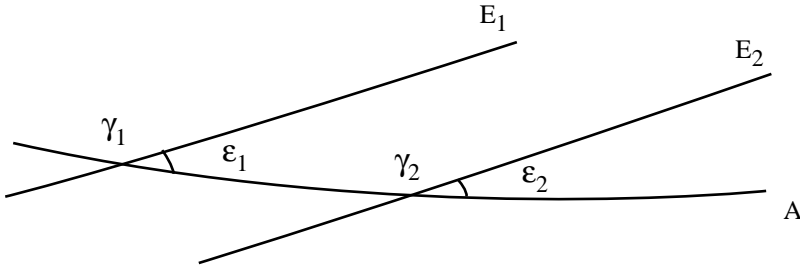


Fig. 5.5. Changement de repère.

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 :

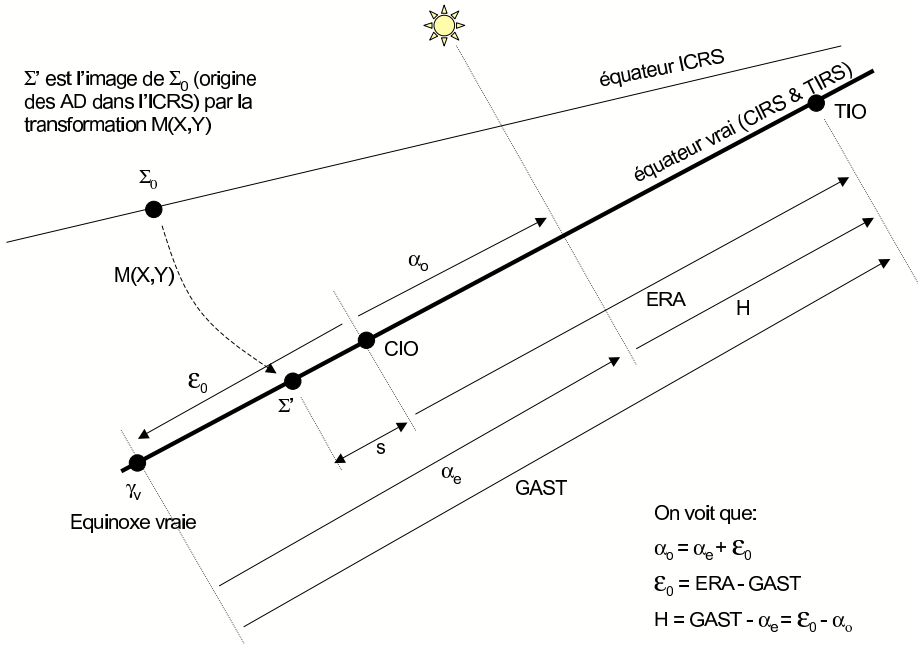


Fig. 5.6. Angles liés à l'origine non-tournante et angles classiques.

- 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 2011 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	Δ^1 (s)	Δ^2 (s)	Δ^3 (s)	δ	Δ^1 (")	Δ^2 (")	Δ^3 (")
0h	8h 10m 46.291s				17° 29' 37.39"			
		873.76				-3963.72		
6h	8h 25m 20.054s		-7.04		16° 23' 33.67"		-237.58	
		866.73		-0.19		-4201.30		19.30
12h	8h 39m 46.780s		-7.22		15° 13' 32.37"		-218.28	
		859.50				-4419.58		
18h	8h 54m 06.283s				13° 59' 52.79"			

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

$$\alpha(t) = 8\text{h } 25\text{m } 20.05\text{s} + 356.32\text{s} + 0.86\text{s} - 0.001\text{s} = 8\text{h } 31\text{m } 17.24\text{s}$$

$$\delta(t) = 16^\circ 23' 33.67'' - 1727.20'' + 27.59'' + 0.069'' = 15^\circ 55' 14.13''$$

Les valeurs données par les éphémérides électroniques sont :

$$\alpha(t) = 8\text{h } 31\text{m } 17.241\text{s}$$

$$\delta(t) = 15^\circ 55' 14.16''$$

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.

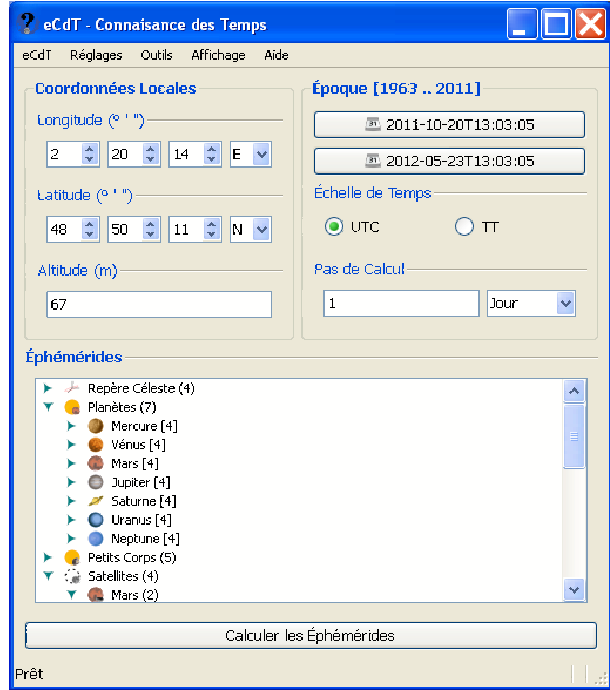


Fig. 8.1. Fenêtre principale.

- *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.

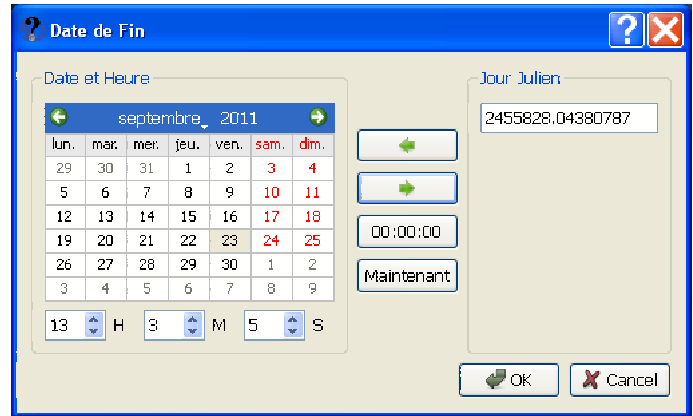


Fig. 8.2. Fenêtre pour choisir la date.

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 2011

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION

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

TEMPS SIDÉRAL 2011 à 0h TU, NUTATION 2011 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.	Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.		
	h	m	s	s	s		h	m	s	s	s		
Janv.	0	6	37	16.24733	17.39198	-0.10894	Févr.	15	9	38	37.86895	18.61322	0.21037
	1	6	41	12.80885	17.49251	-0.15489		16	9	42	34.42933	18.69516	0.25651
	2	6	45	9.37264	17.63026	-0.18457		17	9	46	30.98690	18.73124	0.31692
	3	6	49	5.93742	17.78405	-0.19283		18	9	50	27.54064	18.70460	0.37882
	4	6	53	2.50175	17.93058	-0.17938		19	9	54	24.09064	18.61683	0.42690
	5	6	56	59.06440	18.04970	-0.14821		20	9	58	20.63826	18.49019	0.44899
	6	7	0	55.62457	18.12824	-0.10620		21	10	2	17.18565	18.35984	0.44112
	7	7	4	52.18197	18.16149	-0.06130		22	10	6	13.73490	18.25981	0.40884
	8	7	8	48.73679	18.15261	-0.02096		23	10	10	10.28729	18.21094	0.36425
	9	7	12	45.28960	18.11087	0.00898		24	10	14	6.84299	18.21638	0.32106
	10	7	16	41.84121	18.04941	0.02478		25	10	18	3.40130	18.26451	0.29040
	11	7	20	38.39253	17.98323	0.02499		26	10	21	59.96100	18.33526	0.27875
	12	7	24	34.94450	17.92759	0.01033		27	10	25	56.52072	18.40647	0.28764
	13	7	28	31.49798	17.89666	-0.01634		28	10	29	53.07927	18.45847	0.31456
14	7	32	28.05368	17.90215	-0.05023	Mars	1	10	33	49.63576	18.47685	0.35416	
15	7	36	24.61208	17.95159	-0.08473	2	10	37	46.18971	18.45373	0.39956		
16	7	40	21.17323	18.04612	-0.11196	3	10	41	42.74106	18.38806	0.44352		
17	7	44	17.73667	18.17814	-0.12388	4	10	45	39.29013	18.28506	0.47952		
18	7	48	14.30133	18.33003	-0.11413	5	10	49	35.83754	18.15504	0.50256		
19	7	52	10.86560	18.47556	-0.08057	6	10	53	32.38414	18.01173	0.50976		
20	7	56	7.42770	18.58565	-0.02734	7	10	57	28.93086	17.87027	0.50064		
21	8	0	3.98625	18.63780	0.03494	8	11	1	25.47858	17.74522	0.47706		
22	8	4	0.54086	18.62538	0.09181	9	11	5	22.02805	17.64874	0.44295		
23	8	7	57.09231	18.56136	0.12990	10	11	9	18.57978	17.58923	0.40380		
24	8	11	53.64232	18.47378	0.14163	11	11	13	15.13398	17.57008	0.36608		
25	8	15	50.19289	18.39536	0.12745	12	11	17	11.69049	17.58887	0.33650		
26	8	19	46.74566	18.35278	0.09484	13	11	21	8.24879	17.63674	0.32114		
27	8	23	43.30147	18.35998	0.05516	14	11	25	4.80792	17.69824	0.32431		
28	8	27	39.86031	18.41678	0.02018	15	11	29	1.36660	17.75232	0.34713		
29	8	31	36.42147	18.51134	-0.00069	16	11	32	57.92338	17.77550	0.38604		
30	8	35	32.98376	18.62458	-0.00198	17	11	36	54.47705	17.74785	0.43205		
31	8	39	29.54589	18.73505	0.01746	18	11	40	51.02711	17.66113	0.47176		
Févr.	1	8	43	26.10664	18.82318	0.05479	19	11	44	47.57419	17.52565	0.49105	
	2	8	47	22.66516	18.87465	0.10426	20	11	48	44.12006	17.37022	0.48064	
	3	8	51	19.22099	18.88223	0.15849	21	11	52	40.66700	17.23241	0.44059	
	4	8	55	15.77415	18.84624	0.21000	22	11	56	37.21691	17.14328	0.38058	
	5	8	59	12.32508	18.77366	0.25234	23	12	0	33.77059	17.11562	0.31566	
	6	9	3	8.87449	18.67636	0.28098	24	12	4	30.32758	17.14197	0.26019	
	7	9	7	5.42329	18.56894	0.29373	25	12	8	26.88657	17.20118	0.22355	
	8	9	11	1.97241	18.46669	0.29078	26	12	12	23.44600	17.26760	0.20888	
9	9	14	58.52271	18.38382	0.27452	27	12	16	20.00447	17.31838	0.21406		
10	9	18	55.07491	18.33210	0.24920	28	12	20	16.56099	17.33723	0.23356		
11	9	22	51.62951	18.31954	0.22065	29	12	24	13.11502	17.31547	0.26029		
12	9	26	48.18669	18.34908	0.19574	30	12	28	9.66648	17.25158	0.28694		
13	9	30	44.74622	18.41704	0.18176	31	12	32	6.21565	17.15016	0.30692		
14	9	34	41.30738	18.51177	0.18528	Avril	1	12	36	2.76309	17.02068	0.31505	

TEMPS SIDÉRAL 2011 à 0h TU, NUTATION 2011 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.	Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.		
	h	m	s	s	s		h	m	s	s	s		
Avril	2	12	39	59.30961	16.87601	0.30801	Mai	18	15	41	20.80124	15.97179	-1.00944
	3	12	43	55.85610	16.73088	0.28474		19	15	45	17.36476	16.10495	-1.05859
	4	12	47	52.40347	16.60007	0.24647		20	15	49	13.92864	16.24414	-1.08271
	5	12	51	48.95250	16.49651	0.19666		21	15	53	10.49121	16.36195	-1.08486
	6	12	55	45.50377	16.42946	0.14058		22	15	57	7.05136	16.44019	-1.07242
	7	12	59	42.05753	16.40313	0.08464		23	16	1	3.60865	16.47163	-1.05425
	8	13	3	38.61367	16.41567	0.03553		24	16	5	0.16322	16.45852	-1.03859
	9	13	7	35.17169	16.45895	-0.00073		25	16	8	56.71560	16.40973	-1.03189
	10	13	11	31.73073	16.51900	-0.01991		26	16	12	53.26659	16.33814	-1.03836
	11	13	15	28.28966	16.57736	-0.02054		27	16	16	49.81708	16.25848	-1.05997
	12	13	19	24.84725	16.61363	-0.00493		28	16	20	46.36801	16.18584	-1.09650
13	13	23	21.40236	16.60944	0.02034	29	16	24	42.92022	16.13425	-1.14565		
14	13	27	17.95433	16.55390	0.04474	30	16	28	39.47444	16.11536	-1.20317		
15	13	31	14.50330	16.44936	0.05565	31	16	32	36.03111	16.13671	-1.26320		
16	13	35	11.05042	16.31454	0.04208	Juin	1	16	36	32.59036	16.20011	-1.31882	
17	13	39	7.59765	16.18153	-0.00087		2	16	40	29.15186	16.30032	-1.36312	
18	13	43	4.14714	16.08535	-0.06899		3	16	44	25.71484	16.42475	-1.39047	
19	13	47	0.70035	16.05000	-0.14982		4	16	48	22.27816	16.55482	-1.39806	
20	13	50	57.25750	16.07909	-0.22752		5	16	52	18.84053	16.66925	-1.38695	
21	13	54	53.81759	16.15629	-0.28881		6	16	56	15.40075	16.74864	-1.36250	
22	13	58	50.37894	16.25405	-0.32689		7	17	0	11.95806	16.78050	-1.33362	
23	14	2	46.93982	16.34418	-0.34193		8	17	4	8.51238	16.76326	-1.31107	
24	14	6	43.49892	16.40521	-0.33910		9	17	8	5.06436	16.70794	-1.30488	
25	14	10	40.05550	16.42514	-0.32606		10	17	12	1.61536	16.63663	-1.32170	
26	14	14	36.60939	16.40102	-0.31086		11	17	15	58.16713	16.57767	-1.36256	
27	14	18	33.16085	16.33703	-0.30064	12	17	19	54.72130	16.55813	-1.42203		
28	14	22	29.71043	16.24250	-0.30096	13	17	23	51.27896	16.59557	-1.48925		
29	14	26	26.25892	16.13011	-0.31542	14	17	27	47.84024	16.69210	-1.55094		
30	14	30	22.80721	16.01434	-0.34555	15	17	31	44.40425	16.83345	-1.59545		
Mai	1	14	34	19.35620	15.91004	-0.39066	16	17	35	40.96943	16.99383	-1.61615	
	2	14	38	15.90672	15.83078	-0.44790	17	17	39	37.53401	17.14449	-1.61289	
	3	14	42	12.45942	15.78711	-0.51243	18	17	43	34.09657	17.26196	-1.59112	
	4	14	46	9.01465	15.78475	-0.57796	19	17	47	30.65628	17.33300	-1.55942	
	5	14	50	5.57237	15.82322	-0.63756	20	17	51	27.21301	17.35538	-1.52689	
	6	14	54	2.13214	15.89517	-0.68483	21	17	55	23.76718	17.33578	-1.50123	
	7	14	57	58.69312	15.98688	-0.71505	22	17	59	20.31954	17.28656	-1.48775	
	8	15	1	55.25418	16.08004	-0.72642	23	18	3	16.87100	17.22282	-1.48916	
	9	15	5	51.81412	16.15468	-0.72078	24	18	7	13.42254	17.16015	-1.50578	
	10	15	9	48.37183	16.19315	-0.70391	25	18	11	9.97503	17.11316	-1.53576	
	11	15	13	44.92667	16.18449	-0.68496	26	18	15	6.52925	17.09422	-1.57542	
12	15	17	41.47861	16.12850	-0.67495	27	18	19	3.08572	17.11228	-1.61948		
13	15	21	38.02846	16.03822	-0.68422	28	18	22	59.64471	17.17147	-1.66144		
14	15	25	34.57775	15.93893	-0.71921	29	18	26	56.20608	17.26959	-1.69434		
15	15	29	31.12843	15.86228	-0.77962	30	18	30	52.76925	17.39703	-1.71176		
16	15	33	27.68221	15.83628	-0.85740	Juill.	1	18	34	49.33317	17.53687	-1.70946	
17	15	37	24.23994	15.87472	-0.93887		2	18	38	45.89650	17.66712	-1.68685	

TEMPS SIDÉRAL 2011 à 0h TU, NUTATION 2011 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.	Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.		
	h	m	s	s	s		h	m	s	s	s		
Juill.	3	18	42	42.45788	17.76542	-1.64809	Août	18	21	44	4.02065	18.02453	-1.22702
	4	18	46	39.01629	17.81519	-1.60180		19	21	48	0.57013	17.92830	-1.24388
	5	18	50	35.57142	17.81131	-1.55933		20	21	51	57.12140	17.86130	-1.26911
	6	18	54	32.12381	17.76273	-1.53170		21	21	55	53.67486	17.82999	-1.29714
	7	18	58	28.67478	17.69080	-1.52641		22	21	59	50.23060	17.83603	-1.32187
	8	19	2	25.22603	17.62352	-1.54522		23	22	3	46.78840	17.87574	-1.33716
	9	19	6	21.77922	17.58782	-1.58359		24	22	7	43.34767	17.93950	-1.33766
	10	19	10	18.33547	17.60221	-1.63192		25	22	11	39.90745	18.01167	-1.31988
	11	19	14	14.89511	17.67191	-1.67815		26	22	15	36.46649	18.07177	-1.28354
	12	19	18	11.45756	17.78780	-1.71103		27	22	19	33.02346	18.09795	-1.23287
	13	19	22	8.02159	17.92937	-1.72293		28	22	23	29.57730	18.07304	-1.17704
	14	19	26	4.58560	18.07071	-1.71158		29	22	27	26.12771	17.99206	-1.12874
15	19	30	1.14811	18.18741	-1.68010	30	22	31	22.67544	17.86717	-1.10041		
16	19	33	57.70806	18.26230	-1.63560	31	22	35	19.22217	17.72601	-1.09954		
17	19	37	54.26501	18.28824	-1.58695	Sept.	1	22	39	15.76998	17.60242	-1.12534	
18	19	41	50.81914	18.26799	-1.54262	2	22	43	12.32055	17.52384	-1.16897		
19	19	45	47.37106	18.21179	-1.50911	3	22	47	8.87459	17.50214	-1.21714		
20	19	49	43.92169	18.13422	-1.49025	4	22	51	5.43178	17.53185	-1.25680		
21	19	53	40.47198	18.05129	-1.48714	5	22	55	1.99099	17.59461	-1.27877		
22	19	57	37.02289	17.97828	-1.49850	6	22	58	58.55074	17.66623	-1.27928		
23	20	1	33.57519	17.92824	-1.52106	7	23	2	55.10960	17.72335	-1.25969		
24	20	5	30.12951	17.91097	-1.55005	8	23	6	51.66646	17.74790	-1.22520		
25	20	9	26.68617	17.93209	-1.57953	9	23	10	48.22070	17.72946	-1.18319		
26	20	13	23.24520	17.99195	-1.60295	10	23	14	44.77218	17.66585	-1.14165		
27	20	17	19.80623	18.08449	-1.61381	11	23	18	41.32121	17.56236	-1.10773		
28	20	21	16.36845	18.19654	-1.60687	12	23	22	37.86849	17.43004	-1.08678		
29	20	25	12.93066	18.30843	-1.57967	13	23	26	34.41489	17.28346	-1.08169		
30	20	29	9.49144	18.39689	-1.53407	14	23	30	30.96137	17.13821	-1.09276		
31	20	33	6.04950	18.44084	-1.47704	15	23	34	27.50882	17.00868	-1.11784		
Août	1	20	37	2.60411	18.42864	-1.41985	16	23	38	24.05792	16.90626	-1.15288	
2	20	40	59.15551	18.36380	-1.37510	17	23	42	20.60913	16.83820	-1.19254		
3	20	44	55.70487	18.26558	-1.35267	18	23	46	17.16259	16.80690	-1.23088		
4	20	48	52.25399	18.16329	-1.35623	19	23	50	13.71813	16.80970	-1.26201		
5	20	52	48.80467	18.08676	-1.38212	20	23	54	10.27527	16.83877	-1.28078		
6	20	56	45.35823	18.05707	-1.42079	21	23	58	6.83325	16.88137	-1.28356		
7	21	0	41.91508	18.08129	-1.46001	22	0	2	3.39101	16.92056	-1.26909		
8	21	4	38.47478	18.15211	-1.48840	23	0	5	59.94739	16.93714	-1.23955		
9	21	8	35.03622	18.25132	-1.49804	24	0	9	56.50130	16.91331	-1.20131		
10	21	12	31.59795	18.35537	-1.48585	25	0	13	53.05208	16.83840	-1.16479		
11	21	16	28.15856	18.44109	-1.45366	26	0	17	49.59992	16.71522	-1.14253		
12	21	20	24.71695	18.49055	-1.40718	27	0	21	46.14600	16.56339	-1.14526		
13	21	24	21.27253	18.49402	-1.35439	28	0	25	42.69233	16.41559	-1.17713		
14	21	28	17.82526	18.45083	-1.30363	29	0	29	39.24099	16.30598	-1.23307		
15	21	32	14.37557	18.36829	-1.26204	30	0	33	35.79332	16.25624	-1.30023		
16	21	36	10.92427	18.25929	-1.23444	Oct.	1	0	37	32.34939	16.26767	-1.36324	
17	21	40	7.47231	18.13947	-1.22295	2	0	41	28.90815	16.32310	-1.40981		

TEMPS SIDÉRAL 2011 à 0h TU, NUTATION 2011 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.	Date	temps sidéral			nut. long.	nut. obl.		
	h	m	s	s	s		h	m	s	s	s		
Oct.	3	0	45	25.46796	16.39568	-1.43397	Nov.	18	3	46	46.96210	15.53280	-2.41576
	4	0	49	22.02717	16.45850	-1.43622		19	3	50	43.51551	15.50074	-2.40428
	5	0	53	18.58452	16.49096	-1.42175		20	3	54	40.06671	15.43269	-2.40691
	6	0	57	15.13930	16.48139	-1.39816		21	3	58	36.61684	15.34697	-2.43141
	7	1	1	11.69134	16.42701	-1.37359		22	4	2	33.16757	15.27114	-2.48088
	8	1	5	8.24092	16.33250	-1.35526		23	4	6	29.72075	15.23529	-2.55143
	9	1	9	4.78868	16.20804	-1.34872		24	4	10	26.27772	15.26142	-2.63206
	10	1	13	1.33544	16.06734	-1.35729		25	4	14	22.83874	15.35378	-2.70772
	11	1	16	57.88214	15.92557	-1.38184		26	4	18	19.40280	15.49584	-2.76478
	12	1	20	54.42966	15.79732	-1.42091		27	4	22	15.96800	15.65670	-2.79590
	13	1	24	50.97876	15.69482	-1.47094		28	4	26	12.53233	15.80321	-2.80186
	14	1	28	47.52994	15.62636	-1.52684		29	4	30	9.09427	15.91066	-2.78979
15	1	32	44.08341	15.59532	-1.58268	30	4	34	5.65312	15.96767	-2.76964		
16	1	36	40.63905	15.59972	-1.63252	Déc.	1	4	38	2.20896	15.97533	-2.75102	
17	1	40	37.19642	15.63235	-1.67113		2	4	41	58.76238	15.94347	-2.74130	
18	1	44	33.75479	15.68144	-1.69483	3	4	45	55.31426	15.88661	-2.74497		
19	1	48	30.31324	15.73177	-1.70214	4	4	49	51.86560	15.82074	-2.76377		
20	1	52	26.87072	15.76640	-1.69444	5	4	53	48.41734	15.76131	-2.79701		
21	1	56	23.42626	15.76930	-1.67642	6	4	57	44.97029	15.72177	-2.84203		
22	2	0	19.97917	15.72899	-1.65614	7	5	1	41.52509	15.71248	-2.89456		
23	2	4	16.52928	15.64316	-1.64418	8	5	5	38.08212	15.73970	-2.94912		
24	2	8	13.07728	15.52273	-1.65138	9	5	9	34.64146	15.80462	-2.99963		
25	2	12	9.62470	15.39268	-1.68521	10	5	13	31.20283	15.90261	-3.04013		
26	2	16	6.17357	15.28655	-1.74593	11	5	17	27.76558	16.02326	-3.06578		
27	2	20	2.72576	15.23442	-1.82494	12	5	21	24.32878	16.15134	-3.07392		
28	2	23	59.28208	15.25000	-1.90727	13	5	25	20.89135	16.26912	-3.06488		
29	2	27	55.84202	15.32467	-1.97738	14	5	29	17.45225	16.35965	-3.04237		
30	2	31	52.40397	15.43232	-2.02498	15	5	33	14.01073	16.41045	-3.01321		
31	2	35	48.96598	15.54096	-2.04757	16	5	37	10.56649	16.41696	-2.98625		
Nov.	1	2	39	45.52640	15.62358	-2.04944	17	5	41	7.11988	16.38460	-2.97069	
	2	2	43	42.08423	15.66387	-2.03872	18	5	45	3.67185	16.32908	-2.97399	
	3	2	47	38.63917	15.65687	-2.02445	19	5	49	0.22386	16.27411	-2.99978	
	4	2	51	35.19147	15.60674	-2.01469	20	5	52	56.77754	16.24653	-3.04621	
	5	2	55	31.74176	15.52379	-2.01544	21	5	56	53.33429	16.26907	-3.10556	
	6	2	59	28.29090	15.42182	-2.03035	22	6	0	49.89478	16.35271	-3.16568	
	7	3	3	24.83979	15.31597	-2.06069	23	6	4	46.45864	16.49154	-3.21333	
	8	3	7	21.38935	15.22100	-2.10545	24	6	8	43.02452	16.66340	-3.23849	
	9	3	11	17.94036	15.14971	-2.16160	25	6	12	39.59051	16.83701	-3.23763	
	10	3	15	14.49339	15.11153	-2.22443	26	6	16	36.15477	16.98242	-3.21447	
	11	3	19	11.04875	15.11126	-2.28816	27	6	20	32.71609	17.07986	-3.17783	
	12	3	23	7.60637	15.14818	-2.34664	28	6	24	29.27411	17.12329	-3.13824	
13	3	27	4.16588	15.21588	-2.39429	29	6	28	25.82921	17.11881	-3.10494		
14	3	31	0.72657	15.30280	-2.42699	30	6	32	22.38221	17.08026	-3.08416		
15	3	34	57.28750	15.39374	-2.44292	31	6	36	18.93418	17.02468	-3.07874		
16	3	38	53.84765	15.47198	-2.44312	32	6	40	15.48614	16.96894	-3.08860		
17	3	42	50.40608	15.52204	-2.43173	33	6	44	12.03899	16.92768	-3.11136		

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE

Angle de rotation de la Terre (ERA), équation des origines ε_0 II. 10

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2011 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE (ERA), ÉQUATION DES ORIGINES ε_0

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines	
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"
Janv.	0	99	10	20.54452	-8 43.16538	Févr.	15	144	30	37.93943	-8 50.09487
	1	100	9	28.74876	-8 43.38393		16	145	29	46.14367	-8 50.29630
	2	101	8	36.95300	-8 43.63661		17	146	28	54.34791	-8 50.45565
	3	102	7	45.15724	-8 43.90400		18	147	28	2.55214	-8 50.55745
	4	103	6	53.36147	-8 44.16471		19	148	27	10.75638	-8 50.60316
	5	104	6	1.56571	-8 44.40025		20	149	26	18.96062	-8 50.61324
	6	105	5	9.76995	-8 44.59857		21	150	25	27.16485	-8 50.61994
	7	106	4	17.97418	-8 44.75532		22	151	24	35.36909	-8 50.65448
	8	107	3	26.17842	-8 44.87344		23	152	23	43.57333	-8 50.73596
	9	108	2	34.38266	-8 44.96141		24	153	22	51.77757	-8 50.86727
	10	109	1	42.58690	-8 45.03129		25	154	21	59.98180	-8 51.03773
	11	110	0	50.79113	-8 45.09686		26	155	21	8.18604	-8 51.22894
	12	110	59	58.99537	-8 45.17210		27	156	20	16.39028	-8 51.42055
	13	111	59	7.19961	-8 45.27002		28	157	19	24.59451	-8 51.59452
14	112	58	15.40384	-8 45.40137	Mars	1	158	18	32.79875	-8 51.73764	
15	113	57	23.60808	-8 45.57305	2	159	17	41.00299	-8 51.84268		
16	114	56	31.81232	-8 45.78609	3	160	16	49.20723	-8 51.90868		
17	115	55	40.01656	-8 46.03353	4	161	15	57.41146	-8 51.94043		
18	116	54	48.22079	-8 46.29917	5	162	15	5.61570	-8 51.94741		
19	117	53	56.42503	-8 46.55896	6	163	14	13.81994	-8 51.94221		
20	118	53	4.62927	-8 46.78621	7	164	13	22.02417	-8 51.93871		
21	119	52	12.83350	-8 46.96030	8	165	12	30.22841	-8 51.95027		
22	120	51	21.03774	-8 47.07515	9	166	11	38.43265	-8 51.98806		
23	121	50	29.24198	-8 47.14266	10	167	10	46.63689	-8 52.05977		
24	122	49	37.44621	-8 47.18858	11	168	9	54.84112	-8 52.16851		
25	123	48	45.65045	-8 47.24293	12	169	9	3.04536	-8 52.31206		
26	124	47	53.85469	-8 47.33018	13	170	8	11.24960	-8 52.48228		
27	125	47	2.05893	-8 47.46311	14	171	7	19.45383	-8 52.66498		
28	126	46	10.26316	-8 47.64153	15	172	6	27.65807	-8 52.84087		
29	127	45	18.46740	-8 47.85460	16	173	5	35.86231	-8 52.98840		
30	128	44	26.67164	-8 48.08479	17	174	4	44.06654	-8 53.08927		
31	129	43	34.87587	-8 48.31241	18	175	3	52.27078	-8 53.13594		
Févr.	1	130	42	43.08011	-8 48.51953	19	176	3	0.47502	-8 53.13790	
	2	131	41	51.28435	-8 48.69301	20	177	2	8.67926	-8 53.12157	
	3	132	40	59.48859	-8 48.82621	21	178	1	16.88349	-8 53.12145	
	4	133	40	7.69282	-8 48.91945	22	179	0	25.08773	-8 53.16599	
	5	134	39	15.89706	-8 48.97912	23	179	59	33.29197	-8 53.26694	
	6	135	38	24.10130	-8 49.01611	24	180	58	41.49620	-8 53.41743	
	7	136	37	32.30553	-8 49.04384	25	181	57	49.70044	-8 53.59805	
	8	137	36	40.50977	-8 49.07631	26	182	56	57.90468	-8 53.78527	
	9	138	35	48.71401	-8 49.12658	27	183	56	6.10892	-8 53.95813	
	10	139	34	56.91825	-8 49.20544	28	184	55	14.31315	-8 54.10168	
	11	140	34	5.12248	-8 49.32023	29	185	54	22.51739	-8 54.20796	
	12	141	33	13.32672	-8 49.47364	30	186	53	30.72163	-8 54.27560	
	13	142	32	21.53096	-8 49.66230	31	187	52	38.92586	-8 54.30881	
	14	143	31	29.73519	-8 49.87551	Avril	1	188	51	47.13010	-8 54.31628

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2011 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE (ERA), ÉQUATION DES ORIGINES ε_0

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines			
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"		
Avril	2	189	50	55.33434	-8	54.30982	Mai	18	235	11	12.72925	-8	59.28941
	3	190	50	3.53858	-8	54.30296		19	236	10	20.93348	-8	59.53788
	4	191	49	11.74281	-8	54.30924		20	237	9	29.13772	-8	59.79186
	5	192	48	19.94705	-8	54.34052		21	238	8	37.34196	-9	0.02621
	6	193	47	28.15129	-8	54.40532		22	239	7	45.54619	-9	0.22425
	7	194	46	36.35552	-8	54.50747		23	240	6	53.75043	-9	0.37934
	8	195	45	44.55976	-8	54.64528		24	241	6	1.95467	-9	0.49356
	9	196	44	52.76400	-8	54.81129		25	242	5	10.15891	-9	0.57507
	10	197	44	0.96824	-8	54.99267		26	243	4	18.36314	-9	0.63565
	11	198	43	9.17247	-8	55.17250		27	244	3	26.56738	-9	0.68885
	12	199	42	17.37671	-8	55.33203		28	245	2	34.77162	-9	0.74849
	13	200	41	25.58095	-8	55.45443		29	246	1	42.97585	-9	0.82747
	14	201	40	33.78518	-8	55.52973		30	247	0	51.18009	-9	0.93644
	15	202	39	41.98942	-8	55.56007		31	247	59	59.38433	-9	1.08234
	16	203	38	50.19366	-8	55.56264		Juin 1	248	59	7.58857	-9	1.26683
	17	204	37	58.39790	-8	55.56690		2	249	58	15.79280	-9	1.48508
18	205	37	6.60213	-8	55.60498	3	250	57	23.99704	-9	1.72553		
19	206	36	14.80637	-8	55.69888	4	251	56	32.20128	-9	1.97115		
20	207	35	23.01061	-8	55.85189	5	252	55	40.40551	-9	2.20241		
21	208	34	31.21484	-8	56.04903	6	253	54	48.60975	-9	2.40149		
22	209	33	39.41908	-8	56.26501	7	254	53	56.81399	-9	2.55697		
23	210	32	47.62332	-8	56.47397	8	255	53	5.01823	-9	2.66741		
24	211	31	55.82756	-8	56.65622	9	256	52	13.22246	-9	2.74292		
25	212	31	4.03179	-8	56.80076	10	257	51	21.42670	-9	2.80377		
26	213	30	12.23603	-8	56.90488	11	258	50	29.63094	-9	2.87598		
27	214	29	20.44027	-8	56.97243	12	259	49	37.83517	-9	2.98437		
28	215	28	28.64450	-8	57.01197	13	260	48	46.03941	-9	3.14505		
29	216	27	36.84874	-8	57.03512	14	261	47	54.24365	-9	3.35994		
30	217	26	45.05298	-8	57.05519	15	262	47	2.44789	-9	3.61593		
Mai 1	218	25	53.25722	-8	57.08579	16	263	46	10.65212	-9	3.88937		
2	219	25	1.46145	-8	57.13937	17	264	45	18.85636	-9	4.15386		
3	220	24	9.66569	-8	57.22561	18	265	44	27.06060	-9	4.38789		
4	221	23	17.86993	-8	57.34976	19	266	43	35.26483	-9	4.57932		
5	222	22	26.07416	-8	57.51137	20	267	42	43.46907	-9	4.72611		
6	223	21	34.27840	-8	57.70368	21	268	41	51.67331	-9	4.83438		
7	224	20	42.48264	-8	57.91412	22	269	40	59.87755	-9	4.91549		
8	225	19	50.68687	-8	58.12587	23	270	40	8.08178	-9	4.98328		
9	226	18	58.89111	-8	58.32061	24	271	39	16.28602	-9	5.05208		
10	227	18	7.09535	-8	58.48217	25	272	38	24.49026	-9	5.13527		
11	228	17	15.29959	-8	58.60047	26	273	37	32.69449	-9	5.24419		
12	229	16	23.50382	-8	58.67535	27	274	36	40.89873	-9	5.38707		
13	230	15	31.70806	-8	58.71879	28	275	35	49.10297	-9	5.56769		
14	231	14	39.91230	-8	58.75397	29	276	34	57.30720	-9	5.78403		
15	232	13	48.11653	-8	58.80996	30	277	34	5.51144	-9	6.02725		
16	233	12	56.32077	-8	58.91243	Juill. 1	278	33	13.71568	-9	6.28183		
17	234	12	4.52501	-8	59.07403	2	279	32	21.91992	-9	6.52761		

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2011 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE (ERA), ÉQUATION DES ORIGINES ε_0

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines			
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"		
Juill.	3	280	31	30.12415	-9	6.74405	Août	18	325	51	47.51906	-9	12.79069
	4	281	30	38.32839	-9	6.91596		19	326	50	55.72330	-9	12.82870
	5	282	29	46.53263	-9	7.03865		20	327	50	3.92753	-9	12.89354
	6	283	28	54.73686	-9	7.12034		21	328	49	12.13177	-9	12.99111
	7	284	28	2.94110	-9	7.18061		22	329	48	20.33601	-9	13.12297
	8	285	27	11.14534	-9	7.24518		23	330	47	28.54025	-9	13.28571
	9	286	26	19.34958	-9	7.33875		24	331	46	36.74448	-9	13.47050
	10	287	25	27.55381	-9	7.47827		25	332	45	44.94872	-9	13.66300
	11	288	24	35.75805	-9	7.66854		26	333	44	53.15296	-9	13.84441
	12	289	23	43.96229	-9	7.90117		27	334	44	1.35719	-9	13.99468
	13	290	22	52.16652	-9	8.15736		28	335	43	9.56143	-9	14.09807
	14	291	22	0.37076	-9	8.41331		29	336	42	17.76567	-9	14.15002
	15	292	21	8.57500	-9	8.64664		30	337	41	25.96991	-9	14.16169
	16	293	20	16.77924	-9	8.84160		31	338	40	34.17414	-9	14.15846
	17	294	19	24.98347	-9	8.99165		Sept. 1	339	39	42.37838	-9	14.17138
	18	295	18	33.18771	-9	9.09933		2	340	38	50.58262	-9	14.22560
	19	296	17	41.39195	-9	9.17403		3	341	37	58.78685	-9	14.33202
20	297	16	49.59618	-9	9.22913	4	342	37	6.99109	-9	14.48559		
21	298	15	57.80042	-9	9.27933	5	343	36	15.19533	-9	14.66946		
22	299	15	6.00466	-9	9.33864	6	344	35	23.39957	-9	14.86146		
23	300	14	14.20890	-9	9.41902	7	345	34	31.60380	-9	15.04014		
24	301	13	22.41313	-9	9.52949	8	346	33	39.80804	-9	15.18891		
25	302	12	30.61737	-9	9.67518	9	347	32	48.01228	-9	15.29825		
26	303	11	38.82161	-9	9.85641	10	348	31	56.21651	-9	15.36614		
27	304	10	47.02584	-9	10.06762	11	349	31	4.42075	-9	15.39744		
28	305	9	55.23008	-9	10.29672	12	350	30	12.62499	-9	15.40231		
29	306	9	3.43432	-9	10.52565	13	351	29	20.82923	-9	15.39411		
30	307	8	11.63856	-9	10.73307	14	352	28	29.03346	-9	15.38713		
31	308	7	19.84279	-9	10.89964	15	353	27	37.23770	-9	15.39458		
Août 1	309	6	28.04703	-9	11.01469	16	354	26	45.44194	-9	15.42692		
2	310	5	36.25127	-9	11.08145	17	355	25	53.64617	-9	15.49078		
3	311	4	44.45550	-9	11.11760	18	356	25	1.85041	-9	15.58838		
4	312	3	52.65974	-9	11.15005	19	357	24	10.05465	-9	15.71725		
5	313	3	0.86398	-9	11.20614	20	358	23	18.25889	-9	15.87022		
6	314	2	9.06822	-9	11.30522	21	359	22	26.46312	-9	16.03559		
7	315	1	17.27245	-9	11.45376	22	0	21	34.66736	-9	16.19782		
8	316	0	25.47669	-9	11.64504	23	1	20	42.87160	-9	16.33929		
9	316	59	33.68093	-9	11.86237	24	2	19	51.07583	-9	16.44368		
10	317	58	41.88516	-9	12.08411	25	3	18	59.28007	-9	16.50120		
11	318	57	50.08940	-9	12.28902	26	4	18	7.48431	-9	16.51444		
12	319	56	58.29364	-9	12.46066	27	5	17	15.68855	-9	16.50141		
13	320	56	6.49788	-9	12.59009	28	6	16	23.89278	-9	16.49210		
14	321	55	14.70211	-9	12.67672	29	7	15	32.09702	-9	16.51785		
15	322	54	22.90635	-9	12.72725	30	8	14	40.30126	-9	16.59854		
16	323	53	31.11059	-9	12.75351	Oct. 1	9	13	48.50549	-9	16.73535		
17	324	52	39.31482	-9	12.76985	2	10	12	56.70973	-9	16.91251		

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2011 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE (ERA), ÉQUATION DES ORIGINES ε_0

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"	
Oct.	3	11	12	4.91397	-9 17.10540	Nov.	18	56	32	22.30888	-9 22.12269	
	4	12	11	13.11821	-9 17.28930		19	57	31	30.51311	-9 22.21953	
	5	13	10	21.32244	-9 17.44534		20	58	30	38.71735	-9 22.28337	
	6	14	9	29.52668	-9 17.56280		21	59	29	46.92159	-9 22.33099	
	7	15	8	37.73092	-9 17.63917		22	60	28	55.12582	-9 22.38773	
	8	16	7	45.93515	-9 17.67871		23	61	28	3.33006	-9 22.48115	
	9	17	6	54.13939	-9 17.69079		24	62	27	11.53430	-9 22.63146	
	10	18	6	2.34363	-9 17.68798		25	63	26	19.73854	-9 22.84253	
	11	19	5	10.54786	-9 17.68419		26	64	25	27.94277	-9 23.09917	
	12	20	4	18.75210	-9 17.69282		27	65	24	36.14701	-9 23.37305	
	13	21	3	26.95634	-9 17.72508		28	66	23	44.35125	-9 23.63373	
	14	22	2	35.16058	-9 17.78858		29	67	22	52.55548	-9 23.85857	
	15	23	1	43.36481	-9 17.88641		30	68	22	0.75972	-9 24.03712	
	16	24	0	51.56905	-9 18.01675		Déc.	1	69	21	8.96396	-9 24.17041
	17	24	59	59.77329	-9 18.17299			2	70	20	17.16819	-9 24.26744
	18	25	59	7.97752	-9 18.34432		3	71	19	25.37243	-9 24.34153	
	19	26	58	16.18176	-9 18.51677		4	72	18	33.57667	-9 24.40739	
20	27	57	24.38600	-9 18.67482	5	73	17	41.78091	-9 24.47915			
21	28	56	32.59024	-9 18.80373	6	74	16	49.98514	-9 24.56917			
22	29	55	40.79447	-9 18.89300	7	75	15	58.18938	-9 24.68696			
23	30	54	48.99871	-9 18.94050	8	76	15	6.39362	-9 24.83825			
24	31	53	57.20295	-9 18.95627	9	77	14	14.59785	-9 25.02412			
25	32	53	5.40718	-9 18.96325	10	78	13	22.80209	-9 25.24033			
26	33	52	13.61142	-9 18.99218	11	79	12	31.00633	-9 25.47732			
27	34	51	21.81566	-9 19.07068	12	80	11	39.21057	-9 25.72111			
28	35	50	30.01990	-9 19.21131	13	81	10	47.41480	-9 25.95545			
29	36	49	38.22413	-9 19.40613	14	82	9	55.61904	-9 26.16477			
30	37	48	46.42837	-9 19.63120	15	83	9	3.82328	-9 26.33764			
31	38	47	54.63261	-9 19.85715	16	84	8	12.02751	-9 26.46986			
Nov.	1	39	47	2.83684	-9 20.05921	17	85	7	20.23175	-9 26.56643		
	2	40	46	11.04108	-9 20.22243	18	86	6	28.43599	-9 26.64176		
	3	41	45	19.24532	-9 20.34226	19	87	5	36.64023	-9 26.71763		
	4	42	44	27.44956	-9 20.42252	20	88	4	44.84446	-9 26.81863		
	5	43	43	35.65379	-9 20.47268	21	89	3	53.04870	-9 26.96564		
	6	44	42	43.85803	-9 20.50540	22	90	3	1.25294	-9 27.16870		
	7	45	41	52.06227	-9 20.53457	23	91	2	9.45717	-9 27.42240		
	8	46	41	0.26650	-9 20.57373	24	92	1	17.66141	-9 27.70638		
	9	47	40	8.47074	-9 20.63462	25	93	0	25.86565	-9 27.99193		
	10	48	39	16.67498	-9 20.72590	26	93	59	34.06989	-9 28.25160		
	11	49	38	24.87922	-9 20.85196	27	94	58	42.27412	-9 28.46725		
	12	50	37	33.08345	-9 21.01215	28	95	57	50.47836	-9 28.63335		
	13	51	36	41.28769	-9 21.20056	29	96	56	58.68260	-9 28.75549		
	14	52	35	49.49193	-9 21.40661	30	97	56	6.88683	-9 28.84639		
	15	53	34	57.69616	-9 21.61633	31	98	55	15.09107	-9 28.92168		
	16	54	34	5.90040	-9 21.81438	32	99	54	23.29531	-9 28.99682		
	17	55	33	14.10464	-9 21.98656	33	100	53	31.49955	-9 29.08527		

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE

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

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2011 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Janv.	0 227.287 89	-0.406 78	0.003 27	Févr.	15 230.298 42	-0.095 19	0.003 10
	1 227.382 63	-0.452 98	0.003 30		16 230.386 00	-0.049 27	0.003 07
	2 227.492 21	-0.482 94	0.003 31		17 230.455 38	0.010 95	0.003 04
	3 227.608 23	-0.491 50	0.003 32		18 230.499 81	0.072 74	0.003 00
	4 227.721 41	-0.478 33	0.003 31		19 230.519 89	0.120 77	0.002 98
	5 227.823 74	-0.447 42	0.003 29		20 230.524 45	0.142 85	0.002 96
	6 227.909 96	-0.405 63	0.003 27		21 230.527 45	0.134 97	0.002 97
	7 227.978 16	-0.360 91	0.003 25		22 230.542 45	0.102 65	0.002 99
	8 228.029 60	-0.320 69	0.003 22		23 230.577 76	0.057 97	0.003 01
	9 228.067 95	-0.290 85	0.003 21		24 230.634 69	0.014 63	0.003 04
	10 228.098 41	-0.275 13	0.003 20		25 230.708 62	-0.016 22	0.003 05
	11 228.126 96	-0.275 00	0.003 20		26 230.791 60	-0.028 09	0.003 06
	12 228.159 66	-0.289 74	0.003 21		27 230.874 82	-0.019 41	0.003 05
	13 228.202 15	-0.316 52	0.003 22		28 230.950 44	0.007 31	0.003 04
	14 228.259 12	-0.350 55	0.003 24	Mars	1 231.012 72	0.046 75	0.003 02
	15 228.333 57	-0.385 24	0.003 26		2 231.058 51	0.092 03	0.002 99
	16 228.425 97	-0.412 71	0.003 27		3 231.087 37	0.135 92	0.002 97
	17 228.533 32	-0.424 90	0.003 28		4 231.101 36	0.171 88	0.002 95
	18 228.648 63	-0.415 45	0.003 28		5 231.104 58	0.194 92	0.002 94
	19 228.761 46	-0.382 18	0.003 26		6 231.102 46	0.202 12	0.002 93
	20 228.860 26	-0.329 20	0.003 23		7 231.101 04	0.193 00	0.002 94
	21 228.936 03	-0.267 12	0.003 19		8 231.106 11	0.169 41	0.002 95
	22 228.986 10	-0.210 37	0.003 16		9 231.122 52	0.135 25	0.002 97
	23 229.015 60	-0.172 36	0.003 14		10 231.153 61	0.096 02	0.002 99
	24 229.035 67	-0.160 68	0.003 13		11 231.200 77	0.058 18	0.003 01
	25 229.059 31	-0.174 92	0.003 14		12 231.263 04	0.028 43	0.003 03
	26 229.097 16	-0.207 63	0.003 16		13 231.336 91	0.012 88	0.003 04
	27 229.154 79	-0.247 45	0.003 18		14 231.416 24	0.015 85	0.003 04
	28 229.232 16	-0.282 63	0.003 20		15 231.492 68	0.038 47	0.003 02
	29 229.324 59	-0.303 75	0.003 21		16 231.556 87	0.077 21	0.003 00
	30 229.424 50	-0.305 29	0.003 21		17 231.600 86	0.123 11	0.002 98
	31 229.523 35	-0.286 10	0.003 20		18 231.621 34	0.162 77	0.002 95
Févr.	1 229.613 37	-0.249 00	0.003 18		19 231.622 37	0.182 06	0.002 94
	2 229.688 84	-0.199 73	0.003 16		20 231.615 39	0.171 67	0.002 95
	3 229.746 86	-0.145 64	0.003 13		21 231.615 34	0.131 61	0.002 97
	4 229.787 55	-0.094 24	0.003 10		22 231.634 61	0.071 56	0.003 00
	5 229.813 66	-0.051 97	0.003 07		23 231.678 30	0.006 52	0.003 04
	6 229.829 90	-0.023 38	0.003 06		24 231.743 51	-0.049 13	0.003 07
	7 229.842 07	-0.010 66	0.003 05		25 231.821 83	-0.085 97	0.003 09
	8 229.856 26	-0.013 64	0.003 05		26 231.903 09	-0.100 84	0.003 10
	9 229.878 13	-0.029 96	0.003 06		27 231.978 17	-0.095 87	0.003 10
	10 229.912 36	-0.055 36	0.003 08		28 232.040 58	-0.076 53	0.003 09
	11 229.962 16	-0.084 05	0.003 09		29 232.086 86	-0.049 91	0.003 07
	12 230.028 72	-0.109 13	0.003 11		30 232.116 39	-0.023 34	0.003 06
	13 230.110 58	-0.123 32	0.003 11		31 232.130 97	-0.003 40	0.003 05
	14 230.203 14	-0.120 04	0.003 11	Avril	1 232.134 36	0.004 72	0.003 04

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2011 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Avril 2	232.131 67	-0.002 31	0.003 05	Mai 18	234.292 54	-1.325 43	0.003 79
3	232.128 75	-0.025 58	0.003 06	19	234.400 25	-1.374 85	0.003 82
4	232.131 49	-0.063 85	0.003 08	20	234.510 41	-1.399 26	0.003 83
5	232.145 04	-0.113 70	0.003 11	21	234.612 14	-1.401 68	0.003 83
6	232.173 10	-0.169 85	0.003 14	22	234.698 15	-1.389 47	0.003 82
7	232.217 34	-0.225 91	0.003 17	23	234.765 58	-1.371 47	0.003 81
8	232.277 07	-0.275 17	0.003 20	24	234.815 27	-1.355 95	0.003 81
9	232.349 06	-0.311 62	0.003 22	25	234.850 75	-1.349 33	0.003 80
10	232.427 77	-0.331 00	0.003 23	26	234.877 13	-1.355 88	0.003 80
11	232.505 85	-0.331 84	0.003 23	27	234.900 25	-1.377 55	0.003 82
12	232.575 18	-0.316 41	0.003 22	28	234.926 13	-1.414 15	0.003 84
13	232.628 45	-0.291 28	0.003 21	29	234.960 35	-1.463 39	0.003 87
14	232.661 29	-0.266 97	0.003 19	30	235.007 55	-1.521 04	0.003 90
15	232.674 61	-0.256 09	0.003 19	31	235.070 76	-1.581 23	0.003 93
16	232.675 82	-0.269 67	0.003 20	Juin 1	235.150 70	-1.637 06	0.003 96
17	232.677 67	-0.312 62	0.003 22	2	235.245 31	-1.681 61	0.003 99
18	232.694 11	-0.380 78	0.003 26	3	235.349 59	-1.709 24	0.004 00
19	232.734 71	-0.461 72	0.003 30	4	235.456 18	-1.717 11	0.004 01
20	232.800 94	-0.539 59	0.003 35	5	235.556 59	-1.706 26	0.004 00
21	232.886 36	-0.601 10	0.003 38	6	235.643 10	-1.682 04	0.003 99
22	232.980 01	-0.639 44	0.003 40	7	235.710 71	-1.653 34	0.003 97
23	233.070 69	-0.654 71	0.003 41	8	235.758 79	-1.630 91	0.003 96
24	233.149 84	-0.652 08	0.003 41	9	235.791 67	-1.624 81	0.003 95
25	233.212 67	-0.639 20	0.003 40	10	235.818 13	-1.641 70	0.003 96
26	233.257 98	-0.624 12	0.003 39	11	235.849 44	-1.682 65	0.003 99
27	233.287 43	-0.613 99	0.003 39	12	235.896 37	-1.742 24	0.004 02
28	233.304 70	-0.614 35	0.003 39	13	235.965 96	-1.809 64	0.004 06
29	233.314 82	-0.628 84	0.003 40	14	236.059 06	-1.871 58	0.004 09
30	233.323 57	-0.658 99	0.003 41	15	236.170 03	-1.916 38	0.004 12
Mai 1	233.336 83	-0.704 14	0.003 44	16	236.288 63	-1.937 39	0.004 13
2	233.360 03	-0.761 44	0.003 47	17	236.403 43	-1.934 44	0.004 13
3	233.397 36	-0.826 06	0.003 51	18	236.505 08	-1.912 94	0.004 12
4	233.451 12	-0.891 73	0.003 55	19	236.588 29	-1.881 45	0.004 10
5	233.521 13	-0.951 52	0.003 58	20	236.652 14	-1.849 10	0.004 08
6	233.604 49	-0.999 00	0.003 61	21	236.699 28	-1.823 56	0.004 06
7	233.695 76	-1.029 47	0.003 62	22	236.734 61	-1.810 17	0.004 06
8	233.787 65	-1.041 07	0.003 63	23	236.764 12	-1.811 67	0.004 06
9	233.872 22	-1.035 66	0.003 63	24	236.794 02	-1.828 37	0.004 07
10	233.942 44	-1.018 97	0.003 62	25	236.830 12	-1.858 45	0.004 08
11	233.993 91	-1.000 16	0.003 61	26	236.877 35	-1.898 23	0.004 11
12	234.026 54	-0.990 23	0.003 60	27	236.939 28	-1.942 45	0.004 13
13	234.045 47	-0.999 55	0.003 61	28	237.017 58	-1.984 62	0.004 15
14	234.060 76	-1.034 58	0.003 63	29	237.111 39	-2.017 76	0.004 17
15	234.084 98	-1.095 06	0.003 66	30	237.216 90	-2.035 47	0.004 18
16	234.129 30	-1.172 95	0.003 70	Juill. 1	237.327 39	-2.033 46	0.004 18
17	234.199 25	-1.254 61	0.003 75	2	237.434 13	-2.011 14	0.004 17

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2011 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Juill.	3	237.528 19	-1.972 62	0.004 15	Août	18	240.156 30	-1.558 59	0.003 89
	4	237.602 98	-1.926 54	0.004 12		19	240.172 85	-1.575 50	0.003 90
	5	237.656 42	-1.884 21	0.004 09		20	240.201 00	-1.600 80	0.003 92
	6	237.692 04	-1.856 67	0.004 08		21	240.243 34	-1.628 95	0.003 93
	7	237.718 31	-1.851 45	0.004 07		22	240.300 54	-1.653 83	0.003 95
	8	237.746 37	-1.870 34	0.004 09		23	240.371 16	-1.669 31	0.003 96
	9	237.786 94	-1.908 82	0.004 11		24	240.451 39	-1.670 03	0.003 96
	10	237.847 40	-1.957 30	0.004 14		25	240.535 01	-1.652 47	0.003 95
	11	237.929 87	-2.003 75	0.004 16		26	240.613 88	-1.616 34	0.003 92
	12	238.030 74	-2.036 90	0.004 18		27	240.679 30	-1.565 85	0.003 90
	13	238.141 89	-2.049 10	0.004 19		28	240.724 41	-1.510 14	0.003 86
	14	238.253 00	-2.038 05	0.004 18		29	240.747 20	-1.461 90	0.003 83
	15	238.354 37	-2.006 84	0.004 16		30	240.752 46	-1.433 59	0.003 82
	16	238.439 14	-1.962 56	0.004 14		31	240.751 19	-1.432 71	0.003 82
	17	238.504 46	-1.914 09	0.004 11	Sept.	1	240.756 83	-1.458 52	0.003 83
	18	238.551 39	-1.869 88	0.004 08		2	240.780 33	-1.502 22	0.003 86
	19	238.583 99	-1.836 46	0.004 06		3	240.826 44	-1.550 52	0.003 89
	20	238.608 05	-1.817 66	0.004 05		4	240.893 02	-1.590 36	0.003 91
	21	238.629 95	-1.814 62	0.004 05		5	240.972 78	-1.612 55	0.003 92
	22	238.655 75	-1.826 04	0.004 06		6	241.056 14	-1.613 28	0.003 92
	23	238.690 65	-1.848 70	0.004 07		7	241.133 78	-1.593 90	0.003 91
	24	238.738 57	-1.877 81	0.004 08		8	241.198 50	-1.559 58	0.003 89
	25	238.801 76	-1.907 47	0.004 10		9	241.246 15	-1.517 70	0.003 86
	26	238.880 37	-1.931 09	0.004 12		10	241.275 83	-1.476 24	0.003 84
	27	238.972 02	-1.942 19	0.004 12		11	241.289 62	-1.442 36	0.003 82
	28	239.071 48	-1.935 53	0.004 12		12	241.291 92	-1.421 41	0.003 81
	29	239.170 92	-1.908 59	0.004 10		13	241.288 50	-1.416 32	0.003 81
	30	239.261 09	-1.863 23	0.004 07		14	241.285 57	-1.427 38	0.003 81
	31	239.333 59	-1.806 40	0.004 04		15	241.288 84	-1.452 47	0.003 83
Août	1	239.383 76	-1.749 35	0.004 01		16	241.302 88	-1.487 55	0.003 85
	2	239.412 96	-1.704 67	0.003 98		17	241.330 57	-1.527 28	0.003 87
	3	239.428 82	-1.682 28	0.003 97		18	241.372 89	-1.565 74	0.003 89
	4	239.442 99	-1.685 88	0.003 97		19	241.428 79	-1.597 02	0.003 91
	5	239.467 35	-1.711 84	0.003 99		20	241.495 17	-1.615 97	0.003 92
	6	239.510 31	-1.750 62	0.004 01		21	241.566 97	-1.618 94	0.003 92
	7	239.574 71	-1.790 02	0.004 03		22	241.637 46	-1.604 66	0.003 91
	8	239.657 66	-1.818 63	0.004 05		23	241.699 01	-1.575 29	0.003 90
	9	239.751 97	-1.828 52	0.004 05		24	241.744 50	-1.537 18	0.003 87
	10	239.848 25	-1.816 59	0.004 04		25	241.769 67	-1.500 72	0.003 85
	11	239.937 30	-1.784 63	0.004 03		26	241.775 61	-1.478 48	0.003 84
	12	240.011 97	-1.738 36	0.004 00		27	241.770 08	-1.481 19	0.003 84
	13	240.068 36	-1.685 72	0.003 97		28	241.766 07	-1.513 06	0.003 86
	14	240.106 18	-1.635 07	0.003 94		29	241.777 19	-1.569 03	0.003 89
	15	240.128 33	-1.593 53	0.003 91		30	241.812 09	-1.636 29	0.003 93
	16	240.139 92	-1.565 97	0.003 90	Oct.	1	241.871 34	-1.699 46	0.003 97
	17	240.147 16	-1.554 49	0.003 89		2	241.948 13	-1.746 23	0.004 00

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2011 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s
	"	"	"		"	"	"
Oct. 3	242.03180	-1.77062	0.00401	Nov. 18	244.20983	-2.75835	0.00458
4	242.11165	-1.77309	0.00401	19	244.25198	-2.74699	0.00457
5	242.17946	-1.75879	0.00400	20	244.27978	-2.74969	0.00457
6	242.23059	-1.73535	0.00399	21	244.30048	-2.77426	0.00459
7	242.26389	-1.71086	0.00397	22	244.32506	-2.82379	0.00462
8	242.28122	-1.69259	0.00396	23	244.36547	-2.89445	0.00466
9	242.28660	-1.68606	0.00396	24	244.43051	-2.97526	0.00471
10	242.28549	-1.69462	0.00396	25	244.52191	-3.05117	0.00475
11	242.28390	-1.71917	0.00398	26	244.63312	-3.10853	0.00478
12	242.28765	-1.75825	0.00400	27	244.75188	-3.13997	0.00480
13	242.30161	-1.80832	0.00403	28	244.86500	-3.14624	0.00480
14	242.32910	-1.86430	0.00406	29	244.96264	-3.13444	0.00480
15	242.37147	-1.92026	0.00410	30	245.04024	-3.11451	0.00478
16	242.42796	-1.97024	0.00413	Déc. 1	245.09821	-3.09605	0.00477
17	242.49570	-2.00904	0.00415	2	245.14043	-3.08644	0.00477
18	242.57003	-2.03294	0.00416	3	245.17267	-3.09021	0.00477
19	242.64489	-2.04046	0.00417	4	245.20129	-3.10908	0.00478
20	242.71355	-2.03295	0.00416	5	245.23242	-3.14241	0.00480
21	242.76962	-2.01508	0.00415	6	245.27144	-3.18754	0.00483
22	242.80851	-1.99491	0.00414	7	245.32247	-3.24020	0.00486
23	242.82927	-1.98300	0.00413	8	245.38801	-3.29495	0.00489
24	242.83622	-1.99022	0.00414	9	245.46856	-3.34568	0.00492
25	242.83927	-2.02406	0.00416	10	245.56229	-3.38643	0.00494
26	242.85176	-2.08481	0.00419	11	245.66507	-3.41237	0.00496
27	242.88568	-2.16391	0.00424	12	245.77086	-3.42080	0.00496
28	242.94652	-2.24641	0.00429	13	245.87260	-3.41203	0.00495
29	243.03090	-2.31675	0.00433	14	245.96353	-3.38978	0.00494
30	243.12846	-2.36462	0.00435	15	246.03869	-3.36083	0.00492
31	243.22647	-2.38747	0.00437	16	246.09622	-3.33403	0.00491
Nov. 1	243.31419	-2.38959	0.00437	17	246.13826	-3.31858	0.00490
2	243.38512	-2.37905	0.00436	18	246.17103	-3.32197	0.00490
3	243.43724	-2.36493	0.00435	19	246.20396	-3.34785	0.00491
4	243.47219	-2.35526	0.00435	20	246.24773	-3.39440	0.00494
5	243.49407	-2.35607	0.00435	21	246.31140	-3.45393	0.00498
6	243.50834	-2.37103	0.00436	22	246.39937	-3.51429	0.00501
7	243.52102	-2.40140	0.00437	23	246.50932	-3.56225	0.00504
8	243.53799	-2.44621	0.00440	24	246.63248	-3.58774	0.00505
9	243.56435	-2.50242	0.00443	25	246.75639	-3.58723	0.00505
10	243.60386	-2.56537	0.00447	26	246.86916	-3.56438	0.00504
11	243.65845	-2.62925	0.00451	27	246.96288	-3.52799	0.00502
12	243.72784	-2.68792	0.00454	28	247.03513	-3.48861	0.00499
13	243.80950	-2.73579	0.00457	29	247.08831	-3.45546	0.00497
14	243.89886	-2.76873	0.00459	30	247.12790	-3.43478	0.00496
15	243.98985	-2.78491	0.00460	31	247.16068	-3.42945	0.00495
16	244.07584	-2.78535	0.00460	32	247.19335	-3.43940	0.00496
17	244.15064	-2.77416	0.00459	33	247.23174	-3.46227	0.00497

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 2011 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude			latitude	rayon v.	Date	longitude			latitude	rayon v.		
	°	'	"	"	ua		°	'	"	"	ua		
Janv.	0	279	1	48.54	+4.98	0.98336856	Févr.	15	325	47	23.50	+2.58	0.98758292
	1	280	2	58.38	+5.06	0.98335587		16	326	47	58.93	+2.36	0.98777549
	2	281	4	8.53	+5.15	0.98334720		17	327	48	32.73	+2.16	0.98797301
	3	282	5	18.89	+5.26	0.98334239		18	328	49	4.93	+1.97	0.98817560
	4	283	6	29.38	+5.36	0.98334137		19	329	49	35.59	+1.81	0.98838332
	5	284	7	39.89	+5.46	0.98334410		20	330	50	4.77	+1.69	0.98859610
	6	285	8	50.32	+5.55	0.98335063		21	331	50	32.52	+1.60	0.98881375
	7	286	10	0.58	+5.63	0.98336103		22	332	50	58.90	+1.54	0.98903599
	8	287	11	10.60	+5.68	0.98337543		23	333	51	23.93	+1.51	0.98926247
	9	288	12	20.28	+5.70	0.98339398		24	334	51	47.62	+1.51	0.98949278
	10	289	13	29.56	+5.70	0.98341686		25	335	52	9.96	+1.53	0.98972652
	11	290	14	38.38	+5.66	0.98344425		26	336	52	30.94	+1.56	0.98996329
	12	291	15	46.67	+5.60	0.98347636		27	337	52	50.51	+1.59	0.99020274
	13	292	16	54.40	+5.51	0.98351341		28	338	53	8.63	+1.62	0.99044452
14	293	18	1.51	+5.38	0.98355560	Mars	1	339	53	25.23	+1.65	0.99068837	
15	294	19	7.98	+5.24	0.98360319	2	340	53	40.27	+1.66	0.99093402		
16	295	20	13.78	+5.07	0.98365640	3	341	53	53.68	+1.66	0.99118128		
17	296	21	18.91	+4.88	0.98371548	4	342	54	5.39	+1.63	0.99142998		
18	297	22	23.35	+4.69	0.98378064	5	343	54	15.33	+1.58	0.99167999		
19	298	23	27.13	+4.50	0.98385207	6	344	54	23.45	+1.50	0.99193123		
20	299	24	30.28	+4.31	0.98392990	7	345	54	29.66	+1.39	0.99218365		
21	300	25	32.84	+4.14	0.98401416	8	346	54	33.92	+1.26	0.99243725		
22	301	26	34.84	+3.99	0.98410480	9	347	54	36.16	+1.10	0.99269204		
23	302	27	36.34	+3.86	0.98420165	10	348	54	36.33	+0.92	0.99294809		
24	303	28	37.36	+3.78	0.98430444	11	349	54	34.37	+0.72	0.99320549		
25	304	29	37.90	+3.72	0.98441287	12	350	54	30.25	+0.50	0.99346435		
26	305	30	37.97	+3.70	0.98452655	13	351	54	23.93	+0.28	0.99372483		
27	306	31	37.55	+3.70	0.98464511	14	352	54	15.39	+0.05	0.99398711		
28	307	32	36.58	+3.73	0.98476819	15	353	54	4.60	-0.18	0.99425141		
29	308	33	35.02	+3.78	0.98489545	16	354	53	51.58	-0.39	0.99451796		
30	309	34	32.80	+3.84	0.98502658	17	355	53	36.32	-0.58	0.99478698		
31	310	35	29.85	+3.90	0.98516133	18	356	53	18.89	-0.75	0.99505870		
Févr.	1	311	36	26.07	+3.96	0.98529951	19	357	52	59.32	-0.89	0.99533326	
	2	312	37	21.39	+4.01	0.98544095	20	358	52	37.69	-1.00	0.99561074	
	3	313	38	15.72	+4.04	0.98558556	21	359	52	14.09	-1.07	0.99589106	
	4	314	39	8.98	+4.06	0.98573328	22	0	51	48.58	-1.10	0.99617407	
	5	315	40	1.07	+4.05	0.98588410	23	1	51	21.23	-1.11	0.99645949	
	6	316	40	51.92	+4.01	0.98603806	24	2	50	52.10	-1.10	0.99674696	
	7	317	41	41.46	+3.95	0.98619520	25	3	50	21.21	-1.07	0.99703608	
	8	318	42	29.62	+3.86	0.98635563	26	4	49	48.59	-1.04	0.99732645	
	9	319	43	16.33	+3.74	0.98651945	27	5	49	14.22	-1.01	0.99761767	
	10	320	44	1.53	+3.59	0.98668681	28	6	48	38.11	-0.98	0.99790938	
	11	321	44	45.18	+3.42	0.98685786	29	7	48	0.21	-0.97	0.99820124	
	12	322	45	27.23	+3.23	0.98703279	30	8	47	20.52	-0.98	0.99849294	
	13	323	46	7.64	+3.02	0.98721179	31	9	46	38.98	-1.00	0.99878420	
	14	324	46	46.40	+2.80	0.98739509	Avril	1	10	45	55.57	-1.05	0.99907480

SOLEIL 2011 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	2	11	45	10.23	-1.13	0.99936452	Mai	18	56	34	43.84	-5.25	1.01132658
	3	12	44	22.93	-1.23	0.99965319		19	57	32	30.21	-5.16	1.01153496
	4	13	43	33.62	-1.35	0.99994068		20	58	30	15.29	-5.07	1.01174137
	5	14	42	42.25	-1.51	1.00022689		21	59	27	59.15	-4.98	1.01194555
	6	15	41	48.77	-1.68	1.00051177		22	60	25	41.86	-4.90	1.01214722
	7	16	40	53.14	-1.87	1.00079530		23	61	23	23.49	-4.83	1.01234605
	8	17	39	55.31	-2.08	1.00107751		24	62	21	4.06	-4.79	1.01254173
	9	18	38	55.25	-2.29	1.00135846		25	63	18	43.62	-4.77	1.01273395
	10	19	37	52.93	-2.51	1.00163827		26	64	16	22.18	-4.78	1.01292241
	11	20	36	48.32	-2.72	1.00191708		27	65	13	59.77	-4.81	1.01310681
	12	21	35	41.40	-2.92	1.00219508		28	66	11	36.38	-4.87	1.01328690
13	22	34	32.18	-3.10	1.00247251	29	67	9	12.03	-4.95	1.01346242		
14	23	33	20.66	-3.26	1.00274962	30	68	6	46.71	-5.05	1.01363313		
15	24	32	6.88	-3.39	1.00302664	31	69	4	20.40	-5.18	1.01379884		
16	25	30	50.88	-3.49	1.00330383	Juin	1	70	1	53.10	-5.32	1.01395935	
17	26	29	32.75	-3.55	1.00358135		2	70	59	24.77	-5.47	1.01411454	
18	27	28	12.56	-3.58	1.00385930		3	71	56	55.40	-5.63	1.01426432	
19	28	26	50.41	-3.57	1.00413765		4	72	54	24.96	-5.78	1.01440864	
20	29	25	26.39	-3.55	1.00441627		5	73	51	53.40	-5.92	1.01454754	
21	30	24	0.58	-3.50	1.00469491		6	74	49	20.72	-6.05	1.01468111	
22	31	22	33.06	-3.45	1.00497325		7	75	46	46.87	-6.15	1.01480952	
23	32	21	3.87	-3.39	1.00525095		8	76	44	11.86	-6.23	1.01493297	
24	33	19	33.06	-3.34	1.00552762		9	77	41	35.69	-6.27	1.01505175	
25	34	18	0.64	-3.30	1.00580291		10	78	38	58.36	-6.28	1.01516615	
26	35	16	26.63	-3.28	1.00607645		11	79	36	19.92	-6.25	1.01527650	
27	36	14	51.03	-3.28	1.00634792	12	80	33	40.41	-6.19	1.01538310		
28	37	13	13.84	-3.31	1.00661701	13	81	30	59.91	-6.10	1.01548624		
29	38	11	35.04	-3.36	1.00688345	14	82	28	18.49	-5.99	1.01558613		
30	39	9	54.62	-3.43	1.00714698	15	83	25	36.26	-5.86	1.01568294		
Mai	1	40	8	12.55	-3.53	1.00740738	16	84	22	53.32	-5.73	1.01577670	
	2	41	6	28.82	-3.66	1.00766444	17	85	20	9.76	-5.59	1.01586740	
	3	42	4	43.39	-3.80	1.00791801	18	86	17	25.68	-5.47	1.01595493	
	4	43	2	56.23	-3.97	1.00816797	19	87	14	41.18	-5.35	1.01603910	
	5	44	1	7.31	-4.15	1.00841423	20	88	11	56.32	-5.26	1.01611972	
	6	44	59	16.59	-4.34	1.00865675	21	89	9	11.18	-5.19	1.01619653	
	7	45	57	24.04	-4.53	1.00889557	22	90	6	25.81	-5.14	1.01626928	
	8	46	55	29.63	-4.72	1.00913074	23	91	3	40.25	-5.12	1.01633771	
	9	47	53	33.33	-4.89	1.00936240	24	92	0	54.55	-5.13	1.01640157	
	10	48	51	35.13	-5.05	1.00959072	25	92	58	8.73	-5.16	1.01646060	
	11	49	49	35.03	-5.19	1.00981593	26	93	55	22.82	-5.22	1.01651456	
12	50	47	33.03	-5.29	1.01003827	27	94	52	36.83	-5.29	1.01656321		
13	51	45	29.15	-5.37	1.01025803	28	95	49	50.77	-5.39	1.01660631		
14	52	43	23.45	-5.41	1.01047550	29	96	47	4.65	-5.49	1.01664366		
15	53	41	15.98	-5.41	1.01069093	30	97	44	18.44	-5.60	1.01667508		
16	54	39	6.82	-5.38	1.01090453	Juill.	1	98	41	32.14	-5.71	1.01670040	
17	55	36	56.08	-5.33	1.01111641		2	99	38	45.71	-5.82	1.01671954	

SOLEIL 2011 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.			
	° ' "	"	ua		° ' "	"	ua			
Juill.	3	100 35 59.13	-5.91	1.016 732 47	Août	18	144 34 12.57	-2.40	1.012 371 98	
	4	101 33 12.36	-5.98	1.016 739 23		19	145 31 53.78	-2.37	1.012 184 25	
	5	102 30 25.36	-6.02	1.016 739 96		20	146 29 36.54	-2.36	1.011 993 62	
	6	103 27 38.12	-6.03	1.016 734 86		21	147 27 20.91	-2.37	1.011 799 92	
	7	104 24 50.63	-6.00	1.016 724 21		22	148 25 6.91	-2.40	1.011 603 00	
	8	105 22 2.88	-5.94	1.016 708 32		23	149 22 54.59	-2.43	1.011 402 66	
	9	106 19 14.89	-5.85	1.016 687 55		24	150 20 43.97	-2.47	1.011 198 70	
	10	107 16 26.71	-5.73	1.016 662 25		25	151 18 35.06	-2.50	1.010 990 92	
	11	108 13 38.37	-5.58	1.016 632 76		26	152 16 27.86	-2.53	1.010 779 09	
	12	109 10 49.97	-5.42	1.016 599 38		27	153 14 22.37	-2.54	1.010 563 03	
	13	110 8 1.57	-5.25	1.016 562 36		28	154 12 18.56	-2.53	1.010 342 54	
	14	111 5 13.26	-5.07	1.016 521 86		29	155 10 16.37	-2.49	1.010 117 53	
	15	112 2 25.15	-4.90	1.016 478 00		30	156 8 15.77	-2.41	1.009 887 96	
	16	112 59 37.32	-4.74	1.016 430 80		31	157 6 16.68	-2.31	1.009 653 92	
	17	113 56 49.87	-4.60	1.016 380 23		Sept.	1	158 4 19.05	-2.17	1.009 415 60
	18	114 54 2.89	-4.48	1.016 326 20		2	159 2 22.84	-2.00	1.009 173 29	
	19	115 51 16.45	-4.39	1.016 268 57		3	160 0 28.02	-1.80	1.008 927 34	
20	116 48 30.63	-4.32	1.016 207 20	4	160 58 34.57	-1.59	1.008 678 16			
21	117 45 45.48	-4.27	1.016 141 89	5	161 56 42.50	-1.37	1.008 426 16			
22	118 43 1.07	-4.26	1.016 072 45	6	162 54 51.83	-1.14	1.008 171 74			
23	119 40 17.43	-4.26	1.015 998 67	7	163 53 2.60	-0.92	1.007 915 27			
24	120 37 34.61	-4.29	1.015 920 34	8	164 51 14.86	-0.71	1.007 657 09			
25	121 34 52.64	-4.34	1.015 837 25	9	165 49 28.66	-0.51	1.007 397 48			
26	122 32 11.55	-4.40	1.015 749 18	10	166 47 44.07	-0.34	1.007 136 68			
27	123 29 31.34	-4.47	1.015 655 89	11	167 46 1.15	-0.19	1.006 874 88			
28	124 26 52.01	-4.54	1.015 557 19	12	168 44 19.97	-0.07	1.006 612 24			
29	125 24 13.57	-4.60	1.015 452 87	13	169 42 40.59	+0.03	1.006 348 84			
30	126 21 35.99	-4.66	1.015 342 79	14	170 41 3.09	+0.10	1.006 084 74			
31	127 18 59.24	-4.69	1.015 226 83	15	171 39 27.52	+0.15	1.005 819 97			
Août	1	128 16 23.27	-4.70	1.015 104 98	16	172 37 53.95	+0.17	1.005 554 50		
2	129 13 48.05	-4.68	1.014 977 30	17	173 36 22.42	+0.18	1.005 288 29			
3	130 11 13.54	-4.63	1.014 843 95	18	174 34 52.99	+0.17	1.005 021 25			
4	131 8 39.69	-4.54	1.014 705 20	19	175 33 25.71	+0.15	1.004 753 28			
5	132 6 6.49	-4.42	1.014 561 37	20	176 32 0.60	+0.12	1.004 484 24			
6	133 3 33.95	-4.27	1.014 412 82	21	177 30 37.70	+0.10	1.004 213 97			
7	134 1 2.07	-4.09	1.014 259 94	22	178 29 17.02	+0.08	1.003 942 28			
8	134 58 30.89	-3.90	1.014 103 12	23	179 27 58.59	+0.08	1.003 668 98			
9	135 56 0.46	-3.70	1.013 942 71	24	180 26 42.38	+0.10	1.003 393 83			
10	136 53 30.85	-3.49	1.013 779 04	25	181 25 28.38	+0.14	1.003 116 63			
11	137 51 2.12	-3.29	1.013 612 36	26	182 24 16.55	+0.22	1.002 837 17			
12	138 48 34.35	-3.10	1.013 442 89	27	183 23 6.84	+0.33	1.002 555 32			
13	139 46 7.63	-2.92	1.013 270 78	28	184 21 59.16	+0.47	1.002 271 06			
14	140 43 42.04	-2.77	1.013 096 11	29	185 20 53.44	+0.64	1.001 984 45			
15	141 41 17.66	-2.63	1.012 918 93	30	186 19 49.62	+0.84	1.001 695 70			
16	142 38 54.57	-2.53	1.012 739 22	Oct.	1	187 18 47.61	+1.06	1.001 405 08		
17	143 36 32.85	-2.45	1.012 556 93	2	188 17 47.37	+1.29	1.001 112 98			

SOLEIL 2011 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.	3	189	16	48.89	+1.52	1.000	819	81			
	4	190	15	52.13	+1.75	1.000	525	97			
	5	191	14	57.12	+1.96	1.000	231	88			
	6	192	14	3.86	+2.16	0.999	937	89			
	7	193	13	12.39	+2.34	0.999	644	37			
	8	194	12	22.73	+2.49	0.999	351	59			
	9	195	11	34.92	+2.61	0.999	059	84			
	10	196	10	49.02	+2.71	0.998	769	33			
	11	197	10	5.06	+2.78	0.998	480	24			
	12	198	9	23.09	+2.82	0.998	192	74			
	13	199	8	43.17	+2.84	0.997	906	91			
	14	200	8	5.33	+2.84	0.997	622	84			
15	201	7	29.62	+2.82	0.997	340	54				
16	202	6	56.09	+2.79	0.997	060	03				
17	203	6	24.77	+2.75	0.996	781	24				
18	204	5	55.69	+2.72	0.996	504	11				
19	205	5	28.89	+2.69	0.996	228	51				
20	206	5	4.39	+2.67	0.995	954	29				
21	207	4	42.19	+2.67	0.995	681	27				
22	208	4	22.29	+2.70	0.995	409	23				
23	209	4	4.68	+2.75	0.995	137	93				
24	210	3	49.33	+2.84	0.994	867	12				
25	211	3	36.16	+2.96	0.994	596	60				
26	212	3	25.13	+3.11	0.994	326	20				
27	213	3	16.12	+3.29	0.994	055	86				
28	214	3	9.05	+3.49	0.993	785	62				
29	215	3	3.83	+3.71	0.993	515	64				
30	216	3	0.36	+3.93	0.993	246	21				
31	217	2	58.58	+4.15	0.992	977	65				
Nov.	1	218	2	58.45	+4.35	0.992	710	36			
2	219	2	59.91	+4.54	0.992	444	71				
3	220	3	2.97	+4.70	0.992	181	10				
4	221	3	7.60	+4.84	0.991	919	88				
5	222	3	13.81	+4.94	0.991	661	38				
6	223	3	21.61	+5.02	0.991	405	90				
7	224	3	31.01	+5.06	0.991	153	71				
8	225	3	42.03	+5.08	0.990	905	05				
9	226	3	54.69	+5.08	0.990	660	12				
10	227	4	9.01	+5.05	0.990	419	11				
11	228	4	25.04	+5.00	0.990	182	15				
12	229	4	42.78	+4.94	0.989	949	34				
13	230	5	2.28	+4.87	0.989	720	73				
14	231	5	23.57	+4.80	0.989	496	35				
15	232	5	46.67	+4.73	0.989	276	16				
16	233	6	11.61	+4.68	0.989	060	08				
17	234	6	38.39	+4.64	0.988	847	99				
Nov.	18	235	7	7.04	+4.62	0.988	639	72			
19	236	7	37.55	+4.64	0.988	435	05				
20	237	8	9.91	+4.68	0.988	233	75				
21	238	8	44.09	+4.75	0.988	035	53				
22	239	9	20.04	+4.86	0.987	840	14				
23	240	9	57.69	+5.00	0.987	647	31				
24	241	10	36.96	+5.16	0.987	456	85				
25	242	11	17.74	+5.34	0.987	268	65				
26	243	11	59.93	+5.53	0.987	082	71				
27	244	12	43.41	+5.71	0.986	899	13				
28	245	13	28.08	+5.88	0.986	718	11				
29	246	14	13.87	+6.04	0.986	539	94				
30	247	15	0.68	+6.18	0.986	364	93				
Déc.	1	248	15	48.48	+6.28	0.986	193	41			
2	249	16	37.21	+6.36	0.986	025	71				
3	250	17	26.85	+6.40	0.985	862	15				
4	251	18	17.36	+6.41	0.985	703	02				
5	252	19	8.73	+6.40	0.985	548	62				
6	253	20	0.96	+6.35	0.985	399	18				
7	254	20	54.04	+6.28	0.985	254	95				
8	255	21	47.96	+6.19	0.985	116	14				
9	256	22	42.74	+6.09	0.984	982	93				
10	257	23	38.39	+5.97	0.984	855	48				
11	258	24	34.93	+5.85	0.984	733	89				
12	259	25	32.37	+5.74	0.984	618	23				
13	260	26	30.74	+5.63	0.984	508	52				
14	261	27	30.06	+5.54	0.984	404	71				
15	262	28	30.34	+5.47	0.984	306	70				
16	263	29	31.61	+5.42	0.984	214	35				
17	264	30	33.86	+5.41	0.984	127	43				
18	265	31	37.08	+5.43	0.984	045	70				
19	266	32	41.26	+5.48	0.983	968	85				
20	267	33	46.36	+5.55	0.983	896	57				
21	268	34	52.32	+5.66	0.983	828	55				
22	269	35	59.07	+5.78	0.983	764	49				
23	270	37	6.51	+5.91	0.983	704	17				
24	271	38	14.53	+6.05	0.983	647	41				
25	272	39	23.04	+6.18	0.983	594	15				
26	273	40	31.90	+6.29	0.983	544	41				
27	274	41	41.03	+6.39	0.983	498	31				
28	275	42	50.31	+6.45	0.983	456	03				
29	276	43	59.66	+6.49	0.983	417	79				
30	277	45	9.02	+6.49	0.983	383	83				
31	278	46	18.32	+6.47	0.983	354	42				
32	279	47	27.51	+6.41	0.983	329	81				
33	280	48	36.55	+6.32	0.983	310	23				

SOLEIL 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage			Date	asc. droite			déclinaison			t. passage				
	h	m	s	°	'	"	h	m	s		h	m	s	°	'	"	h	m	s		
Janv.	0	18	39	58.228	-23	7	11.60	12	2	56.42	Févr.	15	21	52	46.804	-12	52	12.07	12	14	7.56
	1	18	44	23.487	-23	2	44.29	12	3	24.99		16	21	56	40.480	-12	31	36.84	12	14	4.30
	2	18	48	48.464	-22	57	49.34	12	3	53.26		17	22	0	33.423	-12	10	49.61	12	14	0.32
	3	18	53	13.122	-22	52	26.90	12	4	21.18		18	22	4	25.649	-11	49	50.75	12	13	55.63
	4	18	57	37.425	-22	46	37.14	12	4	48.74		19	22	8	17.177	-11	28	40.65	12	13	50.27
	5	19	2	1.337	-22	40	20.24	12	5	15.89		20	22	12	8.027	-11	7	19.67	12	13	44.23
	6	19	6	24.823	-22	33	36.40	12	5	42.60		21	22	15	58.219	-10	45	48.18	12	13	37.55
	7	19	10	47.852	-22	26	25.81	12	6	8.84		22	22	19	47.775	-10	24	6.56	12	13	30.24
	8	19	15	10.394	-22	18	48.69	12	6	34.58		23	22	23	36.716	-10	2	15.19	12	13	22.32
	9	19	19	32.418	-22	10	45.28	12	6	59.78		24	22	27	25.058	-9	40	14.48	12	13	13.81
	10	19	23	53.899	-22	2	15.81	12	7	24.44		25	22	31	12.819	-9	18	4.83	12	13	4.72
	11	19	28	14.812	-21	53	20.54	12	7	48.51		26	22	35	0.014	-8	55	46.68	12	12	55.07
	12	19	32	35.132	-21	43	59.72	12	8	11.97		27	22	38	46.656	-8	33	20.43	12	12	44.88
	13	19	36	54.837	-21	34	13.65	12	8	34.81		28	22	42	32.760	-8	10	46.52	12	12	34.16
14	19	41	13.907	-21	24	2.59	12	8	57.00	Mars	1	22	46	18.341	-7	48	5.36	12	12	22.93	
15	19	45	32.321	-21	13	26.85	12	9	18.52	2	22	50	3.414	-7	25	17.37	12	12	11.20		
16	19	49	50.063	-21	2	26.73	12	9	39.36	3	22	53	47.994	-7	2	22.97	12	11	58.98		
17	19	54	7.114	-20	51	2.54	12	9	59.49	4	22	57	32.096	-6	39	22.57	12	11	46.30		
18	19	58	23.460	-20	39	14.59	12	10	18.92	5	23	1	15.738	-6	16	16.58	12	11	33.17		
19	20	2	39.086	-20	27	3.20	12	10	37.61	6	23	4	58.935	-5	53	5.41	12	11	19.61		
20	20	6	53.980	-20	14	28.68	12	10	55.58	7	23	8	41.705	-5	29	49.46	12	11	5.62		
21	20	11	8.132	-20	1	31.35	12	11	12.79	8	23	12	24.066	-5	6	29.13	12	10	51.23		
22	20	15	21.533	-19	48	11.53	12	11	29.26	9	23	16	6.034	-4	43	4.82	12	10	36.46		
23	20	19	34.179	-19	34	29.52	12	11	44.97	10	23	19	47.628	-4	19	36.93	12	10	21.32		
24	20	23	46.064	-19	20	25.66	12	11	59.92	11	23	23	28.866	-3	56	5.85	12	10	5.83		
25	20	27	57.185	-19	6	0.29	12	12	14.11	12	23	27	9.765	-3	32	31.97	12	9	50.01		
26	20	32	7.538	-18	51	13.77	12	12	27.51	13	23	30	50.344	-3	8	55.68	12	9	33.88		
27	20	36	17.118	-18	36	6.49	12	12	40.14	14	23	34	30.621	-2	45	17.36	12	9	17.46		
28	20	40	25.918	-18	20	38.83	12	12	51.98	15	23	38	10.613	-2	21	37.39	12	9	0.76		
29	20	44	33.931	-18	4	51.20	12	13	3.03	16	23	41	50.342	-1	57	56.14	12	8	43.81		
30	20	48	41.150	-17	48	44.00	12	13	13.29	17	23	45	29.827	-1	34	13.97	12	8	26.63		
31	20	52	47.569	-17	32	17.66	12	13	22.73	18	23	49	9.091	-1	10	31.23	12	8	9.25		
Févr.	1	20	56	53.181	-17	15	32.60	12	13	31.37	19	23	52	48.158	-0	46	48.25	12	7	51.68	
	2	21	0	57.980	-16	58	29.23	12	13	39.20	20	23	56	27.056	-0	23	5.35	12	7	33.96	
	3	21	5	1.965	-16	41	7.97	12	13	46.22	21	0	0	5.813	0	0	37.14	12	7	16.12	
	4	21	9	5.131	-16	23	29.25	12	13	52.41	22	0	3	44.456	0	24	18.92	12	6	58.16	
	5	21	13	7.480	-16	5	33.49	12	13	57.80	23	0	7	23.012	0	47	59.65	12	6	40.13	
	6	21	17	9.012	-15	47	21.11	12	14	2.36	24	0	11	1.502	1	11	38.98	12	6	22.04	
	7	21	21	9.728	-15	28	52.55	12	14	6.12	25	0	14	39.950	1	35	16.55	12	6	3.92	
	8	21	25	9.634	-15	10	8.21	12	14	9.06	26	0	18	18.375	1	58	52.00	12	5	45.79	
9	21	29	8.734	-14	51	8.54	12	14	11.20	27	0	21	56.796	2	22	24.96	12	5	27.66		
10	21	33	7.034	-14	31	53.95	12	14	12.54	28	0	25	35.231	2	45	55.05	12	5	9.56		
11	21	37	4.541	-14	12	24.87	12	14	13.09	29	0	29	13.700	3	9	21.91	12	4	51.50		
12	21	41	1.262	-13	52	41.72	12	14	12.86	30	0	32	52.220	3	32	45.16	12	4	33.51		
13	21	44	57.206	-13	32	44.92	12	14	11.85	31	0	36	30.809	3	56	4.43	12	4	15.59		
14	21	48	52.384	-13	12	34.90	12	14	10.08	Avril	1	0	40	9.485	4	19	19.36	12	3	57.78	

SOLEIL 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage			Date	asc. droite			déclinaison			t. passage				
	h	m	s	°	'	"	h	m	s		h	m	s	°	'	"	h	m	s		
Avril	2	0	43	48.267	4	42	29.59	12	3	40.07	Mai	18	3	37	44.900	19	25	31.24	11	56	25.11
	3	0	47	27.170	5	5	34.75	12	3	22.50		19	3	41	43.637	19	38	43.49	11	56	27.56
	4	0	51	6.213	5	28	34.48	12	3	5.08		20	3	45	42.932	19	51	35.74	11	56	30.57
	5	0	54	45.411	5	51	28.41	12	2	47.81		21	3	49	42.780	20	4	7.73	11	56	34.13
	6	0	58	24.782	6	14	16.20	12	2	30.73		22	3	53	43.177	20	16	19.20	11	56	38.24
	7	1	2	4.339	6	36	57.48	12	2	13.83		23	3	57	44.117	20	28	9.88	11	56	42.89
	8	1	5	44.099	6	59	31.90	12	1	57.14		24	4	1	45.592	20	39	39.52	11	56	48.08
	9	1	9	24.076	7	21	59.11	12	1	40.68		25	4	5	47.594	20	50	47.88	11	56	53.79
	10	1	13	4.283	7	44	18.74	12	1	24.45		26	4	9	50.113	21	1	34.72	11	57	0.01
	11	1	16	44.735	8	6	30.45	12	1	8.48		27	4	13	53.139	21	11	59.80	11	57	6.73
	12	1	20	25.446	8	28	33.88	12	0	52.77		28	4	17	56.660	21	22	2.91	11	57	13.94
13	1	24	6.430	8	50	28.71	12	0	37.34	29	4	22	0.662	21	31	43.82	11	57	21.63		
14	1	27	47.704	9	12	14.58	12	0	22.22	30	4	26	5.130	21	41	2.34	11	57	29.77		
15	1	31	29.285	9	33	51.18	12	0	7.42	31	4	30	10.048	21	49	58.25	11	57	38.35		
16	1	35	11.192	9	55	18.19	11	59	52.95	Jun	1	4	34	15.398	21	58	31.38	11	57	47.34	
17	1	38	53.447	10	16	35.31	11	59	38.84	2	4	38	21.160	22	6	41.54	11	57	56.74		
18	1	42	36.071	10	37	42.25	11	59	25.11	3	4	42	27.312	22	14	28.56	11	58	6.52		
19	1	46	19.086	10	58	38.71	11	59	11.77	4	4	46	33.833	22	21	52.26	11	58	16.65		
20	1	50	2.511	11	19	24.38	11	58	58.85	5	4	50	40.698	22	28	52.49	11	58	27.12		
21	1	53	46.363	11	39	58.96	11	58	46.37	6	4	54	47.884	22	35	29.09	11	58	37.90		
22	1	57	30.658	12	0	22.12	11	58	34.33	7	4	58	55.368	22	41	41.92	11	58	48.97		
23	2	1	15.409	12	20	33.52	11	58	22.75	8	5	3	3.126	22	47	30.82	11	59	0.31		
24	2	5	0.630	12	40	32.83	11	58	11.66	9	5	7	11.138	22	52	55.69	11	59	11.89		
25	2	8	46.331	13	0	19.69	11	58	1.05	10	5	11	19.383	22	57	56.40	11	59	23.69		
26	2	12	32.525	13	19	53.79	11	57	50.94	11	5	15	27.843	23	2	32.86	11	59	35.70		
27	2	16	19.222	13	39	14.76	11	57	41.34	12	5	19	36.500	23	6	44.98	11	59	47.90		
28	2	20	6.431	13	58	22.28	11	57	32.26	13	5	23	45.336	23	10	32.68	12	0	0.26		
29	2	23	54.161	14	17	16.02	11	57	23.71	14	5	27	54.332	23	13	55.91	12	0	12.76		
30	2	27	42.420	14	35	55.64	11	57	15.68	15	5	32	3.471	23	16	54.59	12	0	25.40		
Mai	1	2	31	31.216	14	54	20.80	11	57	8.20	16	5	36	12.731	23	19	28.68	12	0	38.16	
2	2	35	20.554	15	12	31.19	11	57	1.26	17	5	40	22.095	23	21	38.11	12	0	51.00		
3	2	39	10.439	15	30	26.48	11	56	54.86	18	5	44	31.540	23	23	22.83	12	1	3.92		
4	2	43	0.874	15	48	6.35	11	56	49.02	19	5	48	41.048	23	24	42.80	12	1	16.90		
5	2	46	51.861	16	5	30.47	11	56	43.72	20	5	52	50.597	23	25	37.97	12	1	29.90		
6	2	50	43.402	16	22	38.53	11	56	38.98	21	5	57	0.168	23	26	8.33	12	1	42.93		
7	2	54	35.497	16	39	30.21	11	56	34.79	22	6	1	9.738	23	26	13.85	12	1	55.94		
8	2	58	28.143	16	56	5.20	11	56	31.15	23	6	5	19.287	23	25	54.53	12	2	8.92		
9	3	2	21.340	17	12	23.17	11	56	28.06	24	6	9	28.791	23	25	10.40	12	2	21.84		
10	3	6	15.086	17	28	23.83	11	56	25.52	25	6	13	38.230	23	24	1.46	12	2	34.69		
11	3	10	9.381	17	44	6.87	11	56	23.53	26	6	17	47.578	23	22	27.76	12	2	47.43		
12	3	14	4.223	17	59	31.99	11	56	22.10	27	6	21	56.813	23	20	29.35	12	3	0.04		
13	3	17	59.614	18	14	38.90	11	56	21.21	28	6	26	5.909	23	18	6.29	12	3	12.50		
14	3	21	55.557	18	29	27.35	11	56	20.88	29	6	30	14.841	23	15	18.65	12	3	24.78		
15	3	25	52.054	18	43	57.05	11	56	21.10	30	6	34	23.584	23	12	6.52	12	3	36.85		
16	3	29	49.108	18	58	7.77	11	56	21.88	Juill.	1	6	38	32.109	23	8	30.00	12	3	48.70	
17	3	33	46.723	19	11	59.25	11	56	23.22	2	6	42	40.389	23	4	29.18	12	4	0.28		

SOLEIL 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage	Date	asc. droite			déclinaison			t. passage							
	h	m	s	°	'	"	h	m	s	h	m	s	°	'	"	h	m	s				
Juill.	3	6	46	48.397	23	0	4.19	12	4	11.59	Août	18	9	48	5.357	13	16	37.81	12	3	54.69	
	4	6	50	56.105	22	55	15.14	12	4	22.58		19	9	51	48.562	12	57	16.83	12	3	41.10	
	5	6	55	3.488	22	50	2.16	12	4	33.24		20	9	55	31.288	12	37	43.44	12	3	27.04	
	6	6	59	10.522	22	44	25.38	12	4	43.54		21	9	59	13.549	12	17	57.96	12	3	12.52	
	7	7	3	17.187	22	38	24.94	12	4	53.46		22	10	2	55.357	11	58	0.69	12	2	57.56	
	8	7	7	23.463	22	32	0.99	12	5	2.98		23	10	6	36.727	11	37	51.97	12	2	42.15	
	9	7	11	29.332	22	25	13.70	12	5	12.08		24	10	10	17.671	11	17	32.11	12	2	26.33	
	10	7	15	34.780	22	18	3.24	12	5	20.76		25	10	13	58.201	10	57	1.44	12	2	10.10	
	11	7	19	39.790	22	10	29.78	12	5	28.98		26	10	17	38.328	10	36	20.31	12	1	53.48	
	12	7	23	44.348	22	2	33.51	12	5	36.74		27	10	21	18.064	10	15	29.05	12	1	36.47	
	13	7	27	48.442	21	54	14.62	12	5	44.03		28	10	24	57.420	9	54	28.02	12	1	19.09	
	14	7	31	52.057	21	45	33.28	12	5	50.84		29	10	28	36.405	9	33	17.55	12	1	1.35	
	15	7	35	55.183	21	36	29.68	12	5	57.16		30	10	32	15.032	9	11	57.99	12	0	43.26	
	16	7	39	57.809	21	27	4.01	12	6	2.97		31	10	35	53.314	8	50	29.68	12	0	24.83	
	17	7	43	59.925	21	17	16.46	12	6	8.27		Sept.	1	10	39	31.263	8	28	52.97	12	0	6.07
	18	7	48	1.524	21	7	7.22	12	6	13.05		2	10	43	8.895	8	7	8.18	11	59	47.00	
	19	7	52	2.598	20	56	36.50	12	6	17.31		3	10	46	46.224	7	45	15.65	11	59	27.63	
20	7	56	3.140	20	45	44.51	12	6	21.03	4	10	50	23.265	7	23	15.73	11	59	7.98			
21	8	0	3.143	20	34	31.48	12	6	24.21	5	10	54	0.033	7	1	8.75	11	58	48.07			
22	8	4	2.601	20	22	57.64	12	6	26.84	6	10	57	36.545	6	38	55.03	11	58	27.90			
23	8	8	1.507	20	11	3.23	12	6	28.91	7	11	1	12.819	6	16	34.89	11	58	7.51			
24	8	11	59.856	19	58	48.49	12	6	30.42	8	11	4	48.873	5	54	8.64	11	57	46.91			
25	8	15	57.641	19	46	13.69	12	6	31.36	9	11	8	24.727	5	31	36.59	11	57	26.13			
26	8	19	54.856	19	33	19.09	12	6	31.72	10	11	12	0.402	5	8	59.06	11	57	5.18			
27	8	23	51.494	19	20	4.97	12	6	31.50	11	11	15	35.922	4	46	16.32	11	56	44.08			
28	8	27	47.548	19	6	31.62	12	6	30.70	12	11	19	11.307	4	23	28.70	11	56	22.87			
29	8	31	43.012	18	52	39.31	12	6	29.30	13	11	22	46.583	4	0	36.49	11	56	1.56			
30	8	35	37.876	18	38	28.36	12	6	27.30	14	11	26	21.772	3	37	39.99	11	55	40.17			
31	8	39	32.135	18	23	59.06	12	6	24.70	15	11	29	56.897	3	14	39.51	11	55	18.73			
Août	1	8	43	25.781	18	9	11.72	12	6	21.48	16	11	33	31.983	2	51	35.36	11	54	57.26		
2	8	47	18.810	17	54	6.63	12	6	17.64	17	11	37	7.051	2	28	27.86	11	54	35.78			
3	8	51	11.218	17	38	44.09	12	6	13.19	18	11	40	42.125	2	5	17.32	11	54	14.32			
4	8	55	3.005	17	23	4.41	12	6	8.11	19	11	44	17.226	1	42	4.08	11	53	52.89			
5	8	58	54.171	17	7	7.90	12	6	2.42	20	11	47	52.375	1	18	48.46	11	53	31.52			
6	9	2	44.720	16	50	54.85	12	5	56.10	21	11	51	27.593	0	55	30.80	11	53	10.22			
7	9	6	34.653	16	34	25.58	12	5	49.17	22	11	55	2.901	0	32	11.45	11	52	49.03			
8	9	10	23.976	16	17	40.40	12	5	41.62	23	11	58	38.317	0	8	50.76	11	52	27.96			
9	9	14	12.694	16	0	39.60	12	5	33.48	24	12	2	13.860	-	0	14	30.91	11	52	7.02		
10	9	18	0.812	15	43	23.48	12	5	24.74	25	12	5	49.548	-	0	37	53.21	11	51	46.24		
11	9	21	48.339	15	25	52.34	12	5	15.41	26	12	9	25.399	-	1	1	15.76	11	51	25.64		
12	9	25	35.282	15	8	6.47	12	5	5.51	27	12	13	1.431	-	1	24	38.20	11	51	5.23		
13	9	29	21.654	14	50	6.15	12	4	55.04	28	12	16	37.661	-	1	48	0.17	11	50	45.02		
14	9	33	7.464	14	31	51.67	12	4	44.03	29	12	20	14.107	-	2	11	21.30	11	50	25.03		
15	9	36	52.726	14	13	23.30	12	4	32.47	30	12	23	50.785	-	2	34	41.21	11	50	5.28		
16	9	40	37.453	13	54	41.34	12	4	20.38	Oct.	1	12	27	27.712	-	2	57	59.55	11	49	45.78	
17	9	44	21.659	13	35	46.08	12	4	7.79	2	12	31	4.903	-	3	21	15.94	11	49	26.55		

SOLEIL 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	t. passage	Date	asc. droite	déclinaison	t. passage			
	h m s	° ' "	h m s		h m s	° ' "	h m s			
Oct.	3	12 34 42.374	- 3 44 30.02	11 49 7.62	Nov.	18	15 31 45.810	-19 4 58.29	11 45 4.84	
	4	12 38 20.144	- 4 7 41.41	11 48 48.98		19	15 35 54.821	-19 19 18.09	11 45 17.72	
	5	12 41 58.230	- 4 30 49.77	11 48 30.68		20	15 40 4.676	-19 33 17.09	11 45 31.44	
	6	12 45 36.653	- 4 53 54.74	11 48 12.73		21	15 44 15.371	-19 46 54.90	11 45 45.99	
	7	12 49 15.433	- 5 16 55.97	11 47 55.14		22	15 48 26.896	-20 0 11.14	11 46 1.37	
	8	12 52 54.594	- 5 39 53.12	11 47 37.95		23	15 52 39.241	-20 13 5.45	11 46 17.56	
	9	12 56 34.156	- 6 2 45.85	11 47 21.18		24	15 56 52.392	-20 25 37.49	11 46 34.54	
	10	13 0 14.144	- 6 25 33.80	11 47 4.84		25	16 1 6.331	-20 37 46.89	11 46 52.30	
	11	13 3 54.579	- 6 48 16.64	11 46 48.96		26	16 5 21.038	-20 49 33.32	11 47 10.82	
	12	13 7 35.486	- 7 10 54.01	11 46 33.56		27	16 9 36.491	-21 0 56.44	11 47 30.07	
	13	13 11 16.887	- 7 33 25.57	11 46 18.66		28	16 13 52.666	-21 11 55.91	11 47 50.03	
	14	13 14 58.804	- 7 55 50.96	11 46 4.29		29	16 18 9.540	-21 22 31.40	11 48 10.69	
	15	13 18 41.258	- 8 18 9.82	11 45 50.47		30	16 22 27.091	-21 32 42.60	11 48 32.01	
	16	13 22 24.272	- 8 40 21.78	11 45 37.21		Déc.	1	16 26 45.300	-21 42 29.19	11 48 53.99
	17	13 26 7.864	- 9 2 26.48	11 45 24.53			2	16 31 4.144	-21 51 50.89	11 49 16.59
	18	13 29 52.054	- 9 24 23.53	11 45 12.47		3	16 35 23.605	-22 0 47.42	11 49 39.80	
	19	13 33 36.860	- 9 46 12.56	11 45 1.02		4	16 39 43.660	-22 9 18.51	11 50 3.60	
20	13 37 22.301	-10 7 53.16	11 44 50.23	5	16 44 4.289	-22 17 23.92	11 50 27.96			
21	13 41 8.392	-10 29 24.95	11 44 40.09	6	16 48 25.471	-22 25 3.39	11 50 52.85			
22	13 44 55.151	-10 50 47.52	11 44 30.63	7	16 52 47.182	-22 32 16.69	11 51 18.27			
23	13 48 42.591	-11 12 0.45	11 44 21.86	8	16 57 9.399	-22 39 3.61	11 51 44.18			
24	13 52 30.728	-11 33 3.35	11 44 13.80	9	17 1 32.098	-22 45 23.94	11 52 10.55			
25	13 56 19.575	-11 53 55.80	11 44 6.45	10	17 5 55.254	-22 51 17.48	11 52 37.37			
26	14 0 9.144	-12 14 37.39	11 43 59.82	11	17 10 18.842	-22 56 44.03	11 53 4.61			
27	14 3 59.445	-12 35 7.70	11 43 53.93	12	17 14 42.834	-23 1 43.43	11 53 32.24			
28	14 7 50.488	-12 55 26.33	11 43 48.78	13	17 19 7.204	-23 6 15.50	11 54 0.23			
29	14 11 42.278	-13 15 32.86	11 43 44.38	14	17 23 31.923	-23 10 20.07	11 54 28.56			
30	14 15 34.819	-13 35 26.87	11 43 40.73	15	17 27 56.962	-23 13 57.00	11 54 57.20			
31	14 19 28.119	-13 55 7.93	11 43 37.84	16	17 32 22.294	-23 17 6.14	11 55 26.12			
Nov.	1	14 23 22.182	-14 14 35.64	11 43 35.72	17	17 36 47.889	-23 19 47.38	11 55 55.30		
	2	14 27 17.016	-14 33 49.57	11 43 34.37	18	17 41 13.716	-23 22 0.59	11 56 24.69		
	3	14 31 12.629	-14 52 49.33	11 43 33.82	19	17 45 39.745	-23 23 45.70	11 56 54.26		
	4	14 35 9.032	-15 11 34.51	11 43 34.06	20	17 50 5.945	-23 25 2.62	11 57 23.99		
	5	14 39 6.232	-15 30 4.72	11 43 35.10	21	17 54 32.282	-23 25 51.32	11 57 53.83		
	6	14 43 4.239	-15 48 19.57	11 43 36.96	22	17 58 58.718	-23 26 11.76	11 58 23.75		
	7	14 47 3.063	-16 6 18.67	11 43 39.63	23	18 3 25.216	-23 26 3.93	11 58 53.71		
	8	14 51 2.712	-16 24 1.62	11 43 43.14	24	18 7 51.735	-23 25 27.85	11 59 23.67		
	9	14 55 3.194	-16 41 28.05	11 43 47.48	25	18 12 18.233	-23 24 23.53	11 59 53.58		
	10	14 59 4.516	-16 58 37.57	11 43 52.66	26	18 16 44.667	-23 22 51.00	12 0 23.42		
	11	15 3 6.684	-17 15 29.78	11 43 58.69	27	18 21 10.997	-23 20 50.30	12 0 53.13		
	12	15 7 9.703	-17 32 4.31	11 44 5.57	28	18 25 37.185	-23 18 21.49	12 1 22.69		
	13	15 11 13.576	-17 48 20.77	11 44 13.30	29	18 30 3.193	-23 15 24.64	12 1 52.05		
	14	15 15 18.308	-18 4 18.76	11 44 21.89	30	18 34 28.988	-23 11 59.82	12 2 21.18		
	15	15 19 23.898	-18 19 57.91	11 44 31.34	31	18 38 54.537	-23 8 7.14	12 2 50.05		
	16	15 23 30.346	-18 35 17.80	11 44 41.65	32	18 43 19.806	-23 3 46.73	12 3 18.63		
	17	15 27 37.651	-18 50 18.06	11 44 52.82	33	18 47 44.765	-22 58 58.70	12 3 46.88		

SOLEIL 2011 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	0.15434381	-0.89105020	-0.38629167	Févr.	15	0.81671239	-0.50943544	-0.22085384
	1	0.17159537	-0.88837853	-0.38513295		16	0.82653247	-0.49624653	-0.21513688
	2	0.18879441	-0.88542911	-0.38385373		17	0.83609953	-0.48290678	-0.20935445
	3	0.20593520	-0.88220270	-0.38245437		18	0.84541119	-0.46942020	-0.20350827
	4	0.22301203	-0.87870027	-0.38093533		19	0.85446511	-0.45579074	-0.19760000
	5	0.24001921	-0.87492291	-0.37929711		20	0.86325894	-0.44202228	-0.19163129
	6	0.25695113	-0.87087191	-0.37754032		21	0.87179025	-0.42811869	-0.18560382
	7	0.27380223	-0.86654868	-0.37566559		22	0.88005658	-0.41408386	-0.17951928
	8	0.29056702	-0.86195479	-0.37367364		23	0.88805541	-0.39992175	-0.17337939
	9	0.30724012	-0.85709191	-0.37156519		24	0.89578421	-0.38563644	-0.16718596
	10	0.32381622	-0.85196183	-0.36934105		25	0.90324047	-0.37123212	-0.16094083
	11	0.34029010	-0.84656645	-0.36700204		26	0.91042173	-0.35671310	-0.15464591
	12	0.35665664	-0.84090773	-0.36454901		27	0.91732563	-0.34208381	-0.14830315
	13	0.37291080	-0.83498776	-0.36198288		28	0.92394988	-0.32734878	-0.14191456
14	0.38904763	-0.82880867	-0.35930455	Mars	1	0.93029236	-0.31251265	-0.13548218	
15	0.40506228	-0.82237270	-0.35651498	2	0.93635101	-0.29758013	-0.12900807		
16	0.42095002	-0.81568213	-0.35361513	3	0.94212397	-0.28255601	-0.12249435		
17	0.43670621	-0.80873930	-0.35060601	4	0.94760947	-0.26744512	-0.11594312		
18	0.45232633	-0.80154658	-0.34748859	5	0.95280590	-0.25225237	-0.10935653		
19	0.46780595	-0.79410635	-0.34426386	6	0.95771182	-0.23698269	-0.10273673		
20	0.48314072	-0.78642095	-0.34093281	7	0.96232591	-0.22164104	-0.09608587		
21	0.49832634	-0.77849272	-0.33749640	8	0.96664701	-0.20623241	-0.08940610		
22	0.51335852	-0.77032393	-0.33395557	9	0.97067410	-0.19076178	-0.08269959		
23	0.52823291	-0.76191687	-0.33031129	10	0.97440633	-0.17523415	-0.07596849		
24	0.54294512	-0.75327382	-0.32656453	11	0.97784297	-0.15965449	-0.06921493		
25	0.55749067	-0.74439710	-0.32271629	12	0.98098345	-0.14402777	-0.06244105		
26	0.57186503	-0.73528914	-0.31876763	13	0.98382733	-0.12835892	-0.05564895		
27	0.58606361	-0.72595247	-0.31471966	14	0.98637432	-0.11265284	-0.04884073		
28	0.60008181	-0.71638976	-0.31057356	15	0.98862426	-0.09691434	-0.04201843		
29	0.61391502	-0.70660382	-0.30633059	16	0.99057711	-0.08114819	-0.03518409		
30	0.62755866	-0.69659764	-0.30199207	17	0.99223294	-0.06535903	-0.02833968		
31	0.64100824	-0.68637431	-0.29755939	18	0.99359186	-0.04955143	-0.02148713		
Févr.	1	0.65425929	-0.67593711	-0.29303400	19	0.99465402	-0.03372981	-0.01462835	
	2	0.66730748	-0.66528941	-0.28841739	20	0.99541955	-0.01789852	-0.00776520	
	3	0.68014855	-0.65443474	-0.28371113	21	0.99588852	-0.00206186	-0.00089954	
	4	0.69277838	-0.64337674	-0.27891682	22	0.99606095	0.01377588	0.00596677	
	5	0.70519296	-0.63211912	-0.27403608	23	0.99593679	0.02961037	0.01283181	
	6	0.71738841	-0.62066572	-0.26907060	24	0.99551601	0.04543719	0.01969364	
	7	0.72936099	-0.60902042	-0.26402208	25	0.99479859	0.06125183	0.02655026	
	8	0.74110708	-0.59718719	-0.25889222	26	0.99378461	0.07704968	0.03339964	
	9	0.75262321	-0.58517005	-0.25368278	27	0.99247423	0.09282607	0.04023971	
	10	0.76390601	-0.57297306	-0.24839550	28	0.99086775	0.10857625	0.04706838	
	11	0.77495229	-0.56060035	-0.24303217	29	0.98896558	0.12429544	0.05388355	
	12	0.78575894	-0.54805606	-0.23759455	30	0.98676828	0.13997881	0.06068309	
	13	0.79632302	-0.53534436	-0.23208444	31	0.98427654	0.15562153	0.06746491	
	14	0.80664173	-0.52246943	-0.22650361	Avril	1	0.98149119	0.17121875	0.07422686

SOLEIL 2011 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z		
	ua	ua	ua		ua	ua	ua		
Avril	2	0.978 413 21	0.186 765 63	0.080 966 86	Mai	18	0.557 027 52	0.774 455 21	0.335 739 37
	3	0.975 043 69	0.202 257 32	0.087 682 80		19	0.542 875 91	0.783 095 23	0.339 485 75
	4	0.971 383 90	0.217 689 00	0.094 372 58		20	0.528 569 48	0.791 512 95	0.343 135 77
	5	0.967 435 21	0.233 055 89	0.101 034 14		21	0.514 111 96	0.799 706 09	0.346 688 41
	6	0.963 199 17	0.248 353 23	0.107 665 43		22	0.499 507 21	0.807 672 38	0.350 142 64
	7	0.958 677 43	0.263 576 30	0.114 264 42		23	0.484 759 14	0.815 409 51	0.353 497 44
	8	0.953 871 80	0.278 720 46	0.120 829 13		24	0.469 871 78	0.822 915 21	0.356 751 78
	9	0.948 784 20	0.293 781 13	0.127 357 60		25	0.454 849 26	0.830 187 22	0.359 904 69
	10	0.943 416 69	0.308 753 80	0.133 847 89		26	0.439 695 79	0.837 223 35	0.362 955 19
	11	0.937 771 43	0.323 634 06	0.140 298 15		27	0.424 415 68	0.844 021 45	0.365 902 35
	12	0.931 850 68	0.338 417 62	0.146 706 53		28	0.409 013 32	0.850 579 44	0.368 745 27
13	0.925 656 81	0.353 100 27	0.153 071 26	29	0.393 493 17	0.856 895 28	0.371 483 07		
14	0.919 192 22	0.367 677 96	0.159 390 61	30	0.377 859 81	0.862 967 04	0.374 114 93		
15	0.912 459 37	0.382 146 76	0.165 662 91	31	0.362 117 85	0.868 792 85	0.376 640 05		
16	0.905 460 69	0.396 502 87	0.171 886 53	Juin	1	0.346 272 03	0.874 370 93	0.379 057 68	
17	0.898 198 59	0.410 742 62	0.178 059 89	2	0.330 327 15	0.879 699 61	0.381 367 13		
18	0.890 675 40	0.424 862 37	0.184 181 40	3	0.314 288 07	0.884 777 31	0.383 567 75		
19	0.882 893 39	0.438 858 54	0.190 249 50	4	0.298 159 73	0.889 602 62	0.385 658 96		
20	0.874 854 74	0.452 727 53	0.196 262 58	5	0.281 947 11	0.894 174 25	0.387 640 23		
21	0.866 561 66	0.466 465 65	0.202 219 02	6	0.265 655 21	0.898 491 05	0.389 511 11		
22	0.858 016 35	0.480 069 19	0.208 117 16	7	0.249 289 04	0.902 552 03	0.391 271 20		
23	0.849 221 08	0.493 534 34	0.213 955 31	8	0.232 853 58	0.906 356 37	0.392 920 18		
24	0.840 178 24	0.506 857 26	0.219 731 76	9	0.216 353 77	0.909 903 39	0.394 457 77		
25	0.830 890 30	0.520 034 07	0.225 444 80	10	0.199 794 46	0.913 192 51	0.395 883 73		
26	0.821 359 88	0.533 060 89	0.231 092 73	11	0.183 180 42	0.916 223 31	0.397 197 88		
27	0.811 589 72	0.545 933 84	0.236 673 83	12	0.166 516 32	0.918 995 41	0.398 400 05		
28	0.801 582 65	0.558 649 08	0.242 186 43	13	0.149 806 73	0.921 508 50	0.399 490 08		
29	0.791 341 65	0.571 202 79	0.247 628 86	14	0.133 056 10	0.923 762 31	0.400 467 82		
30	0.780 869 80	0.583 591 17	0.252 999 48	15	0.116 268 83	0.925 756 52	0.401 333 10		
Mai	1	0.770 170 31	0.595 810 50	0.258 296 67	16	0.099 449 25	0.927 490 82	0.402 085 73	
2	0.759 246 48	0.607 857 09	0.263 518 83	17	0.082 601 72	0.928 964 85	0.402 725 52		
3	0.748 101 75	0.619 727 31	0.268 664 41	18	0.065 730 58	0.930 178 22	0.403 252 26		
4	0.736 739 66	0.631 417 60	0.273 731 88	19	0.048 840 25	0.931 130 53	0.403 665 75		
5	0.725 163 86	0.642 924 50	0.278 719 77	20	0.031 935 19	0.931 821 38	0.403 965 77		
6	0.713 378 12	0.654 244 62	0.283 626 64	21	0.015 019 94	0.932 250 40	0.404 152 16		
7	0.701 386 30	0.665 374 70	0.288 451 09	22	-0.001 900 89	0.932 417 28	0.404 224 75		
8	0.689 192 34	0.676 311 57	0.293 191 80	23	-0.018 822 62	0.932 321 73	0.404 183 43		
9	0.676 800 25	0.687 052 22	0.297 847 49	24	-0.035 740 54	0.931 963 55	0.404 028 11		
10	0.664 214 12	0.697 593 74	0.302 416 95	25	-0.052 649 85	0.931 342 60	0.403 758 72		
11	0.651 438 04	0.707 933 39	0.306 899 01	26	-0.069 545 73	0.930 458 84	0.403 375 26		
12	0.638 476 13	0.718 068 57	0.311 292 57	27	-0.086 423 30	0.929 312 27	0.402 877 75		
13	0.625 332 49	0.727 996 81	0.315 596 59	28	-0.103 277 63	0.927 903 01	0.402 266 25		
14	0.612 011 18	0.737 715 78	0.319 810 06	29	-0.120 103 74	0.926 231 26	0.401 540 89		
15	0.598 516 18	0.747 223 25	0.323 932 03	30	-0.136 896 62	0.924 297 34	0.400 701 83		
16	0.584 851 37	0.756 517 07	0.327 961 54	Juill.	1	-0.153 651 19	0.922 101 68	0.399 749 30	
17	0.571 020 57	0.765 595 10	0.331 897 64	2	-0.170 362 38	0.919 644 87	0.398 683 59		

SOLEIL 2011 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z		
	ua	ua	ua		ua	ua	ua		
Juill.	3	-0.187 025 09	0.916 927 63	0.397 505 04	Août	18	-0.824 906 99	0.538 454 48	0.233 435 77
	4	-0.203 634 26	0.913 950 85	0.396 214 08		19	-0.834 483 68	0.525 581 68	0.227 854 89
	5	-0.220 184 86	0.910 715 59	0.394 811 21		20	-0.843 823 61	0.512 558 40	0.222 208 65
	6	-0.236 671 96	0.907 223 05	0.393 296 96		21	-0.852 923 83	0.499 388 03	0.216 498 54
	7	-0.253 090 74	0.903 474 57	0.391 671 93		22	-0.861 781 42	0.486 074 00	0.210 726 07
	8	-0.269 436 49	0.899 471 59	0.389 936 74		23	-0.870 393 46	0.472 619 84	0.204 892 79
	9	-0.285 704 63	0.895 215 62	0.388 092 05		24	-0.878 757 05	0.459 029 14	0.199 000 30
	10	-0.301 890 74	0.890 708 24	0.386 138 51		25	-0.886 869 31	0.445 305 60	0.193 050 23
	11	-0.317 990 48	0.885 951 04	0.384 076 80		26	-0.894 727 40	0.431 453 01	0.187 044 26
	12	-0.333 999 64	0.880 945 61	0.381 907 56		27	-0.902 328 51	0.417 475 30	0.180 984 13
	13	-0.349 914 09	0.875 693 52	0.379 631 43		28	-0.909 669 91	0.403 376 51	0.174 871 62
	14	-0.365 729 71	0.870 196 32	0.377 249 04		29	-0.916 748 96	0.389 160 85	0.168 708 60
	15	-0.381 442 47	0.864 455 52	0.374 761 02		30	-0.923 563 17	0.374 832 63	0.162 496 95
	16	-0.397 048 27	0.858 472 62	0.372 167 96		31	-0.930 110 23	0.360 396 32	0.156 238 61
	17	-0.412 543 04	0.852 249 11	0.369 470 50		Sept. 1	-0.936 388 02	0.345 856 42	0.149 935 55
	18	-0.427 922 64	0.845 786 50	0.366 669 26		2	-0.942 394 66	0.331 217 49	0.143 589 70
	19	-0.443 182 93	0.839 086 30	0.363 764 88		3	-0.948 128 44	0.316 484 06	0.137 203 02
20	-0.458 319 69	0.832 150 09	0.360 758 04	4	-0.953 587 84	0.301 660 62	0.130 777 41		
21	-0.473 328 71	0.824 979 49	0.357 649 43	5	-0.958 771 44	0.286 751 60	0.124 314 74		
22	-0.488 205 72	0.817 576 19	0.354 439 80	6	-0.963 677 96	0.271 761 34	0.117 816 88		
23	-0.502 946 44	0.809 941 94	0.351 129 91	7	-0.968 306 16	0.256 694 14	0.111 285 63		
24	-0.517 546 59	0.802 078 59	0.347 720 58	8	-0.972 654 86	0.241 554 26	0.104 722 81		
25	-0.532 001 84	0.793 988 05	0.344 212 65	9	-0.976 722 93	0.226 345 87	0.098 130 21		
26	-0.546 307 87	0.785 672 30	0.340 607 01	10	-0.980 509 26	0.211 073 16	0.091 509 60		
27	-0.560 460 35	0.777 133 44	0.336 904 60	11	-0.984 012 75	0.195 740 27	0.084 862 78		
28	-0.574 454 91	0.768 373 67	0.333 106 40	12	-0.987 232 33	0.180 351 33	0.078 191 52		
29	-0.588 287 19	0.759 395 30	0.329 213 45	13	-0.990 166 96	0.164 910 49	0.071 497 61		
30	-0.601 952 86	0.750 200 79	0.325 226 86	14	-0.992 815 59	0.149 421 90	0.064 782 87		
31	-0.615 447 59	0.740 792 74	0.321 147 79	15	-0.995 177 20	0.133 889 75	0.058 049 10		
Août 1	-0.628 767 13	0.731 173 91	0.316 977 47	16	-0.997 250 80	0.118 318 23	0.051 298 15		
2	-0.641 907 34	0.721 347 23	0.312 717 20	17	-0.999 035 43	0.102 711 59	0.044 531 87		
3	-0.654 864 20	0.711 315 76	0.308 368 31	18	-1.000 530 15	0.087 074 12	0.037 752 14		
4	-0.667 633 86	0.701 082 66	0.303 932 20	19	-1.001 734 08	0.071 410 14	0.030 960 87		
5	-0.680 212 65	0.690 651 16	0.299 410 24	20	-1.002 646 35	0.055 724 03	0.024 159 98		
6	-0.692 597 04	0.680 024 55	0.294 803 86	21	-1.003 266 17	0.040 020 23	0.017 351 42		
7	-0.704 783 68	0.669 206 10	0.290 114 42	22	-1.003 592 76	0.024 303 26	0.010 537 19		
8	-0.716 769 34	0.658 199 08	0.285 343 33	23	-1.003 625 43	0.008 577 68	0.003 719 31		
9	-0.728 550 90	0.647 006 71	0.280 491 93	24	-1.003 363 56	-0.007 151 82	-0.003 100 17		
10	-0.740 125 30	0.635 632 19	0.275 561 58	25	-1.002 806 59	-0.022 880 46	-0.009 919 14		
11	-0.751 489 56	0.624 078 69	0.270 553 61	26	-1.001 954 13	-0.038 603 37	-0.016 735 45		
12	-0.762 640 69	0.612 349 32	0.265 469 34	27	-1.000 805 95	-0.054 315 55	-0.023 546 94		
13	-0.773 575 77	0.600 447 21	0.260 310 09	28	-0.999 362 00	-0.070 011 94	-0.030 351 41		
14	-0.784 291 84	0.588 375 46	0.255 077 17	29	-0.997 622 49	-0.085 687 47	-0.037 146 67		
15	-0.794 785 95	0.576 137 16	0.249 771 93	30	-0.995 587 86	-0.101 337 05	-0.043 930 54		
16	-0.805 055 16	0.563 735 45	0.244 395 70	Oct. 1	-0.993 258 74	-0.116 955 69	-0.050 700 89		
17	-0.815 096 49	0.551 173 49	0.238 949 85	2	-0.990 635 96	-0.132 538 49	-0.057 455 65		

SOLEIL 2011 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z
	ua	ua	ua		ua	ua	ua
Oct. 3	-0.987 720 45	-0.148 080 67	-0.064 192 79	Nov. 18	-0.565 382 56	-0.744 103 77	-0.322 584 31
4	-0.984 513 24	-0.163 577 56	-0.070 910 31	19	-0.550 906 73	-0.752 962 40	-0.326 424 94
5	-0.981 015 43	-0.179 024 59	-0.077 606 28	20	-0.536 260 61	-0.761 591 15	-0.330 165 74
6	-0.977 228 12	-0.194 417 27	-0.084 278 78	21	-0.521 448 37	-0.769 986 89	-0.333 805 35
7	-0.973 152 50	-0.209 751 18	-0.090 925 91	22	-0.506 474 36	-0.778 146 49	-0.337 342 41
8	-0.968 789 74	-0.225 021 93	-0.097 545 80	23	-0.491 343 10	-0.786 066 89	-0.340 775 61
9	-0.964 141 06	-0.240 225 21	-0.104 136 58	24	-0.476 059 29	-0.793 745 08	-0.344 103 68
10	-0.959 207 71	-0.255 356 71	-0.110 696 38	25	-0.460 627 81	-0.801 178 18	-0.347 325 40
11	-0.953 990 95	-0.270 412 17	-0.117 223 37	26	-0.445 053 73	-0.808 363 48	-0.350 439 64
12	-0.948 492 09	-0.285 387 32	-0.123 715 67	27	-0.429 342 19	-0.815 298 44	-0.353 445 36
13	-0.942 712 45	-0.300 277 93	-0.130 171 45	28	-0.413 498 42	-0.821 980 76	-0.356 341 59
14	-0.936 653 38	-0.315 079 75	-0.136 588 84	29	-0.397 527 65	-0.828 408 29	-0.359 127 45
15	-0.930 316 30	-0.329 788 53	-0.142 965 98	30	-0.381 435 11	-0.834 579 09	-0.361 802 13
16	-0.923 702 63	-0.344 400 01	-0.149 300 99	Déc. 1	-0.365 225 99	-0.840 491 32	-0.364 364 85
17	-0.916 813 85	-0.358 909 92	-0.155 592 00	2	-0.348 905 46	-0.846 143 31	-0.366 814 90
18	-0.909 651 51	-0.373 313 98	-0.161 837 11	3	-0.332 478 64	-0.851 533 46	-0.369 151 59
19	-0.902 217 18	-0.387 607 85	-0.168 034 42	4	-0.315 950 62	-0.856 660 26	-0.371 374 27
20	-0.894 512 52	-0.401 787 18	-0.174 182 01	5	-0.299 326 48	-0.861 522 31	-0.373 482 32
21	-0.886 539 26	-0.415 847 57	-0.180 277 93	6	-0.282 611 27	-0.866 118 25	-0.375 475 15
22	-0.878 299 22	-0.429 784 58	-0.186 320 23	7	-0.265 810 04	-0.870 446 82	-0.377 352 18
23	-0.869 794 32	-0.443 593 71	-0.192 306 94	8	-0.248 927 80	-0.874 506 83	-0.379 112 88
24	-0.861 026 62	-0.457 270 40	-0.198 236 06	9	-0.231 969 54	-0.878 297 12	-0.380 756 73
25	-0.851 998 38	-0.470 810 03	-0.204 105 58	10	-0.214 940 25	-0.881 816 62	-0.382 283 22
26	-0.842 712 02	-0.484 207 97	-0.209 913 50	11	-0.197 844 89	-0.885 064 28	-0.383 691 88
27	-0.833 170 24	-0.497 459 63	-0.215 657 85	12	-0.180 688 42	-0.888 039 10	-0.384 982 23
28	-0.823 375 93	-0.510 560 47	-0.221 336 70	13	-0.163 475 80	-0.890 740 09	-0.386 153 81
29	-0.813 332 18	-0.523 506 08	-0.226 948 18	14	-0.146 211 98	-0.893 166 31	-0.387 206 18
30	-0.803 042 26	-0.536 292 20	-0.232 490 49	15	-0.128 901 98	-0.895 316 79	-0.388 138 90
31	-0.792 509 52	-0.548 914 75	-0.237 961 91	16	-0.111 550 83	-0.897 190 62	-0.388 951 53
Nov. 1	-0.781 737 40	-0.561 369 78	-0.243 360 76	17	-0.094 163 64	-0.898 786 86	-0.389 643 67
2	-0.770 729 33	-0.573 653 52	-0.248 685 44	18	-0.076 745 59	-0.900 104 64	-0.390 214 91
3	-0.759 488 79	-0.585 762 28	-0.253 934 39	19	-0.059 301 98	-0.901 143 11	-0.390 664 89
4	-0.748 019 25	-0.597 692 48	-0.259 106 06	20	-0.041 838 21	-0.901 901 48	-0.390 993 28
5	-0.736 324 20	-0.609 440 62	-0.264 198 95	21	-0.024 359 79	-0.902 379 04	-0.391 199 79
6	-0.724 407 14	-0.621 003 28	-0.269 211 58	22	-0.006 872 37	-0.902 575 21	-0.391 284 21
7	-0.712 271 58	-0.632 377 07	-0.274 142 49	23	0.010 618 29	-0.902 489 56	-0.391 246 38
8	-0.699 921 05	-0.643 558 69	-0.278 990 22	24	0.028 106 36	-0.902 121 83	-0.391 086 25
9	-0.687 359 08	-0.654 544 88	-0.283 753 36	25	0.045 585 95	-0.901 471 98	-0.390 803 83
10	-0.674 589 24	-0.665 332 41	-0.288 430 49	26	0.063 051 19	-0.900 540 17	-0.390 399 24
11	-0.661 615 12	-0.675 918 10	-0.293 020 21	27	0.080 496 22	-0.899 326 74	-0.389 872 67
12	-0.648 440 30	-0.686 298 80	-0.297 521 12	28	0.097 915 29	-0.897 832 24	-0.389 224 38
13	-0.635 068 43	-0.696 471 38	-0.301 931 84	29	0.115 302 69	-0.896 057 36	-0.388 454 69
14	-0.621 503 15	-0.706 432 73	-0.306 250 99	30	0.132 652 84	-0.894 002 89	-0.387 563 94
15	-0.607 748 15	-0.716 179 75	-0.310 477 19	31	0.149 960 23	-0.891 669 77	-0.386 552 55
16	-0.593 807 17	-0.725 709 33	-0.314 609 06	32	0.167 219 43	-0.889 058 98	-0.385 420 94
17	-0.579 684 02	-0.735 018 37	-0.318 645 22	33	0.184 425 10	-0.886 171 62	-0.384 169 57

LUNE

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

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE 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 14 47 49.817	-20 13 27.97	376 664.345	Janv. 11	0 0 7 11.839	6 30 29.59	404 611.648
	6 15 2 4.148	-20 59 43.77	377 304.185		6 0 18 8.860	7 40 23.83	404 330.772
	12 15 16 24.348	-21 41 23.72	377 963.381		12 0 29 10.350	8 49 20.83	403 969.175
	18 15 30 49.753	-22 18 17.73	378 642.047		18 0 40 17.130	9 57 12.19	403 526.754
1	0 15 45 19.557	-22 50 17.04	379 340.266	12	0 0 51 30.009	11 3 49.22	403 003.802
	6 15 59 52.823	-23 17 14.36	380 058.064		6 1 2 49.782	12 9 2.92	402 401.022
	12 16 14 28.498	-23 39 4.00	380 795.380		12 1 14 17.222	13 12 43.88	401 719.533
	18 16 29 5.434	-23 55 41.98	381 552.036		18 1 25 53.081	14 14 42.28	400 960.879
2	0 16 43 42.410	-24 7 6.08	382 327.719	13	0 1 37 38.076	15 14 47.83	400 127.033
	6 16 58 18.161	-24 13 15.94	383 121.949		6 1 49 32.885	16 12 49.76	399 220.401
	12 17 12 51.401	-24 14 13.04	383 934.065		12 2 1 38.137	17 8 36.80	398 243.821
	18 17 27 20.856	-24 10 0.65	384 763.201		18 2 13 54.403	18 1 57.14	397 200.566
3	0 17 41 45.290	-24 0 43.84	385 608.276	14	0 2 26 22.184	18 52 38.50	396 094.333
	6 17 56 3.529	-23 46 29.30	386 467.980		6 2 39 1.897	19 40 28.10	394 929.244
	12 18 10 14.490	-23 27 25.28	387 340.764		12 2 51 53.862	20 25 12.73	393 709.832
	18 18 24 17.192	-23 3 41.39	388 224.837		18 3 4 58.310	21 6 38.86	392 441.028
4	0 18 38 10.778	-22 35 28.46	389 118.163	15	0 3 18 15.324	21 44 32.64	391 128.147
	6 18 51 54.525	-22 2 58.31	390 018.464		6 3 31 44.870	22 18 40.11	389 776.867
	12 19 5 27.848	-21 26 23.61	390 923.223		12 3 45 26.772	22 48 47.31	388 393.205
	18 19 18 50.302	-20 45 57.68	391 829.696		18 3 59 20.699	23 14 40.41	386 983.492
5	0 19 32 1.586	-20 1 54.27	392 734.919	16	0 4 13 26.164	23 36 5.99	385 554.336
	6 19 45 1.532	-19 14 27.42	393 635.725		6 4 27 42.520	23 52 51.19	384 112.593
	12 19 57 50.102	-18 23 51.30	394 528.761		12 4 42 8.967	24 4 43.96	382 665.321
	18 20 10 27.379	-17 30 20.08	395 410.504		18 4 56 44.553	24 11 33.30	381 219.742
6	0 20 22 53.555	-16 34 7.75	396 277.288	17	0 5 11 28.194	24 13 9.52	379 783.185
	6 20 35 8.921	-15 35 28.11	397 125.321		6 5 26 18.684	24 9 24.45	378 363.043
	12 20 47 13.858	-14 34 34.60	397 950.711		12 5 41 14.725	24 0 11.67	376 966.713
	18 20 59 8.823	-13 31 40.30	398 749.495		18 5 56 14.953	23 45 26.73	375 601.537
7	0 21 10 54.342	-12 26 57.84	399 517.663	18	0 6 11 17.962	23 25 7.28	374 274.741
	6 21 22 30.996	-11 20 39.39	400 251.183		6 6 26 22.346	22 59 13.18	372 993.377
	12 21 33 59.419	-10 12 56.63	400 946.033		12 6 41 26.723	22 27 46.64	371 764.251
	18 21 45 20.283	-9 4 0.77	401 598.226		18 6 56 29.772	21 50 52.19	370 593.869
8	0 21 56 34.295	-7 54 2.52	402 203.839	19	0 7 11 30.259	21 8 36.68	369 488.367
	6 22 7 42.191	-6 43 12.13	402 759.039		6 7 26 27.065	20 21 9.22	368 453.453
	12 22 18 44.729	-5 31 39.43	403 260.111		12 7 41 19.203	19 28 41.05	367 494.353
	18 22 29 42.686	-4 19 33.83	403 703.487		18 7 56 5.837	18 31 25.42	366 615.754
9	0 22 40 36.854	-3 7 4.36	404 085.764	20	0 8 10 46.291	17 29 37.39	365 821.762
	6 22 51 28.037	-1 54 19.75	404 403.741		6 8 25 20.054	16 23 33.67	365 115.857
	12 23 2 17.050	-0 41 28.44	404 654.430		12 8 39 46.780	15 13 32.37	364 500.865
	18 23 13 4.713	0 31 21.37	404 835.091		18 8 54 6.283	13 59 52.79	363 978.930
10	0 23 23 51.854	1 44 1.63	404 943.245	21	0 9 8 18.532	12 42 55.22	363 551.503
	6 23 34 39.302	2 56 24.44	404 976.700		6 9 22 23.638	11 23 0.71	363 219.336
	12 23 45 27.893	4 8 21.94	404 933.570		12 9 36 21.843	10 0 30.88	362 982.483
	18 23 56 18.461	5 19 46.29	404 812.293		18 9 50 13.505	8 35 47.72	362 840.319

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE 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	10 3 59.087	7 9 13.43	362 791.560	Févr.	2 0	20 7 53.260	-17 42 15.60	397 185.115
	6	10 17 39.136	5 41 10.24	362 834.297		6	20 20 15.695	-16 47 26.98	397 908.208
	12	10 31 14.275	4 12 0.31	362 966.035		12	20 32 28.368	-15 50 6.41	398 612.086
	18	10 44 45.185	2 42 5.58	363 183.744		18	20 44 31.587	-14 50 26.57	399 295.516
	23 0	10 58 12.594	1 11 47.71	363 483.906	3 0	20 56 25.726	-13 48 39.93	399 957.110	
	6	11 11 37.259	- 0 18 32.04	363 862.579	6	21 8 11.220	-12 44 58.73	400 595.324	
	12	11 24 59.960	- 1 48 32.85	364 315.458	12	21 19 48.558	-11 39 34.94	401 208.460	
	18	11 38 21.484	- 3 17 54.39	364 837.938	18	21 31 18.271	-10 32 40.19	401 794.671	
	24 0	11 51 42.613	- 4 46 16.86	365 425.176	4 0	21 42 40.931	- 9 24 25.83	402 351.968	
	6	12 5 4.116	- 6 13 21.03	366 072.163	6	21 53 57.144	- 8 15 2.85	402 878.229	
	12	12 18 26.738	- 7 38 48.23	366 773.782	12	22 5 7.540	- 7 4 41.92	403 371.212	
	18	12 31 51.183	- 9 2 20.38	367 524.872	18	22 16 12.777	- 5 53 33.37	403 828.567	
	25 0	12 45 18.113	-10 23 40.01	368 320.281	5 0	22 27 13.526	- 4 41 47.25	404 247.853	
	6	12 58 48.131	-11 42 30.26	369 154.925	6	22 38 10.480	- 3 29 33.26	404 626.555	
	12	13 12 21.771	-12 58 34.90	370 023.837	12	22 49 4.339	- 2 17 0.87	404 962.101	
	18	13 25 59.492	-14 11 38.31	370 922.205	18	22 59 55.817	- 1 4 19.26	405 251.884	
	26 0	13 39 41.663	-15 21 25.58	371 845.414	6 0	23 10 45.633	0 8 22.58	405 493.280	
	6	13 53 28.557	-16 27 42.48	372 789.080	6	23 21 34.514	1 20 55.89	405 683.677	
	12	14 7 20.340	-17 30 15.52	373 749.072	12	23 32 23.191	2 33 12.05	405 820.491	
	18	14 21 17.068	-18 28 51.98	374 721.537	18	23 43 12.398	3 45 2.55	405 901.191	
	27 0	14 35 18.675	-19 23 20.04	375 702.911	7 0	23 54 2.869	4 56 18.99	405 923.326	
	6	14 49 24.972	-20 13 28.76	376 689.932	6	0 4 55.339	6 6 53.01	405 884.549	
	12	15 3 35.646	-20 59 8.21	377 679.642	12	0 15 50.541	7 16 36.25	405 782.638	
	18	15 17 50.260	-21 40 9.54	378 669.387	18	0 26 49.203	8 25 20.31	405 615.527	
	28 0	15 32 8.256	-22 16 25.06	379 656.813	8 0	0 37 52.049	9 32 56.73	405 381.323	
	6	15 46 28.964	-22 47 48.31	380 639.854	6	0 48 59.792	10 39 16.92	405 078.338	
	12	16 0 51.609	-23 14 14.17	381 616.722	12	1 0 13.136	11 44 12.15	404 705.109	
	18	16 15 15.329	-23 35 38.86	382 585.885	18	1 11 32.768	12 47 33.47	404 260.423	
	29 0	16 29 39.186	-23 52 0.09	383 546.057	9 0	1 22 59.355	13 49 11.73	403 743.340	
	6	16 44 2.191	-24 3 16.98	384 496.166	6	1 34 33.542	14 48 57.49	403 153.218	
	12	16 58 23.318	-24 9 30.16	385 435.338	12	1 46 15.943	15 46 41.06	402 489.729	
	18	17 12 41.529	-24 10 41.74	386 362.868	18	1 58 7.136	16 42 12.40	401 752.888	
	30 0	17 26 55.797	-24 6 55.24	387 278.195	10 0	2 10 7.656	17 35 21.18	400 943.066	
	6	17 41 5.123	-23 58 15.61	388 180.872	6	2 22 17.987	18 25 56.72	400 061.013	
	12	17 55 8.559	-23 44 49.09	389 070.544	12	2 34 38.553	19 13 48.05	399 107.875	
	18	18 9 5.225	-23 26 43.13	389 946.916	18	2 47 9.709	19 58 43.87	398 085.206	
	31 0	18 22 54.326	-23 4 6.31	390 809.730	11 0	2 59 51.735	20 40 32.63	396 994.988	
	6	18 36 35.158	-22 37 8.21	391 658.734	6	3 12 44.821	21 19 2.53	395 839.638	
	12	18 50 7.125	-22 5 59.23	392 493.662	12	3 25 49.061	21 54 1.66	394 622.022	
	18	19 3 29.739	-21 30 50.53	393 314.208	18	3 39 4.445	22 25 17.98	393 345.460	
Févr.	1 0	19 16 42.624	-20 51 53.85	394 120.004	12 0	3 52 30.851	22 52 39.51	392 013.730	
	6	19 29 45.520	-20 9 21.39	394 910.601	6	4 6 8.036	23 15 54.42	390 631.072	
	12	19 42 38.272	-19 23 25.67	395 685.449	12	4 19 55.638	23 34 51.14	389 202.184	
	18	19 55 20.834	-18 34 19.45	396 443.884	18	4 33 53.172	23 49 18.55	387 732.218	

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE 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	4 48 0.030	23 59 6.11	386 226.768	Févr. 24 0	15 17 50.086	-21 27 15.47	374 245.060
6	5 2 15.491	24 4 4.09	384 691.858	6	15 32 25.258	-22 4 15.12	375 593.327
12	5 16 38.726	24 4 3.69	383 133.921	12	15 47 1.109	-22 36 8.32	376 946.207
18	5 31 8.813	23 58 57.27	381 559.775	18	16 1 36.797	-23 2 51.80	378 298.155
14 0	5 45 44.752	23 48 38.49	379 976.591	25 0	16 16 11.422	-23 24 23.87	379 644.001
6	6 0 25.486	23 33 2.52	378 391.861	6	16 30 44.041	-23 40 44.43	380 978.966
12	6 15 9.922	23 12 6.17	376 813.352	12	16 45 13.692	-23 51 54.89	382 298.664
18	6 29 56.953	22 45 47.99	375 249.061	18	16 59 39.409	-23 57 58.10	383 599.113
15 0	6 44 45.486	22 14 8.43	373 707.159	26 0	17 14 0.246	-23 58 58.35	384 876.730
6	6 59 34.461	21 37 9.90	372 195.930	6	17 28 15.296	-23 55 1.19	386 128.324
12	7 14 22.877	20 54 56.79	370 723.710	12	17 42 23.705	-23 46 13.36	387 351.090
18	7 29 9.812	20 7 35.54	369 298.810	18	17 56 24.692	-23 32 42.71	388 542.593
16 0	7 43 54.442	19 15 14.57	367 929.444	27 0	18 10 17.557	-23 14 38.01	389 700.751
6	7 58 36.052	18 18 4.27	366 623.652	6	18 24 1.694	-22 52 8.85	390 823.820
12	8 13 14.049	17 16 16.94	365 389.213	12	18 37 36.598	-22 25 25.54	391 910.366
18	8 27 47.971	16 10 6.68	364 233.569	18	18 51 1.867	-21 54 38.93	392 959.248
17 0	8 42 17.484	14 59 49.26	363 163.736	28 0	19 4 17.204	-21 20 0.32	393 969.591
6	8 56 42.387	13 45 42.05	362 186.231	6	19 17 22.416	-20 41 41.35	394 940.760
12	9 11 2.607	12 28 3.82	361 306.986	12	19 30 17.413	-19 59 53.89	395 872.333
18	9 25 18.191	11 7 14.60	360 531.284	18	19 43 2.200	-19 14 49.92	396 764.077
18 0	9 39 29.301	9 43 35.54	359 863.686	Mars 1 0	19 55 36.870	-18 26 41.50	397 615.918
6	9 53 36.200	8 17 28.74	359 307.982	6	20 8 1.601	-17 35 40.65	398 427.912
12	10 7 39.242	6 49 17.04	358 867.138	12	20 20 16.648	-16 41 59.31	399 200.226
18	10 21 38.863	5 19 23.93	358 543.265	18	20 32 22.331	-15 45 49.32	399 933.102
19 0	10 35 35.563	3 48 13.31	358 337.591	2 0	20 44 19.031	-14 47 22.32	400 626.842
6	10 49 29.895	2 16 9.36	358 250.456	6	20 56 7.181	-13 46 49.80	401 281.773
12	11 3 22.454	0 43 36.40	358 281.310	12	21 7 47.262	-12 44 23.01	401 898.234
18	11 17 13.860	- 0 49 1.30	358 428.733	18	21 19 19.792	-11 40 12.98	402 476.549
20 0	11 31 4.748	- 2 21 19.64	358 690.459	3 0	21 30 45.320	-10 34 30.53	403 017.006
6	11 44 55.753	- 3 52 54.82	359 063.423	6	21 42 4.426	- 9 27 26.22	403 519.846
12	11 58 47.499	- 5 23 23.47	359 543.808	12	21 53 17.711	- 8 19 10.43	403 985.236
18	12 12 40.584	- 6 52 22.80	360 127.110	18	22 4 25.793	- 7 9 53.29	404 413.265
21 0	12 26 35.570	- 8 19 30.64	360 808.203	4 0	22 15 29.307	- 5 59 44.74	404 803.924
6	12 40 32.970	- 9 44 25.62	361 581.419	6	22 26 28.896	- 4 48 54.52	405 157.102
12	12 54 33.237	-11 6 47.18	362 440.624	12	22 37 25.215	- 3 37 32.22	405 472.573
18	13 8 36.752	-12 26 15.75	363 379.307	18	22 48 18.923	- 2 25 47.24	405 749.992
22 0	13 22 43.811	-13 42 32.73	364 390.656	5 0	22 59 10.683	- 1 13 48.87	405 988.896
6	13 36 54.622	-14 55 20.64	365 467.646	6	23 10 1.160	- 0 1 46.27	406 188.696
12	13 51 9.289	-16 4 23.18	366 603.121	12	23 20 51.020	1 10 11.49	406 348.682
18	14 5 27.809	-17 9 25.26	367 789.867	18	23 31 40.929	2 21 55.41	406 468.029
23 0	14 19 50.067	-18 10 13.10	369 020.689	6 0	23 42 31.546	3 33 16.55	406 545.796
6	14 34 15.829	-19 6 34.29	370 288.478	6	23 53 23.532	4 44 6.02	406 580.940
12	14 48 44.747	-19 58 17.84	371 586.268	12	0 4 17.536	5 54 14.90	406 572.325
18	15 3 16.357	-20 45 14.23	372 907.300	18	0 15 14.205	7 3 34.28	406 518.730

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Mars 7 0	0 26 14.173	8 11 55.23	406418.867	Mars 18 0	10 9 18.642	6 35 15.09	359751.978
	6 0 37 18.064	9 19 8.73	406271.396		6 10 23 14.929	5 6 33.68	358949.468
	12 0 48 26.488	10 25 5.72	406074.940		12 10 37 11.079	3 36 21.61	358256.308
	18 0 59 40.037	11 29 37.03	405828.107		18 10 51 7.651	2 5 1.87	357677.499
	8 0 1 10 59.286	12 32 33.38	405529.506	19 0	11 5 5.228	0 32 58.17	357217.265
	6 1 22 24.782	13 33 45.38	405177.773		6 11 19 4.404	- 0 59 25.18	356878.988
	12 1 33 57.049	14 33 3.50	404771.591		12 11 33 5.776	- 2 31 43.47	356665.158
	18 1 45 36.575	15 30 18.06	404309.713		18 11 47 9.926	- 4 3 31.66	356577.338
	9 0 1 57 23.813	16 25 19.27	403790.987	20 0	12 1 17.409	- 5 34 24.61	356616.141
	6 2 9 19.173	17 17 57.15	403214.383		6 12 15 28.738	- 7 3 57.23	356781.218
	12 2 21 23.015	18 8 1.64	402579.014		12 12 29 44.372	- 8 31 44.64	357071.269
	18 2 33 35.647	18 55 22.53	401884.165		18 12 44 4.700	- 9 57 22.39	357484.057
10 0	2 45 57.315	19 39 49.53	401129.319	21 0	12 58 30.026	-11 20 26.60	358016.447
	6 2 58 28.198	20 21 12.29	400314.181		6 13 13 0.562	-12 40 34.22	358664.451
	12 3 11 8.404	20 59 20.44	399438.704		12 13 27 36.405	-13 57 23.16	359423.287
	18 3 23 57.961	21 34 3.64	398503.116		18 13 42 17.535	-15 10 32.50	360287.448
11 0	3 36 56.816	22 5 11.66	397507.942	22 0	13 57 3.805	-16 19 42.67	361250.779
	6 3 50 4.828	22 32 34.42	396454.032		6 14 11 54.928	-17 24 35.65	362306.559
	12 4 3 21.768	22 56 2.09	395342.578		12 14 26 50.482	-18 24 55.06	363447.590
	18 4 16 47.318	23 15 25.19	394175.142		18 14 41 49.903	-19 20 26.41	364666.284
12 0	4 30 21.072	23 30 34.66	392953.669	23 0	14 56 52.497	-20 10 57.10	365954.759
	6 4 44 2.539	23 41 21.98	391680.511		6 15 11 57.439	-20 56 16.65	367304.920
	12 4 57 51.147	23 47 39.28	390358.439		12 15 27 3.794	-21 36 16.67	368708.553
	18 5 11 46.256	23 49 19.45	388990.661		18 15 42 10.529	-22 10 50.95	370157.400
13 0	5 25 47.162	23 46 16.24	387580.825	24 0	15 57 16.537	-22 39 55.48	371643.243
	6 5 39 53.113	23 38 24.38	386133.032		6 16 12 20.655	-23 3 28.41	373157.969
	12 5 54 3.323	23 25 39.65	384651.837		12 16 27 21.694	-23 21 29.98	374693.640
	18 6 8 16.986	23 7 59.02	383142.250		18 16 42 18.465	-23 34 2.45	376242.547
14 0	6 22 33.292	22 45 20.70	381609.725	25 0	16 57 9.802	-23 41 9.96	377797.260
	6 6 36 51.448	22 17 44.21	380060.158		6 17 11 54.590	-23 42 58.40	379350.677
	12 6 51 10.688	21 45 10.45	378499.862		12 17 26 31.787	-23 39 35.21	380896.054
	18 7 5 30.293	21 7 41.77	376935.551		18 17 41 0.443	-23 31 9.23	382427.037
15 0	7 19 49.606	20 25 21.95	375374.306	26 0	17 55 19.714	-23 17 50.44	383937.688
	6 7 34 8.041	19 38 16.26	373823.546		6 18 9 28.879	-22 59 49.86	385422.496
	12 7 48 25.096	18 46 31.45	372290.980		12 18 23 27.343	-22 37 19.23	386876.395
	18 8 2 40.363	17 50 15.77	370784.561		18 18 37 14.642	-22 10 30.93	388294.765
16 0	8 16 53.528	16 49 38.95	369312.427	27 0	18 50 50.444	-21 39 37.75	389673.437
	6 8 31 4.383	15 44 52.17	367882.839		6 19 4 14.547	-21 4 52.71	391008.688
	12 8 45 12.817	14 36 8.04	366504.113		12 19 17 26.868	-20 26 28.97	392297.232
	18 8 59 18.823	13 23 40.55	365184.540		18 19 30 27.444	-19 44 39.68	393536.217
17 0	9 13 22.491	12 7 45.09	363932.306	28 0	19 43 16.413	-18 59 37.87	394723.205
	6 9 27 24.001	10 48 38.31	362755.408		6 19 55 54.014	-18 11 36.38	395856.158
	12 9 41 23.621	9 26 38.13	361661.565		12 20 8 20.567	-17 20 47.80	396933.423
	18 9 55 21.697	8 2 3.65	360658.124		18 20 20 36.471	-16 27 24.39	397953.707

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Mars	29 0	20 32 42.186	-15 31 38.12	398916.061	Avril	9 0	5 11 28.667	23 34 4.30	392416.536
	6	20 44 38.231	-14 33 40.56	399819.853		6	5 25 15.046	23 30 59.93	391322.478
	12	20 56 25.169	-13 33 42.96	400664.745		12	5 39 4.676	23 23 19.82	390190.536
	18	21 8 3.601	-12 31 56.19	401450.670		18	5 52 56.812	23 11 1.64	389022.217
	30 0	21 19 34.161	-11 28 30.79	402177.806		10 0	6 6 50.716	22 54 4.16	387819.345
	6	21 30 57.504	-10 23 36.99	402846.551		6	6 20 45.670	22 32 27.20	386584.075
	12	21 42 14.307	-9 17 24.71	403457.493		12	6 34 40.997	22 6 11.71	385318.917
	18	21 53 25.258	-8 10 3.60	404011.393		18	6 48 36.068	21 35 19.75	384026.751
	31 0	22 4 31.056	-7 1 43.08	404509.149		11 0	7 2 30.318	20 59 54.47	382710.835
	6	22 15 32.406	-5 52 32.36	404951.781		6	7 16 23.254	20 20 0.11	381374.820
	12	22 26 30.016	-4 42 40.48	405340.399		12	7 30 14.466	19 35 41.99	380022.751
	18	22 37 24.594	-3 32 16.35	405676.183		18	7 44 3.633	18 47 6.45	378659.070
Avril	1 0	22 48 16.847	-2 21 28.77	405960.358	12 0	7 57 50.526	17 54 20.88	377288.611	
	6	22 59 7.477	-1 10 26.45	406194.175	6	8 11 35.012	16 57 33.67	375916.589	
	12	23 9 57.183	0 0 41.90	406378.887	12	8 25 17.054	15 56 54.17	374548.590	
	18	23 20 46.654	1 11 47.61	406515.729	18	8 38 56.711	14 52 32.70	373190.545	
	2 0	23 31 36.575	2 22 42.00	406605.904	13 0	8 52 34.134	13 44 40.54	371848.703	
	6	23 42 27.617	3 33 16.31	406650.564	6	9 6 9.562	12 33 29.90	370529.602	
	12	23 53 20.443	4 43 21.73	406650.795	12	9 19 43.318	11 19 13.93	369240.020	
	18	0 4 15.700	5 52 49.38	406607.603	18	9 33 15.800	10 2 6.72	367986.935	
	3 0	0 15 14.022	7 1 30.24	406521.904	14 0	9 46 47.478	8 42 23.31	366777.466	
	6	0 26 16.025	8 9 15.18	406394.517	6	10 0 18.884	7 20 19.64	365618.814	
	12	0 37 22.305	9 15 54.92	406226.153	12	10 13 50.602	5 56 12.63	364518.193	
	18	0 48 33.437	10 21 20.04	406017.412	18	10 27 23.263	4 30 20.13	363482.764	
4 0	0 59 49.968	11 25 20.98	405768.779	15 0	10 40 57.533	3 3 0.92	362519.549		
6	1 11 12.419	12 27 48.00	405480.626	6	10 54 34.102	1 34 34.67	361635.361		
12	1 22 41.274	13 28 31.23	405153.209	12	11 8 13.675	0 5 21.96	360836.716		
18	1 34 16.982	14 27 20.63	404786.678	18	11 21 56.961	-1 24 15.79	360129.751		
5 0	1 45 59.950	15 24 6.05	404381.076	16 0	11 35 44.659	-2 53 56.39	359520.146		
6	1 57 50.536	16 18 37.22	403936.353	6	11 49 37.446	-4 23 16.94	359013.040		
12	2 9 49.047	17 10 43.80	403452.374	12	12 3 35.961	-5 51 53.94	358612.960		
18	2 21 55.731	18 0 15.38	402928.931	18	12 17 40.794	-7 19 23.41	358323.753		
6 0	2 34 10.773	18 47 1.54	402365.758	17 0	12 31 52.466	-8 45 21.03	358148.522		
6	2 46 34.292	19 30 51.91	401762.548	6	12 46 11.416	-10 9 22.30	358089.577		
12	2 59 6.333	20 11 36.20	401118.970	12	13 0 37.982	-11 31 2.78	358148.397		
18	3 11 46.862	20 49 4.26	400434.689	18	13 15 12.386	-12 49 58.24	358325.596		
7 0	3 24 35.767	21 23 6.17	399709.386	18 0	13 29 54.718	-14 5 44.95	358620.911		
6	3 37 32.856	21 53 32.31	398942.785	6	13 44 44.919	-15 17 59.88	359033.199		
12	3 50 37.852	22 20 13.42	398134.670	12	13 59 42.774	-16 26 21.03	359560.444		
18	4 3 50.397	22 43 0.70	397284.915	18	14 14 47.894	-17 30 27.64	360199.783		
8 0	4 17 10.055	23 1 45.90	396393.508	19 0	14 29 59.719	-18 30 0.49	360947.539		
6	4 30 36.315	23 16 21.38	395460.576	6	14 45 17.509	-19 24 42.13	361799.267		
12	4 44 8.602	23 26 40.22	394486.410	12	15 0 40.354	-20 14 17.18	362749.812		
18	4 57 46.280	23 32 36.28	393471.496	18	15 16 7.184	-20 58 32.49	363793.369		

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Avril 20	0 15 31 36.782	-21 37 17.33	364923.557	Mai 1	0 0 47 55.513	10 21 3.77	405354.513
	6 15 47 7.807	-22 10 23.54	366133.497		6 0 59 13.824	11 24 39.69	405066.616
	12 16 2 38.826	-22 37 45.60	367415.886		12 1 10 38.475	12 26 43.97	404733.808
	18 16 18 8.341	-22 59 20.66	368763.082		18 1 22 9.985	13 27 6.62	404358.369
21	0 16 33 34.825	-23 15 8.51	370167.186	2	0 1 33 48.825	14 25 37.43	403942.531
	6 16 48 56.760	-23 25 11.47	371620.120		6 1 45 35.415	15 22 5.96	403488.458
	12 17 4 12.671	-23 29 34.28	373113.707		12 1 57 30.120	16 16 21.55	402998.233
	18 17 19 21.158	-23 28 23.87	374639.743		18 2 9 33.240	17 8 13.39	402473.846
22	0 17 34 20.929	-23 21 49.18	376190.070	3	0 2 21 45.006	17 57 30.57	401917.180
	6 17 49 10.822	-23 10 0.85	377756.635		6 2 34 5.574	18 44 2.08	401330.003
	12 18 3 49.825	-22 53 10.96	379331.559		12 2 46 35.015	19 27 36.94	400713.961
	18 18 18 17.090	-22 31 32.77	380907.179		18 2 59 13.318	20 8 4.27	400070.573
23	0 18 32 31.939	-22 5 20.44	382476.105	4	0 3 12 0.376	20 45 13.34	399401.227
	6 18 46 33.865	-21 34 48.74	384031.255		6 3 24 55.992	21 18 53.70	398707.184
	12 19 0 22.533	-21 0 12.81	385565.893		12 3 37 59.870	21 48 55.26	397989.571
	18 19 13 57.768	-20 21 47.98	387073.658		18 3 51 11.618	22 15 8.44	397249.394
24	0 19 27 19.545	-19 39 49.55	388548.590	5	0 4 4 30.754	22 37 24.21	396487.542
	6 19 40 27.980	-18 54 32.61	389985.142		6 4 17 56.705	22 55 34.27	395704.793
	12 19 53 23.313	-18 6 11.97	391378.204		12 4 31 28.817	23 9 31.11	394901.830
	18 20 6 5.895	-17 15 2.01	392723.104		18 4 45 6.367	23 19 8.15	394079.252
25	0 20 18 36.171	-16 21 16.61	394015.615	6	0 4 58 48.570	23 24 19.78	393237.588
	6 20 30 54.668	-15 25 9.14	395251.961		6 5 12 34.596	23 25 1.48	392377.320
	12 20 43 1.982	-14 26 52.39	396428.810		12 5 26 23.586	23 21 9.88	391498.896
	18 20 54 58.766	-13 26 38.59	397543.268		18 5 40 14.669	23 12 42.78	390602.759
26	0 21 6 45.716	-12 24 39.39	398592.878	7	0 5 54 6.978	22 59 39.22	389689.359
	6 21 18 23.564	-11 21 5.92	399575.603		6 6 7 59.668	22 41 59.43	388759.186
	12 21 29 53.070	-10 16 8.77	400489.814		12 6 21 51.935	22 19 44.90	387812.790
	18 21 41 15.012	-9 9 58.07	401334.282		18 6 35 43.029	21 52 58.27	386850.807
27	0 21 52 30.183	-8 2 43.52	402108.153	8	0 6 49 32.271	21 21 43.37	385873.983
	6 22 3 39.385	-6 54 34.43	402810.936		6 7 3 19.063	20 46 5.10	384883.200
	12 22 14 43.421	-5 45 39.76	403442.486		12 7 17 2.901	20 6 9.43	383879.502
	18 22 25 43.097	-4 36 8.22	404002.976		18 7 30 43.379	19 22 3.27	382864.116
28	0 22 36 39.216	-3 26 8.26	404492.884	9	0 7 44 20.195	18 33 54.44	381838.476
	6 22 47 32.576	-2 15 48.18	404912.969		6 7 57 53.158	17 41 51.60	380804.244
	12 22 58 23.969	-1 5 16.14	405264.248		12 8 11 22.182	16 46 4.18	379763.327
	18 23 9 14.176	0 5 19.79	405547.972		18 8 24 47.287	15 46 42.28	378717.896
29	0 23 20 3.971	1 15 51.54	405765.605	10	0 8 38 8.600	14 43 56.68	377670.397
	6 23 30 54.115	2 26 11.03	405918.801		6 8 51 26.344	13 37 58.76	376623.562
	12 23 41 45.354	3 36 10.14	406009.376		12 9 4 40.835	12 29 0.47	375580.414
	18 23 52 38.421	4 45 40.61	406039.292		18 9 17 52.477	11 17 14.30	374544.271
30	0 0 3 34.032	5 54 34.07	406010.625	11	0 9 31 1.753	10 2 53.31	373518.740
	6 0 14 32.884	7 2 41.97	405925.547		6 9 44 9.218	8 46 11.07	372507.715
	12 0 25 35.652	8 9 55.57	405786.302		12 9 57 15.491	7 27 21.68	371515.358
	18 0 36 42.987	9 16 5.91	405595.184		18 10 10 21.248	6 6 39.81	370546.086

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Mai 12 0	10 23 27.211	4 44 20.72	369604.542	Mai 23 0	20 50 43.364	-13 38 20.40	393351.410
	6 10 36 34.141	3 20 40.23	368695.573		6 21 2 47.468	-12 35 42.86	394576.061
	12 10 49 42.829	1 55 54.79	367824.188		12 21 14 41.075	-11 31 29.44	395747.541
	18 11 2 54.090	0 30 21.51	366995.521		18 21 26 24.957	-10 25 52.11	396861.547
13 0	11 16 8.747	- 0 55 41.86	366214.787	24 0	21 37 59.919	- 9 19 2.18	397914.179
	6 11 29 27.624	- 2 21 56.89	365487.225		6 21 49 26.789	- 8 11 10.35	398901.950
	12 11 42 51.536	- 3 48 4.47	364818.051		12 22 0 46.412	- 7 2 26.75	399821.788
	18 11 56 21.275	- 5 13 44.86	364212.393		18 22 11 59.645	- 5 53 0.98	400671.037
14 0	12 9 57.599	- 6 38 37.66	363675.235	25 0	22 23 7.348	- 4 43 2.23	401447.457
	6 12 23 41.214	- 8 2 21.89	363211.349		6 22 34 10.386	- 3 32 39.24	402149.224
	12 12 37 32.763	- 9 24 36.08	362825.235		12 22 45 9.620	- 2 22 0.44	402774.918
	18 12 51 32.806	-10 44 58.31	362521.055		18 22 56 5.910	- 1 11 14.00	403323.522
15 0	13 5 41.805	-12 3 6.40	362302.571	26 0	23 7 0.106	- 0 0 27.85	403794.412
	6 13 20 0.106	-13 18 38.02	362173.087		6 23 17 53.052	1 10 10.19	404187.343
	12 13 34 27.921	-14 31 10.91	362135.395		12 23 28 45.581	2 20 32.41	404502.443
	18 13 49 5.308	-15 40 23.06	362191.723		18 23 39 38.515	3 30 31.14	404740.195
16 0	14 3 52.158	-16 45 52.97	362343.693	27 0	23 50 32.663	4 39 58.65	404901.425
	6 14 18 48.184	-17 47 19.90	362592.287		6 0 1 28.818	5 48 47.16	404987.285
	12 14 33 52.903	-18 44 24.19	362937.818		12 0 12 27.757	6 56 48.75	404999.237
	18 14 49 5.637	-19 36 47.51	363379.913		18 0 23 30.235	8 3 55.32	404939.035
17 0	15 4 25.512	-20 24 13.19	363917.503	28 0	0 34 36.989	9 9 58.56	404808.705
	6 15 19 51.462	-21 6 26.46	364548.827		6 0 45 48.727	10 14 49.92	404610.526
	12 15 35 22.242	-21 43 14.78	365271.438		12 0 57 6.130	11 18 20.54	404347.011
	18 15 50 56.452	-22 14 27.99	366082.227		18 1 8 29.843	12 20 21.28	404020.880
18 0	16 6 32.562	-22 39 58.54	366977.448	29 0	1 20 0.474	13 20 42.68	403635.046
	6 16 22 8.944	-22 59 41.60	367952.758		6 1 31 38.587	14 19 14.93	403192.582
	12 16 37 43.912	-23 13 35.10	369003.257		12 1 43 24.695	15 15 47.90	402696.707
	18 16 53 15.761	-23 21 39.76	370123.539		18 1 55 19.253	16 10 11.17	402150.756
19 0	17 8 42.809	-23 23 58.96	371307.746	30 0	2 7 22.650	17 2 14.02	401558.158
	6 17 24 3.438	-23 20 38.64	372549.630		6 2 19 35.206	17 51 45.45	400922.412
	12 17 39 16.129	-23 11 47.07	373842.606		12 2 31 57.158	18 38 34.31	400247.059
	18 17 54 19.496	-22 57 34.63	375179.825		18 2 44 28.656	19 22 29.28	399535.663
20 0	18 9 12.310	-22 38 13.48	376554.226	31 0	2 57 9.753	20 3 19.00	398791.783
	6 18 23 53.518	-22 13 57.30	377958.609		6 3 10 0.404	20 40 52.15	398018.951
	12 18 38 22.256	-21 45 0.97	379385.689		12 3 23 0.454	21 14 57.55	397220.649
	18 18 52 37.855	-21 11 40.22	380828.156		18 3 36 9.636	21 45 24.31	396400.286
21 0	19 6 39.835	-20 34 11.40	382278.736	Juin 1 0	3 49 27.574	22 12 1.91	395561.179
	6 19 20 27.904	-19 52 51.17	383730.238		6 4 2 53.777	22 34 40.38	394706.533
	12 19 34 1.944	-19 7 56.25	385175.606		12 4 16 27.648	22 53 10.44	393839.420
	18 19 47 22.000	-18 19 43.26	386607.965		18 4 30 8.485	23 7 23.59	392962.770
22 0	20 0 28.263	-17 28 28.50	388020.661	2 0	4 43 55.495	23 17 12.35	392079.349
	6 20 13 21.052	-16 34 27.83	389407.297		6 4 57 47.806	23 22 30.27	391191.754
	12 20 26 0.798	-15 37 56.57	390761.767		12 5 11 44.478	23 23 12.15	390302.400
	18 20 38 28.033	-14 39 9.41	392078.286		18 5 25 44.527	23 19 14.08	389413.514

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Juin 3	0	5 39 46.939	23 10 33.52	388 527.132	Juin 14	0	15 42 34.626	-21 59 20.40	369 070.925
	6	5 53 50.696	22 57 9.37	387 645.097		6	15 57 53.426	-22 27 14.44	369 604.141
	12	6 7 54.792	22 39 2.03	386 769.059		12	16 13 15.224	-22 49 38.18	370 204.256
	18	6 21 58.257	22 16 13.32	385 900.486		18	16 28 38.516	-23 6 26.23	370 870.244
4	0	6 36 0.180	21 48 46.52	385 040.664	15	0	16 44 1.721	-23 17 35.68	371 600.611
	6	6 49 59.717	21 16 46.32	384 190.711		6	16 59 23.215	-23 23 6.12	372 393.387
	12	7 3 56.118	20 40 18.73	383 351.590		12	17 14 41.372	-23 22 59.64	373 246.139
	18	7 17 48.732	19 59 30.99	382 524.124		18	17 29 54.602	-23 17 20.80	374 155.976
5	0	7 31 37.021	19 14 31.49	381 709.015	16	0	17 45 1.387	-23 6 16.44	375 119.567
	6	7 45 20.562	18 25 29.68	380 906.863		6	18 0 0.312	-22 49 55.52	376 133.167
	12	7 58 59.057	17 32 35.91	380 118.186		12	18 14 50.098	-22 28 28.95	377 192.637
	18	8 12 32.327	16 36 1.35	379 343.446		18	18 29 29.619	-22 2 9.25	378 293.480
6	0	8 26 0.317	15 35 57.90	378 583.073	17	0	18 43 57.921	-21 31 10.34	379 430.874
	6	8 39 23.087	14 32 38.06	377 837.487		6	18 58 14.230	-20 55 47.24	380 599.709
	12	8 52 40.809	13 26 14.84	377 107.127		12	19 12 17.954	-20 16 15.77	381 794.628
	18	9 5 53.758	12 17 1.72	376 392.471		18	19 26 8.683	-19 32 52.32	383 010.067
7	0	9 19 2.308	11 5 12.53	375 694.066	18	0	19 39 46.180	-18 45 53.57	384 240.301
	6	9 32 6.921	9 51 1.45	375 012.545		6	19 53 10.372	-17 55 36.29	385 479.482
	12	9 45 8.138	8 34 42.94	374 348.653		12	20 6 21.334	-17 2 17.11	386 721.688
	18	9 58 6.571	7 16 31.72	373 703.264		18	20 19 19.280	-16 6 12.41	387 960.959
8	0	10 11 2.894	5 56 42.75	373 077.400	19	0	20 32 4.543	-15 7 38.14	389 191.346
	6	10 23 57.834	4 35 31.24	372 472.242		6	20 44 37.558	-14 6 49.73	390 406.944
	12	10 36 52.162	3 13 12.65	371 889.143		12	20 56 58.854	-13 4 2.02	391 601.936
	18	10 49 46.685	1 50 2.70	371 329.634		18	21 9 9.034	-11 59 29.21	392 770.625
9	0	11 2 42.235	0 26 17.38	370 795.429	20	0	21 21 8.762	-10 53 24.83	393 907.471
	6	11 15 39.665	-0 57 47.01	370 288.423		6	21 32 58.754	-9 46 1.71	395 007.123
	12	11 28 39.832	-2 21 53.86	369 810.685		12	21 44 39.767	-8 37 32.02	396 064.446
	18	11 41 43.596	-3 45 46.19	369 364.452		18	21 56 12.588	-7 28 7.28	397 074.550
10	0	11 54 51.803	-5 9 6.69	368 952.112	21	0	22 7 38.030	-6 17 58.37	398 032.813
	6	12 8 5.279	-6 31 37.67	368 576.186		6	22 18 56.921	-5 7 15.61	398 934.908
	12	12 21 24.814	-7 53 1.07	368 239.307		12	22 30 10.100	-3 56 8.79	399 776.814
	18	12 34 51.152	-9 12 58.47	367 944.189		18	22 41 18.416	-2 44 47.19	400 554.841
11	0	12 48 24.978	-10 31 11.14	367 693.599	22	0	22 52 22.720	-1 33 19.71	401 265.640
	6	13 2 6.900	-11 47 20.06	367 490.322		6	23 3 23.861	-0 21 54.86	401 906.220
	12	13 15 57.437	-13 1 6.02	367 337.123		12	23 14 22.691	0 49 19.13	402 473.953
	18	13 29 56.998	-14 12 9.70	367 236.709		18	23 25 20.052	2 0 14.30	402 966.590
12	0	13 44 5.872	-15 20 11.79	367 191.682	23	0	23 36 16.782	3 10 42.82	403 382.260
	6	13 58 24.207	-16 24 53.15	367 204.503		6	23 47 13.712	4 20 37.03	403 719.479
	12	14 12 51.995	-17 25 54.96	367 277.445		12	23 58 11.662	5 29 49.27	403 977.155
	18	14 27 29.062	-18 22 58.97	367 412.550		18	0 9 11.438	6 38 11.93	404 154.583
13	0	14 42 15.053	-19 15 47.68	367 611.592	24	0	0 20 13.835	7 45 37.31	404 251.450
	6	14 57 9.427	-20 4 4.61	367 876.029		6	0 31 19.630	8 51 57.62	404 267.831
	12	15 12 11.454	-20 47 34.55	368 206.977		12	0 42 29.582	9 57 4.89	404 204.184
	18	15 27 20.218	-21 26 3.79	368 605.167		18	0 53 44.427	11 0 50.97	404 061.349

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Juin	25 0	1 5 4.874	12 3 7.44	403 840.535	Juill.	6 0	10 51 0.577	1 44 17.11	370 280.960
	6	1 16 31.603	13 3 45.64	403 543.318		6	11 4 1.369	0 20 0.93	370 068.986
	12	1 28 5.257	14 2 36.57	403 171.625		12	11 17 2.487	- 1 4 22.51	369 895.912
	18	1 39 46.438	14 59 30.93	402 727.728		18	11 30 4.736	- 2 28 35.98	369 760.650
	26 0	1 51 35.701	15 54 19.06	402 214.228	7 0	11 43 8.922	- 3 52 22.26	369 662.146	
	6	2 3 33.544	16 46 51.00	401 634.039	6	11 56 15.848	- 5 15 24.09	369 599.401	
	12	2 15 40.404	17 36 56.45	400 990.374	12	12 9 26.299	- 6 37 24.22	369 571.497	
	18	2 27 56.647	18 24 24.80	400 286.727	18	12 22 41.036	- 7 58 5.36	369 577.617	
	27 0	2 40 22.558	19 9 5.22	399 526.852	8 0	12 36 0.779	- 9 17 10.22	369 617.054	
	6	2 52 58.335	19 50 46.64	398 714.742	6	12 49 26.202	-10 34 21.54	369 689.232	
	12	3 5 44.082	20 29 17.89	397 854.606	12	13 2 57.914	-11 49 22.06	369 793.707	
	18	3 18 39.796	21 4 27.73	396 950.844	18	13 16 36.452	-13 1 54.61	369 930.172	
	28 0	3 31 45.365	21 36 5.00	396 008.023	9 0	13 30 22.265	-14 11 42.14	370 098.462	
	6	3 45 0.563	22 3 58.71	395 030.847	6	13 44 15.700	-15 18 27.78	370 298.540	
	12	3 58 25.045	22 27 58.20	394 024.128	12	13 58 16.989	-16 21 54.96	370 530.500	
	18	4 11 58.347	22 47 53.24	392 992.759	18	14 12 26.240	-17 21 47.49	370 794.545	
	29 0	4 25 39.888	23 3 34.25	391 941.679	10 0	14 26 43.418	-18 17 49.70	371 090.978	
	6	4 39 28.976	23 14 52.39	390 875.844	6	14 41 8.344	-19 9 46.56	371 420.180	
	12	4 53 24.816	23 21 39.79	389 800.193	12	14 55 40.682	-19 57 23.89	371 782.592	
	18	5 7 26.524	23 23 49.62	388 719.615	18	15 10 19.937	-20 40 28.48	372 178.687	
	30 0	5 21 33.138	23 21 16.33	387 638.916	11 0	15 25 5.454	-21 18 48.30	372 608.945	
	6	5 35 43.640	23 13 55.70	386 562.791	6	15 39 56.424	-21 52 12.69	373 073.831	
	12	5 49 56.974	23 1 44.99	385 495.785	12	15 54 51.892	-22 20 32.50	373 573.760	
	18	6 4 12.071	22 44 43.01	384 442.269	18	16 9 50.774	-22 43 40.28	374 109.072	
Juill.	1 0	6 18 27.867	22 22 50.19	383 406.407	12 0	16 24 51.871	-23 1 30.43	374 680.004	
	6	6 32 43.329	21 56 8.59	382 392.132	6	16 39 53.896	-23 13 59.28	375 286.660	
	12	6 46 57.474	21 24 41.91	381 403.119	12	16 54 55.501	-23 21 5.21	375 928.987	
	18	7 1 9.392	20 48 35.44	380 442.767	18	17 9 55.308	-23 22 48.64	376 606.750	
	2 0	7 15 18.261	20 7 56.05	379 514.175	13 0	17 24 51.934	-23 19 12.09	377 319.506	
	6	7 29 23.362	19 22 52.05	378 620.135	6	17 39 44.030	-23 10 20.06	378 066.589	
	12	7 43 24.088	18 33 33.12	377 763.111	12	17 54 30.302	-22 56 18.99	378 847.089	
	18	7 57 19.955	17 40 10.21	376 945.241	18	18 9 9.544	-22 37 17.12	379 659.839	
	3 0	8 11 10.605	16 42 55.36	376 168.328	14 0	18 23 40.658	-22 13 24.31	380 503.402	
	6	8 24 55.808	15 42 1.66	375 433.845	6	18 38 2.671	-21 44 51.89	381 376.071	
	12	8 38 35.456	14 37 43.01	374 742.939	12	18 52 14.750	-21 11 52.42	382 275.855	
	18	8 52 9.566	13 30 14.08	374 096.441	18	19 6 16.212	-20 34 39.49	383 200.488	
	4 0	9 5 38.270	12 19 50.16	373 494.879	15 0	19 20 6.524	-19 53 27.51	384 147.428	
	6	9 19 1.806	11 6 47.03	372 938.500	6	19 33 45.305	-19 8 31.48	385 113.865	
	12	9 32 20.516	9 51 20.86	372 427.284	12	19 47 12.322	-18 20 6.81	386 096.735	
	18	9 45 34.828	8 33 48.15	371 960.977	18	20 0 27.481	-17 28 29.12	387 092.727	
	5 0	9 58 45.253	7 14 25.65	371 539.110	16 0	20 13 30.817	-16 33 54.07	388 098.307	
	6	10 11 52.373	5 53 30.23	371 161.034	6	20 26 22.488	-15 36 37.22	389 109.731	
	12	10 24 56.831	4 31 18.93	370 825.946	12	20 39 2.755	-14 36 53.91	390 123.073	
	18	10 37 59.320	3 8 8.84	370 532.924	18	20 51 31.976	-13 34 59.15	391 134.244	

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Juill. 17	0 21 3 50.594	-12 31 7.53	392 139.017	Juill. 28	0 5 57 7.750	22 51 5.09	384 419.167
	6 21 15 59.119	-11 25 33.17	393 133.058		6 6 11 23.510	22 31 57.37	383 114.828
	12 21 27 58.125	-10 18 29.67	394 111.949		12 6 25 40.988	22 7 57.58	381 819.594
	18 21 39 48.234	- 9 10 10.08	395 071.220		18 6 39 59.230	21 39 6.93	380 539.820
18	0 21 51 30.111	- 8 0 46.90	396 006.376	29	0 6 54 17.321	21 5 28.24	379 281.782
	6 22 3 4.454	- 6 50 32.06	396 912.925		6 7 8 34.398	20 27 5.97	378 051.629
	12 22 14 31.986	- 5 39 36.96	397 786.409		12 7 22 49.670	19 44 6.22	376 855.332
	18 22 25 53.451	- 4 28 12.46	398 622.431		18 7 37 2.433	18 56 36.67	375 698.636
19	0 22 37 9.609	- 3 16 28.93	399 416.681	30	0 7 51 12.079	18 4 46.55	374 587.012
	6 22 48 21.230	- 2 4 36.26	400 164.969		6 8 5 18.106	17 8 46.55	373 525.611
	12 22 59 29.090	- 0 52 43.93	400 863.245		12 8 19 20.128	16 8 48.73	372 519.221
	18 23 10 33.970	0 18 58.96	401 507.627		18 8 33 17.870	15 5 6.42	371 572.224
20	0 23 21 36.653	1 30 23.64	402 094.424	31	0 8 47 11.176	13 57 54.10	370 688.564
	6 23 32 37.919	2 41 21.64	402 620.162		6 9 1 0.001	12 47 27.30	369 871.708
	12 23 43 38.546	3 51 44.71	403 081.601		12 9 14 44.411	11 34 2.43	369 124.630
	18 23 54 39.306	5 1 24.79	403 475.760		18 9 28 24.572	10 17 56.73	368 449.782
21	0 0 5 40.965	6 10 13.95	403 799.932	Août	1 0 9 42 0.747	8 59 28.08	367 849.085
	6 0 16 44.280	7 18 4.35	404 051.705		6 9 55 33.288	7 38 54.92	367 323.921
	12 0 27 49.996	8 24 48.16	404 228.978		12 10 9 2.621	6 16 36.14	366 875.134
	18 0 38 58.845	9 30 17.56	404 329.973		18 10 22 29.241	4 52 50.98	366 503.037
22	0 0 50 11.543	10 34 24.64	404 353.253	2	0 10 35 53.703	3 27 58.90	366 207.425
	6 1 1 28.788	11 37 1.41	404 297.731		6 10 49 16.607	2 2 19.55	365 987.602
	12 1 12 51.254	12 37 59.71	404 162.682		12 11 2 38.591	0 36 12.62	365 842.397
	18 1 24 19.589	13 37 11.21	403 947.753		18 11 16 0.322	- 0 50 2.16	365 770.209
23	0 1 35 54.411	14 34 27.38	403 652.971	3	0 11 29 22.483	- 2 16 5.13	365 769.038
	6 1 47 36.300	15 29 39.43	403 278.746		6 11 42 45.762	- 3 41 36.75	365 836.525
	12 1 59 25.796	16 22 38.33	402 825.882		12 11 56 10.846	- 5 6 17.65	365 970.003
	18 2 11 23.389	17 13 14.78	402 295.574		18 12 9 38.405	- 6 29 48.65	366 166.541
24	0 2 23 29.516	18 1 19.25	401 689.415	4	0 12 23 9.086	- 7 51 50.87	366 422.992
	6 2 35 44.549	18 46 41.92	401 009.391		6 12 36 43.499	- 9 12 5.72	366 736.044
	12 2 48 8.792	19 29 12.77	400 257.882		12 12 50 22.206	-10 30 14.93	367 102.265
	18 3 0 42.472	20 8 41.61	399 437.655		18 13 4 5.710	-11 46 0.68	367 518.156
25	0 3 13 25.730	20 44 58.07	398 551.862	5	0 13 17 54.445	-12 59 5.57	367 980.192
	6 3 26 18.615	21 17 51.77	397 604.026		6 13 31 48.763	-14 9 12.71	368 484.863
	12 3 39 21.079	21 47 12.29	396 598.036		12 13 45 48.924	-15 16 5.78	369 028.718
	18 3 52 32.970	22 12 49.35	395 538.128		18 13 59 55.083	-16 19 29.13	369 608.396
26	0 4 5 54.030	22 34 32.89	394 428.871	6	0 14 14 7.285	-17 19 7.81	370 220.658
	6 4 19 23.893	22 52 13.18	393 275.152		6 14 28 25.453	-18 14 47.72	370 862.416
	12 4 33 2.087	23 5 40.99	392 082.148		12 14 42 49.385	-19 6 15.65	371 530.750
	18 4 46 48.035	23 14 47.70	390 855.305		18 14 57 18.746	-19 53 19.46	372 222.927
27	0 5 0 41.065	23 19 25.45	389 600.310	7	0 15 11 53.072	-20 35 48.11	372 936.416
	6 5 14 40.416	23 19 27.32	388 323.059		6 15 26 31.770	-21 13 31.84	373 668.890
	12 5 28 45.251	23 14 47.45	387 029.626		12 15 41 14.123	-21 46 22.25	374 418.234
	18 5 42 54.676	23 5 21.15	385 726.224		18 15 55 59.303	-22 14 12.38	375 182.540

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Août 8 0	16 10 46.378	-22 36 56.85	375 960.106	Août 19 0	1 21 34.686	13 11 1.93	405 105.107
6	16 25 34.336	-22 54 31.89	376 749.421	6	1 33 5.311	14 8 23.74	404 980.856
12	16 40 22.099	-23 6 55.42	377 549.157	12	1 44 41.916	15 3 42.03	404 784.218
18	16 55 8.549	-23 14 7.06	378 358.153	18	1 56 24.986	15 56 48.32	404 513.891
9 0	17 9 52.548	-23 16 8.13	379 175.396	20 0	2 8 14.967	16 47 33.99	404 168.864
6	17 24 32.964	-23 13 1.66	380 000.002	6	2 20 12.261	17 35 50.32	403 748.436
12	17 39 8.695	-23 4 52.29	380 831.195	12	2 32 17.222	18 21 28.45	403 252.234
18	17 53 38.689	-22 51 46.19	381 668.281	18	2 44 30.148	19 4 19.44	402 680.230
10 0	18 8 1.966	-22 33 51.01	382 510.628	21 0	2 56 51.278	19 44 14.21	402 032.757
6	18 22 17.636	-22 11 15.68	383 357.640	6	3 9 20.785	20 21 3.67	401 310.519
12	18 36 24.911	-21 44 10.34	384 208.733	12	3 21 58.771	20 54 38.68	400 514.611
18	18 50 23.113	-21 12 46.13	385 063.312	18	3 34 45.264	21 24 50.11	399 646.525
11 0	19 4 11.688	-20 37 15.06	385 920.748	22 0	3 47 40.212	21 51 28.93	398 708.161
6	19 17 50.202	-19 57 49.87	386 780.355	6	4 0 43.481	22 14 26.26	397 701.835
12	19 31 18.344	-19 14 43.85	387 641.371	12	4 13 54.854	22 33 33.45	396 630.285
18	19 44 35.924	-18 28 10.68	388 502.940	18	4 27 14.030	22 48 42.15	395 496.673
12 0	19 57 42.864	-17 38 24.32	389 364.093	23 0	4 40 40.627	22 59 44.46	394 304.585
6	20 10 39.196	-16 45 38.89	390 223.735	6	4 54 14.184	23 6 32.96	393 058.035
12	20 23 25.052	-15 50 8.53	391 080.631	12	5 7 54.168	23 9 0.88	391 761.450
18	20 36 0.652	-14 52 7.30	391 933.401	18	5 21 39.981	23 7 2.17	390 419.671
13 0	20 48 26.300	-13 51 49.13	392 780.506	24 0	5 35 30.970	23 0 31.65	389 037.936
6	21 0 42.370	-12 49 27.72	393 620.248	6	5 49 26.438	22 49 25.04	387 621.865
12	21 12 49.300	-11 45 16.49	394 450.768	12	6 3 25.658	22 33 39.16	386 177.441
18	21 24 47.580	-10 39 28.55	395 270.044	18	6 17 27.886	22 13 11.95	384 710.984
14 0	21 36 37.746	- 9 32 16.64	396 075.894	25 0	6 31 32.376	21 48 2.57	383 229.125
6	21 48 20.374	- 8 23 53.12	396 865.986	6	6 45 38.397	21 18 11.49	381 738.770
12	21 59 56.068	- 7 14 29.99	397 637.839	12	6 59 45.245	20 43 40.53	380 247.062
18	22 11 25.461	- 6 4 18.82	398 388.839	18	7 13 52.259	20 4 32.91	378 761.337
15 0	22 22 49.202	- 4 53 30.81	399 116.248	26 0	7 27 58.835	19 20 53.26	377 289.079
6	22 34 7.958	- 3 42 16.77	399 817.220	6	7 42 4.434	18 32 47.68	375 837.864
12	22 45 22.407	- 2 30 47.15	400 488.814	12	7 56 8.594	17 40 23.67	374 415.303
18	22 56 33.233	- 1 19 12.03	401 128.014	18	8 10 10.939	16 43 50.20	373 028.986
16 0	23 7 41.126	- 0 7 41.18	401 731.746	27 0	8 24 11.179	15 43 17.62	371 686.409
6	23 18 46.779	1 3 35.94	402 296.899	6	8 38 9.119	14 38 57.62	370 394.917
12	23 29 50.883	2 14 30.13	402 820.344	12	8 52 4.655	13 31 3.25	369 161.628
18	23 40 54.126	3 24 52.47	403 298.958	18	9 5 57.776	12 19 48.77	367 993.367
17 0	23 51 57.194	4 34 34.20	403 729.644	28 0	9 19 48.561	11 5 29.66	366 896.599
6	0 3 0.766	5 43 26.78	404 109.355	6	9 33 37.173	9 48 22.50	365 877.356
12	0 14 5.513	6 51 21.80	404 435.116	12	9 47 23.856	8 28 44.91	364 941.179
18	0 25 12.094	7 58 10.96	404 704.048	18	10 1 8.924	7 6 55.44	364 093.056
18 0	0 36 21.160	9 3 46.03	404 913.391	29 0	10 14 52.758	5 43 13.51	363 337.365
6	0 47 33.344	10 7 58.83	405 060.526	6	10 28 35.793	4 17 59.26	362 677.829
12	0 58 49.265	11 10 41.22	405 143.000	12	10 42 18.513	2 51 33.49	362 117.478
18	1 10 9.520	12 11 44.99	405 158.546	18	10 56 1.436	1 24 17.55	361 658.617

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Août 30 0	11 9 45.110	- 0 3 26.82	361302.802	Sept. 10 0	21 24 1.013	-10 40 16.91	396982.438
6	11 23 30.096	- 1 31 17.56	361050.836	6	21 35 45.207	- 9 34 32.43	397736.991
12	11 37 16.964	- 2 58 52.40	360902.766	12	21 47 22.507	- 8 27 34.29	398464.487
18	11 51 6.274	- 4 25 49.04	360857.895	18	21 58 53.523	- 7 19 33.65	399164.549
31 0	12 4 58.570	- 5 51 45.21	360914.803	11 0	22 10 18.880	- 6 10 41.41	399836.729
6	12 18 54.368	- 7 16 18.83	361071.378	6	22 21 39.214	- 5 1 8.21	400480.494
12	12 32 54.139	- 8 39 8.09	361324.860	12	22 32 55.169	- 3 51 4.41	401095.215
18	12 46 58.304	- 9 59 51.63	361671.886	18	22 44 7.394	- 2 40 40.15	401680.158
Sept. 1 0	13 1 7.214	-11 18 8.62	362108.549	12 0	22 55 16.538	- 1 30 5.34	402234.480
6	13 15 21.146	-12 33 38.90	362630.457	6	23 6 23.251	- 0 19 29.68	402757.217
12	13 29 40.288	-13 46 3.11	363232.801	12	23 17 28.179	0 50 57.32	403247.291
18	13 44 4.726	-14 55 2.77	363910.420	18	23 28 31.960	2 1 6.31	403703.502
2 0	13 58 34.440	-16 0 20.48	364657.877	13 0	23 39 35.229	3 10 48.11	404124.537
6	14 13 9.294	-17 1 39.96	365469.521	6	23 50 38.608	4 19 53.66	404508.967
12	14 27 49.031	-17 58 46.20	366339.563	12	0 1 42.710	5 28 14.00	404855.260
18	14 42 33.271	-18 51 25.59	367262.135	18	0 12 48.137	6 35 40.30	405161.785
3 0	14 57 21.509	-19 39 26.00	368231.362	14 0	0 23 55.474	7 42 3.79	405426.825
6	15 12 13.122	-20 22 36.89	369241.411	6	0 35 5.289	8 47 15.76	405648.587
12	15 27 7.372	-21 0 49.36	370286.552	12	0 46 18.135	9 51 7.55	405825.216
18	15 42 3.421	-21 33 56.28	371361.200	18	0 57 54.541	10 53 30.56	405954.813
4 0	15 57 0.343	-22 1 52.27	372459.965	15 0	1 8 55.014	11 54 16.17	406035.449
6	16 11 57.139	-22 24 33.79	373577.683	6	1 20 20.033	12 53 15.82	406065.183
12	16 26 52.761	-22 41 59.08	374709.446	12	1 31 50.052	13 50 20.92	406042.084
18	16 41 46.130	-22 54 8.19	375850.632	18	1 43 25.489	14 45 22.91	405964.249
5 0	16 56 36.160	-23 1 2.91	376996.918	16 0	1 55 6.727	15 38 13.21	405829.824
6	17 11 21.781	-23 2 46.70	378144.298	6	2 6 54.110	16 28 43.27	405637.029
12	17 26 1.960	-22 59 24.60	379289.087	12	2 18 47.941	17 16 44.52	405384.177
18	17 40 35.721	-22 51 3.09	380427.924	18	2 30 48.472	18 2 8.46	405069.700
6 0	17 55 2.165	-22 37 50.02	381557.774	17 0	2 42 55.909	18 44 46.58	404692.170
6	18 9 20.483	-22 19 54.37	382675.917	6	2 55 10.403	19 24 30.46	404250.326
12	18 23 29.967	-21 57 26.19	383779.943	12	3 7 32.045	20 1 11.78	403743.094
18	18 37 30.021	-21 30 36.39	384867.733	18	3 20 0.871	20 34 42.32	403169.615
7 0	18 51 20.164	-20 59 36.61	385937.451	18 0	3 32 36.852	21 4 54.03	402529.266
6	19 5 0.032	-20 24 39.05	386987.518	6	3 45 19.897	21 31 39.06	401821.684
12	19 18 29.378	-19 45 56.36	388016.594	12	3 58 9.850	21 54 49.82	401046.789
18	19 31 48.067	-19 3 41.46	389023.558	18	4 11 6.493	22 14 19.03	400204.806
8 0	19 44 56.071	-18 18 7.50	390007.483	19 0	4 24 9.545	22 29 59.76	399296.290
6	19 57 53.460	-17 29 27.68	390967.609	6	4 37 18.670	22 41 45.52	398322.140
12	20 10 40.399	-16 37 55.20	391903.323	12	4 50 33.474	22 49 30.30	397283.624
18	20 23 17.133	-15 43 43.18	392814.128	18	5 3 53.518	22 53 8.64	396182.394
9 0	20 35 43.982	-14 47 4.61	393699.625	20 0	5 17 18.320	22 52 35.70	395020.506
6	20 48 1.331	-13 48 12.27	394559.481	6	5 30 47.368	22 47 47.31	393800.429
12	21 0 9.620	-12 47 18.71	395393.411	12	5 44 20.122	22 38 40.03	392525.063
18	21 12 9.338	-11 44 36.25	396201.151	18	5 57 56.035	22 25 11.23	391197.744

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Sept. 21 0	6 11 34.552	22 7 19.11	389 822.255	Oct. 2 0	16 39 23.369	-22 37 23.15	370 282.864
6	6 25 15.130	21 45 2.76	388 402.827	6	16 54 38.379	-22 45 6.15	371 658.993
12	6 38 57.243	21 18 22.20	386 944.140	12	17 9 47.378	-22 47 22.86	373 060.400
18	6 52 40.399	20 47 18.45	385 451.321	18	17 24 49.173	-22 44 20.12	374 479.994
22 0	7 6 24.142	20 11 53.48	383 929.934	3 0	17 39 42.665	-22 36 6.44	375 910.947
6	7 20 8.067	19 32 10.33	382 385.964	6	17 54 26.871	-22 22 51.83	377 346.745
12	7 33 51.827	18 48 13.09	380 825.807	12	18 9 0.938	-22 4 47.54	378 781.212
18	7 47 35.138	18 0 6.89	379 256.239	18	18 23 24.153	-21 42 5.83	380 208.543
23 0	8 1 17.785	17 7 58.00	377 684.388	4 0	18 37 35.947	-21 14 59.77	381 623.323
6	8 14 59.625	16 11 53.74	376 117.699	6	18 51 35.900	-20 43 43.01	383 020.540
12	8 28 40.592	15 12 2.58	374 563.893	12	19 5 23.733	-20 8 29.60	384 395.598
18	8 42 20.695	14 8 34.12	373 030.914	18	19 18 59.307	-19 29 33.76	385 744.316
24 0	8 56 0.018	13 1 39.06	371 526.879	5 0	19 32 22.609	-18 47 9.81	387 062.930
6	9 9 38.719	11 51 29.28	370 060.010	6	19 45 33.747	-18 1 31.98	388 348.089
12	9 23 17.027	10 38 17.77	368 638.574	12	19 58 32.937	-17 12 54.32	389 596.842
18	9 36 55.236	9 22 18.68	367 270.801	18	20 11 20.487	-16 21 30.62	390 806.626
25 0	9 50 33.704	8 3 47.29	365 964.814	6 0	20 23 56.790	-15 27 34.34	391 975.256
6	10 4 12.840	6 42 59.99	364 728.544	6	20 36 22.313	-14 31 18.58	393 100.901
12	10 17 53.105	5 20 14.30	363 569.644	12	20 48 37.579	-13 32 56.02	394 182.066
18	10 31 34.998	3 55 48.76	362 495.408	18	21 0 43.164	-12 32 38.95	395 217.570
26 0	10 45 19.050	2 30 2.95	361 512.683	7 0	21 12 39.682	-11 30 39.23	396 206.526
6	10 59 5.816	1 3 17.42	360 627.785	6	21 24 27.781	-10 27 8.35	397 148.309
12	11 12 55.861	- 0 24 6.40	359 846.425	12	21 36 8.131	- 9 22 17.38	398 042.539
18	11 26 49.752	- 1 51 46.29	359 173.629	18	21 47 41.422	- 8 16 17.03	398 889.051
27 0	11 40 48.048	- 3 19 19.34	358 613.677	8 0	21 59 8.355	- 7 9 17.68	399 687.868
6	11 54 51.281	- 4 46 22.07	358 170.041	6	22 10 29.638	- 6 1 29.42	400 439.180
12	12 8 59.951	- 6 12 30.58	357 845.345	12	22 21 45.982	- 4 53 2.05	401 143.310
18	12 23 14.505	- 7 37 20.72	357 641.325	18	22 32 58.097	- 3 44 5.12	401 800.699
28 0	12 37 35.327	- 9 0 28.26	357 558.810	9 0	22 44 6.690	- 2 34 48.00	402 411.869
6	12 52 2.722	-10 21 29.08	357 597.716	6	22 55 12.461	- 1 25 19.87	402 977.411
12	13 6 36.903	-11 39 59.37	357 757.047	12	23 6 16.102	- 0 15 49.75	403 497.952
18	13 21 17.973	-12 55 35.87	358 034.919	18	23 17 18.295	0 53 33.41	403 974.139
29 0	13 36 5.918	-14 7 56.08	358 428.590	10 0	23 28 19.706	2 2 40.78	404 406.617
6	13 51 0.590	-15 16 38.50	358 934.509	6	23 39 20.992	3 11 23.57	404 796.007
12	14 6 1.702	-16 21 22.86	359 548.364	12	23 50 22.789	4 19 33.04	405 142.891
18	14 21 8.819	-17 21 50.30	360 265.157	18	0 1 25.719	5 27 0.45	405 447.797
30 0	14 36 21.359	-18 17 43.68	361 079.269	11 0	0 12 30.382	6 33 37.07	405 711.181
6	14 51 38.590	-19 8 47.67	361 984.545	6	0 23 37.358	7 39 14.15	405 933.418
12	15 6 59.641	-19 54 49.01	362 974.374	12	0 34 47.202	8 43 42.91	406 114.789
18	15 22 23.509	-20 35 36.60	364 041.775	18	0 46 0.444	9 46 54.52	406 255.476
Oct. 1 0	15 37 49.081	-21 11 1.63	365 179.483	12 0	0 57 17.584	10 48 40.15	406 355.552
6	15 53 15.147	-21 40 57.66	366 380.037	6	1 8 39.092	11 48 50.88	406 414.979
12	16 8 40.432	-22 5 20.66	367 635.857	12	1 20 5.404	12 47 17.80	406 433.606
18	16 24 3.615	-22 24 8.94	368 939.327	18	1 31 36.916	13 43 51.94	406 411.170

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Oct. 13 0	1 43 13.985	14 38 24.35	406347.296	Oct. 24 0	11 15 45.190	- 0 48 54.66	362929.999
6	1 54 56.925	15 30 46.03	406241.504	6	11 29 25.232	- 2 14 11.44	361882.027
12	2 6 45.999	16 20 48.06	406093.213	12	11 43 11.802	- 3 39 29.37	360920.691
18	2 18 41.421	17 8 21.54	405901.754	18	11 57 5.556	- 5 4 26.76	360052.869
14 0	2 30 43.350	17 53 17.66	405666.376	25 0	12 11 7.105	- 6 28 41.09	359284.956
6	2 42 51.889	18 35 27.74	405386.263	6	12 25 17.000	- 7 51 49.06	358622.772
12	2 55 7.079	19 14 43.24	405060.545	12	12 39 35.718	- 9 13 26.75	358071.486
18	3 7 28.900	19 50 55.83	404688.315	18	12 54 3.640	-10 33 9.83	357635.539
15 0	3 19 57.270	20 23 57.46	404268.651	26 0	13 8 41.037	-11 50 33.69	357318.576
6	3 32 32.041	20 53 40.34	403800.627	6	13 23 28.046	-13 5 13.75	357123.391
12	3 45 13.006	21 19 57.07	403283.344	12	13 38 24.662	-14 16 45.66	357051.881
18	3 57 59.894	21 42 40.65	402715.943	18	13 53 30.710	-15 24 45.66	357105.017
16 0	4 10 52.376	22 1 44.56	402097.634	27 0	14 8 45.841	-16 28 50.82	357282.823
6	4 23 50.073	22 17 2.78	401427.716	6	14 24 9.519	-17 28 39.42	357584.375
12	4 36 52.553	22 28 29.87	400705.606	12	14 39 41.014	-18 23 51.25	358007.811
18	4 49 59.347	22 36 1.03	399930.861	18	14 55 19.402	-19 14 7.95	358550.356
17 0	5 3 9.951	22 39 32.09	399103.206	28 0	15 11 3.578	-19 59 13.30	359208.363
6	5 16 23.837	22 38 59.62	398222.558	6	15 26 52.261	-20 38 53.50	359977.359
12	5 29 40.463	22 34 20.89	397289.053	12	15 42 44.022	-21 12 57.40	360852.114
18	5 42 59.285	22 25 33.94	396303.073	18	15 58 37.309	-21 41 16.65	361826.707
18 0	5 56 19.762	22 12 37.61	395265.271	29 0	16 14 30.479	-22 3 45.83	362894.606
6	6 9 41.374	21 55 31.51	394176.595	6	16 30 21.840	-22 20 22.48	364048.751
12	6 23 3.627	21 34 16.03	393038.311	12	16 46 9.689	-22 31 7.07	365281.645
18	6 36 26.064	21 8 52.39	391852.029	18	17 1 52.350	-22 36 2.87	366585.439
19 0	6 49 48.278	20 39 22.56	390619.721	30 0	17 17 28.220	-22 35 15.78	367952.022
6	7 3 9.913	20 5 49.31	389343.741	6	17 32 55.801	-22 28 54.13	369373.111
12	7 16 30.677	19 28 16.17	388026.844	12	17 48 13.729	-22 17 8.38	370840.334
18	7 29 50.343	18 46 47.44	386672.196	18	18 3 20.803	-22 0 10.82	372345.306
20 0	7 43 8.756	18 1 28.15	385283.390	31 0	18 18 16.001	-21 38 15.23	373879.709
6	7 56 25.836	17 12 24.07	383864.451	6	18 32 58.487	-21 11 36.60	375435.359
12	8 9 41.579	16 19 41.69	382419.841	12	18 47 27.621	-20 40 30.77	377004.266
18	8 22 56.056	15 23 28.25	380954.459	18	19 1 42.951	-20 5 14.16	378578.692
21 0	8 36 9.413	14 23 51.73	379473.634	Nov. 1 0	19 15 44.210	-19 26 3.48	380151.197
6	8 49 21.873	13 21 0.83	377983.115	6	19 29 31.303	-18 43 15.50	381714.683
12	9 2 33.727	12 15 5.03	376489.056	12	19 43 4.293	-17 57 6.87	383262.428
18	9 15 45.335	11 6 14.59	374997.992	18	19 56 23.383	-17 7 53.93	384788.111
22 0	9 28 57.120	9 54 40.60	373516.807	2 0	20 9 28.905	-16 15 52.56	386285.840
6	9 42 9.565	8 40 34.98	372052.704	6	20 22 21.295	-15 21 18.14	387750.162
12	9 55 23.205	7 24 10.53	370613.156	12	20 35 1.084	-14 24 25.45	389176.079
18	10 8 38.623	6 5 40.98	369205.856	18	20 47 28.878	-13 25 28.59	390559.050
23 0	10 21 56.442	4 45 21.00	367838.661	3 0	20 59 45.344	-12 24 41.05	391894.997
6	10 35 17.320	3 23 26.26	366519.529	6	21 11 51.201	-11 22 15.63	393180.298
12	10 48 41.937	2 0 13.43	365256.441	12	21 23 47.203	-10 18 24.51	394411.780
18	11 2 10.992	0 36 0.21	364057.331	18	21 35 34.133	- 9 13 19.23	395586.717

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Nov. 4	0 21 47	12.791	- 8 7 10.80	396702.809	Nov. 15	0 6 37	0.432	20 59 18.76	393673.007
	6 21 58	43.992	- 7 0 9.65	397758.172		6 6 50	17.041	20 29 37.93	392749.382
	12 22 10	8.556	- 5 52 25.79	398751.320		12 7 3	31.576	19 56 2.34	391794.351
	18 22 21	27.302	- 4 44 8.75	399681.146		18 7 16	43.700	19 18 37.01	390808.330
5	0 22 32	41.048	- 3 35 27.74	400546.904	16	0 7 29	53.162	18 37 27.66	389791.915
	6 22 43	50.603	- 2 26 31.61	401348.181		6 7 42	59.792	17 52 40.68	388745.907
	12 22 54	56.767	- 1 17 28.99	402084.883		12 7 56	3.509	17 4 23.05	387671.338
	18 23 6	0.329	- 0 8 28.28	402757.205		18 8 9	4.318	16 12 42.32	386569.499
6	0 23 17	2.061	1 0 22.26	403365.606	17	0 8 22	2.313	15 17 46.57	385441.960
	6 23 28	2.720	2 8 54.51	403910.791		6 8 34	57.669	14 19 44.36	384290.593
	12 23 39	3.047	3 17 0.39	404393.680		12 8 47	50.646	13 18 44.72	383117.594
	18 23 50	3.760	4 24 31.83	404815.381		18 9 0	41.580	12 14 57.16	381925.497
7	0 0 1	5.556	5 31 20.77	405177.173	18	0 9 13	30.880	11 8 31.61	380717.190
	6 0 12	9.109	6 37 19.10	405480.473		6 9 26	19.028	9 59 38.49	379495.925
	12 0 23	15.069	7 42 18.63	405726.812		12 9 39	6.565	8 48 28.66	378265.325
	18 0 34	24.054	8 46 11.07	405917.817		18 9 51	54.092	7 35 13.50	377029.384
8	0 0 45	36.654	9 48 48.01	406055.178	19	0 10 4	42.264	6 20 4.91	375792.469
	6 0 56	53.426	10 50 0.93	406140.631		6 10 17	31.780	5 3 15.36	374559.308
	12 1 8	14.887	11 49 41.15	406175.934		12 10 30	23.380	3 44 57.92	373334.976
	18 1 19	41.516	12 47 39.87	406162.846		18 10 43	17.839	2 25 26.32	372124.878
9	0 1 31	13.747	13 43 48.16	406103.106	20	0 10 56	15.955	1 4 55.01	370934.723
	6 1 42	51.966	14 37 56.98	405998.415		6 11 9	18.545	- 0 16 20.83	369770.488
	12 1 54	36.506	15 29 57.19	405850.419		12 11 22	26.438	- 1 38 5.23	368638.382
	18 2 6	27.643	16 19 39.58	405660.690		18 11 35	40.460	- 3 0 1.36	367544.797
10	0 2 18	25.590	17 6 54.94	405430.717	21	0 11 49	1.427	- 4 21 51.57	366496.259
	6 2 30	30.500	17 51 34.06	405161.890		6 12 2	30.132	- 5 43 17.31	365499.367
	12 2 42	42.450	18 33 27.78	404855.491		12 12 16	7.333	- 7 3 59.20	364560.730
	18 2 55	1.451	19 12 27.11	404512.684		18 12 29	53.736	- 8 23 37.00	363686.896
11	0 3 7	27.435	19 48 23.21	404134.511	22	0 12 43	49.979	- 9 41 49.70	362884.279
	6 3 20	0.261	20 21 7.55	403721.888		6 12 57	56.614	-10 58 15.62	362159.084
	12 3 32	39.709	20 50 31.89	403275.600		12 13 12	14.089	-12 12 32.48	361517.227
	18 3 45	25.485	21 16 28.44	402796.305		18 13 26	42.728	-13 24 17.61	360964.257
12	0 3 58	17.223	21 38 49.89	402284.534	23	0 13 41	22.707	-14 33 8.12	360505.279
	6 4 11	14.486	21 57 29.51	401740.700		6 13 56	14.039	-15 38 41.11	360144.878
	12 4 24	16.777	22 12 21.20	401165.101		12 14 11	16.553	-16 40 34.03	359887.049
	18 4 37	23.540	22 23 19.60	400557.933		18 14 26	29.877	-17 38 24.88	359735.132
13	0 4 50	34.177	22 30 20.11	399919.300	24	0 14 41	53.428	-18 31 52.64	359691.758
	6 5 3	48.049	22 33 18.97	399249.230		6 14 57	26.405	-19 20 37.55	359758.799
	12 5 17	4.498	22 32 13.31	398547.690		12 15 13	7.786	-20 4 21.54	359937.330
	18 5 30	22.850	22 27 1.15	397814.604		18 15 28	56.340	-20 42 48.52	360227.605
14	0 5 43	42.434	22 17 41.44	397049.874	25	0 15 44	50.639	-21 15 44.76	360629.044
	6 5 57	2.593	22 4 14.07	396253.400		6 16 0	49.082	-21 42 59.17	361140.227
	12 6 10	22.698	21 46 39.87	395425.107		12 16 16	49.931	-22 4 23.50	361758.906
	18 6 23	42.158	21 25 0.56	394564.962		18 16 32	51.345	-22 19 52.56	362482.029

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Nov. 26	0	16 48 51.426	-22 29 24.27	363 305.775	Déc. 7	0	2 4 45.780	16 15 6.72	404 962.407
	6	17 4 48.268	-22 32 59.68	364 225.593		6	2 16 42.901	17 2 31.24	404 703.201
	12	17 20 40.003	-22 30 42.87	365 236.258		12	2 28 47.357	17 47 22.39	404 390.898
	18	17 36 24.846	-22 22 40.80	366 331.933		18	2 40 59.316	18 29 30.99	404 028.449
27	0	17 52 1.137	-22 9 3.06	367 506.237	8	0	2 53 18.874	19 8 47.89	403 618.856
	6	18 7 27.375	-21 50 1.58	368 752.315		6	3 5 46.042	19 45 3.97	403 165.144
	12	18 22 42.247	-21 25 50.31	370 062.914		12	3 18 20.745	20 18 10.27	402 670.345
	18	18 37 44.643	-20 56 44.82	371 430.463		18	3 31 2.821	20 47 58.01	402 137.468
28	0	18 52 33.669	-20 23 1.98	372 847.146	9	0	3 43 52.021	21 14 18.76	401 569.479
	6	19 7 8.652	-19 44 59.54	374 304.983		6	3 56 48.005	21 37 4.48	400 969.281
	12	19 21 29.128	-19 2 55.86	375 795.901		12	4 9 50.350	21 56 7.64	400 339.696
	18	19 35 34.841	-18 17 9.53	377 311.810		18	4 22 58.549	22 11 21.31	399 683.441
29	0	19 49 25.719	-17 27 59.15	378 844.663	10	0	4 36 12.024	22 22 39.27	399 003.116
	6	20 3 1.868	-16 35 43.08	380 386.523		6	4 49 30.128	22 29 56.12	398 301.188
	12	20 16 23.542	-15 40 39.22	381 929.623		12	5 2 52.161	22 33 7.33	397 579.977
	18	20 29 31.131	-14 43 4.91	383 466.412		18	5 16 17.379	22 32 9.35	396 841.646
30	0	20 42 25.137	-13 43 16.81	384 989.604	11	0	5 29 45.009	22 26 59.65	396 088.194
	6	20 55 6.159	-12 41 30.80	386 492.223		6	5 43 14.265	22 17 36.79	395 321.447
	12	21 7 34.873	-11 38 1.93	387 967.630		12	5 56 44.359	22 4 0.41	394 543.057
	18	21 19 52.018	-10 33 4.47	389 409.562		18	6 10 14.523	21 46 11.31	393 754.502
Déc. 1	0	21 31 58.380	- 9 26 51.83	390 812.150	12	0	6 23 44.018	21 24 11.38	392 957.087
	6	21 43 54.783	- 8 19 36.65	392 169.943		6	6 37 12.153	20 58 3.63	392 151.945
	12	21 55 42.077	- 7 11 30.79	393 477.919		12	6 50 38.295	20 27 52.12	391 340.053
	18	22 7 21.127	- 6 2 45.42	394 731.503		18	7 4 1.881	19 53 41.91	390 522.237
2	0	22 18 52.810	- 4 53 31.03	395 926.566	13	0	7 17 22.429	19 15 39.04	389 699.182
	6	22 30 18.005	- 3 43 57.55	397 059.436		6	7 30 39.543	18 33 50.41	388 871.456
	12	22 41 37.591	- 2 34 14.35	398 126.892		12	7 43 52.918	17 48 23.73	388 039.522
	18	22 52 52.440	- 1 24 30.36	399 126.163		18	7 57 2.347	16 59 27.45	387 203.756
3	0	23 4 3.416	- 0 14 54.12	400 054.928	14	0	8 10 7.720	16 7 10.65	386 364.478
	6	23 15 11.370	0 54 26.17	400 911.298		6	8 23 9.022	15 11 43.00	385 521.965
	12	23 26 17.139	2 3 22.55	401 693.813		12	8 36 6.333	14 13 14.69	384 676.485
	18	23 37 21.546	3 11 47.28	402 401.431		18	8 48 59.826	13 11 56.33	383 828.318
4	0	23 48 25.392	4 19 32.74	403 033.506	15	0	9 1 49.760	12 7 58.94	382 977.784
	6	23 59 29.462	5 26 31.42	403 589.783		6	9 14 36.477	11 1 33.87	382 125.271
	12	0 10 34.515	6 32 35.80	404 070.372		12	9 27 20.398	9 52 52.80	381 271.265
	18	0 21 41.288	7 37 38.38	404 475.735		18	9 40 2.011	8 42 7.68	380 416.369
5	0	0 32 50.492	8 41 31.57	404 806.667	16	0	9 52 41.873	7 29 30.73	379 561.337
	6	0 44 2.808	9 44 7.72	405 064.273		6	10 5 20.599	6 15 14.46	378 707.096
	12	0 55 18.886	10 45 19.00	405 249.947		12	10 17 58.854	4 59 31.63	377 854.765
	18	1 6 39.340	11 44 57.48	405 365.352		18	10 30 37.351	3 42 35.30	377 005.682
6	0	1 18 4.744	12 42 55.02	405 412.398	17	0	10 43 16.842	2 24 38.84	376 161.415
	6	1 29 35.632	13 39 3.30	405 393.213		6	10 55 58.112	1 5 55.95	375 323.784
	12	1 41 12.489	14 33 13.83	405 310.127		12	11 8 41.971	- 0 13 19.30	374 494.864
	18	1 52 55.746	15 25 17.91	405 165.641		18	11 21 29.248	- 1 32 52.43	373 676.998

LUNE 2011 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Déc. 18	0 11 34 20.781	- 2 52 28.53	372 872.800	Déc. 26	0 19 25 4.435	-18 52 46.38	374 531.344
	6 11 47 17.411	- 4 11 52.20	372 085.149		6 19 39 18.468	-18 5 31.99	375 734.092
	12 12 0 19.972	- 5 30 47.55	371 317.185		12 19 53 18.834	-17 14 46.91	376 980.691
	18 12 13 29.279	- 6 48 58.16	370 572.295		18 20 7 5.440	-16 20 49.82	378 264.772
19	0 12 26 46.119	- 8 6 7.05	369 854.100	27	0 20 20 38.353	-15 23 59.24	379 579.736
	6 12 40 11.237	- 9 21 56.72	369 166.426		6 20 33 57.785	-14 24 33.36	380 918.816
	12 12 53 45.321	-10 36 9.12	368 513.281		12 20 47 4.076	-13 22 49.91	382 275.128
	18 13 7 28.988	-11 48 25.72	367 898.818		18 20 59 57.677	-12 19 5.98	383 641.731
20	0 13 21 22.768	-12 58 27.56	367 327.297	28	0 21 12 39.132	-11 13 37.99	385 011.677
	6 13 35 27.083	-14 5 55.33	366 803.044		6 21 25 9.061	-10 6 41.57	386 378.065
	12 13 49 42.235	-15 10 29.51	366 330.398		12 21 37 28.148	- 8 58 31.58	387 734.090
	18 14 4 8.382	-16 11 50.48	365 913.667		18 21 49 37.128	- 7 49 22.04	389 073.084
21	0 14 18 45.522	-17 9 38.76	365 557.064	29	0 22 1 36.773	- 6 39 26.20	390 388.565
	6 14 33 33.480	-18 3 35.19	365 264.659		6 22 13 27.885	- 5 28 56.50	391 674.269
	12 14 48 31.888	-18 53 21.18	365 040.317		12 22 25 11.286	- 4 18 4.65	392 924.190
	18 15 3 40.183	-19 38 39.00	364 887.639		18 22 36 47.809	- 3 7 1.65	394 132.607
22	0 15 18 57.598	-20 19 12.07	364 809.907	30	0 22 48 18.296	- 1 55 57.88	395 294.116
	6 15 34 23.162	-20 54 45.27	364 810.027		6 22 59 43.591	- 0 45 3.11	396 403.649
	12 15 49 55.710	-21 25 5.20	364 890.476		12 23 11 4.533	0 25 33.41	397 456.502
	18 16 5 33.899	-21 50 0.54	365 053.259		18 23 22 21.957	1 35 42.90	398 448.344
23	0 16 21 16.229	-22 9 22.24	365 299.858	31	0 23 33 36.689	2 45 16.96	399 375.240
	6 16 37 1.072	-22 23 3.79	365 631.205		6 23 44 49.544	3 54 7.54	400 233.653
	12 16 52 46.711	-22 31 1.32	366 047.643		12 23 56 1.320	5 2 6.85	401 020.463
	18 17 8 31.377	-22 33 13.77	366 548.912		18 0 7 12.803	6 9 7.31	401 732.966
24	0 17 24 13.293	-22 29 42.86	367 134.131	32	0 0 18 24.758	7 15 1.50	402 368.879
	6 17 39 50.716	-22 20 33.05	367 801.792		6 0 29 37.930	8 19 42.07	402 926.345
	12 17 55 21.979	-22 5 51.44	368 549.770		12 0 40 53.043	9 23 1.74	403 403.927
	18 18 10 45.527	-21 45 47.59	369 375.326		18 0 52 10.794	10 24 53.22	403 800.610
25	0 18 25 59.951	-21 20 33.22	370 275.131	33	0 1 3 31.852	11 25 9.17	404 115.796
	6 18 41 4.009	-20 50 22.02	371 245.295		6 1 14 56.854	12 23 42.16	404 349.295
	12 18 55 56.647	-20 15 29.27	372 281.398		12 1 26 26.404	13 20 24.65	404 501.318
	18 19 10 37.008	-19 36 11.54	373 378.531		18 1 38 1.066	14 15 8.98	404 572.472

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 vraie 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 2011 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	150 39 9.88	6 50 38.88	0.34980969	Févr.	15	299 28 45.12	- 6 37 57.37	0.43742994
	1	155 30 40.40	6 41 38.97	0.35543271		16	302 39 49.96	- 6 44 49.24	0.43341573
	2	160 12 49.21	6 30 12.50	0.36115682		17	305 54 40.45	- 6 50 32.49	0.42917377
	3	164 45 53.18	6 16 38.64	0.36694136		18	309 13 34.77	- 6 55 1.96	0.42471315
	4	169 10 12.66	6 1 15.33	0.37274886		19	312 36 51.83	- 6 58 12.01	0.42004412
	5	173 26 10.52	5 44 19.04	0.37854511		20	316 4 51.23	- 6 59 56.55	0.41517832
	6	177 34 11.30	5 26 4.72	0.38429898		21	319 37 53.28	- 7 0 8.97	0.41012888
	7	181 34 40.49	5 6 45.79	0.38998235		22	323 16 18.97	- 6 58 42.22	0.40491059
	8	185 28 4.01	4 46 34.15	0.39556990		23	327 0 29.85	- 6 55 28.77	0.39954012
	9	189 14 47.74	4 25 40.33	0.40103890		24	330 50 47.97	- 6 50 20.70	0.39403618
	10	192 55 17.23	4 4 13.54	0.40636905		25	334 47 35.74	- 6 43 9.71	0.38841972
	11	196 29 57.45	3 42 21.84	0.41154221		26	338 51 15.69	- 6 33 47.28	0.38271416
	12	199 59 12.60	3 20 12.19	0.41654227		27	343 2 10.24	- 6 22 4.80	0.37694559
	13	203 23 26.05	2 57 50.66	0.42135489		28	347 20 41.34	- 6 7 53.77	0.37114294
14	206 43 0.23	2 35 22.47	0.42596739	Mars	1	351 47 10.04	- 5 51 6.07	0.36533817	
15	209 58 16.65	2 12 52.11	0.43036853	2	356 21 55.97	- 5 31 34.36	0.35956640		
16	213 9 35.86	1 50 23.48	0.43454837	3	3 1 5 16.68	- 5 9 12.44	0.35386597		
17	216 17 17.50	1 27 59.90	0.43849816	4	5 57 26.90	- 4 43 55.82	0.34827843		
18	219 21 40.30	1 5 44.27	0.44221019	5	10 58 37.65	- 4 15 42.33	0.34284840		
19	222 23 2.19	0 43 39.07	0.44567770	6	16 8 55.26	- 3 44 32.79	0.33762330		
20	225 21 40.27	0 21 46.47	0.44889474	7	21 28 20.28	- 3 10 31.74	0.33265292		
21	228 17 50.94	0 0 8.34	0.45185613	8	26 56 46.40	- 2 33 48.19	0.32798872		
22	231 11 49.90	- 0 21 13.65	0.45455737	9	32 33 59.27	- 1 54 36.20	0.32368296		
23	234 3 52.26	- 0 42 18.02	0.45699454	10	38 19 35.50	- 1 13 15.45	0.31978760		
24	236 54 12.58	- 1 3 3.47	0.45916430	11	44 13 1.76	- 0 30 11.45	0.31635294		
25	239 43 4.91	- 1 23 28.76	0.46106378	12	50 13 34.23	0 14 4.58	0.31342614		
26	242 30 42.89	- 1 43 32.78	0.46269056	13	56 20 18.42	0 58 56.28	0.31104955		
27	245 17 19.78	- 2 3 14.45	0.46404265	14	62 32 9.52	1 43 43.12	0.30925913		
28	248 3 8.52	- 2 22 32.73	0.46511844	15	68 47 53.33	2 27 41.96	0.30808294		
29	250 48 21.82	- 2 41 26.60	0.46591668	16	75 6 7.84	3 10 8.89	0.30753989		
30	253 33 12.15	- 2 59 55.01	0.46643646	17	81 25 25.39	3 50 21.31	0.30763881		
31	256 17 51.85	- 3 17 56.90	0.46667718	18	87 44 15.28	4 27 40.04	0.30837810		
Févr.	1	259 2 33.17	- 3 35 31.13	0.46663858	19	94 1 6.72	5 1 31.19	0.30974574	
	2	261 47 28.30	- 3 52 36.53	0.46632070	20	100 14 31.84	5 31 27.66	0.31171990	
	3	264 32 49.45	- 4 9 11.80	0.46572390	21	106 23 8.47	5 57 9.98	0.31426993	
	4	267 18 48.87	- 4 25 15.57	0.46484885	22	112 25 42.55	6 18 26.71	0.31735776	
	5	270 5 38.95	- 4 40 46.33	0.46369656	23	118 21 10.00	6 35 14.10	0.32093935	
	6	272 53 32.21	- 4 55 42.43	0.46226837	24	124 8 37.84	6 47 35.36	0.32496643	
	7	275 42 41.38	- 5 10 2.06	0.46056601	25	129 47 24.67	6 55 39.61	0.32938804	
	8	278 33 19.47	- 5 23 43.22	0.45859157	26	135 17 0.57	6 59 40.59	0.33415197	
	9	281 25 39.79	- 5 36 43.70	0.45634759	27	140 37 6.43	6 59 55.40	0.33920612	
	10	284 19 55.99	- 5 49 1.08	0.45383707	28	145 47 32.94	6 56 43.30	0.34449944	
	11	287 16 22.17	- 6 0 32.68	0.45106351	29	150 48 19.35	6 50 24.60	0.34998284	
	12	290 15 12.85	- 6 11 15.53	0.44803097	30	155 39 32.15	6 41 19.86	0.35560970	
	13	293 16 43.07	- 6 21 6.38	0.44474415	31	160 21 23.71	6 29 49.17	0.36133632	
	14	296 21 8.43	- 6 30 1.65	0.44120842	Avril	1	164 54 11.01	6 16 11.67	0.36712215

MERCURE 2011 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	2	169	18	14.49	6	0	45.25	0.37292983	Mai	18	312	43	10.15	- 6	58	16.60	0.41989670	
	3	173	33	57.11	5	43	46.34	0.37872524		19	316	11	18.59	- 6	59	58.40	0.41502493	
	4	177	41	43.42	5	25	29.84	0.38447734		20	319	44	30.32	- 7	0	7.89	0.40996993	
	5	181	41	58.95	5	6	9.11	0.39015812		21	323	23	6.35	- 6	58	37.97	0.40474657	
	6	185	35	9.61	4	45	56.03	0.39574232		22	327	7	28.25	- 6	55	21.13	0.39937158	
	7	189	21	41.30	4	25	1.06	0.40120732		23	330	57	58.09	- 6	50	9.40	0.39386372	
	8	193	1	59.53	4	3	33.40	0.40653285		24	334	54	58.29	- 6	42	54.50	0.38824402	
	9	196	36	29.25	3	41	41.05	0.41170088		25	338	58	51.37	- 6	33	27.89	0.38253600	
	10	200	5	34.64	3	19	30.96	0.41669533		26	343	9	59.75	- 6	21	40.95	0.37676581	
	11	203	29	39.05	2	57	9.16	0.42150193		27	347	28	45.37	- 6	7	25.21	0.37096248	
	12	206	49	4.87	2	34	40.84	0.42610804		28	351	55	29.23	- 5	50	32.57	0.36515807	
	13	210	4	13.58	2	12	10.49	0.43050245		29	356	30	30.92	- 5	30	55.69	0.35938781	
	14	213	15	25.71	1	49	41.98	0.43467529		30	1	14	7.90	- 5	8	28.43	0.35369013	
	15	216	23	0.86	1	27	18.61	0.43861782		31	6	6	34.81	- 4	43	6.36	0.34810668	
	16	219	27	17.75	1	5	3.27	0.44232238		Jun	1	11	8	2.53	- 4	14	47.39	0.34268218
	17	222	28	34.26	0	42	58.44	0.44578220		2	16	18	37.23	- 3	43	32.46	0.33746414	
18	225	27	7.48	0	21	6.26	0.44899140	3	21	38	19.28	- 3	9	26.22	0.33250240			
19	228	23	13.79	- 0	0	31.39	0.45194480	4	27	7	2.12	- 2	32	37.81	0.32784846			
20	231	17	8.87	- 0	0	21	52.85	0.45463791	5	32	44	31.14	- 1	53	21.50	0.32355460		
21	234	9	7.81	- 0	42	56.66	0.45706685	6	38	30	22.64	- 1	11	57.12	0.31967274			
22	236	59	25.14	- 1	3	41.49	0.45922828	7	44	24	2.98	- 0	28	50.37	0.31625313			
23	239	48	14.92	- 1	24	6.14	0.46111935	8	50	24	48.01	0	15	27.37	0.31334278			
24	242	35	50.76	- 1	44	9.48	0.46273765	9	56	31	42.90	1	0	19.57	0.31098388			
25	245	22	25.91	- 2	3	50.45	0.46408121	10	62	43	42.53	1	45	5.61	0.30921217			
26	248	8	13.32	- 2	23	7.99	0.46514842	11	68	59	32.44	2	29	2.30	0.30805543			
27	250	53	25.67	- 2	42	1.09	0.46593805	12	75	17	50.39	3	11	25.72	0.30753227			
28	253	38	15.44	- 3	0	28.70	0.46644919	13	81	37	8.58	3	51	33.35	0.30765121			
29	256	22	54.95	- 3	18	29.75	0.46668126	14	87	55	56.27	4	28	46.16	0.30841031			
30	259	7	36.47	- 3	36	3.11	0.46663400	15	94	12	42.71	5	2	30.44	0.30979723			
Mai	1	261	52	32.17	- 3	53	7.59	0.46630747	16	100	26	0.17	5	32	19.30	0.31178986		
2	264	37	54.26	- 4	9	41.92	0.46570203	17	106	34	26.68	5	57	53.55	0.31435730			
3	267	23	55.02	- 4	25	44.70	0.46481837	18	112	36	48.50	6	19	1.97	0.31746123			
4	270	10	46.81	- 4	41	14.42	0.46365750	19	118	32	1.84	6	35	41.04	0.32105750			
5	272	58	42.17	- 4	56	9.43	0.46222077	20	124	19	14.10	6	47	54.19	0.32509771			
6	275	47	53.84	- 5	10	27.91	0.46050993	21	129	57	44.24	6	55	50.69	0.32953083			
7	278	38	34.84	- 5	24	7.85	0.45852708	22	135	27	2.68	6	59	44.41	0.33430465			
8	281	30	58.49	- 5	37	7.04	0.45627477	23	140	46	50.64	6	59	52.53	0.33936708			
9	284	25	18.45	- 5	49	23.06	0.45375602	24	145	56	59.10	6	56	34.35	0.34466712			
10	287	21	48.82	- 6	0	53.21	0.45097434	25	150	57	27.56	6	50	10.21	0.35015574			
11	290	20	44.16	- 6	11	34.52	0.44793381	26	155	48	22.69	6	41	0.67	0.35578641			
12	293	22	19.52	- 6	21	23.72	0.44463914	27	160	29	57.05	6	29	25.78	0.36151554			
13	296	26	50.51	- 6	30	17.22	0.44109574	28	165	2	27.72	6	15	44.66	0.36730266			
14	299	34	33.33	- 6	38	11.05	0.43730979	29	169	26	15.26	6	0	15.15	0.37311052			
15	302	45	44.85	- 6	45	0.88	0.43328834	30	173	41	42.67	5	43	13.63	0.37890508			
16	306	0	42.57	- 6	50	41.95	0.42903940	Jul.	1	177	49	14.55	5	24	54.96	0.38465543		
17	309	19	44.69	- 6	55	9.07	0.42457209	2	181	49	16.46	5	5	32.46	0.39033361			

MERCURE 2011 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			
Juill.	3	185	42	14.30	4	45	17.94	0.39591447	Août	18	327	14	27.15	-	6	55	13.27	0.39920497
	4	189	28	33.96	4	24	21.85	0.40137545		19	331	5	8.63	-	6	49	57.88	0.39369345
	5	193	8	40.96	4	2	53.32	0.40669638		20	335	2	21.13	-	6	42	39.06	0.38807079
	6	196	43	0.20	3	41	0.33	0.41185927		21	339	6	27.20	-	6	33	8.27	0.38236056
	7	200	11	55.87	3	18	49.81	0.41684810		22	343	17	49.25	-	6	21	16.89	0.37658902
	8	203	35	51.25	2	56	27.74	0.42164867		23	347	36	49.17	-	6	6	56.45	0.37078528
	9	206	55	8.73	2	33	59.31	0.42624837		24	352	3	47.95	-	5	49	58.87	0.36498150
	10	210	10	9.76	2	11	28.97	0.43063605		25	356	39	5.10	-	5	30	16.85	0.35921298
	11	213	21	14.83	1	49	0.57	0.43480185		26	1	22	58.03	-	5	7	44.29	0.35351828
	12	216	28	43.51	1	26	37.43	0.43873710		27	6	15	41.27	-	4	42	16.82	0.34793913
	13	219	32	54.50	1	4	22.38	0.44243415		28	11	17	25.56	-	4	13	52.44	0.34252033
	14	222	34	5.66	0	42	17.92	0.44588627		29	16	28	16.93	-	3	42	32.17	0.33730948
15	225	32	34.05	0	20	26.16	0.44908759	30	21	48	15.53	-	3	8	20.81	0.33235647		
16	228	28	36.03	-	0	1	11.00	0.45203296	31	27	17	14.58	-	2	31	27.66	0.32771284	
17	231	22	27.26	-	0	22	31.94	0.45471791	Sept. 1	32	54	59.21	-	1	52	7.11	0.32343088	
18	234	14	22.80	-	0	43	35.18	0.45713859	2	38	41	5.43	-	1	10	39.21	0.31956248	
19	237	4	37.19	-	1	4	19.40	0.45929165	3	44	34	59.30	-	0	27	29.82	0.31615780	
20	239	53	24.45	-	1	24	43.41	0.46117427	4	50	35	56.32	0	16	49.51	0.31326373		
21	242	40	58.20	-	1	44	46.08	0.46278407	5	56	43	1.36	1	1	42.12	0.31092229		
22	245	27	31.66	-	2	4	26.33	0.46411907	6	62	55	8.99	1	46	27.27	0.30916899		
23	248	13	17.78	-	2	23	43.14	0.46517768	7	69	11	4.49	2	30	21.73	0.30803136		
24	250	58	29.23	-	2	42	35.47	0.46595868	8	75	29	25.42	3	12	41.59	0.30752770		
25	253	43	18.48	-	3	1	2.28	0.46646117	9	81	48	43.86	3	52	44.42	0.30766623		
26	256	27	57.86	-	3	19	2.49	0.46668458	10	88	7	29.02	4	29	51.29	0.30844467		
27	259	12	39.62	-	3	36	34.99	0.46662866	11	94	24	10.21	5	3	28.72	0.30985039		
28	261	57	35.95	-	3	53	38.57	0.46629349	12	100	37	19.82	5	33	10.03	0.31186099		
29	264	42	59.05	-	4	10	11.94	0.46567942	13	106	45	36.13	5	58	36.28	0.31444531		
30	267	29	1.19	-	4	26	13.73	0.46478717	14	112	47	45.64	6	19	36.47	0.31756486		
31	270	15	54.75	-	4	41	42.42	0.46361774	15	118	42	44.93	6	36	7.34	0.32117532		
Août 1	273	3	52.28	-	4	56	36.33	0.46217253	16	124	29	41.72	6	48	12.48	0.32522817		
2	275	53	6.51	-	5	10	53.66	0.46045325	17	130	7	55.34	6	56	1.33	0.32967236		
3	278	43	50.48	-	5	24	32.38	0.45846205	18	135	36	56.56	6	59	47.89	0.33445565		
4	281	36	17.51	-	5	37	30.29	0.45620149	19	140	56	26.89	6	59	49.41	0.33952597		
5	284	30	41.28	-	5	49	44.94	0.45367459	20	146	6	17.59	6	56	25.25	0.34483238		
6	287	27	15.91	-	6	1	13.63	0.45088488	21	151	6	28.41	6	49	55.76	0.35032590		
7	290	26	15.96	-	6	11	53.39	0.44783647	22	155	57	6.23	6	40	41.48	0.35596012		
8	293	27	56.50	-	6	21	40.94	0.44453409	23	160	38	23.73	6	29	2.45	0.36169151		
9	296	32	33.15	-	6	30	32.67	0.44098316	24	165	10	38.15	6	15	17.76	0.36747971		
10	299	40	22.16	-	6	38	24.60	0.43718989	25	169	34	10.10	5	59	45.20	0.37328757		
11	302	51	40.38	-	6	45	12.39	0.43316137	26	173	49	22.66	5	42	41.12	0.37908115		
12	306	6	45.34	-	6	50	51.27	0.42890563	27	177	56	40.48	5	24	20.30	0.38482963		
13	309	25	55.29	-	6	55	16.03	0.42443181	28	181	56	29.10	5	4	56.04	0.39050515		
14	312	49	29.15	-	6	58	21.01	0.41975028	29	185	49	14.46	4	44	40.10	0.39608263		
15	316	17	46.60	-	7	0	0.08	0.41487274	30	189	35	22.42	4	23	42.87	0.40153958		
16	319	51	7.98	-	7	0	6.62	0.40981242	Oct. 1	193	15	18.49	4	2	13.48	0.40685592		
17	323	29	54.30	-	6	58	33.53	0.40458424	2	196	49	27.56	3	40	19.85	0.41201370		

MERCURE 2011 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.	3	200	18	13.78	3	18	8.88	0.416 996 99	Nov.	18	343	25	28.45	- 6	20	53.05	0.376 419 31	
	4	203	42	0.41	2	55	46.54	0.421 791 61		19	347	44	42.06	- 6	6	28.03	0.370 614 88	
	5	207	1	9.81	2	33	17.98	0.426 385 01		20	352	11	55.13	- 5	49	25.65	0.364 811 38	
	6	210	16	3.38	2	10	47.64	0.430 766 08		21	356	47	27.15	- 5	29	38.63	0.359 044 23	
	7	213	27	1.61	1	48	19.35	0.434 925 01		22	1	31	35.44	- 5	7	0.91	0.353 352 04	
	8	216	34	24.04	1	25	56.40	0.438 853 16		23	6	24	34.43	- 4	41	28.20	0.347 776 67	
	9	219	38	29.33	1	3	41.64	0.442 542 89		24	11	26	34.77	- 4	12	58.56	0.342 363 01	
	10	222	39	35.31	0	41	37.53	0.445 987 52		25	16	37	42.31	- 3	41	33.12	0.337 158 71	
	11	225	37	59.04	0	19	46.19	0.449 181 19		26	21	57	57.02	- 3	7	16.80	0.332 213 75	
	12	228	33	56.83	- 0	1	50.51	0.452 118 79		27	27	27	11.92	- 2	30	19.03	0.327 579 71	
	13	231	27	44.33	- 0	23	10.92	0.454 795 86		28	33	5	11.87	- 1	50	54.39	0.323 308 87	
	14	234	19	36.60	- 0	44	13.60	0.457 208 56		29	38	51	32.62	- 1	9	23.07	0.319 453 11	
	15	237	9	48.14	- 1	4	57.23	0.459 353 56		30	44	45	39.90	- 0	26	11.11	0.316 062 51	
	16	239	58	32.97	- 1	25	20.60	0.461 228 06		Déc.	1	50	46	48.91	0	18	9.76	0.313 183 86
	17	242	46	4.68	- 1	45	22.59	0.462 829 69			2	56	54	4.22	1	3	2.76	0.310 859 02
	18	245	32	36.50	- 2	5	2.14	0.464 156 48		3	63	6	20.09	1	47	47.04	0.309 123 28	
	19	248	18	21.36	- 2	24	18.20	0.465 206 85		4	69	22	21.54	2	31	39.32	0.308 003 92	
20	251	3	31.92	- 2	43	9.75	0.465 979 59	5	75	40	45.94	3	13	55.71	0.307 518 97			
21	253	48	20.65	- 3	1	35.75	0.466 473 81	6	82	0	5.22	3	53	53.83	0.307 676 32			
22	256	32	59.87	- 3	19	35.12	0.466 688 96	7	88	18	48.54	4	30	54.92	0.308 473 42			
23	259	17	41.83	- 3	37	6.74	0.466 624 79	8	94	35	25.25	5	4	25.65	0.309 897 31			
24	262	2	38.71	- 3	54	9.40	0.466 281 37	9	100	48	27.88	5	33	59.56	0.311 925 32			
25	264	48	2.73	- 4	10	41.81	0.465 659 09	10	106	56	34.88	5	59	17.95	0.314 526 08			
26	267	34	6.15	- 4	26	42.59	0.464 758 65	11	112	58	33.04	6	20	10.08	0.317 660 86			
27	270	21	1.35	- 4	42	10.22	0.463 581 08	12	118	53	19.24	6	36	32.87	0.321 285 21			
28	273	9	0.88	- 4	57	3.02	0.462 127 78	13	124	40	1.53	6	48	30.13	0.325 350 52			
29	275	58	17.50	- 5	11	19.17	0.460 400 47	14	130	17	59.59	6	56	11.44	0.329 805 66			
30	278	49	4.23	- 5	24	56.66	0.458 401 32	15	135	46	44.50	6	59	50.93	0.334 598 38			
31	281	41	34.42	- 5	37	53.26	0.456 132 88	16	141	5	58.10	6	59	45.92	0.339 676 62			
Nov.	1	284	36	1.76	- 5	50	6.53	0.453 598 19	17	146	15	31.89	6	56	15.82	0.344 989 48		
	2	287	32	40.37	- 6	1	33.75	0.450 800 82	18	151	15	25.87	6	49	41.01	0.350 488 07		
	3	290	31	44.82	- 6	12	11.94	0.447 744 87	19	156	5	47.11	6	40	22.02	0.356 126 03		
	4	293	33	30.21	- 6	21	57.83	0.444 435 09	20	160	46	48.44	6	28	38.87	0.361 859 93		
	5	296	38	12.19	- 6	30	47.77	0.440 876 93	21	165	18	47.21	6	14	50.60	0.367 649 49		
	6	299	46	7.00	- 6	38	37.80	0.437 076 62	22	169	42	4.15	5	59	14.99	0.373 457 66		
	7	302	57	31.51	- 6	45	23.55	0.433 041 27	23	173	57	2.37	5	42	8.32	0.379 250 60		
	8	306	12	43.30	- 6	51	0.24	0.428 778 94	24	178	4	6.56	5	23	45.34	0.384 997 56		
	9	309	32	0.61	- 6	55	22.66	0.424 298 82	25	182	3	42.31	5	4	19.29	0.390 670 77		
	10	312	55	42.41	- 6	58	25.12	0.419 611 28	26	185	56	15.54	4	44	1.91	0.396 245 24		
	11	316	24	8.37	- 7	0	1.48	0.414 728 10	27	189	42	12.12	4	23	3.54	0.401 698 54		
	12	319	57	38.86	- 7	0	5.10	0.409 662 54	28	193	21	57.53	4	1	33.27	0.407 010 66		
	13	323	36	34.93	- 6	58	28.89	0.404 429 56	29	196	55	56.66	3	39	38.98	0.412 163 70		
	14	327	21	18.17	- 6	55	5.28	0.399 046 00	30	200	24	33.62	3	17	27.55	0.417 141 80		
	15	331	12	10.69	- 6	49	46.30	0.393 530 76	31	203	48	11.66	2	55	4.93	0.421 930 82		
	16	335	9	34.91	- 6	42	23.65	0.387 905 02	32	207	7	13.11	2	32	36.23	0.426 518 25		
	17	339	13	53.36	- 6	32	48.77	0.382 192 42	33	210	21	59.35	2	10	5.88	0.430 893 04		

VÉNUS 2011 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.				
	°	'	"	°	'	"	ua		°	'	"	°	'	"	ua				
Janv.	0	136	57	46.50	2	56	59.96	0.71847009	Avril	2	284	38	28.82	- 1	35	41.54	0.72767117		
	2	140	12	49.16	3	2	25.54	0.71850325		4	287	48	14.56	- 1	45	28.33	0.72778784		
	4	143	27	52.34	3	7	15.92	0.71855170		6	290	57	58.83	- 1	54	55.68	0.72789069		
	6	146	42	55.38	3	11	30.17	0.71861529		8	294	7	42.15	- 2	4	1.90	0.72797941		
	8	149	57	57.60	3	15	7.48	0.71869379		10	297	17	25.06	- 2	12	45.36	0.72805374		
	10	153	12	58.30	3	18	7.14	0.71878697		12	300	27	8.05	- 2	21	4.50	0.72811345		
	12	156	27	56.79	3	20	28.62	0.71889451		14	303	36	51.60	- 2	28	57.82	0.72815837		
	14	159	42	52.36	3	22	11.47	0.71901608		16	306	46	36.19	- 2	36	23.91	0.72818837		
	16	162	57	44.30	3	23	15.39	0.71915127		18	309	56	22.25	- 2	43	21.44	0.72820334		
	18	166	12	31.94	3	23	40.24	0.71929965		20	313	6	10.18	- 2	49	49.13	0.72820326		
	20	169	27	14.58	3	23	25.96	0.71946075		22	316	16	0.40	- 2	55	45.83	0.72818812		
	22	172	41	51.56	3	22	32.66	0.71963404		24	319	25	53.24	- 3	1	10.44	0.72815797		
	24	175	56	22.25	3	21	0.57	0.71981896		26	322	35	49.07	- 3	6	1.98	0.72811290		
	26	179	10	46.03	3	18	50.05	0.72001493		28	325	45	48.18	- 3	10	19.56	0.72805305		
	28	182	25	2.31	3	16	1.58	0.72022130		30	328	55	50.87	- 3	14	2.38	0.72797861		
	Févr.	30	185	39	10.55	3	12	35.78		0.72043742	Mai	2	332	5	57.40	- 3	17	9.73	0.72788980
		1	188	53	10.23	3	8	33.38		0.72066259		4	335	16	8.02	- 3	19	41.02	0.72778689
		3	192	7	0.90	3	3	55.22		0.72089610		6	338	26	22.94	- 3	21	35.77	0.72767019
5		195	20	42.12	2	58	42.28	0.72113719	8	341		36	42.37	- 3	22	53.59	0.72754006		
7		198	34	13.53	2	52	55.63	0.72138510	10	344		47	6.48	- 3	23	34.19	0.72739689		
9		201	47	34.81	2	46	36.43	0.72163905	12	347		57	35.44	- 3	23	37.42	0.72724113		
11		205	0	45.69	2	39	45.99	0.72189822	14	351		8	9.38	- 3	23	3.21	0.72707324		
13		208	13	45.96	2	32	25.65	0.72216179	16	354		18	48.45	- 3	21	51.61	0.72689373		
15		211	26	35.45	2	24	36.90	0.72242893	18	357		29	32.76	- 3	20	2.80	0.72670316		
17		214	39	14.07	2	16	21.27	0.72269879	20	0		40	22.43	- 3	17	37.05	0.72650210		
19		217	51	41.77	2	7	40.39	0.72297053	22	3		51	17.54	- 3	14	34.74	0.72629117		
21		221	3	58.55	1	58	35.95	0.72324329	24	7		2	18.20	- 3	10	56.37	0.72607102		
23		224	16	4.49	1	49	9.71	0.72351621	26	10		13	24.50	- 3	6	42.55	0.72584231		
25		227	27	59.70	1	39	23.49	0.72378845	28	13		24	36.51	- 3	1	53.99	0.72560575		
27		230	39	44.35	1	29	19.16	0.72405914	30	16		35	54.32	- 2	56	31.53	0.72536207		
Mars		1	233	51	18.66	1	18	58.65	0.72432745	Juin		1	19	47	18.01	- 2	50	36.09	0.72511201
		3	237	2	42.90	1	8	23.90	0.72459254			3	22	58	47.66	- 2	44	8.71	0.72485634
		5	240	13	57.39	0	57	36.91	0.72485359			5	26	10	23.35	- 2	37	10.52	0.72459586
	7	243	25	2.46	0	46	39.71	0.72510979	7		29	22	5.17	- 2	29	42.75	0.72433136		
	9	246	35	58.53	0	35	34.32	0.72536035	9		32	33	53.20	- 2	21	46.75	0.72406367		
	11	249	46	46.01	0	24	22.82	0.72560449	11		35	45	47.53	- 2	13	23.92	0.72379362		
	13	252	57	25.37	0	13	7.26	0.72584147	13		38	57	48.24	- 2	4	35.78	0.72352205		
	15	256	7	57.10	0	1	49.71	0.72607055	15		42	9	55.42	- 1	55	23.93	0.72324979		
	17	259	18	21.71	- 0	9	27.75	0.72629104	17		45	22	9.18	- 1	45	50.03	0.72297771		
	19	262	28	39.73	- 0	20	43.07	0.72650226	19		48	34	29.59	- 1	35	55.86	0.72270665		
	21	265	38	51.71	- 0	31	54.21	0.72670356	21		51	46	56.74	- 1	25	43.21	0.72243746		
	23	268	48	58.22	- 0	42	59.12	0.72689434	23		54	59	30.72	- 1	15	13.99	0.72217098		
	25	271	58	59.83	- 0	53	55.82	0.72707400	25		58	12	11.62	- 1	4	30.14	0.72190806		
	27	275	8	57.12	- 1	4	42.33	0.72724200	27		61	24	59.50	- 1	53	33.66	0.72164952		
	29	278	18	50.66	- 1	15	16.71	0.72739784	29		64	37	54.42	- 0	42	26.60	0.72139617		
	31	281	28	41.04	- 1	25	37.07	0.72754104	Juill.		1	67	50	56.46	- 0	31	11.06	0.72114883	

VÉNUS 2011 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.			
	°	'	"	°	'	"	ua		°	'	"	°	'	"	ua			
Juill.	3	71	4	5.64	-	0	19	49.15	0.72090826	Oct.	3	219	56	39.40	2	1	49.11	0.72315389
	5	74	17	21.99	-	0	8	23.05	0.72067525		5	223	8	48.98	1	52	30.30	0.72342641
	7	77	30	45.52	0	3	5.09	0.72045052	7		226	20	47.80	1	42	50.87	0.72369855	
	9	80	44	16.21	0	14	33.06	0.72023479	9		229	32	36.01	1	32	52.66	0.72396944	
	11	83	57	54.03	0	25	58.66	0.72002876	11		232	44	13.82	1	22	37.59	0.72423826	
	13	87	11	38.92	0	37	19.70	0.71983308	13		235	55	41.46	1	12	7.60	0.72450415	
	15	90	25	30.77	0	48	33.98	0.71964839	15		239	6	59.25	1	1	24.67	0.72476631	
	17	93	39	29.48	0	59	39.33	0.71947526	17		242	18	7.52	0	50	30.81	0.72502390	
	19	96	53	34.89	1	10	33.58	0.71931427	19		245	29	6.64	0	39	28.05	0.72527615	
	21	100	7	46.81	1	21	14.62	0.71916592	21		248	39	57.04	0	28	18.45	0.72552226	
	23	103	22	5.01	1	31	40.35	0.71903070	23		251	50	39.17	0	17	4.07	0.72576148	
25	106	36	29.24	1	41	48.73	0.71890905	25	255	1	13.50	0	5	46.98	0.72599308			
27	109	50	59.20	1	51	37.78	0.71880135	27	258	11	40.53	-	0	5	30.75	0.72621634		
29	113	5	34.55	2	1	5.56	0.71870797	29	261	22	0.80	-	0	16	47.06	0.72643059		
31	116	20	14.92	2	10	10.21	0.71862919	31	264	32	14.85	-	0	27	59.90	0.72663515		
Août	2	119	34	59.89	2	18	49.94	0.71856529	Nov.	2	267	42	23.23	-	0	39	7.22	0.72682942
	4	122	49	49.01	2	27	3.05	0.71851645		4	270	52	26.52	-	0	50	7.03	0.72701280
	6	126	4	41.80	2	34	47.90	0.71848286		6	274	2	25.28	-	1	0	57.34	0.72718473
	8	129	19	37.73	2	42	2.99	0.71846461		8	277	12	20.10	-	1	11	36.19	0.72734468
	10	132	34	36.25	2	48	46.87	0.71846177		10	280	22	11.56	-	1	22	1.68	0.72749217
	12	135	49	36.77	2	54	58.22	0.71847434		12	283	32	0.22	-	1	32	11.92	0.72762676
	14	139	4	38.68	3	0	35.84	0.71850229		14	286	41	46.66	-	1	42	5.11	0.72774803
	16	142	19	41.34	3	5	38.62	0.71854553		16	289	51	31.42	-	1	51	39.47	0.72785562
	18	145	34	44.10	3	10	5.58	0.71860392		18	293	1	15.06	-	2	0	53.28	0.72794920
	20	148	49	46.27	3	13	55.87	0.71867727		20	296	10	58.10	-	2	9	44.89	0.72802849
22	152	4	47.17	3	17	8.75	0.71876534	22	299	20	41.04	-	2	18	12.72	0.72809325		
24	155	19	46.11	3	19	43.63	0.71886785	24	302	30	24.39	-	2	26	15.25	0.72814328		
26	158	34	42.37	3	21	40.01	0.71898448	26	305	40	8.61	-	2	33	51.04	0.72817844		
28	161	49	35.26	3	22	57.57	0.71911484	28	308	49	54.14	-	2	40	58.71	0.72819860		
30	165	4	24.09	3	23	36.08	0.71925851	30	311	59	41.41	-	2	47	36.99	0.72820372		
Sept.	1	168	19	8.17	3	23	35.47	0.71941503	Déc.	2	315	9	30.82	-	2	53	44.67	0.72819378
	3	171	33	46.83	3	22	55.80	0.71958390		4	318	19	22.74	-	2	59	20.63	0.72816881
	5	174	48	19.43	3	21	37.24	0.71976457		6	321	29	17.52	-	3	4	23.86	0.72812888
	7	178	2	45.33	3	19	40.11	0.71995646		8	324	39	15.47	-	3	8	53.43	0.72807412
	9	181	17	3.96	3	17	4.85	0.72015896		10	327	49	16.91	-	3	12	48.50	0.72800468
	11	184	31	14.74	3	13	52.04	0.72037142		12	330	59	22.10	-	3	16	8.34	0.72792078
	13	187	45	17.15	3	10	2.35	0.72059315		14	334	9	31.29	-	3	18	52.32	0.72782267
	15	190	59	10.72	3	5	36.60	0.72082346		16	337	19	44.71	-	3	20	59.91	0.72771065
	17	194	12	55.01	3	0	35.72	0.72106159		18	340	30	2.57	-	3	22	30.69	0.72758506
	19	197	26	29.62	2	55	0.74	0.72130681		20	343	40	25.05	-	3	23	24.34	0.72744627
21	200	39	54.23	2	48	52.79	0.72155831	22	346	50	52.32	-	3	23	40.66	0.72729471		
23	203	53	8.53	2	42	13.13	0.72181532	24	350	1	24.54	-	3	23	19.56	0.72713084		
25	207	6	12.31	2	35	3.10	0.72207701	26	353	12	1.85	-	3	22	21.03	0.72695515		
27	210	19	5.38	2	27	24.13	0.72234255	28	356	22	44.36	-	3	20	45.22	0.72676819		
29	213	31	47.62	2	19	17.73	0.72261111	30	359	33	32.19	-	3	18	32.36	0.72657052		
Oct.	1	216	44	18.96	2	10	45.50	0.72288184	32	2	44	25.44	-	3	15	42.79	0.72636274	

MARS 2011 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	293	17	55.10	-	1	39	31.31	1.413 605 63	Juill.	3	46	28	55.73	-	0	5	53.43	1.464 381 20
	4	295	43	48.24	-	1	41	30.66	1.410 132 72		7	48	43	58.20	-	0	1	32.05	1.469 342 53
	8	298	10	23.85	-	1	43	19.54	1.406 828 91		11	50	58	5.76	0	2	47.71	1.474 365 27	
	12	300	37	40.03	-	1	44	57.58	1.403 701 00		15	53	11	18.38	0	7	5.43	1.479 441 37	
	16	303	5	34.79	-	1	46	24.42	1.400 755 53		19	55	23	36.11	0	11	20.76	1.484 562 83	
	20	305	34	5.98	-	1	47	39.73	1.397 998 74	23	57	34	59.11	0	15	33.33	1.489 721 76		
	24	308	3	11.34	-	1	48	43.21	1.395 436 52	27	59	45	27.61	0	19	42.79	1.494 910 38		
	28	310	32	48.50	-	1	49	34.59	1.393 074 42	31	61	55	1.92	0	23	48.85	1.500 121 00		
Févr.	1	313	2	54.97	-	1	50	13.63	1.390 917 62	Août	4	64	3	42.43	0	27	51.18	1.505 346 07	
	5	315	33	28.16	-	1	50	40.14	1.388 970 85		8	66	11	29.63	0	31	49.53	1.510 578 17	
	9	318	4	25.38	-	1	50	53.94	1.387 238 47		12	68	18	24.03	0	35	43.61	1.515 810 03	
	13	320	35	43.87	-	1	50	54.91	1.385 724 36		16	70	24	26.24	0	39	33.20	1.521 034 51	
	17	323	7	20.76	-	1	50	42.96	1.384 431 95		20	72	29	36.91	0	43	18.06	1.526 244 66	
	21	325	39	13.14	-	1	50	18.04	1.383 364 17	24	74	33	56.77	0	46	57.98	1.531 433 66		
	25	328	11	18.03	-	1	49	40.16	1.382 523 47	28	76	37	26.57	0	50	32.78	1.536 594 87		
Mars	1	330	43	32.41	-	1	48	49.36	1.381 911 79	Sept.	1	78	40	7.12	0	54	2.26	1.541 721 82	
	5	333	15	53.21	-	1	47	45.71	1.381 530 55		5	80	41	59.29	0	57	26.28	1.546 808 21	
	9	335	48	17.36	-	1	46	29.34	1.381 380 64		9	82	43	3.96	1	0	44.68	1.551 847 92	
	13	338	20	41.74	-	1	45	0.41	1.381 462 43		13	84	43	22.06	1	3	57.32	1.556 835 00	
	17	340	53	3.28	-	1	43	19.15	1.381 775 75		17	86	42	54.57	1	7	4.08	1.561 763 69	
	21	343	25	18.87	-	1	41	25.79	1.382 319 91	21	88	41	42.47	1	10	4.86	1.566 628 40		
	25	345	57	25.46	-	1	39	20.63	1.383 093 68	25	90	39	46.78	1	12	59.56	1.571 423 73		
	29	348	29	20.04	-	1	37	3.99	1.384 095 31	29	92	37	8.55	1	15	48.08	1.576 144 46		
Avril	2	351	0	59.60	-	1	34	36.24	1.385 322 55	Oct.	3	94	33	48.86	1	18	30.35	1.580 785 53	
	6	353	32	21.25	-	1	31	57.76	1.386 772 62		7	96	29	48.78	1	21	6.30	1.585 342 08	
	10	356	3	22.12	-	1	29	8.98	1.388 442 28		11	98	25	9.43	1	23	35.88	1.589 809 41	
	14	358	33	59.43	-	1	26	10.36	1.390 327 80		15	100	19	51.92	1	25	59.03	1.594 183 01	
	18	1	4	10.51	-	1	23	2.37	1.392 425 00		19	102	13	57.40	1	28	15.71	1.598 458 52	
	22	3	33	52.75	-	1	19	45.52	1.394 729 27	23	104	7	27.00	1	30	25.89	1.602 631 77		
	26	6	3	3.67	-	1	16	20.32	1.397 235 57	27	106	0	21.89	1	32	29.53	1.606 698 75		
Mai	30	8	31	40.89	-	1	12	47.32	1.399 938 48	Nov.	31	107	52	43.24	1	34	26.62	1.610 655 62	
	4	10	59	42.14	-	1	9	7.05	1.402 832 23		4	109	44	32.22	1	36	17.13	1.614 498 70	
	8	13	27	5.29	-	1	5	20.08	1.405 910 67		8	111	35	50.00	1	38	1.07	1.618 224 48	
	12	15	53	48.30	-	1	1	26.98	1.409 167 35		12	113	26	37.79	1	39	38.41	1.621 829 60	
	16	18	19	49.29	-	0	57	28.31	1.412 595 56		16	115	16	56.76	1	41	9.17	1.625 310 86	
	20	20	45	6.51	-	0	53	24.66	1.416 188 27	20	117	6	48.11	1	42	33.34	1.628 665 22		
	24	23	9	38.31	-	0	49	16.58	1.419 938 27	24	118	56	13.05	1	43	50.93	1.631 889 78		
	28	25	33	23.22	-	0	45	4.66	1.423 838 10	28	120	45	12.76	1	45	1.94	1.634 981 80		
Juin	1	27	56	19.87	-	0	40	49.45	1.427 880 13	Déc.	2	122	33	48.46	1	46	6.40	1.637 938 67	
	5	30	18	27.04	-	0	36	31.51	1.432 056 59		6	124	22	1.34	1	47	4.32	1.640 757 94	
	9	32	39	43.63	-	0	32	11.38	1.436 359 57		10	126	9	52.61	1	47	55.72	1.643 437 29	
	13	35	0	8.67	-	0	27	49.59	1.440 781 04		14	127	57	23.46	1	48	40.61	1.645 974 55	
	17	37	19	41.33	-	0	23	26.67	1.445 312 93		18	129	44	35.11	1	49	19.02	1.648 367 69	
	21	39	38	20.90	-	0	19	3.11	1.449 947 07	22	131	31	28.74	1	49	50.98	1.650 614 79		
	25	41	56	6.78	-	0	14	39.41	1.454 675 29	26	133	18	5.58	1	50	16.52	1.652 714 11		
	29	44	12	58.51	-	0	10	16.03	1.459 489 40	30	135	4	26.81	1	50	35.66	1.654 663 99		

JUPITER, SATURNE, URANUS, NEPTUNE 2011 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	7 26 18.17	- 1 18 7.06	4.9501297	Janv. 0	190 36 53.83	2 25 26.25	9.5848091
16	8 54 21.06	- 1 18 11.97	4.9494785	16	191 8 38.43	2 25 44.47	9.5896013
Févr. 1	10 22 25.18	- 1 18 13.80	4.9489786	Févr. 1	191 40 21.15	2 26 1.93	9.5943871
17	11 50 30.19	- 1 18 12.55	4.9486302	17	192 12 1.98	2 26 18.63	9.5991661
Mars 5	13 18 35.78	- 1 18 8.22	4.9484337	Mars 5	192 43 40.94	2 26 34.56	9.6039379
Avril 21	14 46 41.63	- 1 18 0.82	4.9483890	Avril 21	193 15 18.02	2 26 49.74	9.6087022
6	16 14 47.41	- 1 17 50.34	4.9484962	6	193 46 53.23	2 27 4.16	9.6134587
22	17 42 52.80	- 1 17 36.79	4.9487551	22	194 18 26.58	2 27 17.82	9.6182070
Mai 8	19 10 57.47	- 1 17 20.19	4.9491654	Mai 8	194 49 58.06	2 27 30.72	9.6229468
24	20 39 1.10	- 1 17 0.55	4.9497266	24	195 21 27.69	2 27 42.87	9.6276781
Juin 9	22 7 3.35	- 1 16 37.89	4.9504382	Juin 9	195 52 55.47	2 27 54.26	9.6324005
25	23 35 3.90	- 1 16 12.22	4.9512997	25	196 24 21.42	2 28 4.90	9.6371137
Juill. 11	25 3 2.42	- 1 15 43.56	4.9523105	Juill. 11	196 55 45.55	2 28 14.78	9.6418172
27	26 30 58.59	- 1 15 11.95	4.9534700	27	197 27 7.86	2 28 23.92	9.6465105
Août 12	27 58 52.09	- 1 14 37.40	4.9547774	Août 12	197 58 28.36	2 28 32.30	9.6511932
Sept. 28	29 26 42.60	- 1 13 59.95	4.9562318	Sept. 28	198 29 47.05	2 28 39.94	9.6558649
13	30 54 29.82	- 1 13 19.63	4.9578322	13	199 1 3.95	2 28 46.82	9.6605251
29	32 22 13.44	- 1 12 36.47	4.9595776	29	199 32 19.06	2 28 52.97	9.6651735
Oct. 15	33 49 53.15	- 1 11 50.51	4.9614667	Oct. 15	200 3 32.39	2 28 58.37	9.6698095
31	35 17 28.67	- 1 11 1.79	4.9634982	31	200 34 43.94	2 29 3.03	9.6744330
Nov. 16	36 44 59.69	- 1 10 10.35	4.9656706	Nov. 16	201 5 53.71	2 29 6.94	9.6790436
Déc. 2	38 12 25.93	- 1 9 16.23	4.9679821	Déc. 2	201 37 1.72	2 29 10.12	9.6836413
18	39 39 47.10	- 1 8 19.48	4.9704310	18	202 8 7.97	2 29 12.57	9.6882257

URANUS				NEPTUNE			
Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.
	° / ' "	° / ' "	ua		° / ' "	° / ' "	ua
Janv. 0	359 31 23.44	- 0 44 37.99	20.0894578	Janv. 0	327 56 15.05	- 0 29 33.17	30.0139280
Févr. 1	359 51 57.51	- 0 44 33.50	20.0885284	Févr. 1	328 7 47.49	- 0 29 53.69	30.0129504
Mars 5	0 12 31.68	- 0 44 28.91	20.0875571	Mars 5	328 19 19.94	- 0 30 14.19	30.0119681
Avril 6	0 33 5.95	- 0 44 24.23	20.0865432	Avril 6	328 30 52.39	- 0 30 34.66	30.0109803
Mai 8	0 53 40.34	- 0 44 19.45	20.0854863	Mai 8	328 42 24.84	- 0 30 55.12	30.0099865
Juin 9	1 14 14.83	- 0 44 14.57	20.0843852	Juin 9	328 53 57.29	- 0 31 15.56	30.0089861
Juill. 11	1 34 49.42	- 0 44 9.59	20.0832398	Juill. 11	329 5 29.72	- 0 31 35.98	30.0079798
Août 12	1 55 24.11	- 0 44 4.52	20.0820510	Août 12	329 17 2.13	- 0 31 56.37	30.0069689
Sept. 13	2 15 58.88	- 0 43 59.35	20.0808196	Sept. 13	329 28 34.53	- 0 32 16.75	30.0059541
Oct. 15	2 36 33.76	- 0 43 54.09	20.0795460	Oct. 15	329 40 6.90	- 0 32 37.10	30.0049360
Nov. 16	2 57 8.75	- 0 43 48.73	20.0782302	Nov. 16	329 51 39.27	- 0 32 57.43	30.0039142
Déc. 18	3 17 43.85	- 0 43 43.27	20.0768712	Déc. 18	330 3 11.61	- 0 33 17.74	30.0028883

MERCURE 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE 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 15 59.112	-20 6 49.14	0.815 658 82	Févr.	15 21 24 20.089	-17 25 22.10	1.391 391 49
	1 17 16 42.355	-20 13 1.23	0.836 482 38		16 21 31 7.933	-16 54 8.19	1.392 666 06
	2 17 17 59.813	-20 20 41.15	0.857 593 36		17 21 37 56.557	-16 21 30.25	1.393 382 60
	3 17 19 48.513	-20 29 32.92	0.878 829 80		18 21 44 45.950	-15 47 28.33	1.393 521 60
	4 17 22 5.579	-20 39 21.22	0.900 055 49		19 21 51 36.107	-15 12 2.57	1.393 061 27
	5 17 24 48.297	-20 49 51.66	0.921 157 27		20 21 58 27.026	-14 35 13.23	1.391 977 40
	6 17 27 54.154	-21 0 50.96	0.942 042 14		21 22 5 18.703	-13 57 0.67	1.390 243 29
	7 17 31 20.854	-21 12 7.02	0.962 634 60		22 22 12 11.132	-13 17 25.41	1.387 829 65
	8 17 35 6.314	-21 23 28.91	0.982 874 02		23 22 19 4.298	-12 36 28.19	1.384 704 58
	9 17 39 8.661	-21 34 46.82	1.002 712 42		24 22 25 58.174	-11 54 9.95	1.380 833 60
	10 17 43 26.216	-21 45 51.99	1.022 112 37		25 22 32 52.718	-11 10 31.90	1.376 179 69
	11 17 47 57.481	-21 56 36.62	1.041 045 25		26 22 39 47.869	-10 25 35.57	1.370 703 41
	12 17 52 41.121	-22 6 53.80	1.059 489 75		27 22 46 43.541	-9 39 22.83	1.364 363 09
	13 17 57 35.944	-22 16 37.39	1.077 430 53		28 22 53 39.617	-8 51 56.00	1.357 115 18
14 18 2 40.892	-22 25 41.95	1.094 857 19	Mars 1 23 0 35.942	-8 3 17.90	1.348 914 61		
15 18 7 55.018	-22 34 2.67	1.111 763 25	2 23 7 32.316	-7 13 31.94	1.339 715 49		
16 18 13 17.480	-22 41 35.25	1.128 145 44	3 23 14 28.485	-6 22 42.18	1.329 471 86		
17 18 18 47.525	-22 48 15.89	1.144 003 03	4 23 21 24.127	-5 30 53.47	1.318 138 79		
18 18 24 24.476	-22 54 1.22	1.159 337 24	5 23 28 18.847	-4 38 11.53	1.305 673 65		
19 18 30 7.728	-22 58 48.21	1.174 150 78	6 23 35 12.159	-3 44 43.06	1.292 037 72		
20 18 35 56.735	-23 2 34.16	1.188 447 46	7 23 42 3.481	-2 50 35.83	1.277 198 07		
21 18 41 51.007	-23 5 16.64	1.202 231 86	8 23 48 52.120	-1 55 58.74	1.261 129 65		
22 18 47 50.099	-23 6 53.47	1.215 509 04	9 23 55 37.264	-1 1 1.93	1.243 817 65		
23 18 53 53.612	-23 7 22.68	1.228 284 35	10 0 2 17.974	-0 5 56.76	1.225 259 86		
24 19 0 1.181	-23 6 42.53	1.240 563 25	11 0 8 53.182	0 49 4.15	1.205 469 11		
25 19 6 12.475	-23 4 51.44	1.252 351 16	12 0 15 21.692	1 43 47.03	1.184 475 39		
26 19 12 27.190	-23 1 47.99	1.263 653 40	13 0 21 42.182	2 37 57.06	1.162 327 65		
27 19 18 45.048	-22 57 30.90	1.274 475 07	14 0 27 53.220	3 31 18.52	1.139 094 88		
28 19 25 5.792	-22 51 59.04	1.284 820 94	15 0 33 53.280	4 23 35.04	1.114 866 46		
29 19 31 29.185	-22 45 11.37	1.294 695 43	16 0 39 40.767	5 14 29.86	1.089 751 57		
30 19 37 55.010	-22 37 6.93	1.304 102 49	17 0 45 14.038	6 3 46.12	1.063 877 55		
31 19 44 23.066	-22 27 44.88	1.313 045 52	18 0 50 31.443	6 51 7.13	1.037 387 47		
Févr.	1 19 50 53.170	-22 17 4.44	1.321 527 35	19 0 55 31.347	7 36 16.69	1.010 436 86	
	2 19 57 25.154	-22 5 4.89	1.329 550 12	20 1 0 12.168	8 18 59.32	0.983 189 98	
	3 20 3 58.867	-21 51 45.57	1.337 115 24	21 1 4 32.400	8 59 0.41	0.955 815 92	
	4 20 10 34.170	-21 37 5.91	1.344 223 30	22 1 8 30.644	9 36 6.38	0.928 484 76	
	5 20 17 10.939	-21 21 5.34	1.350 874 04	23 1 12 5.627	10 10 4.74	0.901 364 16	
	6 20 23 49.061	-21 3 43.37	1.357 066 23	24 1 15 16.227	10 40 44.12	0.874 616 41	
	7 20 30 28.437	-20 44 59.56	1.362 797 64	25 1 18 1.492	11 7 54.30	0.848 396 19	
	8 20 37 8.979	-20 24 53.49	1.368 064 92	26 1 20 20.663	11 31 26.18	0.822 848 93	
	9 20 43 50.609	-20 3 24.80	1.372 863 56	27 1 22 13.195	11 51 11.85	0.798 109 75	
	10 20 50 33.260	-19 40 33.16	1.377 187 80	28 1 23 38.784	12 7 4.63	0.774 302 87	
	11 20 57 16.873	-19 16 18.29	1.381 030 51	29 1 24 37.386	12 18 59.18	0.751 541 39	
	12 21 4 1.400	-18 50 39.93	1.384 383 14	30 1 25 9.244	12 26 51.68	0.729 927 31	
	13 21 10 46.799	-18 23 37.88	1.387 235 62	31 1 25 14.913	12 30 40.04	0.709 551 64	
	14 21 17 33.037	-17 55 11.97	1.389 576 22	Avril 1 1 24 55.284	12 30 24.25	0.690 494 58	

MERCURE 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	''	ua		h	m	s	°	'	''	ua			
Avril	2	1	24	11.595	12	26	6.64	0.672 825 56	Mai	18	2	6	25.564	9	41	23.22	0.998 578 61	
	3	1	23	5.443	12	17	52.31	0.656 603 29		19	2	11	49.200	10	14	24.06	1.015 577 21	
	4	1	21	38.780	12	5	49.40	0.641 875 63		20	2	17	22.311	10	48	16.57	1.032 601 42	
	5	1	19	53.898	11	50	9.41	0.628 679 44		21	2	23	5.021	11	22	56.34	1.049 626 80	
	6	1	17	53.396	11	31	7.32	0.617 040 33		22	2	28	57.483	11	58	18.82	1.066 625 96	
	7	1	15	40.132	11	9	1.64	0.606 972 49		23	2	34	59.874	12	34	19.26	1.083 568 15	
	8	1	13	17.164	10	44	14.23	0.598 478 55		24	2	41	12.397	13	10	52.68	1.100 418 82	
	9	1	10	47.673	10	17	9.93	0.591 549 63		25	2	47	35.272	13	47	53.83	1.117 139 18	
	10	1	8	14.883	9	48	15.99	0.586 165 63		26	2	54	8.733	14	25	17.11	1.133 685 73	
	11	1	5	41.977	9	18	1.41	0.582 295 72		27	3	0	53.023	15	2	56.51	1.150 009 84	
	12	1	3	12.014	8	46	56.03	0.579 899 17		28	3	7	48.383	15	40	45.62	1.166 057 37	
	13	1	0	47.860	8	15	29.73	0.578 926 39		29	3	14	55.046	16	18	37.47	1.181 768 30	
	14	0	58	32.126	7	44	11.51	0.579 320 22		30	3	22	13.224	16	56	24.57	1.197 076 58	
	15	0	56	27.121	7	13	28.79	0.581 017 33		31	3	29	43.097	17	33	58.79	1.211 910 02	
	16	0	54	34.829	6	43	46.71	0.583 949 72		Jun	1	3	37	24.795	18	11	11.38	1.226 190 45
	17	0	52	56.892	6	15	27.70	0.588 046 24		2	3	45	18.384	18	47	52.90	1.239 834 16	
18	0	51	34.614	5	48	51.12	0.593 234 04	3	3	53	23.846	19	23	53.27	1.252 752 63			
19	0	50	28.973	5	24	13.19	0.599 439 89	4	4	1	41.060	19	59	1.73	1.264 853 67			
20	0	49	40.644	5	1	46.94	0.606 591 39	5	4	10	9.784	20	33	6.99	1.276 042 95			
21	0	49	10.030	4	41	42.40	0.614 618 03	6	4	18	49.635	21	5	57.26	1.286 226 06			
22	0	48	57.297	4	24	6.79	0.623 452 00	7	4	27	40.076	21	37	20.47	1.295 310 84			
23	0	49	2.412	4	9	4.84	0.633 028 85	8	4	36	40.402	22	7	4.44	1.303 210 21			
24	0	49	25.177	3	56	39.15	0.643 287 95	9	4	45	49.736	22	34	57.12	1.309 845 11			
25	0	50	5.267	3	46	50.44	0.654 172 73	10	4	55	7.027	23	0	46.92	1.315 147 54			
26	0	51	2.254	3	39	37.95	0.665 630 84	11	5	4	31.068	23	24	22.97	1.319 063 32			
27	0	52	15.644	3	34	59.69	0.677 614 11	12	5	14	0.505	23	45	35.45	1.321 554 50			
28	0	53	44.892	3	32	52.68	0.690 078 49	13	5	23	33.873	24	4	15.85	1.322 601 07			
29	0	55	29.427	3	33	13.25	0.702 983 85	14	5	33	9.622	24	20	17.20	1.322 201 79			
30	0	57	28.665	3	35	57.15	0.716 293 79	15	5	42	46.161	24	33	34.29	1.320 374 18			
Mai	1	0	59	42.027	3	40	59.74	0.729 975 39	16	5	52	21.898	24	44	3.70	1.317 153 51		
2	1	2	8.942	3	48	16.17	0.743 998 92	17	6	1	55.276	24	51	43.86	1.312 591 02			
3	1	4	48.866	3	57	41.39	0.758 337 57	18	6	11	24.813	24	56	34.99	1.306 751 56			
4	1	7	41.278	4	9	10.33	0.772 967 15	19	6	20	49.126	24	58	38.94	1.299 710 73			
5	1	10	45.692	4	22	37.88	0.787 865 83	20	6	30	6.958	24	57	59.07	1.291 551 97			
6	1	14	1.657	4	37	58.99	0.803 013 80	21	6	39	17.185	24	54	40.03	1.282 363 66			
7	1	17	28.760	4	55	8.68	0.818 393 02	22	6	48	18.830	24	48	47.50	1.272 236 43			
8	1	21	6.629	5	14	2.08	0.833 986 94	23	6	57	11.056	24	40	28.01	1.261 260 82			
9	1	24	54.935	5	34	34.42	0.849 780 18	24	7	5	53.165	24	29	48.72	1.249 525 40			
10	1	28	53.387	5	56	41.04	0.865 758 31	25	7	14	24.590	24	16	57.22	1.237 115 24			
11	1	33	1.741	6	20	17.40	0.881 907 49	26	7	22	44.879	24	2	1.37	1.224 110 85			
12	1	37	19.793	6	45	19.08	0.898 214 27	27	7	30	53.687	23	45	9.16	1.210 587 42			
13	1	41	47.383	7	11	41.75	0.914 665 22	28	7	38	50.757	23	26	28.60	1.196 614 46			
14	1	46	24.390	7	39	21.17	0.931 246 69	29	7	46	35.913	23	6	7.63	1.182 255 61			
15	1	51	10.735	8	8	13.17	0.947 944 48	30	7	54	9.040	22	44	14.05	1.167 568 68			
16	1	56	6.377	8	38	13.59	0.964 743 51	Juill.	1	8	1	30.077	22	20	55.49	1.152 605 88		
17	2	1	11.310	9	9	18.33	0.981 627 48	2	8	8	39.002	21	56	19.36	1.137 414 09			

MERCURE 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Juill.	3	8	15	35.826	21	30	32.83	1.12203525	Août	18	9	35	32.570	9	37	22.02	0.61865593
	4	8	22	20.582	21	3	42.85	1.10650673		19	9	32	42.273	10	2	14.32	0.62602512
	5	8	28	53.319	20	35	56.10	1.09086180		20	9	30	4.249	10	27	40.00	0.63507705
	6	8	35	14.093	20	7	19.07	1.07513005		21	9	27	42.035	10	53	14.34	0.64582440
	7	8	41	22.966	19	37	58.00	1.05933777		22	9	25	38.949	11	18	32.70	0.65826523
	8	8	47	19.995	19	7	58.95	1.04350836		23	9	23	58.014	11	43	11.01	0.67238258
	9	8	53	5.232	18	37	27.78	1.02766271		24	9	22	41.893	12	6	46.32	0.68814443
	10	8	58	38.714	18	6	30.23	1.01181952		25	9	21	52.845	12	28	57.05	0.70550370
	11	9	4	0.465	17	35	11.88	0.99599565		26	9	21	32.699	12	49	23.31	0.72439848
	12	9	9	10.490	17	3	38.21	0.98020642		27	9	21	42.841	13	7	46.97	0.74475220
	13	9	14	8.771	16	31	54.60	0.96446587		28	9	22	24.215	13	23	51.69	0.76647384
	14	9	18	55.266	16	0	6.39	0.94878706		29	9	23	37.338	13	37	22.98	0.78945825
15	9	23	29.910	15	28	18.86	0.93318233	30	9	25	22.317	13	48	8.10	0.81358635		
16	9	27	52.607	14	56	37.30	0.91766356	31	9	27	38.875	13	55	56.08	0.83872561		
17	9	32	3.234	14	25	7.02	0.90224241	Sept.	1	9	30	26.372	14	0	37.69	0.86473066	
18	9	36	1.636	13	53	53.37	0.88693058	2	9	33	43.835	14	2	5.51	0.89144426		
19	9	39	47.623	13	23	1.80	0.87174011	3	9	37	29.986	14	0	13.90	0.91869875		
20	9	43	20.974	12	52	37.86	0.85668356	4	9	41	43.272	13	54	59.17	0.94631813		
21	9	46	41.431	12	22	47.26	0.84177435	5	9	46	21.900	13	46	19.59	0.97412063		
22	9	49	48.699	11	53	35.87	0.82702698	6	9	51	23.877	13	34	15.51	1.00192209		
23	9	52	42.448	11	25	9.76	0.81245732	7	9	56	47.054	13	18	49.34	1.02953965		
24	9	55	22.312	10	57	35.24	0.79808288	8	10	2	29.171	13	0	5.62	1.05679587		
25	9	57	47.892	10	30	58.86	0.78392310	9	10	8	27.912	12	38	10.84	1.08352278		
26	9	59	58.757	10	5	27.44	0.76999964	10	10	14	40.954	12	13	13.37	1.10956578		
27	10	1	54.448	9	41	8.10	0.75633670	11	10	21	6.020	11	45	23.19	1.13478686		
28	10	3	34.484	9	18	8.24	0.74296135	12	10	27	40.921	11	14	51.61	1.15906705		
29	10	4	58.369	8	56	35.55	0.72990383	13	10	34	23.602	10	41	50.96	1.18230801		
30	10	6	5.602	8	36	37.99	0.71719795	14	10	41	12.167	10	6	34.24	1.20443246		
31	10	6	55.689	8	18	23.78	0.70488136	15	10	48	4.905	9	29	14.78	1.22538383		
Août	1	10	7	28.158	8	2	1.28	0.69299598	16	10	55	0.300	8	50	5.96	1.24512499	
2	10	7	42.583	7	47	38.96	0.68158825	17	11	1	57.037	8	9	20.90	1.26363647		
3	10	7	38.604	7	35	25.27	0.67070940	18	11	8	53.996	7	27	12.28	1.28091423		
4	10	7	15.956	7	25	28.48	0.66041566	19	11	15	50.242	6	43	52.15	1.29696722		
5	10	6	34.501	7	17	56.47	0.65076833	20	11	22	45.013	5	59	31.82	1.31181499		
6	10	5	34.264	7	12	56.53	0.64183372	21	11	29	37.704	5	14	21.79	1.32548533		
7	10	4	15.471	7	10	35.04	0.63368300	22	11	36	27.846	4	28	31.73	1.33801217		
8	10	2	38.589	7	10	57.14	0.62639173	23	11	43	15.092	3	42	10.47	1.34943370		
9	10	0	44.368	7	14	6.40	0.62003936	24	11	49	59.197	2	55	26.01	1.35979079		
10	9	58	33.878	7	20	4.39	0.61470832	25	11	56	40.006	2	8	25.59	1.36912570		
11	9	56	8.542	7	28	50.36	0.61048300	26	12	3	17.434	1	21	15.70	1.37748100		
12	9	53	30.159	7	40	20.87	0.60744840	27	12	9	51.460	0	34	2.18	1.38489881		
13	9	50	40.910	7	54	29.49	0.60568855	28	12	16	22.110	-	0	13	9.77	1.39142014	
14	9	47	43.357	8	11	6.68	0.60528479	29	12	22	49.450	-	1	0	15.48	1.39708451	
15	9	44	40.413	8	29	59.71	0.60631386	30	12	29	13.576	-	1	47	10.80	1.40192956	
16	9	41	35.299	8	50	52.76	0.60884594	Oct.	1	12	35	34.607	-	2	33	51.98	1.40599089
17	9	38	31.477	9	13	27.20	0.61294279	2	12	41	52.678	-	3	20	15.71	1.40930185	

MERCURE 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Oct.	3	12 48 7.940	- 4 6 18.96	1.411 893 51	Nov.	18	17 4 28.117	-25 22 7.78	0.941 678 26
	4	12 54 20.551	- 4 51 59.05	1.413 794 57		19	17 7 39.410	-25 21 35.04	0.919 764 91
	5	13 0 30.676	- 5 37 13.54	1.415 031 43		20	17 10 26.120	-25 19 15.16	0.897 680 89
	6	13 6 38.483	- 6 22 0.23	1.415 628 21		21	17 12 45.190	-25 15 4.30	0.875 537 07
	7	13 12 44.144	- 7 6 17.10	1.415 606 83		22	17 14 33.383	-25 8 58.18	0.853 467 31
	8	13 18 47.828	- 7 50 2.32	1.414 987 08		23	17 15 47.357	-25 0 52.10	0.831 631 30
	9	13 24 49.702	- 8 33 14.18	1.413 786 77		24	17 16 23.776	-24 50 40.93	0.810 217 09
	10	13 30 49.929	- 9 15 51.10	1.412 021 76		25	17 16 19.484	-24 38 19.30	0.789 442 90
	11	13 36 48.667	- 9 57 51.62	1.409 706 11		26	17 15 31.732	-24 23 41.89	0.769 557 67
	12	13 42 46.068	-10 39 14.32	1.406 852 18		27	17 13 58.478	-24 6 44.04	0.750 839 58
	13	13 48 42.277	-11 19 57.88	1.403 470 70		28	17 11 38.748	-23 47 22.71	0.733 591 92
	14	13 54 37.428	-12 0 1.02	1.399 570 85		29	17 8 33.023	-23 25 37.84	0.718 135 40
15	14 0 31.648	-12 39 22.49	1.395 160 40	30	17 4 43.614	-23 1 34.12	0.704 796 51		
16	14 6 25.054	-13 18 1.08	1.390 245 76	Déc.	1	17 0 14.954	-22 35 22.93	0.693 891 72	
17	14 12 17.751	-13 55 55.59	1.384 832 03		2	16 55 13.705	-22 7 24.13	0.685 708 55	
18	14 18 9.834	-14 33 4.81	1.378 923 12	3	16 49 48.627	-21 38 7.20	0.680 484 92		
19	14 24 1.383	-15 9 27.57	1.372 521 80	4	16 44 10.152	-21 8 11.07	0.678 389 67		
20	14 29 52.467	-15 45 2.66	1.365 629 77	5	16 38 29.688	-20 38 22.37	0.679 507 17		
21	14 35 43.139	-16 19 48.85	1.358 247 69	6	16 32 58.757	-20 9 32.13	0.683 828 95		
22	14 41 33.438	-16 53 44.93	1.350 375 26	7	16 27 48.115	-19 42 31.31	0.691 253 82		
23	14 47 23.385	-17 26 49.62	1.342 011 32	8	16 23 7.005	-19 18 6.28	0.701 596 73		
24	14 53 12.983	-17 59 1.64	1.333 153 84	9	16 19 2.658	-18 56 54.93	0.714 604 37		
25	14 59 2.217	-18 30 19.68	1.323 800 07	10	16 15 40.092	-18 39 24.25	0.729 974 98		
26	15 4 51.046	-19 0 42.41	1.313 946 58	11	16 13 2.173	-18 25 49.50	0.747 379 04		
27	15 10 39.407	-19 30 8.44	1.303 589 40	12	16 11 9.869	-18 16 14.88	0.766 478 43		
28	15 16 27.207	-19 58 36.36	1.292 724 10	13	16 10 2.621	-18 10 35.14	0.786 942 29		
29	15 22 14.321	-20 26 4.71	1.281 345 86	14	16 9 38.732	-18 8 37.71	0.808 458 75		
30	15 28 0.592	-20 52 31.98	1.269 449 59	15	16 9 55.737	-18 10 4.90	0.830 742 67		
31	15 33 45.826	-21 17 56.59	1.257 029 97	16	16 10 50.721	-18 14 35.89	0.853 539 84		
Nov.	1	15 39 29.789	-21 42 16.95	1.244 081 57	17	16 12 20.559	-18 21 48.38	0.876 628 41	
	2	15 45 12.204	-22 5 31.39	1.230 598 93	18	16 14 22.101	-18 31 19.81	0.899 818 32	
	3	15 50 52.748	-22 27 38.20	1.216 576 70	19	16 16 52.293	-18 42 48.27	0.922 949 39	
	4	15 56 31.039	-22 48 35.64	1.202 009 79	20	16 19 48.257	-18 55 53.03	0.945 888 65	
	5	16 2 6.635	-23 8 21.89	1.186 893 63	21	16 23 7.333	-19 10 14.91	0.968 527 34	
	6	16 7 39.026	-23 26 55.12	1.171 224 34	22	16 26 47.098	-19 25 36.39	0.990 777 82	
	7	16 13 7.619	-23 44 13.42	1.154 999 14	23	16 30 45.369	-19 41 41.66	1.012 570 60	
	8	16 18 31.736	-24 0 14.85	1.138 216 63	24	16 35 0.193	-19 58 16.58	1.033 851 61	
	9	16 23 50.599	-24 14 57.39	1.120 877 31	25	16 39 29.836	-20 15 8.54	1.054 579 71	
	10	16 29 3.317	-24 28 19.00	1.102 984 06	26	16 44 12.763	-20 32 6.34	1.074 724 48	
	11	16 34 8.873	-24 40 17.56	1.084 542 80	27	16 49 7.620	-20 49 0.10	1.094 264 37	
	12	16 39 6.110	-24 50 50.89	1.065 563 28	28	16 54 13.218	-21 5 41.08	1.113 184 97	
13	16 43 53.715	-24 59 56.73	1.046 059 97	29	16 59 28.510	-21 22 1.57	1.131 477 69		
14	16 48 30.199	-25 7 32.76	1.026 053 13	30	17 4 52.574	-21 37 54.74	1.149 138 58		
15	16 52 53.884	-25 13 36.53	1.005 570 15	31	17 10 24.599	-21 53 14.58	1.166 167 29		
16	16 57 2.881	-25 18 5.48	0.984 647 03	32	17 16 3.870	-22 7 55.76	1.182 566 37		
17	17 0 55.075	-25 20 56.87	0.963 330 13	33	17 21 49.753	-22 21 53.54	1.198 340 49		

VÉNUS 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE 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	15	24	29.086	-15	2	58.53	0.608 423 75	Févr.	15	18	52	50.823	-21	2	57.37	0.953 671 12
	1	15	28	19.690	-15	16	29.14	0.615 995 31		16	18	57	48.718	-21	0	12.20	0.960 914 43
	2	15	32	12.782	-15	29	59.88	0.623 574 16		17	19	2	46.888	-20	56	52.70	0.968 141 94
	3	15	36	8.303	-15	43	29.45	0.631 159 27		18	19	7	45.283	-20	52	58.73	0.975 353 34
	4	15	40	6.197	-15	56	56.58	0.638 749 70		19	19	12	43.854	-20	48	30.21	0.982 548 20
	5	15	44	6.411	-16	10	20.02	0.646 344 62		20	19	17	42.551	-20	43	27.06	0.989 725 99
	6	15	48	8.896	-16	23	38.55	0.653 943 24		21	19	22	41.329	-20	37	49.26	0.996 886 12
	7	15	52	13.603	-16	36	50.98	0.661 544 86		22	19	27	40.137	-20	31	36.83	1.004 027 98
	8	15	56	20.491	-16	49	56.15	0.669 148 78		23	19	32	38.927	-20	24	49.82	1.011 150 95
	9	16	0	29.516	-17	2	52.90	0.676 754 38		24	19	37	37.646	-20	17	28.34	1.018 254 45
	10	16	4	40.638	-17	15	40.14	0.684 361 01		25	19	42	36.244	-20	9	32.50	1.025 337 98
	11	16	8	53.821	-17	28	16.76	0.691 968 09		26	19	47	34.669	-20	1	2.47	1.032 401 07
	12	16	13	9.025	-17	40	41.70	0.699 575 03		27	19	52	32.869	-19	51	58.44	1.039 443 35
	13	16	17	26.214	-17	52	53.90	0.707 181 24		28	19	57	30.797	-19	42	20.61	1.046 464 49
14	16	21	45.352	-18	4	52.35	0.714 786 17	Mars	1	20	2	28.405	-19	32	9.21	1.053 464 22	
15	16	26	6.404	-18	16	36.04	0.722 389 26	2	20	7	25.649	-19	21	24.50	1.060 442 34		
16	16	30	29.333	-18	28	3.98	0.729 989 94	3	20	12	22.487	-19	10	6.77	1.067 398 65		
17	16	34	54.104	-18	39	15.19	0.737 587 63	4	20	17	18.878	-18	58	16.31	1.074 333 04		
18	16	39	20.679	-18	50	8.74	0.745 181 72	5	20	22	14.786	-18	45	53.46	1.081 245 40		
19	16	43	49.022	-19	0	43.67	0.752 771 56	6	20	27	10.177	-18	32	58.54	1.088 135 65		
20	16	48	19.094	-19	10	59.06	0.760 356 41	7	20	32	5.019	-18	19	31.94	1.095 003 77		
21	16	52	50.858	-19	20	54.01	0.767 935 49	8	20	36	59.281	-18	5	34.04	1.101 849 72		
22	16	57	24.272	-19	30	27.60	0.775 507 94	9	20	41	52.937	-17	51	5.24	1.108 673 50		
23	17	1	59.296	-19	39	38.98	0.783 072 88	10	20	46	45.961	-17	36	5.97	1.115 475 12		
24	17	6	35.888	-19	48	27.30	0.790 629 42	11	20	51	38.331	-17	20	36.67	1.122 254 59		
25	17	11	14.003	-19	56	51.76	0.798 176 67	12	20	56	30.025	-17	4	37.80	1.129 011 94		
26	17	15	53.593	-20	4	51.58	0.805 713 82	13	21	1	21.024	-16	48	9.82	1.135 747 20		
27	17	20	34.608	-20	12	26.01	0.813 240 12	14	21	6	11.312	-16	31	13.22	1.142 460 40		
28	17	25	16.995	-20	19	34.35	0.820 754 92	15	21	11	0.875	-16	13	48.49	1.149 151 55		
29	17	30	0.699	-20	26	15.91	0.828 257 62	16	21	15	49.700	-15	55	56.13	1.155 820 64		
30	17	34	45.663	-20	32	30.03	0.835 747 73	17	21	20	37.778	-15	37	36.65	1.162 467 63		
31	17	39	31.832	-20	38	16.08	0.843 224 82	18	21	25	25.103	-15	18	50.55	1.169 092 37		
Févr.	1	17	44	19.147	-20	43	33.45	0.850 688 53	19	21	30	11.673	-14	59	38.34	1.175 694 65	
	2	17	49	7.551	-20	48	21.57	0.858 138 58	20	21	34	57.488	-14	40	0.56	1.182 274 14	
	3	17	53	56.989	-20	52	39.90	0.865 574 72	21	21	39	42.551	-14	19	57.74	1.188 830 40	
	4	17	58	47.404	-20	56	27.90	0.872 996 73	22	21	44	26.865	-13	59	30.44	1.195 362 89	
	5	18	3	38.740	-20	59	45.10	0.880 404 47	23	21	49	10.433	-13	38	39.25	1.201 871 04	
	6	18	8	30.944	-21	2	31.04	0.887 797 79	24	21	53	53.258	-13	17	24.77	1.208 354 26	
	7	18	13	23.959	-21	4	45.29	0.895 176 56	25	21	58	35.342	-12	55	47.62	1.214 811 99	
	8	18	18	17.732	-21	6	27.46	0.902 540 67	26	22	3	16.686	-12	33	48.44	1.221 243 69	
9	18	23	12.209	-21	7	37.18	0.909 890 03	27	22	7	57.296	-12	11	27.86	1.227 648 89		
10	18	28	7.335	-21	8	14.11	0.917 224 54	28	22	12	37.177	-11	48	46.52	1.234 027 18		
11	18	33	3.057	-21	8	17.95	0.924 544 12	29	22	17	16.337	-11	25	45.07	1.240 378 18		
12	18	37	59.320	-21	7	48.43	0.931 848 66	30	22	21	54.785	-11	2	14.16	1.246 701 55		
13	18	42	56.072	-21	6	45.30	0.939 138 09	31	22	26	32.533	-10	38	44.43	1.252 997 00		
14	18	47	53.257	-21	5	8.35	0.946 412 29	Avril	1	22	31	9.595	-10	14	46.53	1.259 264 27	

VÉNUS 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Avril	2	22	35	45.986	- 9	50	31.11	1.265 503 14	Mai	18	2	3	31.502	10	50	48.82	1.518 137 07
	3	22	40	21.722	- 9	25	58.84	1.271 713 41		19	2	8	9.497	11	16	19.58	1.522 767 32
	4	22	44	56.822	- 9	1	10.36	1.277 894 91		20	2	12	48.328	11	41	35.67	1.527 356 17
	5	22	49	31.305	- 8	36	6.34	1.284 047 51		21	2	17	28.020	12	6	36.39	1.531 902 99
	6	22	54	5.193	- 8	10	47.44	1.290 171 10		22	2	22	8.601	12	31	21.00	1.536 407 13
	7	22	58	38.506	- 7	45	14.31	1.296 265 59		23	2	26	50.096	12	55	48.80	1.540 867 96
	8	23	3	11.267	- 7	19	27.62	1.302 330 92		24	2	31	32.528	13	19	59.05	1.545 284 86
	9	23	7	43.501	- 6	53	28.03	1.308 367 05		25	2	36	15.920	13	43	51.04	1.549 657 24
	10	23	12	15.231	- 6	27	16.20	1.314 373 95		26	2	41	0.295	14	7	24.06	1.553 984 53
	11	23	16	46.484	- 6	0	52.80	1.320 351 61		27	2	45	45.671	14	30	37.38	1.558 266 20
	12	23	21	17.286	- 5	34	18.47	1.326 300 02		28	2	50	32.068	14	53	30.30	1.562 501 73
13	23	25	47.666	- 5	7	33.88	1.332 219 16	29	2	55	19.503	15	16	2.09	1.566 690 64		
14	23	30	17.655	- 4	40	39.66	1.338 109 01	30	3	0	7.989	15	38	12.05	1.570 832 47		
15	23	34	47.284	- 4	13	36.47	1.343 969 48	31	3	4	57.541	15	59	59.48	1.574 926 79		
16	23	39	16.589	- 3	46	24.92	1.349 800 43	Juin	1	3	9	48.168	16	21	23.66	1.578 973 20	
17	23	43	45.606	- 3	19	5.66	1.355 601 63		2	3	14	39.879	16	42	23.89	1.582 971 37	
18	23	48	14.373	- 2	51	39.30	1.361 372 73		3	3	19	32.680	17	2	59.46	1.586 921 00	
19	23	52	42.928	- 2	24	6.48	1.367 113 26		4	3	24	26.574	17	23	9.69	1.590 821 83	
20	23	57	11.306	- 1	56	27.86	1.372 822 69		5	3	29	21.563	17	42	53.86	1.594 673 70	
21	0	1	39.542	- 1	28	44.10	1.378 500 40		6	3	34	17.648	18	2	11.29	1.598 476 46	
22	0	6	7.669	- 1	0	55.87	1.384 145 75		7	3	39	14.828	18	21	1.28	1.602 230 04	
23	0	10	35.720	- 0	33	3.86	1.389 758 09		8	3	44	13.100	18	39	23.17	1.605 934 41	
24	0	15	3.728	- 0	5	8.76	1.395 336 83		9	3	49	12.463	18	57	16.27	1.609 589 54	
25	0	19	31.726	- 0	22	48.76	1.400 881 38		10	3	54	12.913	19	14	39.95	1.613 195 45	
26	0	23	59.747	0	50	48.01	1.406 391 20		11	3	59	14.447	19	31	33.55	1.616 752 13	
27	0	28	27.826	1	18	48.31	1.411 865 80	12	4	4	17.058	19	47	56.46	1.620 259 54		
28	0	32	55.998	1	46	48.98	1.417 304 70	13	4	9	20.739	20	3	48.05	1.623 717 60		
29	0	37	24.297	2	14	49.34	1.422 707 47	14	4	14	25.478	20	19	7.72	1.627 126 15		
30	0	41	52.758	2	42	48.71	1.428 073 69	15	4	19	31.261	20	33	54.88	1.630 484 97		
Mai	1	0	46	21.415	3	10	46.40	1.433 403 00	16	4	24	38.071	20	48	8.92	1.633 793 74	
	2	0	50	50.305	3	38	41.75	1.438 695 03	17	4	29	45.888	21	1	49.26	1.637 052 07	
	3	0	55	19.460	4	6	34.06	1.443 949 49	18	4	34	54.689	21	14	55.33	1.640 259 51	
	4	0	59	48.916	4	34	22.66	1.449 166 08	19	4	40	4.451	21	27	26.55	1.643 415 58	
	5	1	4	18.706	5	2	6.85	1.454 344 56	20	4	45	15.147	21	39	22.38	1.646 519 76	
	6	1	8	48.862	5	29	45.96	1.459 484 74	21	4	50	26.748	21	50	42.28	1.649 571 55	
	7	1	13	19.419	5	57	19.29	1.464 586 44	22	4	55	39.224	22	1	25.75	1.652 570 44	
	8	1	17	50.408	6	24	46.16	1.469 649 54	23	5	0	52.541	22	11	32.30	1.655 515 94	
	9	1	22	21.862	6	52	5.87	1.474 673 93	24	5	6	6.664	22	21	1.46	1.658 407 58	
	10	1	26	53.813	7	19	17.75	1.479 659 54	25	5	11	21.555	22	29	52.80	1.661 244 90	
	11	1	31	26.296	7	46	21.09	1.484 606 32	26	5	16	37.173	22	38	5.89	1.664 027 48	
12	1	35	59.343	8	13	15.22	1.489 514 19	27	5	21	53.476	22	45	40.34	1.666 754 88		
13	1	40	32.992	8	39	59.46	1.494 383 11	28	5	27	10.418	22	52	35.78	1.669 426 71		
14	1	45	7.277	9	6	33.14	1.499 212 95	29	5	32	27.952	22	58	51.87	1.672 042 62		
15	1	49	42.235	9	32	55.59	1.504 003 57	30	5	37	46.027	23	4	28.30	1.674 602 26		
16	1	54	17.902	9	59	6.14	1.508 754 71	Juill.	1	5	43	4.592	23	9	24.77	1.677 105 36	
17	1	58	54.314	10	25	4.11	1.513 466 02		2	5	48	23.592	23	13	41.01	1.679 551 70	

VÉNUS 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance ua	Date	asc. droite			déclinaison			distance ua			
	h	m	s	°	'	"			h	m	s	°	'	"				
Juill.	3	5	53	42.972	23	17	16.79	1.68194114	Août	18	9	51	30.225	14	22	42.14	1.73026808	
	4	5	59	2.674	23	20	11.89	1.68427359		19	9	56	19.362	13	58	20.03	1.72998783	
	5	6	4	22.644	23	22	26.13	1.68654908		20	10	1	7.505	13	33	34.94	1.72965313	
	6	6	9	42.827	23	23	59.33	1.68876766		21	10	5	54.673	13	8	27.56	1.72926399	
	7	6	15	3.166	23	24	51.38	1.69092949		22	10	10	40.886	12	42	58.63	1.72882041	
	8	6	20	23.609	23	25	2.17	1.69303473		23	10	15	26.167	12	17	8.86	1.72832238	
	9	6	25	44.102	23	24	31.65	1.69508356		24	10	20	10.537	11	50	58.98	1.72776989	
	10	6	31	4.592	23	23	19.79	1.69707618		25	10	24	54.020	11	24	29.73	1.72716291	
	11	6	36	25.024	23	21	26.58	1.69901275		26	10	29	36.640	10	57	41.83	1.72650141	
	12	6	41	45.345	23	18	52.06	1.70089338		27	10	34	18.420	10	30	36.05	1.72578538	
	13	6	47	5.501	23	15	36.29	1.70271815		28	10	38	59.387	10	3	13.11	1.72501482	
	14	6	52	25.436	23	11	39.33	1.70448706		29	10	43	39.566	9	35	33.75	1.72418981	
	15	6	57	45.100	23	7	1.30	1.70620005		30	10	48	18.988	9	7	38.73	1.72331048	
	16	7	3	4.438	23	1	42.31	1.70785701		31	10	52	57.682	8	39	28.76	1.72237710	
	17	7	8	23.401	22	55	42.53	1.70945777		Sept.	1	10	57	35.681	8	11	4.59	1.72139001
	18	7	13	41.940	22	49	2.13	1.71100212		2	11	2	13.018	7	42	26.95	1.72034966	
	19	7	19	0.006	22	41	41.33	1.71248984		3	11	6	49.725	7	13	36.57	1.71925658	
20	7	24	17.555	22	33	40.36	1.71392068	4	11	11	25.837	6	44	34.20	1.71811135			
21	7	29	34.539	22	24	59.51	1.71529440	5	11	16	1.388	6	15	20.57	1.71691456			
22	7	34	50.916	22	15	39.06	1.71661076	6	11	20	36.414	5	45	56.41	1.71566679			
23	7	40	6.643	22	5	39.35	1.71786950	7	11	25	10.950	5	16	22.45	1.71436863			
24	7	45	21.678	21	55	0.73	1.71907041	8	11	29	45.035	4	46	39.41	1.71302060			
25	7	50	35.983	21	43	43.60	1.72021324	9	11	34	18.708	4	16	48.02	1.71162322			
26	7	55	49.517	21	31	48.35	1.72129777	10	11	38	52.009	3	46	48.99	1.71017695			
27	8	1	2.244	21	19	15.43	1.72232380	11	11	43	24.980	3	16	43.03	1.70868222			
28	8	6	14.128	21	6	5.29	1.72329114	12	11	47	57.664	2	46	30.86	1.70713942			
29	8	11	25.134	20	52	18.41	1.72419961	13	11	52	30.103	2	16	13.18	1.70554890			
30	8	16	35.229	20	37	55.30	1.72504910	14	11	57	2.342	1	45	50.70	1.70391097			
31	8	21	44.383	20	22	56.47	1.72583956	15	12	1	34.425	1	15	24.14	1.70222590			
Août	1	8	26	52.566	20	7	22.45	1.72657100	16	12	6	6.396	0	44	54.22	1.70049394		
2	8	31	59.754	19	51	13.80	1.72724356	17	12	10	38.298	0	14	21.65	1.69871532			
3	8	37	5.925	19	34	31.08	1.72785743	18	12	15	10.176	- 0	16	12.84	1.69689020			
4	8	42	11.062	19	17	14.85	1.72841293	19	12	19	42.073	- 0	46	48.52	1.69501876			
5	8	47	15.150	18	59	25.72	1.72891042	20	12	24	14.032	- 1	17	24.67	1.69310112			
6	8	52	18.176	18	41	4.29	1.72935032	21	12	28	46.096	- 1	48	0.55	1.69113739			
7	8	57	20.130	18	22	11.19	1.72973305	22	12	33	18.307	- 2	18	35.42	1.68912763			
8	9	2	21.004	18	2	47.05	1.73005905	23	12	37	50.707	- 2	49	8.53	1.68707190			
9	9	7	20.792	17	42	52.52	1.73032873	24	12	42	23.338	- 3	19	39.13	1.68497020			
10	9	12	19.489	17	22	28.23	1.73054245	25	12	46	56.240	- 3	50	6.47	1.68282255			
11	9	17	17.096	17	1	34.84	1.73070056	26	12	51	29.455	- 4	20	29.78	1.68062896			
12	9	22	13.612	16	40	13.01	1.73080333	27	12	56	3.025	- 4	50	48.32	1.67838947			
13	9	27	9.042	16	18	23.40	1.73085100	28	13	0	36.991	- 5	21	1.33	1.67610420			
14	9	32	3.393	15	56	6.68	1.73084375	29	13	5	11.394	- 5	51	8.06	1.67377339			
15	9	36	56.674	15	33	23.51	1.73078175	30	13	9	46.273	- 5	21	7.75	1.67139736			
16	9	41	48.897	15	10	14.57	1.73066508	Oct.	1	13	14	21.666	- 6	50	59.63	1.66897654		
17	9	46	40.076	14	46	40.55	1.73049384	2	13	18	57.610	- 7	20	42.94	1.66651144			

VÉNUS 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance				
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua				
Oct.	3	13	23	34.141	-	7	50	16.91	1.66400265	Nov.	18	17	13	37.370	-23	59	7.80	1.50720619	
	4	13	28	11.296	-	8	19	40.77	1.66145073		19	17	19	1.922	-24	7	4.25	1.50298495	
	5	13	32	49.111	-	8	48	53.74	1.65885629		20	17	24	27.087	-24	14	17.48	1.49873219	
	6	13	37	27.624	-	9	17	55.05	1.65621990		21	17	29	52.809	-24	20	47.14	1.49444774	
	7	13	42	6.871	-	9	46	43.95	1.65354210		22	17	35	19.031	-24	26	32.89	1.49013138	
	8	13	46	46.892	-	10	15	19.65	1.65082342		23	17	40	45.693	-24	31	34.45	1.48578287	
	9	13	51	27.721	-	10	43	41.39	1.64806435		24	17	46	12.730	-24	35	51.57	1.48140200	
	10	13	56	9.398	-	11	11	48.41	1.64526534		25	17	51	40.077	-24	39	24.05	1.47698858	
	11	14	0	51.957	-	11	39	39.94	1.64242683		26	17	57	7.662	-24	42	11.72	1.47254250	
	12	14	5	35.433	-	12	7	15.20	1.63954920		27	18	2	35.413	-24	44	14.43	1.46806374	
	13	14	10	19.862	-	12	34	33.42	1.63663280		28	18	8	3.256	-24	45	32.08	1.46355239	
	14	14	15	5.275	-	13	1	33.83	1.63367797		29	18	13	31.117	-24	46	4.57	1.45900862	
	15	14	19	51.704	-	13	28	15.64	1.63068498		30	18	18	58.924	-24	45	51.88	1.45443265	
	16	14	24	39.177	-	13	54	38.07	1.62765407		Déc.	1	18	24	26.605	-24	44	53.98	1.44982475
	17	14	29	27.723	-	14	20	40.34	1.62458545			2	18	29	54.091	-24	43	10.90	1.44518523
	18	14	34	17.368	-	14	46	21.64	1.62147928		3	18	35	21.312	-24	40	42.71	1.44051437	
	19	14	39	8.135	-	15	11	41.18	1.61833569		4	18	40	48.200	-24	37	29.50	1.43581248	
20	14	44	0.047	-	15	36	38.17	1.61515476	5	18	46	14.689	-24	33	31.42	1.43107985			
21	14	48	53.123	-	16	1	11.79	1.61193651	6	18	51	40.712	-24	28	48.63	1.42631678			
22	14	53	47.383	-	16	25	21.25	1.60868094	7	18	57	6.206	-24	23	21.35	1.42152354			
23	14	58	42.841	-	16	49	5.74	1.60538798	8	19	2	31.106	-24	17	9.81	1.41670041			
24	15	3	39.515	-	17	12	24.45	1.60205755	9	19	7	55.352	-24	10	14.29	1.41184765			
25	15	8	37.415	-	17	35	16.59	1.59868955	10	19	13	18.882	-24	2	35.09	1.40696550			
26	15	13	36.552	-	17	57	41.37	1.59528390	11	19	18	41.638	-23	54	12.55	1.40205420			
27	15	18	36.933	-	18	19	38.01	1.59184058	12	19	24	3.563	-23	45	7.03	1.39711392			
28	15	23	38.560	-	18	41	5.74	1.58835965	13	19	29	24.603	-23	35	18.93	1.39214483			
29	15	28	41.432	-	19	2	3.78	1.58484130	14	19	34	44.706	-23	24	48.65	1.38714702			
30	15	33	45.543	-	19	22	31.36	1.58128579	15	19	40	3.822	-23	13	36.63	1.38212056			
31	15	38	50.885	-	19	42	27.71	1.57769351	16	19	45	21.905	-23	1	43.33	1.37706544			
Nov.	1	15	43	57.449	-	20	1	52.08	1.57406485	17	19	50	38.911	-22	49	9.25	1.37198158		
	2	15	49	5.224	-	20	20	43.71	1.57040029	18	19	55	54.802	-22	35	54.89	1.36686885		
	3	15	54	14.197	-	20	39	1.88	1.56670029	19	20	1	9.538	-22	22	0.79	1.36172706		
	4	15	59	24.354	-	20	56	45.85	1.56296528	20	20	6	23.086	-22	7	27.51	1.35655595		
	5	16	4	35.681	-	21	13	54.92	1.55919573	21	20	11	35.413	-21	52	15.66	1.35135523		
	6	16	9	48.158	-	21	30	28.40	1.55539205	22	20	16	46.486	-21	36	25.85	1.34612458		
	7	16	15	1.765	-	21	46	25.62	1.55155465	23	20	21	56.275	-21	19	58.75	1.34086367		
	8	16	20	16.479	-	22	1	45.93	1.54768391	24	20	27	4.748	-21	2	55.01	1.33557222		
	9	16	25	32.274	-	22	16	28.68	1.54378018	25	20	32	11.877	-20	45	15.34	1.33024999		
	10	16	30	49.121	-	22	30	33.26	1.53984381	26	20	37	17.635	-20	27	0.44	1.32489683		
	11	16	36	6.989	-	22	43	59.07	1.53587509	27	20	42	21.997	-20	8	11.03	1.31951266		
	12	16	41	25.843	-	22	56	45.52	1.53187430	28	20	47	24.943	-19	48	47.82	1.31409748		
	13	16	46	45.645	-	23	8	52.05	1.52784167	29	20	52	26.458	-19	28	51.55	1.30865136		
	14	16	52	6.355	-	23	20	18.13	1.52377741	30	20	57	26.528	-19	8	22.96	1.30317442		
	15	16	57	27.929	-	23	31	3.23	1.51968165	31	21	2	25.143	-18	47	22.81	1.29766681		
	16	17	2	50.323	-	23	41	6.85	1.51555451	32	21	7	22.297	-18	25	51.84	1.29212869		
	17	17	8	13.487	-	23	50	28.53	1.51139602	33	21	12	17.987	-18	3	50.84	1.28656026		

MARS 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Janv.	0 19 16 50.326	-23 15 29.84	2.37877897	Févr.	15 21 45 20.576	-14 39 24.32	2.37097675
	1 19 20 10.624	-23 9 33.44	2.37890668		16 21 48 25.138	-14 23 36.93	2.37058013
	2 19 23 30.794	-23 3 21.21	2.37901663		17 21 51 29.278	-14 7 40.88	2.37017805
	3 19 26 50.817	-22 56 53.23	2.37910893		18 21 54 32.998	-13 51 36.36	2.36977080
	4 19 30 10.676	-22 50 9.60	2.37918373		19 21 57 36.303	-13 35 23.55	2.36935858
	5 19 33 30.355	-22 43 10.39	2.37924125		20 22 0 39.199	-13 19 2.63	2.36894145
	6 19 36 49.837	-22 35 55.69	2.37928179		21 22 3 41.695	-13 2 33.79	2.36851937
	7 19 40 9.107	-22 28 25.61	2.37930569		22 22 6 43.797	-12 45 57.20	2.36809216
	8 19 43 28.152	-22 20 40.22	2.37931332		23 22 9 45.513	-12 29 13.06	2.36765960
	9 19 46 46.957	-22 12 39.64	2.37930512		24 22 12 46.848	-12 12 21.60	2.36722139
	10 19 50 5.512	-22 4 23.98	2.37928155		25 22 15 47.806	-11 55 23.02	2.36677725
	11 19 53 23.804	-21 55 53.33	2.37924306		26 22 18 48.389	-11 38 17.55	2.36632690
	12 19 56 41.823	-21 47 7.82	2.37919014		27 22 21 48.601	-11 21 5.40	2.36587010
	13 19 59 59.558	-21 38 7.56	2.37912332		28 22 24 48.444	-11 3 46.80	2.36540664
14 20 3 16.999	-21 28 52.69	2.37904308	Mars 1 22 27 47.922	-10 46 21.97	2.36493635		
15 20 6 34.137	-21 19 23.34	2.37894998	2 22 30 47.038	-10 28 51.12	2.36445912		
16 20 9 50.962	-21 9 39.63	2.37884454	3 22 33 45.796	-10 11 14.48	2.36397484		
17 20 13 7.465	-20 59 41.71	2.37872729	4 22 36 44.201	-9 53 32.24	2.36348349		
18 20 16 23.638	-20 49 29.73	2.37859876	5 22 39 42.258	-9 35 44.63	2.36298505		
19 20 19 39.471	-20 39 3.81	2.37845943	6 22 42 39.973	-9 17 51.86	2.36247955		
20 20 22 54.956	-20 28 24.11	2.37830972	7 22 45 37.351	-8 59 54.13	2.36196707		
21 20 26 10.085	-20 17 30.76	2.37814996	8 22 48 34.398	-8 41 51.66	2.36144770		
22 20 29 24.853	-20 6 23.90	2.37798038	9 22 51 31.121	-8 23 44.66	2.36092159		
23 20 32 39.256	-19 55 3.64	2.37780108	10 22 54 27.525	-8 5 33.34	2.36038888		
24 20 35 53.290	-19 43 30.14	2.37761208	11 22 57 23.618	-7 47 17.90	2.35984976		
25 20 39 6.954	-19 31 43.53	2.37741329	12 23 0 19.404	-7 28 58.56	2.35930446		
26 20 42 20.245	-19 19 43.99	2.37720461	13 23 3 14.890	-7 10 35.53	2.35875319		
27 20 45 33.158	-19 7 31.68	2.37698588	14 23 6 10.082	-6 52 9.02	2.35819621		
28 20 48 45.689	-18 55 6.79	2.37675698	15 23 9 4.986	-6 33 39.23	2.35763379		
29 20 51 57.832	-18 42 29.49	2.37651778	16 23 11 59.608	-6 15 6.38	2.35706621		
30 20 55 9.580	-18 29 39.98	2.37626821	17 23 14 53.955	-5 56 30.65	2.35649372		
31 20 58 20.927	-18 16 38.46	2.37600823	18 23 17 48.035	-5 37 52.25	2.35591652		
Févr.	1 21 1 31.867	-18 3 25.10	2.37573788	19 23 20 41.859	-5 19 11.35	2.35533475	
	2 21 4 42.395	-17 50 0.11	2.37545721	20 23 23 35.438	-5 0 28.13	2.35474843	
	3 21 7 52.505	-17 36 23.67	2.37516635	21 23 26 28.784	-4 41 42.75	2.35415744	
	4 21 11 2.195	-17 22 35.98	2.37486547	22 23 29 21.909	-4 22 55.39	2.35356155	
	5 21 14 11.460	-17 8 37.22	2.37455477	23 23 32 14.824	-4 4 6.24	2.35296040	
	6 21 17 20.298	-16 54 27.59	2.37423451	24 23 35 7.538	-3 45 15.51	2.35235358	
	7 21 20 28.709	-16 40 7.28	2.37390498	25 23 38 0.057	-3 26 23.38	2.35174064	
	8 21 23 36.692	-16 25 36.49	2.37356649	26 23 40 52.389	-3 7 30.07	2.35112113	
	9 21 26 44.245	-16 10 55.42	2.37321937	27 23 43 44.541	-2 48 35.79	2.35049462	
	10 21 29 51.370	-15 56 4.26	2.37286399	28 23 46 36.517	-2 29 40.75	2.34986070	
	11 21 32 58.066	-15 41 3.22	2.37250071	29 23 49 28.326	-2 10 45.14	2.34921902	
	12 21 36 4.334	-15 25 52.50	2.37212993	30 23 52 19.974	-1 51 49.18	2.34856923	
	13 21 39 10.174	-15 10 32.31	2.37175206	31 23 55 11.469	-1 32 53.06	2.34791106	
	14 21 42 15.588	-14 55 2.85	2.37136753	Avril 1 23 58 2.817	-1 13 56.97	2.34724425	

MARS 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance	
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua	
Avril	2 0 0 54.027	- 0 55 1.12	2.34656855	Mai	18 2 11 45.987	12 39 46.59	2.30359890	
	3 0 3 45.106	- 0 36 5.69	2.34588380		19 2 14 38.548	12 55 13.64	2.30231825	
	4 0 6 36.062	- 0 17 10.89	2.34518983		20 2 17 31.271	13 10 32.52	2.30101902	
	5 0 9 26.902	0 1 43.11	2.34448653		21 2 20 24.158	13 25 43.08	2.29970057	
	6 0 12 17.633	0 20 36.10	2.34377383		22 2 23 17.211	13 40 45.17	2.29836225	
	7 0 15 8.263	0 39 27.89	2.34305167		23 2 26 10.433	13 55 38.66	2.29700343	
	8 0 17 58.798	0 58 18.31	2.34232005		24 2 29 3.824	14 10 23.40	2.29562346	
	9 0 20 49.244	1 17 7.14	2.34157900		25 2 31 57.388	14 24 59.26	2.29422174	
	10 0 23 39.608	1 35 54.21	2.34082858		26 2 34 51.127	14 39 26.09	2.29279769	
	11 0 26 29.895	1 54 39.33	2.34006888		27 2 37 45.041	14 53 43.78	2.29135077	
	12 0 29 20.112	2 13 22.30	2.33930000		28 2 40 39.132	15 7 52.20	2.28988044	
	13 0 32 10.265	2 32 2.94	2.33852208		29 2 43 33.400	15 21 51.21	2.28838621	
	14 0 35 0.362	2 50 41.08	2.33773523		30 2 46 27.846	15 35 40.69	2.28686763	
	15 0 37 50.412	3 9 16.54	2.33693957		31 2 49 22.468	15 49 20.53	2.28532427	
	16 0 40 40.425	3 27 49.17	2.33613514		Juin	1 2 52 17.266	16 2 50.61	2.28375574
	17 0 43 30.412	3 46 18.80	2.33532190			2 2 55 12.237	16 16 10.79	2.28216172
18 0 46 20.385	4 4 45.30	2.33449970	3 2 58 7.377	16 29 20.97		2.28054193		
19 0 49 10.356	4 23 8.51	2.33366826	4 3 1 2.684	16 42 21.03		2.27889615		
20 0 52 0.333	4 41 28.27	2.33282717	5 3 3 58.154	16 55 10.83		2.27722423		
21 0 54 50.325	4 59 44.42	2.33197596	6 3 6 53.782	17 7 50.27		2.27552607		
22 0 57 40.338	5 17 56.77	2.33111404	7 3 9 49.567	17 20 19.23		2.27380161		
23 1 0 30.379	5 36 5.15	2.33024086	8 3 12 45.505	17 32 37.60		2.27205084		
24 1 3 20.452	5 54 9.37	2.32935581	9 3 15 41.596	17 44 45.26		2.27027376		
25 1 6 10.565	6 12 9.25	2.32845835	10 3 18 37.840	17 56 42.13		2.26847035		
26 1 9 0.722	6 30 4.62	2.32754795	11 3 21 34.237	18 8 28.12		2.26664059		
27 1 11 50.931	6 47 55.31	2.32662409	12 3 24 30.789	18 20 3.15		2.26478440		
28 1 14 41.197	7 5 41.14	2.32568632	13 3 27 27.495	18 31 27.13		2.26290160		
29 1 17 31.527	7 23 21.94	2.32473421	14 3 30 24.355	18 42 40.00		2.26099197		
30 1 20 21.926	7 40 57.54	2.32376734	15 3 33 21.367	18 53 41.68		2.25905514		
Mai	1 1 23 12.400	7 58 27.79	2.32278534	16 3 36 18.528		19 4 32.07	2.25709067	
	2 1 26 2.955	8 15 52.51	2.32178788	17 3 39 15.833	19 15 11.09	2.25509804		
	3 1 28 53.595	8 33 11.54	2.32077465	18 3 42 13.281	19 25 38.66	2.25307663		
	4 1 31 44.325	8 50 24.73	2.31974541	19 3 45 10.865	19 35 54.67	2.25102584		
	5 1 34 35.149	9 7 31.90	2.31869993	20 3 48 8.584	19 45 59.04	2.24894499		
	6 1 37 26.069	9 24 32.90	2.31763806	21 3 51 6.433	19 55 51.69	2.24683345		
	7 1 40 17.090	9 41 27.56	2.31655966	22 3 54 4.407	20 5 32.54	2.24469059		
	8 1 43 8.213	9 58 15.72	2.31546467	23 3 57 2.503	20 15 1.51	2.24251578		
	9 1 45 59.441	10 14 57.23	2.31435306	24 4 0 0.716	20 24 18.54	2.24030843		
	10 1 48 50.777	10 31 31.91	2.31322481	25 4 2 59.039	20 33 23.57	2.23806798		
	11 1 51 42.225	10 47 59.61	2.31207995	26 4 5 57.468	20 42 16.52	2.23579388		
	12 1 54 33.789	11 4 20.19	2.31091852	27 4 8 55.994	20 50 57.35	2.23348561		
	13 1 57 25.475	11 20 33.50	2.30974053	28 4 11 54.611	20 59 25.99	2.23114269		
	14 2 0 17.291	11 36 39.42	2.30854596	29 4 14 53.310	21 7 42.41	2.22876468		
	15 2 3 9.243	11 52 37.80	2.30733474	30 4 17 52.082	21 15 46.53	2.22635118		
	16 2 6 1.339	12 8 28.54	2.30610670	Juill.	1 4 20 50.916	21 23 38.33	2.22390186	
17 2 8 53.585	12 24 11.51	2.30486155	2 4 23 49.802		21 31 17.74	2.22141646		

MARS 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Juill.	3	4	26	48.728	21	38	44.71	2.218 894 79	Août	18	6	42	14.633	23	35	43.93	2.059 660 93
	4	4	29	47.684	21	45	59.20	2.216 336 74		19	6	45	5.408	23	33	33.89	2.055 155 13
	5	4	32	46.661	21	53	1.17	2.213 742 26		20	6	47	55.793	23	31	12.85	2.050 600 50
	6	4	35	45.650	21	59	50.56	2.211 111 36		21	6	50	45.778	23	28	40.93	2.045 996 60
	7	4	38	44.645	22	6	27.34	2.208 444 07		22	6	53	35.355	23	25	58.23	2.041 343 04
	8	4	41	43.640	22	12	51.51	2.205 740 43		23	6	56	24.514	23	23	4.86	2.036 639 41
	9	4	44	42.628	22	19	3.03	2.203 000 44		24	6	59	13.244	23	20	0.92	2.031 885 36
	10	4	47	41.604	22	25	1.90	2.200 224 08		25	7	2	1.536	23	16	46.55	2.027 080 58
	11	4	50	40.561	22	30	48.11	2.197 411 24		26	7	4	49.378	23	13	21.85	2.022 224 78
	12	4	53	39.493	22	36	21.67	2.194 561 75		27	7	7	36.758	23	9	46.95	2.017 317 78
	13	4	56	38.390	22	41	42.55	2.191 675 33		28	7	10	23.664	23	6	1.95	2.012 359 47
	14	4	59	37.244	22	46	50.76	2.188 751 64		29	7	13	10.087	23	2	6.96	2.007 349 84
15	5	2	36.047	22	51	46.28	2.185 790 26	30	7	15	56.017	22	58	2.11	2.002 288 99		
16	5	5	34.790	22	56	29.10	2.182 790 69	31	7	18	41.447	22	53	47.50	1.997 177 14		
17	5	8	33.465	23	0	59.19	2.179 752 39	Sept.	1	7	21	26.371	22	49	23.25	1.992 014 56	
18	5	11	32.062	23	5	16.57	2.176 674 79	2	7	24	10.785	22	44	49.49	1.986 801 56		
19	5	14	30.576	23	9	21.23	2.173 557 31	3	7	26	54.684	22	40	6.35	1.981 538 44		
20	5	17	28.996	23	13	13.16	2.170 399 36	4	7	29	38.060	22	35	13.97	1.976 225 45		
21	5	20	27.314	23	16	52.39	2.167 200 37	5	7	32	20.910	22	30	12.46	1.970 862 81		
22	5	23	25.522	23	20	18.93	2.163 959 78	6	7	35	3.227	22	25	1.97	1.965 450 63		
23	5	26	23.610	23	23	32.79	2.160 677 05	7	7	37	45.005	22	19	42.61	1.959 988 96		
24	5	29	21.567	23	26	34.01	2.157 351 65	8	7	40	26.241	22	14	14.50	1.954 477 80		
25	5	32	19.383	23	29	22.60	2.153 983 09	9	7	43	6.929	22	8	37.76	1.948 917 05		
26	5	35	17.047	23	31	58.62	2.150 570 88	10	7	45	47.067	22	2	52.51	1.943 306 61		
27	5	38	14.546	23	34	22.08	2.147 114 60	11	7	48	26.650	21	56	58.87	1.937 646 28		
28	5	41	11.867	23	36	33.04	2.143 613 85	12	7	51	5.677	21	50	56.96	1.931 935 86		
29	5	44	8.996	23	38	31.53	2.140 068 29	13	7	53	44.145	21	44	46.91	1.926 175 11		
30	5	47	5.920	23	40	17.60	2.136 477 67	14	7	56	22.050	21	38	28.84	1.920 363 77		
31	5	50	2.624	23	41	51.28	2.132 841 80	15	7	58	59.390	21	32	2.90	1.914 501 59		
Août	1	5	52	59.095	23	43	12.61	2.129 160 62	16	8	1	36.162	21	25	29.21	1.908 588 29	
2	5	55	55.321	23	44	21.63	2.125 434 12	17	8	4	12.361	21	18	47.93	1.902 623 60		
3	5	58	51.293	23	45	18.38	2.121 662 40	18	8	6	47.984	21	11	59.20	1.896 607 29		
4	6	1	47.000	23	46	2.93	2.117 845 58	19	8	9	23.024	21	5	3.17	1.890 539 09		
5	6	4	42.437	23	46	35.34	2.113 983 80	20	8	11	57.478	20	57	59.99	1.884 418 81		
6	6	7	37.594	23	46	55.66	2.110 077 18	21	8	14	31.338	20	50	49.82	1.878 246 23		
7	6	10	32.463	23	47	3.99	2.106 125 80	22	8	17	4.598	20	43	32.82	1.872 021 20		
8	6	13	27.037	23	47	0.39	2.102 129 67	23	8	19	37.250	20	36	9.13	1.865 743 61		
9	6	16	21.307	23	46	44.93	2.098 088 73	24	8	22	9.288	20	28	38.93	1.859 413 39		
10	6	19	15.263	23	46	17.69	2.094 002 86	25	8	24	40.703	20	21	2.35	1.853 030 58		
11	6	22	8.896	23	45	38.73	2.089 871 83	26	8	27	11.489	20	13	19.56	1.846 595 33		
12	6	25	2.198	23	44	48.13	2.085 695 37	27	8	29	41.641	20	5	30.71	1.840 107 88		
13	6	27	55.161	23	43	45.95	2.081 473 14	28	8	32	11.156	19	57	35.93	1.833 568 63		
14	6	30	47.777	23	42	32.25	2.077 204 76	29	8	34	40.029	19	49	35.39	1.826 978 03		
15	6	33	40.040	23	41	7.12	2.072 889 80	30	8	37	8.258	19	41	29.23	1.820 336 64		
16	6	36	31.941	23	39	30.64	2.068 527 81	Oct.	1	8	39	35.841	19	33	17.63	1.813 645 01	
17	6	39	23.475	23	37	42.87	2.064 118 34	2	8	42	2.773	19	25	0.73	1.806 903 65		

MARS 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua
Oct.	3	8 44	29.052	19 16	38.70		1.800 113 05	Nov.	18	10 24	1.013	12 3	38.71		1.438 583 96
	4	8 46	54.674	19 8	11.67		1.793 273 59		19	10 25	52.637	11 54	13.01		1.429 811 96
	5	8 49	19.637	18 59	39.80		1.786 385 59		20	10 27	43.368	11 44	50.09		1.421 009 43
	6	8 51	43.939	18 51	3.22		1.779 449 32		21	10 29	33.196	11 35	30.14		1.412 177 18
	7	8 54	7.579	18 42	22.06		1.772 464 97		22	10 31	22.106	11 26	13.38		1.403 316 16
	8	8 56	30.556	18 33	36.47		1.765 432 69		23	10 33	10.086	11 16	59.98		1.394 427 44
	9	8 58	52.871	18 24	46.58		1.758 352 59		24	10 34	57.121	11 7	50.17		1.385 512 19
	10	9 1	14.523	18 15	52.54		1.751 224 75		25	10 36	43.199	10 58	44.13		1.376 571 73
	11	9 3	35.511	18 6	54.48		1.744 049 23		26	10 38	28.302	10 49	42.08		1.367 607 42
	12	9 5	55.835	17 57	52.56		1.736 826 04		27	10 40	12.417	10 40	44.22		1.358 620 67
	13	9 8	15.494	17 48	46.93		1.729 555 21		28	10 41	55.528	10 31	50.73		1.349 612 87
	14	9 10	34.486	17 39	37.73		1.722 236 75		29	10 43	37.621	10 23	1.81		1.340 585 36
15	9 12	52.809	17 30	25.15		1.714 870 65	30	10 45	18.683	10 14	17.63		1.331 539 42		
16	9 15	10.459	17 21	9.32		1.707 456 94	Déc.	1	10 46	58.701	10 5	38.37		1.322 476 28	
17	9 17	27.434	17 11	50.43		1.699 995 63		2	10 48	37.663	9 57	4.21		1.313 397 11	
18	9 19	43.727	17 2	28.65		1.692 486 77	3	10 50	15.557	9 48	35.32		1.304 303 05		
19	9 21	59.335	16 53	4.14		1.684 930 42	4	10 51	52.369	9 40	11.89		1.295 195 21		
20	9 24	14.250	16 43	37.09		1.677 326 67	5	10 53	28.087	9 31	54.11		1.286 074 66		
21	9 26	28.466	16 34	7.66		1.669 675 69	6	10 55	2.695	9 23	42.15		1.276 942 50		
22	9 28	41.977	16 24	36.03		1.661 977 66	7	10 56	36.178	9 15	36.23		1.267 799 77		
23	9 30	54.775	16 15	2.38		1.654 232 89	8	10 58	8.520	9 7	36.54		1.258 647 53		
24	9 33	6.855	16 5	26.87		1.646 441 75	9	10 59	39.704	8 59	43.29		1.249 486 83		
25	9 35	18.210	15 55	49.68		1.638 604 76	10	11 1	9.709	8 51	56.70		1.240 318 74		
26	9 37	28.835	15 46	10.96		1.630 722 54	11	11 2	38.516	8 44	16.99		1.231 144 30		
27	9 39	38.726	15 36	30.90		1.622 795 85	12	11 4	6.102	8 36	44.40		1.221 964 60		
28	9 41	47.878	15 26	49.67		1.614 825 55	13	11 5	32.444	8 29	19.16		1.212 780 73		
29	9 43	56.285	15 17	7.44		1.606 812 50	14	11 6	57.518	8 22	1.52		1.203 593 85		
30	9 46	3.941	15 7	24.38		1.598 757 61	15	11 8	21.297	8 14	51.72		1.194 405 17		
31	9 48	10.840	14 57	40.66		1.590 661 70	16	11 9	43.753	8 7	50.01		1.185 215 96		
Nov.	1	9 50	16.978	14 47	56.44		1.582 525 57	17	11 11	4.860	8 0	56.66		1.176 027 61	
	2	9 52	22.350	14 38	11.87		1.574 349 91	18	11 12	24.588	7 54	11.91		1.166 841 61	
	3	9 54	26.953	14 28	27.10		1.566 135 38	19	11 13	42.909	7 47	36.01		1.157 659 56	
	4	9 56	30.784	14 18	42.27		1.557 882 54	20	11 14	59.792	7 41	9.23		1.148 483 21	
	5	9 58	33.840	14 8	57.54		1.549 591 96	21	11 16	15.206	7 34	51.82		1.139 314 45	
	6	10 0	36.118	13 59	13.06		1.541 264 12	22	11 17	29.120	7 28	44.04		1.130 155 32	
7	10 2	37.616	13 49	28.97		1.532 899 50	23	11 18	41.501	7 22	46.14		1.121 007 95		
8	10 4	38.330	13 39	45.44		1.524 498 56	24	11 19	52.315	7 16	58.39		1.111 874 60		
9	10 6	38.255	13 30	2.63		1.516 061 72	25	11 21	1.527	7 11	21.05		1.102 757 57		
10	10 8	37.387	13 20	20.71		1.507 589 42	26	11 22	9.106	7 5	54.35		1.093 659 18		
11	10 10	35.721	13 10	39.84		1.499 082 05	27	11 23	15.019	7 0	38.54		1.084 581 76		
12	10 12	33.250	13 1	0.20		1.490 540 01	28	11 24	19.234	6 55	33.84		1.075 527 60		
13	10 14	29.966	12 51	21.98		1.481 963 73	29	11 25	21.721	6 50	40.48		1.066 498 95		
14	10 16	25.860	12 41	45.35		1.473 353 61	30	11 26	22.450	6 45	58.69		1.057 498 04		
15	10 18	20.923	12 32	10.51		1.464 710 08	31	11 27	21.390	6 41	28.68		1.048 527 07		
16	10 20	15.144	12 22	37.66		1.456 033 62	32	11 28	18.509	6 37	10.68		1.039 588 25		
17	10 22	8.512	12 13	7.00		1.447 324 73	33	11 29	13.776	6 33	4.92		1.030 683 77		

JUPITER 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE 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	23	48	52.400	- 2	35	21.41	5.07357453	Févr.	15	0	18	50.631	0	48	9.12	5.68057020
	1	23	49	21.301	- 2	31	59.07	5.08902405		16	0	19	37.967	0	53	23.63	5.69051062
	2	23	49	50.762	- 2	28	33.19	5.10441813		17	0	20	25.549	0	58	39.46	5.70028144
	3	23	50	20.775	- 2	25	3.83	5.11975298		18	0	21	13.371	1	3	56.58	5.70988158
	4	23	50	51.333	- 2	21	31.04	5.13502481		19	0	22	1.427	1	9	14.95	5.71930995
	5	23	51	22.426	- 2	17	54.88	5.15022991		20	0	22	49.716	1	14	34.54	5.72856542
	6	23	51	54.046	- 2	14	15.41	5.16536464		21	0	23	38.233	1	19	55.32	5.73764675
	7	23	52	26.186	- 2	10	32.69	5.18042546		22	0	24	26.978	1	25	17.28	5.74655262
	8	23	52	58.837	- 2	6	46.75	5.19540892		23	0	25	15.946	1	30	40.39	5.75528161
	9	23	53	31.993	- 2	2	57.66	5.21031167		24	0	26	5.134	1	36	4.61	5.76383224
	10	23	54	5.646	- 1	59	5.46	5.22513045		25	0	26	54.536	1	41	29.91	5.77220301
	11	23	54	39.790	- 1	55	10.19	5.23986211		26	0	27	44.147	1	46	56.23	5.78039238
	12	23	55	14.418	- 1	51	11.91	5.25450360		27	0	28	33.959	1	52	23.53	5.78839886
	13	23	55	49.523	- 1	47	10.65	5.26905193		28	0	29	23.966	1	57	51.75	5.79622100
14	23	56	25.098	- 1	43	6.47	5.28350426	Mars	1	0	30	14.164	2	3	20.85	5.80385740	
15	23	57	1.136	- 1	38	59.42	5.29785780	2	0	31	4.545	2	8	50.78	5.81130671		
16	23	57	37.629	- 1	34	49.54	5.31210989	3	0	31	55.104	2	14	21.49	5.81856766		
17	23	58	14.570	- 1	30	36.89	5.32625797	4	0	32	45.836	2	19	52.95	5.82563908		
18	23	58	51.950	- 1	26	21.52	5.34029959	5	0	33	36.737	2	25	25.11	5.83251983		
19	23	59	29.760	- 1	22	3.49	5.35423237	6	0	34	27.802	2	30	57.94	5.83920890		
20	0	0	7.992	- 1	17	42.86	5.36805402	7	0	35	19.026	2	36	31.39	5.84570534		
21	0	0	46.638	- 1	13	19.68	5.38176230	8	0	36	10.404	2	42	5.43	5.85200830		
22	0	1	25.690	- 1	8	53.99	5.39535494	9	0	37	1.933	2	47	40.03	5.85811700		
23	0	2	5.145	- 1	4	25.82	5.40882964	10	0	37	53.606	2	53	15.13	5.86403077		
24	0	2	44.998	- 0	59	55.22	5.42218403	11	0	38	45.419	2	58	50.71	5.86974901		
25	0	3	25.246	- 0	55	22.19	5.43541566	12	0	39	37.366	3	4	26.73	5.87527120		
26	0	4	5.884	- 0	50	46.78	5.44852202	13	0	40	29.442	3	10	3.14	5.88059692		
27	0	4	46.907	- 0	46	9.02	5.46150051	14	0	41	21.640	3	15	39.89	5.88572583		
28	0	5	28.310	- 0	41	28.96	5.47434851	15	0	42	13.955	3	21	16.94	5.89065769		
29	0	6	10.086	- 0	36	46.63	5.48706341	16	0	43	6.379	3	26	54.25	5.89539231		
30	0	6	52.228	- 0	32	2.10	5.49964259	17	0	43	58.908	3	32	31.77	5.89992958		
31	0	7	34.728	- 0	27	15.42	5.51208345	18	0	44	51.537	3	38	9.46	5.90426940		
Févr.	1	0	8	17.579	- 0	22	26.64	5.52438348	19	0	45	44.261	3	43	47.29	5.90841170	
	2	0	9	0.772	- 0	17	35.82	5.53654020	20	0	46	37.081	3	49	25.24	5.91235631	
	3	0	9	44.302	- 0	12	43.02	5.54855121	21	0	47	29.993	3	55	3.29	5.91610300	
	4	0	10	28.161	- 0	7	48.27	5.56041421	22	0	48	22.997	4	0	41.43	5.91965141	
	5	0	11	12.344	- 0	2	51.63	5.57212697	23	0	49	16.090	4	6	19.64	5.92300110	
	6	0	11	56.843	0	2	6.86	5.58368737	24	0	50	9.268	4	11	57.87	5.92615151	
	7	0	12	41.654	0	7	7.15	5.59509338	25	0	51	2.526	4	17	36.10	5.92910208	
	8	0	13	26.770	0	12	9.20	5.60634306	26	0	51	55.857	4	23	14.28	5.93185223	
	9	0	14	12.186	0	17	12.96	5.61743456	27	0	52	49.258	4	28	52.36	5.93440138	
	10	0	14	57.896	0	22	18.40	5.62836614	28	0	53	42.722	4	34	30.31	5.93674903	
	11	0	15	43.893	0	27	25.48	5.63913612	29	0	54	36.243	4	40	8.07	5.93889472	
	12	0	16	30.172	0	32	34.13	5.64974294	30	0	55	29.819	4	45	45.62	5.94083805	
	13	0	17	16.726	0	37	44.32	5.66018513	31	0	56	23.444	4	51	22.91	5.94257869	
	14	0	18	3.549	0	42	56.01	5.67046131	Avril	1	0	57	17.115	4	56	59.90	5.94411637

JUPITER 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Avril	2	0	58	10.826	5	2	36.57	5.94545091	Mai	18	1	38	51.183	9	5	44.58	5.79378952
	3	0	59	4.576	5	8	12.88	5.94658219		19	1	39	41.934	9	10	31.12	5.78611097
	4	0	59	58.358	5	13	48.81	5.94751017		20	1	40	32.517	9	15	15.94	5.77826190
	5	1	0	52.170	5	19	24.31	5.94823489		21	1	41	22.925	9	19	59.01	5.77024318
	6	1	1	46.007	5	24	59.36	5.94875648		22	1	42	13.154	9	24	40.30	5.76205573
	7	1	2	39.864	5	30	33.92	5.94907514		23	1	43	3.198	9	29	19.78	5.75370048
	8	1	3	33.737	5	36	7.96	5.94919116		24	1	43	53.051	9	33	57.40	5.74517843
	9	1	4	27.620	5	41	41.45	5.94910491		25	1	44	42.709	9	38	33.16	5.73649066
	10	1	5	21.507	5	47	14.34	5.94881684		26	1	45	32.168	9	43	7.01	5.72763829
	11	1	6	15.393	5	52	46.59	5.94832747		27	1	46	21.422	9	47	38.94	5.71862252
	12	1	7	9.272	5	58	18.17	5.94763741		28	1	47	10.467	9	52	8.93	5.70944462
13	1	8	3.138	6	3	49.04	5.94674731	29	1	47	59.298	9	56	36.95	5.70010593		
14	1	8	56.987	6	9	19.15	5.94565787	30	1	48	47.910	10	1	2.98	5.69060786		
15	1	9	50.815	6	14	48.49	5.94436981	31	1	49	36.296	10	5	27.00	5.68095190		
16	1	10	44.620	6	20	17.01	5.94288385	Juin	1	1	50	24.453	10	9	48.98	5.67113963	
17	1	11	38.401	6	25	44.72	5.94120063		2	1	51	12.371	10	14	8.90	5.66117269	
18	1	12	32.155	6	31	11.60	5.93932071		3	1	52	0.045	10	18	26.73	5.65105286	
19	1	13	25.882	6	36	37.63	5.93724456		4	1	52	47.468	10	22	42.43	5.64078195	
20	1	14	19.578	6	42	2.80	5.93497250		5	1	53	34.631	10	26	55.99	5.63036191	
21	1	15	13.239	6	47	27.07	5.93250480		6	1	54	21.528	10	31	7.36	5.61979473	
22	1	16	6.859	6	52	50.42	5.92984164		7	1	55	8.153	10	35	16.50	5.60908246	
23	1	17	0.433	6	58	12.80	5.92698323		8	1	55	54.499	10	39	23.41	5.59822719	
24	1	17	53.956	7	3	34.17	5.92392978		9	1	56	40.562	10	43	28.04	5.58723104	
25	1	18	47.422	7	8	54.50	5.92068154		10	1	57	26.338	10	47	30.39	5.57609609	
26	1	19	40.827	7	14	13.75	5.91723881		11	1	58	11.825	10	51	30.45	5.56482440	
27	1	20	34.166	7	19	31.88	5.91360198	12	1	58	57.018	10	55	28.21	5.55341796		
28	1	21	27.436	7	24	48.87	5.90977148	13	1	59	41.914	10	59	23.67	5.54187869		
29	1	22	20.633	7	30	4.69	5.90574781	14	2	0	26.508	11	3	16.80	5.53020841		
30	1	23	13.753	7	35	19.31	5.90153154	15	2	1	10.793	11	7	7.60	5.51840887		
Mai	1	1	24	6.791	7	40	32.69	5.89712333	16	2	1	54.763	11	10	56.04	5.50648175	
	2	1	24	59.744	7	45	44.83	5.89252387	17	2	2	38.411	11	14	42.09	5.49442867	
	3	1	25	52.606	7	50	55.69	5.88773395	18	2	3	21.730	11	18	25.71	5.48225127	
	4	1	26	45.374	7	56	5.24	5.88275446	19	2	4	4.712	11	22	6.87	5.46995119	
	5	1	27	38.042	8	1	13.45	5.87758633	20	2	4	47.351	11	25	45.55	5.45753011	
	6	1	28	30.605	8	6	20.30	5.87223061	21	2	5	29.642	11	29	21.72	5.44498978	
	7	1	29	23.056	8	11	25.75	5.86668842	22	2	6	11.579	11	32	55.35	5.43233203	
	8	1	30	15.389	8	16	29.77	5.86096094	23	2	6	53.155	11	36	26.43	5.41955874	
	9	1	31	7.598	8	21	32.32	5.85504945	24	2	7	34.365	11	39	54.92	5.40667188	
	10	1	31	59.678	8	26	33.36	5.84895528	25	2	8	15.202	11	43	20.82	5.39367349	
	11	1	32	51.623	8	31	32.86	5.84267979	26	2	8	55.661	11	46	44.11	5.38056568	
12	1	33	43.428	8	36	30.80	5.83622441	27	2	9	35.734	11	50	4.76	5.36735066		
13	1	34	35.091	8	41	27.14	5.82959053	28	2	10	15.414	11	53	22.75	5.35403070		
14	1	35	26.608	8	46	21.88	5.82277953	29	2	10	54.693	11	56	38.07	5.34060818		
15	1	36	17.979	8	51	15.01	5.81579274	30	2	11	33.564	11	59	50.68	5.32708556		
16	1	37	9.200	8	56	6.51	5.80863140	Juill.	1	2	12	12.017	12	3	0.56	5.31346543	
17	1	38	0.270	9	0	56.37	5.80129665		2	2	12	50.043	12	6	7.68	5.29975045	

JUPITER 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Juill.	3	2	13	27.634	12	9	12.02	5.285 943 40	Août	18	2	32	29.239	13	34	40.45	4.601 785 29
	4	2	14	4.782	12	12	13.52	5.272 047 14		19	2	32	38.705	13	35	12.24	4.587 087 27
	5	2	14	41.479	12	15	12.18	5.258 064 57		20	2	32	47.422	13	35	40.41	4.572 455 44
	6	2	15	17.719	12	18	7.96	5.243 998 63		21	2	32	55.387	13	36	4.94	4.557 893 91
	7	2	15	53.498	12	21	0.86	5.229 852 27		22	2	33	2.594	13	36	25.82	4.543 406 91
	8	2	16	28.809	12	23	50.85	5.215 628 40		23	2	33	9.038	13	36	43.05	4.528 998 71
	9	2	17	3.650	12	26	37.95	5.201 329 89		24	2	33	14.714	13	36	56.61	4.514 673 70
	10	2	17	38.015	12	29	22.13	5.186 959 52		25	2	33	19.616	13	37	6.50	4.500 436 36
	11	2	18	11.898	12	32	3.40	5.172 520 03		26	2	33	23.740	13	37	12.70	4.486 291 27
	12	2	18	45.292	12	34	41.74	5.158 014 07		27	2	33	27.080	13	37	15.20	4.472 243 09
	13	2	19	18.189	12	37	17.13	5.143 444 24		28	2	33	29.632	13	37	13.98	4.458 296 59
	14	2	19	50.582	12	39	49.55	5.128 813 07		29	2	33	31.394	13	37	9.03	4.444 456 62
15	2	20	22.463	12	42	18.96	5.114 123 11	30	2	33	32.365	13	37	0.35	4.430 728 02		
16	2	20	53.823	12	44	45.34	5.099 376 89	31	2	33	32.547	13	36	47.94	4.417 115 67		
17	2	21	24.655	12	47	8.66	5.084 576 96	Sept. 1	2	33	31.940	13	36	31.83	4.403 624 33		
18	2	21	54.952	12	49	28.90	5.069 725 94	2	2	33	30.548	13	36	12.04	4.390 258 71		
19	2	22	24.707	12	51	46.02	5.054 826 51	3	2	33	28.372	13	35	48.59	4.377 023 37		
20	2	22	53.914	12	54	0.01	5.039 881 43	4	2	33	25.412	13	35	21.49	4.363 922 77		
21	2	23	22.566	12	56	10.85	5.024 893 52	5	2	33	21.670	13	34	50.75	4.350 961 24		
22	2	23	50.655	12	58	18.53	5.009 865 72	6	2	33	17.146	13	34	16.40	4.338 143 08		
23	2	24	18.175	13	0	23.02	4.994 801 02	7	2	33	11.840	13	33	38.42	4.325 472 47		
24	2	24	45.118	13	2	24.31	4.979 702 52	8	2	33	5.753	13	32	56.82	4.312 953 59		
25	2	25	11.477	13	4	22.38	4.964 573 39	9	2	32	58.888	13	32	11.61	4.300 590 60		
26	2	25	37.243	13	6	17.22	4.949 416 90	10	2	32	51.247	13	31	22.79	4.288 387 63		
27	2	26	2.407	13	8	8.80	4.934 236 43	11	2	32	42.834	13	30	30.39	4.276 348 85		
28	2	26	26.961	13	9	57.10	4.919 035 44	12	2	32	33.652	13	29	34.40	4.264 478 43		
29	2	26	50.896	13	11	42.10	4.903 817 54	13	2	32	23.706	13	28	34.87	4.252 780 55		
30	2	27	14.201	13	13	23.76	4.888 586 42	14	2	32	13.002	13	27	31.80	4.241 259 45		
31	2	27	36.869	13	15	2.05	4.873 345 89	15	2	32	1.544	13	26	25.24	4.229 919 39		
Août 1	2	27	58.890	13	16	36.96	4.858 099 85	16	2	31	49.338	13	25	15.19	4.218 764 65		
2	2	28	20.260	13	18	8.45	4.842 852 27	17	2	31	36.389	13	24	1.71	4.207 799 55		
3	2	28	40.971	13	19	36.51	4.827 607 10	18	2	31	22.703	13	22	44.81	4.197 028 46		
4	2	29	1.021	13	21	1.13	4.812 368 32	19	2	31	8.286	13	21	24.54	4.186 455 74		
5	2	29	20.405	13	22	22.32	4.797 139 84	20	2	30	53.144	13	20	0.92	4.176 085 82		
6	2	29	39.119	13	23	40.07	4.781 925 48	21	2	30	37.284	13	18	33.99	4.165 923 13		
7	2	29	57.159	13	24	54.39	4.766 729 02	22	2	30	20.713	13	17	3.78	4.155 972 13		
8	2	30	14.517	13	26	5.25	4.751 554 15	23	2	30	3.437	13	15	30.32	4.146 237 32		
9	2	30	31.187	13	27	12.66	4.736 404 50	24	2	29	45.466	13	13	53.66	4.136 723 20		
10	2	30	47.164	13	28	16.60	4.721 283 65	25	2	29	26.809	13	12	13.83	4.127 434 31		
11	2	31	2.439	13	29	17.03	4.706 195 17	26	2	29	7.478	13	10	30.87	4.118 375 13		
12	2	31	17.006	13	30	13.95	4.691 142 62	27	2	28	47.486	13	8	44.85	4.109 550 12		
13	2	31	30.860	13	31	7.32	4.676 129 56	28	2	28	26.849	13	6	55.84	4.100 963 60		
14	2	31	43.994	13	31	57.13	4.661 159 62	29	2	28	5.584	13	5	3.90	4.092 619 76		
15	2	31	56.404	13	32	43.36	4.646 236 46	30	2	27	43.706	13	3	9.14	4.084 522 54		
16	2	32	8.084	13	33	26.00	4.631 363 80	Oct. 1	2	27	21.231	13	1	11.62	4.076 675 70		
17	2	32	19.031	13	34	5.03	4.616 545 45	2	2	26	58.175	12	59	11.42	4.069 082 76		

JUPITER 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Oct.	3	2	26	34.552	12	57	8.61	4.061 747 07	Nov.	18	2	4	5.050	11	4	3.14	4.038 743 61	
	4	2	26	10.378	12	55	3.27	4.054 671 81		19	2	3	38.572	11	1	54.74	4.045 287 99	
	5	2	25	45.668	12	52	55.45	4.047 860 02		20	2	3	12.564	10	59	49.01	4.052 114 20	
	6	2	25	20.438	12	50	45.23	4.041 314 67		21	2	2	47.047	10	57	46.06	4.059 219 72	
	7	2	24	54.707	12	48	32.69	4.035 038 60		22	2	2	22.041	10	55	46.00	4.066 601 89	
	8	2	24	28.493	12	46	17.90	4.029 034 60		23	2	1	57.567	10	53	48.94	4.074 257 85	
	9	2	24	1.815	12	44	0.94	4.023 305 37		24	2	1	33.645	10	51	55.01	4.082 184 51	
	10	2	23	34.691	12	41	41.91	4.017 853 54		25	2	1	10.293	10	50	4.31	4.090 378 51	
	11	2	23	7.142	12	39	20.90	4.012 681 70		26	2	0	47.527	10	48	16.92	4.098 836 26	
	12	2	22	39.188	12	36	58.01	4.007 792 33		27	2	0	25.361	10	46	32.94	4.107 553 95	
	13	2	22	10.848	12	34	33.33	4.003 187 91		28	2	0	3.809	10	44	52.44	4.116 527 59	
	14	2	21	42.144	12	32	6.97	3.998 870 79		29	1	59	42.884	10	43	15.48	4.125 753 03	
	15	2	21	13.095	12	29	39.03	3.994 843 32		30	1	59	22.599	10	41	42.12	4.135 226 08	
	16	2	20	43.722	12	27	9.62	3.991 107 74		Déc.	1	1	59	2.968	10	40	12.44	4.144 942 46
	17	2	20	14.046	12	24	38.83	3.987 666 25			2	1	58	44.002	10	38	46.49	4.154 897 86
	18	2	19	44.086	12	22	6.78	3.984 520 98		3	1	58	25.714	10	37	24.34	4.165 087 96	
	19	2	19	13.864	12	19	33.56	3.981 673 96		4	1	58	8.115	10	36	6.06	4.175 508 41	
20	2	18	43.400	12	16	59.29	3.979 127 18	5	1	57	51.217	10	34	51.69	4.186 154 86			
21	2	18	12.716	12	14	24.06	3.976 882 53	6	1	57	35.028	10	33	41.31	4.197 022 92			
22	2	17	41.836	12	11	47.99	3.974 941 80	7	1	57	19.559	10	32	34.96	4.208 108 22			
23	2	17	10.782	12	9	11.19	3.973 306 69	8	1	57	4.817	10	31	32.69	4.219 406 38			
24	2	16	39.580	12	6	33.79	3.971 978 76	9	1	56	50.810	10	30	34.54	4.230 913 02			
25	2	16	8.256	12	3	55.91	3.970 959 40	10	1	56	37.544	10	29	40.56	4.242 623 78			
26	2	15	36.838	12	1	17.69	3.970 249 78	11	1	56	25.026	10	28	50.77	4.254 534 29			
27	2	15	5.353	11	58	39.28	3.969 850 82	12	1	56	13.259	10	28	5.21	4.266 640 21			
28	2	14	33.829	11	56	0.82	3.969 763 12	13	1	56	2.249	10	27	23.91	4.278 937 23			
29	2	14	2.291	11	53	22.46	3.969 986 99	14	1	55	52.000	10	26	46.87	4.291 421 03			
30	2	13	30.764	11	50	44.32	3.970 522 45	15	1	55	42.515	10	26	14.12	4.304 087 29			
31	2	12	59.270	11	48	6.52	3.971 369 28	16	1	55	33.800	10	25	45.69	4.316 931 69			
Nov.	1	2	12	27.834	11	45	29.19	3.972 527 01	17	1	55	25.859	10	25	21.58	4.329 949 85		
	2	2	11	56.479	11	42	52.43	3.973 995 04	18	1	55	18.698	10	25	1.82	4.343 137 38		
	3	2	11	25.230	11	40	16.37	3.975 772 61	19	1	55	12.322	10	24	46.43	4.356 489 78		
	4	2	10	54.111	11	37	41.13	3.977 858 84	20	1	55	6.738	10	24	35.45	4.370 002 50		
	5	2	10	23.147	11	35	6.84	3.980 252 74	21	1	55	1.949	10	24	28.90	4.383 670 83		
	6	2	9	52.361	11	32	33.62	3.982 953 21	22	1	54	57.959	10	24	26.79	4.397 489 98		
	7	2	9	21.778	11	30	1.59	3.985 959 05	23	1	54	54.772	10	24	29.14	4.411 454 98		
	8	2	8	51.421	11	27	30.89	3.989 268 95	24	1	54	52.387	10	24	35.96	4.425 560 76		
	9	2	8	21.314	11	25	1.64	3.992 881 53	25	1	54	50.804	10	24	47.23	4.439 802 15		
	10	2	7	51.477	11	22	33.96	3.996 795 30	26	1	54	50.022	10	25	2.93	4.454 173 90		
	11	2	7	21.935	11	20	7.97	4.001 008 70	27	1	54	50.040	10	25	23.04	4.468 670 74		
	12	2	6	52.706	11	17	43.80	4.005 520 07	28	1	54	50.857	10	25	47.55	4.483 287 42		
	13	2	6	23.813	11	15	21.56	4.010 327 69	29	1	54	52.472	10	26	16.44	4.498 018 73		
	14	2	5	55.274	11	13	1.37	4.015 429 76	30	1	54	54.885	10	26	49.69	4.512 859 54		
	15	2	5	27.110	11	10	43.32	4.020 824 39	31	1	54	58.093	10	27	27.27	4.527 804 76		
	16	2	4	59.338	11	8	27.53	4.026 509 62	32	1	55	2.096	10	28	9.19	4.542 849 40		
	17	2	4	31.979	11	6	14.11	4.032 483 41	33	1	55	6.891	10	28	55.41	4.557 988 53		

SATURNE 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE 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 4 56.635	- 4 18 35.80	9.662 115 67	Févr.	15	13 6 15.513	- 4 13 0.47	8.946 067 82
	1	13 5 7.081	- 4 19 22.84	9.645 623 33		16	13 6 8.132	- 4 11 58.80	8.933 280 18
	2	13 5 17.163	- 4 20 7.52	9.629 097 96		17	13 6 0.394	- 4 10 55.10	8.920 687 85
	3	13 5 26.877	- 4 20 49.83	9.612 544 62		18	13 5 52.301	- 4 9 49.37	8.908 294 79
	4	13 5 36.218	- 4 21 29.74	9.595 968 43		19	13 5 43.857	- 4 8 41.66	8.896 104 93
	5	13 5 45.181	- 4 22 7.24	9.579 374 58		20	13 5 35.069	- 4 7 31.98	8.884 122 22
	6	13 5 53.765	- 4 22 42.32	9.562 768 24		21	13 5 25.941	- 4 6 20.39	8.872 350 64
	7	13 6 1.966	- 4 23 14.95	9.546 154 62		22	13 5 16.481	- 4 5 6.92	8.860 794 28
	8	13 6 9.782	- 4 23 45.14	9.529 538 92		23	13 5 6.694	- 4 3 51.63	8.849 457 27
	9	13 6 17.213	- 4 24 12.88	9.512 926 30		24	13 4 56.584	- 4 2 34.55	8.838 343 80
	10	13 6 24.257	- 4 24 38.17	9.496 321 91		25	13 4 46.155	- 4 1 15.71	8.827 458 09
	11	13 6 30.913	- 4 25 1.01	9.479 730 88		26	13 4 35.412	- 3 59 55.14	8.816 804 35
	12	13 6 37.181	- 4 25 21.40	9.463 158 30		27	13 4 24.358	- 3 58 32.89	8.806 386 73
	13	13 6 43.061	- 4 25 39.36	9.446 609 23		28	13 4 12.997	- 3 57 8.97	8.796 209 33
14	13 6 48.553	- 4 25 54.88	9.430 088 71	Mars	1	13 4 1.335	- 3 55 43.43	8.786 276 15	
15	13 6 53.654	- 4 26 7.97	9.413 601 71	2	13 3 49.378	- 3 54 16.30	8.776 591 11		
16	13 6 58.366	- 4 26 18.63	9.397 153 18	3	13 3 37.132	- 3 52 47.63	8.767 158 00		
17	13 7 2.685	- 4 26 26.86	9.380 747 98	4	13 3 24.603	- 3 51 17.47	8.757 980 49		
18	13 7 6.611	- 4 26 32.66	9.364 390 91	5	13 3 11.801	- 3 49 45.87	8.749 062 13		
19	13 7 10.142	- 4 26 36.02	9.348 086 73	6	13 2 58.732	- 3 48 12.87	8.740 406 31		
20	13 7 13.274	- 4 26 36.92	9.331 840 12	7	13 2 45.405	- 3 46 38.54	8.732 016 29		
21	13 7 16.005	- 4 26 35.36	9.315 655 73	8	13 2 31.829	- 3 45 2.93	8.723 895 18		
22	13 7 18.336	- 4 26 31.33	9.299 538 26	9	13 2 18.012	- 3 43 26.11	8.716 045 93		
23	13 7 20.265	- 4 26 24.83	9.283 492 43	10	13 2 3.962	- 3 41 48.12	8.708 471 32		
24	13 7 21.795	- 4 26 15.87	9.267 523 08	11	13 1 49.688	- 3 40 9.03	8.701 174 00		
25	13 7 22.925	- 4 26 4.47	9.251 635 14	12	13 1 35.198	- 3 38 28.89	8.694 156 45		
26	13 7 23.657	- 4 25 50.64	9.235 833 67	13	13 1 20.499	- 3 36 47.75	8.687 420 96		
27	13 7 23.993	- 4 25 34.39	9.220 123 85	14	13 1 5.598	- 3 35 5.66	8.680 969 69		
28	13 7 23.930	- 4 25 15.74	9.204 510 94	15	13 0 50.503	- 3 33 22.67	8.674 804 61		
29	13 7 23.469	- 4 24 54.67	9.189 000 27	16	13 0 35.221	- 3 31 38.82	8.668 927 53		
30	13 7 22.609	- 4 24 31.22	9.173 597 22	17	13 0 19.759	- 3 29 54.15	8.663 340 14		
31	13 7 21.348	- 4 24 5.36	9.158 307 19	18	13 0 4.124	- 3 28 8.71	8.658 043 99		
Févr.	1	13 7 19.687	- 4 23 37.11	9.143 135 58	19	12 59 48.325	- 3 26 22.56	8.653 040 57	
	2	13 7 17.626	- 4 23 6.48	9.128 087 77	20	12 59 32.373	- 3 24 35.75	8.648 331 33	
	3	13 7 15.165	- 4 22 33.47	9.113 169 10	21	12 59 16.278	- 3 22 48.35	8.643 917 75	
	4	13 7 12.307	- 4 21 58.10	9.098 384 87	22	12 59 0.049	- 3 21 0.43	8.639 801 34	
	5	13 7 9.053	- 4 21 20.39	9.083 740 30	23	12 58 43.695	- 3 19 12.05	8.635 983 63	
	6	13 7 5.407	- 4 20 40.36	9.069 240 56	24	12 58 27.225	- 3 17 23.27	8.632 466 19	
	7	13 7 1.372	- 4 19 58.04	9.054 890 72	25	12 58 10.645	- 3 15 34.14	8.629 250 53	
	8	13 6 56.952	- 4 19 13.46	9.040 695 77	26	12 57 53.963	- 3 13 44.70	8.626 338 08	
9	13 6 52.149	- 4 18 26.65	9.026 660 61	27	12 57 37.185	- 3 11 55.00	8.623 730 19		
10	13 6 46.968	- 4 17 37.63	9.012 790 06	28	12 57 20.321	- 3 10 5.11	8.621 428 07		
11	13 6 41.413	- 4 16 46.44	8.999 088 84	29	12 57 3.379	- 3 8 15.06	8.619 432 78		
12	13 6 35.487	- 4 15 53.10	8.985 561 55	30	12 56 46.368	- 3 6 24.93	8.617 745 24		
13	13 6 29.193	- 4 14 57.64	8.972 212 71	31	12 56 29.298	- 3 4 34.77	8.616 366 19		
14	13 6 22.534	- 4 14 0.09	8.959 046 71	Avril	1	12 56 12.180	- 3 2 44.65	8.615 296 23	

SATURNE 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Avril	2 12 55 55.023	- 3 0 54.63	8.61453578	Mai	18 12 44 38.848	- 1 54 16.26	8.89346584
	3 12 55 37.839	- 2 59 4.79	8.61408509		19 12 44 29.441	- 1 53 29.21	8.90546183
	4 12 55 20.638	- 2 57 15.18	8.61394425		20 12 44 20.351	- 1 52 44.37	8.91765639
	5 12 55 3.430	- 2 55 25.88	8.61411316		21 12 44 11.579	- 1 52 1.76	8.93004586
	6 12 54 46.227	- 2 53 36.95	8.61459153		22 12 44 3.130	- 1 51 21.37	8.94262648
	7 12 54 29.037	- 2 51 48.45	8.61537893		23 12 43 55.005	- 1 50 43.23	8.95539444
	8 12 54 11.871	- 2 50 0.45	8.61647472		24 12 43 47.208	- 1 50 7.36	8.96834582
	9 12 53 54.738	- 2 48 13.01	8.61787810		25 12 43 39.745	- 1 49 33.76	8.98147663
	10 12 53 37.646	- 2 46 26.17	8.61958809		26 12 43 32.618	- 1 49 2.48	8.99478277
	11 12 53 20.604	- 2 44 40.00	8.62160355		27 12 43 25.833	- 1 48 33.52	9.00826006
	12 12 53 3.619	- 2 42 54.52	8.62392320		28 12 43 19.394	- 1 48 6.91	9.02190425
	13 12 52 46.699	- 2 41 9.80	8.62654559		29 12 43 13.304	- 1 47 42.67	9.03571099
	14 12 52 29.854	- 2 39 25.88	8.62946916		30 12 43 7.566	- 1 47 20.82	9.04967586
	15 12 52 13.090	- 2 37 42.81	8.63269228		31 12 43 2.185	- 1 47 1.36	9.06379437
	16 12 51 56.419	- 2 36 0.64	8.63621323		1 Juin 1 12 42 57.163	- 1 46 44.32	9.07806192
	17 12 51 39.850	- 2 34 19.43	8.64003031		2 12 42 52.502	- 1 46 29.70	9.09247385
18 12 51 23.394	- 2 32 39.25	8.64414183	3 12 42 48.204	- 1 46 17.50	9.10702543		
19 12 51 7.059	- 2 31 0.16	8.64854615	4 12 42 44.268	- 1 46 7.72	9.12171184		
20 12 50 50.853	- 2 29 22.21	8.65324166	5 12 42 40.696	- 1 46 0.36	9.13652823		
21 12 50 34.784	- 2 27 45.44	8.65822677	6 12 42 37.488	- 1 45 55.42	9.15146970		
22 12 50 18.857	- 2 26 9.90	8.66349985	7 12 42 34.644	- 1 45 52.88	9.16653136		
23 12 50 3.079	- 2 24 35.61	8.66905921	8 12 42 32.165	- 1 45 52.74	9.18170830		
24 12 49 47.456	- 2 23 2.63	8.67490304	9 12 42 30.052	- 1 45 55.00	9.19699570		
25 12 49 31.996	- 2 21 31.00	8.68102941	10 12 42 28.308	- 1 45 59.67	9.21238876		
26 12 49 16.706	- 2 20 0.75	8.68743627	11 12 42 26.933	- 1 46 6.75	9.22788281		
27 12 49 1.595	- 2 18 31.95	8.69412139	12 12 42 25.931	- 1 46 16.25	9.24347326		
28 12 48 46.671	- 2 17 4.63	8.70108245	13 12 42 25.301	- 1 46 28.16	9.25915566		
29 12 48 31.943	- 2 15 38.85	8.70831694	14 12 42 25.043	- 1 46 42.50	9.27492566		
30 12 48 17.419	- 2 14 14.65	8.71582225	15 12 42 25.157	- 1 46 59.24	9.29077901		
1 Mai 1 12 48 3.108	- 2 12 52.10	8.72359561	16 12 42 25.640	- 1 47 18.38	9.30671154		
2 12 47 49.018	- 2 11 31.24	8.73163411	17 12 42 26.490	- 1 47 39.89	9.32271912		
3 12 47 35.158	- 2 10 12.11	8.73993471	18 12 42 27.707	- 1 48 3.76	9.33879761		
4 12 47 21.533	- 2 8 54.76	8.74849423	19 12 42 29.288	- 1 48 29.99	9.35494288		
5 12 47 8.152	- 2 7 39.23	8.75730935	20 12 42 31.234	- 1 48 58.55	9.37115072		
6 12 46 55.021	- 2 6 25.56	8.76637660	21 12 42 33.545	- 1 49 29.45	9.38741692		
7 12 46 42.146	- 2 5 13.78	8.77569241	22 12 42 36.221	- 1 50 2.68	9.40373718		
8 12 46 29.531	- 2 4 3.91	8.78525308	23 12 42 39.263	- 1 50 38.25	9.42010716		
9 12 46 17.182	- 2 2 55.99	8.79505479	24 12 42 42.672	- 1 51 16.14	9.43652249		
10 12 46 5.103	- 2 1 50.03	8.80509366	25 12 42 46.447	- 1 51 56.36	9.45297875		
11 12 45 53.299	- 2 0 46.05	8.81536573	26 12 42 50.590	- 1 52 38.91	9.46947147		
12 12 45 41.776	- 1 59 44.09	8.82586699	27 12 42 55.100	- 1 53 23.77	9.48599615		
13 12 45 30.538	- 1 58 44.16	8.83659343	28 12 42 59.976	- 1 54 10.95	9.50254826		
14 12 45 19.593	- 1 57 46.31	8.84754107	29 12 43 5.218	- 1 55 0.42	9.51912322		
15 12 45 8.946	- 1 56 50.56	8.85870595	30 12 43 10.824	- 1 55 52.18	9.53571640		
16 12 44 58.603	- 1 55 56.95	8.87008422	1 Juill. 1 12 43 16.791	- 1 56 46.21	9.55232313		
17 12 44 48.569	- 1 55 5.51	8.88167209	2 12 43 23.117	- 1 57 42.47	9.56893873		

SATURNE 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Juill.	3	12 43 29.799	- 1 58 40.95	9.585 558 49	Août	18	12 54 21.257	- 3 17 45.62	10.285 504 89
	4	12 43 36.835	- 1 59 41.63	9.602 177 73		19	12 54 41.817	- 3 20 5.03	10.297 974 72
	5	12 43 44.221	- 2 0 44.47	9.618 791 78		20	12 55 2.600	- 3 22 25.60	10.310 278 41
	6	12 43 51.957	- 2 1 49.46	9.635 396 07		21	12 55 23.604	- 3 24 47.33	10.322 413 17
	7	12 44 0.041	- 2 2 56.59	9.651 986 13		22	12 55 44.825	- 3 27 10.19	10.334 376 24
	8	12 44 8.474	- 2 4 5.84	9.668 557 59		23	12 56 6.260	- 3 29 34.17	10.346 164 80
	9	12 44 17.253	- 2 5 17.22	9.685 106 23		24	12 56 27.906	- 3 31 59.22	10.357 776 04
	10	12 44 26.377	- 2 6 30.69	9.701 627 97		25	12 56 49.758	- 3 34 25.32	10.369 207 15
	11	12 44 35.844	- 2 7 46.26	9.718 118 84		26	12 57 11.811	- 3 36 52.44	10.380 455 27
	12	12 44 45.650	- 2 9 3.89	9.734 575 03		27	12 57 34.061	- 3 39 20.54	10.391 517 57
	13	12 44 55.792	- 2 10 23.57	9.750 992 78		28	12 57 56.503	- 3 41 49.59	10.402 391 23
	14	12 45 6.266	- 2 11 45.25	9.767 368 44		29	12 58 19.133	- 3 44 19.55	10.413 073 45
	15	12 45 17.067	- 2 13 8.91	9.783 698 38		30	12 58 41.947	- 3 46 50.40	10.423 561 55
	16	12 45 28.193	- 2 14 34.53	9.799 979 00		31	12 59 4.945	- 3 49 22.11	10.433 852 93
	17	12 45 39.639	- 2 16 2.08	9.816 206 71		Sept. 1	12 59 28.123	- 3 51 54.67	10.443 945 20
	18	12 45 51.405	- 2 17 31.54	9.832 377 87		2	12 59 51.479	- 3 54 28.07	10.453 836 11
	19	12 46 3.489	- 2 19 2.90	9.848 488 84		3	13 0 15.009	- 3 57 2.28	10.463 523 59
20	12 46 15.889	- 2 20 36.15	9.864 535 94	4	13 0 38.710	- 3 59 37.27	10.473 005 74		
21	12 46 28.603	- 2 22 11.26	9.880 515 45	5	13 1 2.575	- 4 2 13.02	10.482 280 74		
22	12 46 41.631	- 2 23 48.23	9.896 423 66	6	13 1 26.599	- 4 4 49.48	10.491 346 92		
23	12 46 54.971	- 2 25 27.04	9.912 256 80	7	13 1 50.778	- 4 7 26.63	10.500 202 63		
24	12 47 8.621	- 2 27 7.68	9.928 011 09	8	13 2 15.106	- 4 10 4.43	10.508 846 28		
25	12 47 22.579	- 2 28 50.14	9.943 682 75	9	13 2 39.578	- 4 12 42.85	10.517 276 31		
26	12 47 36.843	- 2 30 34.38	9.959 267 94	10	13 3 4.192	- 4 15 21.86	10.525 491 16		
27	12 47 51.409	- 2 32 20.40	9.974 762 84	11	13 3 28.944	- 4 18 1.44	10.533 489 30		
28	12 48 6.274	- 2 34 8.16	9.990 163 56	12	13 3 53.832	- 4 20 41.56	10.541 269 16		
29	12 48 21.433	- 2 35 57.63	10.005 466 23	13	13 4 18.852	- 4 23 22.21	10.548 829 19		
30	12 48 36.884	- 2 37 48.78	10.020 666 95	14	13 4 44.003	- 4 26 3.37	10.556 167 82		
31	12 48 52.621	- 2 39 41.58	10.035 761 81	15	13 5 9.281	- 4 28 45.02	10.563 283 46		
Août 1	12 49 8.641	- 2 41 36.00	10.050 746 96	16	13 5 34.685	- 4 31 27.14	10.570 174 53		
2	12 49 24.940	- 2 43 32.00	10.065 618 59	17	13 6 0.211	- 4 34 9.72	10.576 839 41		
3	12 49 41.516	- 2 45 29.57	10.080 373 03	18	13 6 25.856	- 4 36 52.72	10.583 276 52		
4	12 49 58.367	- 2 47 28.68	10.095 006 72	19	13 6 51.617	- 4 39 36.14	10.589 484 22		
5	12 50 15.492	- 2 49 29.33	10.109 516 26	20	13 7 17.488	- 4 42 19.93	10.595 460 91		
6	12 50 32.887	- 2 51 31.50	10.123 898 41	21	13 7 43.467	- 4 45 4.07	10.601 204 96		
7	12 50 50.550	- 2 53 35.16	10.138 150 06	22	13 8 9.547	- 4 47 48.54	10.606 714 76		
8	12 51 8.476	- 2 55 40.29	10.152 268 26	23	13 8 35.726	- 4 50 33.29	10.611 988 67		
9	12 51 26.661	- 2 57 46.86	10.166 250 14	24	13 9 1.996	- 4 53 18.29	10.617 025 10		
10	12 51 45.100	- 2 59 54.83	10.180 092 92	25	13 9 28.355	- 4 56 3.50	10.621 822 44		
11	12 52 3.787	- 3 2 4.17	10.193 793 89	26	13 9 54.798	- 4 58 48.90	10.626 379 18		
12	12 52 22.718	- 3 4 14.84	10.207 350 35	27	13 10 21.323	- 5 1 34.46	10.630 693 87		
13	12 52 41.890	- 3 6 26.83	10.220 759 65	28	13 10 47.926	- 5 4 20.16	10.634 765 21		
14	12 53 1.298	- 3 8 40.10	10.234 019 11	29	13 11 14.606	- 5 7 5.99	10.638 592 08		
15	12 53 20.942	- 3 10 54.63	10.247 126 06	30	13 11 41.359	- 5 9 51.93	10.642 173 55		
16	12 53 40.818	- 3 13 10.41	10.260 077 82	Oct. 1	13 12 8.181	- 5 12 37.95	10.645 508 88		
17	12 54 0.923	- 3 15 27.41	10.272 871 68	2	13 12 35.066	- 5 15 24.03	10.648 597 48		

SATURNE 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Oct.	3	13	13	2.009	- 5	18	10.13	10.65143888	Nov.	18	13	33	32.915	- 7	18	23.79	10.51346932
	4	13	13	29.003	- 5	20	56.22	10.65403272		19	13	33	57.915	- 7	20	41.96	10.50481753
	5	13	13	56.044	- 5	23	42.25	10.65637867		20	13	34	22.770	- 7	22	58.94	10.49594308
	6	13	14	23.126	- 5	26	28.20	10.65847644		21	13	34	47.476	- 7	25	14.69	10.48684754
	7	13	14	50.246	- 5	29	14.04	10.66032576		22	13	35	12.029	- 7	27	29.21	10.47753264
	8	13	15	17.399	- 5	31	59.74	10.66192636		23	13	35	36.428	- 7	29	42.47	10.46800022
	9	13	15	44.584	- 5	34	45.29	10.66327801		24	13	36	0.667	- 7	31	54.47	10.45825234
	10	13	16	11.796	- 5	37	30.66	10.66438043		25	13	36	24.742	- 7	34	5.18	10.44829121
	11	13	16	39.034	- 5	40	15.83	10.66523340		26	13	36	48.648	- 7	36	14.59	10.43811927
	12	13	17	6.295	- 5	43	0.79	10.66583664		27	13	37	12.376	- 7	38	22.65	10.42773912
	13	13	17	33.575	- 5	45	45.52	10.66618991		28	13	37	35.920	- 7	40	29.33	10.41715348
	14	13	18	0.871	- 5	48	29.99	10.66629295		29	13	37	59.274	- 7	42	34.61	10.40636515
15	13	18	28.180	- 5	51	14.20	10.66614550	30	13	38	22.432	- 7	44	38.44	10.39537698		
16	13	18	55.498	- 5	53	58.10	10.66574731	Déc.	1	13	38	45.391	- 7	46	40.81	10.38419186	
17	13	19	22.821	- 5	56	41.69	10.66509811		2	13	39	8.147	- 7	48	41.70	10.37281265	
18	13	19	50.143	- 5	59	24.93	10.66419765	3	13	39	30.697	- 7	50	41.08	10.36124225		
19	13	20	17.461	- 6	2	7.79	10.66304570	4	13	39	53.036	- 7	52	38.95	10.34948353		
20	13	20	44.768	- 6	4	50.24	10.66164202	5	13	40	15.163	- 7	54	35.29	10.33753940		
21	13	21	12.061	- 6	7	32.25	10.65998639	6	13	40	37.073	- 7	56	30.08	10.32541275		
22	13	21	39.335	- 6	10	13.77	10.65807864	7	13	40	58.764	- 7	58	23.32	10.31310648		
23	13	22	6.584	- 6	12	54.79	10.65591861	8	13	41	20.232	- 8	0	14.99	10.30062350		
24	13	22	33.805	- 6	15	35.27	10.65350624	9	13	41	41.472	- 8	2	5.06	10.28796673		
25	13	23	0.996	- 6	18	15.20	10.65084157	10	13	42	2.480	- 8	3	53.54	10.27513908		
26	13	23	28.153	- 6	20	54.55	10.64792477	11	13	42	23.252	- 8	5	40.39	10.26214346		
27	13	23	55.274	- 6	23	33.31	10.64475622	12	13	42	43.782	- 8	7	25.58	10.24898278		
28	13	24	22.354	- 6	26	11.47	10.64133648	13	13	43	4.066	- 8	9	9.10	10.23565998		
29	13	24	49.389	- 6	28	48.99	10.63766631	14	13	43	24.097	- 8	10	50.92	10.22217798		
30	13	25	16.371	- 6	31	25.85	10.63374664	15	13	43	43.872	- 8	12	31.01	10.20853975		
31	13	25	43.294	- 6	34	2.01	10.62957854	16	13	44	3.385	- 8	14	9.35	10.19474830		
Nov.	1	13	26	10.153	- 6	36	37.43	10.62516314	17	13	44	22.632	- 8	15	45.90	10.18080670	
	2	13	26	36.940	- 6	39	12.08	10.62050164	18	13	44	41.610	- 8	17	20.66	10.16671812	
3	13	27	3.653	- 6	41	45.93	10.61559526	19	13	45	0.317	- 8	18	53.61	10.15248580		
4	13	27	30.287	- 6	44	18.95	10.61044522	20	13	45	18.748	- 8	20	24.74	10.13811314		
5	13	27	56.838	- 6	46	51.13	10.60505278	21	13	45	36.900	- 8	21	54.03	10.12360368		
6	13	28	23.304	- 6	49	22.45	10.59941918	22	13	45	54.770	- 8	23	21.49	10.10896113		
7	13	28	49.681	- 6	51	52.88	10.59354568	23	13	46	12.353	- 8	24	47.09	10.09418937		
8	13	29	15.967	- 6	54	22.41	10.58743354	24	13	46	29.641	- 8	26	10.81	10.07929246		
9	13	29	42.157	- 6	56	51.02	10.58108403	25	13	46	46.629	- 8	27	32.62	10.06427459		
10	13	30	8.249	- 6	59	18.70	10.57449844	26	13	47	3.311	- 8	28	52.50	10.04914007		
11	13	30	34.239	- 7	1	45.43	10.56767803	27	13	47	19.680	- 8	30	10.41	10.03389326		
12	13	31	0.122	- 7	4	11.18	10.56062410	28	13	47	35.734	- 8	31	26.34	10.01853859		
13	13	31	25.895	- 7	6	35.93	10.55333793	29	13	47	51.468	- 8	32	40.27	10.00308045		
14	13	31	51.551	- 7	8	59.67	10.54582082	30	13	48	6.881	- 8	33	52.19	9.98752327		
15	13	32	17.087	- 7	11	22.35	10.53807407	31	13	48	21.969	- 8	35	2.09	9.97187143		
16	13	32	42.496	- 7	13	43.95	10.53009900	32	13	48	36.730	- 8	36	9.96	9.95612932		
17	13	33	7.774	- 7	16	4.44	10.52189695	33	13	48	51.163	- 8	37	15.80	9.94030129		

URANUS 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE 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	23 49 55.772	- 1 53 38.89	20.275 074 7	Févr.	15	23 56 10.376	- 1 11 29.77	20.911 979 1
	1	23 50 0.448	- 1 53 5.97	20.291 927 2		16	23 56 21.431	- 1 10 16.50	20.921 294 9
	2	23 50 5.304	- 1 52 31.89	20.308 712 5		17	23 56 32.571	- 1 9 2.71	20.930 369 2
	3	23 50 10.339	- 1 51 56.66	20.325 425 5		18	23 56 43.790	- 1 7 48.44	20.939 200 0
	4	23 50 15.550	- 1 51 20.30	20.342 060 8		19	23 56 55.088	- 1 6 33.69	20.947 785 5
	5	23 50 20.935	- 1 50 42.84	20.358 613 1		20	23 57 6.463	- 1 5 18.47	20.956 123 8
	6	23 50 26.490	- 1 50 4.28	20.375 077 3		21	23 57 17.914	- 1 4 2.78	20.964 213 0
	7	23 50 32.215	- 1 49 24.63	20.391 448 3		22	23 57 29.443	- 1 2 46.62	20.972 051 0
	8	23 50 38.108	- 1 48 43.91	20.407 721 1		23	23 57 41.047	- 1 1 30.00	20.979 635 9
	9	23 50 44.168	- 1 48 2.13	20.423 890 8		24	23 57 52.725	- 1 0 12.93	20.986 965 4
	10	23 50 50.394	- 1 47 19.28	20.439 952 7		25	23 58 4.473	- 0 58 55.43	20.994 037 5
	11	23 50 56.786	- 1 46 35.38	20.455 902 1		26	23 58 16.289	- 0 57 37.53	21.000 850 1
	12	23 51 3.342	- 1 45 50.44	20.471 734 2		27	23 58 28.168	- 0 56 19.26	21.007 401 3
	13	23 51 10.061	- 1 45 4.44	20.487 444 8		28	23 58 40.106	- 0 55 0.64	21.013 689 2
14	23 51 16.943	- 1 44 17.42	20.503 029 4	Mars 1	23 58 52.099	- 0 53 41.69	21.019 712 0		
15	23 51 23.986	- 1 43 29.37	20.518 483 6	2	23 59 4.146	- 0 52 22.43	21.025 468 1		
16	23 51 31.189	- 1 42 40.30	20.533 803 4	3	23 59 16.242	- 0 51 2.88	21.030 955 7		
17	23 51 38.548	- 1 41 50.24	20.548 984 7	4	23 59 28.385	- 0 49 43.06	21.036 173 7		
18	23 51 46.062	- 1 40 59.20	20.564 023 5	5	23 59 40.574	- 0 48 22.98	21.041 120 5		
19	23 51 53.726	- 1 40 7.21	20.578 916 0	6	23 59 52.806	- 0 47 2.66	21.045 795 1		
20	23 52 1.537	- 1 39 14.29	20.593 658 5	7	0 0 5.080	- 0 45 42.11	21.050 196 4		
21	23 52 9.491	- 1 38 20.45	20.608 247 2	8	0 0 17.393	- 0 44 21.33	21.054 323 6		
22	23 52 17.587	- 1 37 25.72	20.622 678 4	9	0 0 29.744	- 0 43 0.35	21.058 175 7		
23	23 52 25.824	- 1 36 30.09	20.636 948 4	10	0 0 42.130	- 0 41 39.18	21.061 752 2		
24	23 52 34.201	- 1 35 33.57	20.651 053 3	11	0 0 54.549	- 0 40 17.83	21.065 052 5		
25	23 52 42.719	- 1 34 36.16	20.664 989 3	12	0 1 6.997	- 0 38 56.32	21.068 076 2		
26	23 52 51.377	- 1 33 37.86	20.678 752 5	13	0 1 19.473	- 0 37 34.68	21.070 823 0		
27	23 53 0.175	- 1 32 38.68	20.692 338 9	14	0 1 31.971	- 0 36 12.93	21.073 292 9		
28	23 53 9.111	- 1 31 38.62	20.705 744 4	15	0 1 44.488	- 0 34 51.09	21.075 485 6		
29	23 53 18.182	- 1 30 37.71	20.718 965 1	16	0 1 57.020	- 0 33 29.18	21.077 401 3		
30	23 53 27.385	- 1 29 35.97	20.731 997 1	17	0 2 9.563	- 0 32 7.25	21.079 040 1		
31	23 53 36.716	- 1 28 33.42	20.744 836 4	18	0 2 22.115	- 0 30 45.29	21.080 402 2		
Févr.	1	23 53 46.172	- 1 27 30.09	20.757 479 3	19	0 2 34.673	- 0 29 23.33	21.081 487 8	
	2	23 53 55.750	- 1 26 26.00	20.769 921 9	20	0 2 47.236	- 0 28 1.36	21.082 296 9	
	3	23 54 5.447	- 1 25 21.16	20.782 160 8	21	0 2 59.806	- 0 26 39.39	21.082 829 8	
	4	23 54 15.261	- 1 24 15.59	20.794 192 3	22	0 3 12.381	- 0 25 17.42	21.083 086 3	
	5	23 54 25.189	- 1 23 9.30	20.806 013 2	23	0 3 24.960	- 0 23 55.47	21.083 066 5	
	6	23 54 35.230	- 1 22 2.31	20.817 620 1	24	0 3 37.540	- 0 22 33.54	21.082 770 2	
	7	23 54 45.382	- 1 20 54.63	20.829 009 9	25	0 3 50.118	- 0 21 11.66	21.082 197 4	
	8	23 54 55.644	- 1 19 46.27	20.840 179 7	26	0 4 2.689	- 0 19 49.87	21.081 348 0	
	9	23 55 6.014	- 1 18 37.24	20.851 126 4	27	0 4 15.250	- 0 18 28.18	21.080 222 2	
	10	23 55 16.490	- 1 17 27.54	20.861 847 5	28	0 4 27.796	- 0 17 6.61	21.078 820 0	
	11	23 55 27.069	- 1 16 17.21	20.872 340 2	29	0 4 40.325	- 0 15 45.21	21.077 141 7	
	12	23 55 37.751	- 1 15 6.24	20.882 602 0	30	0 4 52.834	- 0 14 23.96	21.075 187 8	
	13	23 55 48.532	- 1 13 54.66	20.892 630 6	31	0 5 5.320	- 0 13 2.91	21.072 958 8	
	14	23 55 59.408	- 1 12 42.50	20.902 423 7	Avril 1	0 5 17.782	- 0 11 42.05	21.070 455 2	

URANUS 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Avril	2 0 5 30.218	- 0 10 21.40	21.067 677 8	Mai	18 0 13 53.297	0 43 21.41	20.673 638 6
	3 0 5 42.625	- 0 9 0.98	21.064 627 6		19 0 14 1.907	0 44 15.62	20.660 178 0
	4 0 5 55.003	- 0 7 40.79	21.061 305 4		20 0 14 10.387	0 45 8.96	20.646 557 2
	5 0 6 7.348	- 0 6 20.85	21.057 712 5		21 0 14 18.734	0 46 1.41	20.632 779 5
	6 0 6 19.660	- 0 5 1.17	21.053 850 0		22 0 14 26.945	0 46 52.95	20.618 848 0
	7 0 6 31.935	- 0 3 41.76	21.049 719 2		23 0 14 35.018	0 47 43.57	20.604 766 0
	8 0 6 44.172	- 0 2 22.64	21.045 321 8		24 0 14 42.950	0 48 33.25	20.590 537 0
	9 0 6 56.366	- 0 1 3.84	21.040 659 2		25 0 14 50.741	0 49 21.99	20.576 164 4
	10 0 7 8.515	0 0 14.63	21.035 733 1		26 0 14 58.390	0 50 9.79	20.561 652 0
	11 0 7 20.614	0 1 32.75	21.030 545 4		27 0 15 5.896	0 50 56.62	20.547 003 5
	12 0 7 32.661	0 2 50.49	21.025 097 9		28 0 15 13.258	0 51 42.50	20.532 222 5
13 0 7 44.651	0 4 7.82	21.019 392 6	29 0 15 20.476	0 52 27.42	20.517 313 1		
14 0 7 56.583	0 5 24.73	21.013 431 4	30 0 15 27.547	0 53 11.36	20.502 279 3		
15 0 8 8.452	0 6 41.21	21.007 216 5	31 0 15 34.472	0 53 54.33	20.487 125 0		
16 0 8 20.260	0 7 57.25	21.000 749 7	Juin	1 0 15 41.248	0 54 36.32	20.471 854 5	
17 0 8 32.004	0 9 12.85	20.994 033 2		2 0 15 47.873	0 55 17.31	20.456 472 0	
18 0 8 43.687	0 10 28.00	20.987 068 8		3 0 15 54.346	0 55 57.29	20.440 981 9	
19 0 8 55.306	0 11 42.71	20.979 858 2		4 0 16 0.664	0 56 36.25	20.425 388 6	
20 0 9 6.861	0 12 56.97	20.972 403 3		5 0 16 6.824	0 57 14.17	20.409 696 6	
21 0 9 18.347	0 14 10.74	20.964 705 7		6 0 16 12.824	0 57 51.03	20.393 910 4	
22 0 9 29.762	0 15 24.02	20.956 767 1	7 0 16 18.661	0 58 26.82	20.378 034 6		
23 0 9 41.101	0 16 36.77	20.948 589 3	8 0 16 24.335	0 59 1.54	20.362 073 7		
24 0 9 52.361	0 17 48.97	20.940 174 2	9 0 16 29.844	0 59 35.18	20.346 032 2		
25 0 10 3.538	0 19 0.60	20.931 523 6	10 0 16 35.191	1 0 7.75	20.329 914 6		
26 0 10 14.630	0 20 11.65	20.922 639 8	11 0 16 40.375	1 0 39.25	20.313 725 3		
27 0 10 25.635	0 21 22.09	20.913 524 7	12 0 16 45.397	1 1 9.68	20.297 468 5		
28 0 10 36.552	0 22 31.92	20.904 180 8	13 0 16 50.258	1 1 39.06	20.281 148 5		
29 0 10 47.378	0 23 41.12	20.894 610 4	14 0 16 54.957	1 2 7.38	20.264 769 4		
30 0 10 58.113	0 24 49.70	20.884 816 0	15 0 16 59.492	1 2 34.62	20.248 335 3		
Mai	1 0 11 8.754	0 25 57.63	20.874 800 1	16 0 17 3.861	1 3 0.78	20.231 850 1	
	2 0 11 19.300	0 27 4.91	20.864 565 6	17 0 17 8.061	1 3 25.84	20.215 317 9	
	3 0 11 29.750	0 28 11.53	20.854 115 2	18 0 17 12.091	1 3 49.78	20.198 742 7	
	4 0 11 40.102	0 29 17.48	20.843 451 9	19 0 17 15.947	1 4 12.59	20.182 128 6	
	5 0 11 50.353	0 30 22.74	20.832 578 6	20 0 17 19.630	1 4 34.27	20.165 479 9	
	6 0 12 0.501	0 31 27.30	20.821 498 6	21 0 17 23.139	1 4 54.80	20.148 800 7	
	7 0 12 10.543	0 32 31.13	20.810 215 0	22 0 17 26.473	1 5 14.20	20.132 095 4	
	8 0 12 20.475	0 33 34.23	20.798 731 2	23 0 17 29.634	1 5 32.46	20.115 368 4	
	9 0 12 30.295	0 34 36.57	20.787 050 6	24 0 17 32.620	1 5 49.58	20.098 624 3	
	10 0 12 39.999	0 35 38.12	20.775 176 6	25 0 17 35.432	1 6 5.56	20.081 867 5	
	11 0 12 49.584	0 36 38.88	20.763 112 7	26 0 17 38.071	1 6 20.41	20.065 102 8	
12 0 12 59.049	0 37 38.83	20.750 862 5	27 0 17 40.535	1 6 34.13	20.048 334 7		
13 0 13 8.394	0 38 37.96	20.738 429 3	28 0 17 42.825	1 6 46.71	20.031 568 1		
14 0 13 17.617	0 39 36.28	20.725 816 8	29 0 17 44.940	1 6 58.16	20.014 807 9		
15 0 13 26.719	0 40 33.78	20.713 028 2	30 0 17 46.879	1 7 8.46	19.998 058 8		
16 0 13 35.700	0 41 30.48	20.700 066 8	Juill.	1 0 17 48.640	1 7 17.61	19.981 325 8	
17 0 13 44.560	0 42 26.36	20.686 935 9		2 0 17 50.222	1 7 25.60	19.964 614 0	

URANUS 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance ua	Date	asc. droite			déclinaison			distance ua		
	h	m	s	°	'	"			h	m	s	°	'	"			
Juill.	3	0	17	51.622	1	7	32.42	19.9479284	Août	18	0	15	50.767	0	52	58.16	19.2876489
	4	0	17	52.841	1	7	38.06	19.9312740		19	0	15	44.527	0	52	16.26	19.2772445
	5	0	17	53.877	1	7	42.53	19.9146559		20	0	15	38.164	0	51	33.60	19.2670696
	6	0	17	54.732	1	7	45.82	19.8980790		21	0	15	31.680	0	50	50.18	19.2571277
	7	0	17	55.406	1	7	47.94	19.8815481		22	0	15	25.078	0	50	6.03	19.2474223
	8	0	17	55.902	1	7	48.92	19.8650681		23	0	15	18.360	0	49	21.16	19.2379567
	9	0	17	56.222	1	7	48.75	19.8486436		24	0	15	11.528	0	48	35.59	19.2287344
	10	0	17	56.368	1	7	47.46	19.8322792		25	0	15	4.583	0	47	49.32	19.2197588
	11	0	17	56.339	1	7	45.06	19.8159792		26	0	14	57.527	0	47	2.37	19.2110333
	12	0	17	56.136	1	7	41.53	19.7997481		27	0	14	50.362	0	46	14.75	19.2025612
	13	0	17	55.759	1	7	36.88	19.7835900		28	0	14	43.089	0	45	26.47	19.1943457
	14	0	17	55.205	1	7	31.10	19.7675093		29	0	14	35.710	0	44	37.54	19.1863901
	15	0	17	54.475	1	7	24.18	19.7515102		30	0	14	28.231	0	43	48.00	19.1786973
	16	0	17	53.566	1	7	16.12	19.7355968		31	0	14	20.655	0	42	57.87	19.1712703
	17	0	17	52.480	1	7	6.92	19.7197736		Sept. 1	0	14	12.989	0	42	7.20	19.1641117
	18	0	17	51.217	1	6	56.57	19.7040447		2	0	14	5.237	0	41	16.01	19.1572238
	19	0	17	49.777	1	6	45.10	19.6884145		3	0	13	57.404	0	40	24.33	19.1506090
20	0	17	48.163	1	6	32.51	19.6728875	4	0	13	49.492	0	39	32.18	19.1442692		
21	0	17	46.376	1	6	18.80	19.6574680	5	0	13	41.503	0	38	39.58	19.1382063		
22	0	17	44.417	1	6	3.99	19.6421607	6	0	13	33.441	0	37	46.54	19.1324222		
23	0	17	42.288	1	5	48.09	19.6269701	7	0	13	25.306	0	36	53.08	19.1269184		
24	0	17	39.990	1	5	31.10	19.6119006	8	0	13	17.100	0	35	59.20	19.1216967		
25	0	17	37.524	1	5	13.05	19.5969570	9	0	13	8.827	0	35	4.92	19.1167586		
26	0	17	34.891	1	4	53.92	19.5821438	10	0	13	0.489	0	34	10.26	19.1121057		
27	0	17	32.091	1	4	33.74	19.5674658	11	0	12	52.091	0	33	15.25	19.1077393		
28	0	17	29.125	1	4	12.50	19.5529275	12	0	12	43.635	0	32	19.92	19.1036611		
29	0	17	25.993	1	3	50.20	19.5385339	13	0	12	35.127	0	31	24.28	19.0998724		
30	0	17	22.694	1	3	26.83	19.5242894	14	0	12	26.570	0	30	28.36	19.0963747		
31	0	17	19.228	1	3	2.42	19.5101990	15	0	12	17.969	0	29	32.20	19.0931693		
Août 1	0	17	15.596	1	2	36.95	19.4962672	16	0	12	9.328	0	28	35.82	19.0902576		
2	0	17	11.801	1	2	10.43	19.4824987	17	0	12	0.650	0	27	39.25	19.0876410		
3	0	17	7.844	1	1	42.90	19.4688978	18	0	11	51.939	0	26	42.50	19.0853205		
4	0	17	3.729	1	1	14.36	19.4554690	19	0	11	43.199	0	25	45.61	19.0832976		
5	0	16	59.460	1	0	44.85	19.4422164	20	0	11	34.432	0	24	48.60	19.0815733		
6	0	16	55.041	1	0	14.39	19.4291439	21	0	11	25.641	0	23	51.47	19.0801488		
7	0	16	50.474	0	59	43.00	19.4162555	22	0	11	16.830	0	22	54.26	19.0790250		
8	0	16	45.759	0	59	10.68	19.4035548	23	0	11	7.999	0	21	56.97	19.0782031		
9	0	16	40.899	0	58	37.44	19.3910455	24	0	10	59.152	0	20	59.62	19.0776838		
10	0	16	35.893	0	58	3.29	19.3787312	25	0	10	50.293	0	20	2.24	19.0774680		
11	0	16	30.742	0	57	28.23	19.3666152	26	0	10	41.425	0	19	4.84	19.0775563		
12	0	16	25.447	0	56	52.26	19.3547012	27	0	10	32.553	0	18	7.47	19.0779493		
13	0	16	20.010	0	56	15.40	19.3429924	28	0	10	23.684	0	17	10.17	19.0786471		
14	0	16	14.432	0	55	37.65	19.3314924	29	0	10	14.824	0	16	12.97	19.0796497		
15	0	16	8.716	0	54	59.03	19.3202046	30	0	10	5.977	0	15	15.90	19.0809570		
16	0	16	2.864	0	54	19.56	19.3091324	Oct. 1	0	9	57.149	0	14	19.01	19.0825685		
17	0	15	56.880	0	53	39.27	19.2982793	2	0	9	48.342	0	13	22.29	19.0844834		

URANUS 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Oct.	3	0	9	39.558	0	12	25.78	19.0867010	Nov.	18	0	4	19.021	-	0	21	6.75	19.4871401
	4	0	9	30.800	0	11	29.48	19.0892204		19	0	4	15.023	-	0	21	30.41	19.5013077
	5	0	9	22.070	0	10	33.41	19.0920406		20	0	4	11.188	-	0	21	52.99	19.5156495
	6	0	9	13.370	0	9	37.58	19.0951605		21	0	4	7.519	-	0	22	14.45	19.5301612
	7	0	9	4.706	0	8	42.02	19.0985790		22	0	4	4.021	-	0	22	34.79	19.5448381
	8	0	8	56.079	0	7	46.75	19.1022950		23	0	4	0.696	-	0	22	53.98	19.5596758
	9	0	8	47.495	0	6	51.80	19.1063074		24	0	3	57.549	-	0	23	11.99	19.5746692
	10	0	8	38.957	0	5	57.20	19.1106147		25	0	3	54.581	-	0	23	28.82	19.5898133
	11	0	8	30.470	0	5	2.97	19.1152159		26	0	3	51.792	-	0	23	44.46	19.6051029
	12	0	8	22.039	0	4	9.14	19.1201096		27	0	3	49.183	-	0	23	58.91	19.6205327
	13	0	8	13.668	0	3	15.74	19.1252945		28	0	3	46.753	-	0	24	12.19	19.6360974
	14	0	8	5.360	0	2	22.80	19.1307690		29	0	3	44.501	-	0	24	24.29	19.6517915
15	0	7	57.119	0	1	30.34	19.1365319	30	0	3	42.428	-	0	24	35.22	19.6676097		
16	0	7	48.948	0	0	38.38	19.1425816	Déc.	1	0	3	40.534	-	0	24	44.97	19.6835468	
17	0	7	40.851	-	0	0	13.07		19.1489166	2	0	3	38.822	-	0	24	53.53	19.6995974
18	0	7	32.830	-	0	1	3.97	19.1555353	3	0	3	37.292	-	0	25	0.89	19.7157563	
19	0	7	24.888	-	0	1	54.33	19.1624359	4	0	3	35.947	-	0	25	7.04	19.7320184	
20	0	7	17.026	-	0	2	44.11	19.1696167	5	0	3	34.787	-	0	25	11.97	19.7483784	
21	0	7	9.247	-	0	3	33.31	19.1770759	6	0	3	33.815	-	0	25	15.68	19.7648314	
22	0	7	1.555	-	0	4	21.90	19.1848116	7	0	3	33.031	-	0	25	18.16	19.7813721	
23	0	6	53.952	-	0	5	9.88	19.1928218	8	0	3	32.437	-	0	25	19.40	19.7979955	
24	0	6	46.443	-	0	5	57.20	19.2011041	9	0	3	32.032	-	0	25	19.40	19.8146967	
25	0	6	39.032	-	0	6	43.84	19.2096563	10	0	3	31.817	-	0	25	18.16	19.8314706	
26	0	6	31.726	-	0	7	29.76	19.2184757	11	0	3	31.791	-	0	25	15.68	19.8483123	
27	0	6	24.529	-	0	8	14.93	19.2275595	12	0	3	31.954	-	0	25	11.97	19.8652167	
28	0	6	17.446	-	0	8	59.32	19.2369047	13	0	3	32.305	-	0	25	7.03	19.8821791	
29	0	6	10.480	-	0	9	42.91	19.2465079	14	0	3	32.843	-	0	25	0.87	19.8991944	
30	0	6	3.631	-	0	10	25.69	19.2563658	15	0	3	33.568	-	0	24	53.50	19.9162577	
31	0	5	56.903	-	0	11	7.66	19.2664748	16	0	3	34.479	-	0	24	44.91	19.9333640	
Nov.	1	0	5	50.295	-	0	11	48.81	19.2768312	17	0	3	35.577	-	0	24	35.10	19.9505084
	2	0	5	43.810	-	0	12	29.13	19.2874315	18	0	3	36.862	-	0	24	24.07	19.9676856
	3	0	5	37.449	-	0	13	8.61	19.2982718	19	0	3	38.338	-	0	24	11.80	19.9848906
	4	0	5	31.217	-	0	13	47.22	19.3093486	20	0	3	40.005	-	0	23	58.29	20.0021180
	5	0	5	25.115	-	0	14	24.94	19.3206581	21	0	3	41.865	-	0	23	43.53	20.0193625
	6	0	5	19.148	-	0	15	1.76	19.3321965	22	0	3	43.918	-	0	23	27.51	20.0366185
	7	0	5	13.318	-	0	15	37.66	19.3439603	23	0	3	46.164	-	0	23	10.23	20.0538805
	8	0	5	7.630	-	0	16	12.61	19.3559455	24	0	3	48.602	-	0	22	51.72	20.0711429
	9	0	5	2.085	-	0	16	46.60	19.3681484	25	0	3	51.229	-	0	22	31.98	20.0883998
	10	0	4	56.687	-	0	17	19.60	19.3805653	26	0	3	54.042	-	0	22	11.04	20.1056456
	11	0	4	51.439	-	0	17	51.60	19.3931923	27	0	3	57.041	-	0	21	48.90	20.1228747
	12	0	4	46.342	-	0	18	22.59	19.4060257	28	0	4	0.223	-	0	21	25.57	20.1400815
13	0	4	41.398	-	0	18	52.55	19.4190615	29	0	4	3.588	-	0	21	1.06	20.1572606	
14	0	4	36.609	-	0	19	21.49	19.4322958	30	0	4	7.137	-	0	20	35.38	20.1744065	
15	0	4	31.976	-	0	19	49.38	19.4457248	31	0	4	10.869	-	0	20	8.51	20.1915141	
16	0	4	27.499	-	0	20	16.23	19.4593446	32	0	4	14.783	-	0	19	40.47	20.2085782	
17	0	4	23.181	-	0	20	42.02	19.4731510	33	0	4	18.881	-	0	19	11.24	20.2255937	

NEPTUNE 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE 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 56 23.604	-13 3 54.90	30.669 2070	Févr.	15	22 2 29.939	-12 31 22.47	30.999 2119
	1	21 56 30.123	-13 3 20.18	30.681 893 1		16	22 2 38.721	-12 30 35.58	30.999 935 6
	2	21 56 36.736	-13 2 44.96	30.694 375 7		17	22 2 47.503	-12 29 48.69	31.000 370 9
	3	21 56 43.441	-13 2 9.27	30.706 651 0		18	22 2 56.281	-12 29 1.82	31.000 518 0
	4	21 56 50.233	-13 1 33.13	30.718 715 0		19	22 3 5.053	-12 28 14.97	31.000 377 4
	5	21 56 57.110	-13 0 56.54	30.730 564 0		20	22 3 13.820	-12 27 28.13	30.999 949 0
	6	21 57 4.069	-13 0 19.53	30.742 194 3		21	22 3 22.580	-12 26 41.30	30.999 233 1
	7	21 57 11.107	-12 59 42.09	30.753 602 6		22	22 3 31.335	-12 25 54.48	30.998 229 9
	8	21 57 18.224	-12 59 4.23	30.764 785 5		23	22 3 40.085	-12 25 7.68	30.996 939 3
	9	21 57 25.418	-12 58 25.96	30.775 739 8		24	22 3 48.827	-12 24 20.92	30.995 361 4
	10	21 57 32.687	-12 57 47.28	30.786 462 3		25	22 3 57.559	-12 23 34.21	30.993 496 6
	11	21 57 40.031	-12 57 8.19	30.796 950 3		26	22 4 6.279	-12 22 47.58	30.991 345 1
	12	21 57 47.448	-12 56 28.70	30.807 200 8		27	22 4 14.982	-12 22 1.04	30.988 907 3
	13	21 57 54.939	-12 55 48.81	30.817 211 1		28	22 4 23.665	-12 21 14.62	30.986 183 8
14	21 58 2.501	-12 55 8.54	30.826 978 8	Mars	1	22 4 32.325	-12 20 28.33	30.983 175 4	
15	21 58 10.133	-12 54 27.89	30.836 501 2	2	22 4 40.960	-12 19 42.17	30.979 882 7		
16	21 58 17.834	-12 53 46.87	30.845 776 2	3	22 4 49.567	-12 18 56.17	30.976 306 9		
17	21 58 25.601	-12 53 5.51	30.854 801 3	4	22 4 58.144	-12 18 10.31	30.972 449 1		
18	21 58 33.432	-12 52 23.82	30.863 574 6	5	22 5 6.690	-12 17 24.62	30.968 310 4		
19	21 58 41.323	-12 51 41.82	30.872 093 9	6	22 5 15.204	-12 16 39.09	30.963 892 4		
20	21 58 49.270	-12 50 59.52	30.880 357 3	7	22 5 23.685	-12 15 53.74	30.959 196 6		
21	21 58 57.270	-12 50 16.95	30.888 362 7	8	22 5 32.131	-12 15 8.56	30.954 224 5		
22	21 59 5.320	-12 49 34.10	30.896 108 1	9	22 5 40.542	-12 14 23.56	30.948 978 0		
23	21 59 13.420	-12 48 50.97	30.903 591 4	10	22 5 48.916	-12 13 38.77	30.943 459 0		
24	21 59 21.569	-12 48 7.55	30.910 810 5	11	22 5 57.251	-12 12 54.19	30.937 669 4		
25	21 59 29.768	-12 47 23.85	30.917 763 3	12	22 6 5.546	-12 12 9.82	30.931 611 4		
26	21 59 38.016	-12 46 39.87	30.924 447 5	13	22 6 13.798	-12 11 25.70	30.925 287 1		
27	21 59 46.314	-12 45 55.62	30.930 861 0	14	22 6 22.004	-12 10 41.84	30.918 698 8		
28	21 59 54.658	-12 45 11.11	30.937 001 8	15	22 6 30.161	-12 9 58.26	30.911 848 8		
29	22 0 3.047	-12 44 26.37	30.942 867 7	16	22 6 38.267	-12 9 14.96	30.904 739 6		
30	22 0 11.477	-12 43 41.41	30.948 456 8	17	22 6 46.317	-12 8 31.97	30.897 373 5		
31	22 0 19.945	-12 42 56.26	30.953 767 4	18	22 6 54.310	-12 7 49.29	30.889 752 9		
Févr.	1	22 0 28.448	-12 42 10.92	30.958 797 8	19	22 7 2.245	-12 7 6.91	30.881 880 3	
	2	22 0 36.982	-12 41 25.42	30.963 546 5	20	22 7 10.121	-12 6 24.84	30.873 757 8	
	3	22 0 45.544	-12 40 39.77	30.968 012 1	21	22 7 17.939	-12 5 43.06	30.865 387 8	
	4	22 0 54.134	-12 39 53.97	30.972 193 3	22	22 7 25.701	-12 5 1.59	30.856 772 2	
	5	22 1 2.748	-12 39 8.03	30.976 089 1	23	22 7 33.405	-12 4 20.42	30.847 913 3	
	6	22 1 11.385	-12 38 21.95	30.979 698 6	24	22 7 41.050	-12 3 39.59	30.838 813 2	
	7	22 1 20.044	-12 37 35.74	30.983 021 0	25	22 7 48.633	-12 2 59.10	30.829 474 1	
	8	22 1 28.724	-12 36 49.40	30.986 055 7	26	22 7 56.150	-12 2 18.99	30.819 898 5	
9	22 1 37.423	-12 36 2.95	30.988 802 0	27	22 8 3.598	-12 1 39.27	30.810 088 6		
10	22 1 46.141	-12 35 16.39	30.991 259 6	28	22 8 10.974	-12 0 59.95	30.800 047 2		
11	22 1 54.875	-12 34 29.74	30.993 428 3	29	22 8 18.277	-12 0 21.04	30.789 776 9		
12	22 2 3.625	-12 33 43.00	30.995 307 9	30	22 8 25.504	-11 59 42.56	30.779 280 6		
13	22 2 12.387	-12 32 56.20	30.996 898 3	31	22 8 32.653	-11 59 4.49	30.768 561 3		
14	22 2 21.160	-12 32 9.35	30.998 199 6	Avril	1	22 8 39.723	-11 58 26.86	30.757 622 1	

NEPTUNE 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Avril	2	22	8	46.715	-11	57	49.65	30.7464662	Mai	18	22	12	22.082	-11	39	9.43	30.0652765	
	3	22	8	53.626	-11	57	12.89	30.7350968		19	22	12	24.097	-11	38	59.96	30.0484019	
	4	22	9	4.456	-11	56	36.56	30.7235174		20	22	12	25.989	-11	38	51.20	30.0315112	
	5	22	9	7.205	-11	56	0.68	30.7117316		21	22	12	27.757	-11	38	43.14	30.0146087	
	6	22	9	13.871	-11	55	25.25	30.6997429		22	22	12	29.399	-11	38	35.79	29.9976988	
	7	22	9	20.454	-11	54	50.28	30.6875550		23	22	12	30.913	-11	38	29.16	29.9807862	
	8	22	9	26.952	-11	54	15.80	30.6751717		24	22	12	32.300	-11	38	23.25	29.9638754	
	9	22	9	33.363	-11	53	41.80	30.6625970		25	22	12	33.560	-11	38	18.03	29.9469711	
	10	22	9	39.685	-11	53	8.30	30.6498346		26	22	12	34.693	-11	38	13.52	29.9300782	
	11	22	9	45.915	-11	52	35.33	30.6368885		27	22	12	35.700	-11	38	9.71	29.9132014	
	12	22	9	52.051	-11	52	2.88	30.6237628		28	22	12	36.583	-11	38	6.58	29.8963457	
	13	22	9	58.091	-11	51	30.98	30.6104615		29	22	12	37.340	-11	38	4.15	29.8795159	
	14	22	10	4.032	-11	50	59.62	30.5969885		30	22	12	37.974	-11	38	2.40	29.8627171	
	15	22	10	9.873	-11	50	28.81	30.5833477		31	22	12	38.485	-11	38	1.34	29.8459542	
	16	22	10	15.614	-11	49	58.54	30.5695430		Juin	1	22	12	38.874	-11	38	0.96	29.8292322
	17	22	10	21.257	-11	49	28.81	30.5555783			2	22	12	39.139	-11	38	1.27	29.8125563
18	22	10	26.802	-11	48	59.60	30.5414572	3	22		12	39.281	-11	38	2.28	29.8795159		
19	22	10	32.251	-11	48	30.93	30.5271833	4	22		12	39.298	-11	38	4.00	29.7793628		
20	22	10	37.602	-11	48	2.79	30.5127602	5	22		12	39.190	-11	38	6.42	29.7628552		
21	22	10	42.854	-11	47	35.23	30.4981914	6	22		12	38.955	-11	38	9.55	29.7464138		
22	22	10	48.004	-11	47	8.24	30.4834807	7	22	12	38.593	-11	38	13.39	29.7300434			
23	22	10	53.048	-11	46	41.85	30.4686318	8	22	12	38.105	-11	38	17.92	29.7137489			
24	22	10	57.986	-11	46	16.07	30.4536485	9	22	12	37.491	-11	38	23.15	29.6975350			
25	22	11	2.813	-11	45	50.91	30.4385349	10	22	12	36.754	-11	38	29.04	29.6814061			
26	22	11	7.529	-11	45	26.37	30.4232950	11	22	12	35.895	-11	38	35.59	29.6653669			
27	22	11	12.134	-11	45	2.46	30.4079330	12	22	12	34.918	-11	38	42.79	29.6494216			
28	22	11	16.626	-11	44	39.16	30.3924532	13	22	12	33.824	-11	38	50.63	29.6335744			
29	22	11	21.005	-11	44	16.50	30.3768599	14	22	12	32.615	-11	38	59.12	29.6178294			
30	22	11	25.272	-11	43	54.45	30.3611577	15	22	12	31.289	-11	39	8.25	29.6021907			
Mai	1	22	11	29.425	-11	43	33.03	30.3453510	16	22	12	29.846	-11	39	18.04	29.5866625		
	2	22	11	33.466	-11	43	12.24	30.3294446	17	22	12	28.285	-11	39	28.49	29.5712487		
	3	22	11	37.393	-11	42	52.08	30.3134429	18	22	12	26.605	-11	39	39.61	29.5559534		
	4	22	11	41.207	-11	42	32.55	30.2973509	19	22	12	24.806	-11	39	51.39	29.5407809		
	5	22	11	44.907	-11	42	13.66	30.2811733	20	22	12	22.888	-11	40	3.83	29.5257354		
	6	22	11	48.491	-11	41	55.43	30.2649150	21	22	12	20.851	-11	40	16.92	29.5108210		
7	22	11	51.958	-11	41	37.86	30.2485808	22	22	12	18.698	-11	40	30.64	29.4960423			
8	22	11	55.307	-11	41	20.97	30.2321756	23	22	12	16.431	-11	40	44.99	29.4814034			
9	22	11	58.535	-11	41	4.76	30.2157044	24	22	12	14.049	-11	40	59.95	29.4669088			
10	22	12	1.641	-11	40	49.23	30.1991721	25	22	12	11.557	-11	41	15.52	29.4525629			
11	22	12	4.623	-11	40	34.40	30.1825834	26	22	12	8.955	-11	41	31.68	29.4383699			
12	22	12	7.481	-11	40	20.26	30.1659432	27	22	12	6.245	-11	41	48.43	29.4243344			
13	22	12	10.216	-11	40	6.79	30.1492562	28	22	12	3.428	-11	42	5.76	29.4104607			
14	22	12	12.828	-11	39	54.00	30.1325270	29	22	12	0.505	-11	42	23.68	29.3967532			
15	22	12	15.320	-11	39	41.87	30.1157601	30	22	11	57.477	-11	42	42.18	29.3832162			
16	22	12	17.692	-11	39	30.39	30.0989598	Juill.	1	22	11	54.343	-11	43	1.26	29.3698540		
17	22	12	19.946	-11	39	19.58	30.0821305		2	22	11	51.105	-11	43	20.92	29.3566711		

NEPTUNE 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Juill.	3 22 11 47.761	-11 43 41.17	29.3436715	Août	18 22 7 50.388	-12 6 31.46	28.9980502
	4 22 11 44.313	-11 44 1.98	29.3308593		19 22 7 44.141	-12 7 6.58	28.9969045
	5 22 11 40.760	-11 44 23.36	29.3182386		20 22 7 37.885	-12 7 41.73	28.9960524
	6 22 11 37.104	-11 44 45.28	29.3058131		21 22 7 31.623	-12 8 16.87	28.9954944
	7 22 11 33.350	-11 45 7.72	29.2935866		22 22 7 25.356	-12 8 52.01	28.9952313
	8 22 11 29.499	-11 45 30.67	29.2815625		23 22 7 19.087	-12 9 27.13	28.9952636
	9 22 11 25.556	-11 45 54.10	29.2697442		24 22 7 12.818	-12 10 2.23	28.9955918
	10 22 11 21.523	-11 46 18.01	29.2581349		25 22 7 6.551	-12 10 37.29	28.9962162
	11 22 11 17.402	-11 46 42.38	29.2467376		26 22 7 0.285	-12 11 12.33	28.9971373
	12 22 11 13.195	-11 47 7.23	29.2355554		27 22 6 54.024	-12 11 47.31	28.9983552
	13 22 11 8.902	-11 47 32.54	29.2245912		28 22 6 47.767	-12 12 22.24	28.9998700
	14 22 11 4.522	-11 47 58.33	29.2138480		29 22 6 41.517	-12 12 57.10	29.0016816
	15 22 11 0.056	-11 48 24.58	29.2033287		30 22 6 35.278	-12 13 31.85	29.0037896
	16 22 10 55.505	-11 48 51.30	29.1930361		31 22 6 29.053	-12 14 6.47	29.0061935
	17 22 10 50.868	-11 49 18.47	29.1829733		Sept. 1 22 6 22.847	-12 14 40.94	29.0088925
	18 22 10 46.148	-11 49 46.08	29.1731431		2 22 6 16.665	-12 15 15.24	29.0118857
	19 22 10 41.347	-11 50 14.12	29.1635486		3 22 6 10.510	-12 15 49.35	29.0151718
20 22 10 36.467	-11 50 42.56	29.1541928	4 22 6 4.384	-12 16 23.28	29.0187497		
21 22 10 31.511	-11 51 11.39	29.1450785	5 22 5 58.289	-12 16 57.01	29.0226180		
22 22 10 26.482	-11 51 40.60	29.1362089	6 22 5 52.226	-12 17 30.55	29.0267753		
23 22 10 21.382	-11 52 10.17	29.1275868	7 22 5 46.195	-12 18 3.89	29.0312200		
24 22 10 16.214	-11 52 40.09	29.1192151	8 22 5 40.198	-12 18 37.03	29.0359508		
25 22 10 10.980	-11 53 10.35	29.1110967	9 22 5 34.236	-12 19 9.95	29.0409661		
26 22 10 5.683	-11 53 40.94	29.1032345	10 22 5 28.310	-12 19 42.64	29.0462645		
27 22 10 0.323	-11 54 11.86	29.0956312	11 22 5 22.424	-12 20 15.08	29.0518444		
28 22 9 54.901	-11 54 43.11	29.0882895	12 22 5 16.579	-12 20 47.26	29.0577043		
29 22 9 49.420	-11 55 14.67	29.0812122	13 22 5 10.780	-12 21 19.15	29.0638426		
30 22 9 43.879	-11 55 46.54	29.0744018	14 22 5 5.029	-12 21 50.74	29.0702577		
31 22 9 38.279	-11 56 18.71	29.0678608	15 22 4 59.329	-12 22 22.01	29.0769480		
Août 1 22 9 32.621	-11 56 51.18	29.0615915	16 22 4 53.684	-12 22 52.96	29.0839119		
2 22 9 26.909	-11 57 23.91	29.0555961	17 22 4 48.095	-12 23 23.56	29.0911475		
3 22 9 21.144	-11 57 56.89	29.0498764	18 22 4 42.566	-12 23 53.81	29.0986530		
4 22 9 15.332	-11 58 30.09	29.0444342	19 22 4 37.099	-12 24 23.71	29.1064267		
5 22 9 9.477	-11 59 3.48	29.0392711	20 22 4 31.694	-12 24 53.24	29.1144667		
6 22 9 3.582	-11 59 37.06	29.0343883	21 22 4 26.354	-12 25 22.40	29.1227708		
7 22 8 57.651	-12 0 10.80	29.0297872	22 22 4 21.079	-12 25 51.18	29.1313370		
8 22 8 51.685	-12 0 44.71	29.0254689	23 22 4 15.872	-12 26 19.59	29.1401632		
9 22 8 45.685	-12 1 18.79	29.0214344	24 22 4 10.731	-12 26 47.60	29.1492470		
10 22 8 39.653	-12 1 53.03	29.0176847	25 22 4 5.660	-12 27 15.21	29.1585859		
11 22 8 33.589	-12 2 27.42	29.0142207	26 22 4 0.660	-12 27 42.40	29.1681775		
12 22 8 27.494	-12 3 1.96	29.0110434	27 22 3 55.734	-12 28 9.14	29.1780187		
13 22 8 21.369	-12 3 36.64	29.0081537	28 22 3 50.888	-12 28 35.41	29.1881066		
14 22 8 15.217	-12 4 11.44	29.0055524	29 22 3 46.124	-12 29 1.19	29.1984379		
15 22 8 9.039	-12 4 46.33	29.0032406	30 22 3 41.447	-12 29 26.47	29.2090092		
16 22 8 2.840	-12 5 21.32	29.0012190	Oct. 1 22 3 36.860	-12 29 51.25	29.2198168		
17 22 7 56.622	-12 5 56.37	28.9994886	2 22 3 32.362	-12 30 15.52	29.2308571		

NEPTUNE 2011 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE VRAIE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Oct.	3	22	3	27.955	-12	30	39.29	29.2421264	Nov.	18	22	2	4.584	-12	37	51.66	29.9381283	
	4	22	3	23.638	-12	31	2.56	29.2536209		19	22	2	5.717	-12	37	45.00	29.9553847	
	5	22	3	19.412	-12	31	25.32	29.2653370		20	22	2	6.980	-12	37	37.64	29.9726527	
	6	22	3	15.277	-12	31	47.58	29.2772708		21	22	2	8.373	-12	37	29.55	29.9899269	
	7	22	3	11.235	-12	32	9.31	29.2894187		22	22	2	9.899	-12	37	20.73	30.0072019	
	8	22	3	7.287	-12	32	30.52	29.3017770		23	22	2	11.560	-12	37	11.17	30.0244722	
	9	22	3	3.436	-12	32	51.17	29.3143419		24	22	2	13.356	-12	37	0.87	30.0417323	
	10	22	2	59.683	-12	33	11.26	29.3271098		25	22	2	15.289	-12	36	49.84	30.0589765	
	11	22	2	56.032	-12	33	30.78	29.3400769		26	22	2	17.357	-12	36	38.08	30.0761990	
	12	22	2	52.484	-12	33	49.71	29.3532395		27	22	2	19.557	-12	36	25.63	30.0933942	
	13	22	2	49.042	-12	34	8.05	29.3665939		28	22	2	21.888	-12	36	12.48	30.1105564	
	14	22	2	45.708	-12	34	25.78	29.3801362		29	22	2	24.347	-12	35	58.66	30.1276803	
	15	22	2	42.483	-12	34	42.90	29.3938627		30	22	2	26.932	-12	35	44.16	30.1447603	
	16	22	2	39.369	-12	34	59.42	29.4077695		Déc.	1	22	2	29.644	-12	35	28.98	30.1617912
	17	22	2	36.367	-12	35	15.32	29.4218528			2	22	2	32.480	-12	35	13.12	30.1787678
	18	22	2	33.477	-12	35	30.60	29.4361085		3	22	2	35.443	-12	34	56.57	30.1956851	
	19	22	2	30.700	-12	35	45.27	29.4505327		4	22	2	38.531	-12	34	39.34	30.2125381	
20	22	2	28.036	-12	35	59.33	29.4651213	5	22	2	41.746	-12	34	21.42	30.2293219			
21	22	2	25.485	-12	36	12.76	29.4798701	6	22	2	45.087	-12	34	2.81	30.2460315			
22	22	2	23.047	-12	36	25.57	29.4947749	7	22	2	48.554	-12	33	43.52	30.2626622			
23	22	2	20.725	-12	36	37.73	29.5098313	8	22	2	52.147	-12	33	23.55	30.2792093			
24	22	2	18.518	-12	36	49.25	29.5250348	9	22	2	55.865	-12	33	2.91	30.2956682			
25	22	2	16.431	-12	37	0.09	29.5403807	10	22	2	59.707	-12	32	41.61	30.3120341			
26	22	2	14.467	-12	37	10.25	29.5558640	11	22	3	3.671	-12	32	19.66	30.3283025			
27	22	2	12.628	-12	37	19.70	29.5714799	12	22	3	7.756	-12	31	57.06	30.3444689			
28	22	2	10.917	-12	37	28.45	29.5872231	13	22	3	11.960	-12	31	33.83	30.3605287			
29	22	2	9.334	-12	37	36.50	29.6030883	14	22	3	16.280	-12	31	9.98	30.3764774			
30	22	2	7.879	-12	37	43.87	29.6190702	15	22	3	20.715	-12	30	45.51	30.3923106			
31	22	2	6.551	-12	37	50.56	29.6351635	16	22	3	25.264	-12	30	20.43	30.4080235			
Nov.	1	22	2	5.348	-12	37	56.57	29.6513630	17	22	3	29.925	-12	29	54.74	30.4236117		
	2	22	2	4.270	-12	38	1.92	29.6676635	18	22	3	34.699	-12	29	28.42	30.4390706		
	3	22	2	3.316	-12	38	6.58	29.6840598	19	22	3	39.586	-12	29	1.48	30.4543953		
	4	22	2	2.488	-12	38	10.56	29.7005470	20	22	3	44.587	-12	28	33.91	30.4695812		
	5	22	2	1.787	-12	38	13.84	29.7171199	21	22	3	49.703	-12	28	5.71	30.4846235		
	6	22	2	1.213	-12	38	16.43	29.7337735	22	22	3	54.933	-12	27	36.89	30.4995173		
	7	22	2	0.768	-12	38	18.30	29.7505030	23	22	4	0.275	-12	27	7.47	30.5142578		
	8	22	2	0.453	-12	38	19.46	29.7673033	24	22	4	5.728	-12	26	37.47	30.5288403		
	9	22	2	0.270	-12	38	19.90	29.7841696	25	22	4	11.287	-12	26	6.91	30.5432599		
	10	22	2	0.220	-12	38	19.61	29.8010970	26	22	4	16.950	-12	25	35.79	30.5575121		
	11	22	2	0.302	-12	38	18.61	29.8180806	27	22	4	22.713	-12	25	4.15	30.5715924		
	12	22	2	0.518	-12	38	16.88	29.8351154	28	22	4	28.575	-12	24	31.97	30.5854965		
	13	22	2	0.866	-12	38	14.44	29.8521968	29	22	4	34.534	-12	23	59.26	30.5992203		
	14	22	2	1.348	-12	38	11.29	29.8693196	30	22	4	40.589	-12	23	26.03	30.6127599		
	15	22	2	1.961	-12	38	7.43	29.8864792	31	22	4	46.740	-12	22	52.27	30.6261112		
	16	22	2	2.705	-12	38	2.87	29.9036704	32	22	4	52.986	-12	22	17.98	30.6392707		
	17	22	2	3.580	-12	37	57.62	29.9208885	33	22	4	59.327	-12	21	43.18	30.6522346		

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 2011 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 21 40.178	-18 49 57.60	32.932844 37	Juill.	3 18 24 54.319	-18 49 44.52	31.04387961		
	4 18 22 16.459	-18 49 57.72	32.927894 75		7 18 24 28.839	-18 50 28.96	31.05381951		
	8 18 22 52.455	-18 49 55.17	32.918286 29		11 18 24 3.714	-18 51 15.28	31.068367 70		
	12 18 23 28.022	-18 49 50.10	32.904082 42		15 18 23 39.091	-18 52 3.35	31.087441 73		
	16 18 24 3.022	-18 49 42.65	32.885375 85		19 18 23 15.106	-18 52 53.06	31.110956 38		
	20 18 24 37.329	-18 49 32.98	32.862280 73		23 18 22 51.896	-18 53 44.29	31.138823 78		
	24 18 25 10.822	-18 49 21.24	32.834916 63		27 18 22 29.600	-18 54 36.92	31.170941 47		
	28 18 25 43.381	-18 49 7.58	32.803401 70		31 18 22 8.359	-18 55 30.79	31.207182 75		
Févr.	1 18 26 14.878	-18 48 52.20	32.767871 83	Août	4 18 21 48.312	-18 56 25.73	31.247385 75		
	5 18 26 45.186	-18 48 35.32	32.728500 00		8 18 21 29.586	-18 57 21.59	31.291350 12		
		9 18 27 14.185	-18 48 17.16		32.685493 20		12 18 21 12.290	-18 58 18.20	31.338859 95
		13 18 27 41.764	-18 47 57.96		32.639082 15		16 18 20 56.521	-18 59 15.44	31.389703 15
		17 18 28 7.827	-18 47 37.94		32.589511 18		20 18 20 42.373	-19 0 13.16	31.443668 04
	21 18 28 32.289	-18 47 17.29	32.537023 49		24 18 20 29.937	-19 1 11.21	31.500532 04		
	25 18 28 55.064	-18 46 56.25	32.481854 22		28 18 20 19.303	-19 2 9.42	31.560052 81		
Mars	1 18 29 16.067	-18 46 35.04	32.424252 41	Sept.	1 18 20 10.554	-19 3 7.60	31.621958 75		
	5 18 29 35.212	-18 46 13.91	32.364499 62		5 18 20 3.756	-19 4 5.58	31.685947 76		
	9 18 29 52.428	-18 45 53.12	32.302901 10		9 18 19 58.956	-19 5 3.20	31.751715 15		
	13 18 30 7.657	-18 45 32.90	32.239774 89		13 18 19 56.187	-19 6 0.31	31.818969 64		
	17 18 30 20.856	-18 45 13.46	32.175442 92		17 18 19 55.480	-19 6 56.76	31.887426 23		
	21 18 30 31.996	-18 44 55.00	32.110214 02		21 18 19 56.860	-19 7 52.39	31.956795 07		
	25 18 30 41.050	-18 44 37.71	32.044380 92		25 18 20 0.349	-19 8 47.02	32.026774 86		
	29 18 30 47.991	-18 44 21.80	31.978244 61		29 18 20 5.963	-19 9 40.48	32.097042 26		
Avril	2 18 30 52.797	-18 44 7.47	31.912128 76	Oct.	3 18 20 13.696	-19 10 32.58	32.167255 85		
	6 18 30 55.462	-18 43 54.92	31.846369 44		7 18 20 23.525	-19 11 23.19	32.237084 49		
		10 18 30 55.997	-18 43 44.33		31.781303 72		11 18 20 35.415	-19 12 12.17	32.306221 36
		14 18 30 54.428	-18 43 35.82		31.717258 54		15 18 20 49.331	-19 12 59.37	32.374372 70
		18 18 30 50.795	-18 43 29.51		31.654537 16		19 18 21 5.232	-19 13 44.67	32.441248 26
	22 18 30 45.139	-18 43 25.52	31.593418 91		23 18 21 23.076	-19 14 27.90	32.506553 73		
	26 18 30 37.501	-18 43 23.95	31.534183 21		27 18 21 42.810	-19 15 8.91	32.569983 23		
Mai	30 18 30 27.931	-18 43 24.94	31.477123 98	Nov.	31 18 22 4.368	-19 15 47.59	32.631224 97		
	4 18 30 16.495	-18 43 28.56	31.422534 84		4 18 22 27.662	-19 16 23.82	32.689989 64		
	8 18 30 3.272	-18 43 34.88	31.370699 01		8 18 22 52.601	-19 16 57.53	32.746022 88		
	12 18 29 48.360	-18 43 43.93	31.321877 39		12 18 23 19.093	-19 17 28.62	32.799089 95		
	16 18 29 31.865	-18 43 55.72	31.276297 45		16 18 23 47.046	-19 17 57.03	32.848966 68		
	20 18 29 13.891	-18 44 10.25	31.234156 22		20 18 24 16.365	-19 18 22.66	32.895433 08		
	24 18 28 54.541	-18 44 27.55	31.195647 43		24 18 24 46.949	-19 18 45.44	32.938265 46		
	28 18 28 33.927	-18 44 47.62	31.160968 88		28 18 25 18.682	-19 19 5.33	32.977246 38		
Juin	1 18 28 12.172	-18 45 10.44	31.130309 89	Déc.	2 18 25 51.436	-19 19 22.32	33.012191 89		
	5 18 27 49.412	-18 45 35.98	31.103839 86		6 18 26 25.080	-19 19 36.42	33.042958 69		
		9 18 27 25.796	-18 46 4.16		31.081696 59		10 18 26 59.487	-19 19 47.65	33.069429 02
		13 18 27 1.474	-18 46 34.92		31.063977 39		14 18 27 34.531	-19 19 56.01	33.091500 84
		17 18 26 36.592	-18 47 8.15		31.050749 32		18 18 28 10.090	-19 20 1.54	33.109079 89
	21 18 26 11.288	-18 47 43.81	31.042073 46		22 18 28 46.036	-19 20 4.27	33.122074 55		
	25 18 25 45.705	-18 48 21.82	31.038009 92		26 18 29 22.228	-19 20 4.27	33.130408 75		
	29 18 25 19.996	-18 49 2.09	31.038604 95		30 18 29 58.520	-19 20 1.66	33.134045 13		

CÉRÈS 2011 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 20 7 20.601	-26 3 17.38	3.858 372 13	Juill.	3 0 15 17.469	-11 18 54.43	2.609 812 92	
	4 20 14 7.262	-25 46 4.43	3.877 399 96		7 0 17 26.885	-11 22 49.96	2.557 704 06	
	8 20 20 53.858	-25 27 58.03	3.894 058 40		11 0 19 19.417	-11 28 55.20	2.506 473 54	
	12 20 27 39.979	-25 9 0.36	3.908 325 54		15 0 20 54.305	-11 37 11.29	2.456 316 88	
	16 20 34 25.261	-24 49 13.64	3.920 194 53		19 0 22 10.722	-11 47 39.16	2.407 428 49	
Févr.	20 20 41 9.399	-24 28 40.03	3.929 669 05	23 0 23 7.785	-12 0 18.77	2.360 020 28		
	24 20 47 52.168	-24 7 21.60	3.936 750 41	27 0 23 44.632	-12 15 8.31	2.314 327 81		
	28 20 54 33.373	-23 45 20.65	3.941 423 86	31 0 24 0.514	-12 32 3.53	2.270 607 49		
	1 21 1 12.769	-23 22 40.07	3.943 665 54	Août	4 0 23 54.894	-12 50 57.13	2.229 129 47	
	5 21 7 50.065	-22 59 23.13	3.943 465 01		8 0 23 27.537	-13 11 38.96	2.190 155 79	
Mars	9 21 14 24.969	-22 35 33.23	3.940 830 25	12 0 22 38.430	-13 33 56.98	2.153 927 20		
	13 21 20 57.218	-22 11 13.71	3.935 784 51	16 0 21 27.715	-13 57 37.42	2.120 674 98		
	17 21 27 26.604	-21 46 27.72	3.928 361 23	20 0 19 55.738	-14 22 24.01	2.090 635 63		
	21 21 33 52.990	-21 21 18.22	3.918 593 38	24 0 18 3.163	-14 47 57.42	2.064 049 48		
	25 21 40 16.266	-20 55 48.33	3.906 495 82	28 0 15 51.075	-15 13 55.07	2.041 154 63		
Avril	1 21 46 36.274	-20 30 1.75	3.892 073 41	Sept.	1 0 13 21.083	-15 39 51.31	2.022 173 03	
	5 21 52 52.793	-20 4 2.57	3.875 344 16		5 24 10 35.354	-16 5 18.81	2.007 284 06	
	9 21 59 5.594	-19 37 54.90	3.856 343 37		9 24 7 36.422	-16 29 50.75	1.996 612 81	
	13 22 5 14.469	-19 11 42.75	3.835 120 75		13 24 4 27.043	-16 53 1.49	1.990 247 90	
	17 22 11 19.241	-18 45 29.90	3.811 736 76		17 24 1 10.188	-17 14 26.51	1.988 252 35	
Mai	21 22 17 19.799	-18 19 19.81	3.786 250 49	21 23 57 49.054	-17 33 42.67	1.990 662 19		
	25 22 23 16.061	-17 53 16.10	3.758 703 55	25 23 54 27.032	-17 50 28.80	1.997 481 73		
	29 22 29 7.877	-17 27 22.97	3.729 125 71	29 23 51 7.686	-18 4 26.30	2.008 672 63		
	Avril	2 22 34 55.029	-17 1 45.06	3.697 558 70	Oct.	3 23 47 54.603	-18 15 20.70	2.024 136 23
		6 22 40 37.271	-16 36 26.99	3.664 061 33		7 23 44 51.098	-18 23 3.11	2.043 714 35
Juin	10 22 46 14.361	-16 11 33.25	3.628 707 61	11 23 42 0.051	-18 27 29.37	2.067 222 08		
	14 22 51 46.079	-15 47 8.05	3.591 580 34	15 23 39 23.940	-18 28 38.81	2.094 460 51		
	18 22 57 12.260	-15 23 15.28	3.552 763 18	19 23 37 4.878	-18 26 33.43	2.125 220 31		
	22 23 2 32.752	-14 59 58.95	3.512 321 12	23 23 35 4.641	-18 21 17.31	2.159 281 18		
	26 23 7 47.337	-14 37 23.76	3.470 307 35	27 23 33 24.704	-18 12 56.23	2.196 405 30		
Juillet	30 23 12 55.694	-14 15 34.87	3.426 786 86	Nov.	31 23 32 6.195	-18 1 38.12	2.236 323 39	
	4 23 17 57.465	-13 54 37.44	3.381 842 12		4 23 31 9.751	-17 47 33.29	2.278 745 33	
	8 23 22 52.273	-13 34 36.49	3.335 571 21		8 23 30 35.529	-17 30 53.12	2.323 390 32	
	12 23 27 39.754	-13 15 36.67	3.288 083 45		12 23 30 23.377	-17 11 48.75	2.369 995 74	
	16 23 32 19.584	-12 57 42.31	3.239 487 93		16 23 30 32.937	-16 50 30.74	2.418 315 09	
Août	20 23 36 51.448	-12 40 57.91	3.189 877 19	20 23 31 3.725	-16 27 8.75	2.468 113 91		
	24 23 41 14.935	-12 25 28.70	3.139 334 03	24 23 31 55.194	-16 1 51.72	2.519 157 82		
	28 23 45 29.521	-12 11 20.40	3.087 952 75	28 23 33 6.706	-15 34 48.51	2.571 200 14		
	Juin	1 23 49 34.615	-11 58 38.68	3.035 848 65	Déc.	2 23 34 37.428	-15 6 8.38	2.623 990 38
		5 23 53 29.591	-11 47 28.95	2.983 153 96		6 23 36 26.372	-14 36 0.21	2.677 299 87
Sept.	9 23 57 13.830	-11 37 56.08	2.930 016 07	10 23 38 32.518	-14 4 31.92	2.730 926 02		
	13 0 0 46.754	-11 30 4.46	2.876 582 36	14 23 40 54.874	-13 31 50.34	2.784 687 77		
	17 0 4 7.778	-11 23 58.58	2.822 986 74	18 23 43 32.524	-12 58 1.38	2.838 417 33		
	21 0 7 16.211	-11 19 43.56	2.769 357 08	22 23 46 24.644	-12 23 10.23	2.891 948 42		
	25 0 10 11.236	-11 17 24.71	2.715 836 88	26 23 49 30.442	-11 47 22.09	2.945 102 77		
29 0 12 51.960	-11 17 6.98	2.662 592 64	30 23 52 49.072	-11 10 42.50	2.997 701 00			

PALLAS 2011 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	18	14	6.899	3	21	14.44	4.10028251	Juill.	3	20	17	28.805	19	22	2.72	2.63907342	
	4	18	19	53.784	3	24	28.10	4.10025024		7	20	14	40.922	19	17	59.80	2.61579115	
	8	18	25	38.531	3	29	20.28	4.09801200		11	20	11	43.425	19	9	50.82	2.59571210	
	12	18	31	20.712	3	35	49.49	4.09357580		15	20	8	38.586	18	57	31.85	2.57898760	
	16	18	36	59.939	3	43	53.97	4.08696055		19	20	5	28.750	18	41	1.54	2.56575543	
	20	18	42	35.868	3	53	31.87	4.07819081	23	20	2	16.383	18	20	21.29	2.55614754		
	24	18	48	8.194	4	4	41.56	4.06728443	27	19	59	4.094	17	55	36.05	2.55028317		
	28	18	53	36.595	4	17	21.70	4.05424490	31	19	55	54.593	17	26	54.89	2.54825824		
Févr.	1	18	59	0.665	4	31	30.67	4.03907505	Août	4	19	52	50.624	16	54	31.48	2.55013216	
	5	19	4	19.960	4	47	6.24	4.02179541		8	19	49	54.794	16	18	43.96	2.55591359	
	9	19	9	34.041	5	4	5.64	4.00244458		12	19	47	9.409	15	39	53.31	2.56557024	
	13	19	14	42.503	5	22	25.85	3.98107334		16	19	44	36.466	14	58	21.83	2.57904993	
	17	19	19	44.981	5	42	3.82	3.95773855		20	19	42	17.732	14	14	32.74	2.59628748	
	21	19	24	41.153	6	2	56.75	3.93249202	24	19	40	14.776	13	28	50.21	2.61719884		
	25	19	29	30.669	6	25	2.15	3.90536987	28	19	38	28.964	12	41	39.20	2.64167483		
Mars	1	19	34	13.092	6	48	17.24	3.87640734	Sept.	1	19	37	1.437	11	53	25.28	2.66957184	
	5	19	38	47.936	7	12	38.51	3.84565897		5	19	35	53.016	11	4	33.99	2.70070376	
	9	19	43	14.717	7	38	1.93	3.81319713		9	19	35	4.129	10	15	29.16	2.73486215	
	13	19	47	32.975	8	4	23.22	3.77910661		13	19	34	34.917	9	26	32.04	2.77183964	
	17	19	51	42.286	8	31	37.98	3.74347986		17	19	34	25.358	8	38	1.62	2.81143257	
	21	19	55	42.261	8	59	42.14	3.70640386	21	19	34	35.315	7	50	15.05	2.85343488		
	25	19	59	32.482	9	28	31.85	3.66795068	25	19	35	4.567	7	3	27.86	2.89763319		
	29	20	3	12.422	9	58	2.83	3.62819203	29	19	35	52.801	6	17	54.29	2.94379600		
Avril	2	20	6	41.498	10	28	9.89	3.58721946	Oct.	3	19	36	59.547	5	33	47.03	2.99166987	
	6	20	9	59.123	10	58	47.14	3.54514364		7	19	38	24.130	4	51	16.36	3.04100018	
	10	20	13	4.737	11	29	48.27	3.50208946		11	19	40	5.792	4	10	30.07	3.09155334	
	14	20	15	57.812	12	1	6.73	3.45818853		15	19	42	3.777	3	31	34.25	3.14311200	
	18	20	18	37.864	12	32	36.10	3.41356926		19	19	44	17.355	2	54	33.72	3.19546766	
	22	20	21	4.366	13	4	10.01	3.36834580	23	19	46	45.832	2	19	32.49	3.24841300		
	26	20	23	16.693	13	35	41.35	3.32263332	27	19	49	28.534	1	46	33.93	3.30173149		
Mai	30	20	25	14.164	14	7	1.61	3.27656940	Nov.	31	19	52	24.725	1	15	40.63	3.35519263	
	4	20	26	56.123	14	38	1.28	3.23031177		4	19	55	33.580	0	46	53.81	3.40857368	
	8	20	28	21.966	15	8	30.07	3.18403355		8	19	58	54.268	0	20	13.38	3.46167944	
	12	20	29	31.179	15	38	17.14	3.13791569		12	20	2	26.018	-	0	4	21.36	3.51433369
	16	20	30	23.326	16	7	11.58	3.09213496		16	20	6	8.130	-	0	26	51.46	3.56637074
	20	20	30	57.985	16	35	2.28	3.04685535	20	20	9	59.967	-	0	47	18.11	3.61762798	
	24	20	31	14.690	17	1	36.91	3.00224516	24	20	14	0.933	-	1	5	42.51	3.66793343	
	28	20	31	13.007	17	26	41.50	2.95849392	28	20	18	10.403	-	1	22	6.16	3.71710444	
Juin	1	20	30	52.646	17	50	0.86	2.91581231	Déc.	2	20	22	27.691	-	1	36	31.36	3.76496827
	5	20	30	13.498	18	11	19.04	2.87442360		6	20	26	52.122	-	1	49	1.03	3.81137956
	9	20	29	15.700	18	30	19.96	2.83455557		10	20	31	23.086	-	1	59	38.27	3.85621255
	13	20	27	59.614	18	46	48.07	2.79642502		14	20	36	0.044	-	2	8	26.16	3.89935241
	17	20	26	25.748	19	0	28.30	2.76023333		18	20	40	42.519	-	2	15	27.60	3.94068571
	21	20	24	34.730	19	11	5.26	2.72618223	22	20	45	30.073	-	2	20	45.39	3.98009007	
	25	20	22	27.402	19	18	23.17	2.69448803	26	20	50	22.241	-	2	24	22.50	4.01743328	
	29	20	20	4.923	19	22	6.86	2.66537661	30	20	55	18.509	-	2	26	22.44	4.05259366	

JUNON 2011 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	11 47 31.351	- 2 37 21.01	2.215 037 04	Juill.	3	11 41 14.387	7 4 38.11	3.184 592 21		
	4	11 49 32.223	- 2 40 19.81	2.172 119 44		7	11 45 7.802	6 43 15.64	3.244 799 88		
	8	11 51 11.394	- 2 40 25.15	2.129 912 89		11	11 49 8.519	6 20 57.38	3.303 981 39		
	12	11 52 28.058	- 2 37 29.25	2.088 687 10		15	11 53 15.939	5 57 48.44	3.362 037 73		
	16	11 53 21.553	- 2 31 25.39	2.048 714 73		19	11 57 29.580	5 33 53.11	3.418 884 13		
	20	11 53 51.356	- 2 22 7.95	2.010 268 42		23	12 1 49.050	5 9 15.27	3.474 431 43		
	24	11 53 57.028	- 2 9 32.16	1.973 623 59		27	12 6 14.007	4 43 58.75	3.528 580 58		
	28	11 53 38.231	- 1 53 34.43	1.939 076 64		31	12 10 44.116	4 18 7.46	3.581 224 55		
Févr.	1	11 52 54.906	- 1 34 13.81	1.906 958 16	Août	4	12 15 19.018	3 51 45.64	3.632 253 31		
	5	11 51 47.461	- 1 11 33.35	1.877 610 77		8	12 19 58.316	3 24 57.64	3.681 572 14		
		9	11 50 16.799	- 0 45 40.41		1.851 368 56		12	12 24 41.648	2 57 47.39	3.729 111 66
		13	11 48 24.304	- 0 16 46.65		1.828 543 60		16	12 29 28.735	2 30 18.26	3.774 813 81
		17	11 46 11.790	0 14 52.21		1.809 418 14		20	12 34 19.371	2 2 33.31	3.818 614 42
	21	11 43 41.410	0 48 56.95	1.794 242 83		24	12 39 13.375	1 34 35.64	3.860 439 92		
	25	11 40 55.616	1 25 4.92	1.783 254 65		28	12 44 10.567	1 6 28.50	3.900 207 24		
Mars	1	11 37 57.302	2 2 49.16	1.776 678 47	Sept.	1	12 49 10.730	0 38 15.45	3.937 829 09		
	5	11 34 49.861	2 41 38.42	1.774 698 83		5	12 54 13.594	0 10 0.24	3.973 232 71		
	9	11 31 37.023	3 20 58.83	1.777 438 44		9	12 59 18.910	- 0 18 13.74	4.006 371 59		
	13	11 28 22.658	4 0 15.74	1.784 951 35		13	13 4 26.495	- 0 46 23.55	4.037 208 47		
	17	11 25 10.589	4 38 55.47	1.797 222 66		17	13 9 36.218	- 1 14 26.45	4.065 700 83		
	21	11 22 4.366	5 16 27.14	1.814 180 41		21	13 14 47.963	- 1 42 19.64	4.091 796 88		
	25	11 19 7.191	5 52 23.20	1.835 721 50		25	13 20 1.604	- 2 10 0.17	4.115 436 14		
	29	11 16 22.034	6 26 18.73	1.861 720 62		29	13 25 16.969	- 2 37 24.77	4.136 553 65		
Avril	2	11 13 51.631	6 57 51.99	1.892 009 29	Oct.	3	13 30 33.823	- 3 4 30.00	4.155 098 43		
	6	11 11 38.330	7 26 45.49	1.926 370 79		7	13 35 51.934	- 3 31 12.72	4.171 048 11		
		10	11 9 43.995	7 52 46.57		1.964 546 88		11	13 41 11.130	- 3 57 30.20	4.184 388 92
		14	11 8 9.954	8 15 47.41		2.006 251 89		15	13 46 31.275	- 4 23 19.82	4.195 103 15
		18	11 6 56.964	8 35 44.83		2.051 188 70		19	13 51 52.238	- 4 48 38.95	4.203 165 31
	22	11 6 5.333	8 52 38.88	2.099 078 30		23	13 57 13.871	- 5 13 24.79	4.208 541 94		
	26	11 5 35.129	9 6 31.30	2.149 659 33		27	14 2 35.974	- 5 37 34.29	4.211 195 69		
Mai	30	11 5 26.264	9 17 25.17	2.202 665 71	Nov.	31	14 7 58.269	- 6 1 4.24	4.211 104 88		
	4	11 5 38.434	9 25 25.29	2.257 821 85		4	14 13 20.472	- 6 23 51.73	4.208 275 93		
	8	11 6 11.110	9 30 38.02	2.314 847 37		8	14 18 42.349	- 6 45 54.22	4.202 727 40		
	12	11 7 3.543	9 33 11.12	2.373 464 53		12	14 24 3.692	- 7 7 9.32	4.194 474 23		
	16	11 8 14.781	9 33 13.36	2.433 412 83		16	14 29 24.296	- 7 27 34.59	4.183 524 89		
	20	11 9 43.779	9 30 53.59	2.494 466 79		20	14 34 43.928	- 7 47 7.51	4.169 881 25		
	24	11 11 29.559	9 26 19.80	2.556 426 99		24	14 40 2.292	- 8 5 45.30	4.153 542 95		
	28	11 13 31.227	9 19 39.38	2.619 097 42		28	14 45 19.009	- 8 23 25.17	4.134 525 54		
Juin	1	11 15 47.902	9 10 59.69	2.682 276 56	Déc.	2	14 50 33.682	- 8 40 4.61	4.112 874 48		
	5	11 18 18.694	9 0 28.19	2.745 762 66		6	14 55 45.954	- 8 55 41.49	4.088 648 87		
		9	11 21 2.672	8 48 12.59		2.809 357 09		10	15 0 55.493	- 9 10 13.83	4.061 906 03
		13	11 23 58.863	8 34 20.61		2.872 880 39		14	15 6 1.967	- 9 23 39.67	4.032 697 58
		17	11 27 6.332	8 18 59.44		2.936 184 21		18	15 11 5.005	- 9 35 56.96	4.001 069 39
	21	11 30 24.276	8 2 15.19	2.999 140 64		22	15 16 4.166	- 9 47 3.52	3.967 065 98		
	25	11 33 52.012	7 44 13.34	3.061 619 90		26	15 20 58.915	- 9 56 57.20	3.930 750 71		
	29	11 37 28.918	7 24 59.20	3.123 484 62		30	15 25 48.693	-10 5 36.20	3.892 215 71		

VESTA 2011 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 16 55 3.933	-19 16 49.06	3.01065029	Juill.	3 21 30 34.424	-18 44 34.43	1.32598817		
	4 17 3 58.719	-19 34 3.79	2.98969554		7 21 29 16.350	-19 11 4.48	1.30192335		
	8 17 12 53.564	-19 49 25.65	2.96742095		11 21 27 29.244	-19 39 46.46	1.28086599		
	12 17 21 47.965	-20 2 54.62	2.94385967		15 21 25 14.795	-20 10 16.98	1.26301760		
	16 17 30 41.461	-20 14 31.14	2.91904926		19 21 22 35.151	-20 42 9.16	1.24856856		
	20 17 39 33.642	-20 24 16.02	2.89302586		23 21 19 33.105	-21 14 51.94	1.23770537		
	24 17 48 24.128	-20 32 10.36	2.86581177		27 21 16 12.257	-21 47 50.40	1.23060016		
	28 17 57 12.485	-20 38 15.62	2.83741287		31 21 12 37.042	-22 20 26.93	1.22739541		
Févr.	1 18 5 58.152	-20 42 33.88	2.80783848	Août	4 21 8 52.673	-22 52 3.29	1.22818546		
	5 18 14 40.528	-20 45 7.86	2.77711646		8 21 5 4.816	-23 22 3.83	1.23299662		
		9 18 23 19.034	-20 46 0.86		2.74528940		12 21 1 19.077	-23 49 58.43	1.24179607
		13 18 31 53.151	-20 45 16.54		2.71240628		16 20 57 40.765	-24 15 22.91	1.25451747
		17 18 40 22.425	-20 42 58.86		2.67851545		20 20 54 14.886	-24 37 58.39	1.27107236
	21 18 48 46.465	-20 39 11.98	2.64365307		24 20 51 6.096	-24 57 31.10	1.29134660		
	25 18 57 4.836	-20 34 0.51	2.60783664		28 20 48 18.610	-25 13 52.22	1.31519676		
Mars	1 19 5 16.980	-20 27 29.79	2.57108484	Sept.	1 20 45 56.088	-25 26 57.82	1.34244298		
	5 19 13 22.287	-20 19 45.84	2.53343626		5 20 44 1.388	-25 36 49.24	1.37286212		
	9 19 21 20.177	-20 10 55.05	2.49494385		9 20 42 36.315	-25 43 32.64	1.40621186		
	13 19 29 10.126	-20 1 4.08	2.45566785		13 20 41 41.786	-25 47 16.63	1.44225992		
	17 19 36 51.677	-19 50 19.71	2.41567054		17 20 41 18.107	-25 48 10.49	1.48078942		
	21 19 44 24.444	-19 38 48.75	2.37500216		21 20 41 25.158	-25 46 23.31	1.52159328		
	25 19 51 47.999	-19 26 38.46	2.33369424		25 20 42 2.501	-25 42 3.70	1.56446917		
	29 19 59 1.760	-19 13 57.04	2.29177878		29 20 43 9.447	-25 35 19.81	1.60920749		
Avril	2 20 6 5.068	-19 0 53.30	2.24930761	Oct.	3 20 44 44.971	-25 26 20.00	1.65558501		
	6 20 12 57.270	-18 47 36.36	2.20634893		7 20 46 47.609	-25 15 13.04	1.70338368		
		10 20 19 37.748	-18 34 15.44		2.16298125		11 20 49 15.681	-25 2 6.73	1.75241452
		14 20 26 5.936	-18 20 59.71		2.11928542		15 20 52 7.494	-24 47 7.53	1.80251250
		18 20 32 21.325	-18 7 58.28		2.07533412		19 20 55 21.426	-24 30 20.59	1.85352821
	22 20 38 23.334	-17 55 20.80	2.03118229		23 20 58 55.970	-24 11 50.00	1.90531911		
	26 20 44 11.191	-17 43 17.99	1.98688577		27 21 2 49.724	-23 51 39.22	1.95773770		
	30 20 49 43.989	-17 32 1.31	1.94252368		31 21 7 1.276	-23 29 52.02	2.01062279		
Mai	4 20 55 0.792	-17 21 42.36	1.89819450	Nov.	4 21 11 29.097	-23 6 32.62	2.06381832		
	8 21 0 0.670	-17 12 32.65	1.85401115		8 21 16 11.661	-22 41 44.94	2.11719462		
	12 21 4 42.736	-17 4 43.35	1.81009335		12 21 21 7.577	-22 15 32.17	2.17064160		
	16 21 9 6.137	-16 58 25.32	1.76655547		16 21 26 15.613	-21 47 56.89	2.22406042		
		20 21 13 9.935	-16 53 49.85		1.72349835		20 21 31 34.696	-21 19 1.24	2.27735595
	24 21 16 52.958	-16 51 9.18	1.68102980		24 21 37 3.894	-20 48 47.26	2.33042357		
	28 21 20 13.876	-16 50 35.82	1.63928383		28 21 42 42.306	-20 17 17.57	2.38314371		
Juin	1 21 23 11.348	-16 52 21.55	1.59842140	Déc.	2 21 48 28.965	-19 44 35.56	2.43539865		
	5 21 25 44.081	-16 56 36.93	1.55862257		6 21 54 22.921	-19 10 44.70	2.48709261		
		9 21 27 50.926	-17 3 30.61		1.52007919		10 22 0 23.332	-18 35 48.07	2.53814730
		13 21 29 30.882	-17 13 9.31		1.48297898		14 22 6 29.484	-17 59 48.37	2.58849447
		17 21 30 42.978	-17 25 38.49		1.44750111		18 22 12 40.794	-17 22 48.05	2.63806688
	21 21 31 26.167	-17 41 2.33	1.41383495		22 22 18 56.789	-16 44 49.55	2.68678733		
	25 21 31 39.491	-17 59 22.33	1.38219778		26 22 25 17.008	-16 5 55.92	2.73456236		
	29 21 31 22.298	-18 20 35.71	1.35283074		30 22 31 40.935	-15 26 10.90	2.78129896		

SATELLITES DE MARS

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

PHOBOS	II. 98
DÉIMOS	II. 106

PHOBOS 2011

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	"	"
Déc.	31 22	4.912	-1.622	Janv.	16 6	5.296	-0.727	Janv.	31 14	5.026	0.484
Janv.	1 6	5.161	-1.410		16 14	5.057	-0.303		31 21	5.255	-0.413
	1 14	4.990	-1.077		16 21	5.137	-1.030	Févr.	1 5	5.338	0.076
	1 21	4.953	-1.581		17 5	5.299	-0.657		1 13	4.986	0.562
	2 5	5.173	-1.351		17 13	5.029	-0.226		1 20	5.278	-0.343
	2 13	4.972	-1.006		17 20	5.169	-0.971		2 4	5.328	0.154
	2 20	4.992	-1.538		18 4	5.299	-0.586		2 12	4.944	0.640
	3 4	5.183	-1.291		18 12	4.998	-0.148		2 19	5.298	-0.271
	3 12	4.952	-0.933		18 19	5.198	-0.911		3 3	5.315	0.231
	3 19	5.028	-1.493		19 3	5.297	-0.513		3 11	4.899	0.718
	4 3	5.190	-1.229		19 11	4.964	-0.070		3 18	5.315	-0.199
	4 11	4.929	-0.860		19 18	5.225	-0.849		4 2	5.299	0.309
	4 18	5.063	-1.445		20 2	5.293	-0.440		4 9	4.942	-0.624
	5 2	5.195	-1.165		20 10	4.928	0.008		4 17	5.329	-0.125
	5 10	4.903	-0.785		20 17	5.250	-0.785		5 1	5.281	0.388
	5 17	5.095	-1.395		21 1	5.285	-0.366		5 8	4.986	-0.559
	6 1	5.197	-1.100		21 9	4.889	0.086		5 16	5.341	-0.051
	6 9	4.876	-0.710		21 16	5.272	-0.720		6 0	5.259	0.466
	6 16	5.125	-1.344		22 0	5.275	-0.291		6 7	5.027	-0.494
	7 0	5.197	-1.033		22 7	4.888	-1.032		6 15	5.350	0.024
	7 8	4.845	-0.634		22 15	5.291	-0.653		6 23	5.235	0.544
	7 15	5.153	-1.290		22 23	5.262	-0.215		7 6	5.066	-0.426
	7 23	5.195	-0.965		23 6	4.936	-0.978		7 14	5.356	0.100
	8 7	4.813	-0.557		23 14	5.308	-0.585		7 22	5.209	0.623
	8 14	5.179	-1.234		23 22	5.247	-0.139		8 5	5.102	-0.358
	8 22	5.189	-0.895		24 5	4.981	-0.922		8 13	5.359	0.177
	9 5	4.797	-1.427		24 13	5.322	-0.516		8 21	5.179	0.701
	9 13	5.202	-1.176		24 21	5.229	-0.062		9 4	5.135	-0.288
	9 21	5.182	-0.825		25 4	5.024	-0.865		9 12	5.360	0.254
	10 4	4.847	-1.385		25 12	5.334	-0.445		9 20	5.147	0.779
	10 12	5.223	-1.117		25 20	5.208	0.015		10 3	5.166	-0.217
	10 20	5.172	-0.753		26 3	5.065	-0.805		10 11	5.358	0.332
	11 3	4.895	-1.340		26 11	5.343	-0.373		10 19	5.112	0.857
	11 11	5.241	-1.056		26 19	5.184	0.093		11 2	5.194	-0.145
	11 19	5.159	-0.680		27 2	5.103	-0.744		11 10	5.353	0.410
	12 2	4.941	-1.294		27 10	5.349	-0.300		11 18	5.075	0.935
	12 10	5.257	-0.993		27 18	5.158	0.171		12 1	5.219	-0.071
	12 18	5.144	-0.606		28 1	5.139	-0.680		12 9	5.345	0.489
	13 1	4.985	-1.245		28 9	5.352	-0.227		12 17	5.035	1.012
	13 9	5.270	-0.929		28 17	5.129	0.249		13 0	5.242	0.003
	13 17	5.126	-0.532		29 0	5.172	-0.616		13 8	5.335	0.567
	14 0	5.026	-1.194		29 8	5.353	-0.152		13 16	4.992	1.088
	14 8	5.281	-0.863		29 16	5.097	0.328		13 23	5.262	0.078
	14 16	5.106	-0.456		29 23	5.202	-0.550		14 7	5.321	0.646
	14 23	5.065	-1.141		30 7	5.351	-0.077		14 15	4.947	1.164
	15 7	5.290	-0.795		30 15	5.063	0.406		14 22	5.279	0.155
	15 15	5.083	-0.380		30 22	5.230	-0.482		15 6	5.306	0.725
	15 22	5.102	-1.087		31 6	5.346	-0.001		15 14	4.899	1.239

PHOBOS 2011

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	5.294	0.231	Mars	3	5	5.153	1.488	Mars	18	12	4.925	0.792
	16	5	5.287	0.804		3	12	4.954	0.256		18	20	5.133	1.542
	16	12	4.912	-0.286		3	20	5.253	0.947		19	4	4.923	2.168
	16	20	5.305	0.309		4	4	5.122	1.564		19	11	4.947	0.875
	17	4	5.265	0.883		4	11	4.985	0.335		19	19	5.123	1.621
	17	11	4.953	-0.215		4	19	5.251	1.027		20	3	4.882	2.236
	17	19	5.314	0.387		5	3	5.089	1.639		20	10	4.965	0.957
	18	3	5.241	0.961		5	10	5.013	0.414		20	18	5.110	1.699
	18	10	4.992	-0.143		5	18	5.247	1.107		21	2	4.839	2.304
	18	18	5.321	0.465		6	2	5.052	1.713		21	9	4.981	1.039
	19	2	5.214	1.039		6	9	5.038	0.494		21	17	5.095	1.776
	19	9	5.028	-0.070		6	17	5.240	1.187		22	1	4.795	2.369
	19	17	5.324	0.544		7	1	5.014	1.786		22	8	4.994	1.122
	20	1	5.185	1.117		7	8	5.061	0.574		22	16	5.077	1.852
	20	8	5.061	0.004		7	16	5.230	1.267		23	0	4.748	2.433
	20	16	5.325	0.623		8	0	4.973	1.858		23	7	5.005	1.204
	21	0	5.153	1.194		8	7	5.081	0.654		23	15	5.058	1.928
	21	7	5.092	0.080		8	15	5.218	1.346		23	23	4.699	2.496
	21	15	5.323	0.702		8	23	4.930	1.930		24	6	5.014	1.285
	21	23	5.118	1.271		9	6	5.099	0.735		24	14	5.035	2.002
22	6	5.120	0.156	9	14	5.204	1.425	24	22	4.648	2.557			
22	14	5.318	0.782	9	22	4.884	1.999	25	5	5.020	1.367			
22	22	5.081	1.347	10	5	5.114	0.817	25	13	5.011	2.075			
23	5	5.146	0.233	10	13	5.186	1.503	25	20	4.653	0.632			
23	13	5.310	0.861	10	21	4.836	2.068	26	4	5.024	1.448			
23	21	5.041	1.422	11	4	5.127	0.898	26	12	4.984	2.148			
24	4	5.168	0.310	11	12	5.167	1.580	26	19	4.685	0.715			
24	12	5.300	0.941	11	20	4.786	2.135	27	3	5.025	1.529			
24	20	4.999	1.497	12	3	5.136	0.979	27	11	4.956	2.219			
25	3	5.188	0.389	12	11	5.145	1.657	27	18	4.714	0.799			
25	11	5.287	1.020	12	18	4.747	0.304	28	2	5.024	1.608			
25	19	4.954	1.571	13	2	5.144	1.060	28	10	4.925	2.288			
26	2	5.206	0.467	13	10	5.120	1.733	28	17	4.741	0.883			
26	10	5.271	1.099	13	17	4.783	0.384	29	1	5.021	1.688			
26	18	4.907	1.643	14	1	5.148	1.141	29	9	4.892	2.357			
27	1	5.220	0.547	14	9	5.093	1.808	29	16	4.766	0.966			
27	9	5.253	1.178	14	16	4.817	0.465	30	0	5.016	1.766			
27	17	4.857	1.715	15	0	5.150	1.222	30	8	4.857	2.424			
28	0	5.232	0.626	15	8	5.063	1.882	30	15	4.788	1.050			
28	8	5.232	1.256	15	15	4.848	0.546	30	23	5.008	1.844			
28	15	4.846	0.025	15	23	5.150	1.303	31	7	4.820	2.490			
28	23	5.241	0.706	16	7	5.032	1.955	31	14	4.808	1.133			
Mars	1	7	5.208	1.334	16	14	4.876	0.628	31	22	4.998	1.921		
	1	14	4.884	0.101	16	22	5.147	1.383	Avril	1	6	4.781	2.554	
	1	22	5.248	0.786	17	6	4.998	2.028		1	13	4.826	1.216	
	2	6	5.182	1.411	17	13	4.902	0.710	1	21	4.985	1.997		
2	13	4.920	0.178	17	21	5.141	1.463	2	5	4.740	2.616			
2	21	5.251	0.867	18	5	4.961	2.098	2	12	4.841	1.299			

PHOBOS 2011

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	"	"
Avril	2	20	4.971	2.072	Avril	18	4	4.479	3.081	Mai	3	11	4.607	2.234
	3	4	4.697	2.677		18	11	4.731	1.838		3	19	4.619	2.942
	3	11	4.854	1.381		18	19	4.776	2.589		4	3	4.260	3.411
	3	19	4.954	2.146		19	3	4.435	3.129		4	10	4.611	2.307
	4	3	4.653	2.736		19	10	4.737	1.917		4	18	4.599	2.997
	4	10	4.865	1.463		19	18	4.755	2.654		5	1	4.278	1.511
	4	18	4.936	2.219		20	2	4.389	3.176		5	9	4.614	2.378
	5	2	4.607	2.794		20	9	4.741	1.994		5	17	4.577	3.051
	5	9	4.873	1.545		20	17	4.732	2.717		6	0	4.304	1.593
	5	17	4.915	2.290		21	0	4.394	1.194		6	8	4.616	2.448
	6	1	4.559	2.850		21	8	4.743	2.071		6	16	4.554	3.102
	6	8	4.880	1.626		21	16	4.707	2.779		6	23	4.329	1.674
6	16	4.893	2.360	21	23	4.421	1.279	7	7	4.616	2.516			
7	0	4.509	2.904	22	7	4.744	2.146	7	15	4.530	3.152			
7	7	4.884	1.706	22	15	4.681	2.839	7	22	4.352	1.755			
7	15	4.868	2.429	22	22	4.446	1.363	8	6	4.615	2.583			
7	22	4.532	0.929	23	6	4.742	2.221	8	14	4.505	3.200			
8	6	4.886	1.785	23	14	4.654	2.898	8	21	4.374	1.835			
8	14	4.841	2.496	23	21	4.470	1.446	9	5	4.612	2.648			
8	21	4.561	1.014	24	5	4.739	2.294	9	13	4.479	3.245			
9	5	4.886	1.864	24	13	4.625	2.954	9	20	4.394	1.913			
9	13	4.813	2.562	24	20	4.491	1.529	10	4	4.608	2.711			
9	20	4.587	1.099	25	4	4.734	2.365	10	12	4.451	3.289			
10	4	4.884	1.941	25	12	4.594	3.009	10	19	4.413	1.991			
10	12	4.783	2.627	25	19	4.511	1.611	11	3	4.603	2.773			
10	19	4.611	1.183	26	3	4.728	2.435	11	11	4.422	3.330			
11	3	4.879	2.018	26	11	4.562	3.062	11	18	4.430	2.067			
11	11	4.751	2.690	26	18	4.529	1.692	12	2	4.596	2.833			
11	18	4.634	1.267	27	2	4.720	2.504	12	10	4.393	3.369			
12	2	4.873	2.094	27	10	4.529	3.113	12	17	4.446	2.142			
12	10	4.717	2.751	27	17	4.545	1.773	13	1	4.588	2.891			
12	17	4.654	1.350	28	1	4.710	2.572	13	9	4.362	3.406			
13	1	4.865	2.168	28	9	4.494	3.161	13	16	4.460	2.215			
13	9	4.681	2.811	28	16	4.559	1.852	14	0	4.579	2.948			
13	16	4.672	1.433	29	0	4.698	2.638	14	8	4.330	3.440			
14	0	4.855	2.242	29	8	4.458	3.208	14	15	4.474	2.287			
14	8	4.644	2.868	29	15	4.572	1.931	14	23	4.569	3.002			
14	15	4.687	1.516	29	23	4.685	2.702	15	7	4.297	3.472			
14	23	4.843	2.314	30	7	4.421	3.253	15	14	4.485	2.358			
15	7	4.605	2.924	30	14	4.583	2.008	15	22	4.557	3.054			
15	14	4.701	1.597	Mai	30	22	4.671	2.764	16	6	4.263	3.502		
15	22	4.829	2.385		1	6	4.382	3.296	16	13	4.496	2.427		
16	6	4.565	2.979		1	13	4.593	2.085	16	21	4.544	3.105		
16	13	4.713	1.678		1	21	4.655	2.825	17	5	4.229	3.530		
16	21	4.813	2.454		2	5	4.343	3.336	17	12	4.505	2.495		
17	5	4.523	3.031	2	12	4.600	2.160	17	20	4.530	3.153			
17	12	4.723	1.759	2	20	4.638	2.884	18	4	4.193	3.555			
17	20	4.795	2.522	3	4	4.302	3.375	18	11	4.513	2.561			

PHOBOS 2011

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	"	"
Mai	18	19	4.515	3.199	Juin	3	2	4.146	2.110	Juin	18	10	4.558	3.015
	19	2	4.177	1.793		3	10	4.494	2.865		18	18	4.562	3.415
	19	10	4.520	2.625		3	18	4.482	3.386		19	1	4.228	2.428
	19	18	4.499	3.243		4	1	4.178	2.180		19	9	4.576	3.053
	20	1	4.205	1.871		4	9	4.505	2.917		19	17	4.559	3.428
	20	9	4.526	2.688		4	17	4.471	3.414		20	0	4.267	2.486
	20	17	4.482	3.285		5	0	4.210	2.249		20	8	4.594	3.089
	21	0	4.232	1.948		5	8	4.515	2.966		20	16	4.554	3.439
	21	8	4.530	2.749		5	16	4.459	3.441		20	23	4.305	2.543
	21	16	4.464	3.325		5	23	4.240	2.317		21	7	4.610	3.122
	21	23	4.258	2.024		6	7	4.524	3.014		21	15	4.549	3.447
	22	7	4.533	2.808		6	15	4.447	3.464		21	22	4.342	2.597
	22	15	4.445	3.363		6	22	4.270	2.382		22	6	4.626	3.153
	22	22	4.283	2.098		7	6	4.533	3.059		22	14	4.542	3.452
	23	6	4.536	2.865		7	14	4.434	3.485		22	21	4.378	2.648
	23	14	4.425	3.398		7	21	4.298	2.446		23	5	4.641	3.181
	23	21	4.306	2.171		8	5	4.540	3.102		23	13	4.535	3.454
	24	5	4.537	2.920		8	13	4.419	3.504		23	20	4.413	2.698
	24	13	4.403	3.431		8	20	4.326	2.508		24	4	4.655	3.207
	24	20	4.328	2.243		9	4	4.547	3.142		24	12	4.527	3.454
25	4	4.537	2.973	9	12	4.404	3.520	24	19	4.448	2.745			
25	12	4.381	3.461	9	19	4.353	2.568	25	3	4.668	3.230			
25	19	4.350	2.313	10	3	4.552	3.181	25	11	4.518	3.451			
26	3	4.536	3.024	10	11	4.389	3.534	25	18	4.482	2.790			
26	11	4.358	3.489	10	18	4.379	2.627	26	2	4.680	3.250			
26	18	4.370	2.381	11	2	4.557	3.217	26	10	4.507	3.446			
27	2	4.534	3.073	11	10	4.372	3.545	26	17	4.515	2.832			
27	10	4.335	3.515	11	17	4.404	2.683	27	1	4.692	3.268			
27	17	4.389	2.448	12	1	4.561	3.250	27	9	4.496	3.438			
28	1	4.530	3.120	12	9	4.354	3.553	27	16	4.548	2.872			
28	9	4.310	3.539	12	16	4.429	2.737	28	0	4.702	3.283			
28	16	4.407	2.513	13	0	4.564	3.281	28	8	4.483	3.427			
29	0	4.526	3.165	13	8	4.335	3.559	28	15	4.579	2.910			
29	8	4.284	3.559	13	15	4.452	2.789	28	23	4.711	3.295			
29	15	4.424	2.576	13	23	4.566	3.310	29	7	4.470	3.413			
29	23	4.521	3.208	14	7	4.316	3.562	29	14	4.610	2.945			
30	7	4.258	3.578	14	14	4.475	2.839	29	22	4.719	3.305			
30	14	4.440	2.638	14	22	4.567	3.336	30	6	4.455	3.397			
30	22	4.515	3.248	15	6	4.296	3.563	30	13	4.640	2.977			
31	6	4.231	3.594	15	13	4.497	2.886	30	21	4.727	3.312			
31	13	4.455	2.698	15	21	4.567	3.360	Juill.	1	5	4.440	3.378		
31	21	4.508	3.286	16	5	4.275	3.560		1	12	4.669	3.007		
Juin	1	5	4.203	3.607	16	12	4.518	2.931	1	20	4.733	3.316		
	1	12	4.469	2.755	16	20	4.566	3.381	2	4	4.423	3.357		
	1	20	4.500	3.322	17	4	4.252	3.556	2	11	4.697	3.035		
	2	4	4.174	3.618	17	11	4.538	2.974	2	19	4.738	3.318		
	2	11	4.482	2.811	17	19	4.564	3.399	3	3	4.405	3.332		
	2	19	4.491	3.355	18	3	4.230	3.548	3	10	4.724	3.059		

PHOBOS 2011

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	"	"
Juill.	3	18	4.742	3.316	Juill.	19	1	4.640	2.668	Août	3	9	5.385	2.739
	4	2	4.385	3.305		19	9	5.026	2.983		3	17	5.336	2.640
	4	9	4.750	3.081		19	17	5.013	3.053		4	0	5.070	2.620
	4	17	4.745	3.312		20	0	4.695	2.695		4	8	5.419	2.719
	5	0	4.426	2.642		20	8	5.057	2.983		4	16	5.339	2.595
	5	8	4.776	3.101		20	16	5.018	3.028		4	23	5.131	2.622
	5	16	4.746	3.305		20	23	4.750	2.718		5	7	5.451	2.695
	5	23	4.472	2.684		21	7	5.087	2.980		5	15	5.340	2.548
	6	7	4.800	3.117		21	15	5.021	2.999		5	22	5.190	2.622
	6	15	4.747	3.296		21	22	4.803	2.739		6	6	5.481	2.668
	6	22	4.518	2.723		22	6	5.116	2.975		6	14	5.339	2.497
	7	6	4.823	3.131		22	14	5.023	2.968		6	21	5.248	2.618
	7	14	4.746	3.284		22	21	4.856	2.756		7	5	5.510	2.639
	7	21	4.563	2.759		23	5	5.143	2.966		7	13	5.336	2.445
	8	5	4.845	3.142		23	13	5.022	2.934		7	20	5.304	2.612
	8	13	4.744	3.268		23	20	4.907	2.771		8	4	5.536	2.607
8	20	4.606	2.793	24	4	5.168	2.955	8	12	5.330	2.389			
9	4	4.866	3.150	24	12	5.020	2.897	8	19	5.358	2.602			
9	12	4.740	3.251	24	19	4.958	2.783	9	3	5.560	2.571			
9	19	4.650	2.824	25	3	5.192	2.940	9	11	5.322	2.332			
10	3	4.886	3.155	25	11	5.016	2.858	9	18	5.411	2.589			
10	11	4.736	3.230	25	18	5.007	2.792	10	2	5.582	2.533			
10	18	4.692	2.852	26	2	5.215	2.923	10	10	5.312	2.272			
11	2	4.905	3.158	26	10	5.010	2.816	10	17	5.462	2.573			
11	10	4.729	3.207	26	17	5.055	2.798	11	1	5.601	2.493			
11	17	4.733	2.878	27	1	5.236	2.903	11	9	5.299	2.210			
12	1	4.922	3.158	27	9	5.003	2.772	11	16	5.511	2.554			
12	9	4.722	3.181	27	16	5.101	2.801	12	0	5.619	2.449			
12	16	4.774	2.901	28	0	5.255	2.880	12	8	5.283	2.145			
13	0	4.939	3.154	28	8	4.993	2.725	12	15	5.558	2.532			
13	8	4.713	3.152	28	15	5.146	2.801	12	23	5.634	2.403			
13	15	4.813	2.921	28	23	5.272	2.854	13	7	5.265	2.079			
13	23	4.953	3.149	29	7	4.981	2.675	13	14	5.604	2.508			
14	7	4.703	3.120	29	14	5.190	2.799	13	22	5.646	2.354			
14	14	4.851	2.939	29	22	5.287	2.825	14	6	5.244	2.010			
14	22	4.967	3.140	30	6	4.968	2.623	14	13	5.647	2.480			
15	6	4.691	3.086	30	13	5.232	2.793	14	21	5.656	2.302			
15	13	4.889	2.953	30	21	5.301	2.794	15	4	5.261	2.448			
15	21	4.979	3.128	31	5	4.952	2.569	15	12	5.688	2.449			
16	5	4.677	3.050	31	12	5.273	2.784	15	20	5.664	2.248			
16	12	4.925	2.965	31	20	5.313	2.759	16	3	5.331	2.440			
16	20	4.990	3.114	Août	1	4	4.934	2.512	16	11	5.727	2.415		
17	4	4.662	3.011		1	11	5.312	2.772	16	19	5.669	2.192		
17	11	4.960	2.974		1	19	5.322	2.722	17	2	5.399	2.428		
17	19	4.999	3.096		2	2	4.945	2.606	17	10	5.764	2.378		
18	3	4.645	2.969	2	10	5.350	2.757	17	18	5.671	2.133			
18	10	4.994	2.980	2	18	5.330	2.683	18	1	5.466	2.414			
18	18	5.007	3.076	3	1	5.008	2.614	18	9	5.798	2.339			

PHOBOS 2011

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	"	"
Août	18 17	5.671	2.071	Sept.	3 0	6.047	2.009	Sept.	18 8	6.648	0.974
	19 0	5.530	2.397		3 8	6.252	1.712		18 16	6.186	0.416
	19 8	5.830	2.296		3 16	5.963	1.275		18 23	6.639	1.383
	19 16	5.668	2.008		3 23	6.107	1.965		19 7	6.657	0.890
	19 23	5.593	2.376		4 7	6.274	1.647		19 14	6.183	1.711
	20 7	5.859	2.251		4 15	5.945	1.193		19 22	6.688	1.313
	20 15	5.662	1.942		4 22	6.165	1.917		20 6	6.662	0.803
	20 22	5.654	2.352		5 6	6.292	1.578		20 13	6.270	1.659
	21 6	5.886	2.203		5 14	5.923	1.109		20 21	6.734	1.240
	21 14	5.653	1.874		5 21	6.220	1.867		21 5	6.663	0.715
	21 21	5.713	2.325		6 5	6.308	1.508		21 12	6.355	1.604
	22 5	5.911	2.152		6 13	5.898	1.024		21 20	6.776	1.164
	22 13	5.642	1.803		6 20	6.272	1.814		22 4	6.660	0.625
	22 20	5.769	2.296		7 4	6.319	1.435		22 11	6.437	1.545
	23 4	5.932	2.099		7 12	5.869	0.938		22 19	6.815	1.086
	23 12	5.627	1.731		7 19	6.321	1.758		23 3	6.653	0.534
	23 19	5.823	2.263		8 3	6.328	1.360		23 10	6.515	1.484
	24 3	5.951	2.043		8 10	5.895	1.973		23 18	6.850	1.006
	24 11	5.610	1.657		8 18	6.367	1.699		24 2	6.642	0.441
	24 18	5.875	2.227		9 2	6.333	1.282		24 9	6.591	1.420
	25 2	5.967	1.985		9 9	5.976	1.935		24 17	6.882	0.923
	25 10	5.589	1.581		9 17	6.410	1.637		25 1	6.628	0.347
	25 17	5.925	2.188		10 1	6.335	1.203		25 8	6.663	1.353
	26 1	5.981	1.924		10 8	6.055	1.893		25 16	6.910	0.839
26 9	5.565	1.503	10 16	6.450	1.573	26 0	6.609	0.252			
26 16	5.972	2.146	11 0	6.333	1.122	26 7	6.733	1.284			
27 0	5.991	1.860	11 7	6.132	1.848	26 15	6.933	0.752			
27 7	5.557	2.235	11 15	6.487	1.507	26 23	6.586	0.155			
27 15	6.017	2.102	11 23	6.328	1.039	27 6	6.798	1.211			
27 23	5.999	1.795	12 6	6.205	1.800	27 14	6.953	0.663			
28 6	5.634	2.212	12 14	6.520	1.437	27 22	6.558	0.058			
28 14	6.059	2.054	12 22	6.319	0.955	28 5	6.861	1.136			
28 22	6.003	1.727	13 5	6.276	1.749	28 13	6.969	0.573			
29 5	5.708	2.186	13 13	6.550	1.366	28 21	6.527	-0.041			
29 13	6.098	2.004	13 21	6.306	0.868	29 4	6.920	1.058			
29 21	6.004	1.656	14 4	6.344	1.695	29 12	6.981	0.480			
30 4	5.781	2.157	14 12	6.577	1.292	29 20	6.491	-0.141			
30 12	6.135	1.951	14 20	6.290	0.781	30 3	6.975	0.978			
30 20	6.003	1.584	15 3	6.409	1.639	30 11	6.989	0.386			
31 3	5.851	2.125	15 11	6.600	1.216	30 18	6.501	1.422			
31 11	6.169	1.895	15 19	6.269	0.691	Oct.	1 2	7.026	0.895		
31 19	5.998	1.510	16 2	6.472	1.579		1 10	6.992	0.291		
Sept.	1 2	5.919	2.089	16 10	6.620	1.137	1 17	6.594	1.356		
	1 10	6.199	1.837	16 18	6.245	0.601	2 1	7.074	0.810		
	1 18	5.990	1.433	17 1	6.531	1.516	2 9	6.992	0.194		
	2 1	5.984	2.051	17 9	6.636	1.057	2 16	6.684	1.287		
	2 9	6.227	1.776	17 17	6.218	0.509	3 0	7.118	0.723		
	2 17	5.978	1.355	18 0	6.586	1.451	3 8	6.987	0.095		

PHOBOS 2011

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.	3 15	6.770	1.215	Oct.	18 23	7.637	-0.276	Nov.	3 6	7.698	0.356
	3 23	7.158	0.633		19 7	7.208	-1.016		3 14	8.200	-0.571
	4 7	6.978	-0.004		19 14	7.532	0.380		3 22	8.050	-1.460
	4 14	6.853	1.140		19 22	7.655	-0.386		4 5	7.804	0.243
	4 22	7.194	0.542		20 6	7.172	-1.127		4 13	8.250	-0.695
	5 6	6.964	-0.105		20 13	7.599	0.278		4 21	8.039	-1.584
	5 13	6.933	1.062		20 21	7.668	-0.497		5 4	7.906	0.127
	5 21	7.226	0.448		21 5	7.130	-1.238		5 12	8.295	-0.820
	6 5	6.946	-0.207		21 12	7.662	0.173		5 20	8.023	-1.709
	6 12	7.009	0.982		21 20	7.676	-0.610		6 3	8.004	0.009
	6 20	7.254	0.353		22 3	7.145	0.844		6 11	8.335	-0.947
7 4	6.924	-0.310	22 11	7.720	0.067	6 19	8.002	-1.834			
7 11	7.081	0.898	22 19	7.680	-0.723	7 2	8.098	-0.112			
7 19	7.277	0.255	23 2	7.250	0.751	7 10	8.369	-1.075			
8 3	6.897	-0.414	23 10	7.774	-0.041	7 18	7.975	-1.959			
8 10	7.150	0.813	23 18	7.678	-0.837	8 1	8.187	-0.235			
8 18	7.296	0.156	24 1	7.352	0.654	8 9	8.399	-1.204			
9 2	6.865	-0.518	24 9	7.824	-0.152	8 17	7.943	-2.084			
9 9	7.215	0.725	24 17	7.672	-0.952	9 0	8.271	-0.361			
9 17	7.311	0.055	25 0	7.450	0.555	9 8	8.423	-1.335			
10 1	6.829	-0.623	25 8	7.868	-0.264	9 16	7.905	-2.209			
10 8	7.276	0.634	25 16	7.661	-1.068	9 23	8.351	-0.488			
10 16	7.322	-0.047	25 23	7.545	0.453	10 7	8.441	-1.466			
11 0	6.789	-0.729	26 7	7.909	-0.378	10 15	7.861	-2.333			
11 7	7.333	0.541	26 15	7.644	-1.185	10 22	8.426	-0.618			
11 15	7.328	-0.150	26 22	7.635	0.348	11 6	8.454	-1.598			
11 22	6.855	1.104	27 6	7.944	-0.493	11 13	7.852	0.284			
12 6	7.386	0.446	27 14	7.623	-1.302	11 21	8.496	-0.749			
12 14	7.329	-0.255	27 21	7.721	0.241	12 5	8.462	-1.730			
12 21	6.952	1.023	28 5	7.975	-0.610	12 12	7.975	0.162			
13 5	7.435	0.348	28 13	7.596	-1.419	12 20	8.561	-0.882			
13 13	7.326	-0.361	28 20	7.803	0.132	13 4	8.464	-1.863			
13 20	7.046	0.939	29 4	8.001	-0.728	13 11	8.095	0.036			
14 4	7.480	0.248	29 12	7.564	-1.537	13 19	8.621	-1.017			
14 12	7.318	-0.468	29 19	7.880	0.020	14 3	8.460	-1.997			
14 19	7.137	0.853	30 3	8.022	-0.848	14 10	8.210	-0.092			
15 3	7.520	0.147	30 11	7.527	-1.654	14 18	8.676	-1.154			
15 11	7.306	-0.576	30 18	7.954	-0.094	15 2	8.451	-2.131			
15 18	7.224	0.763	31 2	8.038	-0.969	15 9	8.321	-0.223			
16 2	7.556	0.044	31 10	7.485	-1.771	15 17	8.726	-1.291			
16 10	7.289	-0.685	31 17	8.022	-0.211	16 1	8.435	-2.264			
16 17	7.307	0.671	Nov.	1 1	8.049	-1.090	16 8	8.427	-0.356		
17 1	7.587	-0.061		1 8	7.473	0.573	16 16	8.770	-1.430		
17 9	7.267	-0.795		1 16	8.087	-0.329	17 0	8.414	-2.398		
17 16	7.386	0.576		2 0	8.054	-1.213	17 7	8.529	-0.491		
18 0	7.615	-0.168	2 7	7.588	0.466	17 15	8.808	-1.571			
18 8	7.240	-0.905	2 15	8.146	-0.449	17 23	8.387	-2.532			
18 15	7.461	0.479	2 23	8.054	-1.336	18 6	8.626	-0.629			

PHOBOS 2011

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.	18	14	8.841	-1.712	Déc.	3	6	9.584	-1.862	Déc.	17	22	10.327	-1.905
	18	22	8.354	-2.665		3	14	9.433	-3.039		18	6	10.547	-3.351
	19	5	8.718	-0.770		3	21	9.108	-0.705		18	14	9.924	-4.537
	19	13	8.869	-1.854		4	5	9.656	-2.027		18	21	10.452	-2.098
	19	21	8.315	-2.797		4	13	9.431	-3.194		19	5	10.590	-3.535
	20	4	8.805	-0.912		4	20	9.245	-0.869		19	13	9.881	-4.698
	20	12	8.890	-1.997		5	4	9.722	-2.193		19	20	10.571	-2.293
	20	20	8.269	-2.929		5	12	9.422	-3.349		20	4	10.625	-3.719
	21	3	8.887	-1.056		5	19	9.376	-1.034		20	11	9.855	-0.883
	21	11	8.906	-2.140		6	3	9.782	-2.359		20	19	10.683	-2.489
21	18	8.295	-0.032	6	11	9.406	-3.504	21	3	10.652	-3.903			
22	2	8.964	-1.202	6	18	9.502	-1.202	21	10	10.039	-1.079			
22	10	8.915	-2.283	7	2	9.835	-2.527	21	18	10.789	-2.686			
22	17	8.429	-0.171	7	10	9.383	-3.657	22	2	10.671	-4.087			
23	1	9.035	-1.349	7	17	9.623	-1.373	22	9	10.218	-1.277			
23	9	8.919	-2.427	8	1	9.882	-2.695	22	17	10.888	-2.885			
23	16	8.559	-0.313	8	9	9.352	-3.810	23	1	10.682	-4.269			
24	0	9.101	-1.498	8	16	9.738	-1.546	23	8	10.391	-1.479			
24	8	8.916	-2.572	9	0	9.922	-2.864	23	16	10.979	-3.084			
24	15	8.684	-0.458	9	8	9.315	-3.961	24	0	10.684	-4.451			
24	23	9.161	-1.649	9	15	9.847	-1.720	24	7	10.559	-1.683			
25	7	8.907	-2.716	9	23	9.956	-3.033	24	15	11.063	-3.285			
25	14	8.804	-0.605	10	7	9.270	-4.112	24	23	10.677	-4.631			
25	22	9.216	-1.800	10	14	9.951	-1.897	25	6	10.721	-1.890			
26	6	8.892	-2.859	10	22	9.982	-3.202	25	14	11.139	-3.486			
26	13	8.920	-0.755	11	5	9.289	-0.620	25	22	10.662	-4.810			
26	21	9.265	-1.953	11	13	10.049	-2.075	26	5	10.877	-2.099			
27	5	8.871	-3.003	11	21	10.001	-3.371	26	13	11.207	-3.687			
27	12	9.031	-0.907	12	4	9.453	-0.796	26	21	10.638	-4.987			
27	20	9.308	-2.107	12	12	10.140	-2.254	27	4	11.026	-2.310			
28	4	8.843	-3.145	12	20	10.013	-3.540	27	12	11.267	-3.887			
28	11	9.136	-1.062	13	3	9.612	-0.974	27	20	10.604	-5.161			
28	19	9.344	-2.261	13	11	10.225	-2.435	28	3	11.168	-2.523			
29	3	8.808	-3.287	13	19	10.018	-3.709	28	11	11.318	-4.088			
29	10	9.237	-1.218	14	2	9.766	-1.155	28	19	10.560	-5.334			
29	18	9.375	-2.416	14	10	10.303	-2.617	29	2	11.303	-2.738			
30	2	8.767	-3.428	14	18	10.015	-3.877	29	10	11.361	-4.288			
30	9	9.332	-1.377	15	1	9.914	-1.339	29	17	10.544	-1.190			
30	17	9.399	-2.571	15	9	10.375	-2.799	30	1	11.431	-2.954			
Déc.	1	1	8.719	-3.569	15	17	10.004	-4.043	30	9	11.394	-4.488		
	1	8	9.422	-1.537	16	0	10.057	-1.525	30	16	10.751	-1.409		
	1	16	9.417	-2.727	16	8	10.440	-2.983	31	0	11.551	-3.171		
	1	23	8.821	-0.387	16	16	9.985	-4.209	31	8	11.419	-4.687		
	2	7	9.506	-1.699	16	23	10.195	-1.714	31	15	10.952	-1.630		
	2	15	9.428	-2.883	17	7	10.497	-3.167	31	23	11.663	-3.389		
2	22	8.967	-0.545	17	15	9.959	-4.374	Janv.	1	7	11.433	-4.884		

DÉIMOS 2011

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	21	13.084	-3.618	Mars	2	15	13.256	3.348	Mai	2	9	11.447	7.632
Janv.	2	3	13.077	-3.692		3	21	13.270	3.020		3	15	11.469	7.239
	3	10	13.145	-3.172		5	3	13.204	2.669		4	21	11.419	6.812
	4	16	13.189	-3.267		6	10	13.188	3.573		6	4	11.389	7.633
	5	23	13.164	-2.698		7	16	13.177	3.228		7	10	11.383	7.234
	7	5	13.259	-2.811		8	22	13.092	2.858		8	16	11.307	6.792
	8	11	13.273	-2.920		10	5	13.105	3.780		9	23	11.328	7.624
	9	18	13.286	-2.328		11	11	13.074	3.418		11	5	11.296	7.213
	11	0	13.353	-2.455		12	18	12.990	4.321		12	12	11.255	7.980
	12	6	13.339	-2.576		14	0	13.011	3.970		13	18	11.267	7.602
	13	13	13.388	-1.964		15	6	12.956	3.585		15	0	11.205	7.181
	14	19	13.426	-2.102		16	13	12.906	4.510		16	7	11.221	7.955
	16	1	13.386	-2.241		17	19	12.905	4.136		17	13	11.202	7.566
	17	8	13.468	-1.603		19	1	12.828	3.739		18	20	11.159	8.272
	18	14	13.481	-1.757		20	8	12.812	4.675		20	2	11.184	7.916
	19	21	13.464	-1.085		21	14	12.787	4.288		21	8	11.138	7.523
	21	3	13.530	-1.250		22	20	12.689	3.869		22	15	11.151	8.229
	22	9	13.515	-1.422		24	3	12.706	4.823		23	21	11.147	7.869
	23	16	13.531	-0.725		25	9	12.660	4.419		25	4	11.104	8.503
	24	22	13.571	-0.909		26	16	12.586	5.341		26	10	11.142	8.178
	26	4	13.530	-1.094		27	22	12.592	4.954		27	16	11.110	7.810
	27	11	13.579	-0.378		29	4	12.522	4.529		28	23	11.124	8.447
	28	17	13.592	-0.575		30	11	12.486	5.471		30	5	11.135	8.116
	30	0	13.539	0.165		31	17	12.467	5.062		31	12	11.094	8.675
	31	6	13.605	-0.040	Avril	1	23	12.376	4.627	Juin	1	18	11.148	8.382
Févr.	1	12	13.595	-0.256		3	6	12.377	5.577		3	0	11.126	8.042
	2	19	13.570	0.507		4	12	12.335	5.158		4	7	11.148	8.605
	4	1	13.614	0.285		5	19	12.253	6.071		5	13	11.169	8.303
	5	7	13.577	0.050		7	1	12.260	5.670		6	20	11.136	8.786
	6	14	13.585	0.835		8	7	12.196	5.232		8	2	11.201	8.522
	7	20	13.603	0.594		9	14	12.152	6.160		9	8	11.193	8.218
	9	2	13.544	0.343		10	20	12.137	5.744		10	15	11.221	8.697
	10	9	13.580	1.146		12	2	12.047	5.290		11	21	11.255	8.431
	11	15	13.575	0.891		13	9	12.047	6.233		13	4	11.228	8.827
	12	22	13.509	1.703		14	15	12.005	5.800		14	10	11.306	8.599
	14	4	13.558	1.445		15	22	11.926	6.697		15	16	11.311	8.330
	15	10	13.530	1.168		17	4	11.934	6.286		16	23	11.344	8.721
	16	17	13.492	2.003		18	10	11.869	5.844		18	5	11.393	8.492
	17	23	13.520	1.725		19	17	11.834	6.747		19	12	11.370	8.797
	19	5	13.467	1.430		20	23	11.816	6.328		20	18	11.463	8.607
	20	12	13.461	2.284		22	5	11.726	5.868		22	0	11.479	8.374
	21	18	13.462	1.988		23	12	11.735	6.786		23	7	11.519	8.675
	23	0	13.390	1.675		24	18	11.693	6.351		24	13	11.581	8.481
	24	7	13.411	2.547		26	1	11.630	7.215		25	19	11.567	8.250
	25	13	13.392	2.235		27	7	11.635	6.808		27	2	11.669	8.541
	26	20	13.313	3.101		28	13	11.564	6.360		28	8	11.699	8.348
	28	2	13.347	2.795		29	20	11.552	7.236		29	15	11.741	8.553
Mars	1	8	13.306	2.460	Mai	1	2	11.528	6.814		30	21	11.817	8.398

DÉIMOS 2011

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	"	"		
Juill.	2 3	11.820	8.206	Août	31 21	15.577	4.533	Oct.	31 14	20.208	-1.935		
	3 10	11.919	8.399		Sept.	2 4	15.736		3.954	Nov.	1 21	20.284	-3.158
	4 16	11.968	8.247			3 10	15.821		4.101		3 3	20.466	-2.748
	5 23	12.005	8.351			4 17	15.856		3.458		4 9	20.549	-2.318
	7 5	12.100	8.238			5 23	16.011		3.627		5 16	20.642	-3.577
	8 11	12.117	8.086			7 5	16.075		3.785		6 22	20.823	-3.156
	9 18	12.213	8.179			8 12	16.145		3.115		8 4	20.904	-2.699
	11 0	12.279	8.066			9 18	16.280		3.295		9 11	21.012	-4.009
	12 7	12.306	8.070			11 0	16.330		3.469		10 17	21.196	-3.564
	13 13	12.421	7.996			12 7	16.427		2.768		11 23	21.273	-3.092
	14 19	12.456	7.887			13 13	16.549		2.960		13 6	21.403	-4.444
	16 2	12.540	7.876			14 19	16.580		3.152		14 12	21.583	-3.983
	17 8	12.625	7.804			16 2	16.708		2.415		15 18	21.665	-3.491
18 15	12.635	7.705	17 8	16.815		2.626	17 1	21.807	-4.888				
19 21	12.771	7.670	18 14	16.830	2.831	18 7	21.994	-4.412					
21 3	12.831	7.604	19 21	16.988	2.064	19 13	22.073	-3.895					
22 10	12.891	7.487	21 3	17.078	2.287	20 20	22.234	-5.347					
23 16	13.002	7.458	22 10	17.098	1.470	22 2	22.425	-4.846					
24 22	13.031	7.396	23 16	17.264	1.708	23 8	22.508	-4.316					
26 5	13.145	7.261	24 22	17.344	1.948	24 15	22.685	-5.811					
27 11	13.229	7.236	26 5	17.385	1.098	25 21	22.879	-5.298					
28 18	13.258	7.015	27 11	17.543	1.351	27 3	22.969	-4.742					
30 0	13.397	7.026	28 17	17.607	1.609	28 10	23.157	-6.293					
31 6	13.454	7.006	30 0	17.676	0.723	29 16	23.364	-5.760					
Août 1 13	13.533	6.766	Oct. 1 6	17.821	0.994	30 22	23.455	-5.184					
2 19	13.644	6.781	2 12	17.874	1.267	Déc.	2 5	23.662	-6.789				
4 1	13.677	6.771	3 19	17.966	0.350		3 11	23.872	-6.235				
5 8	13.801	6.507	5 1	18.100	0.632		4 17	23.977	-5.645				
6 14	13.890	6.531	6 7	18.143	0.928		6 0	24.192	-7.297				
7 21	13.921	6.187	7 14	18.257	-0.030		7 6	24.417	-6.733				
9 3	14.068	6.242	8 20	18.384	0.273		8 12	24.529	-6.115				
10 9	14.130	6.274	10 2	18.413	0.584	9 19	24.755	-7.832					
11 16	14.206	5.907	11 9	18.554	-0.410	11 1	24.995	-7.243					
12 22	14.328	5.970	12 15	18.669	-0.090	12 7	25.118	-6.613					
14 4	14.369	6.011	13 21	18.692	0.241	13 14	25.356	-8.379					
15 11	14.486	5.620	15 4	18.852	-0.791	14 20	25.607	-7.780					
16 17	14.585	5.691	16 10	18.962	-0.456	16 2	25.751	-7.129					
17 23	14.603	5.744	17 16	18.973	-0.101	17 9	25.989	-8.953					
19 6	14.760	5.324	18 23	19.158	-1.178	18 15	26.266	-8.340					
20 12	14.840	5.408	20 5	19.259	-0.820	19 21	26.422	-7.667					
21 19	14.888	4.915	21 12	19.277	-1.921	21 4	26.667	-9.555					
23 1	15.032	5.025	22 18	19.471	-1.563	22 10	26.964	-8.920					
24 7	15.088	5.119	24 0	19.565	-1.191	23 16	27.145	-8.240					
25 14	15.176	4.600	25 7	19.604	-2.326	24 23	27.386	-10.175					
26 20	15.297	4.721	26 13	19.790	-1.955	26 5	27.709	-9.537					
28 2	15.335	4.827	27 19	19.883	-1.562	27 11	27.916	-8.832					
29 9	15.458	4.280	29 2	19.937	-2.739	28 18	28.147	-10.833					
30 15	15.561	4.411	30 8	20.124	-2.351	30 0	28.504	-10.176					

DÉIMOS 2011

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. 31 6	28.735	-9.462	Janv. 1 13	28.957	-11.516	Janv. 2 19	29.343	-10.849

SATELLITES DE JUPITER

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

IO	II. 110
EUROPE	II. 113
GANYMÈDE	II. 115
CALLISTO	II. 116

IO 2011

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	103.232	49.164	Févr.	11	7	93.298	44.491	Mars	24	1	89.459	41.191	
	2	11	-102.336	-48.945		12	5	-92.494	-43.653		24	22	-88.656	-40.912	
	3	8	102.502	49.126		13	2	93.203	44.116		25	20	89.349	40.737	
	4	6	-101.738	-48.344		13	23	-92.252	-43.813		26	17	-88.776	-40.558	
	5	3	102.158	48.650		14	20	92.714	44.156		27	14	89.364	40.987	
	6	0	-101.258	-48.425		15	18	-91.938	-43.326		28	11	-88.584	-40.714	
	6	21	101.464	48.627		16	15	92.651	43.792		29	9	89.297	40.544	
	7	19	-100.662	-47.826		17	12	-91.706	-43.488		30	6	-88.745	-40.372	
	8	16	101.128	48.156		18	9	92.168	43.833		31	3	89.307	40.790	
	9	13	-100.217	-47.921		19	7	-91.428	-43.012		Avril	1	0	-88.557	-40.529
	10	10	100.466	48.144		20	4	92.146	43.483			1	22	89.281	40.359
	11	8	-99.635	-47.329		21	1	-91.203	-43.175			2	19	-88.759	-40.197
	12	5	100.136	47.677		21	22	91.667	43.523			3	16	89.291	40.603
	13	2	-99.222	-47.436		22	20	-90.963	-42.712			4	13	-88.570	-40.351
	13	23	99.504	47.677		23	17	91.680	43.184			5	11	89.308	40.183
	14	21	-98.651	-46.850		24	14	-90.746	-42.876			6	8	-88.812	-40.030
	15	18	99.191	47.218		25	12	91.229	42.622			7	5	89.313	40.424
	16	15	-98.266	-46.967		26	9	-90.544	-42.425			8	2	-88.627	-40.185
17	12	98.584	47.227	27	6	91.259	42.898	9	0	89.370		40.015			
18	10	-97.717	-46.391	28	3	-90.331	-42.588	9	21	-88.909		-39.873			
19	7	98.287	46.775	Mars	1	1	90.850	42.350	10	18		89.376	40.255		
20	4	-97.358	-46.517		1	22	-90.169	-42.152	11	16		-88.723	-39.345		
21	1	97.703	46.792		2	19	90.877	42.622	12	13		89.476	39.856		
21	23	-96.826	-45.948		3	16	-89.963	-42.315	13	10		-89.044	-39.725		
22	20	97.430	46.350		4	14	90.511	42.088	14	7		89.478	40.093		
23	17	-96.491	-46.082		5	11	-89.840	-41.890	15	5		-88.900	-39.208		
24	14	96.865	46.373		6	8	90.539	42.359	16	2		89.616	39.703		
25	12	-95.987	-45.525		7	5	-89.636	-42.052	16	23	-89.223	-39.586			
26	9	96.613	45.939		8	3	90.216	41.839	17	20	89.620	39.941			
27	6	-95.672	-45.666		9	0	-89.554	-41.640	18	18	-89.113	-39.077			
28	3	96.066	45.967		9	21	90.241	42.105	19	15	89.798	39.560			
29	1	-95.192	-45.117		10	18	-89.356	-41.803	20	12	-89.439	-39.455			
29	22	95.843	45.545		11	16	89.961	41.599	21	9	89.800	39.796			
30	19	-94.895	-45.263		12	13	-89.313	-41.402	22	7	-89.370	-38.956			
31	16	95.312	45.578		13	10	89.986	41.863	23	4	90.016	39.423			
Févr.	1	14	-94.447		-44.728	14	7	-89.115	-41.563	24	1	-89.699	-39.335		
	2	11	95.115		45.165	15	5	89.749	41.370	24	22	90.020	39.660		
	3	8	-94.167		-44.879	16	2	-89.114	-41.176	25	20	-89.662	-38.842		
	4	5	94.597	45.201	16	23	89.770	41.629	26	17	90.275	39.295			
	5	3	-93.748	-44.353	17	20	-88.921	-41.336	27	14	-89.997	-39.221			
	6	0	94.435	44.802	18	18	89.575	41.149	28	11	90.280	39.532			
	6	21	-93.481	-44.508	19	15	-88.960	-40.960	29	9	-89.999	-38.737			
	7	18	93.928	44.840	20	12	89.595	41.406	30	6	90.571	39.174			
	8	16	-93.098	-43.996	21	9	-88.766	-41.118	Mai	1	3	-90.338	-39.118		
	9	13	93.795	44.451	22	7	89.443	40.939		2	0	90.579	39.413		
	10	10	-92.845	-44.154	23	4	-88.846	-40.754		2	22	-90.371	-38.639		

IO 2011

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	3	19	90.909	39.063	Juin	13	12	97.375	38.730	Juill.	24	6	109.435	39.211	
	4	16	-90.717	-39.023		14	10	-97.945	-38.145		25	3	-110.572	-39.740	
	5	13	90.919	39.303		15	7	98.033	38.403		26	0	110.119	39.829	
	6	11	-90.787	-38.552		16	4	-98.479	-38.621		26	21	-111.049	-40.285	
	7	8	91.282	38.958		17	1	98.217	38.744		27	19	110.655	39.368	
	8	5	-91.141	-38.937		17	23	-98.829	-38.166		28	16	-111.854	-39.928	
	9	2	91.299	39.202		18	20	98.885	38.412		29	13	111.408	40.022	
	10	0	-91.240	-38.470		19	17	-99.394	-38.657		30	10	-112.396	-40.508	
	10	21	91.699	38.863		20	14	99.097	38.771		31	8	111.891	39.538	
	11	18	-91.602	-38.860		21	12	-99.750	-38.196		Août	1	5	-113.160	-40.132
	12	15	91.721	39.110		22	9	99.780	38.434			2	2	112.715	40.230
13	13	-91.735	-38.399	23	6	-100.345	-38.704	2	23	-113.769		-40.749			
14	10	92.151	38.775	24	3	100.024	38.811	3	21	113.141		39.722			
15	7	-92.107	-38.793	25	1	-100.709	-38.238	4	18	-114.475		-40.349			
16	4	92.182	39.027	25	22	100.710	38.467	5	15	114.043		40.455			
17	2	-92.266	-38.334	26	19	-101.340	-38.764	6	12	-115.155		-41.006			
17	23	92.646	38.697	27	16	100.989	38.863	7	10	114.397		39.919			
18	20	-92.648	-38.733	28	14	-101.703	-38.291	8	7	-115.802		-40.582			
19	17	92.685	38.954	29	11	101.683	38.514	9	4	115.378		40.694			
20	15	-92.839	-38.280	30	8	-102.370	-38.836	10	1	-116.556		-41.279			
21	12	93.177	38.626	Juill.	1	5	102.000	38.931	10	22	115.809	41.287			
22	9	-93.235	-38.684		2	3	-102.733	-38.356	11	20	-117.125	-40.826			
23	6	93.228	38.890		3	0	102.689	38.572	12	17	116.722	40.949			
24	4	-93.450	-38.232		3	21	-103.442	-38.923	13	14	-117.959	-41.568			
25	1	93.752	38.565		4	18	103.048	39.013	14	11	117.233	41.585			
25	22	-93.859	-38.644		5	16	-103.797	-38.433	15	9	-118.449	-41.085			
26	19	93.814	38.836		6	13	103.736	38.645	16	6	118.060	41.215			
27	17	-94.102	-38.195		7	10	-104.548	-39.023	17	3	-119.366	-41.871			
28	14	94.363	38.512		8	7	104.139	39.111	18	0	118.661	41.901			
29	11	-94.527	-38.614		9	5	-104.892	-38.522	18	22	-119.756	-41.353			
30	8	94.440	38.792		10	2	104.813	38.730	19	19	119.393	41.496			
Juin	31	6	-94.791	-38.165	10	23	-105.691	-39.138	20	16	-120.760	-42.186			
	1	3	95.018	38.470	11	20	105.265	39.222	21	13	120.083	42.229			
	2	0	-95.234	-38.594	12	18	-106.017	-38.624	22	10	-121.206	-42.840			
	2	21	95.112	38.760	13	15	105.927	38.830	23	8	120.704	41.785			
	3	19	-95.522	-38.146	14	12	-106.865	-39.266	24	5	-122.140	-42.514			
	4	16	95.710	38.437	15	9	106.430	39.350	25	2	121.492	42.571			
	5	13	-95.986	-38.585	16	6	-107.176	-39.716	25	23	-122.671	-43.216			
	6	10	95.823	38.738	17	4	107.067	38.942	26	21	121.992	42.085			
	7	8	-96.291	-38.135	18	1	-108.074	-39.409	27	18	-123.489	-42.851			
	8	5	96.446	38.416	18	22	107.627	39.493	28	15	122.875	42.921			
	9	2	-96.775	-38.586	19	19	-108.435	-39.889	29	12	-124.117	-43.605			
9	23	96.580	38.729	20	17	108.240	39.071	30	10	123.236	42.389				
10	21	-97.100	-38.136	21	14	-109.308	-39.566	31	7	-124.804	-43.195				
11	18	97.218	38.403	22	11	108.860	39.654	Sept.	1	4	124.224	43.281			
12	15	-97.609	-38.598	23	8	-109.726	-40.078		2	1	-125.523	-44.000			

IO 2011

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.	2	22	124.631	43.984	Oct.	13	15	135.736	48.954	Nov.	23	7	132.124	51.069	
	3	20	-126.065	-43.542		14	12	-137.068	-49.874		24	4	-132.851	-51.797	
	4	17	125.524	43.643		15	9	136.201	49.866		25	1	131.963	51.677	
	5	14	-126.887	-44.402		16	6	-137.214	-50.671		25	22	-132.328	-52.257	
	6	11	126.033	44.402		17	3	136.077	50.567		26	19	131.210	52.040	
	7	9	-127.268	-43.890		18	1	-137.275	-50.096		27	17	-131.685	-51.416	
	8	6	126.765	44.008		18	22	136.469	50.103		28	14	130.882	51.317	
	9	3	-128.187	-44.803		19	19	-137.532	-50.938		29	11	-131.273	-51.903	
	10	0	127.383	44.822		20	16	136.462	50.851		30	8	130.237	51.705	
	10	21	-128.535	-45.528		21	14	-137.292	-50.254		Déc.	1	6	-130.414	-50.977
	11	19	127.934	44.367		22	11	136.554	50.280			2	3	129.688	50.897
	12	16	-129.419	-45.204		23	8	-137.658	-51.139			3	0	-130.106	-51.487
	13	13	128.658	45.239		24	5	136.661	51.071			3	21	129.157	51.313
	14	10	-129.869	-45.983		25	2	-137.434	-51.807			4	18	-129.224	-51.755
	15	8	129.016	44.720		26	0	136.443	50.387			5	16	128.405	50.424
16	5	-130.561	-45.594	26	21	-137.597	-51.273	6	13	-128.844		-51.017			
17	2	129.853	45.649	27	18	136.667	51.222	7	10	127.978		50.863			
17	23	-131.116	-46.429	28	15	-137.479	-51.979	8	7	-128.070		-51.310			
18	20	130.112	46.388	29	12	136.290	51.828	9	5	127.041		49.903			
19	18	-131.609	-45.975	30	10	-137.339	-51.334	10	2	-127.503		-50.498			
20	15	130.946	46.046	Nov.	31	7	136.484	51.301	10	23		126.724	50.368		
21	12	-132.271	-46.865		1	4	-137.335	-52.079	11	20		-126.830	-50.813		
22	9	131.318	46.842		2	1	136.218	51.944	12	17		125.836	50.593		
23	7	-132.538	-46.335		2	23	-136.898	-51.322	13	15		-126.099	-49.937		
24	4	131.931	46.426		3	20	136.109	51.304	14	12	125.400	49.828			
25	1	-133.307	-47.280		4	17	-136.999	-52.101	15	9	-125.528	-50.274			
25	22	132.415	47.278		5	14	135.962	51.986	16	6	124.615	50.077			
26	19	-133.496	-48.034		6	11	-136.518	-52.650	17	4	-124.643	-49.338			
27	17	132.785	46.780		7	9	135.555	51.233	18	1	124.030	49.254			
28	14	-134.222	-47.673		8	6	-136.485	-52.049	18	22	-124.168	-49.696			
29	11	133.385	47.690		9	3	135.519	51.949	19	19	123.346	49.524			
Oct.	30	8	-134.514		-48.478	10	0	-136.114	-52.631	20	17	-123.151	-48.708		
	1	6	133.501		47.105	10	21	134.902	52.434	21	14	122.619	48.646		
	2	3	-134.989		-48.033	11	19	-135.793	-51.919	22	11	-122.772	-49.087		
	3	0	134.214		48.069	12	16	134.906	51.838	23	8	122.031	48.938		
	3	21	-135.395	-48.892	13	13	-135.531	-52.532	24	5	-121.816	-49.223			
	4	18	134.329	48.827	14	10	134.404	52.356	25	3	121.186	48.015			
	5	16	-135.608	-48.358	15	8	-134.940	-51.716	26	0	-121.344	-48.449			
	6	13	134.889	48.410	16	5	134.125	51.651	26	21	120.691	48.326			
	7	10	-136.119	-49.266	17	2	-134.788	-52.359	27	18	-120.482	-48.605			
	8	7	135.122	49.222	17	23	133.738	52.201	28	16	119.737	47.361			
	9	5	-136.057	-48.636	18	20	-134.047	-52.764	29	13	-119.906	-47.790			
	10	2	135.400	48.707	19	18	133.197	51.395	30	10	119.330	47.691			
	10	23	-136.682	-49.597	20	15	-133.887	-52.112	31	7	-119.130	-47.965			
	11	20	135.746	49.569	21	12	132.923	51.974	Janv.	1	4	118.352	47.778		
	12	17	-136.720	-50.347	22	9	-133.258	-52.547		2	2	-118.458	-47.113		

EUROPE 2011

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	-164.862	-79.447	Mars	21	12	140.379	65.885	Juin	9	15	-153.097	-61.891		
	Janv.	2	6	162.056		78.121	23	7	-142.573		-66.761	11	9	154.675	62.411	
		4	0	-163.224		-78.828	25	2	140.279		65.310	13	4	-154.420	-62.172	
		5	19	160.356		77.462	26	21	-142.364		-66.134	14	22	156.046	62.717	
		7	13	-161.495		-78.157	28	15	140.221		65.204	16	17	-155.640	-62.416	
		9	8	158.639		76.790	Avril	30	10		-142.286	-66.020	18	12	157.550	62.406
		11	3	-159.991		-77.195		1	5		140.195	64.625	20	7	-156.998	-62.037
12	22	156.976	75.735	3	0	-142.158		-65.392	22	1	159.125	62.787				
14	16	-158.472	-76.616	4	18	140.327		64.580	23	20	-158.426	-62.358				
16	11	155.485	75.163	6	13	-142.246		-65.329	25	15	160.627	62.448				
18	6	-156.970	-75.646	8	8	140.375		63.996	27	9	-159.841	-62.677				
20	0	153.937	74.556	10	2	-142.283	-65.227	29	4	162.406	62.907					
21	19	-155.659	-75.155	11	21	140.697	64.013	30	23	-161.416	-62.352					
23	14	152.576	73.627	13	16	-142.445	-64.682	Juill.	2	17	164.077	63.325				
25	8	-154.322	-74.648	15	10	140.921	63.976		4	12	-163.042	-62.756				
Févr.	27	3	151.256	73.115	17	5	-142.648	-64.630	6	7	165.869	63.082				
	28	22	-153.085	-73.777	19	0	141.326	63.498	8	1	-164.586	-63.140				
	30	17	149.926	72.183	20	19	-142.882	-64.077	9	20	167.744	63.586				
	1	11	-151.942	-73.347	22	13	141.730	63.517	11	15	-166.410	-62.888				
	3	6	148.834	71.762	24	8	-143.253	-64.076	13	9	169.615	64.109				
	5	1	-150.756	-72.479	26	3	142.207	63.031	15	4	-168.179	-63.370				
	6	19	147.688	71.307	27	22	-143.553	-63.513	16	23	171.549	63.899				
8	14	-149.806	-72.122	29	16	142.795	63.107	18	17	-169.921	-63.856					
10	9	146.687	70.498	Mai	1	11	-144.094	-63.563	20	12	173.620	64.517				
12	3	-148.776	-71.711		3	6	143.342	62.614	22	7	-171.893	-63.652				
13	22	145.756	70.125		5	0	-144.509	-63.556	24	1	175.599	65.109				
15	17	-147.926	-70.973	6	19	144.112	62.745	25	20	-173.847	-64.241					
17	12	144.819	69.319	8	14	-145.173	-63.092	27	15	177.712	64.981					
19	6	-147.084	-70.630	10	8	144.844	62.854	29	9	-175.746	-64.832					
21	1	144.103	69.026	12	3	-145.764	-63.139	31	4	179.884	65.675					
22	20	-146.299	-69.893	13	22	145.674	62.429	Août	1	23	-177.830	-64.678				
24	14	143.322	68.691	15	17	-146.483	-62.661		3	17	182.032	66.399				
26	9	-145.638	-69.612	17	11	146.599	62.600		5	12	-179.931	-65.380				
28	4	142.727	68.004	19	6	-147.252	-62.764		7	7	184.161	66.290				
Mars	1	23	-144.928	-68.879	21	1	147.480	62.157	9	1	-181.995	-66.097				
	3	17	142.149	67.742	22	20	-148.018	-62.267	10	20	186.479	67.122				
	5	12	-144.445	-68.658	24	14	148.594	62.389	12	15	-184.050	-65.962				
	7	7	141.629	67.056	26	9	-148.976	-62.431	14	9	188.705	67.941				
	9	1	-143.876	-68.392	28	3	149.590	62.564	16	4	-186.285	-66.791				
	10	20	141.254	66.865	29	22	-149.907	-62.578	17	22	190.890	68.794				
	12	15	-143.503	-67.762	Juin	31	17	150.826	62.224	19	17	-188.457	-67.633			
14	10	140.815	66.183	2		12	-150.927	-62.140	21	12	193.142	68.796				
16	4	-143.100	-67.550	4		6	152.018	62.464	23	6	-190.571	-68.493				
17	23	140.632	66.056	6		1	-152.050	-62.351	25	1	195.447	69.758				
19	18	-142.812	-66.923	7		20	153.289	62.104	26	20	-192.655	-68.442				

EUROPE 2011

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	14	197.651	70.711	Oct.	10	4	217.824	81.230	Nov.	21	18	212.770	84.805
	30	9	-194.873	-69.407		11	23	-214.241	-79.488		23	12	-209.173	-83.757
Sept.	1	3	199.778	71.695	13	17	218.484	82.126	25	7	211.121	84.672		
	2	22	-197.014	-70.387	15	12	-214.943	-80.375	27	1	-207.547	-83.593		
	4	17	201.893	71.751	17	7	218.980	81.913	28	20	209.366	84.450		
	6	11	-199.059	-71.377	19	1	-215.439	-81.199	Déc.	30	14	-205.804	-83.345	
8	6	204.045	72.822	20	20	219.334	82.722	2		9	207.406	84.116		
10	0	-201.011	-72.378	22	14	-215.709	-81.948	4		4	-203.973	-82.082		
11	19	206.081	73.882	24	9	219.488	83.447	5		22	205.373	83.703		
13	14	-202.901	-72.395	26	3	-215.764	-82.618	7	17	-202.160	-81.745			
15	8	207.983	74.955	27	22	219.369	84.082	9	12	203.235	82.306			
17	3	-204.829	-73.465	29	16	-215.584	-83.197	11	6	-200.204	-81.312			
18	21	209.762	76.014	31	11	219.064	84.627	13	1	201.170	81.815			
20	16	-206.627	-74.531	Nov.	2	5	-215.192	-83.685	14	19	-198.189	-80.816		
22	11	211.417	76.074		4	0	218.475	85.065	16	14	198.946	81.229		
24	5	-208.276	-75.586	5	18	-214.566	-84.070	18	8	-196.045	-80.229			
26	0	213.075	77.166	7	13	217.717	85.405	20	3	196.706	80.589			
27	18	-209.775	-76.625	9	8	-213.878	-83.376	21	22	-193.904	-78.742			
Oct.	29	13	214.545	78.243	11	2	216.682	85.629	23	16	194.316	79.856		
	1	7	-211.099	-77.639	12	21	-212.967	-83.618	25	11	-191.839	-78.128		
3	2	215.844	79.279	14	15	215.498	85.755	27	6	192.070	78.301			
4	20	-212.254	-78.624	16	10	-211.894	-83.770	29	0	-189.767	-77.476			
6	15	216.924	80.282	18	5	214.191	84.822	30	19	189.798	77.556			
8	10	-213.323	-78.542	19	23	-210.602	-83.807	Janv.	1	13	-187.586	-76.742		

GANYMÈDE 2011

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	4	-263.332	-126.053	Mai	3	22	230.651	99.639	Sept.	6	11	-320.943	-112.549
Janv.	1	18	261.468	125.159		7	12	-230.827	-99.120		10	1	325.041	114.030
	5	8	-257.665	-123.457		11	2	232.763	99.340		13	14	-327.328	-115.692
	8	22	256.010	122.655		14	17	-233.155	-98.404		17	4	331.162	117.210
	12	12	-252.455	-121.054		18	7	235.398	98.712		20	18	-333.271	-118.159
	16	2	250.925	120.303		21	21	-235.907	-98.261		24	8	336.608	119.611
	19	17	-247.679	-118.457		25	11	238.356	98.617	Oct.	27	21	-338.324	-121.363
	23	7	246.384	117.801		29	2	-239.080	-97.719		1	11	341.250	122.771
	26	21	-243.397	-116.429	Juin	1	16	241.763	98.142		5	1	-342.425	-123.636
	30	11	242.298	115.835		5	6	-242.756	-97.815		8	14	344.807	125.752
Févr.	3	1	-239.504	-114.526		8	20	245.553	98.259		12	4	-345.393	-126.492
	6	16	238.709	113.679		12	10	-246.835	-98.031		15	18	347.297	127.670
	10	6	-236.084	-112.415		16	1	249.733	97.949		19	7	-347.026	-128.981
	13	20	235.615	112.058		19	15	-251.321	-97.820		22	21	348.398	129.997
	17	10	-233.153	-110.832		23	5	254.405	98.325		26	11	-347.374	-130.204
	21	1	232.919	110.183		26	19	-256.200	-98.282	Nov.	30	0	348.058	131.817
	24	15	-230.713	-109.026		30	9	259.475	98.841		2	14	-346.428	-131.767
	28	5	230.727	108.834	Juill.	3	23	-261.446	-98.873		6	3	346.320	133.042
Mars	3	19	-228.771	-107.751		7	14	264.969	98.936		9	17	-344.166	-132.751
	7	10	228.897	107.188		11	4	-267.036	-99.004		13	7	343.325	132.858
	11	0	-227.268	-106.209		14	18	270.852	99.776		16	20	-340.589	-133.083
	14	14	227.608	106.085		18	8	-273.095	-99.930		20	10	339.213	132.893
	18	4	-226.190	-105.169		21	22	277.040	100.785		24	0	-335.905	-132.021
	21	19	226.738	104.691		25	12	-279.492	-101.042		27	13	334.075	132.321
	25	9	-225.558	-103.838		29	2	283.536	101.973	Déc.	1	3	-330.347	-131.186
	28	23	226.377	103.838	Août	1	16	-286.212	-102.367		4	17	328.239	130.503
Avril	1	13	-225.282	-102.981		5	6	290.269	103.351		8	6	-323.977	-129.790
	5	4	226.405	102.658		8	20	-293.107	-103.874		11	20	321.738	128.946
	8	18	-225.542	-101.854		12	10	297.243	104.947		15	10	-317.293	-127.308
	12	8	226.840	101.986		16	0	-300.109	-105.578		19	0	314.846	126.301
	15	23	-226.187	-100.795		19	14	304.329	106.749		22	14	-310.266	-124.497
	19	13	227.706	100.981		23	3	-307.139	-108.190		26	4	307.696	123.355
	23	3	-227.357	-100.308		26	17	311.449	109.503		29	17	-303.191	-122.157
	26	17	228.923	100.470		30	7	-314.134	-110.290	Janv.	2	7	300.548	120.882
	30	8	-228.867	-99.433	Sept.	2	21	318.440	111.712					

CALLISTO 2011

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 2	-394.684	-176.499	Mai 4 0	407.174	173.257	Sept. 7 0	-564.395	-195.407
Janv. 5 23	454.299	214.405	12 11	-409.115	-171.517	15 8	582.787	201.918
14 9	-443.810	-209.902	20 21	417.320	171.391	23 16	-588.751	-206.347
22 19	434.327	204.707	29 8	-421.029	-170.033	Oct. 1 23	603.913	213.469
31 5	-425.626	-200.838	Juin 6 18	431.643	170.478	10 6	-605.298	-217.913
Févr. 8 15	418.703	196.599	15 5	-436.836	-169.453	18 13	614.814	223.819
17 2	-412.089	-193.112	23 14	450.065	171.025	26 20	-610.466	-226.638
25 12	407.705	189.702	Juill. 2 0	-456.776	-170.899	Nov. 4 3	613.186	230.183
Mars 5 23	-402.909	-186.674	10 10	472.283	172.802	12 10	-602.597	-230.351
14 9	401.241	184.097	18 20	-480.524	-173.379	20 17	599.195	231.054
22 20	-398.173	-181.433	27 5	498.109	176.612	29 0	-583.728	-228.445
31 6	398.976	179.520	Août 4 14	-507.301	-178.441	Déc. 7 7	575.661	226.415
Avril 8 17	-397.755	-177.247	12 23	526.564	182.754	15 16	-557.712	-220.663
17 3	400.973	175.928	21 8	-536.005	-185.466	23 23	547.337	216.755
25 14	-401.354	-173.928	29 16	555.658	191.272	Janv. 1 8	-528.642	-209.700

SATELLITES DE SATURNE

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

MIMAS	II. 118
ENCELADE	II. 124
TÉTHYS	II. 128
DIONÉ	II. 131
RHÉA	II. 133
TITAN	II. 134
HYPÉRIION	II. 135
JAPET	II. 135

MIMAS 2011

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 16	-26.593	-1.191	Janv.	21 21	27.171	1.527	Févr.	12 1	-28.160	-2.479
Janv.	1 3	26.179	1.772		22 8	-27.546	-1.606		12 13	28.451	1.940
	1 14	-26.721	-1.900		22 19	27.274	2.321		13 0	-28.352	-1.975
	2 2	26.109	1.338		23 6	-27.408	-2.377		13 11	28.315	2.764
	2 13	-26.791	-1.480		23 18	27.391	1.850		13 23	-28.217	-1.446
	3 0	26.196	2.069		24 5	-27.646	-1.917		14 10	28.575	2.267
	3 11	-26.625	-2.180		24 17	27.195	1.355		14 21	-28.353	-2.297
	3 23	26.317	1.644		25 4	-27.575	-1.431		15 9	28.513	1.743
	4 10	-26.877	-1.769		25 15	27.494	2.169		15 20	-28.413	-1.778
	4 22	26.134	1.196		26 2	-27.630	-2.224		16 7	28.582	2.586
	5 9	-26.835	-1.335		26 14	27.490	1.683		16 18	-28.233	-2.611
	5 20	26.406	1.947		27 1	-27.748	-1.748		17 6	28.712	2.074
	6 7	-26.850	-2.055		27 12	27.478	2.482		17 17	-28.491	-2.106
	6 19	26.415	1.507		28 0	-27.554	-1.248		18 5	28.517	1.537
	7 6	-26.991	-1.629		28 11	27.666	2.008		18 16	-28.418	-1.573
	7 17	26.377	2.246		28 22	-27.805	-2.061		19 3	28.794	2.398
	8 5	-26.837	-1.180		29 10	27.538	1.507		19 14	-28.447	-2.426
	8 16	26.577	1.816		29 21	-27.800	-1.570		20 2	28.792	1.872
	9 3	-27.034	-1.922		30 8	27.725	2.327		20 13	-28.571	-1.906
	9 15	26.471	1.361		30 19	-27.746	-2.369		21 0	28.759	2.713
	10 2	-27.062	-1.480		31 7	27.790	1.837		21 12	-28.364	-1.361
	10 13	26.620	2.121		31 18	-27.931	-1.888		21 23	28.949	2.201
	11 0	-26.963	-2.211	Févr.	1 5	27.666	2.638		22 10	-28.604	-2.233
	11 12	26.706	1.676		1 17	-27.800	-1.382		22 22	28.812	1.662
	11 23	-27.176	-1.779		2 4	27.923	2.161		23 9	-28.594	-1.698
	12 10	26.546	2.421		2 15	-27.945	-2.203		23 20	28.989	2.522
	12 22	-27.090	-1.322		3 3	27.863	1.656		24 7	-28.515	-2.552
	13 9	26.823	1.987		3 14	-28.005	-1.706		24 19	29.045	1.995
	13 20	-27.175	-2.075		4 1	27.940	2.479		25 6	-28.704	-2.031
	14 8	26.793	1.526		4 12	-27.841	-2.512		25 17	28.913	2.832
	14 19	-27.274	-1.626		5 0	28.072	1.986		26 5	-28.557	-1.484
	15 6	26.821	2.293		5 11	-28.093	-2.027		26 16	29.161	2.321
	15 18	-27.071	-1.155		5 23	27.884	1.467		27 3	-28.692	-2.356
	16 5	26.983	1.843		6 10	-28.026	-1.516		27 15	29.081	1.782
	16 16	-27.345	-1.928		6 21	28.163	2.309		28 2	-28.744	-1.821
	17 4	26.836	1.367		7 8	-28.063	-2.342		28 13	29.159	2.637
	17 15	-27.327	-1.464		7 20	28.168	1.801	Mars	1 0	-28.557	-2.673
	18 2	27.055	2.155		8 7	-28.189	-1.842		1 12	29.272	2.112
	18 13	-27.300	-2.226		8 18	28.137	2.625		1 23	-28.810	-2.152
	19 1	27.100	1.689		9 6	-27.993	-1.317		2 11	29.054	1.561
	19 12	-27.469	-1.772		9 17	28.334	2.129		2 22	-28.724	-1.604
	19 23	27.009	2.462		10 4	-28.234	-2.163		3 9	29.345	2.433
	20 11	-27.332	-1.293		10 16	28.210	1.607		3 20	-28.753	-2.475
	20 22	27.246	2.008		11 3	-28.231	-1.648		4 8	29.321	1.895
	21 9	-27.496	-2.077		11 14	28.383	2.451		4 19	-28.868	-1.940

MIMAS 2011

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	5 6	29.302	2.744	Mars	26 11	-29.122	-2.153	Avril	16 16	30.088	2.051
	5 18	-28.643	-1.381		26 22	29.806	2.865		17 3	-28.925	-2.282
	6 5	29.470	2.221		27 10	-29.003	-1.597		17 15	29.871	1.516
	6 16	-28.888	-2.269		27 21	30.042	2.346		18 2	-28.931	-1.748
	7 4	29.307	1.671		28 8	-29.032	-2.470		18 13	30.036	2.334
	7 15	-28.864	-1.722		28 20	29.947	1.802		19 0	-28.712	-2.575
	8 2	29.501	2.537		29 7	-29.119	-1.928		19 12	30.010	1.812
	8 13	-28.784	-2.588		29 18	29.977	2.641		19 23	-28.928	-2.058
	9 1	29.531	2.001		30 6	-28.857	-1.364		20 10	29.866	2.604
	9 12	-28.962	-2.055		30 17	30.074	2.112		20 22	-28.795	-1.518
9 23	29.416	2.842	31 4	-29.108	-2.249	21 9	30.031	2.097			
10 11	-28.797	-1.497	31 16	29.838	1.561	21 20	-28.793	-2.357			
10 22	29.637	2.321	Avril	1 3	-29.053	-1.699	22 8	29.868	1.570		
11 9	-28.936	-2.381		1 14	30.082	2.412	22 19	-28.870	-1.832		
11 21	29.528	1.774		2 1	-28.968	-2.559	23 6	29.933	2.372		
12 8	-28.974	-1.836		2 13	30.038	1.875	23 18	-28.600	-1.288		
12 19	29.627	2.632		3 0	-29.121	-2.025	24 5	29.961	1.859		
13 6	-28.785	-2.696		3 11	29.973	2.701	24 16	-28.814	-2.135		
13 18	29.709	2.099		3 23	-28.923	-1.466	25 3	29.718	2.635		
14 5	-29.027	-2.167		4 10	30.121	2.178	25 15	-28.754	-1.605		
14 16	29.499	2.931		4 21	-29.060	-2.340	26 2	29.936	2.137		
15 4	-28.924	-1.611		5 9	29.936	1.633	26 13	-28.628	-2.425		
15 15	29.773	2.414	5 20	-29.070	-1.796	27 1	29.829	1.619			
16 2	-28.954	-2.488	6 7	30.085	2.471	27 12	-28.777	-1.911			
16 14	29.716	1.870	6 18	-28.869	-2.643	27 23	29.793	2.405			
17 1	-29.055	-1.946	7 6	30.092	1.940	28 11	-28.581	-1.377			
17 12	29.720	2.718	7 17	-29.089	-2.116	28 22	29.876	1.901			
18 0	-28.810	-1.381	8 4	29.932	2.752	29 9	-28.669	-2.206			
18 11	29.855	2.189	8 16	-28.957	-1.565	29 21	29.636	1.378			
18 22	-29.061	-2.273	9 3	30.130	2.237	30 8	-28.683	-1.686			
19 10	29.657	1.636	9 14	-28.978	-2.424	Mai	30 19	29.805	2.172		
19 21	-29.020	-1.721	10 2	29.998	1.699		1 6	-28.429	-2.488		
20 8	29.876	2.498	10 13	-29.055	-1.889		1 18	29.755	1.663		
20 19	-28.940	-2.589	11 0	30.050	2.522		2 5	-28.652	-1.985		
21 7	29.871	1.958	11 12	-28.783	-1.332		2 16	29.615	2.433		
21 18	-29.105	-2.052	11 23	30.109	1.999		3 4	-28.532	-1.460		
22 5	29.780	2.796	12 10	-29.024	-2.202		3 15	29.756	1.938		
22 17	-28.921	-1.491	12 21	29.853	2.795		4 2	-28.490	-2.272		
23 4	29.966	2.271	13 9	-28.960	-1.659		4 14	29.575	1.425		
23 15	-29.062	-2.374	13 20	30.102	2.288		5 1	-28.579	-1.763		
24 3	29.820	1.722	14 7	-28.862	-2.503	5 12	29.638	2.203			
24 14	-29.085	-1.826	14 19	30.022	1.758	6 0	-28.327	-1.235			
25 1	29.945	2.574	15 6	-29.008	-1.976	6 11	29.647	1.702			
25 12	-28.893	-2.685	15 17	29.977	2.566	6 22	-28.495	-2.054			
26 0	29.990	2.039	16 5	-28.805	-1.427	7 9	29.402	2.456			

MIMAS 2011

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	21	-28.452	-1.540	Mai	29	2	28.622	1.122	Juin	19	7	-26.861	-0.923	
	8	8	29.601	1.971		29	13	-27.763	-1.602		19	18	27.607	1.073	
	8	19	-28.280	-2.333		30	0	28.621	1.852		20	5	-26.813	-1.643	
	9	7	29.481	1.466		30	12	-27.592	-1.112		20	17	27.334	0.613	
	9	18	-28.445	-1.834		30	23	28.642	1.382		21	4	-26.883	-1.191	
	10	5	29.436	2.228		31	10	-27.611	-1.871		21	15	27.493	1.320	
	10	17	-28.271	-1.317		31	22	28.357	0.900		22	3	-26.646	-0.726	
	11	4	29.506	1.738		Juin	1	9	-27.644		-1.393	22	14	27.407	0.868
	11	15	-28.307	-2.118			1	20	28.543		1.634	23	1	-26.776	-1.451
	12	3	29.258	1.231		2	8	-27.355	-0.901		23	12	27.258	1.560	
12	14	-28.342	-1.614	2	19	28.447	1.162	24	0	-26.738	-0.996				
13	1	29.412	2.000	3	6	-27.565	-1.665	24	11	27.360	1.118				
13	13	-28.040	-1.094	3	17	28.325	1.878	24	22	-26.542	-1.702				
14	0	29.354	1.505	4	5	-27.481	-1.184	25	10	27.169	0.666				
14	11	-28.281	-1.901	4	16	28.418	1.417	25	21	-26.701	-1.259				
14	22	29.199	2.251	5	3	-27.357	-1.926	26	8	27.193	1.363				
15	10	-28.188	-1.394	5	15	28.207	0.942	26	20	-26.557	-0.803				
15	21	29.331	1.770	6	2	-27.476	-1.459	27	7	27.189	0.919				
16	8	-28.088	-2.177	6	13	28.269	1.664	27	18	-26.536	-1.514				
16	20	29.148	1.272	7	1	-27.276	-0.977	28	5	26.906	1.601				
17	7	-28.203	-1.684	7	12	28.246	1.200	28	17	-26.589	-1.068				
17	18	29.189	2.026	7	23	-27.340	-1.724	29	4	27.089	1.167				
18	6	-27.983	-1.175	8	10	28.000	1.903	29	16	-26.342	-0.612				
18	17	29.196	1.540	8	22	-27.344	-1.254	30	3	26.982	0.722				
19	4	-28.086	-1.964	9	9	28.166	1.451	30	14	-26.493	-1.326				
19	15	28.929	2.271	9	20	-27.076	-1.979	Juill.	1	1	26.869	1.409			
20	3	-28.074	-1.467	10	8	28.031	0.985		1	13	-26.442	-0.879			
20	14	29.125	1.799	10	19	-27.281	-1.522		2	0	26.949	0.973			
21	1	-27.839	-2.231	11	6	27.967	1.694		2	11	-26.272	-1.577			
21	13	29.008	1.311	11	18	-27.171	-1.050		2	23	26.740	0.527			
22	0	-28.034	-1.750	12	5	28.020	1.239	3	10	-26.415	-1.140				
22	11	28.935	2.049	12	16	-27.089	-1.781	3	21	26.795	1.219				
22	23	-27.898	-1.251	13	4	27.774	0.772	4	9	-26.262	-0.692				
23	10	29.008	1.573	13	15	-27.181	-1.321	4	20	26.773	0.780				
23	21	-27.862	-2.022	14	2	27.889	1.486	5	7	-26.262	-1.394				
24	9	28.770	1.082	14	14	-26.959	-0.848	5	18	26.522	1.459				
24	20	-27.933	-1.537	15	1	27.831	1.028	6	6	-26.303	-0.955				
25	7	28.888	1.827	15	12	-27.060	-1.584	6	17	26.686	1.029				
25	19	-27.675	-1.036	15	23	27.638	1.725	7	5	-26.050	-0.507				
26	6	28.839	1.347	16	11	-27.040	-1.121	7	16	26.564	0.590				
26	17	-27.836	-1.812	16	22	27.768	1.278	8	3	-26.217	-1.212				
27	4	28.650	2.071	17	9	-26.812	-1.837	8	14	26.479	1.274				
27	16	-27.785	-1.324	17	21	27.602	0.820	9	2	-26.158	-0.771				
28	3	28.790	1.604	18	8	-26.991	-1.387	9	13	26.543	0.842				
28	14	-27.609	-2.077	18	19	27.586	1.522	10	0	-26.007	-1.462				

MIMAS 2011

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.	10	12	26.323	0.402	Juill.	31	17	-25.402	-0.513	 Août	21	22	24.489	0.138	
	10	23	-26.139	-1.031		 Août	1	4	25.417		0.549	22	9	-24.887	-0.774
	11	10	26.402	1.090		1	15	-25.284	-1.189		22	20	24.445	0.825	
	11	22	-25.981	-0.590		2	3	25.190	0.123		23	8	-24.833	-0.360	
	12	9	26.367	0.657		2	14	-25.402	-0.772		23	19	24.510	0.410	
	12	20	-25.996	-1.285		3	1	25.302	0.806		24	6	-24.725	-1.034	
	13	7	26.140	1.333		3	13	-25.246	-0.349		24	18	24.306	-0.010	
	13	19	-26.029	-0.852		4	0	25.259	0.385		25	5	-24.847	-0.626	
	14	6	26.291	0.908		4	11	-25.282	-1.028		25	16	24.410	0.682	
	14	18	-25.774	-0.411		4	22	25.066	1.061		26	4	-24.707	-0.210	
	15	5	26.160	0.474		5	10	-25.309	-0.610		26	15	24.389	0.264	
	15	16	-25.952	-1.108		5	21	25.208	0.645		27	2	-24.745	-0.890	
16	3	26.095	1.155	6	9	-25.064	-0.187	27	13	24.189	0.952				
16	15	-25.888	-0.674	6	20	25.075	0.223	28	1	-24.781	-0.478				
17	2	26.149	0.727	7	7	-25.252	-0.869	28	12	24.351	0.539				
17	13	-25.752	-1.359	7	18	25.035	0.903	29	0	-24.556	-0.062				
18	1	25.922	0.293	8	6	-25.190	-0.450	29	11	24.244	0.119				
18	12	-25.877	-0.933	8	17	25.087	0.486	29	22	-24.740	-0.745				
18	23	26.018	0.978	9	4	-25.076	-1.124	30	9	24.192	0.813				
19	11	-25.717	-0.499	9	16	24.865	0.063	30	21	-24.690	-0.332				
19	22	25.977	0.549	10	3	-25.195	-0.711	31	8	24.268	0.397				
20	9	-25.742	-1.187	10	14	24.977	0.747	31	19	-24.584	-1.010				
20	20	25.767	1.224	11	2	-25.044	-0.291	Sept.	1	7	24.076	-0.024			
21	8	-25.771	-0.760	11	13	24.939	0.328		1	18	-24.709	-0.602			
21	19	25.911	0.803	12	0	-25.081	-0.969		2	5	24.172	0.674			
22	7	-25.517	-0.325	12	11	24.747	1.006	2	17	-24.575	-0.187				
22	18	25.775	0.373	12	23	-25.111	-0.554	3	4	24.162	0.256				
23	5	-25.701	-1.016	13	10	24.893	0.592	3	15	-24.613	-0.870				
23	16	25.724	1.053	13	22	-24.872	-0.134	4	2	23.954	0.951				
24	4	-25.635	-0.588	14	9	24.767	0.172	4	14	-24.653	-0.459				
24	15	25.773	0.630	14	20	-25.059	-0.815	5	1	24.127	0.536				
25	2	-25.510	-1.267	15	7	24.726	0.855	5	13	-24.435	-0.042				
25	14	25.544	0.200	15	19	-25.000	-0.399	6	0	24.032	0.116				
26	1	-25.630	-0.847	16	6	24.783	0.439	6	11	-24.617	-0.730				
26	12	25.650	0.883	16	17	-24.889	-1.072	6	22	23.972	0.817				
27	0	-25.471	-0.418	17	5	24.570	0.019	7	10	-24.572	-0.316				
27	11	25.606	0.458	17	16	-25.009	-0.662	7	21	24.059	0.399				
27	22	-25.503	-1.101	18	3	24.679	0.706	8	8	-24.467	-0.999				
28	9	25.407	1.133	18	15	-24.863	-0.245	8	20	23.879	-0.024				
28	21	-25.530	-0.679	19	2	24.649	0.288	9	7	-24.596	-0.590				
29	8	25.548	0.715	19	13	-24.901	-0.922	9	18	23.965	0.683				
29	20	-25.280	-0.250	20	0	24.454	0.970	10	6	-24.467	-0.174				
30	7	25.411	0.290	20	12	-24.934	-0.510	10	17	23.968	0.262				
30	18	-25.467	-0.936	20	23	24.607	0.557	11	4	-24.506	-0.862				
31	5	25.369	0.969	21	11	-24.702	-0.093	11	15	23.752	0.966				

MIMAS 2011

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.	14	18	23.784	0.894	Déc.	1	6	-25.062	-0.845	Déc.	17	18	24.711	0.954
	15	5	-24.633	-1.300		1	17	24.111	1.422		18	5	-25.527	-1.229
	15	17	23.694	0.377		2	5	-24.894	-0.296		18	16	24.528	1.963
	16	4	-24.749	-0.806		2	16	24.204	0.869		19	4	-25.488	-0.632
	16	15	23.739	1.259		3	3	-25.093	-1.211		19	15	24.791	1.370
	17	3	-24.610	-0.298		3	15	24.017	0.300		20	2	-25.488	-1.620
	17	14	23.832	0.746		4	2	-25.094	-0.664		20	14	24.769	0.756
	18	1	-24.748	-1.150		4	13	24.250	1.262		21	1	-25.622	-1.026
	18	13	23.651	0.219		5	0	-25.016	-1.579		21	12	24.753	1.786
	19	0	-24.776	-0.645		5	12	24.247	0.696		22	0	-25.483	-0.416
	19	11	23.852	1.116		5	23	-25.187	-1.035		22	11	24.917	1.178
	19	22	-24.639	-1.495		6	10	24.177	1.655		22	22	-25.648	-1.423
	20	10	23.854	0.591		6	22	-25.094	-0.474		23	10	24.794	0.549
	20	21	-24.835	-0.993		7	9	24.360	1.094		23	21	-25.682	-0.814
	21	8	23.753	1.487		7	20	-25.173	-1.407		24	8	24.947	1.599
	21	20	-24.774	-0.477		8	8	24.262	0.515		24	19	-25.564	-1.820
22	7	23.939	0.967	8	19	-25.251	-0.849	25	7	25.010	0.975			
22	18	-24.788	-1.344	9	6	24.354	1.493	25	18	-25.773	-1.215			
23	6	23.850	0.431	9	18	-25.063	-0.277	26	5	24.861	2.020			
23	17	-24.894	-0.830	10	5	24.441	0.918	26	17	-25.707	-0.592			
24	4	23.906	1.343	10	16	-25.300	-1.227	27	4	25.110	1.403			
24	16	-24.742	-0.303	11	4	24.246	0.326	27	15	-25.755	-1.618			
25	3	24.000	0.811	11	15	-25.283	-0.655	28	3	25.071	0.763			
25	14	-24.908	-1.185	12	2	24.503	1.323	28	14	-25.863	-0.998			
26	2	23.818	0.264	12	13	-25.242	-1.606	29	1	25.093	1.829			
26	13	-24.924	-0.659	13	1	24.493	0.733	29	13	-25.695	-0.360			
27	0	24.032	1.193	13	12	-25.395	-1.038	30	0	25.240	1.195			
27	11	-24.815	-1.541	13	23	24.447	1.727	30	11	-25.911	-1.406			
27	23	24.034	0.648	14	11	-25.281	-0.453	30	23	25.098	0.542			
28	10	-25.000	-1.019	14	22	24.622	1.143	31	10	-25.918	-0.770			
28	21	23.946	1.574	15	9	-25.400	-1.422	31	21	25.292	1.628			
29	9	-24.924	-0.481	15	21	24.514	0.539	Janv.	1	8	-25.849	-1.815		
29	20	24.132	1.034	16	8	-25.458	-0.839		1	20	25.336	0.978		
30	7	-24.968	-1.380	16	19	24.634	1.553							
30	19	24.040	0.477	17	6	-25.297	-1.807							

ENCELADE 2011

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 22	33.824	1.966	Janv.	31 18	-35.875	-2.036	Mars	3 14	37.282	1.802
Janv.	1 15	-34.084	-1.446	Févr.	1 11	35.735	1.248		4 7	-37.427	-1.223
	2 7	33.949	1.842		2 3	-35.997	-1.898		4 23	37.333	1.662
	3 0	-34.139	-1.315		2 20	35.762	1.105		5 15	-37.512	-2.278
	3 16	34.059	1.714		3 12	-36.102	-1.759		6 8	37.362	1.521
	4 9	-34.180	-1.182		4 4	35.786	2.184		7 0	-37.621	-2.140
	5 1	34.154	1.585		4 21	-36.187	-1.618		7 17	37.368	1.380
	5 18	-34.204	-1.047		5 13	35.931	2.047		8 9	-37.708	-2.003
	6 10	34.232	1.453		6 6	-36.255	-1.478		9 2	37.349	1.239
	7 2	-34.316	-2.077		6 22	36.056	1.908		9 18	-37.772	-1.864
	7 19	34.293	1.321		7 15	-36.301	-1.335		10 10	37.382	2.289
	8 11	-34.451	-1.949		8 7	36.162	1.768		11 3	-37.813	-1.726
	9 4	34.340	1.186		9 0	-36.326	-1.192		11 19	37.488	2.152
	9 20	-34.570	-1.820		9 16	36.248	1.627		12 12	-37.830	-1.586
	10 13	34.370	1.049		10 8	-36.349	-2.266		13 4	37.572	2.016
	11 5	-34.673	-1.688		11 1	36.316	1.485		13 21	-37.822	-1.448
	11 21	34.416	2.093		11 17	-36.492	-2.129		14 13	37.633	1.878
	12 14	-34.759	-1.556		12 10	36.362	1.342		15 6	-37.794	-1.309
	13 6	34.559	1.963		13 2	-36.617	-1.990		15 22	37.669	1.741
	13 23	-34.830	-1.420		13 19	36.387	1.198		16 14	-37.850	-2.336
	14 15	34.686	1.831		14 11	-36.721	-1.849		17 7	37.682	1.604
	15 8	-34.883	-1.284		15 4	36.391	1.054		17 23	-37.945	-2.201
	16 0	34.795	1.698		15 20	-36.805	-1.708		18 16	37.670	1.467
	16 17	-34.920	-1.145		16 12	36.500	2.140		19 8	-38.016	-2.066
	17 9	34.888	1.564		17 5	-36.868	-1.566		20 1	37.635	1.330
	18 1	-34.941	-2.196		17 21	36.625	2.000		20 17	-38.063	-1.931
	18 18	34.965	1.427		18 14	-36.911	-1.423		21 9	37.635	2.349
	19 10	-35.092	-2.065		19 6	36.729	1.860		22 2	-38.086	-1.796
	20 3	35.023	1.289		19 23	-36.931	-1.280		22 18	37.727	2.216
	20 19	-35.224	-1.932		20 15	36.812	1.718		23 11	-38.086	-1.663
	21 12	35.063	1.149		21 8	-36.931	-1.137		24 3	37.794	2.082
	22 4	-35.342	-1.797		22 0	36.873	1.576		24 20	-38.062	-1.528
	22 21	35.084	1.008		22 16	-37.050	-2.210		25 12	37.837	1.949
	23 13	-35.440	-1.661		23 9	36.913	1.433		26 5	-38.014	-1.394
	24 5	35.177	2.078		24 1	-37.169	-2.070		26 21	37.856	1.816
	24 22	-35.521	-1.522		24 18	36.930	1.290		27 13	-38.043	-2.385
	25 14	35.315	1.944		25 10	-37.267	-1.930		28 6	37.852	1.684
	26 7	-35.583	-1.383		26 3	36.927	1.148		28 22	-38.117	-2.254
	26 23	35.438	1.807		26 19	-37.342	-1.790		29 15	37.823	1.552
	27 16	-35.626	-1.242		27 11	36.995	2.220		30 7	-38.169	-2.124
	28 8	35.540	1.669		28 4	-37.397	-1.649		31 0	37.770	1.420
	29 1	-35.652	-1.100		28 20	37.114	2.081		31 16	-38.197	-1.993
	29 17	35.624	1.529	Mars	1 13	-37.429	-1.507	Avril	1 8	37.740	2.400
	30 9	-35.732	-2.172		2 5	37.210	1.941		2 1	-38.203	-1.864
	31 2	35.689	1.388		2 22	-37.440	-1.366		2 17	37.810	2.272

ENCELADE 2011

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

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Avril	3	10	-38.184	-1.734	Mai	4	6	37.129	1.555	Juin	4	1	-35.984	-2.383
	4	2	37.859	2.144		4	22	-37.597	-2.041		4	18	35.691	1.870
	4	19	-38.140	-1.605		5	14	37.107	2.409		5	10	-35.956	-2.282
	5	11	37.883	2.016		6	7	-37.532	-1.927		6	3	35.581	1.767
	6	4	-38.072	-1.476		6	23	37.112	2.298		6	19	-35.908	-2.182
	6	20	37.885	1.888		7	16	-37.444	-1.815		7	12	35.452	1.663
	7	12	-38.071	-2.427		8	8	37.095	2.186		8	4	-35.845	-2.081
	8	5	37.862	1.760		9	1	-37.338	-1.702		8	21	35.306	1.558
	8	21	-38.128	-2.301		9	17	37.056	2.075		9	13	-35.765	-1.979
	9	14	37.815	1.633		10	10	-37.210	-1.590		10	5	35.284	2.328
	10	6	-38.160	-2.176		11	2	36.996	1.964		10	22	-35.669	-1.877
	10	23	37.744	1.507		11	18	-37.210	-2.416		11	14	35.250	2.230
11	15	-38.169	-2.051	12	11	36.914	1.854	12	7	-35.556	-1.774			
12	7	37.678	2.445	13	3	-37.201	-2.307	12	23	35.202	2.130			
13	0	-38.153	-1.927	13	20	36.813	1.743	13	16	-35.427	-1.671			
13	16	37.733	2.322	14	12	-37.172	-2.199	14	8	35.135	2.030			
14	9	-38.115	-1.803	15	5	36.690	1.633	15	1	-35.281	-1.568			
15	1	37.763	2.200	15	21	-37.121	-2.090	15	17	35.054	1.929			
15	18	-38.053	-1.679	16	13	36.596	2.448	16	9	-35.257	-2.325			
16	10	37.770	2.077	17	6	-37.052	-1.983	17	2	34.955	1.827			
17	3	-37.971	-1.556	17	22	36.593	2.342	17	18	-35.222	-2.227			
17	19	37.752	1.955	18	15	-36.963	-1.874	18	11	34.842	1.725			
18	11	-37.935	-2.463	19	7	36.572	2.235	19	3	-35.170	-2.128			
19	4	37.713	1.833	20	0	-36.853	-1.766	19	20	34.712	1.622			
19	20	-37.973	-2.343	20	16	36.529	2.129	20	12	-35.103	-2.029			
20	13	37.649	1.712	21	9	-36.724	-1.657	21	5	34.568	1.520			
21	5	-37.987	-2.224	22	1	36.468	2.023	21	21	-35.018	-1.929			
21	22	37.565	1.591	22	17	-36.645	-2.449	22	13	34.545	2.281			
22	14	-37.977	-2.105	23	10	36.387	1.916	23	6	-34.920	-1.828			
23	7	37.457	1.471	24	2	-36.633	-2.345	23	22	34.510	2.184			
23	23	-37.947	-1.986	24	19	36.286	1.809	24	15	-34.807	-1.727			
24	15	37.494	2.367	25	11	-36.601	-2.241	25	7	34.460	2.086			
25	8	-37.893	-1.868	26	4	36.167	1.702	26	0	-34.681	-1.625			
26	0	37.509	2.250	26	20	-36.551	-2.137	26	16	34.392	1.987			
26	17	-37.818	-1.749	27	13	36.028	1.596	27	9	-34.539	-1.522			
27	9	37.501	2.134	28	5	-36.482	-2.033	28	1	34.312	1.888			
28	2	-37.719	-1.631	28	21	35.981	2.384	28	17	-34.508	-2.275			
28	18	37.471	2.018	29	14	-36.394	-1.928	29	10	34.217	1.787			
29	10	-37.637	-2.495	30	6	35.960	2.282	30	2	-34.472	-2.179			
30	3	37.419	1.902	30	23	-36.288	-1.823	30	19	34.108	1.686			
30	19	-37.660	-2.381	31	15	35.920	2.180	Juill.	1	11	-34.421	-2.082		
Mai	1	12	37.344	1.786	Juin	1	8		-36.164	-1.719	2	4	33.983	1.583
	2	4	-37.662	-2.268		2	0		35.861	2.077	2	20	-34.356	-1.983
	2	21	37.246	1.670		2	17		-36.023	-1.613	3	13	33.846	1.480
	3	13	-37.640	-2.154		3	9		35.785	1.974	4	5	-34.277	-1.884

ENCELADE 2011

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	"	"
Juill.	4	21	33.801	2.243	Août	4	18	-32.459	-1.294	Sept.	4	14	31.110	1.261
	5	14	-34.185	-1.784		5	10	32.246	1.706		5	6	-31.387	-1.694
	6	6	33.771	2.148		6	2	-32.410	-2.100		5	23	31.041	1.145
	6	23	-34.077	-1.682		6	19	32.178	1.601		6	15	-31.367	-1.583
	7	15	33.726	2.050		7	11	-32.394	-2.001		7	8	30.961	1.028
	8	8	-33.958	-1.580		8	4	32.098	1.496		8	0	-31.337	-1.470
	9	0	33.666	1.952		8	20	-32.367	-1.900		8	16	30.914	1.950
	9	17	-33.824	-1.477		9	13	32.007	1.389		9	9	-31.296	-1.357
	10	9	33.593	1.852		10	5	-32.328	-1.798		10	1	30.929	1.840
	11	1	-33.768	-2.237		10	22	31.903	1.280		10	18	-31.245	-1.241
	11	18	33.505	1.752		11	14	-32.278	-1.694		11	10	30.933	1.729
	12	10	-33.739	-2.141		12	6	31.807	2.109		12	3	-31.184	-1.123
	13	3	33.406	1.650		12	23	-32.217	-1.589		12	19	30.927	1.617
	13	19	-33.696	-2.043		13	15	31.803	2.009		13	12	-31.113	-1.004
	14	12	33.292	1.547		14	8	-32.144	-1.482		14	4	30.912	1.503
	15	4	-33.639	-1.945		15	0	31.789	1.908		14	20	-31.041	-1.939
	15	21	33.168	1.444		15	17	-32.059	-1.375		15	13	30.887	1.387
16	13	-33.568	-1.846	16	9	31.763	1.804	16	5	-31.064	-1.828			
17	5	33.083	2.218	17	2	-31.965	-1.265	16	22	30.850	1.269			
17	22	-33.486	-1.745	17	18	31.725	1.699	17	14	-31.076	-1.715			
18	14	33.062	2.121	18	11	-31.860	-1.154	18	7	30.803	1.149			
19	7	-33.391	-1.643	19	3	31.676	1.592	18	23	-31.079	-1.601			
19	23	33.026	2.023	19	19	-31.849	-2.001	19	16	30.745	1.028			
20	16	-33.284	-1.540	20	12	31.615	1.485	20	8	-31.071	-1.484			
21	8	32.978	1.925	21	4	-31.840	-1.898	21	1	30.679	0.906			
22	1	-33.164	-1.436	21	21	31.545	1.376	21	17	-31.053	-1.366			
22	17	32.918	1.825	22	13	-31.820	-1.793	22	9	30.646	1.882			
23	9	-33.064	-2.211	23	6	31.463	1.265	23	2	-31.025	-1.246			
24	2	32.844	1.724	23	22	-31.789	-1.687	23	18	30.675	1.767			
24	18	-33.044	-2.114	24	15	31.371	1.152	24	11	-30.986	-1.125			
25	11	32.758	1.621	25	7	-31.748	-1.580	25	3	30.692	1.651			
26	3	-33.014	-2.016	25	23	31.303	2.025	25	20	-30.939	-1.002			
26	20	32.659	1.517	26	16	-31.696	-1.470	26	12	30.699	1.532			
27	12	-32.971	-1.917	27	8	31.308	1.920	27	5	-30.881	-0.877			
28	5	32.550	1.412	28	1	-31.633	-1.359	27	21	30.695	1.412			
28	21	-32.915	-1.816	28	17	31.301	1.814	28	13	-30.827	-1.869			
29	14	32.427	1.306	29	10	-31.560	-1.247	29	6	30.683	1.290			
30	6	-32.847	-1.714	30	2	31.285	1.707	29	22	-30.861	-1.751			
30	22	32.403	2.108	30	19	-31.476	-1.133	30	15	30.660	1.166			
31	15	-32.766	-1.611	31	11	31.258	1.598	Oct.	1	7	-30.886	-1.632		
Août	1	7	32.382	2.009	Sept.	1	3	-31.385	-2.017	2	0	30.627	1.041	
	2	0	-32.675	-1.506		1	20	31.219	1.487	2	16	-30.900	-1.511	
	2	16	32.349	1.909		2	12	-31.395	-1.911	3	9	30.583	0.913	
	3	9	-32.572	-1.401		3	5	31.170	1.374	4	1	-30.906	-1.389	
	4	1	32.303	1.808		3	21	-31.397	-1.803	4	18	30.528	0.784	

ENCELADE 2011

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	10	-30.901	-1.264	Nov.	3	21	30.719	1.555	Déc.	3	9	-31.690	-0.308
	6	2	30.511	1.820		4	14	-31.014	-0.767		4	1	31.580	1.048
	6	19	-30.886	-1.138		5	6	30.775	1.416		4	17	-31.711	-1.609
	7	11	30.551	1.698		5	23	-31.002	-0.621		5	10	31.632	0.886
	8	4	-30.861	-1.009		6	15	30.819	1.275		6	2	-31.813	-1.452
	8	20	30.583	1.575		7	8	-30.980	-0.473		6	19	31.672	0.722
	9	13	-30.826	-0.880		8	0	30.856	1.133		7	11	-31.903	-1.292
	10	5	30.603	1.450		8	16	-31.000	-1.654		8	4	31.701	0.557
	10	22	-30.781	-0.748		9	9	30.880	0.987		8	20	-31.981	-1.130
	11	14	30.613	1.323		10	1	-31.073	-1.514		9	13	31.718	0.389
	12	6	-30.745	-1.801		10	18	30.894	0.840		10	5	-32.048	-0.966
12	23	30.613	1.194	11	10	-31.134	-1.371	10	22	31.722	0.219			
13	15	-30.793	-1.677	12	3	30.897	0.691	11	14	-32.103	-0.799			
14	8	30.603	1.064	12	19	-31.187	-1.227	12	6	31.800	1.567			
15	0	-30.830	-1.550	13	12	30.888	0.541	12	23	-32.148	-0.632			
15	17	30.583	0.931	14	4	-31.228	-1.080	13	15	31.903	1.404			
16	9	-30.858	-1.423	14	21	30.869	0.388	14	8	-32.179	-0.461			
17	2	30.553	0.797	15	13	-31.259	-0.931	15	0	31.996	1.238			
17	18	-30.876	-1.292	16	5	30.934	1.615	15	17	-32.197	-0.289			
18	11	30.512	0.660	16	22	-31.278	-0.780	16	9	32.076	1.069			
19	3	-30.885	-1.161	17	14	31.012	1.470	17	2	-32.203	-0.114			
19	19	30.512	1.758	18	7	-31.287	-0.629	17	18	32.145	0.899			
20	12	-30.883	-1.027	18	23	31.078	1.321	18	10	-32.303	-1.481			
21	4	30.566	1.629	19	16	-31.286	-0.474	19	3	32.201	0.726			
21	21	-30.870	-0.892	20	8	31.134	1.171	19	19	-32.411	-1.312			
22	13	30.608	1.498	21	1	-31.272	-0.318	20	12	32.244	0.552			
23	6	-30.848	-0.754	21	17	31.179	1.019	21	4	-32.505	-1.142			
23	22	30.643	1.366	22	9	-31.339	-1.563	21	21	32.273	0.375			
24	15	-30.814	-0.616	23	2	31.214	0.866	22	13	-32.587	-0.969			
25	7	30.666	1.231	23	18	-31.420	-1.414	23	6	32.290	0.199			
25	23	-30.803	-1.731	24	11	31.236	0.709	23	22	-32.655	-0.794			
26	16	30.679	1.095	25	3	-31.493	-1.262	24	14	32.345	1.600			
27	8	-30.862	-1.599	25	20	31.248	0.551	25	7	-32.711	-0.617			
28	1	30.681	0.956	26	12	-31.553	-1.108	25	23	32.465	1.428			
28	17	-30.913	-1.465	27	5	31.248	0.391	26	16	-32.753	-0.438			
29	10	30.673	0.817	27	21	-31.605	-0.952	27	8	32.572	1.253			
30	2	-30.954	-1.329	28	13	31.255	1.675	28	1	-32.784	-0.258			
30	19	30.655	0.674	29	6	-31.644	-0.793	28	17	32.664	1.076			
31	11	-30.984	-1.192	29	22	31.353	1.522	29	10	-32.800	-0.076			
Nov.	1	4	30.626	0.530	30	15	-31.671	-0.633	30	2	32.745	0.897		
1	20	-31.004	-1.051	Déc.	1	7	31.439	1.366	30	18	-32.890	-1.493		
2	12	30.653	1.692	2	0	-31.686	-0.471	31	11	32.811	0.716			
3	5	-31.014	-0.911	2	16	31.516	1.209							

TÉTHYS 2011

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	15	42.070	1.516	Févr.	12	2	-45.127	-2.081	Mars	26	13	46.978	2.468
Janv.	1	14	-42.078	-1.200		13	1	45.260	1.736		27	12	-47.067	-2.166
	2	12	42.172	1.812		14	0	-45.254	-1.398		28	11	47.050	1.851
	3	11	-42.266	-1.498		14	22	45.346	2.041		29	9	-47.030	-2.436
	4	10	42.284	1.168		15	21	-45.428	-1.708		30	8	47.101	2.126
	5	8	-42.376	-1.796		16	20	45.432	1.358		31	7	-47.051	-1.825
	6	7	42.483	1.470		17	18	-45.526	-2.015	Avril	1	5	47.074	2.395
	7	6	-42.469	-1.146		18	17	45.617	1.667		2	4	-47.109	-2.098
	8	4	42.603	1.770		19	16	-45.574	-1.332		3	3	47.045	1.789
	9	3	-42.678	-1.448		20	14	45.725	1.973		4	1	-47.087	-2.363
	10	2	42.679	1.114		21	13	-45.770	-1.640		5	0	47.113	2.060
	11	0	-42.809	-1.751		22	11	45.750	2.272		5	23	-47.006	-1.764
	11	23	42.901	1.419		23	10	-45.888	-1.945		6	21	47.101	2.323
	12	22	-42.863	-1.090		24	9	45.932	1.600		7	20	-47.081	-2.034
	13	20	43.042	1.723		25	7	-45.925	-2.244		8	18	47.005	2.578
	14	19	-43.092	-1.396		26	6	46.059	1.903		9	17	-47.076	-2.294
	15	17	43.103	2.026		27	5	-46.070	-1.572		10	16	47.054	1.997
	16	16	-43.241	-1.701		28	3	46.104	2.201		11	14	-46.987	-2.547
	17	15	43.316	1.364	Mars	1	2	-46.205	-1.874		12	13	47.055	2.255
	18	13	-43.314	-2.007		2	1	46.206	1.532		13	12	-46.990	-1.974
	19	12	43.476	1.670		2	23	-46.258	-2.171		14	10	46.972	2.505
	20	11	-43.505	-1.340		3	22	46.351	1.834		15	9	-47.000	-2.230
	21	9	43.559	1.976		4	21	-46.313	-1.503		16	8	46.924	1.937
	22	8	-43.675	-1.648		5	19	46.414	2.130		17	6	-46.927	-2.478
	23	7	43.723	1.304		6	18	-46.467	-1.803		18	5	46.942	2.191
	24	5	-43.770	-1.956		7	17	46.425	1.466		19	4	-46.832	-1.916
	25	4	43.903	1.613		8	15	-46.538	-2.098		20	2	46.874	2.438
	26	3	-43.910	-1.280		9	14	46.589	1.764		21	1	-46.859	-2.168
	27	1	44.008	1.921		10	12	-46.531	-2.386		22	0	46.729	1.883
	28	0	-44.103	-1.591		11	11	46.671	2.057		22	22	-46.803	-2.411
	28	23	44.117	1.242		12	10	-46.670	-1.735		23	21	46.762	2.132
	29	21	-44.218	-1.899		13	8	46.673	2.343		24	19	-46.665	-2.646
	30	20	44.319	1.555		14	7	-46.761	-2.028		25	18	46.716	2.375
	31	19	-44.300	-1.216		15	6	46.764	1.695		26	17	-46.652	-2.109
Févr.	1	17	44.443	1.863		16	4	-46.772	-2.312		27	15	46.586	2.608
	2	16	-44.514	-1.529		17	3	46.864	1.985		28	14	-46.611	-2.348
	3	15	44.493	1.179		18	2	-46.815	-1.669		29	13	46.530	2.077
	4	13	-44.648	-1.837		19	0	46.882	2.268		30	11	-46.487	-2.579
	5	12	44.721	1.492		19	23	-46.928	-1.958	Mai	1	10	46.501	2.314
	6	10	-44.700	-2.144		20	22	46.870	1.630		2	9	-46.386	-2.054
	7	9	44.867	1.802		21	20	-46.955	-2.239		3	7	46.386	2.543
	8	8	-44.896	-1.464		22	19	46.989	1.916		4	6	-46.364	-2.290
	9	6	44.932	2.108		23	17	-46.900	-2.512		5	5	46.243	2.023
	10	5	-45.051	-1.773		24	16	47.025	2.195		6	3	-46.256	-2.516
	11	4	45.095	1.427		25	15	-47.024	-1.889		7	2	46.227	2.256

TÉTHYS 2011

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	8	1	-46.075	-2.003	Juin	19	12	43.318	2.315	Août	1	0	-40.297	-1.960	
	8	23	46.127	2.481		20	11	-43.165	-2.089		1	22	40.279	2.420	
	9	22	-46.067	-2.234		21	9	43.168	2.516		2	21	-40.249	-2.185	
	10	20	45.947	2.699		22	8	-43.106	-2.295		3	20	40.123	1.931	
	11	19	-45.975	-2.457		23	7	42.937	2.059		4	18	-40.120	-2.409	
	12	18	45.906	2.200		24	5	-42.963	-2.496		5	17	40.079	2.158	
	13	16	-45.805	-2.674		25	4	42.888	2.266		6	16	-39.967	-1.915	
	14	15	45.820	2.423		26	2	-42.736	-2.694		7	14	39.954	2.385	
	15	14	-45.729	-2.180		27	1	42.755	2.468		8	13	-39.929	-2.145	
	16	12	45.656	2.637		28	0	-42.671	-2.245		9	12	39.799	1.885	
	17	11	-45.655	-2.401		28	22	42.539	2.666		10	10	-39.810	-2.374	
	18	10	45.542	2.148		29	21	-42.543	-2.448		11	9	39.766	2.119	
	19	8	-45.499	-2.613		30	20	42.458	2.216		12	8	-39.655	-1.869	
	20	7	45.476	2.368		Juill.	1	18	-42.336		-2.649	13	6	39.655	2.353
	21	6	-45.351	-2.128			2	17	42.337		2.420	14	5	-39.626	-2.105
	22	4	45.328	2.579		3	16	-42.244	-2.197		15	4	39.502	1.842	
23	3	-45.293	-2.345	4	14	42.137	2.620	16	2	-39.520	-2.341				
24	2	45.147	2.098	5	13	-42.131	-2.403	17	1	39.478	2.081				
25	0	-45.153	-2.555	6	12	42.032	2.166	18	0	-39.367	-1.825				
25	23	45.100	2.314	7	10	-41.940	-2.605	18	22	39.378	2.321				
26	22	-44.941	-2.077	8	9	41.924	2.373	19	21	-39.347	-2.068				
27	20	44.969	2.523	9	8	-41.828	-2.149	20	20	39.230	1.798				
28	19	-44.900	-2.292	10	6	41.738	2.577	21	18	-39.249	-2.311				
29	17	44.754	2.726	11	5	-41.730	-2.357	22	17	39.218	2.044				
30	16	-44.775	-2.500	12	4	41.615	2.118	23	16	-39.103	-1.782				
Juin	31	15	44.698	2.261	13	2	-41.551	-2.562	24	14	39.125	2.290			
	1	13	-44.566	-2.703	14	1	41.524	2.329	25	13	-39.096	-2.033			
	2	12	44.583	2.469	15	0	-41.421	-2.100	26	12	38.979	1.755			
	3	11	-44.483	-2.241	15	22	41.352	2.536	27	10	-39.009	-2.282			
	4	9	44.385	2.670	16	21	-41.336	-2.312	28	9	38.976	2.008			
	5	8	-44.375	-2.447	17	20	41.216	2.071	29	8	-38.869	-1.741			
	6	7	44.272	2.209	18	18	-41.169	-2.520	30	6	38.893	2.261			
	7	5	-44.188	-2.649	19	17	41.140	2.285	31	5	-38.872	-1.998			
	8	4	44.169	2.416	20	16	-41.025	-2.052	Sept.	1	4	38.754	1.713		
	9	3	-44.055	-2.190	21	14	40.981	2.496		2	2	-38.793	-2.255		
	10	1	43.989	2.617	22	13	-40.955	-2.268	3	1	38.761	1.974			
	11	0	-43.963	-2.396	23	12	40.834	2.024	4	0	-38.662	-1.700			
	11	23	43.831	2.158	24	10	-40.801	-2.481	4	22	38.686	2.235			
	12	21	-43.790	-2.597	25	9	40.769	2.242	5	21	-38.672	-1.964			
	13	20	43.747	2.365	26	8	-40.651	-2.006	6	20	38.559	1.674			
	14	19	-43.613	-2.139	27	6	40.622	2.457	7	18	-38.603	-2.229			
15	17	43.583	2.566	28	5	-40.591	-2.226	8	17	38.573	1.942				
16	16	-43.537	-2.345	29	4	40.471	1.977	9	16	-38.481	-1.660				
17	15	43.384	2.109	30	2	-40.448	-2.444	10	14	38.507	2.211				
18	13	-43.381	-2.546	31	1	40.416	2.199	11	13	-38.499	-1.931				

TÉTHYS 2011

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.	12	12	38.393	1.635	Oct.	20	6	38.043	2.069	Nov.	27	1	38.911	1.512	
	13	10	-38.435	-2.205		21	5	-38.067	-1.732		28	0	-38.882	-1.105	
	14	9	38.416	1.911		22	4	38.002	1.373		28	22	38.982	1.905	
	15	8	-38.324	-1.620		23	2	-38.066	-2.068		29	21	-39.037	-1.499	
	16	6	38.360	2.188		24	1	38.084	1.710		30	20	38.983	1.071	
	17	5	-38.350	-1.900		25	0	-38.035	-1.363		Déc.	1	18	-39.114	-1.897
	18	4	38.254	1.596		25	22	38.087	2.050			2	17	39.146	1.470
	19	2	-38.297	-2.183		26	21	-38.124	-1.705			3	15	-39.116	-2.296
	20	1	38.285	1.879		27	20	38.057	1.334			4	14	39.232	1.872
	21	0	-38.197	-1.583		28	18	-38.132	-2.049			5	13	-39.282	-1.453
	21	22	38.237	2.165		29	17	38.150	1.681		6	11	39.242	2.276	
	22	21	-38.231	-1.872		30	16	-38.107	-1.324		7	10	-39.372	-1.860	
	23	20	38.141	1.556		31	14	38.164	2.032		8	9	39.407	1.422	
	24	18	-38.189	-2.163		Nov.	1	13	-38.205		-1.675	9	7	-39.389	-2.268
	25	17	38.178	1.849			2	12	38.143		1.297	10	6	39.507	1.832
	26	16	-38.100	-1.546		3	10	-38.225	-2.028		11	5	-39.551	-1.404	
27	14	38.139	2.144	4	9	38.245	1.653	12	3	39.531	2.243				
28	13	-38.143	-1.843	5	8	-38.207	-1.284	13	2	-39.659	-1.820				
29	12	38.053	1.519	6	6	38.273	2.012	14	1	39.690	1.368				
30	10	-38.110	-2.142	7	5	-38.312	-1.644	14	23	-39.689	-2.235				
Oct.	1	9	38.099	1.822	8	4	38.260	1.257	15	22	39.805	1.786			
	2	8	-38.033	-1.509	9	2	-38.343	-2.007	16	21	-39.846	-1.350			
	3	6	38.070	2.125	10	1	38.373	1.622	17	19	39.842	2.206			
	4	5	-38.084	-1.815	11	0	-38.332	-1.243	18	18	-39.972	-1.772			
	5	4	37.996	1.483	11	22	38.410	1.989	19	17	39.991	1.310			
	6	2	-38.056	-2.122	12	21	-38.450	-1.613	20	15	-40.019	-2.195			
	7	1	38.055	1.795	13	20	38.402	1.214	21	14	40.123	1.735			
	8	0	-37.987	-1.471	14	18	-38.493	-1.984	22	13	-40.166	-1.289			
	8	22	38.033	2.107	15	17	38.526	1.587	23	11	40.177	2.162			
	9	21	-38.049	-1.786	16	16	-38.487	-1.200	24	10	-40.305	-1.717			
	10	20	37.970	1.447	17	14	38.573	1.963	25	9	40.317	1.247			
	11	18	-38.031	-2.103	18	13	-38.620	-1.579	26	7	-40.366	-2.148			
	12	17	38.037	1.767	19	12	38.568	1.168	27	6	40.466	1.679			
	13	16	-37.973	-1.436	20	10	-38.673	-1.959	28	5	-40.500	-1.220			
	14	14	38.023	2.088	21	9	38.706	1.551	29	3	40.536	2.113			
	15	13	-38.043	-1.759	22	8	-38.670	-1.155	30	2	-40.657	-1.655			
16	12	37.973	1.410	23	6	38.764	1.935	31	1	40.662	1.177				
17	10	-38.033	-2.085	24	5	-38.815	-1.541	31	23	-40.734	-2.093				
18	9	38.048	1.738	25	4	38.761	1.121	Janv.	1	22	40.827	1.615			
19	8	-37.988	-1.400	26	2	-38.882	-1.930								

DIONÉ 2011

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	20	-53.840	-2.080	Mars	2	9	59.109	3.120	Mai	2	23	-59.490	-2.818
Janv.	1	4	53.753	2.900		3	18	-59.425	-2.911		4	7	59.242	3.510
	2	13	-54.110	-2.719		5	3	59.320	2.816		5	16	-59.369	-3.334
	3	22	54.057	2.631		6	12	-59.591	-2.610		7	1	59.122	3.260
	5	7	-54.392	-2.446		7	21	59.453	2.511		8	10	-59.195	-3.085
	6	16	54.321	2.353		9	5	-59.681	-3.247		9	19	58.928	3.012
	8	1	-54.628	-2.165		10	14	59.581	3.152		11	4	-58.954	-2.837
	9	10	54.545	2.071		11	23	-59.877	-2.946		12	12	58.710	3.510
	10	18	-54.870	-2.815		13	8	59.747	2.853		13	21	-58.805	-3.337
	12	3	54.830	2.724		14	17	-59.992	-2.645		15	6	58.552	3.267
	13	12	-55.174	-2.534		16	2	59.834	2.553		16	15	-58.603	-3.095
	14	21	55.110	2.440		17	10	-60.054	-3.270		18	0	58.329	3.026
	16	6	-55.433	-2.248		18	19	59.935	3.180		19	9	-58.337	-2.854
	17	15	55.343	2.151		20	4	-60.198	-2.975		20	17	58.084	3.507
	18	23	-55.656	-2.904		21	13	60.048	2.883		22	2	-58.155	-3.341
	20	8	55.606	2.814		22	22	-60.262	-2.681		23	11	57.902	3.271
	21	17	-55.969	-2.616		24	7	60.080	2.589		24	20	-57.935	-3.105
	23	2	55.906	2.524		25	15	-60.294	-3.289		26	5	57.656	3.034
	24	11	-56.225	-2.323		27	0	60.157	3.201		27	14	-57.655	-2.869
	25	20	56.152	2.227		28	9	-60.378	-2.999		28	22	57.378	3.507
	27	5	-56.437	-2.025		29	18	60.214	2.912		30	7	-57.446	-3.341
	28	13	56.394	2.894		31	3	-60.385	-2.712		31	16	57.182	3.276
	29	22	-56.751	-2.693	Avril	1	12	60.186	2.623	Juin	2	1	-57.211	-3.111
	31	7	56.687	2.598		2	20	-60.394	-3.305		3	10	56.930	3.045
Févr.	1	16	-57.015	-2.394		4	5	60.223	3.216		4	19	-56.921	-2.882
	3	1	56.929	2.297		5	14	-60.426	-3.022		6	3	56.622	3.505
	4	10	-57.221	-2.091		6	23	60.222	2.935		7	12	-56.682	-3.344
	5	18	57.153	2.965		8	8	-60.375	-2.741		8	21	56.421	3.280
	7	3	-57.507	-2.761		9	17	60.142	2.657		10	6	-56.446	-3.118
	8	12	57.445	2.663		11	1	-60.342	-3.313		11	15	56.169	3.055
	9	21	-57.761	-2.460		12	10	60.157	3.232		13	0	-56.154	-2.890
	11	6	57.672	2.358		13	19	-60.311	-3.039		14	9	55.867	2.827
	12	15	-57.958	-2.153		15	4	60.099	2.958		15	17	-55.885	-3.347
	13	23	57.868	3.027		16	13	-60.208	-2.769		17	2	55.638	3.286
	15	8	-58.227	-2.819		17	21	59.967	3.510		18	11	-55.657	-3.127
	16	17	58.142	2.724		19	6	-60.150	-3.322		19	20	55.390	3.062
	18	2	-58.458	-2.513		20	15	59.938	3.242		21	5	-55.381	-2.903
	19	11	58.354	2.418		22	0	-60.067	-3.056		22	14	55.094	2.837
	20	20	-58.621	-2.208		23	9	59.832	2.979		23	22	-55.082	-3.356
	22	4	58.533	3.079		24	18	-59.904	-2.794		25	7	54.835	3.295
	23	13	-58.866	-2.869		26	2	59.675	3.511		26	16	-54.865	-3.135
	24	22	58.781	2.772		27	11	-59.814	-3.329		28	1	54.605	3.075
	26	7	-59.070	-2.564		28	20	59.594	3.251		29	10	-54.603	-2.913
	27	16	58.956	2.468		30	5	-59.689	-3.073		30	19	54.332	2.852
Mars	1	1	-59.204	-2.258	Mai	1	14	59.431	2.995	Juill.	2	4	-54.301	-2.690

DIONÉ 2011

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	12	54.034	3.309	Sept.	3	3	-49.712	-2.540	Nov.	3	18	48.900	2.219
	4	21	-54.078	-3.150		4	12	49.546	2.484		5	3	-49.080	-1.990
	6	6	53.826	3.090		5	21	-49.605	-2.301		6	12	49.009	1.925
	7	15	-53.839	-2.929		7	6	49.433	2.241		7	21	-49.175	-1.694
	9	0	53.581	2.870		8	15	-49.477	-2.056		9	6	49.096	1.625
	10	9	-53.559	-2.706		10	0	49.296	1.995		10	15	-49.252	-1.390
	11	18	53.297	2.647		11	8	-49.347	-2.634		12	0	49.159	1.318
	13	2	-53.299	-3.170		12	17	49.196	2.581		13	9	-49.304	-1.076
	14	11	53.073	3.113		14	2	-49.291	-2.392		14	17	49.236	2.090
	15	20	-53.094	-2.952		15	11	49.134	2.336		16	2	-49.446	-1.848
	17	5	52.851	2.893		16	20	-49.212	-2.147		17	11	49.380	1.783
	18	14	-52.852	-2.730		18	5	49.048	2.086		18	20	-49.564	-1.537
	19	23	52.596	2.669		19	14	-49.111	-1.892		20	5	49.499	1.467
	21	8	-52.578	-2.505		20	23	48.940	1.830		21	14	-49.662	-1.217
	22	16	52.337	3.144		22	7	-49.026	-2.502		22	23	49.590	1.144
24	1	-52.378	-2.983	23	16	48.888	2.448	24	7	-49.763	-2.014			
25	10	52.153	2.925	25	1	-48.995	-2.250	25	16	49.722	1.948			
26	19	-52.172	-2.760	26	10	48.855	2.195	27	1	-49.937	-1.694			
28	4	51.936	2.702	27	19	-48.944	-1.994	28	10	49.887	1.623			
29	13	-51.938	-2.535	29	4	48.800	1.936	29	19	-50.084	-1.365			
Août	30	22	51.688	2.475	Oct.	30	13	-48.875	-1.733	Déc.	1	4	50.027	1.290
	1	6	-51.700	-3.022		1	22	48.724	1.670		2	13	-50.205	-1.032
	2	15	51.487	2.968		3	6	-48.833	-2.374		3	22	50.142	0.950
	4	0	-51.529	-2.800		4	15	48.713	2.317		5	6	-50.364	-1.858
	5	9	51.315	2.745		6	0	-48.834	-2.114		6	15	50.333	1.783
	6	18	-51.330	-2.576		7	9	48.711	2.055		8	0	-50.561	-1.519
	8	3	51.114	2.516		8	18	-48.813	-1.848		9	9	50.516	1.444
	9	12	-51.106	-2.345		10	3	48.688	1.785		10	18	-50.728	-1.174
	10	21	50.880	2.284		11	12	-48.775	-1.574		12	3	50.677	1.095
	12	5	-50.929	-2.854		12	21	48.640	1.508		13	12	-50.867	-0.818
	13	14	50.729	2.799		14	5	-48.781	-2.249		14	20	50.833	1.949
	14	23	-50.778	-2.627		15	14	48.668	2.189		16	5	-51.088	-1.676
	16	8	50.571	2.571		16	23	-48.815	-1.978		17	14	51.063	1.597
	17	17	-50.597	-2.396		18	8	48.698	1.916		18	23	-51.298	-1.320
	19	2	50.386	2.337		19	17	-48.826	-1.697		20	8	51.266	1.237
20	11	-50.392	-2.161	21	2	48.708	1.636	21	17	-51.478	-0.954			
21	19	50.193	2.866	22	11	-48.812	-1.413	23	2	51.438	0.872			
23	4	-50.265	-2.694	23	20	48.695	1.349	24	10	-51.665	-1.829			
24	13	50.079	2.637	25	4	-48.858	-2.121	25	19	51.662	1.751			
25	22	-50.134	-2.460	26	13	48.774	2.060	27	4	-51.915	-1.463			
27	7	49.937	2.404	27	22	-48.926	-1.838	28	13	51.904	1.379			
28	16	-49.977	-2.222	29	7	48.828	1.775	29	22	-52.137	-1.091			
30	1	49.777	2.165	30	16	-48.970	-1.548	31	7	52.107	0.997			
31	9	-49.799	-2.772	Nov.	1	1	48.865	1.481						
Sept.	1	18	49.637		2.721	2	10	-48.990	-1.250					

RHÉA 2011

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	22	75.234	2.957	Avril	12	12	-84.181	-4.018	Juill.	23	4	73.161	3.224
Janv.	3	4	-75.593	-3.095		14	19	84.032	3.486		25	10	-72.968	-3.319
	5	10	75.811	3.315		17	1	-84.036	-3.592		27	16	72.667	3.471
	7	17	-76.165	-2.673		19	7	83.890	3.755		29	22	-72.469	-3.565
	9	23	76.427	2.893		21	13	-83.841	-3.857	Août	1	5	72.160	3.118
	12	5	-76.801	-3.035		23	19	83.655	4.020		3	11	-71.976	-3.215
	14	11	77.015	3.249		26	1	-83.577	-4.111		5	17	71.710	3.375
	16	18	-77.373	-2.596		28	8	83.344	3.604		7	23	-71.530	-3.476
	19	0	77.640	2.815		30	14	-83.243	-3.702		10	6	71.235	3.019
	21	6	-78.018	-2.951	Mai	2	20	83.045	3.860		12	12	-71.099	-3.125
	23	12	78.250	3.170		5	2	-82.914	-3.951		14	18	70.841	3.292
	25	18	-78.601	-3.312		7	8	82.640	4.103		17	0	-70.678	-3.397
	28	1	78.850	2.716		9	14	-82.492	-4.189		19	7	70.433	2.934
	30	7	-79.222	-2.854		11	21	82.204	3.711		21	13	-70.312	-3.048
Févr.	1	13	79.454	3.073		14	3	-82.041	-3.797		23	19	70.080	3.219
	3	19	-79.817	-3.209		16	9	81.758	3.947		26	1	-69.936	-3.336
	6	1	80.026	3.427		18	15	-81.575	-4.035		28	8	69.735	2.863
	8	8	-80.362	-2.739		20	21	81.254	4.173		30	14	-69.644	-2.980
	10	14	80.598	2.958		23	3	-81.030	-4.256	Sept.	1	20	69.429	3.167
	12	20	-80.952	-3.094		25	10	80.721	3.800		4	3	-69.321	-2.612
	15	2	81.140	3.300		27	16	-80.520	-3.882		6	9	69.159	2.805
	17	8	-81.457	-3.436		29	22	80.190	4.022		8	15	-69.090	-2.932
	19	15	81.627	2.830	Juin	1	4	-79.940	-4.104		10	21	68.879	3.124
	21	21	-81.957	-2.958		3	10	79.593	4.241		13	4	-68.846	-2.561
	24	3	82.134	3.167		5	17	-79.365	-3.738		15	10	68.694	2.762
	26	9	-82.419	-3.298		7	23	79.019	3.876		17	16	-68.646	-2.893
	28	15	82.577	3.500		10	5	-78.787	-3.958		19	23	68.489	2.381
Mars	2	21	-82.828	-3.625		12	11	78.422	4.095		22	5	-68.478	-2.522
	5	4	82.941	3.025		14	17	-78.152	-4.170		24	11	68.357	2.729
	7	10	-83.210	-3.149		17	0	77.815	3.735		26	17	-68.326	-2.875
	9	16	83.326	3.353		19	6	-77.578	-3.819		29	0	68.220	2.348
	11	22	-83.537	-3.468		21	12	77.222	3.951	Oct.	1	6	-68.245	-2.493
	14	4	83.606	3.667		23	18	-76.952	-4.034		3	12	68.137	2.718
	16	10	-83.798	-3.786		26	1	76.596	3.600		5	19	-68.144	-2.097
	18	17	83.834	3.194		28	7	-76.369	-3.682		8	1	68.084	2.326
	20	23	-84.010	-3.315		30	13	76.022	3.820		10	7	-68.134	-2.483
	23	5	84.044	3.508	Juill.	2	19	-75.751	-3.902		12	13	68.031	2.712
	25	11	-84.186	-3.618		5	2	75.406	3.469		14	20	-68.113	-2.079
	27	17	84.168	3.802		7	8	-75.183	-3.554		17	2	68.069	2.318
	29	23	-84.252	-3.913		9	14	74.834	3.694		19	8	-68.141	-2.478
Avril	1	6	84.220	3.349		11	20	-74.604	-3.781		21	15	68.095	1.900
	3	12	-84.300	-3.460		14	3	74.248	3.345		23	21	-68.200	-2.071
	5	18	84.235	3.641		16	9	-74.037	-3.430		26	3	68.187	2.315
	8	0	-84.290	-3.746		18	15	73.718	3.577		28	9	-68.276	-2.488
	10	6	84.187	3.921		20	21	-73.496	-3.670		30	16	68.282	1.892

RHÉA 2011

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.	1	22	-68.426	-2.066	Nov.	24	13	-69.523	-1.609	Déc.	17	4	-71.385	-1.043
	4	4	68.424	2.326		26	19	69.624	1.883		19	10	71.559	1.336
	6	11	-68.558	-1.625		29	1	-69.836	-2.079		21	16	-71.879	-1.533
	8	17	68.602	1.889	Déc.	1	8	69.932	1.398		23	22	72.029	1.828
	10	23	-68.773	-2.073		3	14	-70.201	-1.592		26	5	-72.325	-0.985
	13	5	68.783	2.334		5	20	70.309	1.881		28	11	72.537	1.278
	15	12	-68.982	-1.618		8	2	-70.549	-2.073		30	17	-72.871	-1.480
	17	18	69.046	1.889		10	9	70.692	1.372	Janv.	1	23	73.031	1.780
	20	0	-69.243	-2.073		12	15	-70.985	-1.575		4	6	-73.371	-0.906
	22	7	69.299	1.416		14	21	71.111	1.857					

TITAN 2011

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	8	-177.203	-6.328	Mai	7	16	-194.381	-8.888	Sept.	12	11	-162.233	-5.807	
	Janv.	8	11	173.740		7.282	15	18	186.915		9.897	20	14	156.098	6.720
		16	8	-182.230		-5.918	23	14	-190.389		-8.937	28	11	-160.958	-5.490
Févr.	24	10	178.621	7.368	Juin	31	16	182.698	9.894	Oct.	6	15	155.116	5.974	
	1	6	-187.279	-6.454		8	13	-185.656	-8.584		14	12	-160.648	-4.744	
		9	8	183.364		7.890		16	15		177.946	9.518		22	15
Mars	17	4	-191.881	-6.903		24	11	-180.657	-8.619		30	13	-161.301	-4.001	
	25	6	187.497	8.293	Juill.	2	14	173.067	9.190	Nov.	7	16	155.965	5.066	
	5	2	-195.547	-7.257		10	11	-175.770	-7.936		15	14	-162.918	-3.227	
	13	4	190.544	8.579		18	13	168.408	8.932		23	16	157.788	4.910	
	Avril	21	0	-197.814	-7.529	Août	26	10	-171.311	-7.687	Déc.	1	14	-165.480	-3.004
29		2	192.091	8.774	3		13	164.234	8.364	9		17	160.513	4.046	
5		21	-198.376	-8.218	11		10	-167.480	-7.127	17		14	-168.909	-2.722	
13		23	191.948	9.382	19		13	160.718	7.882	25	17	164.047	3.718		
21		19	-197.169	-8.363	27		10	-164.421	-6.648	Janv.	2	14	-173.089	-2.322	
		29	21	190.132	9.445		Sept.	4	14		157.977	7.038			

HYPÉRION 2011**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.	27	22	221.254	3.698	Mai	4	16	244.935	7.082	Sept.	9	6	205.281	4.555
Janv.	8	2	-203.463	-7.684		15	16	-217.734	-9.823		20	5	-179.742	-6.123
	18	8	229.689	3.479		25	21	238.163	7.215		30	14	203.140	3.306
	29	11	-211.475	-8.155	Juin	5	22	-211.542	-9.619	Oct.	11	12	-178.649	-5.461
Févr.	8	18	237.964	3.473		16	3	229.792	7.237		21	22	203.325	2.514
	19	19	-217.622	-7.901		27	2	-203.017	-9.339	Nov.	1	18	-178.517	-4.701
Mars	2	1	245.257	4.165	Juill.	7	9	222.083	6.795		12	6	206.381	1.732
	13	1	-222.405	-8.788		18	9	-195.239	-8.465		23	2	-180.581	-3.755
	23	6	248.864	5.267		28	15	214.661	6.146	Déc.	3	13	210.540	1.109
Avril	3	7	-225.086	-9.426	Août	8	15	-189.198	-8.127		14	9	-185.176	-3.006
	13	12	248.393	6.160		18	23	208.717	5.250		24	21	216.973	0.237
	24	11	-222.695	-9.701		29	21	-183.412	-7.230	Janv.	4	15	-190.490	-2.066

JAPET 2011**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.	4	4	-499.667	116.349	Juin	9	23	-520.516	108.528	Nov.	18	22	-456.249	112.089
Févr.	13	14	532.619	-117.614	Juill.	20	15	486.153	-97.433	Déc.	30	6	473.333	-114.272
Mars	23	21	-555.410	124.872	Août	29	7	-460.233	101.540					
Mai	2	12	549.410	-111.959	Oct.	9	21	446.695	-98.943					

SATELLITES D'URANUS

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

MIRANDA	II. 138
ARIEL	II. 142
UMBRIEL	II. 145
TITANIA	II. 147
OBÉRON	II. 148

MIRANDA 2011

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	16	3.344	-6.301	Févr.	1	11	-3.353	6.423	Mars	5	7	3.445	-5.620
	1	9	-3.331	6.231		2	4	3.365	-6.414		6	0	-3.437	5.550
Janv.	2	2	3.340	-6.216		2	21	-3.355	6.346		6	17	3.448	-5.534
	2	19	-3.327	6.148		3	14	3.367	-6.334		7	10	-3.439	5.461
	3	11	3.338	-7.076		4	7	-3.358	6.269		8	3	3.451	-5.448
	4	4	-3.329	7.019		5	0	3.370	-6.254		8	20	-3.441	5.372
	4	21	3.340	-7.005		5	17	-3.360	6.189		9	12	3.455	-6.382
	5	14	-3.332	6.947		6	10	3.372	-6.173		10	5	-3.449	6.318
	6	7	3.342	-6.935		7	3	-3.363	6.110		10	22	3.465	-6.306
	7	0	-3.334	6.873		7	20	3.373	-6.090		11	15	-3.458	6.245
	7	17	3.344	-6.862		8	13	-3.364	6.027		12	8	3.474	-6.229
	8	10	-3.335	6.798		9	6	3.374	-6.008		13	1	-3.467	6.168
	9	3	3.346	-6.789		9	23	-3.366	5.942		13	18	3.482	-6.151
	9	20	-3.336	6.723		10	16	3.376	-5.927		14	11	-3.476	6.092
	10	13	3.347	-6.714		11	9	-3.367	5.857		15	4	3.489	-6.073
	11	6	-3.337	6.646		12	2	3.377	-5.842		15	21	-3.484	6.012
	11	23	3.348	-6.636		12	19	-3.367	5.770		16	14	3.497	-5.994
	12	16	-3.337	6.572		13	12	3.378	-5.758		17	7	-3.492	5.931
	13	9	3.348	-6.557		14	5	-3.367	5.684		18	0	3.505	-5.916
	14	2	-3.337	6.493		14	22	3.378	-5.671		18	17	-3.499	5.848
	14	19	3.347	-6.477		15	14	-3.370	6.587		19	10	3.512	-5.834
	15	12	-3.338	6.415		16	7	3.385	-6.576		20	3	-3.505	5.765
	16	5	3.347	-6.398		17	0	-3.378	6.517		20	20	3.519	-5.752
	16	22	-3.337	6.334		17	17	3.392	-6.502		21	13	-3.511	5.682
	17	15	3.346	-6.317		18	10	-3.385	6.443		22	6	3.525	-5.667
	18	8	-3.336	6.251		19	3	3.398	-6.426		22	23	-3.517	5.597
	19	1	3.345	-6.238		19	20	-3.391	6.368		23	16	3.531	-5.581
	19	18	-3.335	6.167		20	13	3.404	-6.351		24	9	-3.523	5.514
	20	11	3.344	-6.155		21	6	-3.398	6.291		25	2	3.536	-5.493
	21	4	-3.333	6.082		21	23	3.410	-6.275		25	19	-3.528	5.426
	21	21	3.342	-6.071		22	16	-3.403	6.212		26	12	3.541	-5.405
	22	14	-3.330	5.999		23	9	3.416	-6.199		27	5	-3.533	5.338
	23	7	3.340	-5.986		24	2	-3.408	6.132		27	22	3.545	-5.318
	23	23	-3.328	6.868		24	19	3.421	-6.120		28	15	-3.537	5.248
	24	16	3.341	-6.857		25	12	-3.413	6.051		29	8	3.549	-5.228
	25	9	-3.333	6.800		26	5	3.426	-6.040		30	1	-3.541	5.156
	26	2	3.346	-6.784		26	22	-3.417	5.972		30	18	3.553	-5.140
	26	19	-3.338	6.727		27	15	3.431	-5.957		31	10	-3.548	6.136
	27	12	3.350	-6.712		28	8	-3.422	5.890	Avril	1	3	3.564	-6.125
	28	5	-3.343	6.654	Mars	1	1	3.435	-5.874		1	20	-3.559	6.058
	28	22	3.353	-6.639		1	18	-3.427	5.809		2	13	3.575	-6.046
	29	15	-3.347	6.578		2	11	3.438	-5.789		3	6	-3.569	5.982
	30	8	3.357	-6.565		3	4	-3.430	5.724		3	23	3.586	-5.966
	31	1	-3.350	6.501		3	21	3.442	-5.704		4	16	-3.579	5.902
	31	18	3.361	-6.491		4	14	-3.434	5.638		5	9	3.595	-5.885

MIRANDA 2011

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	6	2	-3.589	5.824	Mai	7	22	3.781	-5.003	Juin	8	17	-3.963	5.303
	6	19	3.604	-5.803		8	15	-3.772	4.929		9	10	3.978	-5.287
	7	12	-3.599	5.741		9	8	3.786	-4.907		10	3	-3.969	5.211
	8	5	3.613	-5.720		10	1	-3.776	4.834		10	20	3.985	-5.194
	8	22	-3.607	5.656		10	18	3.790	-4.811		11	13	-3.975	5.118
	9	15	3.621	-5.639		11	10	-3.785	5.893		12	6	3.991	-5.099
	10	8	-3.615	5.570		12	3	3.802	-5.872		12	23	-3.981	5.027
	11	1	3.629	-5.554		12	20	-3.798	5.811		13	16	3.996	-5.003
	11	18	-3.623	5.484		13	13	3.814	-5.791		14	9	-3.985	4.931
	12	11	3.637	-5.470		14	6	-3.810	5.727		15	2	3.999	-4.906
	13	4	-3.629	5.396		14	23	3.825	-5.710		15	19	-3.989	4.836
	13	21	3.644	-5.382		15	16	-3.821	5.642		16	12	4.002	-4.810
14	14	-3.636	5.308	16	9	3.837	-5.626	17	5	-3.992	4.737			
15	7	3.651	-5.292	17	2	-3.831	5.555	17	21	4.004	-5.920			
16	0	-3.642	5.222	17	19	3.847	-5.541	18	14	-4.000	5.856			
16	17	3.657	-5.200	18	12	-3.840	5.469	19	7	4.016	-5.840			
17	10	-3.648	5.131	19	5	3.857	-5.453	20	0	-4.011	5.770			
18	3	3.662	-5.109	19	22	-3.849	5.381	20	17	4.027	-5.754			
18	20	-3.653	5.040	20	15	3.866	-5.363	21	10	-4.021	5.683			
19	13	3.666	-5.017	21	8	-3.858	5.295	22	3	4.038	-5.668			
20	6	-3.658	4.946	22	1	3.874	-5.272	22	20	-4.030	5.597			
20	22	3.671	-6.030	22	18	-3.866	5.204	23	13	4.047	-5.579			
21	15	-3.668	5.968	23	11	3.881	-5.180	24	6	-4.038	5.509			
22	8	3.684	-5.954	24	4	-3.873	5.112	24	23	4.055	-5.489			
23	1	-3.679	5.888	24	21	3.887	-5.089	25	16	-4.046	5.422			
23	18	3.696	-5.874	25	14	-3.879	5.018	26	9	4.061	-5.397			
24	11	-3.691	5.806	26	7	3.892	-4.996	27	2	-4.053	5.330			
25	4	3.707	-5.793	27	0	-3.884	4.922	27	19	4.067	-5.305			
25	21	-3.701	5.725	27	17	3.898	-4.905	28	12	-4.058	5.237			
26	14	3.718	-5.709	28	10	-3.888	4.825	29	5	4.072	-5.213			
27	7	-3.711	5.642	29	3	3.902	-4.808	29	22	-4.063	5.141			
28	0	3.728	-5.624	29	20	-3.892	4.728	30	15	4.076	-5.119			
28	17	-3.721	5.560	30	12	3.908	-5.892	Juill.	1	8	-4.066	5.045		
29	10	3.737	-5.537	31	5	-3.902	5.826		2	1	4.079	-5.026		
30	3	-3.731	5.473	31	22	3.921	-5.808		2	18	-4.068	4.947		
Mai	30	20	3.746	-5.451	Juin	1	15	-3.914	5.742	3	11	4.081	-4.929	
	1	13	-3.740	5.385		2	8	3.932	-5.723	4	4	-4.069	4.849	
	2	6	3.754	-5.365		3	1	-3.926	5.660	4	21	4.082	-4.830	
	2	23	-3.748	5.295		3	18	3.942	-5.637	5	14	-4.069	4.752	
	3	16	3.761	-5.276		4	11	-3.937	5.573	6	6	4.087	-5.963	
	4	9	-3.755	5.204		5	4	3.952	-5.550	6	23	-4.079	5.898	
	5	2	3.769	-5.188		5	21	-3.946	5.485	7	16	4.096	-5.877	
	5	19	-3.761	5.112		6	14	3.961	-5.465	8	9	-4.089	5.815	
	6	12	3.776	-5.097		7	7	-3.955	5.394	9	2	4.105	-5.790	
	7	5	-3.766	5.020		8	0	3.970	-5.376	9	19	-4.097	5.727	

MIRANDA 2011

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.	10	12	4.112	-5.703	Août	11	7	-4.153	6.091	Sept.	12	2	4.120	-6.514
	11	5	-4.105	5.637		12	0	4.168	-6.067		12	19	-4.107	6.448
	11	22	4.119	-5.617		12	17	-4.158	6.005		13	12	4.120	-6.429
	12	15	-4.111	5.545		13	10	4.171	-5.980		14	5	-4.107	6.366
	13	8	4.125	-5.527		14	3	-4.161	5.917		14	22	4.120	-6.342
	14	1	-4.115	5.453		14	20	4.173	-5.892		15	15	-4.106	6.280
	14	18	4.130	-5.436		15	13	-4.162	5.825		16	8	4.118	-6.255
	15	11	-4.119	5.361		16	6	4.174	-5.806		17	1	-4.104	6.194
	16	4	4.134	-5.343		16	23	-4.162	5.733		17	18	4.114	-6.168
	16	21	-4.121	5.267		17	16	4.174	-5.714		18	11	-4.101	6.104
17	14	4.136	-5.247	18	9	-4.161	5.640	19	4	4.110	-6.079			
18	7	-4.123	5.175	19	2	4.173	-5.623	19	21	-4.096	6.013			
19	0	4.137	-5.149	19	19	-4.158	5.548	20	14	4.105	-5.993			
19	17	-4.124	5.079	20	12	4.171	-5.528	21	7	-4.090	5.920			
20	10	4.136	-5.052	21	5	-4.155	5.454	22	0	4.099	-5.901			
21	3	-4.124	4.981	21	22	4.167	-5.431	22	17	-4.082	5.827			
21	20	4.135	-4.955	22	15	-4.151	5.361	23	10	4.091	-5.808			
22	13	-4.122	4.881	23	8	4.161	-5.333	24	3	-4.073	5.735			
23	5	4.134	-6.098	24	1	-4.145	5.264	24	20	4.083	-5.713			
23	22	-4.127	6.033	24	18	4.154	-5.235	25	13	-4.064	5.641			
24	15	4.143	-6.016	25	11	-4.139	5.165	26	6	4.072	-5.616			
25	8	-4.134	5.946	26	3	4.151	-6.379	26	23	-4.054	5.548			
26	1	4.150	-5.930	26	20	-4.142	6.316	27	15	4.063	-6.711			
26	18	-4.140	5.859	27	13	4.155	-6.295	28	8	-4.051	6.654			
27	11	4.156	-5.842	28	6	-4.145	6.230	29	1	4.062	-6.629			
28	4	-4.145	5.772	28	23	4.157	-6.213	29	18	-4.050	6.570			
28	21	4.161	-5.752	29	16	-4.145	6.142	30	11	4.061	-6.548			
29	14	-4.149	5.683	30	9	4.158	-6.125	Oct.	1	4	-4.048	6.485		
30	7	4.164	-5.661	31	2	-4.145	6.054		1	21	4.058	-6.464		
31	0	-4.153	5.595	31	19	4.158	-6.036		2	14	-4.045	6.398		
Août	31	17	4.166	-5.568	Sept.	1	12	-4.144	5.968	3	7	4.055	-6.380	
	1	10	-4.155	5.502		2	5	4.157	-5.945	4	0	-4.040	6.311	
	2	3	4.167	-5.475		2	22	-4.142	5.878	4	17	4.050	-6.293	
	2	20	-4.156	5.407		3	15	4.153	-5.853	5	10	-4.034	6.223	
	3	13	4.167	-5.384		4	8	-4.139	5.788	6	3	4.045	-6.203	
	4	6	-4.155	5.311		5	1	4.148	-5.761	6	20	-4.028	6.137	
	4	23	4.166	-5.289		5	18	-4.134	5.695	7	13	4.037	-6.112	
	5	16	-4.153	5.213		6	11	4.143	-5.667	8	6	-4.020	6.046	
	6	9	4.164	-5.195		7	4	-4.128	5.599	8	23	4.029	-6.020	
	7	2	-4.149	5.115		7	21	4.136	-5.576	9	16	-4.013	5.957	
7	19	4.161	-5.096	8	14	-4.121	5.502	10	9	4.019	-5.928			
8	12	-4.145	5.016	9	7	4.129	-5.480	11	2	-4.003	5.863			
9	4	4.158	-6.240	10	0	-4.112	5.404	11	19	4.009	-5.836			
9	21	-4.147	6.176	10	17	4.120	-5.385	12	12	-3.992	5.768			
10	14	4.164	-6.154	11	9	-4.106	6.531	13	5	3.998	-5.745			

MIRANDA 2011

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.	13 21	-3.980	6.831	Nov.	9 18	-3.869	6.319	Déc.	6 14	-3.746	6.826
	14 14	3.991	-6.813		10 11	3.878	-6.297		7 7	3.756	-6.799
	15 7	-3.979	6.749		11 4	-3.861	6.234		8 0	-3.745	6.747
	16 0	3.990	-6.732		11 21	3.869	-6.207		8 17	3.755	-6.720
	16 17	-3.976	6.668		12 14	-3.853	6.145		9 10	-3.744	6.665
	17 10	3.988	-6.649		13 7	3.860	-6.116		10 3	3.753	-6.643
	18 3	-3.973	6.585		14 0	-3.844	6.055		10 20	-3.741	6.582
	18 20	3.984	-6.563		14 17	3.850	-6.027		11 13	3.751	-6.561
	19 13	-3.969	6.503		15 10	-3.834	5.963		12 6	-3.738	6.499
	20 6	3.978	-6.477		16 3	3.839	-5.935		12 23	3.748	-6.479
	20 23	-3.963	6.417		16 20	-3.823	5.870		13 16	-3.734	6.416
	21 16	3.972	-6.390		17 12	3.830	-6.934		14 9	3.745	-6.394
	22 9	-3.958	6.330	18 5	-3.818	6.873	15 2	-3.730	6.332		
	23 2	3.965	-6.304	18 22	3.829	-6.855	15 19	3.741	-6.308		
	23 19	-3.950	6.241	19 15	-3.816	6.793	16 12	-3.726	6.250		
	24 12	3.957	-6.216	20 8	3.827	-6.774	17 5	3.735	-6.221		
25 5	-3.942	6.150	21 1	-3.813	6.714	17 22	-3.722	6.163			
25 22	3.949	-6.129	21 18	3.824	-6.692	18 15	3.730	-6.133			
26 15	-3.932	6.058	22 11	-3.810	6.632	19 8	-3.716	6.076			
27 8	3.940	-6.037	23 4	3.820	-6.608	20 1	3.724	-6.047			
28 1	-3.922	5.966	23 21	-3.806	6.551	20 18	-3.710	5.986			
28 18	3.929	-5.945	24 14	3.815	-6.523	21 11	3.717	-5.958			
29 11	-3.911	5.875	25 7	-3.801	6.467	22 4	-3.704	5.895			
30 4	3.918	-5.850	26 0	3.810	-6.438	22 21	3.711	-5.871			
30 20	-3.899	6.906	26 17	-3.796	6.381	23 14	-3.696	5.803			
31 13	3.911	-6.883	27 10	3.803	-6.355	24 7	3.704	-5.780			
Nov.	1 6	-3.898	6.828	28 3	-3.790	6.293	24 23	-3.690	6.756		
	1 23	3.909	-6.802	28 20	3.797	-6.268	25 16	3.703	-6.737		
	2 16	-3.896	6.747	29 13	-3.782	6.204	26 9	-3.691	6.680		
	3 9	3.905	-6.720	30 6	3.790	-6.183	27 2	3.704	-6.657		
4 2	-3.893	6.663	Déc.	30 23	-3.774	6.115	27 19	-3.692	6.602		
4 19	3.901	-6.640		1 16	3.782	-6.093	28 12	3.704	-6.577		
5 12	-3.888	6.578		2 9	-3.766	6.025	29 5	-3.692	6.524		
6 5	3.897	-6.556		3 2	3.774	-6.002	29 22	3.703	-6.495		
6 22	-3.883	6.492		3 19	-3.757	5.937	30 15	-3.692	6.443		
7 15	3.892	-6.473	4 12	3.765	-5.910	Janv.	31 8	3.680	-6.440		
8 8	-3.876	6.406	5 5	-3.748	5.846		1 1	-3.670	6.388		
9 1	3.885	-6.386	5 21	3.758	-6.878						

ARIEL 2011

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	13	-4.036	10.673	Févr.	26	7	4.157	-9.598	Avril	24	1	-4.548	8.597	
	Janv.	1	19	4.040		-10.858	27	13	-4.151		9.741	25	7	4.563	-8.845
	3	2	-4.031	10.293		28	20	4.168	-9.182		26	14	-4.568	8.127	
	4	8	4.042	-10.492	Mars	2	2	-4.168	9.337		27	20	4.590	-8.391	
	5	14	-4.032	10.622			3	8	4.182	-9.555		29	2	-4.590	8.574
	6	20	4.035	-10.797		4	14	-4.176	9.707	Mai	30	9	4.606	-7.908	
	8	3	-4.030	10.242		5	21	4.195	-9.136			1	15	-4.612	8.111
	9	9	4.039	-10.432		7	3	-4.196	9.302			2	21	4.633	-8.365
	10	15	-4.030	10.564		8	9	4.209	-9.513			4	3	-4.633	8.562
	11	21	4.034	-10.745		9	16	-4.207	8.870			5	10	4.649	-7.883
	13	4	-4.029	10.182		10	22	4.227	-9.101		6	16	-4.656	8.087	
	14	10	4.040	-10.380		12	4	-4.225	9.260		7	22	4.676	-8.353	
	15	16	-4.030	10.507		13	10	4.239	-9.481		9	4	-4.675	8.541	
	16	23	4.037	-9.987		14	17	-4.239	8.828		10	11	4.694	-7.868	
	18	5	-4.034	10.132		15	23	4.259	-9.062		11	17	-4.698	8.066	
	19	11	4.043	-10.323		17	5	-4.258	9.229		12	23	4.719	-8.334	
	20	17	-4.035	10.455		18	11	4.269	-9.444		14	5	-4.718	8.533	
	22	0	4.042	-9.933		19	18	-4.274	8.796		15	12	4.736	-7.845	
	23	6	-4.040	10.075		21	0	4.291	-9.025		16	18	-4.742	8.055	
	24	12	4.049	-10.273		22	6	-4.291	9.193		18	0	4.761	-8.318	
	25	18	-4.039	10.401		23	13	4.305	-8.585		19	6	-4.760	8.518	
	27	1	4.052	-9.881		24	19	-4.309	8.759		20	13	4.780	-7.833	
	28	7	-4.047	10.023		26	1	4.328	-8.995		21	19	-4.783	8.037	
	29	13	4.058	-10.218		27	7	-4.325	9.161		23	1	4.804	-8.309	
	30	19	-4.049	10.351		28	14	4.343	-8.547		24	7	-4.800	8.506	
Févr.	1	2	4.062	-9.829		29	20	-4.347	8.729		25	14	4.822	-7.814	
	2	8	-4.059	9.972	Avril	31	2	4.363	-8.963		26	20	-4.826	8.028	
	3	14	4.068	-10.169			1	8	-4.362	9.133		28	2	4.843	-8.296
	4	21	-4.061	9.567			2	15	4.381	-8.517		29	8	-4.842	8.500
	6	3	4.077	-9.780			3	21	-4.385	8.696		30	15	4.861	-7.802
	7	9	-4.072	9.924			5	3	4.402	-8.936	Juin	31	21	-4.866	8.013
8	15	4.082	-10.119			6	9	-4.398	9.107			2	3	4.884	-8.290
9	22	-4.077	9.520		7	16	4.422	-8.486		3		9	-4.879	8.493	
11	4	4.093	-9.728		8	22	-4.424	8.670		4		16	4.902	-7.790	
12	10	-4.089	9.876		10	4	4.441	-8.907		5		22	-4.904	8.005	
	13	16	4.098	-10.074		11	11	-4.440	8.207		7	4	4.922	-8.278	
	14	23	-4.097	9.469		12	17	4.463	-8.461		8	10	-4.918	8.488	
	16	5	4.112	-9.686		13	23	-4.465	8.642		9	17	4.938	-7.781	
	17	11	-4.107	9.827		15	5	4.481	-8.886		10	23	-4.942	7.994	
	18	18	4.117	-9.268		16	12	-4.482	8.176		12	5	4.958	-8.277	
	20	0	-4.118	9.428		17	18	4.505	-8.434		13	11	-4.954	8.481	
	21	6	4.133	-9.636		19	0	-4.506	8.621		14	18	4.975	-7.772	
	22	12	-4.128	9.788		20	6	4.522	-8.861		16	0	-4.976	7.991	
	23	19	4.141	-9.220		21	13	-4.525	8.156		17	6	4.993	-8.269	
	25	1	-4.142	9.382		22	19	4.547	-8.407		18	12	-4.988	8.483	

ARIEL 2011

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	19 19	5.008	-7.760	Août	15 11	-5.166	9.020	Oct.	11 4	4.936	-9.250
	21 1	-5.009	7.984		16 18	5.179	-8.277		12 10	-4.918	9.460
	22 7	5.026	-8.271		18 0	-5.170	8.510		13 16	4.918	-9.723
	23 13	-5.020	8.478		19 6	5.177	-8.806		14 23	-4.896	8.953
	24 20	5.039	-7.760		20 12	-5.162	9.020		16 5	4.901	-9.234
	26 2	-5.040	7.976		21 19	5.170	-8.285		17 11	-4.885	9.436
	27 8	5.056	-8.267		23 1	-5.161	8.508		18 17	4.885	-9.706
	28 14	-5.050	8.483		24 7	5.169	-8.806		19 23	-4.863	9.894
	29 21	5.067	-7.749		25 13	-5.153	9.030		21 6	4.866	-9.210
Juill.	1 3	-5.068	7.980		26 20	5.158	-8.280		22 12	-4.850	9.418
	2 9	5.083	-8.261		28 2	-5.149	8.515		23 18	4.851	-9.676
	3 15	-5.077	8.481		29 8	5.156	-8.804		25 0	-4.830	9.874
	4 22	5.093	-7.752		30 14	-5.141	9.029		26 7	4.830	-9.181
	6 4	-5.092	7.971		31 20	5.142	-9.314		27 13	-4.816	9.388
	7 10	5.109	-8.268	Sept.	2 3	-5.132	8.509		28 19	4.818	-9.653
	8 16	-5.101	8.480		3 9	5.140	-8.811		30 1	-4.797	9.840
	9 23	5.116	-7.745		4 15	-5.124	9.025		31 8	4.796	-9.158
	11 5	-5.115	7.977		5 21	5.126	-9.313	Nov.	1 14	-4.781	9.355
	12 11	5.129	-8.263		7 4	-5.112	8.514		2 20	4.784	-9.620
	13 17	-5.123	8.489		8 10	5.120	-8.804		4 2	-4.765	9.814
	15 0	5.134	-7.740		9 16	-5.106	9.031		5 8	4.761	-10.054
	16 6	-5.133	7.972		10 22	5.106	-9.307		6 15	-4.748	9.329
	17 12	5.148	-8.270		12 5	-5.089	8.507		7 21	4.751	-9.583
	18 18	-5.140	8.488		13 11	5.098	-8.806		9 3	-4.733	9.776
	20 1	5.150	-7.742		14 17	-5.082	9.021		10 9	4.731	-10.022
	21 7	-5.147	7.970		15 23	5.085	-9.309		11 16	-4.714	9.288
	22 13	5.163	-8.269		17 5	-5.064	9.516		12 22	4.720	-9.551
	23 19	-5.155	8.495		18 12	5.072	-8.797		14 4	-4.701	9.734
	25 1	5.162	-8.778		19 18	-5.057	9.022		15 10	4.701	-9.980
	26 8	-5.160	7.974		21 0	5.059	-9.300		16 17	-4.684	9.256
	27 14	5.173	-8.271		22 6	-5.040	9.514		17 23	4.688	-9.507
	28 20	-5.166	8.496		23 13	5.042	-8.788		19 5	-4.673	9.699
	30 2	5.173	-8.786		24 19	-5.029	9.010		20 11	4.671	-9.936
	31 9	-5.166	7.974		26 1	5.032	-9.295		21 18	-4.654	9.212
Août	1 15	5.182	-8.275		27 7	-5.012	9.502		23 0	4.660	-9.470
	2 21	-5.172	8.500		28 14	5.012	-8.780		24 6	-4.644	9.652
	4 3	5.180	-8.788		29 20	-4.997	9.000		25 12	4.645	-9.895
	5 10	-5.171	7.976	Oct.	1 2	5.002	-9.281		26 19	-4.625	9.169
	6 16	5.184	-8.277		2 8	-4.983	9.492		28 1	4.633	-9.422
	7 22	-5.176	8.503		3 14	4.979	-9.759		29 7	-4.619	9.610
	9 4	5.182	-8.797		4 21	-4.966	8.987		30 13	4.619	-9.847
	10 11	-5.170	7.972		6 3	4.969	-9.269	Déc.	1 20	-4.601	9.125
	11 17	5.184	-8.280		7 9	-4.952	9.475		3 2	4.607	-9.377
	12 23	-5.174	8.509		8 15	4.950	-9.745		4 8	-4.595	9.560
	14 5	5.183	-8.798		9 22	-4.931	8.972		5 14	4.597	-9.800

ARIEL 2011

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.	6	20	-4.577	9.970	Déc.	16	22	-4.541	9.864	Déc.	27	0	-4.514	9.757
	8	3	4.586	-9.328		18	5	4.549	-9.230		28	7	4.524	-9.127
	9	9	-4.573	9.513		19	11	-4.538	9.412		29	13	-4.514	9.301
	10	15	4.576	-9.746		20	17	4.542	-9.642		30	19	4.520	-9.537
	11	21	-4.558	9.919		21	23	-4.525	9.816	Janv.	1	2	-4.480	8.830
	13	4	4.566	-9.281		23	6	4.535	-9.174		2	8	4.490	-9.066
	14	10	-4.555	9.461		24	12	-4.525	9.358					
	15	16	4.557	-9.698		25	18	4.529	-9.593					

UMBRIEL 2011

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	22	5.628	-15.048	Avril	3	7	-6.114	12.124	Juill.	5	14	7.083	-11.670
Janv.	2	0	-5.633	14.756		5	9	6.124	-12.069		7	16	-7.121	11.283
	4	2	5.625	-14.695		7	10	-6.158	12.444		9	18	7.110	-11.234
	6	4	-5.626	14.375		9	12	6.167	-12.401		11	19	-7.144	11.705
	8	5	5.620	-14.911		11	14	-6.207	12.045		13	21	7.132	-11.670
	10	7	-5.627	14.600		13	16	6.215	-11.993		15	23	-7.168	11.272
	12	9	5.621	-14.549		15	18	-6.254	11.635		18	1	7.150	-11.221
	14	11	-5.628	14.230		17	20	6.258	-11.578		20	2	-7.188	11.714
	16	13	5.621	-14.175		19	21	-6.304	11.975		22	4	7.166	-11.657
	18	14	-5.632	14.454		21	23	6.308	-11.929		24	6	-7.202	11.271
	20	16	5.627	-14.407		24	1	-6.354	11.570		26	8	7.178	-11.208
	22	18	-5.639	14.084		26	3	6.354	-11.502		28	9	-7.216	11.717
	24	20	5.633	-14.030		28	4	-6.402	11.926		30	11	7.189	-11.645
	26	21	-5.649	14.318		30	6	6.403	-11.860	Août	1	13	-7.223	11.276
	28	23	5.641	-14.262	Mai	2	8	-6.454	11.513		3	14	7.193	-12.077
	31	1	-5.662	13.951		4	10	6.451	-11.442		5	16	-7.230	11.726
Févr.	2	3	5.655	-13.885		6	11	-6.502	11.878		7	18	7.199	-11.632
	4	5	-5.675	13.575		8	13	6.499	-11.800		9	19	-7.228	12.160
	6	6	5.666	-14.122		10	15	-6.554	11.476		11	21	7.199	-12.070
	8	8	-5.695	13.823		12	17	6.549	-11.378		13	23	-7.228	11.726
	10	10	5.686	-13.749		14	19	-6.599	11.042		16	1	7.193	-11.623
	12	12	-5.714	13.452		16	20	6.597	-11.757		18	2	-7.221	12.165
	14	14	5.705	-13.357		18	22	-6.650	11.434		20	4	7.190	-12.061
	16	15	-5.735	13.708		21	0	6.646	-11.330		22	6	-7.208	11.724
	18	17	5.729	-13.618		23	2	-6.696	11.007		24	7	7.178	-12.495
	20	19	-5.760	13.330		25	3	6.692	-11.719		26	9	-7.197	12.154
	22	21	5.754	-13.235		27	5	-6.743	11.401		28	11	7.166	-12.063
	24	23	-5.785	12.942		29	7	6.743	-11.296		30	12	-7.178	12.582
	27	0	5.780	-13.498		31	9	-6.787	10.969	Sept.	1	14	7.149	-12.488
Mars	1	2	-5.815	13.223	Juin	2	10	6.786	-11.696		3	16	-7.160	12.143
	3	4	5.813	-13.119		4	12	-6.833	11.368		5	18	7.129	-12.053
	5	6	-5.845	12.827		6	14	6.833	-11.274		7	19	-7.136	12.557
	7	8	5.845	-12.732		8	16	-6.873	10.935		9	21	7.109	-12.487
	9	9	-5.876	13.111		10	17	6.874	-11.681		11	23	-7.108	12.110
	11	11	5.880	-13.018		12	19	-6.915	11.342		14	0	7.081	-12.907
	13	13	-5.913	12.724		14	21	6.918	-11.260		16	2	-7.084	12.532
	15	15	5.918	-12.633		16	23	-6.953	10.896		18	4	7.053	-12.467
	17	17	-5.946	12.316		19	0	6.953	-11.681		20	5	-7.052	12.933
	19	18	5.955	-12.934		21	2	-6.992	11.316		22	7	7.024	-12.889
	21	20	-5.987	12.619		23	4	6.993	-11.246		24	9	-7.020	12.488
	23	22	5.996	-12.549		25	6	-7.025	10.874		26	10	6.987	-13.285
	26	0	-6.028	12.217		27	7	7.025	-11.677		28	12	-6.990	12.894
	28	2	6.036	-12.146		29	9	-7.061	11.289		30	14	6.954	-12.850
	30	3	-6.069	12.527	Juill.	1	11	7.058	-11.247	Oct.	2	15	-6.952	13.281
Avril	1	5	6.081	-12.472		3	12	-7.089	11.713		4	17	6.919	-13.240

UMBRIEL 2011

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.	6 19	-6.918	12.845	Nov.	6 20	6.608	-13.698	Déc.	7 22	-6.390	13.298
	8 21	6.878	-12.793		8 22	-6.614	13.359		10 0	6.368	-13.223
	10 22	-6.882	13.226		11 0	6.572	-13.246		12 1	-6.364	13.596
	13 0	6.842	-13.180		13 1	-6.576	13.693		14 3	6.346	-13.523
	15 2	-6.842	12.788		15 3	6.539	-13.584		16 5	-6.346	13.153
	17 3	6.801	-13.541		17 5	-6.540	13.248		18 7	6.327	-13.088
	19 5	-6.806	13.168		19 7	6.504	-13.138		20 8	-6.327	13.442
	21 7	6.762	-13.097		21 8	-6.506	13.572		22 10	6.310	-13.388
	23 8	-6.766	13.531		23 10	6.475	-13.469		24 12	-6.315	13.004
	25 10	6.723	-13.459		25 12	-6.473	13.126		26 14	6.296	-12.940
	27 12	-6.728	13.093		27 13	6.442	-13.782		28 15	-6.301	13.298
	29 14	6.681	-12.999		29 15	-6.444	13.442		30 17	6.284	-13.238
	31 15	-6.690	13.458	Déc.	1 17	6.419	-13.349	Janv.	1 19	-6.276	12.837
Nov.	2 17	6.646	-13.356		3 19	-6.412	12.988		3 21	6.257	-12.777
	4 18	-6.648	13.788		5 20	6.390	-13.658				

TITANIA 2011

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.	28 14	9.195	-23.993	Mai	4 3	-10.588	18.849	Sept.	7 8	11.663	-20.582
Janv.	1 22	-9.209	24.318		8 11	10.656	-18.960		11 17	-11.645	20.487
	6 7	9.185	-23.808		12 20	-10.753	18.878		16 1	11.570	-20.597
	10 16	-9.192	23.641		17 5	10.825	-18.316		20 9	-11.547	21.181
	15 0	9.187	-23.589		21 13	-10.921	18.889		24 18	11.463	-20.618
	19 9	-9.203	23.438		25 22	10.989	-18.329		29 2	-11.432	21.176
	23 18	9.205	-22.907		30 7	-11.082	18.252	Oct.	3 10	11.350	-21.285
	28 2	-9.231	23.228	Juin	3 15	11.156	-18.399		7 19	-11.300	21.195
Févr.	1 11	9.250	-22.766		8 0	-11.226	18.287		12 3	11.221	-21.239
	5 20	-9.274	22.540		12 8	11.304	-18.430		16 11	-11.169	21.801
	10 5	9.309	-22.090		16 17	-11.368	18.340		20 19	11.085	-21.826
	14 13	-9.340	22.372		21 1	11.436	-18.478		25 4	-11.033	21.714
	18 22	9.385	-21.918		25 10	-11.495	18.385		29 12	10.960	-21.792
	23 7	-9.430	21.711		29 18	11.557	-18.606	Nov.	2 20	-10.890	22.236
	27 16	9.474	-21.285	Juill.	4 3	-11.598	18.434		7 5	10.830	-21.678
Mars	4 0	-9.530	21.556		8 11	11.657	-18.678		11 13	-10.764	22.119
	8 9	9.586	-21.154		12 20	-11.685	18.514		15 21	10.704	-22.153
	12 18	-9.648	20.905		17 4	11.733	-18.748		20 6	-10.647	21.963
	17 3	9.709	-20.482		21 13	-11.757	18.603		24 14	10.593	-22.056
	21 12	-9.788	20.284		25 21	11.780	-18.874		28 23	-10.537	21.782
	25 20	9.839	-20.383		30 6	-11.797	18.668	Déc.	3 7	10.496	-21.882
Avril	30 5	-9.934	20.186	Août	3 14	11.810	-18.963		7 16	-10.445	21.610
	7 14	9.989	-19.737		7 22	-11.813	19.444		12 0	10.411	-21.686
	12 23	-10.085	19.533		12 7	11.811	-19.028		16 9	-10.378	21.433
	16 7	10.149	-19.659		16 15	-11.814	19.573		20 17	10.340	-21.521
	16 16	-10.251	19.531		20 23	11.779	-19.793		25 2	-10.323	21.221
	21 1	10.309	-18.997		25 8	-11.781	19.635		29 10	10.296	-21.323
	25 9	-10.419	19.490		29 16	11.733	-19.865	Janv.	2 19	-10.295	20.983
	29 18	10.479	-18.970	Sept.	3 0	-11.722	20.376				

OBÉRON 2011

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	14	-12.188	32.376	Mai	9	0	14.195	-24.883	Sept.	13	21	-15.384	27.310
Janv.	7	8	12.198	-32.031		15	18	-14.326	24.631		20	14	15.340	-27.735
	14	2	-12.185	31.648		22	12	14.538	-24.513		27	7	-15.165	28.097
	20	20	12.212	-31.300	Juin	29	5	-14.668	24.843	Oct.	4	0	15.091	-28.479
	27	14	-12.236	30.954		4	23	14.854	-24.693		10	17	-14.915	28.750
Févr.	3	8	12.284	-30.542		11	17	-14.989	24.536		17	10	14.815	-29.120
	10	3	-12.348	29.866		18	11	15.143	-24.386		24	3	-14.641	29.346
	16	21	12.422	-29.442		25	4	-15.261	24.852		30	20	14.525	-29.598
	23	15	-12.512	29.227	Juill.	1	22	15.382	-24.617	Nov.	6	14	-14.379	29.302
Mars	2	9	12.622	-28.774		8	16	-15.474	24.613		13	7	14.259	-29.492
	9	4	-12.730	28.172		15	9	15.562	-24.948		20	0	-14.131	29.712
	15	22	12.873	-27.737		22	3	-15.611	24.959		26	18	14.023	-29.249
	22	16	-12.987	27.573		28	20	15.677	-25.254	Déc.	3	11	-13.921	29.524
	29	11	13.172	-26.717	Août	4	13	-15.673	25.913		10	5	13.837	-29.017
Avril	5	5	-13.291	26.565		11	7	15.706	-25.616		16	22	-13.756	29.267
	11	23	13.499	-26.240		18	0	-15.648	26.207		23	16	13.715	-28.715
	18	17	-13.619	26.028		24	17	15.663	-26.558		30	10	-13.653	28.484
	25	11	13.846	-25.815		31	10	-15.552	27.112	Janv.	6	4	13.663	-27.899
Mai	2	6	-13.968	25.069	Sept.	7	3	15.535	-27.468		12	22	-13.623	27.603

CALENDRIER

Notations :

D : Date, jour du mois.

JOUR : Jour de la semaine.

JJ : Jour Julien à 12h.

JDA : Jour de l'année.

CALENDRIER 2011

JANVIER				FÉVRIER				MARS			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			0	0			31	0			59
1	Sam	2455563	1	1	Mar	2455594	32	1	Mar	2455622	60
2	Dim	5564	2	2	Mer	5595	33	2	Mer	5623	61
3	Lun	5565	3	3	Jeu	5596	34	3	Jeu	5624	62
4	Mar	5566	4	4	Ven	5597	35	4	Ven	5625	63
5	Mer	5567	5	5	Sam	5598	36	5	Sam	5626	64
6	Jeu	5568	6	6	Dim	5599	37	6	Dim	5627	65
7	Ven	5569	7	7	Lun	5600	38	7	Lun	5628	66
8	Sam	5570	8	8	Mar	5601	39	8	Mar	5629	67
9	Dim	5571	9	9	Mer	5602	40	9	Mer	5630	68
10	Lun	5572	10	10	Jeu	5603	41	10	Jeu	5631	69
11	Mar	5573	11	11	Ven	5604	42	11	Ven	5632	70
12	Mer	5574	12	12	Sam	5605	43	12	Sam	5633	71
13	Jeu	5575	13	13	Dim	5606	44	13	Dim	5634	72
14	Ven	5576	14	14	Lun	5607	45	14	Lun	5635	73
15	Sam	5577	15	15	Mar	5608	46	15	Mar	5636	74
16	Dim	5578	16	16	Mer	5609	47	16	Mer	5637	75
17	Lun	5579	17	17	Jeu	5610	48	17	Jeu	5638	76
18	Mar	5580	18	18	Ven	5611	49	18	Ven	5639	77
19	Mer	5581	19	19	Sam	5612	50	19	Sam	5640	78
20	Jeu	5582	20	20	Dim	5613	51	20	Dim	5641	79
21	Ven	5583	21	21	Lun	5614	52	21	Lun	5642	80
22	Sam	5584	22	22	Mar	5615	53	22	Mar	5643	81
23	Dim	5585	23	23	Mer	5616	54	23	Mer	5644	82
24	Lun	5586	24	24	Jeu	5617	55	24	Jeu	5645	83
25	Mar	5587	25	25	Ven	5618	56	25	Ven	5646	84
26	Mer	5588	26	26	Sam	5619	57	26	Sam	5647	85
27	Jeu	5589	27	27	Dim	5620	58	27	Dim	5648	86
28	Ven	5590	28	28	Lun	5621	59	28	Lun	5649	87
29	Sam	5591	29					29	Mar	5650	88
30	Dim	5592	30					30	Mer	5651	89
31	Lun	5593	31					31	Jeu	5652	90

AVRIL				MAI				JUIN			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			90	0			120	0			151
1	Ven	2455653	91	1	Dim	2455683	121	1	Mer	2455714	152
2	Sam	5654	92	2	Lun	5684	122	2	Jeu	5715	153
3	Dim	5655	93	3	Mar	5685	123	3	Ven	5716	154
4	Lun	5656	94	4	Mer	5686	124	4	Sam	5717	155
5	Mar	5657	95	5	Jeu	5687	125	5	Dim	5718	156
6	Mer	5658	96	6	Ven	5688	126	6	Lun	5719	157
7	Jeu	5659	97	7	Sam	5689	127	7	Mar	5720	158
8	Ven	5660	98	8	Dim	5690	128	8	Mer	5721	159
9	Sam	5661	99	9	Lun	5691	129	9	Jeu	5722	160
10	Dim	5662	100	10	Mar	5692	130	10	Ven	5723	161
11	Lun	5663	101	11	Mer	5693	131	11	Sam	5724	162
12	Mar	5664	102	12	Jeu	5694	132	12	Dim	5725	163
13	Mer	5665	103	13	Ven	5695	133	13	Lun	5726	164
14	Jeu	5666	104	14	Sam	5696	134	14	Mar	5727	165
15	Ven	5667	105	15	Dim	5697	135	15	Mer	5728	166
16	Sam	5668	106	16	Lun	5698	136	16	Jeu	5729	167
17	Dim	5669	107	17	Mar	5699	137	17	Ven	5730	168
18	Lun	5670	108	18	Mer	5700	138	18	Sam	5731	169
19	Mar	5671	109	19	Jeu	5701	139	19	Dim	5732	170
20	Mer	5672	110	20	Ven	5702	140	20	Lun	5733	171
21	Jeu	5673	111	21	Sam	5703	141	21	Mar	5734	172
22	Ven	5674	112	22	Dim	5704	142	22	Mer	5735	173
23	Sam	5675	113	23	Lun	5705	143	23	Jeu	5736	174
24	Dim	5676	114	24	Mar	5706	144	24	Ven	5737	175
25	Lun	5677	115	25	Mer	5707	145	25	Sam	5738	176
26	Mar	5678	116	26	Jeu	5708	146	26	Dim	5739	177
27	Mer	5679	117	27	Ven	5709	147	27	Lun	5740	178
28	Jeu	5680	118	28	Sam	5710	148	28	Mar	5741	179
29	Ven	5681	119	29	Dim	5711	149	29	Mer	5742	180
30	Sam	5682	120	30	Lun	5712	150	30	Jeu	5743	181
				31	Mar	5713	151				

INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

OBSERVATOIRE DE PARIS

77, AVENUE DENFERT-ROCHEREAU, 75014 PARIS

Secrétariat : 01-40-51-21-28

Renseignements : 01-40-51-22-70

Directeur : William THUILLOT

Directeur adjoint : Daniel HESTROFFER

CORPS DES ASTRONOMES ET DES ASTRONOMES ADJOINTS

Astronomes : William THUILLOT,
Patrick ROCHER,
Jean-Eudes ARLOT.

Astronomes adjoints : Pascal DESCAMPS,
Daniel HESTROFFER,
Valéry LAINEY,
Jérémy VAUBAILLON.

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

<i>Ingénieurs de recherche :</i>	Mickaël GASTINEAU, Jérôme BERTHIER, Frédéric VACHIER, Pédro DAVID.
<i>Ingénieurs d'études :</i>	Christian RUATTI, Mirel BIRLAN, Julien LECUBIN, Alrick DIAS, Hervé MANCHE.
<i>Assistants ingénieurs :</i>	Isabelle NICOLAS, Stéphane VAILLANT.

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

<i>Assistants ingénieurs :</i>	Sylvie LEMAÎTRE-POTTIER.
<i>Techniciens :</i>	Philippe DUHAMEL, Yohann GOMINET, Agnès PATU, Maryse DUFAY, Camille BARON, Cécile VENEAU.

ÉTUDIANTS pour l'année 2010

<i>Thésitifs :</i>	François FARAGO, Petr KUCHYNKA, Vincent ROBERT, Gwenaél BOUÉ, Julien FROUARD, Pierre INIZAN, David BANCELIN, Laurène BEAUVALET, Thierry COMBOT, Lucie MAQUET, Alin NEDELUCU, Lei ZHAO, Radwan TAJJEDINE.
--------------------	--

BUREAU DES LONGITUDES

23, QUAI DE CONTI, 75006 PARIS

Bureau pour l'année 2010

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

Gilles BESSERO, directeur général du Service hydrographique et océanographique de la Marine.

Marc PIERROT-DESEILLIGNY, directeur technique adjoint de l'Institut géographique national.

William THUILLOT (°), 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.
- André BERROIR, professeur, ancien directeur de l'INSU.
- 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.
- Jacques HINDERER, directeur de recherche au CNRS, institut de physique du globe de Strasbourg.
- Victor BRUMBERG, professeur, Institut d'astronomie appliquée, Saint-Pétersbourg.
- Jean-Claude HUSSON, membre de l'Académie de l'air et de l'espace, ancien président directeur général d'Alcatel Espace.
- 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 1

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



9 782759 805600

37 euros

978-2-7598-0560-0

www.edpsciences.org



EDP
SCIENCES